

第二篇

氧气转炉炼钢车间设备及布置

第一章 氧气转炉炉体及其支承系统

氧气顶吹转炉炉体及倾动机械的总体结构如图 2-1-1 所示,它由炉体 1、炉体支承系统 2 及倾动机构 3 组成。

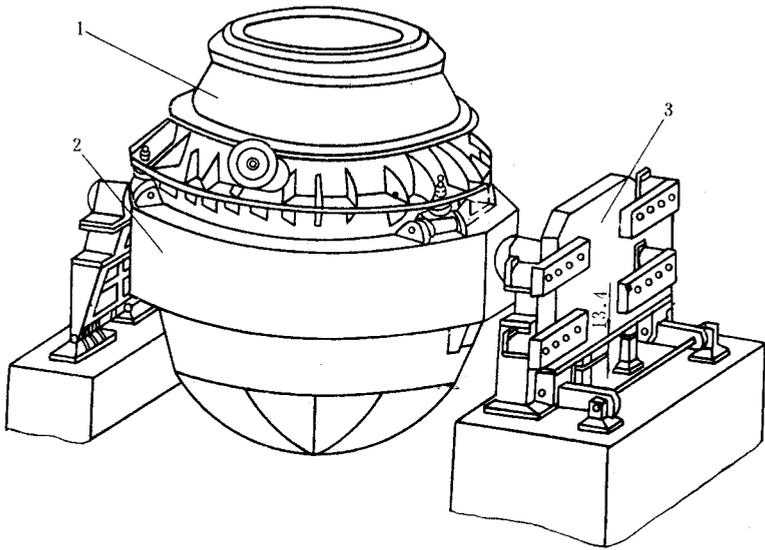


图 2-1-1 国内某厂 300t 转炉总体结构

1—炉体 2—支承装置 3—倾动机构

第一节 转炉炉体

一、炉体结构

转炉炉体包括炉壳和炉壳内的耐火材料炉衬,炉壳用钢板焊成。炉衬包括工作层、永久层及填充层三部分。工作层由于直接与炉内液体金属、炉渣和炉体接触,易受浸蚀,国内通用沥青白云石砖或沥青镁砖砌成。永久层紧贴炉壳,用于保护炉壳钢板。一般采用一层侧砌镁砖,或在镁砖与钢板间加一层石棉板。修炉时,永久层不拆除。在永久层和工作层之间设有填充层,多由焦油镁砂或焦油白云石砂组成。填充层的作用是减轻工作层热膨胀对炉壳压力和便于拆炉。炉壳如图 2-1-2 所示,由炉帽、炉身、炉底三部分组成。

(一) 炉帽

炉帽通常做成截锥形,这样可以减少吹炼时的喷溅损失以及热量的损失,并有利于引导炉气排出。炉帽顶部为圆形炉口,用来加料,插入吹氧管,排出炉气和倒渣。为了防止炉口在高温下工作时变形和便于清除粘渣,目前普遍采用通入循环水强制冷却的水冷炉口。

水冷炉口有水箱式和埋管式两种结构。水箱式水冷炉口用钢板焊成,如图 2-1-3 所示,在箱内焊有 12 块隔水板,使冷却水进入炉口水箱能形成回流。这种结构的优点是冷却强度大,易于制造,成本较低。但易烧穿,增加了维修工作量,另外还可能造成爆炸事故。因此,设计时应注意回水管的进水口接近水箱顶部,以免水箱上部积聚蒸气而引起爆炸。

图 2-1-4 所示为埋管式水冷炉口,通常用通冷却水的蛇形管埋于铸铁炉口中。埋入的钢管一般使用 20 号无缝钢管。水冷炉口材料可以用灰口铸铁、球墨铸铁或耐热铸铁。这种结构的安全性和寿命均比水箱式高,但制造较繁,冷却强度比水箱式低。

水冷炉口可用楔和销钉与螺帽连接,由于炉渣的粘结,更换炉口时往往需使用火焰切割,因此我国中、小型转炉多采用卡板焊接的方法,将炉口固定在炉帽上。

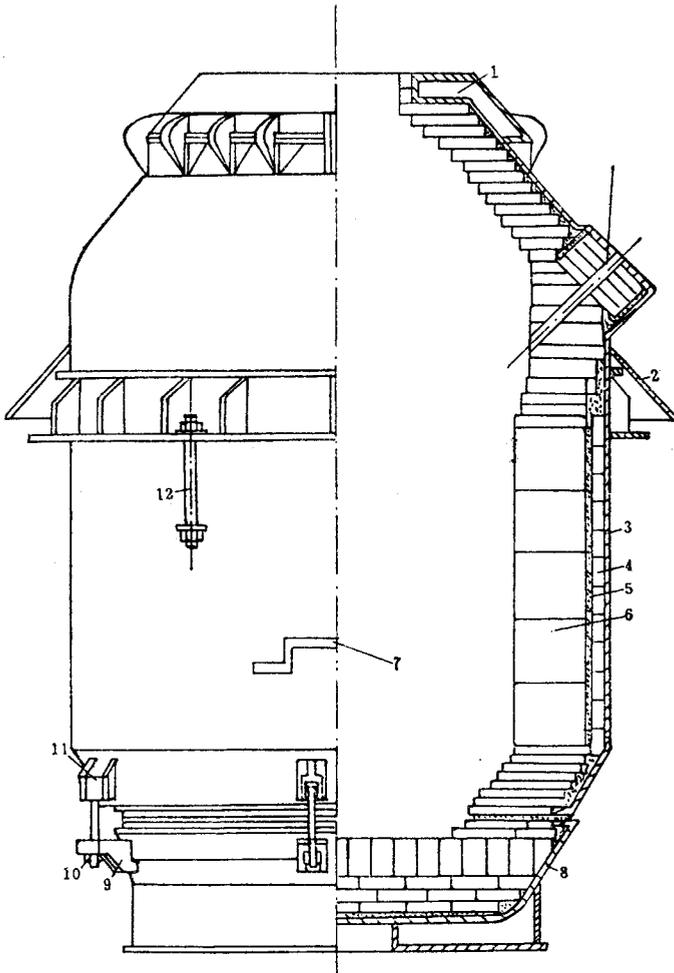


图 2-1-2 转炉炉壳与炉型

- 1—炉口冷却水箱 2—挡渣板 3—炉壳 4—永久层 5—填料层；
6—炉衬 7—制动块 8—炉底 9—下吊架 10—楔块 11—上吊架 12—螺栓

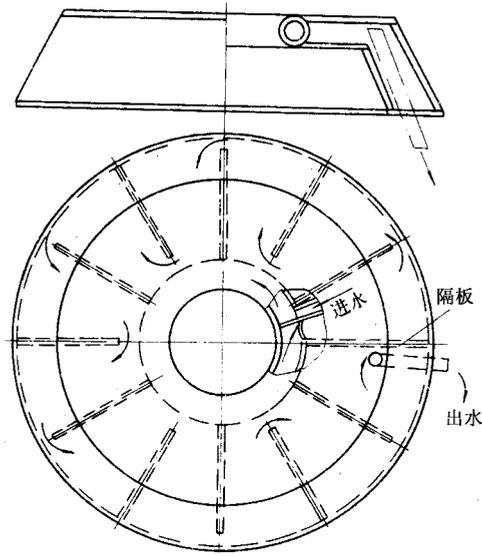


图 2-1-3 水箱式水冷炉口结构简图

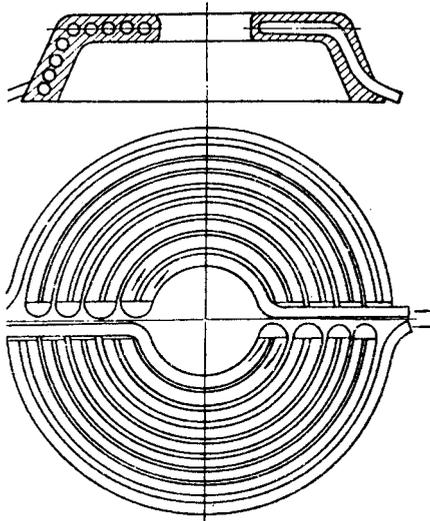


图 2-1-4 埋管式水冷炉口结构简图

国内转炉的设计中,炉帽部位一般不采取任何冷却措施,由于挡渣板直接焊在炉体上,顶部又是呈封闭状态,不利于散热,易使炉帽变形。为克服这个缺点,国内某厂 300t 转炉不仅在螺帽部位采用盘形水管冷却,且在挡渣板上也焊上蛇形管进行冷却,如图 2-1-5 所示,水冷防热罩是由 12 块梯形挡铁板组成,每块板内有冷却水通路,每 3 块板串

联成一个水路,整个罩有四组水冷通路并联,这样当某组水路断水后也不会影响正常生产。

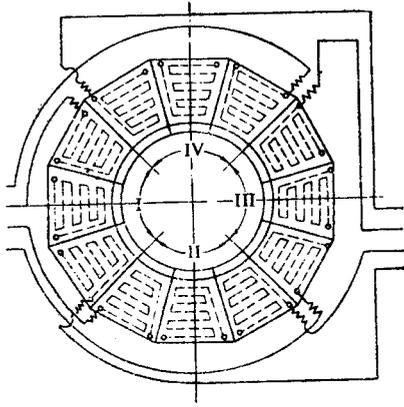


图 2-1-5 水冷防热板结构

(二) 炉身

炉身是整个炉子的承载部分,一般为圆柱形。在炉帽和炉身耐火砖交界处设有出钢口,设计时应考虑使堵出钢口方便,保证炉内钢水倒尽和出钢时钢流应对盛钢桶内的铁合金有一定的冲击搅拌能力,且便于维修和更换。

(三) 炉底

炉底有截锥型和球形两种。截锥形炉底制造和砌砖都较为方便,但其强度比球形低,故在我国用于 50t 以下的中、小转炉。球形炉底虽然砌砖和制作较为复杂,但球形壳体受载情况较好,目前,多用于 120t 以上的炉子。

炉帽、炉身与炉底三段间的联接方式决定于修炉和炉壳修理的要求,有所谓死螺帽活炉底和活炉帽死炉底等结构型式。

死螺帽活炉底结构炉帽与炉身是焊死的,而炉底和炉身是采用可拆联接的。此种结构适用于下修法。即修炉时可将炉底拆去,从下面往上修砌新砖。炉底和炉身多采用吊架丁字销钉和斜楔联接。实践证明,销钉和斜楔材料不宜采用碳素钢,最好用低合金钢,以增加强度。活炉帽死炉底结构参看图 2-1-6。死炉底具有重量轻、制造方便、安全可靠等优点,故大型转炉多采用死炉底。这种结构修炉时,采用上修法,即人和炉衬材料都经炉口进入。在有的转炉上为减少停炉时间,节约投资,提高钢产量,修炉时采用更换炉底的方法,将待修炉体移至炉座外修理,而将事先准备好的炉体装入炉座继续吹炼,这种称之为活炉座。为了在活炉座下不增加起重运输能力,且便于修理损坏了的炉帽,可将

炉帽与炉身做成可拆连接,而炉身与炉底做成一体,如图 2-1-6 所示。

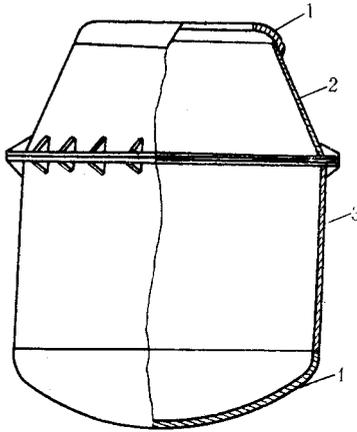


图 2-1-6 活炉帽炉壳

1—炉口 2—炉帽 3—炉身 4—炉底

在采用上修的情况下,有些大型炉子仍采用可拆的小活炉底结构,以增加修炉操作的灵活性和加快冷却炉衬。

二、炉壳的负荷特点和炉壳钢板厚度的确定

转炉炉壳属于薄壳结构,由于高温、重载和生产操作等因素影响,炉壳工作时不仅承受静、动载荷,而且还承受热负荷。炉壳的厚度是根据其所受力的情况来决定的。由于炉壳的受力与很多因素有关,特别是热应力计算比较复杂,目前有用薄壳理论来计算外力作用下引起的炉壳应力,但实用性不大。因此对炉壳钢板厚度的确定,大多采用类比法,由经验公式选定。炉子容量和炉壳钢板厚度的关系如表 2-1-1 所示。炉壳的材料国内常用 Q235、16Mn 等材料。不同容量的转炉,炉壳的基本参数见表 2-1-2 所示。

表 2-1-1 确定炉壳钢板厚度的经验公式/mm

| 炉子吨位 | δ_1 | δ_2 | δ_3 |
|-------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| < 30t | $(0.8 \sim 1)\delta_2$ | $\delta_2 = (0.0065 \sim 0.008)D$ | $0.8\delta_2$ |
| > 30t | $(0.8 \sim 0.9)\delta_2$ | $\delta_2 = (0.008 \sim 0.011)D$ | $(0.8 \sim 1)\delta_2$ |

表中 δ_1 ——炉帽钢板厚度; δ_2 ——炉身钢板厚度; δ_3 ——炉底钢板厚度; D——炉子外径。

表 2-1-2 几种炉子容量炉壳的基本参数

| 炉子公称容量 | t | 15 | 30 | 50 | 120 | 国外某厂 150 | 300 |
|--------|----|-------|--------|--------|----------|-------------|-----------|
| 炉壳全高 | mm | 5530 | 7000 | 7470 | 9750 | 8992 | 11575 |
| 炉壳外径 | mm | 3548 | 4220 | 5110 | 6670 | 7090 | 8670 |
| 炉帽钢板厚度 | mm | 24 | 30 | 55 | 55 | 58 | 75 |
| 炉身钢板厚度 | mm | 24 | 40 | 55 | 70 | 80 | 85 |
| 炉底钢板厚度 | mm | 20 | 30 | 45 | 70 | 62 | 80 |
| 炉壳重量 | kN | 225.4 | 424.34 | 694.33 | 1717.744 | 1943.4 | 3332 |
| 材 质 | | 16Mn | Q235 | 14MnNb | | AST41 | SM41C(日本) |

第二节 转炉炉体支承系统

转炉炉体的全部重量通过支承系统传递到基础上去,支承系统包括支承炉体的托圈部件,将炉体与托圈连接起来的连接装置以及支承托圈部件的轴承及其支座三部分。而托圈还担负着将倾动力矩传给使其倾转的任务。因此,它们都是转炉机械设备的重要组成部分。

一、托圈结构

托圈是转炉的重要承载和传动部件。它支承着炉体全部重量,并传递倾动力矩到炉体。工作中还要承受由于频繁起动、制动所产生的动负荷和操作过程所引起的冲击负荷,以及来自炉体、盛钢桶等辐射作用而引起托圈在径向、周和轴向存在温度梯度而产生的热负荷。因此,托圈必须保证有足够的强度和刚度。图 2-1-7 为某厂 50t 转炉托圈结构。它是由钢板焊成的箱形断面的环形结构,两侧焊有铸钢的耳轴座,耳轴装在耳轴座内。为了便于运输,该托圈剖分成四段在现场进行装配。各段通过矩形法兰由高强度螺栓联接。各个矩形法兰中间安装有方形定位销,用它来承受法兰结合面上的剪力。托圈材质一般采用低合金结构钢。

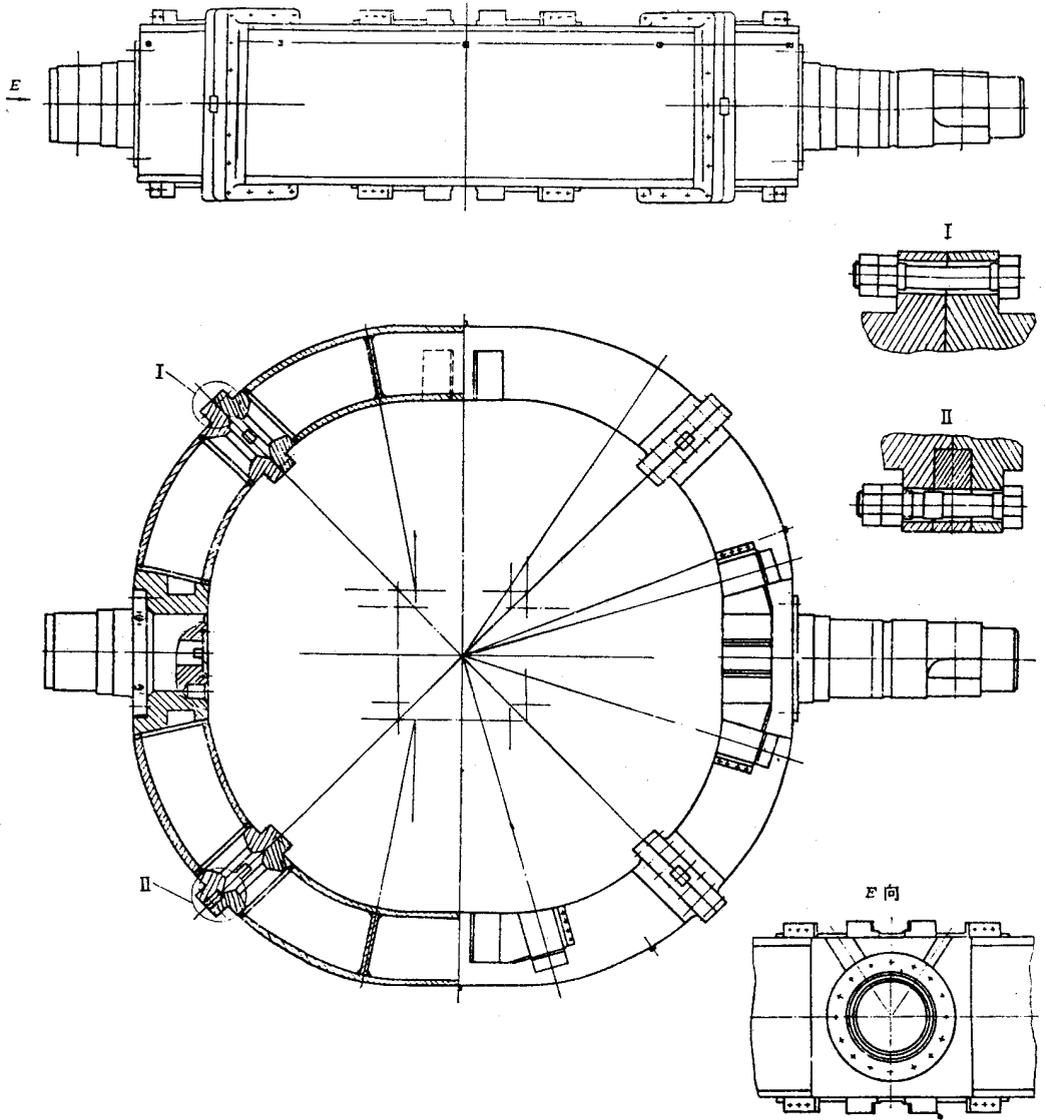


图 2-1-7 50t 转炉托圈部件

(一) 铸造托圈与焊接托圈

对于较小容量转炉的托圈,例如 30t 以下的转炉,由于托圈尺寸小,不采用自动电渣焊,可采用铸造托圈。其断面形状可用封闭的箱形,也可用开式的 U 形断面。目前,对中等容量以上的转炉托圈都采用重量较轻的焊接托圈。焊接托圈做成箱形断面,它的抗扭刚度比开口断面大好几倍,并便于通水冷却。

(二)整体托圈与剖分托圈

在制造与运输条件允许的情况下,托圈应尽量做成整体的。这样结构简单、加工方便,耳轴对中容易保证,结构受力大。如图 2-1-8 所示为国内某厂 300t 转炉使用的整体托圈。它是钢板焊成的箱形结构,其断面形状为 2740×835mm 矩形,材质为日本钢号 SM41C。内外侧钢板厚为 70mm。托圈耳轴座与耳轴是一个整体铸件,其材质为日本钢号 SCW49。并与出钢侧和装料两瓣托圈焊成一体。为了增强耳轴座焊接处的强度和刚度,在耳轴座附近焊有横隔板 10,在耳轴两侧各一块。在两轴同一侧两块横隔板之间,还焊有 7 块均布的立筋板 11,立筋板上部开有 $\phi 250\text{mm}$ 圆孔,下部开有长 650mm,宽 400mm 的长圆孔,如剖视图 C—C 所示,以增加腹板的刚度。

在每两块立筋板中间焊有穿通内外腹板的圆管 13,穿通圆管的作用是增强托圈的刚性和改善炉壳空冷效果。

在出钢侧的托圈外腹板上,借支承块 12 用螺钉固定有保护板 6,以防渣罐、钢水罐的辐射热作用。为了降低托圈的热应力,除在托圈内用冷却水循环冷却外,还在炉体与托圈内表面之间进行通风冷却,以改善散热条件。

对于大型托圈,由于重量与外形尺寸较大(50t 转炉托圈重达 100t,外形尺寸为 6800×9990mm),有时也做成剖分的,在现场进行装配。剖分面以尽量少为宜,一般剖分成两段较好,剖分位置应避免最大应力和最大切应力所在截面。剖分托圈的连接最好采用焊接方法,这样结构简单,但焊接时应保证两耳轴同心度和平行度。焊接后进行局部退火消除内应力。若这种方法受到现场设备条件的限制,为了安装方便,剖分面常用法兰热装螺栓固定。我国 120t 和 150t 转炉采用剖分托圈,为了克服托圈内侧在法兰上的配钻困难,托圈内侧采用工字形键热配合联接。其它三边仍采用法兰螺栓连接。

国外还有使托圈做成半圆形的开口式托圈(或马蹄形),炉体通过三支点支承在托圈上。这种托圈炉体更换时从侧面退出,故降低了厂房和起升设备的高度,缺点是承载能力不如闭式托圈好。

(三)耳轴与托圈的连接

耳轴多采用合金钢锻造毛坯,也可采用铸造毛坯加工。耳轴与托圈的连接通常有三种方式:

(1)法兰螺栓连接(图 2-1-7)。其耳轴以过渡配合(n_6 或 m_6)装入托圈的铸造耳轴座中,再用螺栓和圆销连接,以防止耳轴与孔发生转动和轴向移动。这种结构的连接件较多,而且耳轴需带一个法兰,增加了耳轴制造困难。但这种连接形式工作安全可靠,国内使用比较广泛。

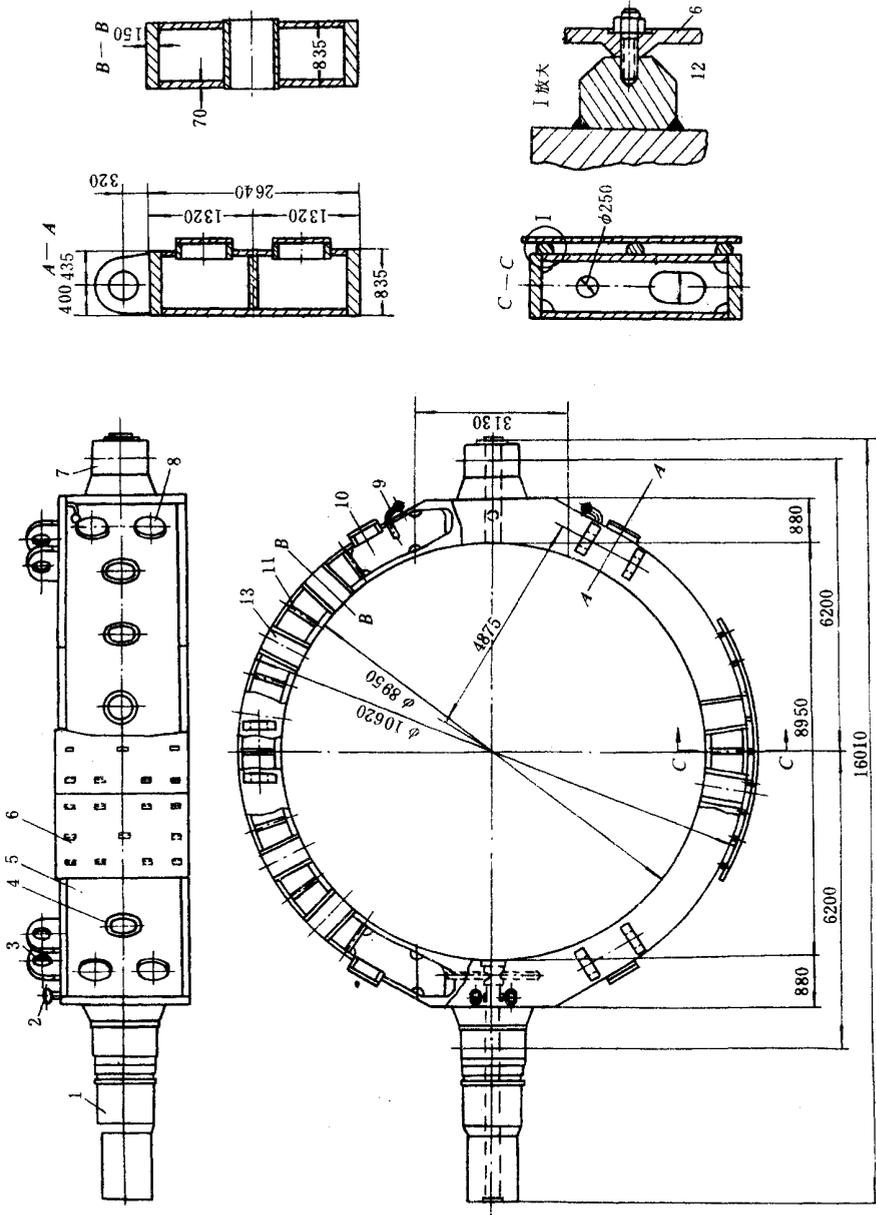


图2-1-8 整体托圈结构

1—驱动侧耳轴；2—进水管；3—吊耳；4—空气流通孔；5—托圈；6—保护板；7—从动侧耳轴；8—人孔；9—出水管；10—横隔板；11—立筋板；12—联结保护板用凸块；13—圆管

(2)静配合连接(图 2-1-9)。其耳轴具有过盈尺寸,装配时可将耳轴用液氮冷缩或将轴孔加热膨胀,耳轴在常温下装入耳轴孔。为了防止耳轴与耳轴座孔产生转动或轴向移动,在静配合的传动侧耳轴处拧入精制螺钉。由于游动侧传递力矩很小,故可采用带小台肩的耳轴限制轴向移动。这种连接结构比前一种简单,安装和制造较方便,但这种结构仍需在托圈上焊耳轴座,故托圈重量仍较重。而且装配时,耳轴座加热或耳轴冷却也较费事,故目前国内没广泛使用。

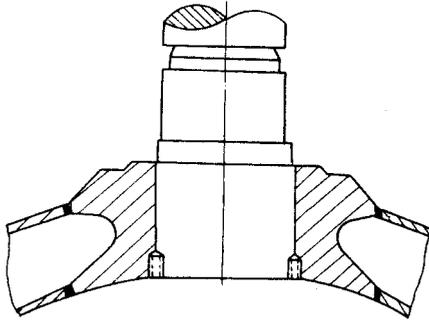


图 2-1-9 耳轴与托圈的静配合联接

(3)耳轴与托圈直接焊接(图 2-1-10)。这种结构由于采用耳轴与托圈直接焊接,因此,重量小、结构简单、机械加工量小。在大型转炉上用得较多。为防止结构由于焊接的变形,制造时要特别注意保证两耳轴的平行度和同心度。

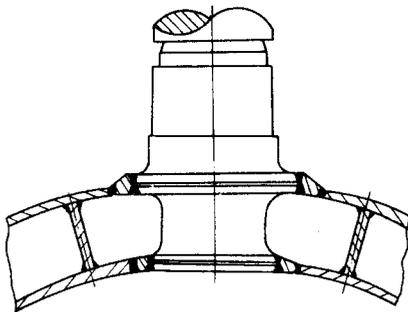


图 2-1-10 耳轴与托圈的焊接联接

国内外几种托圈的主要参数见表 2-1-3 所示。

表 2-1-3 几种炉子容量托圈的技术参数/mm

| 转 炉 容 量/t | 15 | 30 | 50 | 120 | 国外某厂 150 | 300 |
|-----------|--------------|---------|------|------|-------------|---------|
| 断 面 形 状 | 铸 | [(铸) | 箱 | 箱 | 箱 | 箱 |
| 断 面 高 度 | 1060 | 1500 | 1650 | 1800 | 2400 | 2500 |
| 断 面 宽 度 | 480 | 400 | 730 | 900 | 760 | 835 |
| 盖 板 厚 度 | 100 | 255 | 80 | 100 | 83 | 150 |
| 腹 板 厚 度 | 60 | 130 | 55 | 80 | 75 | 70 |
| 耳 轴 直 径 | φ600 | φ630 | φ800 | φ850 | φ900 | ≈ φ1350 |
| 耳轴轴承型式 | 重型双列向心球面滚子轴承 | | | | | |
| 材 质 | | ZG35 II | 16Mn | 16Mn | | |
| 质 量/t | | 64 | 68.5 | 180 | | |

二、炉体与托圈的联接装置

(一) 联接装置基本要求

炉体通过联接装置与托圈相连接。炉壳和托圈在机械载荷的作用下和热负荷影响下都将产生变形。因此,要求联接装置一方面将炉体牢固地固定在托圈上;另一方面,又要能适应炉壳和托圈热膨胀时,在径向和轴向产生相对位移的情况下,不使位移受到限制,以免造成炉壳或托圈产生严重变形和破坏。为此,有的资料提出,托圈和炉壳之间的间隙 Δ 可取为 $0.03 D_L$ (D_L 为炉壳外径)。这些是设计联接装置必须考虑的。

例如 50t 转炉的托圈高度为 1650mm,直径为 6800mm,当炉壳平均温度为 300℃,托圈温度为 100℃时,炉壳在轴向膨胀量的理论计算值为 6.2mm,而托圈为 2.06mm,在径向膨胀则分别为 25.5 和 8.5mm。这样,在轴向将出现 4.16mm,在径向将出现 17mm 的相对位移。并且当炉壳温度大于 300℃时,相对位移将随温度升高进一步增加。

另外,随着炉壳和托圈变形,在联接装置中将引起传递载荷的重新分配,会造成局部过载,并由此引起严重的变形和破坏。所以一个好的联接装置应能满足下列要求:

- (1) 转炉处于任何倾转位置时,均能可靠地把炉体静、动负荷均匀地传递给托圈;
- (2) 能适应炉体在托圈中的径向和轴向的热膨胀而产生相对位移,同时不产生窜动;
- (3) 考虑到变形的产生,能以预先确定的方式传递载荷,并避免因静不定问题的存在而使支承系统受到附加载荷;

(4) 炉体的负重,应均匀地分布在托圈上,对炉壳的强度和变形的影响减少到最低限度。

(二) 联接装置的基本型式

目前在转炉上应用的联接装置型式较多,但从其结构来看大致归纳为两类:一类属于支承托架夹持器;另一类属于吊挂式的联接装置。下面着重介绍目前设计中用得较多的吊挂式联接装置。

1. 法兰螺栓联接装置 法兰螺栓联接是早期出现的吊挂式联接装置,如图 2-1-11a、b 所示。在炉壳上部周边焊接两个法兰,在两法兰之间加焊垂直筋板加固,以增加炉体刚度。在下法兰上均布 8~12 个长圆形螺栓孔,通过螺栓或销钉斜楔将法兰与托圈联接。在联接处垫一块经过加工的长形垫板,以便使法兰与托圈之间留出通风间隙。螺栓孔呈长圆形的目的是允许炉壳沿径向热膨胀并避免把螺栓剪断。炉体倒置时,由螺栓(或圆锁)承受载荷。炉体处于水平位置时,则由两耳轴下面的托架(见图 2-1-2 中的 7)把载荷传给固定在托圈上的定位块。而在与耳轴连接的托圈平面上有一方块与大法兰方孔相配合,这样就能保证转炉倾动时,将炉体重量传递到托圈上。

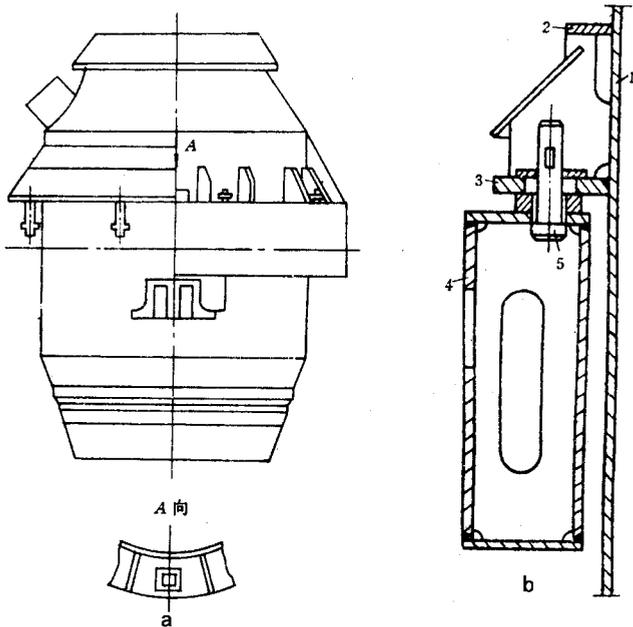


图 2-1-11 法兰螺栓联接装置

1—炉体 2—上法兰 3—下法兰 4—托圈 5—销钉

由于这种联接装置基本能适应炉壳胀缩,因此,工作中有松动现象,造成炉体倾动时的晃动,对设备不利。实践证明,对螺栓或销钉连接时,注意合理的预紧力,既满足炉壳膨胀要求,又防止晃动。

2. 自调螺栓联接装置 自调螺栓联接装置是目前吊挂装置型式中比较理想的一种

结构 图 2-1-12 和图 2-1-13 为我国 300t 转炉自调螺栓联接装置的结构原理图。炉体 1 是通过下法兰圈和三个自调螺栓 3 在圆周上呈 120° 布置, 其中两个在出钢侧与耳轴轴线成 30° 夹角的位置上。另一个在装料侧与耳轴轴线呈 90° 的位置上。自调螺栓通过销用螺母和销将炉体与托圈 5 联接。当炉壳产生热胀冷缩时, 由焊在炉壳上的法兰推动球面垫移动, 从而使自调螺栓绕支座 9 摆动, 故炉体径向位移不会受到约束, 而且炉壳中心位置保持不变。图 2-1-12 中 c、d 和图 2-1-13 表示了自调螺栓原始位置和炉壳相对托圈的径向位置达到极限位置时的工作状态。此外, 由于炉壳只用法下法兰通过自调螺栓支承在托圈上面, 托圈下部的炉壳上没有法兰与托圈连接, 故托圈对炉壳在轴向没有任何约束, 可以自由膨胀。

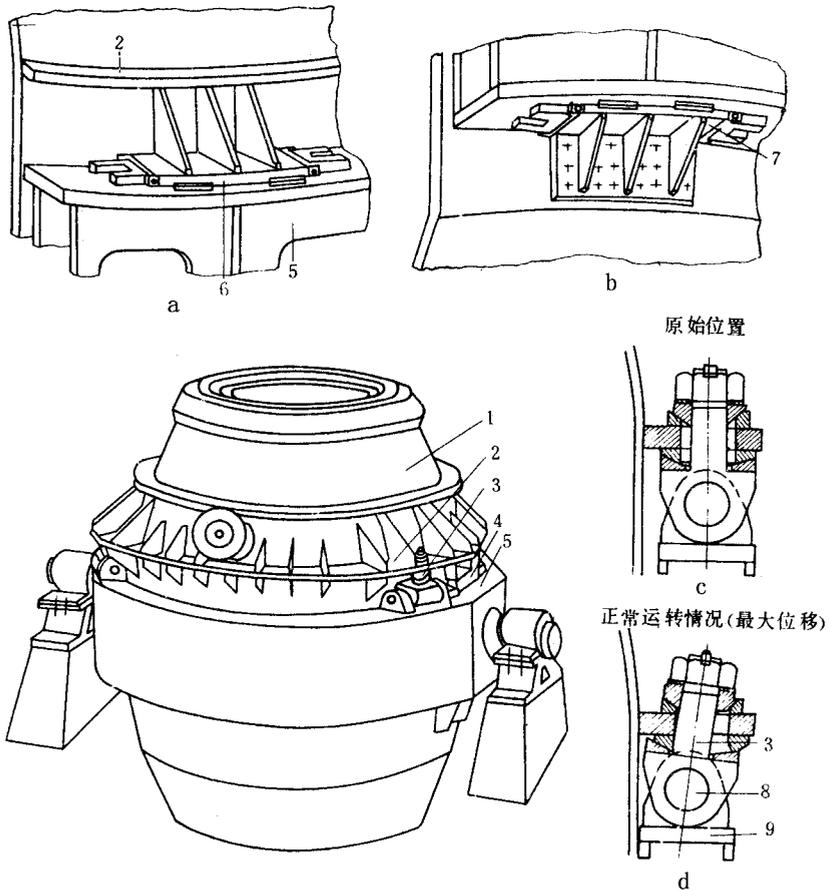


图 2-1-12 300t 转炉自调螺栓联接装置

1—炉体 2—下法兰圈 3—自调螺栓 4—筋板 5—托圈;

6—上托架 7—下托架 8—销轴 9—支座

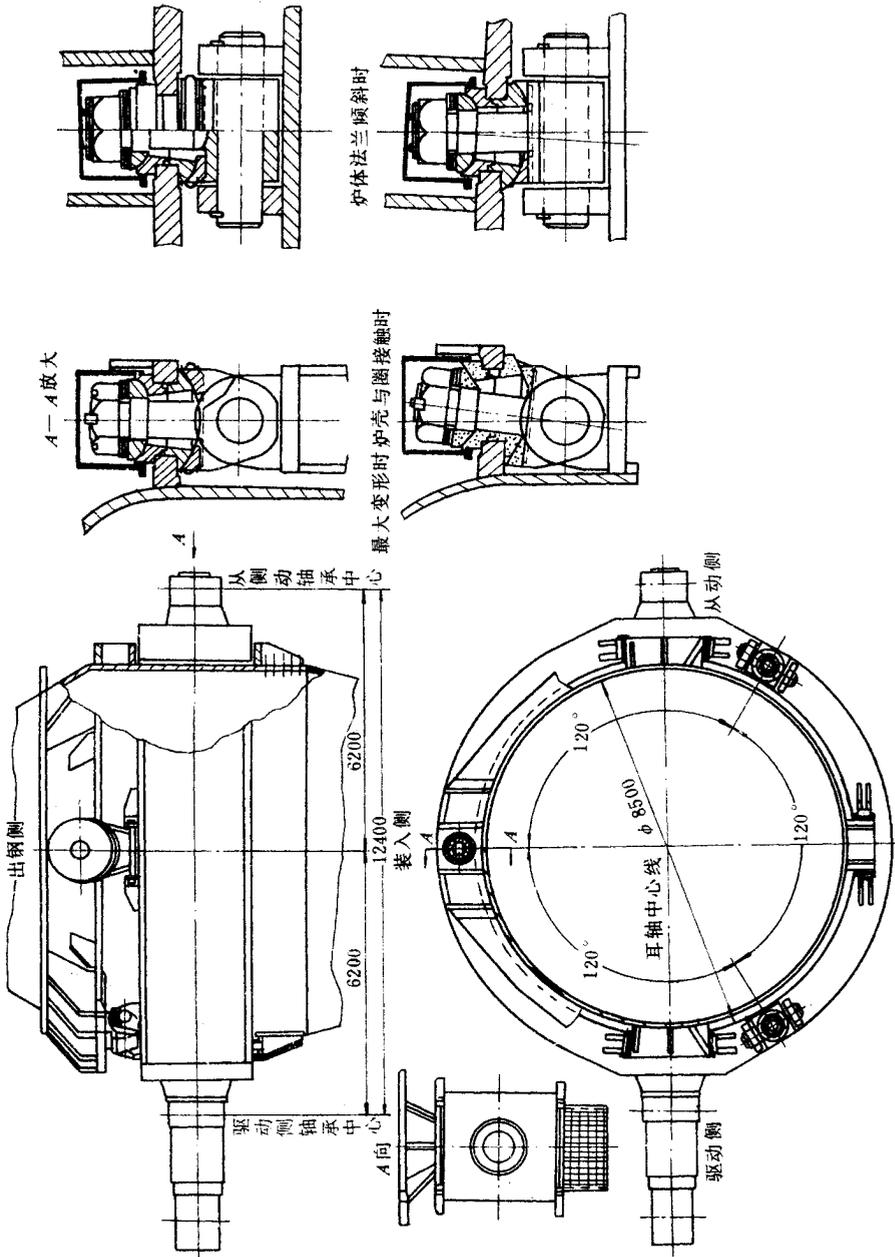


图 2-1-13 300t 转炉炉体与托圈联接装置

三组自调螺栓装置承受炉体的自重,其中位于出钢口对侧的自调螺栓装置,由于离耳轴中心距离最远,主要由它来承受倾动力矩。而炉体倾到水平位置时的载荷则由位于耳轴部位的两组止动托架传递到托圈,如图 2-1-12a、b 所示。上托架 6 由焊在炉壳上的卡板,嵌入焊在托圈下表面上的卡座内,而下托架 7 的卡板则通过铰制螺钉固定在炉壳上,这样便于炉体的更换。卡板与卡座仅在侧面相接触,以制约其横向位移,承受平行于托圈平面方向的载荷。

炉体的限位,沿耳轴轴线方向是靠出钢口下的导向定位块和相应的支承点来实现(见图 2-1-13),而在垂直于耳轴轴线方向的定位,则由两组止动托架来实现。

这种联接装置能满足对联接装置的各项性能要求,且结构简单,制造安装容易,维护较方便,是一种运转可靠值得推广的联接装置,我国中小型转炉也已有应用。但这种联接装置还留用卡板装置,使用中仍存在限制炉壳相对于托圈的胀缩。此外,球铰连接处零件较多,使用时易磨损,使炉体倾动时产生摆动,卡板与炉壳用螺栓连接工作量很大。

该联接装置的自调螺栓和水平销轴的材料为日本牌号的 30NCMN33。螺母和球面垫圈的材料都是 SCM3。

第三节 耳轴轴承装置

一、耳轴轴承的工作特点和选择

转炉耳轴轴承的工作特点是负荷大,转速低(每分钟转速为 $1r/min$ 左右),经常启动、制动,一般转动角度在 $280^\circ \sim 290^\circ$ 范围内,轴承零件处于局部工作的情况。此外,工作时还受到高温、喷溅和灰尘的影响。这些都是选择轴承和设计轴承的基本出发点。

由于轴承转速低,所以不按疲劳强度选择轴承,应根据静载荷选择轴承。轴承静载荷的计算公式为:

$$C_0 \geq n_0 P_0 \quad (2-1-1)$$

式中 C_0 ——额定静负荷值;

n_0 ——安全系数,当以正常操作最大力矩计算轴承时,转炉耳轴可取为 $n_0 = 1.6 \sim 2$;

P_0 ——当量静负荷:

$$P_0 = x_0 F_r + y_0 F_a \quad (2-1-2)$$

x_0 ——静负荷径向系数,对双列球面滚柱轴承取 $x_0 = 1$;

y_0 ——静负荷轴向系数, $y_0 = 0.44 \operatorname{tg} \alpha$ (α 为轴承接触角);

F_r 、 F_a ——分别为最大径向和轴向负荷:

$$\text{对于游动端: } F_a = \mu F_{r\text{f}} \quad (2-1-3)$$

$$\text{对于固定端: } F_a = Q + \mu F_{r\text{f}} \quad (2-1-4)$$

Q ——由倾动机械及其它因素引起的耳轴轴向力,如斜齿轮轴向力等;

μ ——轴承轴向移动摩擦系数:

$$\text{对于滑动轴承: } \mu = 0.1 \sim 0.3$$

对于滚动轴承: $\mu = 0.03$; 为安全考虑,都取为 $\mu = 0.1 \sim 0.2$ 。

因此,固定端:

$$n_0 P_0 = (1.6 - 2) [F_{r\text{g}} + y_0(Q + \mu F_{r\text{f}})] \quad (2-1-5)$$

游动端:

$$n_0 P_0 = (1.6 - 2) [F_{r\text{f}} + y_0(\mu F_{r\text{f}})] \quad (2-1-6)$$

式中 $F_{r\text{g}}$ ——固定端最大径向负荷;

$F_{r\text{f}}$ ——从动端最大径向负荷。

为了减少轴承品种,并便于维修,可按驱动端轴承型选取。轴承设计时,还应考虑下列受载情况:

(1)正常和不正常操作下的静载荷。不正常操作的载荷如兑铁水罐压在炉口上引起的附加载荷。

(2)转炉倾动时,倾动力矩在耳轴上引起的载荷。

(3)转炉倾动时,启动、制动所产生的惯性力。

(4)由于托圈温度变化引起耳轴轴向胀缩所产生的附加力。

(5)清炉时结渣所引起的载荷等。

二、耳轴轴承型式

(一)重型双列向心球面滚子轴承

这种轴承由于能承受重载,有自动调位的性能,在静负荷作用下,轴承的线极限偏斜度为 $\pm 1 \frac{1}{2}^\circ$, 润滑方便,故在转炉耳轴轴承上得到了广泛使用。

转炉工作时,托圈在高温下产生热膨胀,引起两侧耳轴轴承中心距增大。因在驱动

侧装有传动装置,故把非驱动侧轴承设计成游动的。且在轴承外圈与轴承座之间增加一导向套,以使加工方便和保证与轴承外圈配合表面的质量。当耳轴作轴向膨胀时,轴承可沿轴承座内的导向套作轴向移动,导向套磨损后更换方便。

传动侧的耳轴轴承应设计成轴向固定的。由于传动侧轴上固装着大齿轮,为了便于更换轴承,也可把轴承做成剖分式的。但剖分式轴承价格较贵。

(二) 铰链式轴承支座

这种轴承支座用于非驱动侧轴承支座上(如图 2-1-14 所示),耳轴轴承也是采用双列向心球面滚子轴承,轴承固定在轴承座上,而轴承座通过其底部的两个铰链支承在基础上,两铰链的销子在同一轴线上,并位于耳轴轴线垂直的方向上。依靠支座的摆动补偿耳轴轴线的胀缩,由于耳轴轴向移动量与支座的摆动半径相比极小,所以此侧耳轴高度上的微小变形不会影响正常工作。采用铰链式轴承支座时,驱动侧和非驱动侧的耳轴轴承都采用固定的轴承结构。如图 2-1-15 所示,为我国某厂 300t 转炉耳轴轴承装置。该装置特点是两侧耳轴轴承做成固定式,轴承采用整体式。

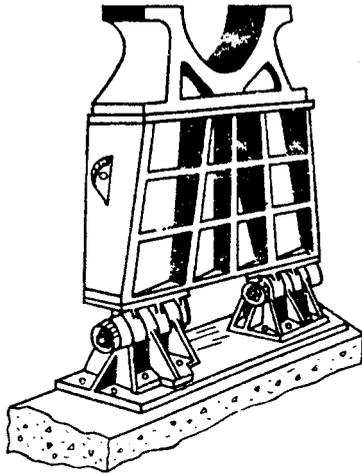


图 2-1-14 铰链式轴承支座

滚动轴承外环靠近转炉一侧被轴承座本身带有的端盖顶住,外侧用 16 个 M48 的双头螺栓紧固的球面密封端盖 3 压紧。轴承内环的左右两侧都是借球面压紧环 4 压紧。球面压紧是靠调节环挡圈 6 和调节螺钉来压紧。此外还通过压紧环的凸球面与带着凹球面的密封端盖 3 及石棉板密封填料实现轴承的密封。密封填料由密封圈挡环 7 通过螺栓固定。这种球面密封结构的优点是,当托圈下凹或耳轴挠曲变形时,仍然能保证可靠的密封。

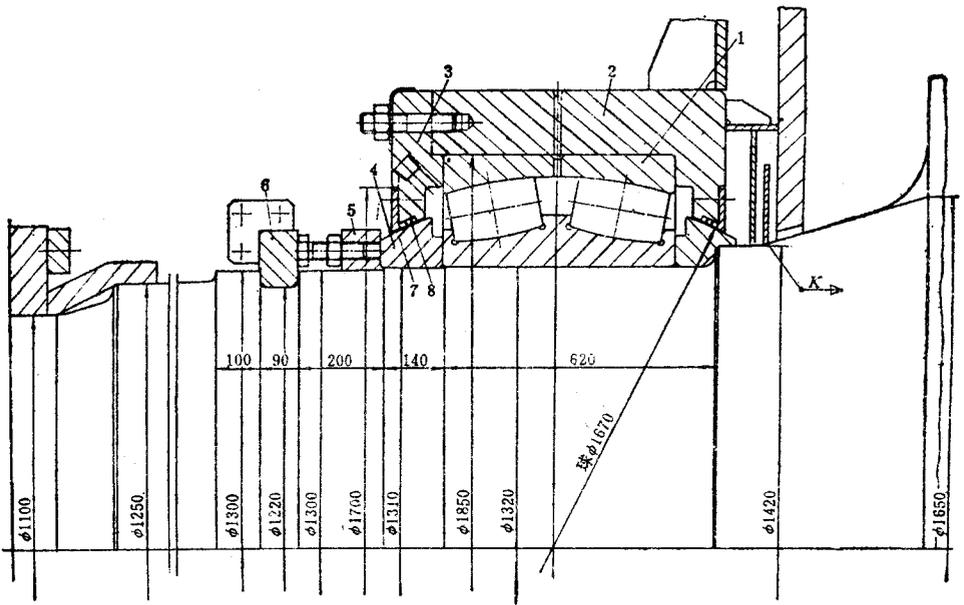


图 2-1-15 300t 转炉耳轴承装置

- 1—调心自位轴承 2—剖分式轴承座 3—球面密封端盖 4—球面压紧环；
5—调节环 6—调节环顶圈 7—密封圈挡环 8—密封填料

调节环 5 上均布 12 个 M42 的螺钉孔，拧入的螺钉借调节环顶圈 6 和背紧螺母将环 4 顶在轴承内环上。当需要顶紧时，拧松防松螺母使螺钉从调节环 5 中退出并顶在顶圈 6 上，实现压紧。调节环顶圈 6 是剖分的二半圆，安装时，卡套在轴上凹槽内，外面由一断面为“U”字形的夹紧套通过螺钉将顶圈固紧。

为了防止渣、尘进入轴承，除在轴承座上面罩有防尘罩外，在轴承座内侧（靠近炉体侧）还装有三层防尘板。其中内、外两层固定在轴承座上，中间一层焊死在耳轴上，构成“迷宫式”防尘结构，以提高防尘效果。

这种支承结构在托圈及耳轴受热膨胀时，没有轴向阻力。因此，轴承座不存在轴向倾翻力矩。轴承密封结构调节性能好，密封可靠，特别适用于耳轴歪斜偏角大的大型转炉。上述结构在国内中小型转炉上也已有使用。

（三）轴承装置的其它结构型式

1. 复合式滚动轴承 其耳轴主轴承仍采用双列向心球面滚子轴承，以适应耳轴和托圈的挠曲变形。如图 2-1-16 所示为用于游动侧的可以轴向移动的滚动轴承结构，耳轴轴承座底部通过两列滚柱轴承支承在轴承下部“V”型槽内，这样既能使耳轴轴承作轴向移动时变为滚动摩擦，而其 V 形槽结构又能抵抗轴承所承受的横向力。

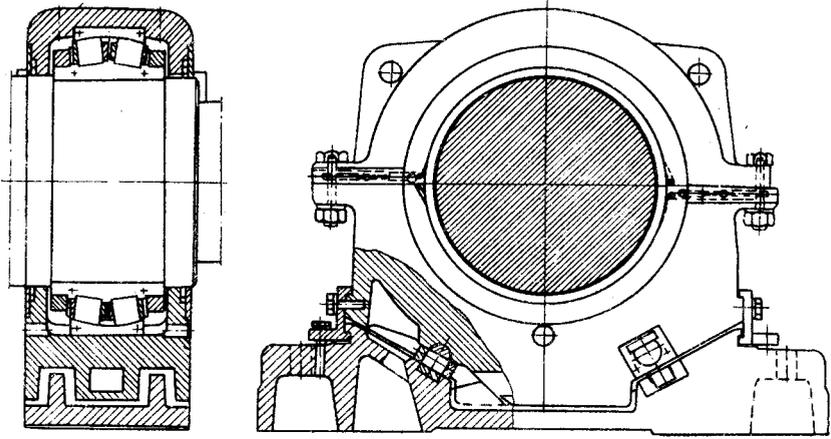


图 2-1-16 复合式滚动轴承装置

2. 液压静压轴承 静压轴承的工作原理是在轴与轴承间通入约 $34\text{N}/\text{mm}^2$ 的高压油,在低速、重载情况下仍可使耳轴与轴承衬间形成一层极薄的油膜。其优点是无起动摩擦力,运转阻力很低,油膜能吸收冲击起减振作用,具有良好耐热性以及广泛的速度与负荷范围。其缺点是需增加一套高压供油设备。这种轴承在国外转炉上已有应用。

三、耳轴轴承的润滑和水冷耳轴

由于耳轴轴承经常处于高温、多尘条件下工作,因此,要求轴承有良好的密封性和润滑性能,并能使钻入的渣尘被润滑油带走。

轴承润滑有干油润滑和稀油润滑两种方式,干油润滑常用润滑脂,如我国 120t 转炉使用 3 号锂基脂与 2% ~ 3% 的二硫化钼的混合润滑基。稀油润滑采用稀油自动润滑系统来润滑耳轴轴承,润滑还可起冷却剂作用,并能把一部分渣尘带走。

水冷耳轴装置由于通水能有效防止耳轴轴承过热,即从耳轴通入循环水进行冷却,其冷却水回路与水冷炉口相通。

第二章 转炉倾动机构

第一节 转炉倾动机构的设计原则及参数

一、转炉倾动机构的设计原则

1) 转炉倾动机构应满足转炉工艺操作的要求。能使炉体连续正反转 360° ,并能平稳而准确地停止在任意角度的位置上 ,以满足兑铁水、装料、取样、测温、出钢、出渣以反返回等工艺操作要求。此外还要与吹氧管、烟罩提升机构等操作保持一定的联锁关系。以免误操作。

2) 机构操作要灵活。转炉在吹炼过程中一般应具有两种以上倾动速度。转炉在出钢、出渣、测温取样时 ,要求平稳缓慢地倾动 ,以避免钢渣猛烈冲击而发生炉液严重喷溅和溢出。当转炉大幅度倾转时 ,则应采用较快速度 ,以节约辅助时间 ,缩短冶炼周期。

3) 倾动机构必须安全可靠。由于转炉工作对象是高温的液体金属 ,因此在生产过程中 ,应避免传动机构的任何环节发生故障。即使某一部分发生故障 ,也要求传动系统具有备用能力 ,能继续进行工作 ,直到本炉冶炼结束。

4) 倾动机构能适应载荷的变化和结构的变形。当托圈产生挠曲变形而引起耳轴轴线偏斜时 ,仍能保持各传动齿轮副的正常啮合。同时要使机构具有减缓动载荷和冲击载荷的性能。

5) 要求结构紧凑、占地面积少、效率高、维修方便等。

二、转炉倾动机构的基本设计参数

转炉倾动机构的基本设计参数有载荷参数——倾动力矩和速度参数——倾动速度。

倾动机构的载荷特点是大扭矩。转炉炉体自重很大,连同炉液一起,整个转炉倾动部分的重量达百吨,最大可达二千吨。要使这样大的重量倾转,就必须在转炉耳轴上施加几百以至几千千牛·米的力矩。此外,转炉在操作中需进行频繁的倾动,因此倾动机构的工作属于“启动工作制”。机构中除承受基本静载荷外,还要承受由于启动、制动引起的动载荷。并且由于机构传动链中存有较大的啮合间隙,当进行刮炉口渣等操作时,使机构承受较大的动载冲击,其数值为静载荷的两倍以上。因此倾动机构经常处于过载状态下工作,故进行设计计算载荷时必须考虑这些因素。

倾动机构的速度特点是低转速。转炉的转速一般为 $0.1 \sim 1.5 \text{r/min}$ 。因此使倾动机构的减速比很大,通常约为 $800 \sim 1000$ 以上。为了使操作灵活,50t 以上转炉都应有两种以上的倾动速度。一般慢速为 $0.1 \sim 0.3 \text{r/min}$,快速为 $0.7 \sim 1.5 \text{r/min}$ 。30t 以下的转炉可只采用一种速度,通常为 $0.7 \sim 1.5 \text{r/min}$ 。其慢速是靠多次“点动”(即电动机启动后还未达到稳定速度就进行制动)来实现的。

第二节 转炉倾动机构的布置形式

转炉倾动机构的总体配置要紧凑,应避免使高大的转炉跨间柱距加大,增加土建困难,同时也要把传功装置配置得低于操作平台,使转炉操作具有良好的环境。为了能适应耳轴的偏斜,倾动机构出现了一些不同的布置形式,可归纳为落地式、半悬挂式和全悬挂式三种。

一、落地式

落地式是转炉倾动机构最早采用的一种布置形式。在容量不大的转炉上,它的倾动机构除末级大齿轮外,其余都安装在地基上,而末级大齿轮装在托圈耳轴上,大齿轮与安装在地面上的传动装置的小齿轮相啮合。这种布置形式的主要问题是当托圈挠曲变形严重而引起耳轴轴线发生较大偏斜时,末级齿轮副的正常啮合关系被破坏,造成轮齿上的载荷集中,往往导致齿轮的严重磨损和小齿轮轮齿的折断或传动装置的其它事故。图

2-2-1 表示了托圈挠曲后大小齿轮啮合的情况。为了改善上述情况可采用如图 2-2-2 所示的形式,即把末级大齿轮和其它传动装置一起安装在地基上,通过万向联轴器或弧型齿式联轴器与耳轴联接。这种布置形式允许耳轴有一定的偏斜而不影响传动装置的正常工作。落地式的布置可使机构结构简单,对小转炉来说,只要托圈刚性较好,是有其可取之处的。但对大、中型转炉来说,由于它有一个尺寸和重量均很大的低速级联轴器,所以存在着占地面积较大的缺点,即使转炉跨间建筑面积加大,增加基建投资,而且设备重量较大。例如,我国 150t 转炉用的低速级齿式联轴器的外圆直径为 2m 以上,重达 17t。另外,现有落地式的结构,还没有满意地解决由于启动、制动或操作中所引起的动载荷的缓冲问题。

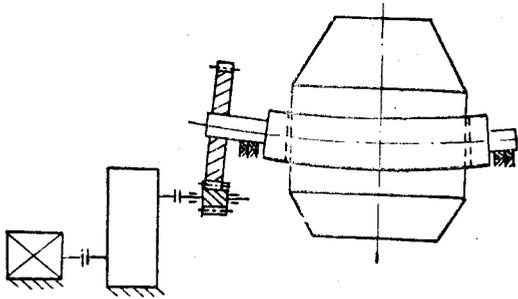


图 2-2-1 托圈挠曲变形后,大小齿轮啮合情况示意图

二、半悬挂式

半悬挂式是在落地式基础上发展起来的。其特点是把末级大、小齿轮通过减速器箱体悬挂在转炉耳轴上,而其它传动部分仍安装在地基上。悬挂减速器的小齿轮通过万向联轴器或齿式联轴器与主减速器联接,如图 2-2-3 所示。

半悬挂式结构上的新问题是悬挂减速器必须设置抗扭转装置。由于悬挂减速器悬挂在耳轴上,所以当倾动机构工作时,外力矩会使悬挂减速器产生一个绕耳轴回转的力矩,如图 2-2-4 所示。若把悬挂箱体作为分离体来看,由小齿轮轴输入的力矩为 M_1 ,炉体给耳轴的反力矩为 M_2 ,则整个悬挂减速器的回转力矩为 M_c (其方向如图示)。若考虑动载荷的作用则:

$$M_c = K(M_1 + M_2)$$

式中 K ——动力系数,其值决定于抗扭装置的结构。

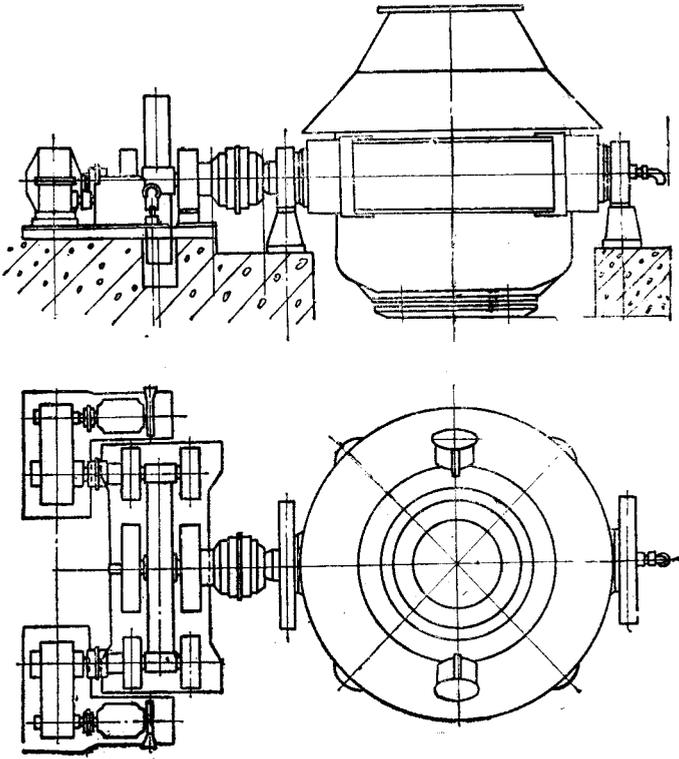


图 2-2-2 某厂 150t 转炉倾动机构示意图

| | |
|------|------------------------------------|
| 公称容量 | 150t |
| 倾动速度 | $0.3 \sim 0.65 \text{r/min}$ |
| 静力矩 | $3340 \text{kN} \cdot \text{m}$ |
| 电动机 | 直流两台, $N = 2 \times 100 \text{kW}$ |
| 总传动比 | $i = 734.8$ |
| 特点 | 落地式圆柱齿轮传动、双驱动、低速级带齿式联轴器 |

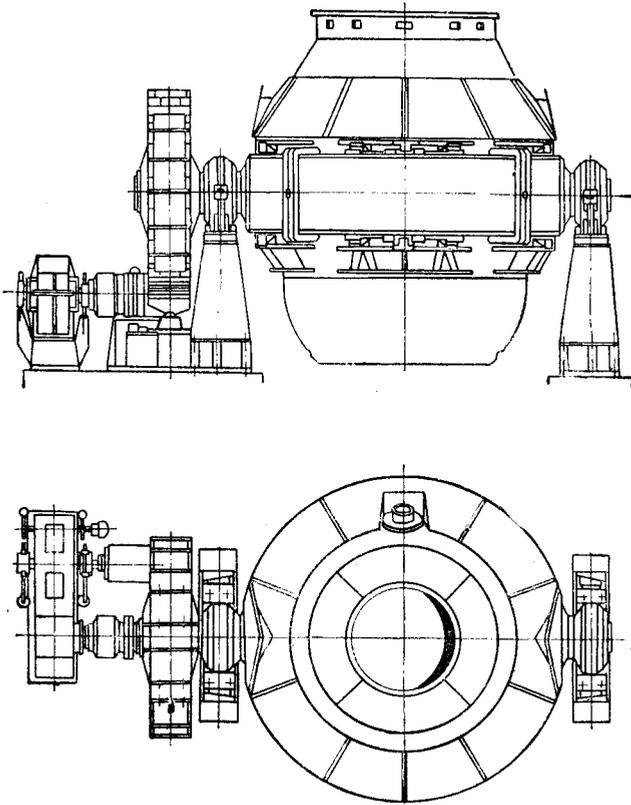


图 2-2-3 我国某厂 50t 转炉倾动机构示意图

| | |
|------|---|
| 公称容量 | 50t |
| 倾动速度 | 0.1 0.9 1.0 1.1 (r/min) 四种速度 |
| 静力矩 | 1040kN·m |
| 电动机 | 交流两台 :快速 $N = 125\text{kW}$ 慢速 $N = 11\text{kW}$ |
| 总传动比 | 快速 $i = 580$ 慢速 $i = 9200$ |

特点 :半悬挂式、交流-行星差动减速器调速、浮点铰链防扭装置

因此,为了防止悬挂减速器在回转力矩 M_c 作用下绕耳轴回转,必须在其上增设抗扭装置。抗扭装置的结构型式将在本章第三节中讨论。

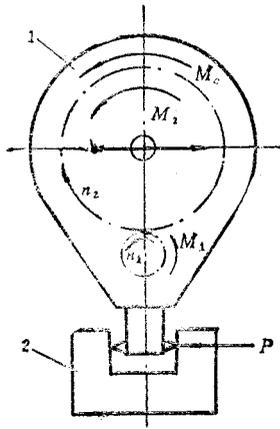


图 2-2-4 悬挂减速器受力示意图

1—悬挂减速器 2—力矩支承座

半悬挂式装置由于末级大、小齿轮均通过悬挂减速器悬挂在耳轴上,所以耳轴轴线的偏斜并不影响它们之间的正常啮合。而且不需要末级笨重的联轴器,因此其设备重量和占地面积均比落地式有所减少。但一般的半悬挂装置仍需在悬挂减速器和主减速器之间用万向接轴或齿式联轴器联接,占地面积仍然比较大。

悬挂减速器箱体一般为钢板焊接结构,这样可以降低设备重量,减轻耳轴负荷,但仍需注意加强箱体的刚性。一般可在箱体轴承座所在中间部分采用双腹板的箱形结构来增强刚性。

三、全悬挂式

全悬挂式的特点是,整套传动装置全部挂在耳轴外伸端上。为了减少传动系统的尺寸和重量并使其工作安全可靠,目前大型全悬挂式转炉倾动机构均采用多点啮合柔性支承传动。即在末级传动中是由数个各自带有传动机构的小齿轮驱动同一末级大齿轮,而整个悬挂减速器用两端铰接的两根立杆通过曲柄与水平扭力杆连接而支承在基础上。

全悬挂多点啮合柔性传动倾动机构的优点是:结构紧凑、重量轻、占地面积少、运转安全可靠、工作性能好。其多点啮合一般为 2~4 点,有的多达 12 点以上,这样可充分发挥大齿轮的作用,使单齿传动力减少 $1/2 \sim 1/12$ 。以八点啮合为例,末级齿轮副的中心距可减少近一半,重量可减轻近 $3/4$ 。多点啮合由于采用两套以上传动装置,所以当其中 1~2 套损坏时,仍可维持操作,即事故状态下处理能力强、安全性好。全悬挂结构由于整套传动装置都挂在耳轴上,托圈的挠曲变形不会影响齿轮副的正常啮合。而低速级的大型齿式联轴器或万向联轴器的取消,使传动间隙大为减少。同时由于柔性抗扭缓冲装置

的采用,使传动过程中机构所受力矩逐渐增加或减少,传动平稳,有效地降低机构的动载荷和冲击力。

图 2-2-5 是我国某厂 300t 大型转炉倾动机构简图。它属于全悬挂四点啮合的配置型式。悬挂减速器 1 悬挂在耳轴外伸端上,与末级大齿轮同时啮合的四个小齿轮轴端的初级减速器 2、制动器 6 和直流电动机 7 联接。初级减速器 2 通过箱体上的法兰用螺钉固定在悬挂减速器箱体上。制动器和电动机则支承在悬挂箱体撑出的支架上。这样整套传动机构通过悬挂减速器箱体悬挂在耳轴上。为了防止悬挂在耳轴上的传动机构绕耳轴旋转,悬挂减速器箱体通过与之铰接的两根立杆与水平扭力杆柔性抗扭缓冲装置连接。当缓冲装置过载时,可将悬挂减速器箱体直接支承在地基或制动装置 3 上,这样可避免翻倒或逆转等事故,增加传动装置的安全可靠性。这种布置形式结构简单、安装、维护方便,可在大转炉上推广使用。

图 2-2-6 是国外某厂 350t 转炉倾动机构装置。它采用双边驱动,每边各有六个电动机驱动。抗扭采用弹簧-液压缓冲装置。它的末级悬挂减速器 7 悬挂在耳轴上,末级传动中的六个小齿轮轴端又悬挂着六个初级减速器 4。为了防止减速器 4 旋转,在其输入轴中心线上装有带缓冲器 6 的支臂 5,通过支臂把初级减速器 4 支承在悬挂减速器 7 的箱体上。电动机和制动器装在初级减速器 4 的支承板上。这样,整套机构通过悬挂减速器箱体都悬挂在耳轴上。带缓冲器的抗扭装置 2 一端通过球铰与固定在悬挂减速器 7 的底座下面的横梁 3 联接。另一端通过球铰与固定在基础上的支座 1 相联。

全悬挂式倾动机构和半悬挂式结构一样,除了要考虑采用性能好的抗扭缓冲装置外,还要考虑加强悬挂减速器箱体的刚度,避免由于箱体刚性不足而影响机构的正常工作。此外全悬挂结构必然会增加转炉耳轴和耳轴轴承的负荷。通常半悬挂式转炉的耳轴轴承较同容量落地式耳轴轴承提高一级,而全悬挂式则要求提高两级。全悬挂式结构缺点是由于啮合点增加结构较为复杂,加工和调整要求较高。

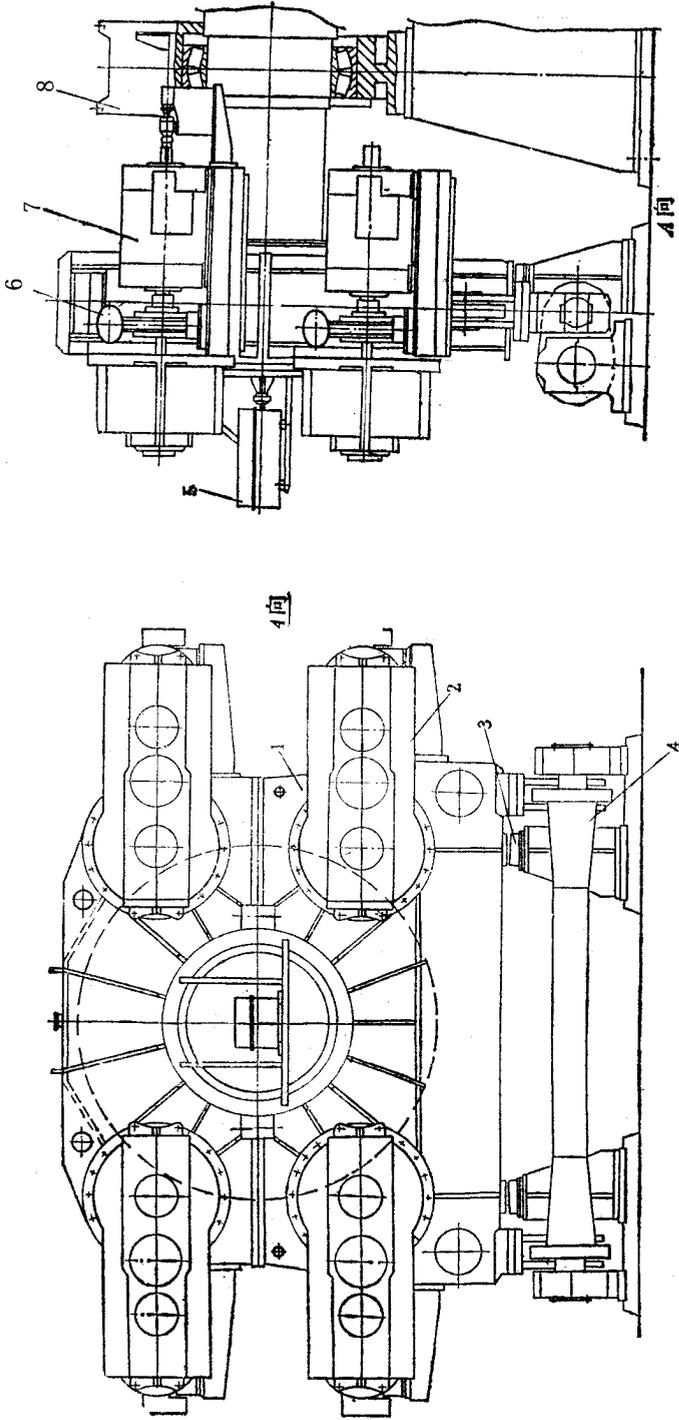


图 2-2-5 某厂 300t 转炉倾动机构示意图

1—悬挂减速器；2—初级制动器装置；3—紧急制动器装置；4—扭力杆装置；5—极限开关；
6—电磁制动器；7—直流电动机；8—耳轴轴承

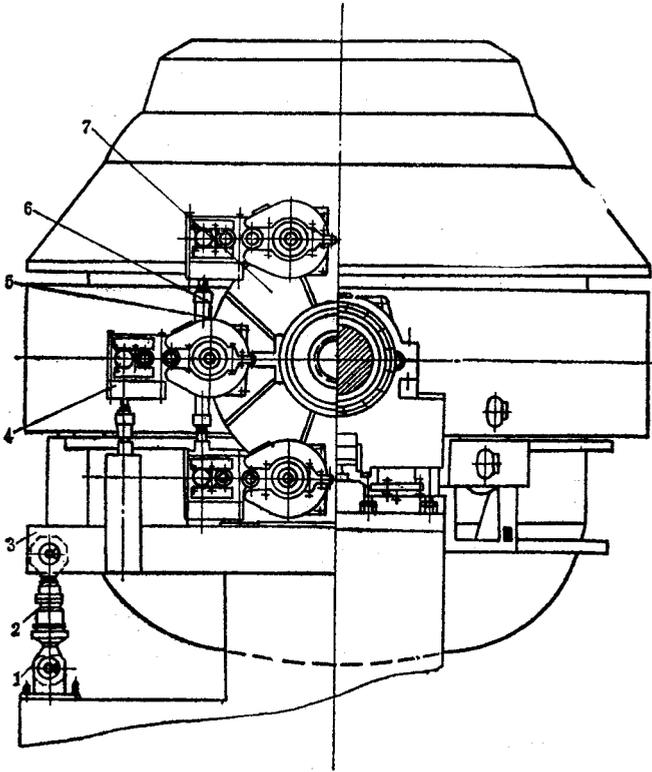


图 2-2-6 国外某厂 350t 转炉双边六驱动倾动机构

1—支座 2—抗扭缓冲装置 3—横梁 4—初级减速器；
5—支臂 6—缓冲器 7—悬挂减速器

第三节 转炉倾动机构的驱动和传动

转炉倾动机构有电动和液压两种驱动方式。液压驱动曾在容量不大的转炉上作过试验。通常的方式是通过液压缸带动齿条-齿轮使转炉倾动。也有采用曲柄-液压缸使转炉倾动的。还有一种是直接采用低速-大扭矩的液压马达代替电动机、制动器以及初级减速器,而只保留末级齿轮传动。由于液压驱动不怕过载、阻塞、运动平稳、缓冲性能好,能实现大传动比、可进行无级调速,而且占地面积小、安全可靠,故应用在转炉倾动机构上是比较理想的。但液压元件制造精度要求高、维护工作量大、辅助设备投资,保养

费高。所以目前液压驱动还没有在转炉倾动机构上得到广泛应用。

目前广泛使用的转炉倾动机构是电动机 - 齿轮传动方式。

一、倾动机构的传动方式

目前广泛采用的倾动机构传动方式有圆柱齿轮传动(包括全悬挂多点啮合的传动在内)和行星减速器装置。在速比大的情况下,行星减速器较一般圆柱齿轮减速器具有体积小、重量轻、效率高等优点。如 120t 转炉倾动机构,若其高速级和低速级减速器均采用行星齿轮传动,则较采用普通圆柱齿轮减速器的同容量的倾动机构的总重量减轻 90t。而目前较普遍的是利用行星差动轮系和交流电动机配合使倾动机构具有不同的倾动速度。行星齿轮传动的主要问题是制造精度、装配及维修技术要求较高。

二、转炉倾动机构的调速方案

为了适应转炉快速和慢速倾动的要求,目前广泛采用直流电动机或交流电动机 - 行星差动轮系两种方式进行调速。

1. 直流电动机调速方案 转炉倾动机构采用直流电动机配合简单的圆柱齿轮传动,即可实现连续调速,且直流电动机过载能力强、加速和减速过程稳定,操作方便、安全可靠。但直流电动机系统的电气设备较为复杂,所需投资较高。

2. 交流电动机 - 行星差动减速器的变速方案 这种变速方案的倾动机构见图 2-2-3。它是一种机械和电气相结合的变速方案。倾动机构由大、小两个交流电动机驱动,其高速级减速器内设有行星差动轮系。其传动原理见图 2-2-7。快速电动机直接与中心轮 a 联接,而带内外齿的齿圈 c 通过外齿及与之啮合的齿轮与慢速电动机相接。当电动机和行星差动轮系按不同方式运转时,可使转架 H 得到四种不同的输出速度。如图 2-2-3 所示的 50t 转炉的四种倾动速度为: $1\text{r}/\text{min}$ 、 $0.1\text{r}/\text{min}$ 、 $1.1\text{r}/\text{min}$ 和 $0.9\text{r}/\text{min}$ 。

这种方案与直流电动机驱动方案比较,在电动机总容量相同的情况下,交流驱动的电器设备容量可减少到直流驱动的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$,电气和机械设备的重量也大为减轻,投资可节约 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 。这种方案目前多用于中小型转炉的倾动机构中。

此外,国外也有在转炉倾动机构中采用交直流混合 - 行星差动轮系传动的方案。如曾在 250t 转炉上用 160kW 的交流电动机驱动,使转炉作 $1\text{r}/\text{min}$ 的快速倾动。而慢速采用 46kW 的直流电动机驱动,可获得 $0.1 \sim 0.01\text{r}/\text{min}$ 的倾动速度。

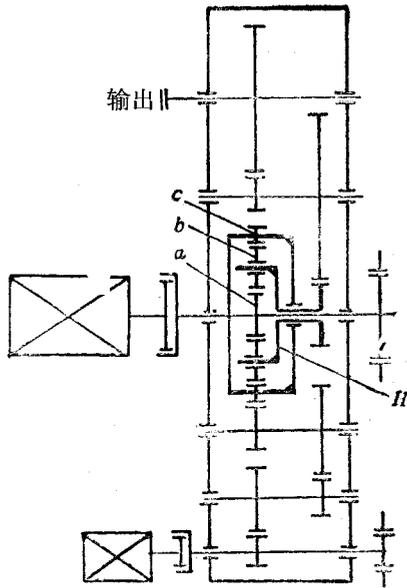


图 2-2-7 某厂 50t 转炉倾动机构的行星差动齿轮减速器示意图

a—中心轮 ;*b*—行星轮 ;*c*—带内外齿的齿圈 ;*H*—转架

若在小转炉上采用一台交流电动机实现快速、慢速的倾动要求 ,只能采用多次点动的方式。但这样启动、制动过于频繁 ,而使倾动机构的电器和机械设备都承受着严重尖峰载荷的冲击 ,并容易造成接触器触点和制动器电磁线圈烧坏 ,使电气系统故障增加 ,影响生产正常进行。因此 ,这种方式不宜在较大的转炉上采用。

三、单驱动、多驱动和双边驱动

早期小容量转炉的倾动机构曾采用过单驱动——即由一台电动机驱动。为了保证转炉倾动机构工作时具有最大程度的安全可靠 ,较大容量的转炉均采用双驱动——由两台电动机同时驱动。从安全角度来看仅有电动机的备用能力是不够的 ,为了防止传动件和轴承等零件损坏 ,通常还采用两套或两套以上的机械传动装置。图 2-2-2 的 150t 转炉即为落地式双驱动倾动机构。大型转炉还采用多点啮合 ,即多电机驱动。通常有 4 驱动、6 驱动和 8 驱动 ,甚至 12 驱动。多驱动机动性强 ,有共用备品和备用能力强。至于驱动数目多少 ,要视炉子容量而定。若从结构配置的角度来看 ,200 ~ 300t 级的转炉 ,其倾动机构采用四驱动较为合适。

为了进一步减小传动装置中大零件的尺寸 ,更合理地利用托圈部件的传动能力 ,提高机构的安全可靠性 ,有的倾动机构还采用双边驱动。即由两端耳轴同时输入传动力

矩。如图 2-2-6 所示的 350t 转炉倾动机构为全悬挂双边六驱动。显然,双边驱动占地面积大、减少转炉作业面积,给操作环境带来不利的影晌。

四、抗扭缓冲装置

1. 抗扭装置的作用 对于悬挂式倾动机构,为了防止悬挂在耳轴上的传动装置绕耳轴旋转,必须设有抗扭转装置,通过抗扭装置将传动装置的反力矩传递到基础上。对于一个好的抗扭装置来说应满足下列要求:

- 1) 必须适应由于耳轴倾斜而造成传动装置发生的位移。
- 2) 抗扭装置工作时,不使耳轴承受附加载荷。
- 3) 具有良好的缓冲性能,能降低传动件上的动载尖峰值。
- 4) 结构简单、紧凑、便于维修。

2. 抗扭装置的类型

(1) 浮点铰链抗扭装置 图 2-2-8 为某厂 50t 转炉所采用的浮点铰链抗扭装置。悬挂减速器的下轴承座和抗扭枢轴铸成一体。枢轴上装配着球轴承箱,轴承箱嵌入抗扭支座的导向板间。导向板面镶有耐磨合金。球面轴承箱外侧与导板之间有一定间隙。这种防扭装置由于没有缓冲元件,所以在动载荷作用下,支座螺栓经常被剪断。为改善支座螺钉的受力状态,可在抗扭支座底部设固定方销来承受剪力,也有在导板面上加上橡胶垫块,以增加其缓冲性能。

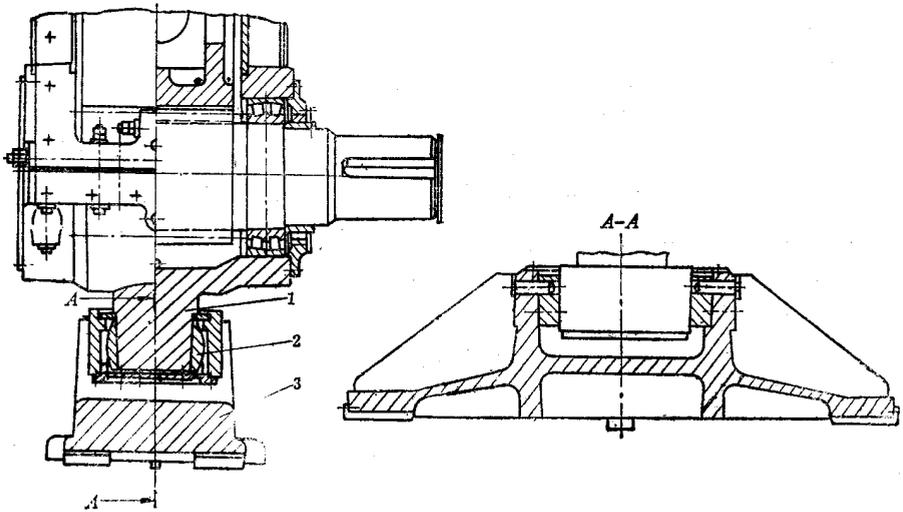


图 2-2-8 某厂 50t 转炉悬挂减速器的抗扭装置

1—抗扭枢轴 2—球轴承箱 3—抗扭支座

(2)双万向铰水平杆抗扭装置 其结构如图 2-2-9 所示,水平杆两端铰接于万向支座上,两支座则分别固定在地基上和悬挂减速器下部。水平杆通过端部螺纹与支座中水平放置的圆柱销 3 联接。水平圆柱销则装配于支座内垂直圆柱销的水平孔内,因此支座允许水平杆绕水平轴线和垂直轴线有一定摆动,这既能适应耳轴变形的要求,又能起抗扭作用。

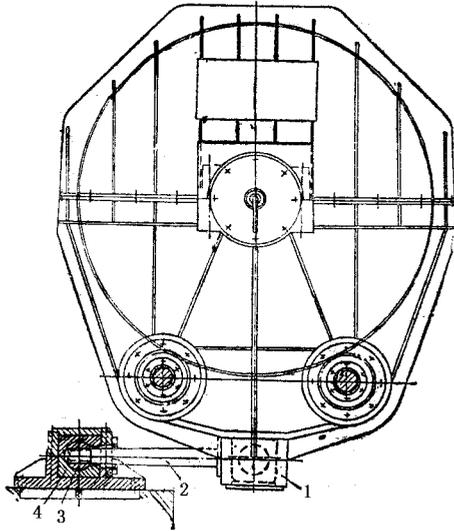


图 2-2-9 双万向铰水平杆抗扭装置

1—万向支座 2—水平杆 3—水平圆柱销 4—垂直圆柱销

上述两种抗扭装置,结构简单一般用于半悬挂减速器上。但这两种结构工作时都将使耳轴轴承受附加横向载荷,而且结构上没有缓冲元件,不能减缓机构的动载和冲击力。

(3)带弹簧(或弹簧与液压联合)缓冲器的抗扭装置 弹簧抗扭缓冲装置有水平和垂直两种型式。图 2-2-10 为国外某厂 150t 转炉采用的水平弹簧抗扭缓冲装置。在悬挂减速器底部抗扭枢轴的左、右侧,各设置三组六套碟形弹簧装置。它们分别装在两边托架 7 上,托架借助定位挡板 1、2、6 和斜楔 5 固定在底板上,然后把整套装置固定在基础上。由于以碟型弹簧作为弹性元件,故装置有较好的缓冲性能。我国某厂 15t 小转炉悬挂减速器就采用了类似上述的水平弹簧抗扭缓冲装置代替原来刚性的抗扭装置,通过测试表明这种装置对降低动载荷有显著效果。并使抗扭装置的地脚螺栓及基础的工作状况大为改善。

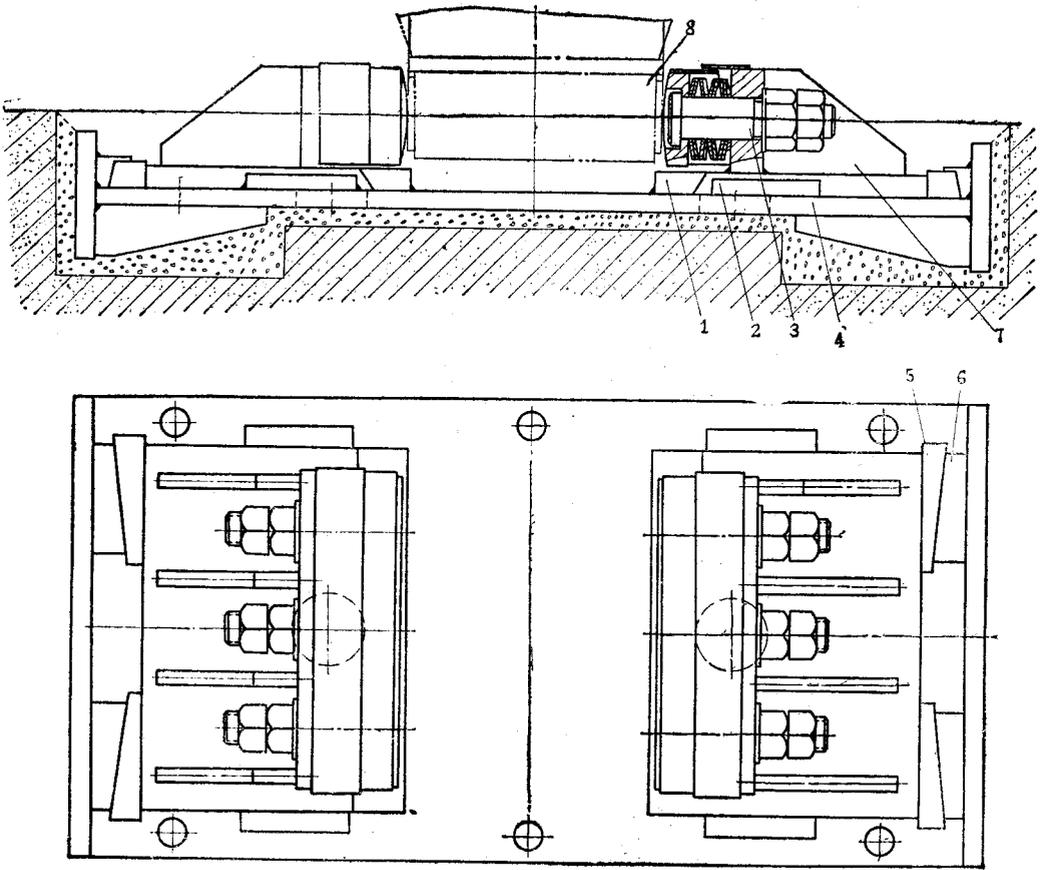


图 2-2-10 国外某厂 150t 转炉水平弹簧抗扭缓冲装置

1—定位挡板 2—侧面定位挡板 3—弹簧装置 4—底板；

5—斜楔 6—定位挡板 7—托架 8—转炉抗扭枢轴

带缓冲器的垂直杆抗扭装置。图 2-2-6 为国外某厂 350t 转炉倾动机构所采用的抗扭装置。其结构见图 2-2-11。抗扭装置的垂直杆 3 通过球铰一端与悬挂减速器底部悬臂横梁联接,另一端与支座联接。缓冲器包括双作用的弹簧缓冲和双作用的液压缸缓冲两部分。碟形弹簧 4 和导杆 5 组装在缓冲器外壳 6 内,垂直杆下部与液压缸 7 的活塞杆 8 联接。液压缸的上下腔经阀门分别与液压站的油箱联接。当缓冲器承受的载荷超过弹簧预紧力时,弹簧被压缩而吸收动能。并由液压缓冲器吸收冲击振动。这种装置较单独使用弹簧缓冲器的效果要好。通过测定表明,单独使用弹簧在缓冲过程中每次冲击都伴随着约有 6 次逐渐衰减的尖峰载荷。由于转炉倾动机构的频繁操作,所以容易使零件进入疲劳状态。这种结构工作时无论是水平或是垂直杆带缓冲器的抗扭装置,均会使耳轴和耳轴轴承承受附加载荷。

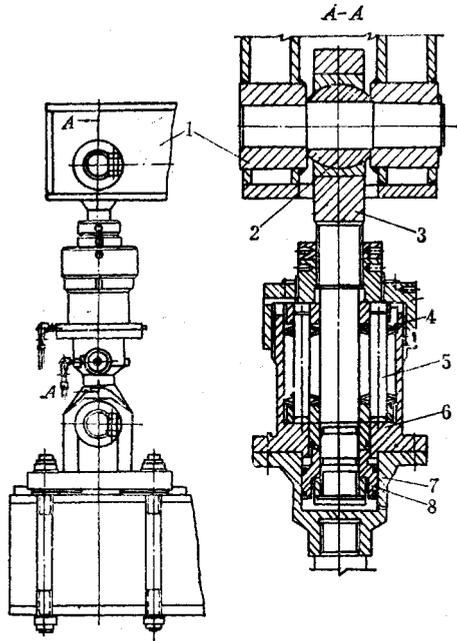


图 2-2-11 带缓冲器的垂直杆抗扭装置

- 1—悬臂横梁 2—球铰 3—垂直杆 4—碟形弹簧；
5—导杆 6—外壳 7—缓冲液压缸 8—活塞

(4) 扭力杆抗扭缓冲装置 这种装置是一种性能较好的柔性抗扭缓冲装置。属于这种结构型式的有单扭力杆、双扭力杆、拉压杆等。它的缓冲原理是利用细长的扭转杆(或拉压杆)的弹性变形来吸收能量。即把外力矩转变为扭力杆的扭转内力矩(或拉、压杆的拉压内力)。这样可使传动力矩逐渐增加或减少,从而起缓冲作用。目前很多大转炉的倾动机构均采用水平扭力杆的抗扭缓冲装置。其结构原理见图 2-2-12。悬挂减速器两侧分别与两根立杆铰接,立杆的另一端与曲柄铰接。而曲柄用键装在水平扭力杆上,扭力杆通过轴承支承在基础的支座上。倾动机构工作时,传动装置两侧立杆一个向下压,一个向上拉,使水平扭力杆承受扭矩。这种结构的显著优点是,通过水平扭力杆和两个立杆加在倾动机构的悬挂减速器上的一个力偶矩来防止其转动,因而不会在耳轴上造成附加载荷。而其它型式的抗扭装置通常是靠一个单力来防止转动,这就必然会在耳轴上造成附加载荷。此外,立杆两端均用铰链联接,当耳轴产生挠曲变形时,悬挂减速器箱体可作相应的空间位移,而不影响齿轮副的正确啮合。

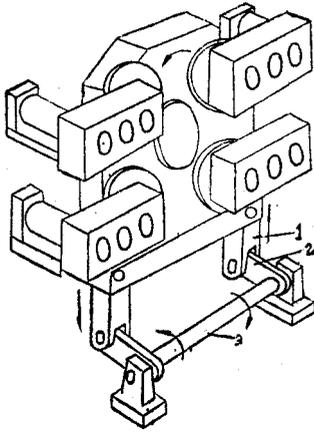


图 2-2-12 水平扭力杆抗扭缓冲装置示意图

1—立杆 2—曲柄 3—水平扭力杆

为了防止扭力杆受力过大而断裂,倾动机构还设有紧急制动装置(见图 2-2-5 所示的刚性紧急制动装置 3)。它由上、下楔块组成。上楔块装在悬挂减速器底部,下楔块装在支座上。当水平扭力杆受到超过正常允许的扭转力矩时,两楔块间隙就会消除,悬挂减速器箱体就通过楔块直接支承在支座上。这样既对扭力杆起安全保护作用,又可避免悬挂减速器箱体翻倒或逆转等事故。

这种扭力杆抗扭装置主要是靠扭力杆的扭转弹性起缓冲作用,故扭力杆断面尺寸是一个关键性的设计参数,如果设计得当,其工作情况较弹簧缓冲器好。

第三章 转炉倾动力矩和转动惯量计算

第一节 概 述

倾动力矩是转炉倾动机构设计的重要参数,计算它的目的是:确定额定倾动力矩值,作为倾动机构设计的依据;确定转炉最佳的耳轴位置。

转炉倾动力矩由三部分组成:

$$M = M_k + M_y + M_m \quad (2-3-1)$$

式中 M_k ——空炉力矩(由炉壳和炉衬重量引起的静阻力矩),空炉的重心与耳轴中心的距离是不变的,在倾动过程中,空炉力矩 M_k 与倾动角度 α 存在正弦函数关系;

M_y ——炉液力矩(炉内液体(包括铁水和渣)引起的静力矩),在倾动过程中,炉液的重心位置是变化的,出钢时其重量也发生变化,均随倾动角度 α 的变化而变化,故 M_y 和倾动角度也作在函数关系;

M_m ——转炉耳轴上的摩擦力矩,在出钢过程中其值也有变化,但其值较小,为了计算简便,在倾动过程中可视为常量。

在计算倾动力矩的同时,为了进行倾动机构动力学分析和计算,还需计算转炉的转动惯量。转炉对耳轴的转动惯量由两部分组成:

$$J = J_k + J_y \quad (2-3-2)$$

式中 J_k ——空炉对耳轴的转动惯量,不随倾动角度变化;

J_y ——炉液对耳轴的转动惯量,由于炉液重心和重量都随倾动角度而变化,所以其转动惯量也随倾动角度而变化。

从上面的分析可以看出,转炉倾动力矩和转动惯量主要和三个方面的因素有关:转炉的炉型、自重和容量,倾动角度,耳轴的位置。

转炉倾动力矩和转动惯量的计算步骤:

- 1) 预先选择一个参考的耳轴位置;
- 2) 新、老炉炉型的空炉重量、重心和空炉力矩的计算;
- 3) 新、老炉炉型在不同倾动角度下(每隔 5° 或 100°)的炉液重量、重心和炉液力矩的计算;
- 4) 新、老炉炉型摩擦力矩的计算及新、老炉在不同角度下的合成倾动力矩计算;
- 5) 确定最佳耳轴位置;
- 6) 按最佳耳轴位置,重新计算新、老炉炉型的空炉力矩和空炉的转动惯量,新、老炉随倾动角度变化的炉液重心位置、炉液力矩和炉液转动惯量,新、老炉合成的倾动力矩和转动惯量。并划出随倾动角度变化的倾动力矩曲线和转动惯量曲线。

第二节 空炉力矩和空炉转动惯量的计算

空炉力矩是转炉倾动力矩的重要组成部分,并且在计算最佳耳轴位置时,它起着关键性的作用。空炉转动惯量则是影响倾动机构动载力矩的重要因素,因此必须进行计算。

一、空炉重量、重心和转动惯量的计算

由于炉壳和炉衬的比重不同,新炉和老炉的炉型也不同,因此应分别计算炉壳、新炉炉衬和老炉炉衬的重量、重心和转动惯量,然后分别进行合成。

空炉炉衬及铁渣溶液等各种材料的密度可按表 2-3-1 选取。

表 2-3-1 转炉计算时各种材料的密度

| 材料名称 | 铸 铁 | 铸 钢 | 钢 材 | 焦 油 白云石 (工作层) | 镁 砂 (永久层) | 镁 砖 | 焦油镁砂 (填充层) | 高铝砖 | 铁 水 | 渣 | 水 |
|----------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 密度 (kg/m^3) | 7×10^3 | 7.8×10^3 | 7.85×10^3 | (2.8~ 2.9) $\times 10^3$ | (2.6~ 2.8) $\times 10^3$ | 2.8×10^3 | 2.6×10^3 | (2.1~ 2.4) $\times 10^3$ | 6.9×10^3 | 3×10^3 | 1×10^3 |

在计算空炉炉衬前,必须先确定好炉壳结构和炉型。新、老炉的炉壳是相同的,但炉衬则有新、老炉之分。一般设计施工图和砌砖图都提供了炉壳结构和新炉炉型的尺寸。转炉在吹炼过程中,其炉衬被钢、渣和炉气冲刷、浸蚀而变薄。这样的炉型称为老炉炉型。老炉炉型变化较大,对氧气顶吹转炉来说,一般炉墙浸蚀速度比炉底约快一倍,炉墙浸蚀最严重的部分在溶池面以上1~1.5m。计算结果表明,老炉倾动力矩对最大倾动力矩值影响较大。因此老炉的计算炉型应与炉役后期的真实炉型相接近,尽可能找出炉役后期正常生产条件下可能出现的实际最大倾动力矩值。一般老炉炉型可通过对类似转炉进行测量、分析然后确定。在没有实测数据的情况下,通常可考虑炉役后期炉墙工作层残余厚度为80~100mm。炉帽部位在倾动的两侧,尤其是偏放渣侧的炉衬,由于兑铁水、加废钢及放渣冲刷,浸蚀也很严重,但炉口附近由于水冷炉口影响而浸蚀较小。所以炉帽部位浸蚀后呈凹曲面,在放渣、出钢阶段,炉帽处积存较多的渣铁溶液,使最小倾动力矩值更偏小。所以计算老炉炉型时,炉帽部位最好按凹曲面考虑。

转炉形状比较复杂,各层密度也不同,但其大部分都是回转体,只有少数装在炉壳上的零部件是非回转体。由于它们多是对称布置,故可按其重量及配置尺寸近似简化为回转体。在计算空炉重量、重心、倾动力矩和转动惯量时,可将外形复杂、各层密度不同的转炉炉衬分解为若干个简单的均质回转体的和与差,分别进行计算后求和。

简单回转体包括圆柱体、圆台、球缺、球台……等。这些回转体和回转壳体的计算图形和公式,可参考有关手册资料。

复杂回转体可以分解为简单回转体,为了保证计算精度和简化计算,分解后进行合成,不但可以作加法,也可以作减法,通常是应用加法与减法相结合的方法。例15t转炉新炉炉衬,分解方式如图2-3-1所示,转炉水冷炉口中的水的分解方式如图2-3-2所示。

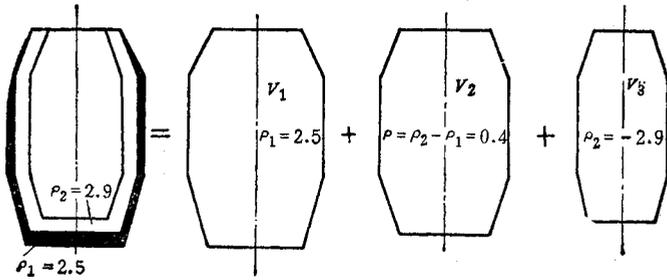


图 2-3-1 转炉新炉炉衬分解方式

ρ_1 —永久层的密度；

ρ_2 —工作层的密度；

V_1 —永久层所包围的体积(包括永久层在内)；

V_2 —工作层所包围的体积(包括工作层在内)；

V_3 —炉型内腔的体积

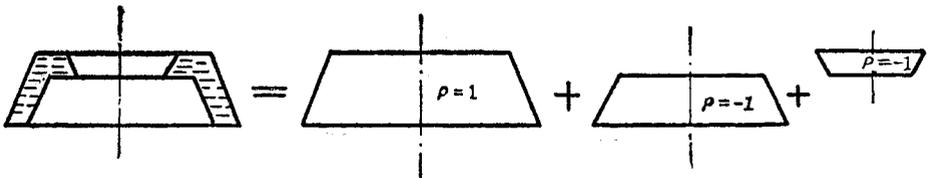


图 2-3-2 计算转炉水冷炉口中的水的分解方式

(-1 把“+”改成“-”)

计算炉壳、新炉炉衬的方法和计算老炉炉衬的重量、重心和转动惯量的方法基本一致。下面以新炉炉衬为例,介绍其计算原理和步骤:

1)首先按比例画出炉衬图,把它们划分成若干简单的几何体(图 2-3-3 所示),并列出每部分的尺寸。

2)计算各简单几何体的重量、重心和转动惯量(可参考有关手册的公式分别进行计算,用先分解,后合成的方法)。每一简单几何体的重心坐标值都应以炉体总坐标为标准。一般取炉体对称轴线为 z 轴, z 轴与炉壳底表面交点为原点 0,转炉倾动方向为 x 轴,与耳轴平行的方向为 y 轴,每一单元体的转动惯量都应该是对给定耳轴中心线的转动惯量。

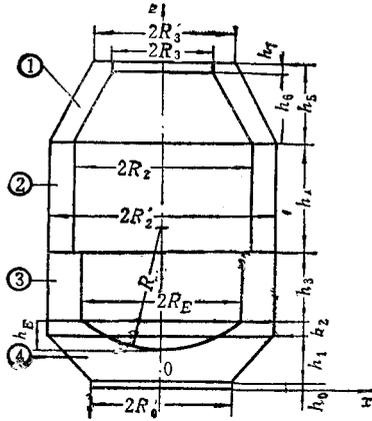


图 2-3-3 转炉新炉炉衬计算简图简单几何体①~④

3) 最后把各简单几何体的重量、重心和转动惯量进行合成, 其合成公式如下:

$$\left. \begin{aligned}
 G &= G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_i + \dots + G_n = \sum_{i=1}^n G_i \\
 \frac{G_1 z_1 + G_2 z_2 + G_3 z_3 + \dots + G_i z_i + \dots + G_n z_n}{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_i + \dots + G_n} &= \frac{\sum_{i=1}^n G_i z_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \\
 \frac{G_1 x_1 + G_2 x_2 + G_3 x_3 + \dots + G_i x_i + \dots + G_n x_n}{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_i + \dots + G_n} &= \frac{\sum_{i=1}^n G_i x_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \\
 J_c &= \sum_{i=1}^n J_{ci} \quad J_{ci} = J_{xi} + m_i h_i^2 (i = 1, 2, \dots, n)
 \end{aligned} \right\} (2-3-3)$$

式中 $G_1, G_2, \dots, G_i, \dots, G_n$ ——各简单几何体重量;

z_c, x_c ——合成重心的 z, x 坐标值;

$z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n$;

$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ ——各简单几何体重心的 z, x 坐标值;

G ——空炉炉衬的合成重量;

J_c ——空炉炉衬对给定耳轴中心线的合成转动惯量值;

J_{ci} ——各简单几何体对给定耳轴中心线的转动惯量值;

J_{xi} ——各简单几何体对其本身重心 x 轴的转动惯量;

m_i ——各简单几何体的质量；

h_i ——各简单几何体重心到耳轴的距离。

在分别计算完炉壳、新、老炉炉衬重量、重心和转动惯量之后，仍按公式(2-3-3)分别计算新、老炉的空炉合成重量、重心和转动惯量。

二、空炉力矩的计算(图 2-3-4)

空炉力矩除了和空炉重量、重心位置有关外，还与倾动角度有关。算出新、老炉的重量和重心位置后，可用下式分别算出不同倾动角度下的新、老炉的空炉力矩值。

$$M_k = G_k \cdot r_k \cdot \sin(\alpha + \varphi_k) \quad (2-3-4)$$

式中 G_k ——空炉重量(kN)；

r_k ——空炉重心 K 至给定耳轴中心 L 的距离(m)；

H ——预先给定耳轴中心 L 的 z 坐标值(m)；

φ_k —— r_k 与 z 轴线的夹角($^\circ$)， $\varphi_k = \text{tg}^{-1} \frac{x_k}{H - z_k}$ ；

z_k 、 x_k ——空炉合成重心的 z 、 x 的坐标值(m)；

α ——倾动角度($^\circ$)。

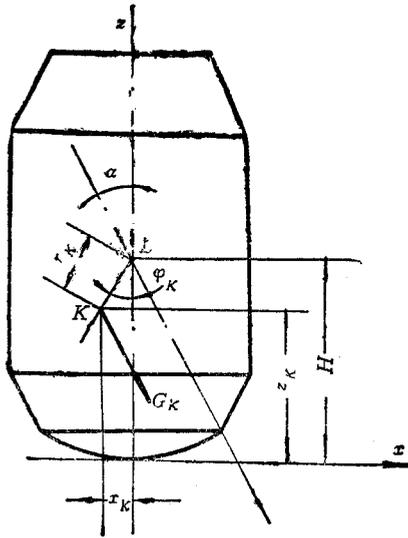


图 2-3-4 空炉力矩计算示意图

第三节 炉液力矩和炉液转动惯量的计算

炉液的体形和重心位置是随倾动角度而变化的,在出钢过程中其重量也随倾动角度而变化。为了求出转炉合成倾动力矩的最大值和最小值,就要分别算出各倾动角度下(一般每隔 5° 或 10°)的炉液重量、重心位置、炉液力矩和转动惯量。因此计算工作量很大,过去用解析法、图解法等进行手算,这既花费时间而且其计算精度也不高。借助电子计算机进行计算后,虽然有效地解决了这个问题,由于手算和电算的基本原理和计算公式相同,为此本节着重介绍应用高斯求积公式的数值计算方法,并以手算为例介绍其计算过程。

一、基本积分公式

欲计算任意倾动角度下的转炉炉液的倾动力矩和转动惯量,首先要计算各对应倾动角度的炉液体积和重心位置。转炉炉液的计算坐标按如下规定选取:以转炉对称轴线为 z 轴, z 轴与炉型内腔底面的交点为坐标原点 o , x 轴在转炉的倾动方向上,而 y 轴则与耳轴轴线方向平行,见图2-3-5。

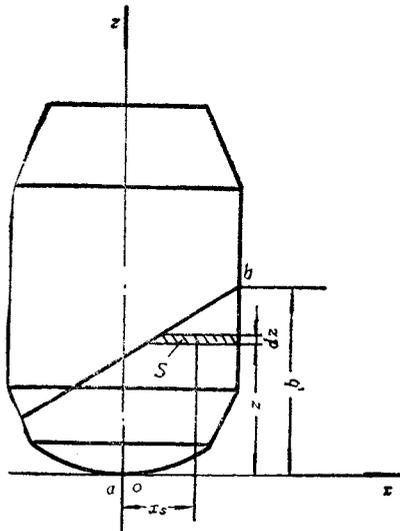


图 2-3-5 积分法求重心原理图

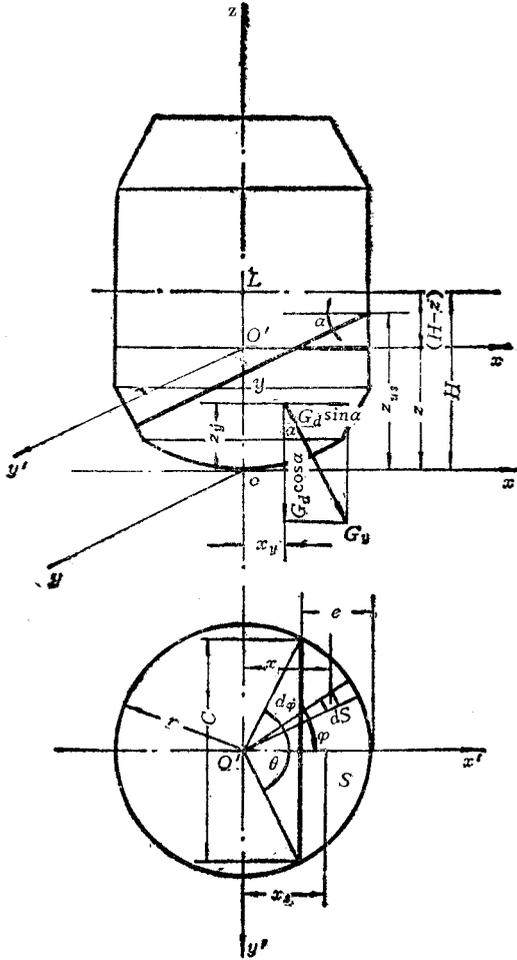


图 2-3-6 炉液力矩 M_Y 和炉液转动惯量计算图

设任意倾动角度为 α 度时, 炉液在 z 轴上的区间为 $[a, b]$ 在任意高度 z 处用一与 z 轴线垂直的平面切割炉液, 其截面为一弓形面积 S , 并取微量 dz 作为厚度, 构成炉液单元体 dV , 则可用积分公式计算出在该倾角下的炉液体积 V :

$$V = \int_V dV = \int_a^b S dz \quad (2-3-5)$$

用理论力学的重心计算公式, 即可算出炉液体积 V 的重心坐标 x_Y, z_Y :

$$x_Y = \frac{\int_V x_s dV}{\int_V dV} = \frac{\int_a^b x_s \cdot S dz}{V} \quad (2-3-6)$$

$$z_Y = \frac{\int_V z dV}{\int_V dV} = \frac{\int_a^b z \cdot S dz}{V} \quad (2-3-7)$$

式中 x_s, z 为单元体 dV 的重心坐标值。

求出 V, x_Y 和 z_Y 后就可进一步求出炉液重量 G_Y 及炉液的倾动力矩 M_Y 见图 2-3-6。

$$G_Y = \rho V \quad (2-3-8)$$

$$M_Y = G_Y [(H - z_Y) \sin \alpha - x_Y \cos \alpha] \quad (2-3-9)$$

式中 ρ ——炉液的密度；

H ——转炉耳轴的 z 轴向坐标值。

而炉液对耳轴的转动惯量：

$$\begin{aligned} J_Y &= \rho \int_V R^2 dV = \rho \int_V [x_s^2 + (H - z)^2] dV \\ &= \rho \left[\int_a^b \left(\int_s x_s^2 dS \right) dz + \int_a^b (H - z)^2 S dz \right] \end{aligned} \quad (2-3-10)$$

式中 R 为单元体 dV ($dV = dS \cdot dz$) 的质心到耳轴的距离。

在公式(2-3-5)(2-3-6)(2-3-7)(2-3-10)中, 截面积 S 、面积矩 $x_s \cdot S$ 和对

y' 轴的截面惯性矩 $J_s = \int_s x^2 dS$ 都是坐标变量 z 的函数, 即 $S = f_s(z)$ $x_s \cdot S = f_{xs}(z)$ J_s

$= \int_s x^2 dS = f_j(z)$ 。因此, 上述四个公式可分别用被积函数 $f_s(z)$ $f_{xs}(z)$ 及 $f_j(z)$ 来表示:

$$V = \int_a^b f_s(z) dz \quad (2-3-5)$$

$$x_Y = \frac{\int_a^b f_{xs}(z) dz}{V} \quad (2-3-6)$$

$$z_Y = \frac{\int_a^b z f_s(z) dz}{V} \quad (2-3-7)$$

$$J_Y = \rho \left[\int_a^b f_j(z) dz + \int_a^b (H - z)^2 \cdot f_s(z) dz \right] \quad (2-3-10)$$

显然, 只要求得各被积函数的定积分, 即可确定对应于任意转角 α 的 V, x_Y, z_Y 及 J_Y 的值。

二、被积函数的计算公式

为了使用电子计算机计算转炉炉液的重量、重心位置和转动惯量, 就必须计算上述

各定积分值,而且还要先导出各被积函数的具体计算公式。计算时,可将不同角度下的转炉炉液体积视为一个旋转体被一个平面斜截所得的立体(图 2-3-6),将垂直于旋转体轴线的切液面视为弓形截面或缺口为弓形的缺圆截面。弓形的几何特性易于解析求得,因而不难求得转炉炉液计算的被积函数的计算公式。

$f_s(z)$ ——弓形截面面积

$$S = f_s(z) = \frac{1}{2}(\theta - \sin\theta)r^2 \quad (2-3-11)$$

$f_{sx}(z)$ ——弓形截面对 $yo z$ 平面的面积矩

$$S \cdot x_s = f_{sx}(z) = \frac{2}{3}\sin^3 \frac{\theta}{2} r^3 \quad (2-3-12)$$

$f_f(z)$ ——弓形截面对 y' 轴的截面惯性矩

$$J_s = f_f(z) = \frac{1}{8}\left(\theta - \frac{1}{2}\sin 2\theta\right)r^4 \quad (2-3-13)$$

式中 r ——弓形截面的半径;

θ ——弓形截面的弦心角(锥角)

$$\theta = \pi - 2\arcsin\left(1 - \frac{e}{r}\right) \quad (2-3-14)$$

e ——弓形截面的弦高。

当弓形半径 $r = 1$ 时,上述被积函数的公式则为:

$$(S)_1 = f_{s1}(z) = \frac{1}{2}(\theta - \sin\theta) \quad (2-3-11)$$

$$(S \cdot x_s)_1 = f_{sx1}(z) = \frac{2}{3}\sin^3 \frac{\theta}{2} \quad (2-3-12)$$

$$(J_s)_1 = f_{f1}(z) = \frac{1}{8}\left(\theta - \frac{1}{2}\sin 2\theta\right) \quad (2-3-13)$$

被积函数计算公式中的 θ 、 r 、 e 都是随 z 坐标值而变化的,所以用电子计算机计算时还需列出 r 、 e 与 z 的函数关系式。

在电算中,为了使计算程序具有通用性,假设的计算炉型应以球缺为底,两个锥台为腰,一个锥台为口。这样,对平底、直筒腰或一个锥台为腰等,都可以作为特例,见图 2-3-7。计算炉液倾动力矩和转动惯量时,对计算炉型图必须给出的数据为:

R_0 ——球缺底的半径;

R_1 ——第一锥台底的半径;

R_2 ——第二锥台底的半径;

R_3 ——锥台口的半径;

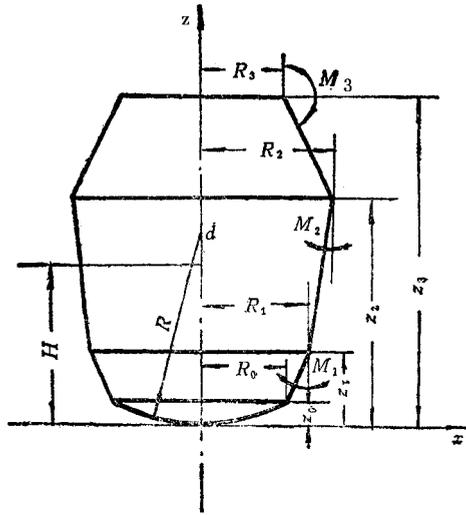


图 2-3-7 计算炉型图

- z_0 ——球缺高度；
- z_1 ——第一锥台底的 z 坐标；
- z_2 ——第二锥台底的 z 坐标；
- z_3 ——锥台口的 z 坐标；
- z_{us} ——液面最高点的 z 坐标；
- H ——耳轴位置的 z 坐标值。

球缺半径 R 不必给出,可由下列公式确定：

$$R = \frac{R_0^2 + z_0^2}{2z_0} \quad (z_0 = 0 \text{ 时 } ,R \text{ 取任意值})$$

弓形半径 r 和弦高 e 的计算见图 2-3-8。图中炉型区段分别用数码 0、1、2 和 3 分点标记。设 z_i 为液面线最高点坐标 z_{us} 所在区段的上限, z_i 中的 i 可以分别是数码 0、1、2 或 3。并设 z_j 为要计算截面的 z 坐标所在区段的上限, z_j 中的 j 也可以分别是数码 0、1、2 或 3。采用上述记号后,就可以根据图 2-3-8 导出各区段中计算截面的弓形半径 r 和弦高 e 的计算公式。

弓形半径 r 的计算公式

$$\left. \begin{aligned} r &= \sqrt{R^2 - (R - z)^2} && \text{当 } z \leq z_0 \text{ 时} \\ r &= R_{j-1} + (z - z_{j-1}) \operatorname{tg} M_j && \text{当 } z_{j-1} \leq z \leq z_j \text{ 时}(j = 1, 2, 3) \end{aligned} \right\} \quad (2-3-15)$$

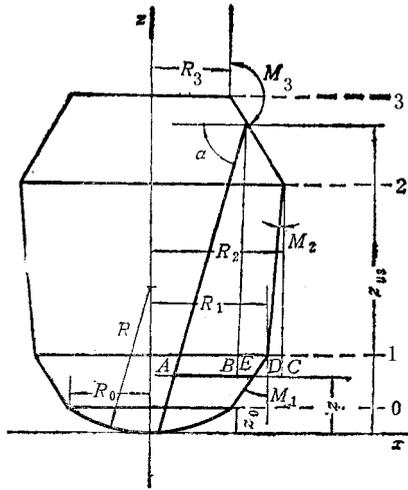


图 2-3-8 弓形半径 r 和弦高 e 的计算图

弦高 e 的计算公式

当 $z_{us} \leq z_i$ 和 $z \leq z_j$ 时

$$\left. \begin{aligned}
 e &= \frac{z_{us} - z}{\operatorname{tg} \alpha} - (\sqrt{R^2 - (R - z_{us})^2} - \sqrt{R^2 - (R - z)^2}) \quad (j = 0, i = 0) \\
 e &= \frac{z_{us} - z}{\operatorname{tg} \alpha} - (z_{us} - z) \operatorname{tg} M_i \quad (j = i, i \neq 0) \\
 e &= \frac{z_{us} - z}{\operatorname{tg} \alpha} - (z_{us} - z_{i-1}) \operatorname{tg} M_i - R_{i-1} + \sqrt{R^2 - (R - z)^2} \quad (j \neq i, i, j = 0) \\
 e &= \frac{z_{us} - z}{\operatorname{tg} \alpha} - (z_{us} - z_{i-1}) \operatorname{tg} M_i - (R_{i-1} - R_j) - (z_j - z) \operatorname{tg} M_j \quad (j \neq i, j \neq 0)
 \end{aligned} \right\} \quad (2-3-16)$$

弦高 e 的计算公式是根据图 2-3-8 的几何关系导出的。例如对 $j \neq i; j \neq 0$ 的情况 (图中取 $i = 3; j = 1$)，由图可见

$$e = AE = AB + BC - CD - DE$$

而
$$AB = \frac{z_{us} - z}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$BC = -(z_{us} - z_{i-1}) \operatorname{tg} M_i$$

$$CD = R_{i-1} - R_j$$

$$DE = (z_j - z) \operatorname{tg} M_j$$

对于平底炉型，可取 $z_0 = 0$ ；对于直筒炉型， z 可以取为 $z_0 \leq z_1 \leq z_2$ 中任何值，而 R_0

$= R_1 = R_2$,其它可依此类推。

三、应用高斯求积公式的数值计算方法

在工程计算中,由于定积分 $\int_a^b f(z) dz$ 的被积函数难以确定,所以往往采用数值积分方法作近似计算。如果用电子计算机计算时,则先列出被积函数公式,然后采用数值计算方法。

最简单的数值积分计算方法为矩形法,如图 2-3-9 所示。把积分区间 (a, b) 分为若干等分(即结点等距离),得结点 $z_0, z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n$, 函数 $f(z)$ 在各对应结点处取值分别为 $f(z_0), f(z_1), f(z_2), \dots, f(z_i), \dots, f(z_n)$ 。结点间距为 $\Delta z_i = \frac{b-a}{n}$, 则对应结点 z_i 的矩形面积为 $\Delta z_i \cdot f(z_i)$, 于是 n 个矩形面积之和便是定积分 $\int_a^b f(z) dz$ 的近似值。即

$$\int_a^b f(z) dz \approx \sum_{i=0}^{n-1} \Delta z_i f(z_i)$$

显然矩形法结点数愈多,计算精度愈高。

常用的数值积分计算方法除矩形法外,还有梯形公式、抛物线公式和龙贝公式,都属于等距离取结点方法。这里重点介绍另一种近似算法——高斯求积公式。它的特点是结点不是等距离的,其形式与矩形法公式相似。

1. 高斯积分公式

$$\int_{-1}^1 f(\xi) d\xi \approx \sum_{i=1}^n A_i f(\xi_i) \quad (2-3-17)$$

高斯积分公式的积分区间为 $[-1, 1]$

式中 n ——求积结点数;

ξ_i ——求积结点的坐标值($i = 1, 2, \dots, n$);

A_i ——与结点数 n 及 ξ_i 相对应的求积系数。

高斯积分公式的 ξ_i 及 A_i 值列于表 2-3-2 中。

高斯公式的结点数 n 是根据计算精度要求确定的。确定了结点数 n 值后,即可从表中查出 ξ_i 及 A_i , 在确定各对应结点处的函数值后,代入高斯公式,即可算得定积分的近似值。

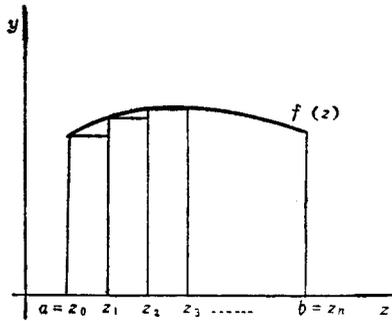


图 2-3-9 矩形法计算图

高斯求积法的主要优点是精度高,精确度为 $(2n - 1)$ 次,即具有最高代数精度。在同样的精度要求下,高斯求积法比其它方法所取的结点数最少。当用于电算,需要改变精度时,其系数也要变化,编排程序较麻烦。但对转炉计算来说,计算精度是可以预先确定的,所以用高斯求积法来计算转炉炉液体积、重心位置、倾动力矩及转动惯量是比较适合的。

表 2-3-2 高斯求积公式的结点 ξ_i 和求积系数 A_i 值

| n | ξ_i | A_i |
|-----|---|-------------------------------------|
| 2 | ± 0.5773503 | 1 |
| 3 | 0 ± 0.7745967 | 0.8888889 0.5555556 |
| 4 | ± 0.3399810 ± 0.8611363 | 0.6521452 0.3478548 |
| 5 | 0 ± 0.5384693 ± 0.9061799 | 0.5688889 0.4786287 0.2369269 |

2. 对任意积分区间 $[a, b]$,高斯公式的转换公式 在式(2-3-17)中,其积分区间为 $[-1, 1]$,因此,在应用高斯公式时,对于任意积分区间 $[a, b]$ 则应转换为区间 $[-1, 1]$ 。

若已知 $\int_a^b f(z) \chi(z)$ 式中 $a \leq z \leq b$, 设另一自变量 ξ 的区间为 $[-1, 1]$ 。为了把积分区间 $[a, b]$ 转换为 $[-1, 1]$:

设 $z = A\xi + B$, A, B 为常数

当 $\xi = -1$ 时, $z = a$ 即 $a = -A + B$

当 $\xi = 1$ 时, $z = b$ 即 $b = A + B$

故
$$A = \frac{b - a}{2} \quad B = \frac{b + a}{2}$$

则得 $z = \frac{b-a}{2}\xi + \frac{b+a}{2}$ $dz = \frac{b-a}{2}d\xi$ 其中 $-1 \leq \xi \leq 1$

因此 $\int_a^b f(z)dz = \frac{b-a}{2} \int_{-1}^1 f\left(\frac{b+a}{2} + \frac{b-a}{2}\xi\right) d\xi$

由高斯公式(2-3-17)经坐标转换后可写成:

$$\int_a^b f(z)dz \approx \frac{b-a}{2} \sum_{i=1}^n A_i f\left(\frac{b+a}{2} + \frac{b-a}{2}\xi_i\right) \quad (2-3-18)$$

公式(2-3-18)即是用于计算的通用公式。公式中 A_i 及 ξ_i 值可由表 2-3-2 查出。

显然, $z_i = \frac{b+a}{2} + \frac{b-a}{2}\xi_i$

z_i 为被积函数 $f(z)$ 在区间 $[a, b]$ 内对于 ξ_i 的实际结点坐标值, 而 $f\left(\frac{b+a}{2} + \frac{b-a}{2}\xi_i\right)$ 则是对应于 z_i 的原被积函数。对于转炉的有关参数计算, 如果用电子计算机, 函数值 $f\left(\frac{b+a}{2} + \frac{b-a}{2}\xi_i\right)$ 可用解析法求得; 如果用手算, 则用图解法和查表法结合起来计算更为方便。

四、高斯求积法在转炉计算中的应用

转炉炉液中钢液和渣液的密度不同, 渣液浮在钢液上面而形成两层, 在计算时假想把炉液分为两部分, 见图 2-3-10。其一为全炉液体积, 而取渣液的密度进行计算, 称为合液; 其二为占有钢水的体积, 密度取等于钢与渣密度之差的假想密度, 称为分液。上述两部分分别计算, 然后合成。这样计算的精确度较高。

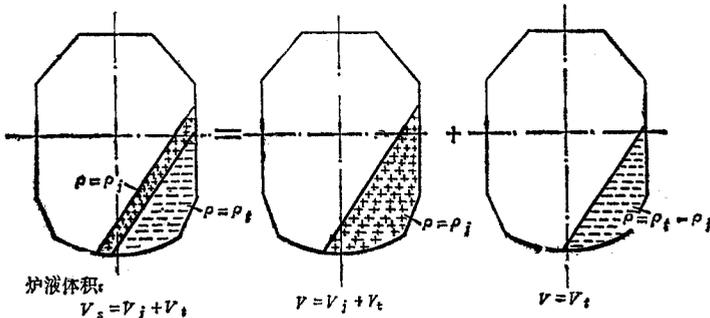


图 2-3-10 计算炉液体积图(下标 j 为渣液之代号; i 为钢水代号)

应用高斯求积公式手算转炉炉液的倾动力矩和转动惯量时, 可采用作图法求出对应

子结点坐标 z_i 的函数值 $f\left(\frac{b+a}{2} + \frac{b-a}{2}\xi_i\right)$ 其计算步骤如下:

1) 按比例划出炉型图和 α 倾角下的钢水及渣液的液面线, 并标出 zox 坐标系。见图 2-3-11a、b。

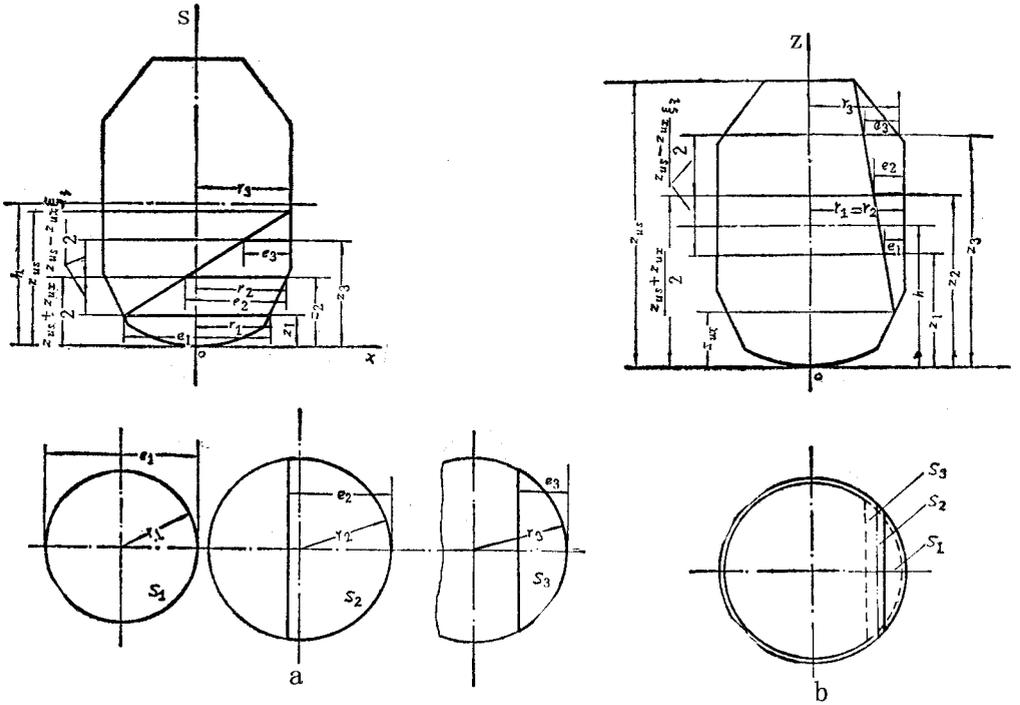


图 2-3-11 计算炉液体积用的炉型图

2) 确定结点数。在一般情况下, 结点数 n 取 3 或 4 即可。计算实践表明, 如能保证转炉内各段都有结点, 其精确度就能满足不低于 1% 的要求。

3) 根据表 2-3-2 确定各结点坐标值 ξ_i , 并计算实际结点坐标值 z_i , 然后在坐标 z_i 处画垂直于 z 轴的炉液截面线, 进而画出其相应的截面图形。其截面形状不是弓形就是缺圆(缺口为弓形)截面。

4) 从液面截面图中直接量出各相应于各结点 z_i 处的弓形面积或缺圆截面缺口处的弓形面积的实际半径 r_i 及弦高 e_i 值。然后算出弓形半径为 1 时的弦高值 $(e)_i = \frac{e_i}{r_i}$, 再按 $(e)_i$ 值, 从一般设计手册中的弓形几何尺寸表查得相应的 $r=1$ 的弓形面积的弦心角(锥角) θ 和弓形面积 $(S)_i$ 值, 然后再用公式(2-3-12)和(2-3-13)算出 $(S)_i$ 截面对 y' 轴的面积矩 $(S \cdot x_s)_i$ 和截面惯性矩 $(J_s)_i$ 的值(若把 $(S)_i$ 乘以 r^2 $(S \cdot x_s)_i$ 乘以 r^3 以

及 $(J_s)_{\lambda_i}$ 乘以 r^4 ,即为所求相应弓形截面面积 S_i 和 S_i 对 y' 轴的面积矩 $(S \cdot x_s)_{\lambda_i}$ 和惯性矩 $(J_s)_{\lambda_i}$ 的实际值)。

若炉液截面为缺圆截面 ,则其缺圆面积为相应的圆面积减去其缺口处的弓形面积。而其对 y' 轴惯性矩同样为相应的圆形对 y' 轴的惯性矩减去缺口处弓形对 y' 轴的惯性矩。

5)由表 2-3-2 查得高斯求积系数 A_i ,即可应用高斯求积公式(2-3-18)进行转炉炉液的有关计算 :

$$\begin{aligned} \text{炉液体积} \quad V &= \int_a^b S dz \approx \frac{b-a}{2} \sum_{i=1}^n A_i f\left(\frac{b+a}{2} + \frac{b-a}{2} \xi_i\right) \\ S_i &= f\left(\frac{b+a}{2} + \frac{b-a}{2} \xi_i\right) \text{ [可通过步骤(4)算出]} \end{aligned}$$

$$\text{故} \quad V = \frac{b-a}{2} \sum_{i=1}^n A_i \cdot S_i$$

$$\text{或} \quad V = \frac{b-a}{2} \sum_{i=1}^n A_i \cdot (S)_{\lambda_i} \cdot r_i^2 \quad (2-3-19)$$

炉液体积 V 的重心坐标 :

$$x_y = \frac{\int_a^b (S \cdot x_s) dz}{V} \approx \frac{\frac{b-a}{2} \sum_{i=1}^n A_i (S \cdot x_s)_{\lambda_i} \cdot r_i^3}{V} \quad (2-3-20)$$

$$z_y = \frac{\int_a^b S \cdot z dz}{V} \approx \frac{\frac{b-a}{2} \sum_{i=1}^n A_i z_i (S)_{\lambda_i} \cdot r_i^2}{V} \quad (2-3-21)$$

炉液对耳轴轴线的转动惯量 :

$$\begin{aligned} J_y &= \rho \int_a^b [J_s dz + (H-z)^2 S dz] = \rho \left[\int_a^b J_s dz + \int_a^b (H-z)^2 S dz \right] \\ &= \rho \left[\frac{b-a}{2} \sum_{i=1}^n A_i (J_s)_{\lambda_i} \cdot r_i^4 + \frac{b-a}{2} \sum_{i=1}^n A_i (H-z_i)^2 (S)_{\lambda_i} \cdot r_i^2 \right] \end{aligned} \quad (2-3-22)$$

式中 $(S)_{\lambda_i}$ ——按弓形半径 $r=1$ 所得的对应于结点 z_i 的炉液截面面积 ;

$(S \cdot x_s)_{\lambda_i}$ ——炉液截面 $(S)_{\lambda_i}$ 对 y' 轴的面积矩 ;

$(J_s)_{\lambda_i}$ ——炉液截面 $(S)_{\lambda_i}$ 对 y' 轴的惯性矩。

例题 :某钢厂 15t 转炉新炉型倾角 $\alpha = 45^\circ$ 时 ,计算炉液力矩和转动惯量。其炉型见图 2-3-12。其预备数据见表 2-3-3。计算过程及结果列于表 2-3-4。

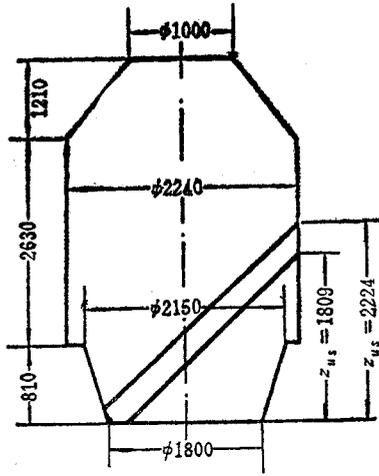


图 2-3-12 15t 转炉新炉型

表 2-3-3 预备数据

| | |
|---|--|
| 钢水重量 $G_t = 161.7\text{kN}$ | 渣重量 $G_j = 40.425\text{kN}$ |
| 钢水密度 $\rho_t = 6.8 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ | 渣密度 $\rho_j = 3 \times 10 \text{kg/m}^3$ |
| 钢水体积 $V_t = \frac{G_t}{\rho_t \cdot g} = 2.426\text{m}^3$ | 渣体积 $V_j = \frac{G_j}{\rho_j \cdot g} = 1.375\text{m}^3$ |
| 体 积 和 | $V_h = V_j + V_t = 3.801\text{m}^3$ |
| | $G_h = V_h \cdot \rho_j = 111.75\text{kN}$ |
| | $G_f = G_t + G_j - G_h = 90.376\text{kN}$ |
| | $\rho_t = \rho_t - \rho_j = 3.8 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ |
| 耳 轴 标 高 | $H = 1.95\text{m}$ |
| 全 液 液 面 | 上限/下限坐标值 $\frac{z_{us}}{z_{ux}}: \frac{2.224}{0}$ |
| 钢 液 液 面 | 上限/下限坐标值 $\frac{z_{us}}{z_{ux}}: \frac{1.809}{0}$ |

注 1. 下标 h 表示“合液”。所谓“合液”系指其体积等于钢水、渣之体积和，而密度等于渣之密度的一种假想炉液；
 2. 下标 f 表示“分液”。所谓“分液”系指其体积等于钢水体积，而密度等于钢水密度与渣密度之差的一种假想炉液。

五、炉液液面最高点坐标 z_{us} 的确定

z_{us} 是液面最高点坐标值。在未放渣或出钢前，它是随倾动角度变化的一个变量，在

计算过程中须不断调整, z_{us} 确定后, 液面位置也就确定了。确定每个倾动角度的液面位置是炉液计算中一项主要的计算工作。转炉倾动时, 当 z_{us} 达到 z_3 锥台口时, 就开始出钢。此后随着倾角 α 增大, 炉液逐渐减少。

对已知炉型、炉液量和转动倾角, 其熔池液面最高点 z_{us} 是炉液体积 V 的一元函数, $z_{us} = f(V)$ 。由于函数 $z_{us} = f(V)$ 的表达式不易求得, 因此就无法用一般的计算来求得与给定 $V_{实}$ 值相对应的 z_{us} 值。通常可用迭代法来确定 z_{us} 值, 即假设一个 z_{us} 值, 应用数值计算方法算出相应的 $V_{计}$ 值, 如与给定 $V_{实}$ 相差较大, 则改变给定的 z_{us} 值再次计算 $V_{计}$ ……, 这样一再将不同的 z_{us} 值代入进行计算, 直到 $|V_{计} - V_{实}| < \epsilon$ 为止 (ϵ 代表精度)。最后一次计算所给定的 z_{us} 值即为所求的数值。

第四节 转炉倾动力矩及倾动力矩曲线

求出空炉力矩 M_k 和炉液力矩 M_y 后, 再计算耳轴摩擦力矩 M_m , 即可按公式(2-3-1)计算转炉合成的倾动力矩。

摩擦力矩 M_m 可按下式计算:

$$M_m = (G_k + G_y + G_{托} + G_{悬}) \cdot \frac{md}{2} \quad (2-3-23)$$

式中 G_k ——空炉重量(kN);

G_y ——炉液重量(kN);

$G_{托}$ ——托圈及附件重量(kN);

$G_{悬}$ ——当有悬挂减速器时, $G_{悬}$ 为悬挂减速器的重量(kN);

表 2-3-4 炉液力矩和转动惯量的计算过程及结果

| 序号 | 项 目 | 单 位 | 合 液 | | | 分 液 | | |
|----|-----------------------------|-----|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 结点顺序 i | — | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 求积系数 A_i | — | 0.5556 | 0.8889 | 0.5556 | 0.5556 | 0.8889 | 0.5556 |
| 3 | 结点值 ξ_i | — | -0.7746 | 0 | 0.7746 | -0.7746 | 0 | 0.7746 |
| 4 | 液面 上限/下限坐标值 z_{us}/z_{ux} | m | 2.224/0 | | | 1.809/0 | | |

第二篇 氧气转炉炼钢车间设备及布置

| 序号 | 项 目 | 单 位 | 合 液 | | | 分 液 | | |
|----|--|-------------------|--|--------|--------|--|--------|--------|
| | | | | | | | | |
| 5 | 结点坐标值 $z_i = \frac{z_{us} + z_{ux}}{2} + \frac{z_{us} - z_{ux}}{2} \xi_i$ | m | 0.2506 | 1.112 | 1.973 | 0.204 | 0.9045 | 1.605 |
| 6 | 弓形截面实际半径 r_i | m | 0.953 | 1.12 | 1.12 | 0.942 | 1.12 | 1.12 |
| 7 | 弓形截面实际弦高 e_i | m | 1.81 | 1.12 | 0.25 | 1.424 | 0.898 | 0.201 |
| 8 | 单位半径弦高 $(e)_i = e_i/r_i$ | — | 1.899 | 1.000 | 0.223 | 1.512 | 0.802 | 0.179 |
| 9 | 弓形弦心角(锥角) θ_i° * | 度 | 52 | 180 | 78 | 118 | 157 | 70 |
| 10 | 单位半径弓形面积 $(S)_i$ * | — | 3.082 | 1.571 | 0.192 | 2.553 | 1.175 | 0.141 |
| 11 | $S_i \cdot A_i = r_i^2 (S)_i A_i$ | m ² | 1.555 | 1.751 | 0.134 | 1.256 | 1.310 | 0.098 |
| 12 | 体积 $V = \frac{z_{us} - z_{ux}}{2} \sum_{i=1}^3 S_i A_i$ | m ³ | 3.825 | | | 2.410 | | |
| 13 | 密度 ρ | kg/m ³ | 3×10^3 | | | 3.8×10^3 | | |
| 14 | 重量 G | kN | $G_h = 111.75$ | | | $G_f = 90.375$ | | |
| 15 | 单位半径弓形面积矩 $(S \cdot x_s)_i = \frac{2}{3} \sin \frac{\theta_i}{2}$ | — | 0.056 | 0.667 | 0.116 | 0.420 | 0.627 | 0.126 |
| 16 | $r_i^3 \cdot (S \cdot x_s)_i A_i$ | m ³ | 0.0269 | 0.833 | 0.1296 | 0.1951 | 0.7831 | 0.0984 |
| 17 | 体积矩 $V \cdot x_y = \frac{z_{us} - z_{ux}}{2} \sum_{i=1}^3 r_i^3 (S \cdot x_s)_i A_i$ | m ⁴ | 1.100 | | | 0.974 | | |
| 18 | 重心 x 坐标 $x_y = \frac{V \cdot x_y}{V}$ | m | 0.288 | | | 0.404 | | |
| 19 | $Z_i \cdot S_i \cdot A_i$ | m ³ | 0.390 | 1.947 | 0.264 | 0.256 | 1.185 | 0.157 |
| 20 | 体积矩 $V \cdot z_y = \frac{z_{us} - z_{ux}}{2} \sum_{i=1}^3 z_i S_i A_i$ | m ⁴ | 2.892 | | | 1.445 | | |
| 21 | 重心 z 坐标 $z_y = V \cdot z_y / V$ | m | 0.756 | | | 0.600 | | |
| 22 | $M = G[(H - z_y) \sin \alpha - x_y \cos \alpha]$ | kN·m | $M_h = 11.475[1.194 \times 0.707 - 0.288 \times 0.707] \times 9.8 = 72.03$ | | | $M_f = 9.158[1.35 \times 0.707 - 0.404 \times 0.707] \times 9.8 = 60.07$ | | |
| 23 | $(J_s)_i = \frac{1}{8} \left(\theta_i - \frac{1}{2} \sin 2\theta_i \right)$ | — | 0.7326 | 0.3927 | 0.1447 | 0.4761 | 0.3875 | 0.1125 |

| 序号 | 项 目 | 单 位 | 合 液 | | | 分 液 | | |
|----|---|----------------|----------------------------|--------|---------|---------------------------|--------|---------|
| | | | | | | | | |
| 24 | $r_i^4 (J_s)_{i1} A_i$ | m^4 | 0.3358 | 0.5494 | 0.1265 | 0.2082 | 0.5422 | 0.0984 |
| 25 | $(H - Z_i)^2 \cdot S_i A_i$ | m^4 | 4.4908 | 1.2296 | 0.00007 | 3.8289 | 1.4319 | 0.01166 |
| 26 | 转动惯量 $J = \rho \frac{z_{us} - z_{ux}}{2} \sum_{i=1}^3 [r_i^4 (J_s)_{i1} A_i + (H - z_i)^2 S_i A_i]$ | $kg \cdot m^2$ | $J_h = 22.435 \times 10^3$ | | | $J_f = 21.02 \times 10^3$ | | |
| 27 | 炉液重量 $G_y = G_h + G_f$ | kN | 202.203 | | | | | |
| 28 | 倾动力矩 $M_y = M_h + M_f$ | $kN \cdot m$ | 132.104 | | | | | |
| 29 | 转动惯量 $J_y = J_h + J_f$ | $kg \cdot m^2$ | 43.453×10^3 | | | | | |

注 1. 带 * 号者按 $(e)_{i1} = \frac{e_i}{r_i}$ 的值查有关设计手册($(e)_{i1}$ —弓形半径为 1 时弦高; e_i —截面实际的弦高; r_i —弓形截面实际半径)。

2. 本资料来源：转炉重心、倾动力矩与转动惯量计算（上海机电设计院）。

μ ——摩擦系数，对滑动轴承取 $\mu = 0.1 \sim 0.15$ ，对滚动轴承取 $\mu = 0.02 \sim 0.05$ ；

d ——滑动轴承取耳轴直径（m），滚动轴承取轴承的平均直径 $d = \frac{d_{内} + d_{外}}{2}$ 。

倾动力矩曲线：倾动力矩 M 随倾动角度 α 而变化，即 $M = f(\alpha)$ ，这一函数关系通常可用 $M - \alpha$ 曲线表示，称之为倾动力矩曲线。当分别算出各个选定倾动角度下的空炉力矩 M_k 、炉液力矩 M_y 、耳轴摩擦力矩 M_m 和合成力矩 M 之后，即可绘制倾动力矩曲线。用横坐标表示倾动角度 α ，纵坐标表示倾动力矩 M 。新、老炉各画一张，图 2-3-13 为 120t 氧气顶吹转炉新、老炉的倾动力矩曲线图。

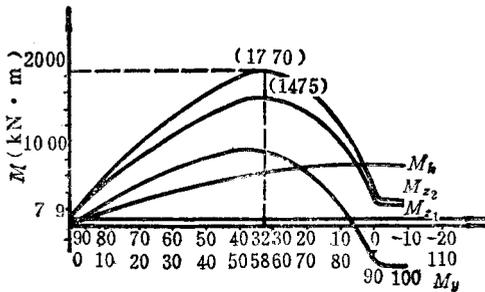
对倾动力矩正负值规定如下：就“工作端”的力矩而言，当力矩作用方向与炉体旋转方向相反时（阻力矩）为正力矩，与炉体旋转方向相同时（反拖力矩）为负力矩。

一、氧气顶吹转炉倾动力矩曲线变化规律及其影响因素

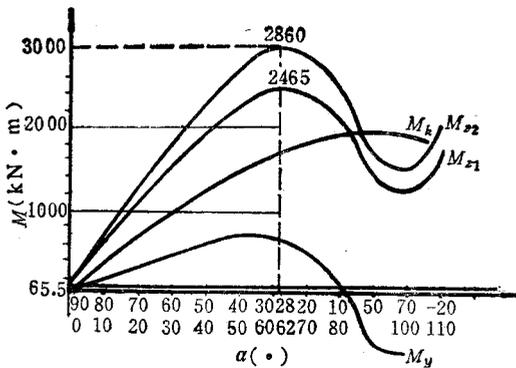
空炉力矩 $M_k - \alpha$ 曲线：由于一般空炉重心在 z 轴的坐标都比耳轴坐标为低，因此在倾动过程中，空炉力矩 M_k 总是正值，并且与倾动角度 α 呈正弦函数关系。对称炉型的空炉力矩 M_k 一般在 $\alpha = 90^\circ$ 左右达到最大值。

炉液力矩 $M_y - \alpha$ 曲线：它在倾动过程波动较为显著，对氧气顶吹转炉炉型来说，开始倾动时为正值， $\alpha = 50^\circ \sim 60^\circ$ 时出现最大值。当 α 约为 70° 以后转为负值。出钢完毕 α 约为 120° 时 M_y 值趋近于零。耳轴摩擦力矩 M_m 的方向总是与转动方向相反，所以在倾

动全过程中都是正值,在出钢过程中其值只有微量变化,则由于 M_m 值较小,一般计算时近似地视之为常数。



a



b

图 2-3-13 120t 氧气顶吹转炉倾动力矩曲线图

a—新炉倾动力矩曲线 ;b—老炉倾动力矩曲线

注 1. $M_{z1} = M$, $M_{z2} = 1.2M$;

2. 横坐标第一排为习惯表示,即把直立位置视为 0° ,其数字用括号括上。

第二排标出的是把直立位置视为 90°

合成力矩 $M - \alpha$ 曲线,该曲线有明显的波形变化,力矩的“波峰”一般出现在 $\alpha = 50^\circ \sim 70^\circ$ 范围,力矩“波谷”出现在 $\alpha = 80^\circ \sim 100^\circ$ 范围,即放渣出钢位置。当“波谷”力矩在正力矩区域内时,称为全正力矩曲线。当“波谷”力矩在负力矩区域内时,称为正负力矩曲线。目前大、中型转炉从安全性考虑,多采用全正力矩曲线。但若考虑老炉口有粘钢渣时,也会出现止负力矩曲线或全负力矩曲线。如我国某厂 300t 转炉,新炉时其最大力矩为 $6500\text{kN}\cdot\text{m}$ 为全正力矩。而在老炉没有考虑炉口挂渣时,其最大力矩值 $3520\text{kN}\cdot\text{m}$ 并

在 90° 开始出现负力矩, 最大负力矩值为 $-1000\text{kN}\cdot\text{m}$ 。若老炉炉口考虑有 1000kN 粘钢渣时, 则其倾动力矩为全负力矩。当倾角在 100° 左右出现最大负力矩时, 其值为 $-6500\text{kN}\cdot\text{m}$ 。图 2-3-14 表示其新、老炉倾动力矩曲线。

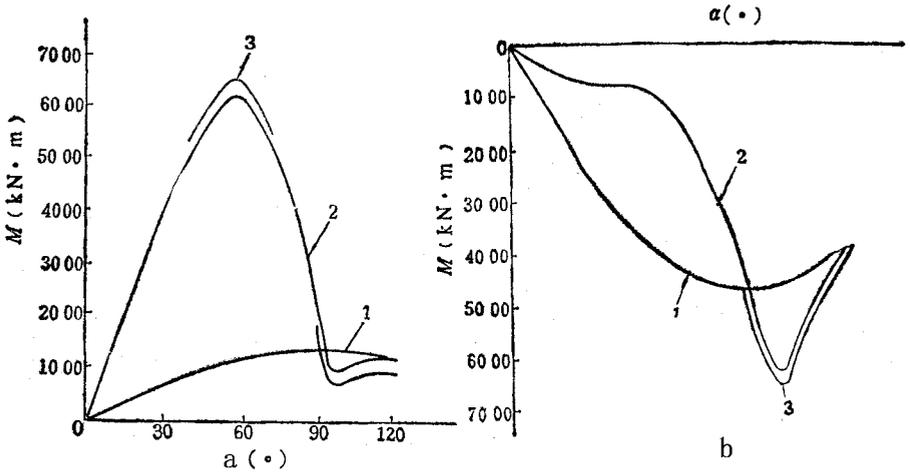


图 2-3-14 我国某厂 300t 转炉倾动力矩曲线图

a—新炉倾动力矩曲线 ;b—老炉倾动力矩曲线(炉口有 1000kN 粘钢)

a 注 :1—空炉力矩曲线 2—合成力矩曲线(空炉力矩 + 炉液力矩) 3—包括摩擦
力矩的合成力矩曲线 :其最大力矩值为 $6500\text{kN}\cdot\text{m}$ (摩擦力矩为 $337\text{kN}\cdot\text{m}$)

其最小力矩值为 $710\text{kN}\cdot\text{m}$ (摩擦力矩为 $278\text{kN}\cdot\text{m}$)

b 注 :1—空炉力矩曲线 2—合成力矩曲线(空炉力矩 + 炉液力矩) 3—包括摩擦
力矩的合成力矩曲线 :最大负力矩值为 $6500\text{kN}\cdot\text{m}$ (摩擦力矩为 $238\text{kN}\cdot\text{m}$)

影响倾动力矩曲线的主要因素是炉型和耳轴位置。转炉在操作过程中由于炉衬不断被侵蚀, 其重量有所减轻, 又由于炉墙的侵蚀量比炉底大得多, 故造成老炉的空炉重心下降, 致使计算 M_k 的力臂增加较大。另外, 考虑到浸蚀后老炉铁水装入量的增加, 则使老炉合成倾动力矩的“波峰”值比新炉大(见图 2-3-13)。

耳轴的纵向位置对倾动力矩值的影响很大, 随着耳轴位置上移倾动力矩的“波谷”、“波峰”值都上移; “波谷”值可能由负值变为正值, 当耳轴位置下移时情况则相反。

二、倾动力矩曲线的应用

分别计算并画出新、老炉倾动力矩曲线的目的是要找出转炉在正常操作过程中可能出现的最大和最小倾动力矩值, 其最大值是倾动机构设计的额定力矩值, 最小值是选择

最佳耳轴位置的依据。

通过对各种转炉的新、老炉倾动力矩的分析,老炉的“波峰”值即最大倾动力矩值最大,并考虑到计算和它的误差而把老炉的最大倾动力矩值乘上一附加系数,作为倾动机构的计算载荷即

$$M_{\text{计max}} = KM_{\text{max}} \quad (2-3-24)$$

式中 K ——附加系数,考虑到计算误差及工艺与结构上未考虑到的因素而附加的安全系数,一般取 $K = 1.1 \sim 1.3$;

M_{max} ——计算得出的最大倾动力矩值。

一般以 $M_{\text{计max}}$ 作为确定电动机功率及机械零件强度设计的计算载荷。

最小倾动力矩值一般出现在新炉合成倾动力矩曲线的“波谷”处。但也可能出现在老炉上。当老炉炉帽内衬侵蚀严重,且由于水冷炉口的作用,炉口处的浸蚀量较轻,从而使炉帽部位的炉型呈凹曲面,在出钢放渣阶段,炉帽处积存较多的铁渣溶液,加上考虑炉口挂渣,因此会使老炉的最小倾动力矩值偏小。所以在计算时应分别算出新、老炉倾动力矩值,以确定其中最小倾动力矩值并用它来选择最佳耳轴位置。

三、转炉倾动机构的扭转振动及其抑制措施

运转中的转炉倾动机构,有时会出现明显的扭转振动,看上去就象是炉子在“点头”。这种现象使转炉倾动系统动载增大,严重地影响倾动机构的正常运转。如国内、外的氧气顶吹转炉在生产中出现的齿轮轮齿断裂、断轴等严重事故。产生扭转振动的原因是转炉倾动机构的频繁的启动、制动以及吊渣、顶渣等操作。倾动机构在突加(或突减)载荷作用产生瞬态不稳定振动而产生附加应力(最大附加应力可能是驱动力矩产生的工作应力的几倍),导致倾动机构零件的疲劳破坏。为降低扭转振动以减少倾动机构的动载荷,一般可采取如下措施:

1) 采用具有弹簧或扭力杆式的抗扭器,以降低传动机构刚度和倾动系统的扭转振动。

2) 尽量降低起动力矩。如转炉用交流电动机时要接入较大的起动电阻,同时接入继电器以防止换挡过快。如用直流电动机可采用等加速度起动方式,通过电气控制,使起动时间内加速度具有等值。例如我国 300t 转炉就是采用这种起动方式的。

3) 降低制动力矩。若转炉采用交流电动机,宜选用电磁液压制动器。如用直流电动机可用再生制动。即电机转子转速接近零时,再进行机构制动。

4) 提高传动系统的制造和安装精度,以减少传动间隙(如齿轮间隙、联轴器间隙等)。

5)合理降低空炉重心,保证出钢、出渣时有一定的正力矩储备,以便在这些位置启动时,加速力矩不致太大。

第五节 最佳耳轴位置的确定

一、确定耳轴位置的原则

确定耳轴位置的基本原则有二:

1)全正力矩“原则”。其基本原则是整个倾动过程中不会出现负力矩(向出钢方向反拖的力矩)。合成力矩曲线全在“正力矩”的区域内,耳轴位置高出炉体重心位置较多,当倾动机构的任一环节发生事故时(电动机发生故障、传动零件断裂或制动器事故松闸等)转炉在任何倾动角度下都能依靠其自身重力的力矩自动返回零位,故其安全可靠性好。

2)正负力矩等值“原则”。即合成力矩——“波峰”力矩和“波谷”力矩对等分布在正负区域。耳轴位置接近炉体重心,使倾动机构具有最小的计算载荷。该原则的经济效果好,但安全性差。当设备发生故障时,炉身将自动倾翻。

目前大多数转炉,特别是大型转炉从安全观点出发,多采用“全正力矩”原则来选择耳轴位置,即其耳轴位置应选得高一些。但耳轴位置过高,又会使倾动力矩过大,而造成倾动机构的电机容量及传动机构尺寸的增大,使其投资相应增加。因此耳轴最佳位置的确定,既要考虑安全性,又要考虑经济性。

二、确定最佳耳轴位置的条件式

要使转炉在任何倾角下都能自动返回零位,就必须保证在倾动全过程中空炉力矩和炉液力矩的合成值均大于摩擦力矩,如若使其经济合理就要取其临界值,因此确定最佳耳轴位置的条件式为:

$$0 < (M_k + M_y)_{\min} \geq M_m \quad (2-3-25)$$

式中 $(M_k + M_y)_{\min}$ ——倾动过程中,空炉力矩和炉液力矩合成的最小值。

由于 $M = M_k + M_y + M_m$ 所以(2-3-25)也可写成

$$M_{\min} \geq 2M_m \quad (2-3-26)$$

三、确定最佳耳轴位置的修正值

在设计时,一般预先确定一个参考的耳轴位置 L 进行倾动力矩计算,然后再根据对应最小倾动力矩的倾动角度下的各力矩值,并通过公式计算最佳耳轴位置的修正值,即可找到最佳耳轴位置 L' ,见图 2-3-15。

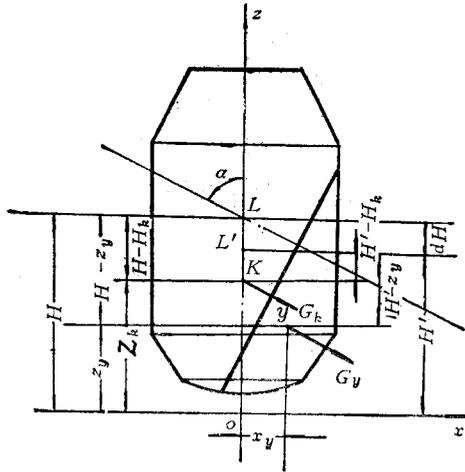


图 2-3-15 确定最佳耳轴位置分析图

- 图中 α ——转炉倾角；
 y ——炉液重心,其坐标为 z_y, x_y ；
 K ——空炉重心,其坐标为 H_k ；
 L ——预选参考耳轴中心的 z 坐标为 H ；
 L' ——最佳耳轴中心的 z 坐标为 H' ；
 dH ——耳轴位置修正值。

最佳耳轴位置修正值 dH 的计算公式按图 2-3-15 进行分析：

参考耳轴 L 的各力矩值

$$M_k = G_k(H - H_k)\sin\alpha \quad (2-3-27)$$

$$M_y = G_y(H - z_y)\sin\alpha - G_y x_y \cos\alpha \quad (2-3-28)$$

最佳耳轴 L' 的各力矩值

$$\begin{aligned} M'_k &= G_k(H' - H_k)\sin\alpha = G_k(H - dH - H_k)\sin\alpha \\ &= M_k - G_k \cdot dH \cdot \sin\alpha \end{aligned} \quad (2-3-29)$$

$$M'_y = G_y(H' - z_y)\sin\alpha - G_y \cdot x_y \cos\alpha = G_y(H - dH - z_y)\sin\alpha - G_y x_y \cos\alpha$$

$$= M_y - G_y dH \sin \alpha \quad (2-3-30)$$

根据确定最佳耳轴位置条件式(2-3-25)得

$$0 < (M'_k + M'_y)_{\min} \geq M_m$$

即 $M_k - G_k dH \sin \alpha + M_y - G_y dH \sin \alpha \geq M_m$

$$dH \leq \frac{(M_k + M_y)_{\min} - M_m}{(G_k - G_y) \sin \alpha} \quad (2-3-31)$$

(α 为最小倾动力矩的倾角)

有些大、中型转炉在选择最佳耳轴位置时,还考虑了附加力矩。附加力矩是指转炉炉口粘钢力矩 M_s 、制造安装误差力矩 M_a 、带动齿轮转动所需力矩 M_η 和预留力矩系数 k 等。

炉口粘钢力矩 M_s 会引起较大的力矩变化,当采用水冷炉口时,粘钢现象有所改善,但仍然存在。某厂 50t 转炉炉口考虑粘结 50kN 残钢渣,相应的粘钢力矩近 200kN·m 仍要求按全正力矩来选择耳轴。国外某厂 300t 大转炉粘钢力矩近 700kN·m,也按全正力矩来选择耳轴。一般可按炉口上部粘结 200~300mm 厚度残钢渣来计算粘钢力矩。

制造安装误差力矩 M_a 是由于制造、安装误差所引起的,这种误差是难免的,只要符合图纸的要求,其误差值一般较小,可不予考虑。转动齿轮所需力矩 M_η 值,一般很小,因此也可以不考虑。

预留力矩系数 k 主要是防止考虑不到的因素发生,甚至造成转炉倾翻事故而选择的系数。一般取 $k = 1.1 \sim 1.25$ 。

考虑上述这些附加力矩后,最佳耳轴位置修正公式可改写为下式:

$$(M_k + M_y)_{\min} \geq (M_m + M_s + M_a + M_\eta)k \quad (2-3-32)$$

M_a 和 M_η 可不予以考虑,故得

$$dH = \frac{(M_k + M_y)_{\min} - k(M_m + M_s)}{(G_y + G_k) \sin \alpha} \quad (2-3-33)$$

第四章 吹氧装置及副枪装置

第一节 吹氧装置

吹氧装置是氧气顶吹转炉车间的关键设备之一。吹氧装置由吹氧管、吹氧管升降装置和换管装置三部分组成,图 2-4-1 和图 2-4-2 为目前国内使用的两种典型型式。吹氧管设有两个,一个工作,另一个备用。图 2-4-1 所示的结构有两套升降卷扬机,分别供工作及备用吹氧管用,也可采用一套升降卷扬机供它们共用(如图 2-4-2)所示。故吹氧装置又可分单卷扬吹氧装置和双卷扬型吹氧装置两大类。

一、吹氧管

吹氧管又名氧枪或喷枪,由它来完成向炉内熔池吹氧。由于它在炉内高温下工作,故该管是一个采用循环水冷却的套管构件,如图 2-4-3 所示,它由管体和喷头、尾部结构三部分组成。管体系由无缝钢管制成的中心管 2,中层管 3 及外层管 5 同心套装而成,其下端与喷头 7 连接。管体各管通过法兰分别与三根橡胶软管相连,用以供氧和进、出冷却水。氧气从中心管 2 经喷头 7 喷入熔池,冷却水自中心管 2 与中层管 3 的间隙进入,经由中层管 3 与外层管 5 之间隙上升而排出。为保证管体三个管同心套装,使水缝间隙均匀,在中层管 3 和中心管 2 的外管壁上,沿长度方向焊有若干组定位短筋,每组有三个短筋均布于管壁圆周上。为保证中层管下端的水缝,在其下端面圆周上均布着三个凸爪,使其支撑在喷头的内底面上。尾部结构除有通入氧气和进出冷却水的连接管头外,

还设有装卡和吊运吹氧管的结构。

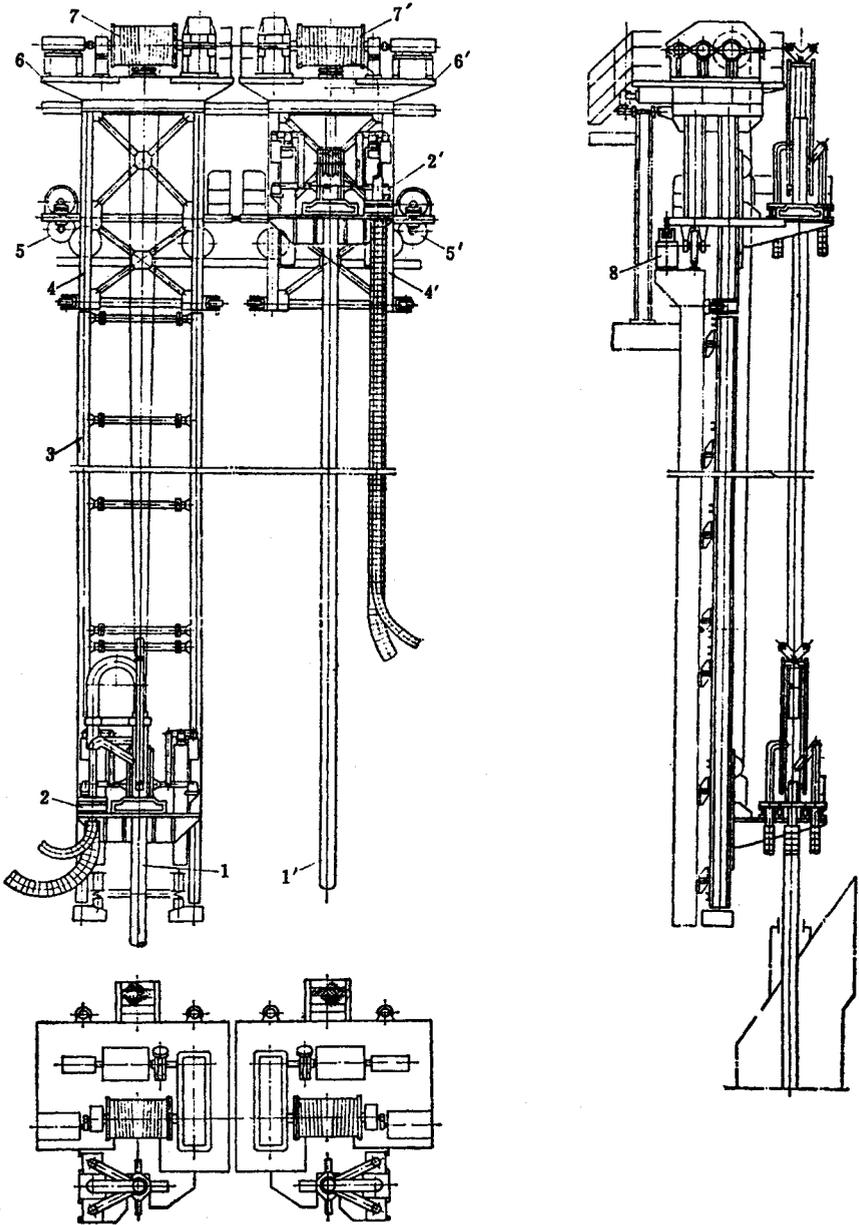


图 2-4-1 某厂 300t 转炉双卷扬型吹氧装置

1、1'—吹氧管 2、2'—升降小车 3—固定导轨 4、4'—活动导轨 5、5'—横移小车传动装置；
6、6'—横移小车 7、7'—升降卷扬机 8—锁定装置

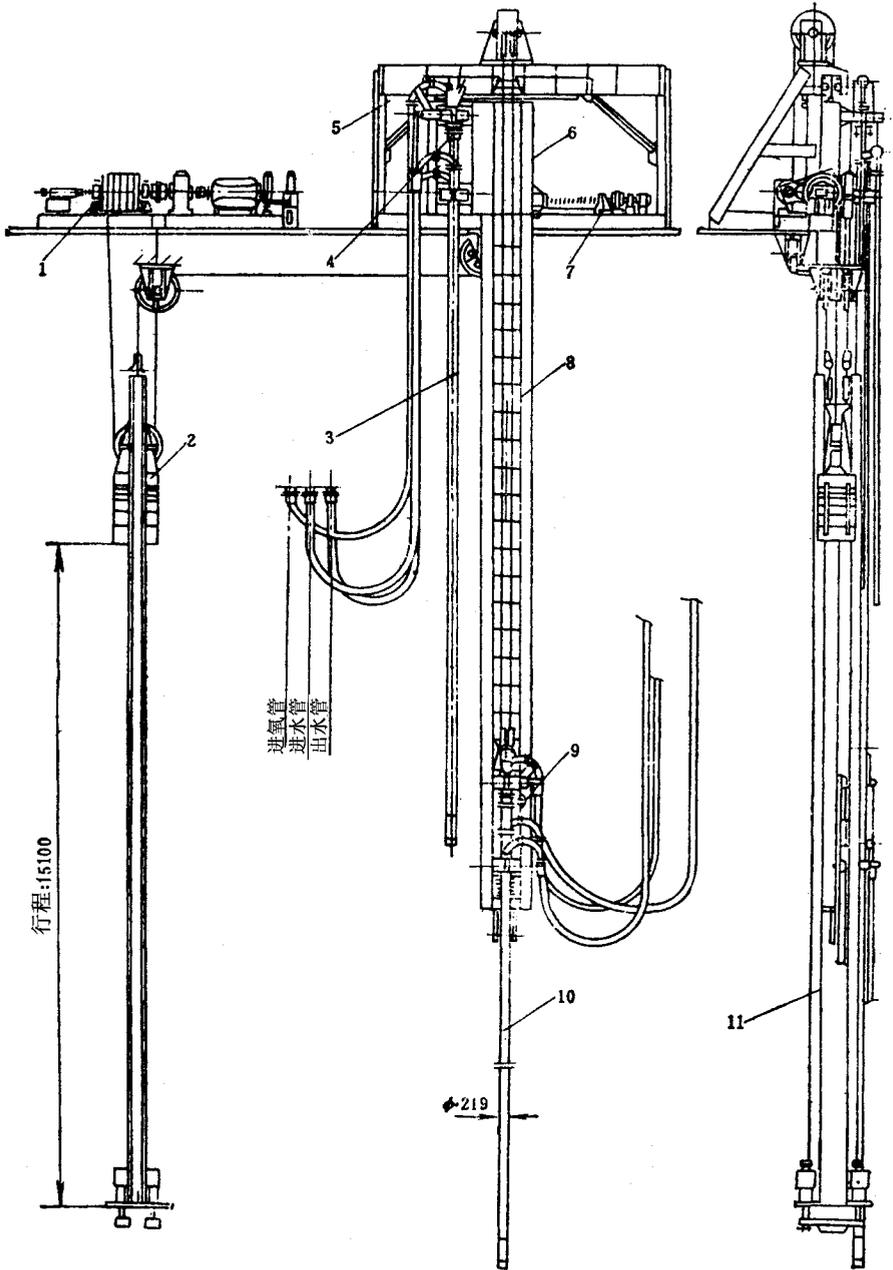


图 2-4-2 某厂 120t 转炉单卷扬吹氧装置

- 1—升降卷扬装置 2—平衡重 3—备用氧枪 4—备用升降小车 5—横移小车座架 6—横移小车；
7—横移传动装置 8—固定导轨 9—升降小车 10—工作氧枪 11—平衡重锤导轨

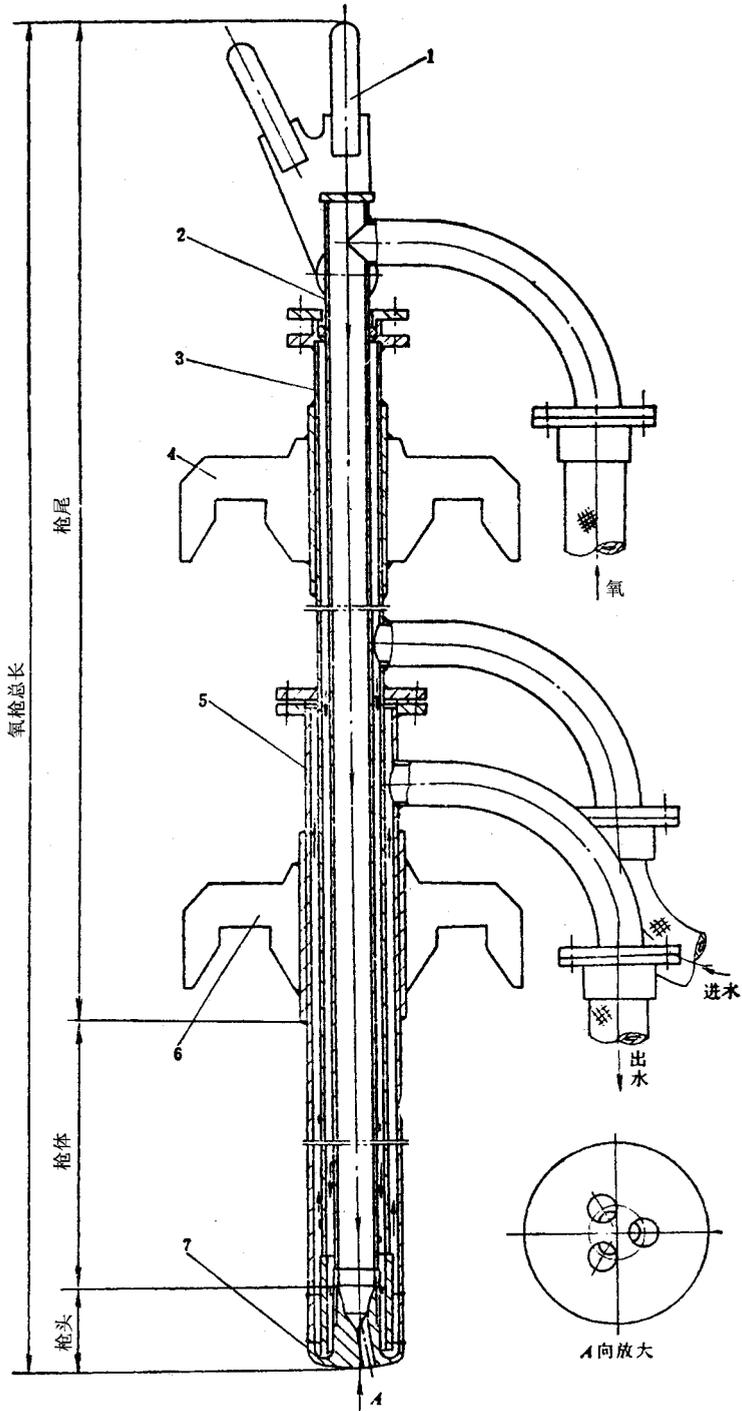


图 2-4-3 吹氧管基本结构简图

1—吊环 2—中心管 3—中层管 4—上托座 5—外层管 6—下托座 7—喷头

二、喷头

管体下部的喷头,工作在炉内高温区域,为延长其寿命,采用热传导性能好的紫铜组成,喷头与管体内管用螺纹联接,而与外管则用焊接联接。

喷头的孔型和数目是重要工艺参数,它们直接影响着吹炼的工艺制度和工艺效果。按孔型喷头分为拉瓦尔型、直筒型和螺旋型;按孔数分为单孔和多孔喷头。拉瓦尔喷头可以有效地把氧气压力转变为动能,并可获得比较稳定的超音速流股,有利于液体金属的搅拌,提高脱碳除磷效果。在具有相同搅拌能力的情况下,喷头距熔池面较高,除可以提高氧枪和炉衬的寿命外还可减少炉液喷溅,提高金属收得率。因而拉瓦尔喷头得到了广泛的应用。直筒型喷头在高压下所获得的超音速是不稳定的,而且超音速段较短,故目前较少采用。螺旋型喷头能加强对熔池的搅拌作用,缺点是结构比较复杂,寿命较短,故较少应用。

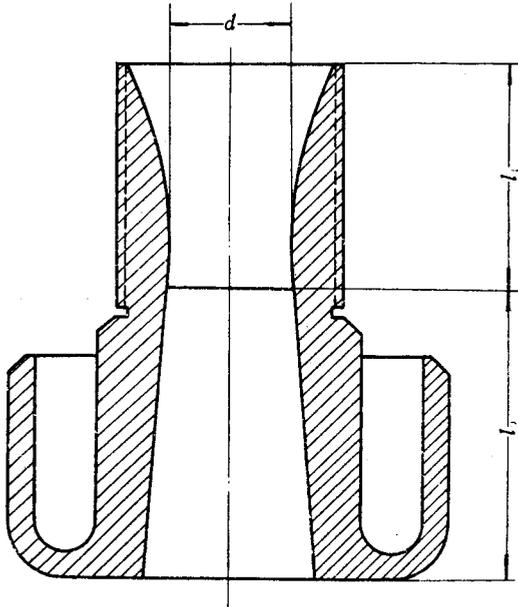


图 2-4-4 单孔拉瓦尔喷头

l_1 —收缩段长度; l_2 —扩张段长度; d —喉口直径

单孔拉瓦尔喷头如图 2-4-4 所示,该孔型由收缩段、喉口及扩张段组成。当 0.687 ~ 1.177 MPa 压力的氧气经收缩段时,流速增加,在喉口处达到音速之后,氧气流在扩张段再被增速成为超音速。根据气体力学连续方程,虽然喉口以后横截面积扩大影响气流速度的提高,但这个影响远小于由于面积增大而引起的气流重度减小对气流速度的影

响,所以气流速度明显地再被提高至超音速。单孔拉瓦尔喷头的氧流与熔池接触面积小,供氧强度亦低,如将它用于大容量炉子,将使生产率下降,造成炉液强烈喷溅以及降低炉衬寿命等问题,因此随着转炉容量的扩大,已采用多孔喷头。单孔拉瓦尔喷头一般用于6t以下小转炉,6~50t转炉多用三孔拉瓦尔喷头(见图2-4-3中的7),50t以上一般用四孔甚至多达七孔的。某厂300t转炉采用五孔拉瓦尔型喷头,如图2-4-5所示。

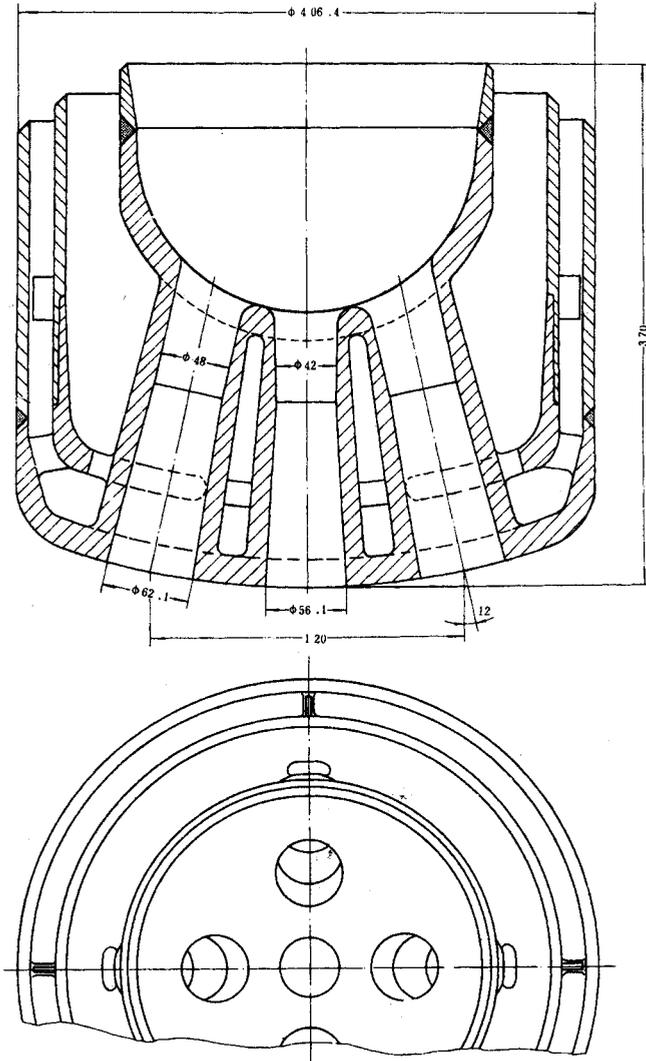


图 2-4-5 某厂 300t 转炉五孔拉瓦尔喷头

第二节 吹氧管升降机构

在炼钢过程中,吹氧管要多次升降,这个升降运动由吹氧管升降机构来实现。吹氧管在升降行程中经过的几个特定位置如图 2-4-6 所示。当吹氧管通过烟罩到达“开氧点”时,氧气快速切断阀自动开启送氧,至“变速点”时速度由快速自动切换成慢速,再后到达“吹炼位置”。吹炼位置在距液面 1 米左右变化。停吹时,提升吹氧管,经“停氧点”切断氧气,至“待吹点”吹氧管停止。为了在吹氧位置上准确调整枪位,在进入变速点时,吹氧管以慢速升降,在离开变速点后,吹氧管以快速升降,这样可缩短辅助时间。

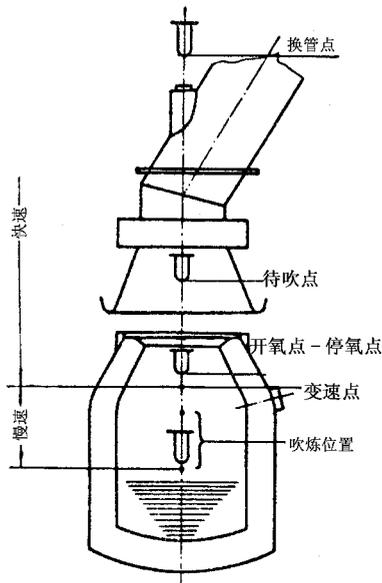


图 2-4-6 吹氧管升降行程中几个特定位置

一、吹氧管升降机构

(一) 单卷扬吹氧管提升机构

单卷扬吹氧管提升机构如图 2-4-7 所示。其结构特点是借助平衡重来升降吹氧管。吹氧管 1 装卡在升降小车 2 上,2 沿固定导轨 3 升降。平衡重 12 的作用是,一方面

平衡吹氧管升降部分重量,减少电机功率,另一方面当发生断电事故时,靠气缸7顶开制动器6,借平衡重提升吹氧管小车,为保证平衡重顺利提起吹氧管小车,其重量应比吹氧管等被平衡件重量大20%~30%,即过平衡系数取1.2~1.3。为缓冲平衡重下落时的冲击,设有缓冲弹簧13。当卷扬钢绳9发生断裂时,平衡重也能将升降小车提起。

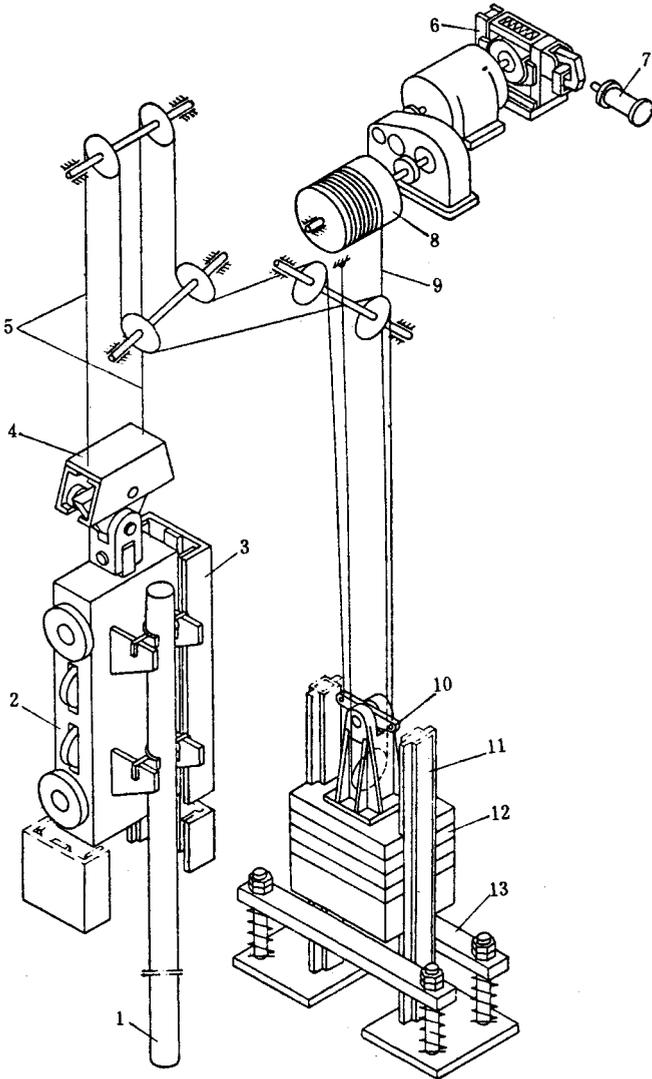


图 2-4-7 单卷扬提升机构

- 1—吹氧管 2—升降小车 3—固定导轨 4—吊具 5—平衡钢绳；
6—制动器 7—气缸 8—卷筒 9—升降钢绳；10—平衡杆；
11—平衡重导轨；12—平衡重；13—弹簧缓冲器

(二)双卷扬吹氧管提升机构

双卷扬吹氧管提升机构如图 2-4-8 所示,该机构设置的两套升降卷扬机都分别装在横移小车上,一套工作,另一套备用。这种机构不宜采用平衡重装置,而是采用电机直接升降。当出现断电事故时,需用备用电源提升吹氧管,如图 2-4-8 中采用蓄电池供电提升吹氧管,也可用气动马达作为备用动力提升吹氧管。

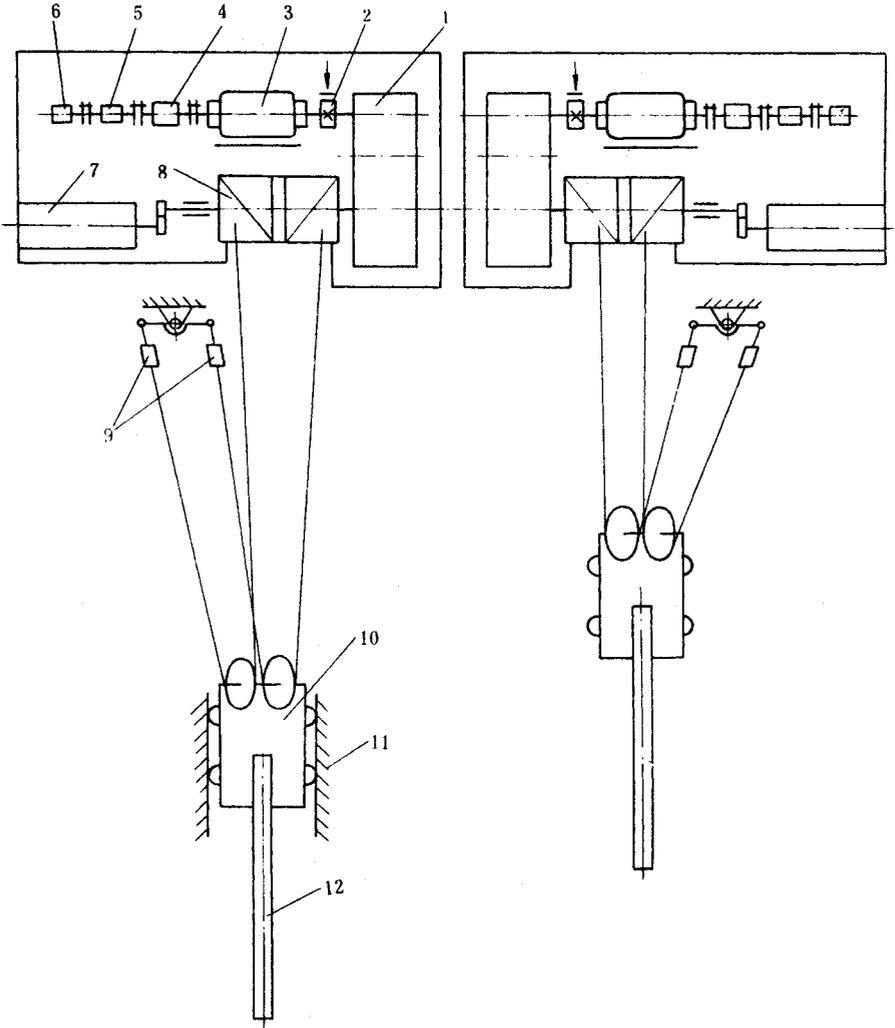


图 2-4-8 某厂 300t 转炉双卷扬型吹氧装置升降机构示意图

- 1—圆柱齿轮减速器 2—制动器 3—直流电动机 4—测速发电机 5—过速度保护装置;
6—脉冲发生器 7—行程开关 8—卷筒 9—测力传感器 10—升降小车 11—固定导轨 12—吹氧管

(三)升降小车与固定导轨

升降小车的作用是带着吹氧管在固定导轨内作升降运动。另外,也可减轻氧气流不稳定所造成的管体振动。升降小车(图2-4-7中2)由车架和车轮组成,车架为钢板焊接件,小车下面的一对运行滚轮和两对导向滚轮都装在偏心轴上,可借偏心轴偏心调整滚轮的中心位置,以保证吹氧管处于垂直位置,以及滚轮与导轨间的合理间隙。

固定导轨是保证吹氧管作垂直升降运动的重要构件。导轨固定在厂房承载构件上。为便于安装,可将导轨分成多段,用螺栓将各段组装而成。在导轨底部设有两组弹簧,供升降小车下降到极限位置时起缓冲作用。其螺栓联接应可靠,以防螺栓松动产生导轨偏斜。

图2-4-9为固定导轨与车轮之间的配置图。其中a为目前国内常见型式,其特点为小车车轮置于固定轨道框架内部,轨道包围着车轮。这种配置小车检修及车轮调位均不方便,导轮系薄壁件刚性较差。这种结构用于我国50t转炉上。图b的配置型式亦属此型,该导轨的两根轨道间距为2.6m,故导轨刚性较好,这种结构为我国300t转炉上所采用。图c的配置型式显然与上不同,适用于较小容量的转炉。图d的配置特点是车轮置于固定导轨框架内部,导轨系采用H型结构,刚性较好。

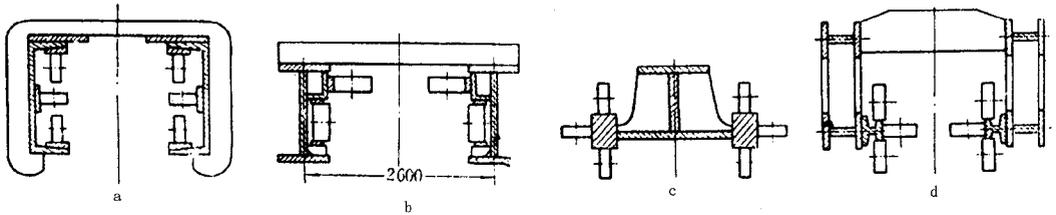


图2-4-9 升降小车固定导轨配置型式

二、安全装置

(一)断绳保护装置

为了防止钢绳断裂而造成掉枪事故,可以采用双绳工作制,如图2-4-10所示为钢绳张力均衡和断裂报警装置。升降小车的两根钢绳,从卷筒引出后,经动滑轮组、定滑轮组后被固定在钢绳接头上,钢绳接头借转轴固定在平衡臂6上,当两根钢绳松紧不一时,可由转臂的偏转调节两根钢绳的张力,使其得到均衡,如两根钢绳之一破断,平衡臂6将失去平衡而被座架7限位。臂6的倾转使摆杆2作平面运动,此时杆2将带动方轴3转动而使行程开关动作,使升降机构停止工作。为不中断吹炼,可重新接通电源,使另一根

钢绳在短期内继续工作。图 2-4-8 所示的 300t 转炉,是采用在钢绳上串接测力传感器的方法,当钢绳中出现受力不正常时即能断电停车。如在断绳、钢绳失载以及张力不均时都能起到保护作用。经使用证明,这是一种较好的保护装置。

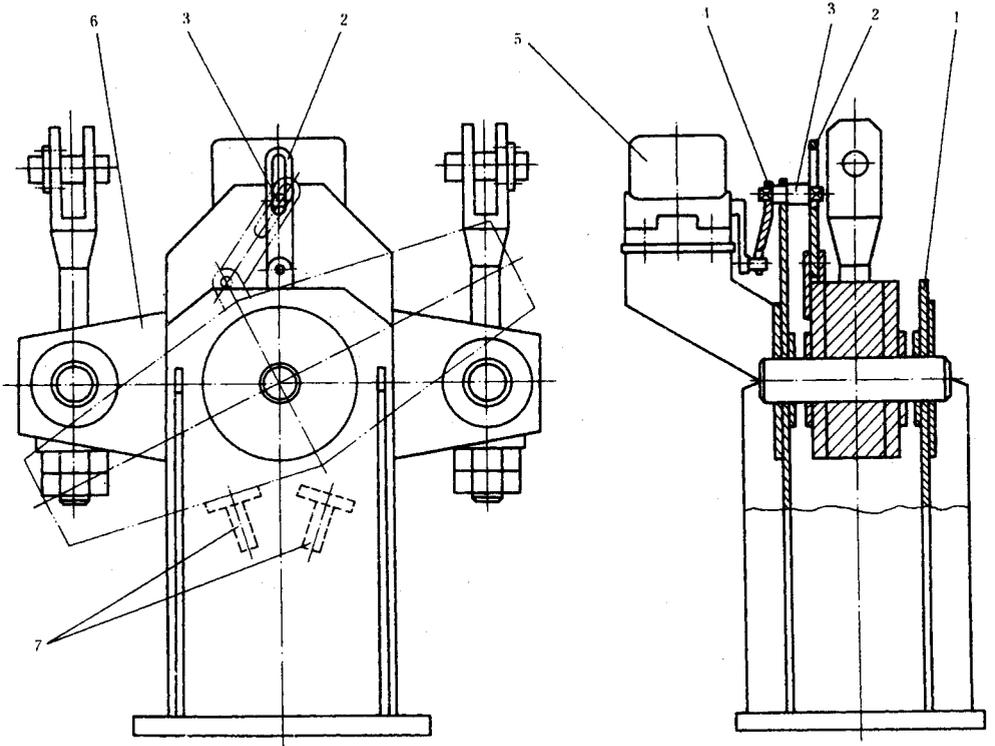
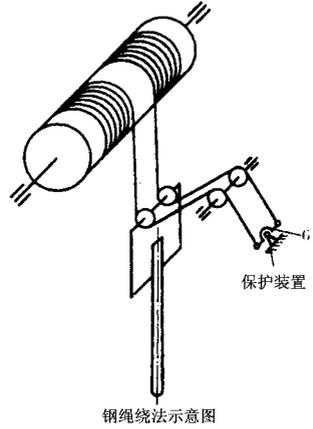


图 2-4-10 钢绳张力均衡和断裂报警装置

1—底架 2—摆杆 3—方轴 4—拨杆 5—行程开关箱 6—平衡臂

(二) 制动装置

为防止两根钢绳都断裂的特殊情况,还可采用制动装置,某厂 300t 转炉升降小车制动装置原理如图 2-4-11 所示。升降小车通过动滑轮吊挂在两根钢绳 3 上,滑轮架 2 的下面通过吊杆 11 及压缩弹簧 10 与车架 1 铰接,侧面与安装在小车架上的两组杠杆连接。正常工作时,压缩弹簧 10 在小车及吹氧管等重量的作用下被压缩,升降钢绳 3 承受张力。当钢绳松弛或断裂时,钢绳张力消失,压缩弹簧 10 因解除压缩力而恢复变形,则滑轮架将在压缩弹簧 10 的恢复力作用下相对车架 1 往下运动,两组杠杆系统各杆件随之相对车架往图示方向运动,其中连杆 4 被拉向上移动。如图 2-4-11A 向所示,楔块 7 的左面装有摩擦板 8,而右面为一斜面并置于滑座 6 的斜面槽中,滑座 6 因支座 5 是固定在车架 1 上,向上移受到约束,故楔块 7 将向左横移直至摩擦板 8 与固定导轨 9 靠紧为止。则 8 与 9 间所产生的摩擦力即可阻止小车坠落。升降小车下坠距离在 500mm 以内即被锁住。

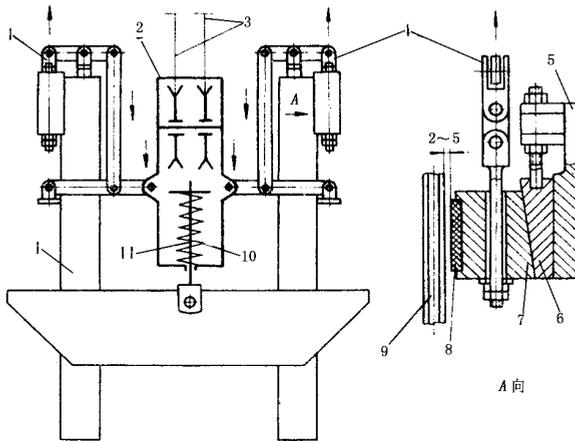


图 2-4-11 升降小车楔块制动装置原理图

- 1—升降小车车架 2—滑轮架 3—升降钢绳 4—连杆 5—支架 6—滑座；
7—楔块 8—摩擦板 9—固定导轨 10—压缩弹簧 11—吊杆

升降小车除上述保护装置外,还设有吹氧管行程极限位置控制装置和各机构及各工艺操作之间的电动联锁装置等设备。

第三节 吹氧管更换装置

吹氧管更换装置的作用是,当工作吹氧管发生故障或损坏时,吹氧管更换装置迅速将备用吹氧管换上使用。

一、单卷扬型吹氧管换管装置

(一)横移小车

单卷扬型换管小车如图 2-4-12 所示。横移小车是一个焊接框架体,由下车轮、下水平轮 10 和上水平轮 7 支承于下轨道 13 和上轨道 8 上,并能作横向移动。在小车上设有中心距固定的两组导轨 5 和 5'。当一组导轨 5 对准固定导轨 11 时,则由提升吊具 4 牵引的升降小车 3 带着吹氧管在工作位置上进行吹炼,吊具 4 由吹氧管升降机构带动。另一组导轨 5' 处于备用位置上,而备用吹氧管小车 3' 由上部轮子吊挂在导轨 9 上。

(二)锁紧装置

为了确保升降小车既能快速更换,而上部滚轮又不致从吊具 4 中滑出而下坠,在吊具 4 上设有锁紧装置。锁紧装置结构如图 2-4-13 所示。升降小车通过吊板 9,吊头 6,滚轮 8 吊在吊具中的轨道上。吊具上的撞架 3 通过螺杆 4 与卡具 5 连成一体,借助压缩弹簧 2 的弹力,使卡具 5 上的梯型凸块与吊头 6 上的梯型凹槽紧密嵌在一起(如图 2-4-14a 状态),以此来防止升降小车从吊具中滑出。为了更为可靠起见,加了一个定位销 7 来定位。

(三)换管操作顺序

换管操作顺序是:

(1)提升吊具,使其与横向导轨 2 的梯形缺口平齐,如图 2-4-15a 所示,此时吹氧管处于换管点位置。在吹氧管提升到换管点过程中,当撞架 4 与挡板 3 相撞时,4 受阻,卡具 7 停止上升,由于升降小车吊头 6 继续上升,于是弹簧 5 被压缩,则嵌合中的梯形嵌合结构逐渐脱开。当吊具升到与横向导轨 2 的梯形缺口平齐时,吊头 6 上的梯形凹槽与卡具 7 上的梯形凸块完全脱开,如图 2-4-14b 状态。与此同时,吊具与支承升降小车轮的横向导轨轨面亦对准衔接。

(2)拔出定位销 8。此时升降小车 9 的约束全部解除。

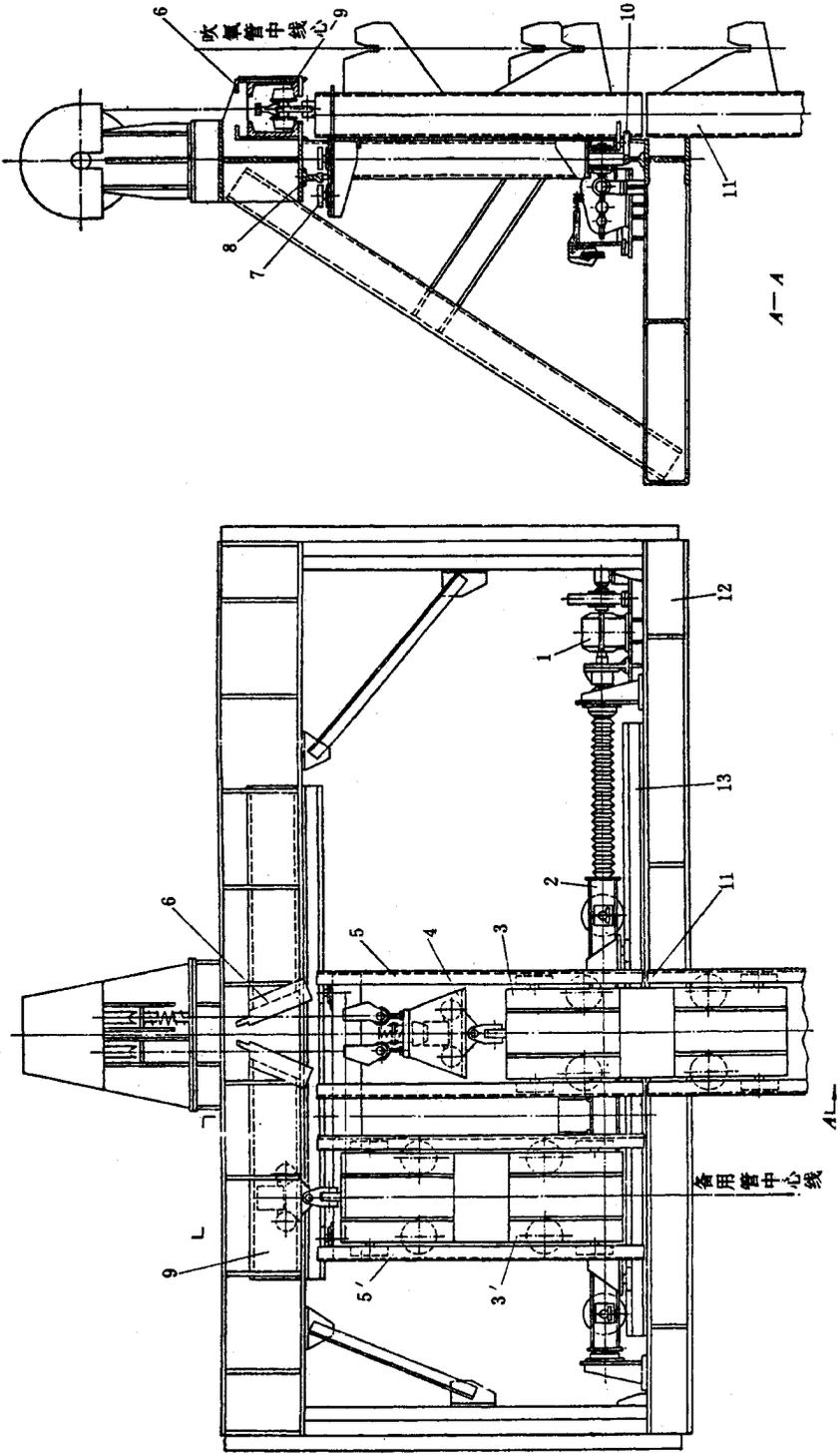


图 2-4-12 某厂 50t 转炉单卷扬型吹氧装置换枪机构

- 1—横移小车传动装置；2—横移小车；3、3'—升降小车；4—吊具；5、5'—活动导轨；6—挡板；
- 7—上水平轮；8—上轨道；9—横向导轨；10—下水平轮；11—固定导轨；12—车座；13—下轨道

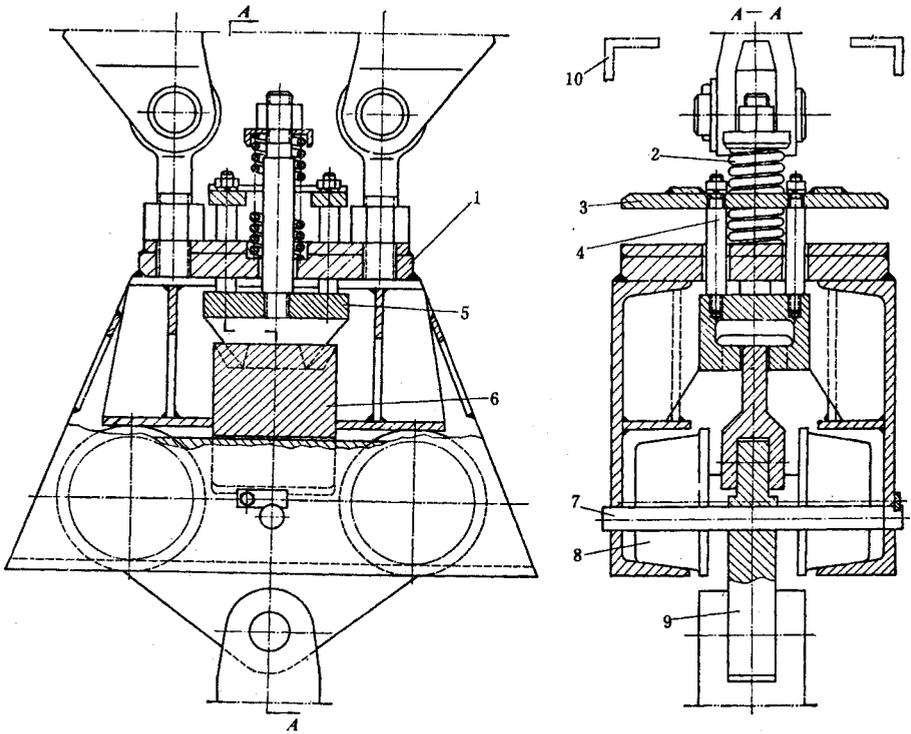


图 2-4-13 吊具锁紧装置

- 1—吊具体 2—压缩弹簧 3—撞架 4—螺杆 5—卡具；
6—吊头 7—定位销 8—滚轮 9—吊板 10—挡板

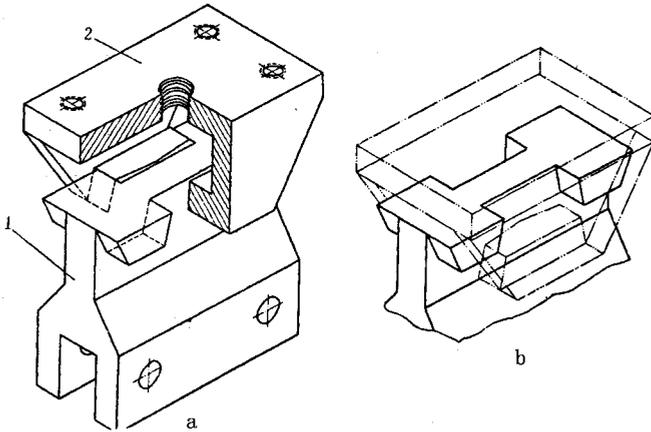


图 2-4-14 梯型凸块与梯形凹槽装配关系

- a—嵌合状态 b—脱开状态

- 1—吊具 2—卡具

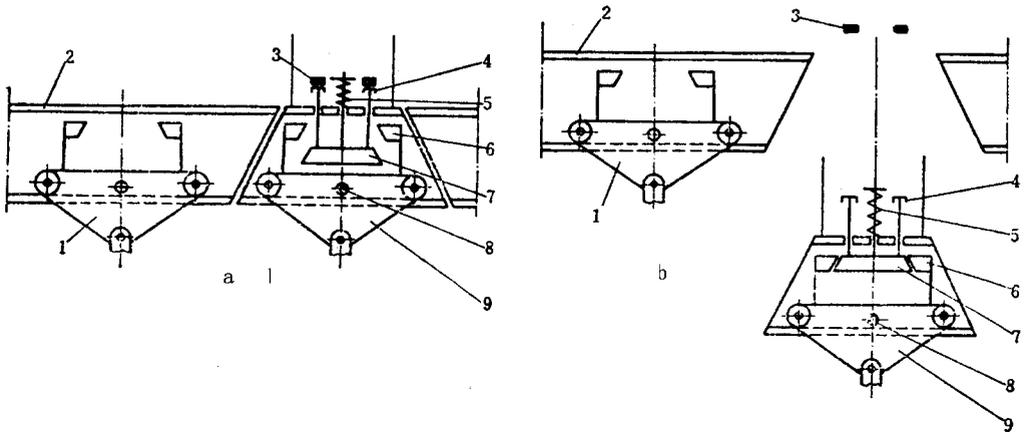


图 2-4-15 换管操作示意图

a—换管点位置状态 ;*b*—换管前工作状态

1—备用升降小车 2—横向导轨 3—挡板 4—撞架 5—压缩弹簧 6—吊头 ;

7—卡具 8—定位销 9—工作升降小车

(3) 驱动横移小车 ,直至原工作小车移入横向导轨 2 中 ,而备用升降小车 1 进入吊具中止。

(4) 插入定位销 8。

(5) 当下降吊具降至吊头 6 上的梯形凹槽与卡具 7 上的梯形凸块完全嵌合后 ,撞架 4 即脱离挡板 3 ,备用升降小车带着吹氧管投入工作。

(四) 存在的问题

上述结构中横移小车由于小车惯行定位不准 ,使升降小车不能准确停在吊具上 ,同时活动导轨亦不能与固定导轨准确衔接。其次定位锁的插、拨困难 ,并需人工进行。为实现换管远距离操作 ,国内自行研制过若干准确定位方案 ,也设计过定位销的自动操作机构 ,但使用中都未能取得理想效果。

二、双卷扬型吹氧管更换装置

双卷扬型吹氧管更换装置如图 2-4-1 所示。其工作与备用升降小车与各自的吊具相连 ,因此避免了单卷扬装置在换管时须把升降小车靠人工将安全销定位于共用吊具上的问题。这样双卷扬型吹氧装置只需解决横移小车的活动轨道与固定轨道准确衔接的定位问题。

目前 ,横移小车的定位方式不外乎采用电气、机械、液压或是它们的组合方式 ,应用

较多的是行程开关方式。但这种方案使用一段时间后,由于多种因素影响,也会出现定位不准的问题。某厂 300t 转炉采用如图 2-4-16 的结构,此传动装置装在横移小车上,传动机构不设制动器。横移小车上装有定位板 1。换管时,将备用位置的横向向小车移向原工作横移小车的所在位置,即移到锁定装置位置的正上方,它是借行程开关使小车停车,其定位精度可保证在 $\pm 20\text{mm}$ 内。然后,由滚珠螺杆千斤顶 7 推出辊子 2,该辊插入定位板 1 的喇叭口,从而由辊 2 的侧面推动横移小车的左、右移动,使其准确停在要求位置。这种使用行程开关进行初定位,再由锁定装置进行精确定位的二次控制装置,由于结构简单、定位准确,故是值得推广的一种横移小车定位结构。

行程开关动作位置 缓冲器端部位置

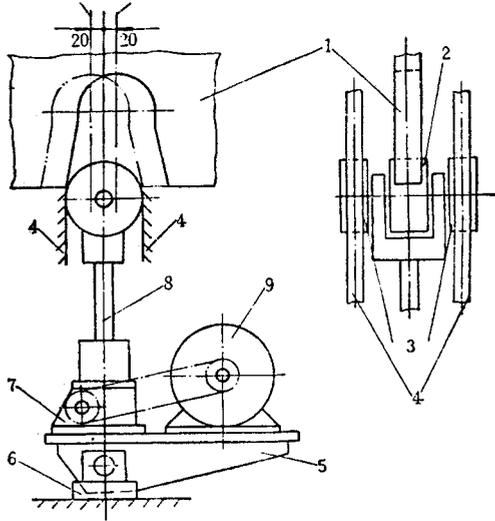


图 2-4-16 锁定装置示意图

- 1—定位板 2—定位辊 3—导向辊 4—导向辊导轨；
5—底座 6—锁定装置框架 7—滚珠螺杆千斤顶；
8—顶杆 9—电动机

三、两种吹氧管装置比较

单卷扬换管小车由于只有一套升降卷扬机,因此,造价较低;由于采用平衡重,可省掉断电事故用的动力设备及减少了卷扬的负荷,但是由于只有一套升降卷扬机,因此安全可靠性能差,对于现代炼钢生产,单卷扬是很不适应的。双卷扬式换管小车能很好地克服单卷扬式的缺点,在氧气顶吹转炉上(特别是大中型)得到广泛应用。不同容量转炉吹氧装置主要技术性能列于表 2-4-1。

表 2-4-1 若干不同容量转炉吹氧装置主要技术参数

| 名称 | | 转炉容量(t) | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|----------------------|-------|
| | | 20 | 50 ^① | 50 ^② | 120 | 国外某厂 150 | 300 | 国外某厂 380 | |
| 吹氧管总长/m | | 12.1 | 16.56 | 15.96 | 17.34 | 18.76 | 24.4 | 24.5 | |
| 吹氧管升降机构 | 升降卷扬机数量/个 | 单 | 单 | 双 | 单 | 双 | 双 | 双 | |
| | 吹氧管升降最大行程/m | 10.53 | 13.86 | 11.95 | 15.1 | 15.25 | 18.2 | | |
| | 升降速度 m·min ⁻¹ | 快速 | 44.6 | 50 | 20 | 50 | 25.9 | 40 | 32 |
| | | 慢速 | 10 | 10 | 5 | 6 | 4.8 | 3.5 | 5 |
| | 卷筒直径/mm | φ418 | φ730 | φ550 | φ800 | φ600 | φ900 | | |
| | 电动机 | 型 式 | JZR-418 /JZ-11-6 | ZZJ-52 (直流并激) | 交流电动机 | ZZJ-62 (直流并激) | 交流电动机 | D.C.814 | 直流电动机 |
| | | 功率/kW | 11/2.2 | 16 | 25/7.5 | 43 | 50/13 (JC40%) | 187 | 158 |
| | | 转速/r·min ⁻¹ | 715/883 | 700 | 1440/1400 | 630 | 648/930 (JC40%) | 850 | |
| | 减速器 | 型 式 | 行星差动 | ZL65 -8-1 | 行星差动 | ZHL650 -7 II J | 行星差动 | 圆柱齿轮 | |
| | | 速 比 | 21/115.9 | 16 | 122.9/ 478.5 | 15.3 | 23.6/182 | 30 | |
| 制动器 | | YDWZ-300/ 50J/YDWZ -200/25J | ZWZ-400 | 液压推杆 | ZCZ-400 /100 | 液压推杆 | 直流电磁 铁双瓦块 | | |
| 横移行程/mm | | 850 | 1200 | 1200 | 1200 | 3000 | 4300 | | |
| 移动速度/m·min ⁻¹ | | 0.362 | 3.62 | 1.5 | 4 | 6.12/5.85 | 4 | | |
| 换枪机构 | 电动机 | 型 式 | 车辆用油缸 | JO ₃ - 90S-6 | 特 制 | JHO ₂ -31-6 | 双速交流 电动机 | HM ₂ -593 | |
| | | 功率/kW | | 1.1 | 5.5 | 1.5 | 5.2/4 (JC40%) | 1.5 | |
| | | 转速/r·min ⁻¹ | | 930 | 1200 | 840 | 910/870 (JC40%) | 1500 | |
| 减速装置 | 型 式 | DG-J80- 70-E1 | ZL25 -2-I | 行星齿轮 | ZD-20-1 | 圆柱齿轮减 速器+单级 开式齿轮 | 摆线针轮 +单级开式 齿轮 | | |
| | 速 比 | | 8 | 7.1 | 6.6 | 232.6 | 884.5 | | |
| 制 动 器 | | | TJ ₂ - 200/100 | 特 制 | JWZ- 200/100 | 液压推杆 | 无 | | |
| 设备总重/t | | 15.2 | 41.4 | ~30 | 52.6 | 48.2 | 64 | | |

①指某厂 50t 转炉单卷扬型吹氧装置 ②指某厂 50t 转炉双卷扬型吹氧装置。

第四节 副枪装置

转炉副枪是相对于主枪(吹氧管)而言,它是设置在吹氧管旁的另一根水冷枪管。转炉副枪有操作副枪和测试副枪两种。

根据冶炼工艺要求,操作副枪向炉内喷吹石灰粉、附加燃料或精炼用的气体,以达到去磷,提高废钢比及其改善和提高钢的性能和质量。测试副枪又称传感枪,它用于检测转炉熔池温度、定碳、氧及液面位置并进行取样。采用测试副枪可有效地提高吹炼终点命中率,而且能在不倒炉的情况下进行取样。所以它不但提高了转炉产量、质量、炉龄,降低消耗,而且也改善了劳动条件。目前副枪已成为实现转炉炼钢过程自动化的重要工具。

按测头的供给方式,测试副枪可以分为“上给头”和“下给头”两种。测头从贮存装置由枪体上部压入,经枪膛被推送到枪头工作时的位置,这种给头方式称为“上给头”。测头借机械手等装置从下部插在副枪头上的给头方式称为“下给头”。由于给头方式的不同,两种副枪装置的结构组成也有很大差别。目前国内 50t 转炉副枪测头给头装置是采用上给头方式。但下给头方式由于测头回收方便,特别是在采用测温、定碳、取样复合测头,或单能取样测头的情况下,与上给头相比具有明显优越性。此外,下给头方式虽有设备较复杂,对高温多尘环境适应性较差等缺点,但对探头外形尺寸要求不严,贮头箱所储备探头数量较多,因此,这种给头方式的使用日益广泛。

一、下接头副枪装置及组成

图 2-4-17 为我国 300t 转炉副枪装置的示意图。由图知,该副枪装置是由旋转机构 1、升降机构 2、锁定装置 3、副枪 4、活动升降小车 5、装头系统 6、拔头机构 7、切头机构 8、溜槽 9、清渣装置 10 以及枪体矫直装置等组成。

副枪 4 由管体及探头两部分组成。该管体结构与吹氧管体相似,探头上装有检测元件。副枪 4 由副枪升降机构 2 带动升降。升降机构与吹氧管升降机构类似,活动升降小车 5 为副枪提供一附加支点,以此减少管体振动。副枪旋转机构由电动机经摆线针轮减速器,小齿轮驱动扇形大齿圈使旋转台架转动,从而使副枪转开。平时转炉吹炼时,副枪旋转机构不工作,锁定装置 3 制动旋转台架定位。

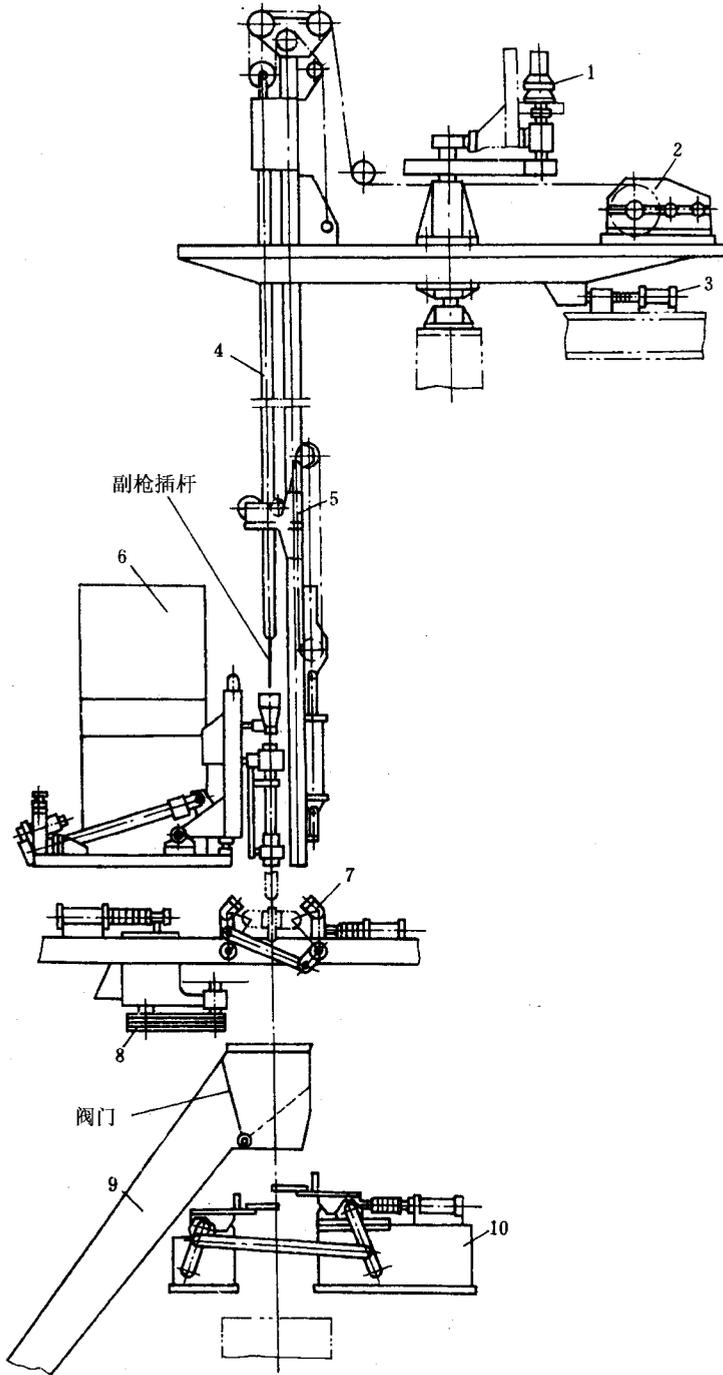


图 2-4-17 某厂 300t 转炉副枪装置

- 1—副枪旋转机构 2—副枪升降机构 3—锁定装置 4—副枪 5—活动导向小车；
6—装头系统 7—拔头机构 8—切头机构 9—溜槽 10—清渣装置

装头系统 6 能贮存一定数量的各种探头,并根据需要将其安装在副枪管体头部的副枪插杆上。探头用一次后即报废,探头降入熔池检测完毕后提升至拔头机构 7 被拔下。拔头机构 7 利用气缸及连杆机构推动左右两颚板张开或闭合。拔头时,两颚板夹紧探头,然后提升副枪,副枪插杆即从探头插入孔中脱出。之后,若两颚板张开,探头便下落入溜槽 9 中。对于定氧或多功能的复合探头,还需对试样进行分析,故还需用切头机构 8 切下试样部分。

溜槽 9 中设有气动阀门。当切下的试样下落时,阀门向通往炉前回收箱的方向打开(如图中虚线位置),试样部分经该通道掉入回收箱内。当探头不需回收时,阀门转向通往炉内方向打开,则探头掉入炉内熔化。为消除管体在炉内检测时粘附的渣壳,还设置了清渣装置 10 以及副枪矫直装置等。

二、探头

副枪的探头是副枪元件的关键元件。副枪的各种功能主要靠探头来实现。探头又称传感器,若探头不能准确反映钢水的各项指标,就不能对冶炼进行准确控制。故对探头的基本要求是(1)检测精度高(2)取出试样成功率高。

(一)探头的类型

探头按完成的功能数目,可以分为单能探头和复合探头两种。目前使用比较广泛且有实用价值的是测温、定碳复合探头。这种探头按钢水样进入样杯的位置,可分为上注式、侧注式和下注式三种。上注式和下注式钢水进样口分别在样杯的顶部和底部。而侧注式钢水进样口由样杯侧面进入。

(二)侧注式探头的结构和工作原理

侧注式探头结构如图 2-4-18 所示。此探头为复合式探头,它由测温热电偶 2 来测温,2 的保护罩 1 到测定点被熔破,样杯 4 中的定碳热电偶 3 测含碳量。4 内钢水经杯嘴 6 流入,该钢水除供测凝固温度外,亦供炉外取样用。为保证在指定位置采集钢水,在杯嘴 6 处堵以钢板 5,该板在探头达到测定位置时才被熔破。探头测得的信息由其中的补偿导线 10 传到副枪枪体的导电杆 9,再由穿过枪体的导线传至仪表,获得显示放大信号。上述结构目前应用比较广泛。

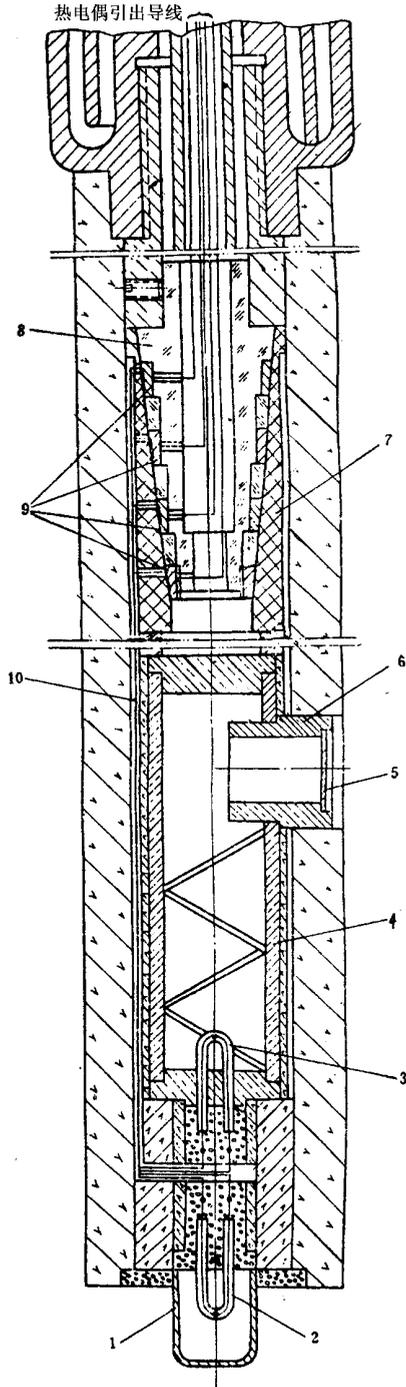


图 2-4-18 探头

- 1—保护罩 2—测温热电偶 3—定碳热电偶 4—样杯 5—挡板；
6—样杯嘴 7—插座 8—副枪插杆 9—导电杯 10—导线

三、装头系统

装头系统由贮头箱、给头机构、输送机构及装头机构等组成,如图 2-4-19 所示。贮头箱 1 是由上、下两层拼合成的矩形箱体。箱内存放四组垂直排列的探头,可存贮 48 个探头。每组探头都停放在给头机构 3 的凸轮托座上。凸轮托座由气缸驱动,当任一个凸轮回转 90°时,均可释放一个探头,气缸的往复行程由光电管装置控制。落下的探头到轨道上后,由输送机构 4 平移到轨道出口端,再沿斜道滚滑到装头机构 5 的承接架上。贮存箱内的探头用完时,由信号指示器控制,指令向贮存箱内加入探头。

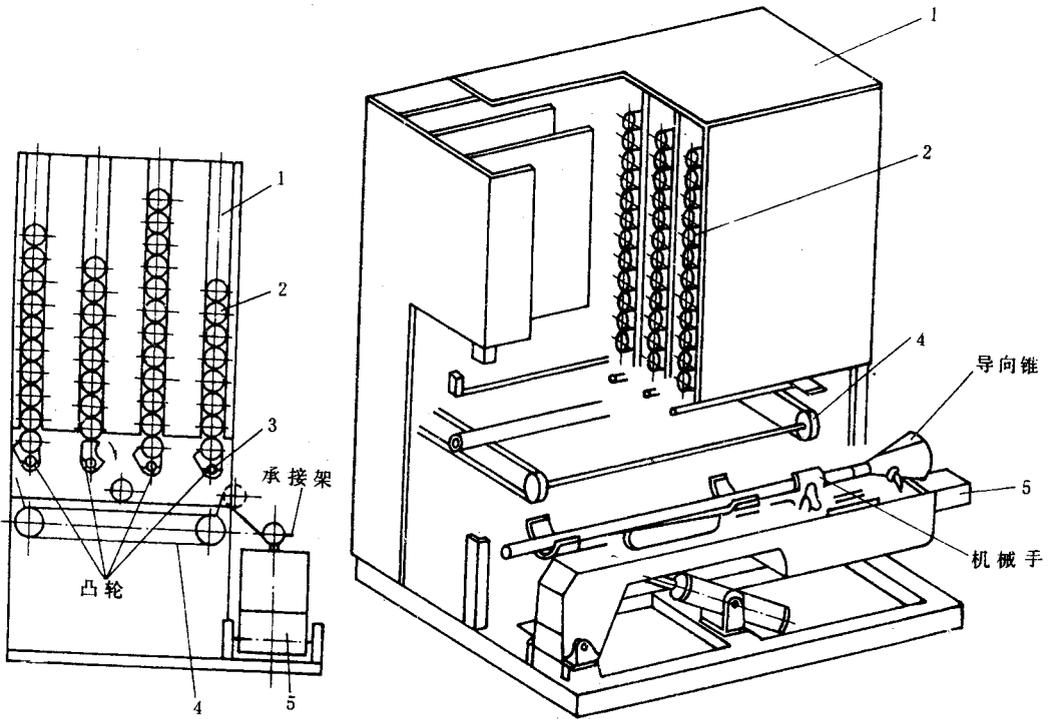


图 2-4-19 装头系统示意图

1—贮头箱 2—探头 3—给头机构 4—输送机构 5—装头机构

装头机构的作用是将承接架上水平放置的探头转到垂直位置,以便使副枪插杆插入探头内,从而完成装头的任务。如图 2-4-20 所示,装头机构由电动缸 17,转动架 2,承接架 7,活动吊架 8 及底座 1 等组成。

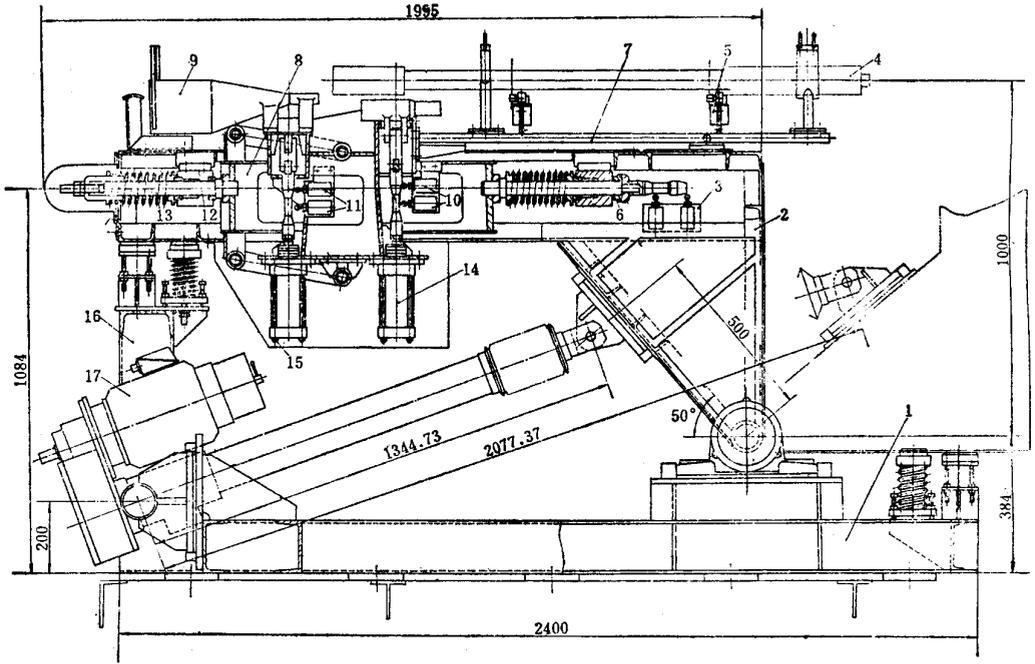


图 2-4-20 装头机构

- 1—底座 2—转动架 3—行程开关 4—探头 5—探头指示器 6—下中心轴；
7—承接架 8—活动吊架 9—导向筒；10、11—行程开关；12—滑块；13—上中心轴；
14—机械手气缸；15—导向锥气缸；16—支承立柱；17—电动缸

承接架 7 固定在转动架 2 的长臂上，其上装有两个探头信号指示器 5，给出有无探头的信号。电动缸 17、转动架 2 和水平位置支承座 16 都直接安装在底座 1 上。在底座的右边还装有两个缓冲弹簧和一个支撑座，当转动架 2 转到直立位置时，起缓冲和支承作用。活动吊架 8 通过上中心轴 13 及下中心轴 6 等装在转动架 2 上。当转动架转到直立位置时，活动吊架随其一起转动，此时活动吊架在重力作用下移动一段距离后被限位槽钢挡住。吊架向下滑动时，下触头先启动行程开关 3 的右开关，夹紧机械手的气缸 14 动作，夹紧探头。

夹紧气缸 14 动作时，带动行程开关 10 的下开关（指平卧时的位置），启动导向锥开闭气缸 15，将导向锥闭合。此时，启动副枪下降，使副枪插杆通过导向锥插入探头孔内而实现连接。导向锥 9 由两半组成，当其闭合时，所形成的上大下小锥孔起导向作用，当已与探头连接的副枪管体降至距导向锥 9 前某一位置时，导向锥 9 又张开让管体通过。副枪插杆插入探头后，在副枪重量作用下将推动活动吊架 8 下移，则上中心轴 13 及下中心

轴 6 的弹簧被压缩。当 6 的头部降至启动行程开关 3 的左开关时,机械手张开,探头即解除约束投入工作,而活动吊架 8 在上、下中心轴的压缩弹簧力作用下复位。当吊架处于直立位置时,活动吊架 8 及其吊挂的气缸等全部重量,通过下滑块 12 作用在限位槽钢上,当吊架处于平卧位置时,借左右两个滑块吊挂在转架上。

吊架上的探头、夹紧机械手、导向锥筒与开闭气缸一起固定在单独的双四连杆框架上,这样就能保证当吊架随转动架处于直立位置时,探头、夹紧机械手和导向锥筒等构成的刚体自重作用下,使探头中心线始终处于垂直位置,而不受转动架或活动吊架的影响,并且能保证在副枪中心线与探头中心线偏移时,只要副枪中心线不偏出导向锥筒上口之外,即可使副枪插杆与探头对中而插入。

转动架的转动靠电动缸 17 来实现。电动缸的传动过程是:电动机经一级圆柱齿轮减速后传动丝杠,丝杠带动螺母,使固定在螺母上的推杆前后移动,从而带动转动架 2 至直立和水平位置。

四、下接头副枪装置的布置型式

副枪装置布置型式按导轨是否移动可分为固定式和移动式两种。固定式的副枪导轨固定于转炉插入口中心线上,移动式又可分为旋转式和平移式两种。固定式的优点是,导轨安装刚性好,能提高检测精度,并节省了移动设备,而且副枪作业率高。其缺点是装头系统线上的所有设备都布置在转炉副枪插入口上方,增加了厂房高度及副枪长度,其次设备工作环境恶劣和检修不便。某厂 300t 转炉副枪装置采用旋转式,但它仅在检修时转开,而吹炼时是处于直立位置。

五、副枪主要技术参数及选择

副枪升降机构与氧枪机构基本类似,但为保证副枪检测精度,避免炉内高温对测头的影响和防止枪体粘渣(特别是不停氧测试时粘渣更为严重),必须尽量缩短副枪在炉内的停留时间。因此要求副枪有较高的升降速度及停位精度,在升降过程中及停止点不允许有较大的颤动。目前升降速度已高达 120 ~ 150m/min,停位精度已达到 $\pm 0.10\text{mm}$ 。副枪升降速度必须有两种或三种以上速度,如我国 300t 转炉除正常工作三种速度外,还增加了一个副枪刮渣速度 20m/min。

此外,为减轻变速时产生的颤动,可在电气控制上采取措施,使在变速点上有较平稳的过渡段。

国内 300t 转炉副枪装置主要工艺参数如下:

| | | |
|-----------|-----------|-------------|
| 副枪与氧枪的中心距 | (mm) | 1300 |
| 副枪总长度 | (m) | 24.1 |
| 升降行程 | (m) | 24.1 |
| 升降速度 | (m/min) | 150/50/20/8 |
| 旋转角度 | (°) | ± 53 |
| 旋转速度 | (r/min) | 0.19 |
| 探头外径 | (mm) | ~ 80 |

第五章 供料设备

第一节 铁水供应设备

一、铁水预处理站

铁水是转炉炼钢的主要原料。铁水在钢铁料中的比例约占 80 ~ 90% ,因此 ,铁水供应的质量是氧气转炉车间组织正常生产的基础。

目前铁水预处理技术已经成熟 ,它是实现转炉精炼操作、扩大品种、提高质量的重要手段 ,新建转炉车间应积极采用。铁水预处理的内容有单纯脱硫和三脱(脱硅、磷、硫)之分 ,其方法有喷吹法与搅拌法 ,前者设备简单 ,投资与成本均较低 ,故应优先选择喷吹法。

铁水预处理站可设在高炉与转炉车间之间的单独厂房内 ,也可设在主厂房的加料跨内。铁水预处理容器可为混铁车、转炉铁水罐或高炉铁水罐 ,应视具体条件确定。

铁水预处理用的粉剂因处理目的而异 ,一般有石灰、萤石、铁皮(或烧结矿)、苏打、炭粉和氯化钙等 ,粒度应 $\leq 1.0\text{mm}$ 。单用石灰粉脱硫 ,其粒度要求 $\leq 0.07\text{mm}$,且数量大于 90%。

铁水处理站内应设置粉料的贮存发送装置、喷枪升降与移动装置、扒渣设施、测温取样机械、烟罩及升降装置、排烟除尘设施、阀门站、电控及仪表等。

兑入转炉的铁水 ,温度应高于 1250°C [Si]应 $\leq 0.6\%$ [S] $\leq 0.05\%$ [P]视资源情况可适当放宽 ,但不宜超过 0.25% ,兑入转炉铁水应基本不带渣 ,并经准确称量 ,故应设置

扒渣设施和工作可靠的称量设施。

二、铁水供应方式

氧气转炉炼钢一般采用铁水热装,供应铁水的方式目前有四种。

1. 化铁炉供应铁水 其工艺流程如下:

化铁炉→铁水罐→称量→转炉

此种方式供应的铁水可以使用一部分廉价废钢作原料。缺点是额外消耗燃料、熔剂、增大熔损、增加粘包冷铁与管理费用,因而成本高。它仅适用于没有高炉或高炉铁水不足的小型转炉炼钢车间。

2. 高炉供应铁水 以输送铁水容器划分有三种方式:

(1) 铁水罐车供应铁水。其工艺流程如下:

高炉→铁水罐车→前翻支柱→铁水罐→称量→转炉

此种方式供应铁水与化铁炉及混铁炉相比投资省。但由于铁水罐散热损失大,从铁水罐先后倒出的铁水温差很大,兑入转炉铁水成分波动也较大,粘包冷铁难于处理,车间污染严重。目前在个别小转炉车间投产初期还使用这种供应方式。

(2) 混铁炉供应铁水。其工艺流程如下:

高炉→铁水罐车→混铁炉→铁水罐→称量→转炉

此种方式铁水成分和温度都较均匀,特别对高炉与转炉之间调节和均衡供应铁水有利。其设备质量大,还需设置大型铁水吊车,投资较大,一般适合于中、小型转炉炼钢车间,也适用于大型转炉炼钢车间。

(3) 混铁车供应铁水。其工艺流程如下:

高炉→混铁车→铁水罐→称量→转炉

混铁车即混铁炉型铁水罐车。兼有运送和贮存铁水的两种作用。采用混铁车供应铁水的优点:1)投资省(不另建混铁炉、铁水罐和起重吊车数量可减少)。2)作为铁水运输设备比较适应高炉大型化。3)从高炉向转炉运送铁水温降小,减少铁水转移过程的热损失,铁水粘罐损失少。4)操作简便、维修费用低。某厂引进320t大型混铁车与300t转炉炼钢配套生产,其优越性就比较明显。采用混铁车一次性投资较大,运送混铁车的铁轨曲率半径及坡度不宜过大,混铁车在铁道线上要求有较多的存放面积。

选择铁水供应方式必须因地制宜。一般认为:100t以上的大型转炉应优先采用混铁车,小于100t至20t的转炉可采用混铁炉。15t转炉有条件者宜首先采用混铁炉,无条件时先用铁水罐供应铁水,但应预留混铁炉扩建基地。10t及更小的炉子,如果本厂有高

炉,则可采用铁水罐车供应铁水,如果本厂没有高炉,则采用化铁炉。

三、混铁炉构造及容量确定

混铁炉是高炉和转炉之间的桥梁。对稳定铁水成分和温度,调节高炉和转炉之间的供求平衡及组织转炉生产极为有利。

1. 混铁炉构造 混铁炉构造是由炉体、炉盖开闭机构和炉体倾动机构三部分组成。如图 2-5-1 所示。

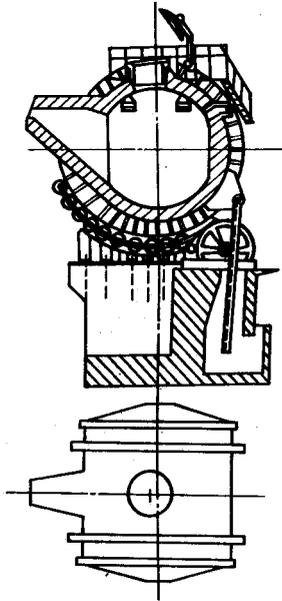


图 2-5-1 混铁炉构造

(1) 炉体。炉体包括炉壳、托圈、倒入口、倒出口和炉内衬砖等。

从保温要求出发,一般采用短圆柱炉型,其中段为圆柱形,两端端盖近于球形,炉体长度与圆柱部分外径之比近于 1。

炉壳用 25~35mm 厚的钢板焊接或铆接而成,两个端盖通过螺钉与中间圆柱形炉体连接,以便于拆装修炉。在炉体中间垂直平面内配置铁水倒入口,在炉体两侧分别设置倒出口和齿条推杆的凸耳。倒入口中心与垂直轴线成 5° 倾角,以便于铁水倒入和混匀。倒出口中心与垂直轴线约成 60° 倾角。在工作中,炉壳温度达 $300\sim 400^\circ\text{C}$,为了避免变形,在圆柱形部分装有两个托圈。同时,全部炉体也通过托圈支承在辊子和轨座上。为了铁水保温和防止倒入口结瘤,炉体端部与倒入口上部配有煤气和空气烧嘴,用火焰加热。

(2) 炉盖开闭机构。在铁水倒入口上方设有炉盖装置,通过地面绞车放出的钢绳绕过炉体上的导向滑轮以驱动炉盖开闭。由于钢绳引上炉体时,钢绳的引入点处的导向滑轮正好布置在炉体倾动中心线上,所以当炉体倾动时,炉盖开闭状态不受影响。

(3) 炉体倾动机构。目前混铁炉普遍采用的一种倾动机构是齿条传动倾动机构。齿条与炉壳凸耳绞接,由小齿轮传动,小齿轮由电动机通过四个圆柱齿轮减速后驱动。

混铁炉不仅可以贮存普通铁水,而且可以贮存熔点较高的半钢以及较粘稠的钒、钛铁水。根据某厂经验,加强向混铁炉供热和作好保温工作,在混铁炉内加入适量石灰造碱性渣,可降低炉渣熔点,也改善了炉渣的流动性。

现在有人提出将混铁炉改为混钢炉,这无疑对连续铸钢创造了极为有利的生产条件。

2. 提高混铁炉炉龄经验 目前国内有的厂改进混铁炉砌砖工艺与材质,并在操作管理上积累了许多经验,创造了混铁炉使用周期高达 1.5~2 年中修一次的长寿经验。

(1) 改进砌砖工艺及材质。某厂 300t 混铁炉的底部和侧面内衬,采用石棉板→硅藻土砖→2 层粘土砖→3 层高铝砖砌制。不仅保温效果好,工作层采用高铝砖有利抗酸性渣侵蚀和提高耐急热急冷性能。混铁炉顶部用硅砖作拱顶,有利热辐射加热铁水和保温。混铁炉筒体上下部为半圆,上半圆的拱座砖支持在与筒体钢壳焊接的钢板上,以免长期受渣线侵蚀而塌拱。筒体中部前后墙砌成垂直壁,既提高了砌砖稳定性,也增大了抗渣线内衬厚度。出铁嘴与筒体联接处用东北营口电熔镁砖砌制,并适当降低出铁口弦的标高,以消除出铁口上方与炉顶交接处的薄弱环节,且提高了出铁口小拱拱脚砖的稳定性与强度。混铁炉倒入口(水套内嵌耐火砖)在操作中为最薄弱环节,由于冷铁粘结致使炉盖关不严而影响保温,该厂设有 4~5 个备用受铁水口嘴,以待随时更换。

(2) 加强混铁炉维护和管理。新砌制的混铁炉采用快速升温,由过去的 10 多天烘炉升温缩短到 140 多个小时的烘炉时间。避免了烘炉过程中砖的炸裂和掉块。烘炉结束温度,普通铁水为 1320℃,含钛铁水为 1350℃。混铁炉大、中修后必须在炉底垫石灰 1t 左右然后再兑入铁水,以减少对新砌砖的冲刷或脱落。凡低于 1240℃的高炉铁水,不能兑入混铁炉。兑入混铁炉的铁水必须经过扒渣,以减少酸性渣侵蚀炉衬。凡已兑入转炉的铁水(吹过氧的或未吹过氧的)不能再兑入混铁炉,以免这部分铁水粘结在混铁炉底上,造成大、中修混铁炉拆底困难。对 300t 容量的混铁炉,最大铁水装入量不得超过 270t,最少贮铁水量不得低于 90t,以免渣线下移过多加大炉壁侵蚀宽度。混铁炉平时保温加热,避免温度忽高忽低,做到严格管理、坚守岗位、记录齐全。

3. 混铁炉容量和座数的确定 目前国内混铁炉容量有:150t、300t、600t、900t、

1300t。但标准混铁炉容量只有 300t、600t、1300t。混铁炉容量应与转炉容量相配合。要使混铁炉保持成分的均匀和温度的稳定,要求铁水在混铁炉中贮存时间为 8~10h,即混铁炉容量相当于转炉容量的 15~20 倍。

混铁炉的容量可由如下公式计算:

$$Q = \frac{1.01 \times A \times K \times \tau}{8 \times n} \quad \text{t}$$

式中 Q ——车间昼夜生产所需混铁炉的总容量, t;

A ——昼夜产钢量, t/d;

K ——每吨钢的铁水消耗系数;

τ ——铁水在混铁炉内停留平均时间,一般取 8~10h;

n ——昼夜小时数。

0.8——混铁炉装满系数。

根据计算的总容量,并参照混铁炉公称容量系列,确定混铁炉的容量和座数。目前我国对“二吹一”的转炉车间,可配置一座混铁炉,对“三吹二”的转炉车间,可配置二座混铁炉。

关于混铁车的砌砖工艺和维护管理,在许多方面可以借鉴混铁炉的经验。

第二节 废钢供应设备

氧气转炉炼钢装料的废钢比,随炉容量大小和铁水中硅、磷含量而异。小于 30t 转炉废钢比宜采用 10%~12%;50~100t 转炉宜采用 13%~15%;大于 100t 转炉宜采用 15%~20%。废钢中的硫、磷含量应小于 0.05%,夹渣小于 5%。入炉废钢严禁混入密封容器、爆炸物以及铜、铅、锌、锡等有色金属。对外形尺寸和单重过大的废钢,应预先进行解体 and 切割,单块废钢的单重应小于 0.5t,最大废钢边长应小于 0.5 倍炉口直径,应尽量减少轻薄废钢入炉用量。

大块废钢的切割和轻薄料的打包或压块,这些工作通常都在专门的废钢加工场内进行,合格料才能运入转炉车间的废钢间贮存待用。

废钢供应工艺流程 加工废钢→废钢贮仓→装斗→称量→转炉。

转炉车间的废钢间内,主要设备有废钢贮仓、废钢料斗、磁盘吊车、称量设备和废钢加入设备等。

一、废钢的加入方式

目前在转炉车间向转炉加入废钢的方式有两种。

1. 直接用桥式吊车吊运废钢槽向转炉倒入 这种加料方式吊车可以共用,转炉平台结构比较简单。但装入速度较慢,同时吊车干扰较大。

2. 废钢料槽车装入废钢 废钢的装入速度较快,可避免装废钢与兑铁水吊车之间的干扰。这种方法还可使废钢槽伸入炉口以内,以减轻废钢对炉衬的冲击,只是转炉平台结构要复杂些。当转炉容量较大,装入废钢数量较多时,可以采用废钢料槽车。当转炉容量较小,废钢装入数量不多时,则采用吊车装入废钢还是经济合理的。

二、废钢加入机械

用普通吊车加入废钢,将吊车的主钩和副钩吊起废钢料槽,像兑铁水那样依靠主、副钩的联合动作把废钢加入转炉。

专用废钢料车加废钢,这种方法是在炉前平台上专设一条加料线,加料车可以在炉前平台上来回运动。废钢料槽用吊车事先吊放到该废钢加料车上,然后开到转炉前,倾翻转炉,废钢加料车将废钢料槽举起卸入转炉内。废钢加料车在国内已有两种型式。一种是单斗废钢料槽地上加料机,废钢料槽的托架被支承在两对平行的铰链机构的轴上,用千斤顶的机械运动,使料槽倾翻并退至原位,如图 2-5-2 所示。另一种是双斗废钢料槽加料车,是用液压操纵倾翻机构动作的。

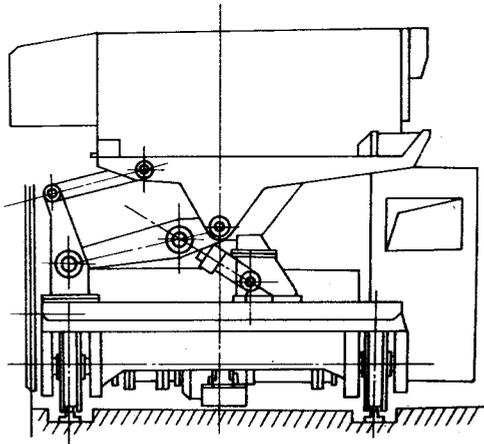


图 2-5-2 单料槽地上废钢加料机

目前国内使用的专用废钢料车,因事故多和维修不善经常停用。国外许多车间对于加废钢吊车或废钢加料车在事故状态时,采用以下措施来保证转炉加废钢操作的顺利进行:1)当废钢加料车的提升机构发生故障,则用吊车钩提升倾翻废钢料槽;2)当废钢加料车的行走机构发生故障,则用吊车吊运废钢料槽加入转炉;3)当加废钢专用吊车发生故障时则用普通吊车代替;4)当加废钢用的普通吊车发生故障时则用兑铁水吊车代替。总之,都有备用的设备和措施,使加废钢灵活可靠。

第三节 散状材料供应设备

散状材料主要是指炼钢过程中使用的造渣材料和冷却剂,如石灰、矿石、萤石、铁皮(污泥球)、白云石及烘炉用的焦炭等。散状材料供应的特点要求迅速、准确、连续、及时。

一、散状材料供应的方式

散状料从主厂房外面的贮料仓提升到炉顶料仓,近代转炉车间多采用胶带运输机走廊提升方式。图2-5-3表示一个全胶带上料系统,其作业流程如下:

地下(或地面)料仓→固定胶带运输机→转运漏斗→可逆胶带运输机→高位料仓→分散称量漏斗→电磁振动给料器→汇集胶带运输机→汇集料斗→转炉。

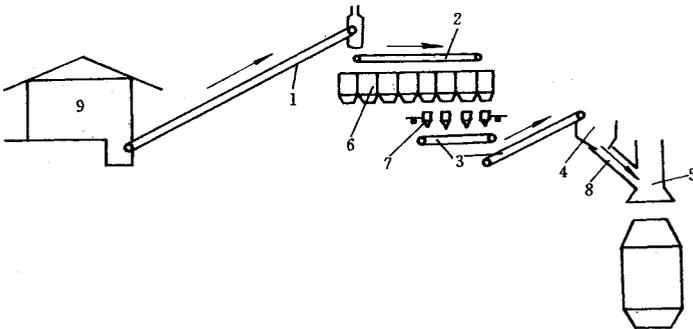


图 2-5-3 全胶带上料系统示意图

- 1—固定胶带运输机 2—可逆胶带运输机 3—汇集胶带运输机 4—汇集料斗;
5—烟罩 6—高位料仓 7—称量漏斗 8—溜槽 9—散状料间

全胶带上料系统的特点是运输能力大,上料速度快而且工作可靠,能满足转炉连续

作业的要求。但占地面积大,投资多,上料、运料时灰尘大。为了改善高位料仓工人在配料间的劳动条件,在高位料仓屋顶和胶带输送机上方应设置除尘装置。

目前在个别转炉炼钢车间,为了简化供料流程,节省场地和设备,也有采用斗式提升机或斜桥提升机将散料直接从地面提升到炉顶料仓标高位置以上,再经可逆胶带机向料仓布料的方式。

二、散状材料供应系统主要设备的选择

散状材料的供应系统主要设备包括料仓、运输、称量和加料设备。

1. 料仓容积和数目的确定

(1)低位料仓容积和数目的确定。低位料仓兼有贮存和转运的作用。低位料仓的容积按下式计算:

$$V = \frac{\text{每天消耗定额} \times \text{贮备天数}}{\text{装满系数} \times \text{堆积密度}} \quad \text{m}^3$$

每天消耗定额可按物料平衡和热平衡计算,并结合参考同类型转炉车间的实际消耗量。

贮备天数决定于原材料性质和运输条件。矿石、萤石可贮备 10~30 天。石灰易于粉化只宜贮备 1~2 天。其它则按原料产地远近,交通运输是否方便来决定贮备天数。

装满系数一般取 0.8。

散状材料的堆积密度(t/m^3)大约为:铁矿石 2.4~2.7,石灰 0.8~1.0,萤石 1.7,氧化铁皮 2.1,焦炭 0.6。

各种散状材料的料仓总容积算出后,再根据进料车皮的长度,存运的方便和其它具体条件确定料仓的尺寸和个数。应当指出,散状材料下料口的宽度应大于散状材料块度的 3~6 倍,料仓下部的倾斜角应大于其自然堆角,一般为 $45^\circ \sim 50^\circ$ 。料仓下部应采用振动给料器出料,以防卡料。

(2)高位料仓容积和个数的确定。高位料仓用于临时贮料,其容积的计算方法与低位料仓相同。为了把上料的时间集中在白天,一般要求贮备 24h 的炉料。每座转炉设置 6~12 个料仓。

高位料仓的布置分共用料仓、部分共用料仓、独用料仓三种方式。目前以部分共用料仓采用较为广泛。

部分共用料仓,某些散料共用,某些则单独使用(图 2-5-4)。这种布置虽然增加了料仓数目(较独用料仓),但基本上消除了料仓下面给料器作业负荷过高的缺点,停炉后能处理料仓中的剩余石灰。转炉两侧加料能保证成渣快,改善对炉衬侵蚀的不均匀性,

但在设计时应力求做到炉料落在转炉中心部位上。

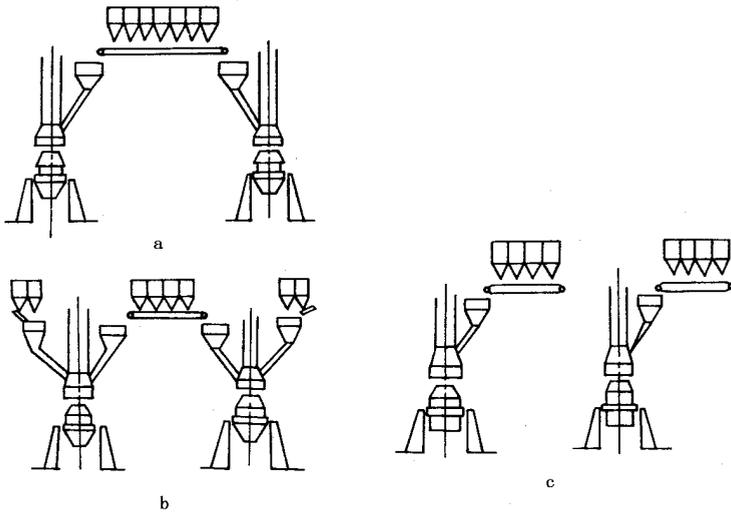


图 2-5-4 独用、共用和部分共用高位料仓布置示意图

a—共用高位料仓 b—部分共用高位料仓 c—单独高位料仓

2. 胶带运输机的计算与选定

胶带输送机主要用来连接各部分料仓,转运散状材料,其运输能力必须与车间各种散状材料的消耗量相适应。

胶带输送机长度依据高、低位料仓的相对位置确定。胶带运输机的倾角不超过 $14^\circ \sim 18^\circ$ 。胶带输送机宽度与物料运输量、堆积密度、胶带倾角系数、胶带线速度等因数有关。对槽形胶带的宽度计算如下:

$$\text{槽形带宽(槽角 } 20^\circ) \quad B = \sqrt{\frac{Q}{160\gamma_c(3.6c\tan\varphi_{\text{动}} + 1)}}$$

$$(\text{槽角 } 30^\circ) \quad B = \sqrt{\frac{Q}{160\gamma_c(3.6c\tan\varphi_{\text{动}} + 1.55)}}$$

式中 Q ——运输机的生产率, t/h ;

$\varphi_{\text{动}}$ ——物料的自然坡角,焦炭为 35° ,铁矿石、萤石为 30° ,石灰为 30° ,污泥球为 30° ;

c ——输送机倾角,其值 $\beta < 10^\circ$, $c = 1$; $\beta = 11^\circ \sim 15^\circ$ 时, $c = 0.97$; $\beta = 16^\circ \sim 22^\circ$ 时, $c = 0.9$;

γ ——物料的堆积密度(t/m^3);

v ——胶带运行线速度,可取 $0.8 \sim 2.5m/s$,输送粉尘量及磨损性较大的物料

宜取下限值。

根据计算结果,再结合国产胶带宽度的标准型号选定。目前标准型号的胶带宽度有500、650、800、1000、1200、1400mm几种。

3. 给料、称量和加料设备 炉顶料仓以下的设备包括电磁振动给料器、电子称量斗和加料设备,该系统由炉前操作室控制,是炉前加渣料操作的主要对象。

高位料仓下部出口处给料以及分散称量漏斗和汇集漏斗下部给料都是通过电磁振动而输出的。分散称量漏斗和汇集漏斗通过电子称自动称量,为准确控制各种物料的加入数量,称量与电磁振动给料器有电气联锁,即当称量漏斗内的物料达到给定值时,电磁振动给料能自动停止。

在采用回收煤气的烟气净化系统时,为了防止煤气通过加料溜槽管进入汇集料斗处逸出,在汇集料斗内应通入氮气密封。密封的汇集料斗又称为中间密封料仓。料仓的中部常作成方形,上下部分作成四截棱锥形容器(图2-5-5)。为了防止煤气逸出,在料仓入口和出口分别装有气缸操作的插板阀,并在料仓内通入氮气密封,加料时先将上插板阀打开,装进散状料后,关闭上插板阀,然后打开下插板阀,炉料即沿溜槽加入炉内,中间密封料仓顶部设有直径为250mm的防爆片两块,万一发生爆炸时用以泄压,保护装料系统设备。在中间密封料仓出料口外面设有同位素 $Co60$ 装置,可测知料仓内炉料是否卸完,通过计数管将讯号传至操纵室,便于炉前控制。

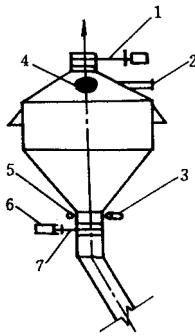


图 2-5-5 中间密封料仓

1—上插板阀 2— N_2 气入口 3—计数管 4—防爆片 5— $Co60$ 6—气缸 7—下插板阀

加料溜槽管与转炉烟罩相连,工作条件恶劣。设计溜槽时,尽可能保证靠重力给料,其倾斜角度不宜小于 45° (活动溜槽不小于 38°),固定溜槽需采用水冷装置。当采用不燃烧法除尘时,溜槽必须氮封或蒸汽密封,以防煤气外逸。

第四节 铁合金供应设备

铁合金主要用于钢水的脱氧与合金化,一般在转炉出钢过程中加入钢水罐内。有真空处理设备的车间,在钢水处理过程中亦用于调整钢水成分。

转炉常用的铁合金是锰铁、硅铁和铝。其它铁合金有钒铁、钛铁、硼铁、镍铁、铬铁、钼铁、钨铁等。对它们的基本要求是成分、数量准确,粒度适中(一般为 $10\sim 50\text{mm}$),干燥、无杂质。决不允许不明成分的铁合金入仓。

冶炼优质钢或高合金时加入的铁合金需经加热烘烤,烘烤设备有箱式烘烤炉、履带式烘烤炉、液压倾翻式烘烤炉等。

铁合金供应方法,对小于 30t 转炉一般是在转炉跨的一端设置专门的铁合金加料系统。炼钢厂设有铁合金总仓库,合金加工成合格块度并应在铁合金总仓库内完成,然后用汽车转运至炉子跨的一端,用吊车将料斗吊到炉子跨平台上铁合金料仓内贮存。当需要时,铁合金可以通过称量设备(电子称或机械称)称量,再采用万能叉车(图2-5-6)运到铁合金加料漏斗(或溜槽)进入钢水罐。

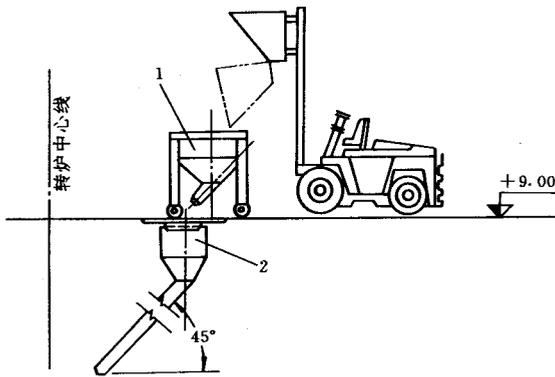


图 2-5-6 铁合金加料设施

1—铁合金加料小车 2—铁合金加料旋转漏斗

大于 50t 的转炉炼钢车间,对不经烘烤的常用铁合金供应流程为:装卸汽车运送到地下铁合金料仓内贮存,然后由皮带机提升运输到炉顶铁合金料仓,当转炉需用时,由电磁振动给料器给料到称量斗称量,称量后的铁合金再经皮带机运送到铁合金汇集料斗,经

加料溜槽向钢包加合金。这种供应铁合金的方式和一般转炉车间散状料供应方式相似。

有的转炉车间还设计了向钢水罐加入液态铁合金的系统。向钢水罐加入液态铁合金的系统包括加料机构、熔化合金的电炉和运送铁合金的自行式铁合金平车。

有的钢厂冶炼钢种加铝量大,为改善铝的分布和准确控制钢中含铝量,设置了向钢水罐专门使用的插铝机。铝丝直径为 $5 \sim 20\text{mm}$,铝丝插入速度为 $10 \sim 30\text{m/s}$,在加铝的同时还向钢液中吹入惰性气体。

铁合金料仓容积计算与散状料仓容积计算一样。料仓个数为6个左右,正常生产时应贮存三天以上的铁合金用料。

第六章 辅助设备

氧气顶吹转炉所用的辅助设备,如炉下钢包车、渣罐车、修炉车、炉底车以及炉衬喷补机等都是非标准设备。

第一节 钢包车及渣罐车

钢包车的作用是承载钢包、接受钢水并运送钢包过跨。钢包车的示意图见图 2-6-1 所示。

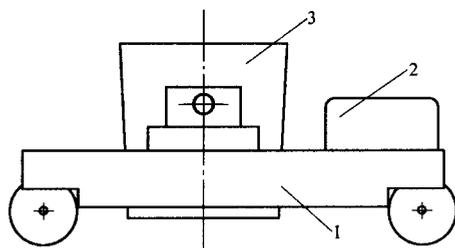


图 2-6-1 钢包车示意图

1—车体 2—电动及减速传动装置 3—钢包

钢包车主要由车体、减速装置、钢包支座等几部分组成。其中减速装置在车体的一侧,由电机带动减速器,再带动车轴运动而使钢包车运行。其减速装置设有外罩,以防高温钢水和炉渣的损坏。

渣罐车车体与钢包车类似,只是自身无动力行走机构,需要钢包车牵引运行。

第二节 修炉车

顶吹转炉炉衬的修砌方法分为上修法和下修法。

一、下修式修炉机

采用下修时,转炉炉底是可拆卸的,修砌炉衬必须使用带有行走机构的修炉车,在钢包车的轨道上工作,本身没有行走动力机构,多由钢包车将其拖动至转炉正下方进入工位。修炉车依其工作升降的动力形式分为液压传动和机械传动两种。

修炉车的作用是将砌炉所用衬砖从转炉底部送进炉内修砌处,其工作平台可以沿炉身上下移动,随时升到炉内任何一个必要的高度。图 2-6-2 所示是我国中、小转炉用套筒式升降修炉车,图 2-6-3 为国外砌筑大衬砖的修炉车。车间应留有足够作业面积放置炉底车和修炉车。

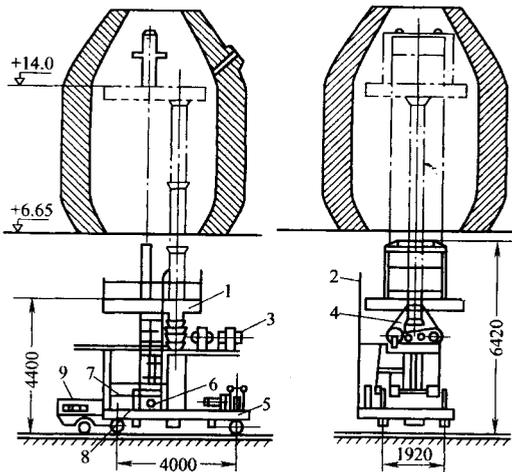


图 2-6-2 套筒式升降修炉车示意图

1—工作平台 2—梯子 3—主驱动装置 4—液压缸 5—支座;

6—送砖台的传送装置 7—送砖台 8—小车 9—装卸机

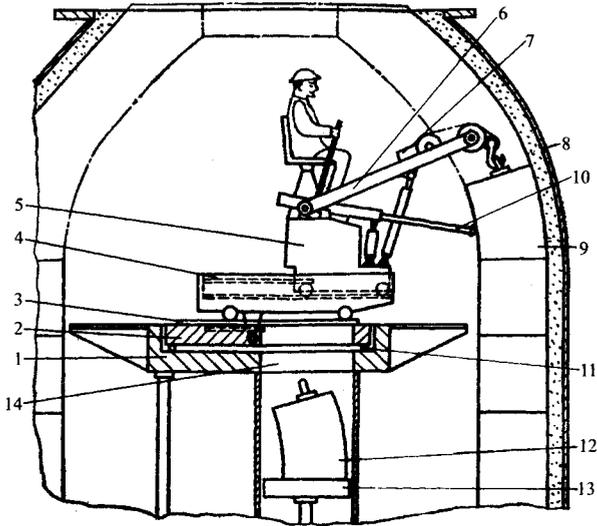


图 2-6-3 带砌砖衬车的修炉车示意图

- 1—工作台 2—转盘 3—轨道 4—行走小车 5—砌炉衬车；
6—液压吊车 7—吊钩卷扬 8—炉壳 9—炉衬；10—砌砖推杆；
11—滚珠；12—衬砖；13—衬砖托板；14—衬砖进口

转炉的下修方式,首先拆下炉底,炉底与转炉本体内衬可同时修砌,修炉时间较短。由于修炉设备置于转炉下方,不受其他干扰。

二、上修式修炉机

图 2-6-4 为 150t 转炉用修炉车。由横移小车 1、炉衬砖提升吊笼 6 和修炉平台 7 组成。而横移小车主要由平台提升机构、吊笼提升机构和横移机构组成。

修炉时,将可拆卸汽化冷却烟道移开,修炉车通过横移小车开至炉口上方,炉衬砖箱放入吊笼中,通过卷扬提升送到修炉工作平台上。修炉平台通过提升机构在转炉内上、下移动进行修砌工作。

图 2-6-5 所示为 300t 修炉塔结构示意图。由图可知,修炉塔是由修炉塔台车 24、塔体 10、旋转架 7 和分配辊道 5 及作业平台 2 几部分组成。另外,还配备一套供砖装置。由供砖装置将炉衬砖送入修炉塔的辊道。

修炉塔台车 24 是一个用四个车轮支撑的焊接框架,上面铺有网纹钢板,没有运行驱动装置,它安置在可拆卸汽化冷却烟道横移段台车轨道上,被活动烟罩的行走装置拖动运行。在砌炉时,转炉上方的烟罩台车横向移开之后,修炉塔台车 24 才能正置于炉口上方安装塔体等设备。

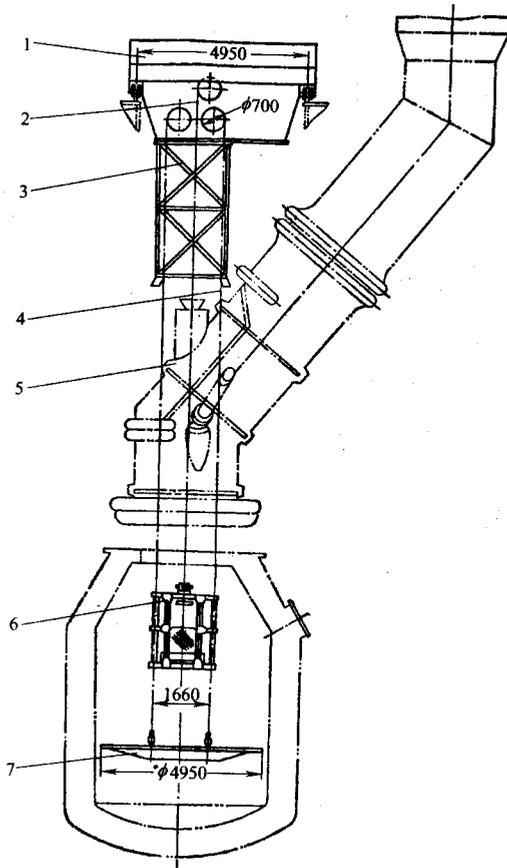


图 2-6-4 150t 转炉用上修式修炉车示意图

1—横移小车 2—钢绳 3—吊笼护罩 4—钢绳；
5—汽化冷却可拆卸段 6—吊笼 7—修炉平台

修炉塔的塔体 10 垂直安装在修炉塔台车架上，伸入转炉内，其升降由塔体升降卷扬机 21 和钢绳、滑轮组拖动，沿着修炉塔台车上的导向限位装置上下运行。

修炉塔下部工作装置是修炉塔主要工作部分。它包括旋转架 7、旋转平台 9、水平输送装置、作业平台 2 和起重小车运行轨道等。

旋转台架是由驱动装置 8、齿圈、旋转平台 9 和旋转架 7 组成。齿圈固定于旋转平台下部，起重小车运行轨道、辊道输送装置和作业平台都装设在旋转台架上，随其一起旋转。

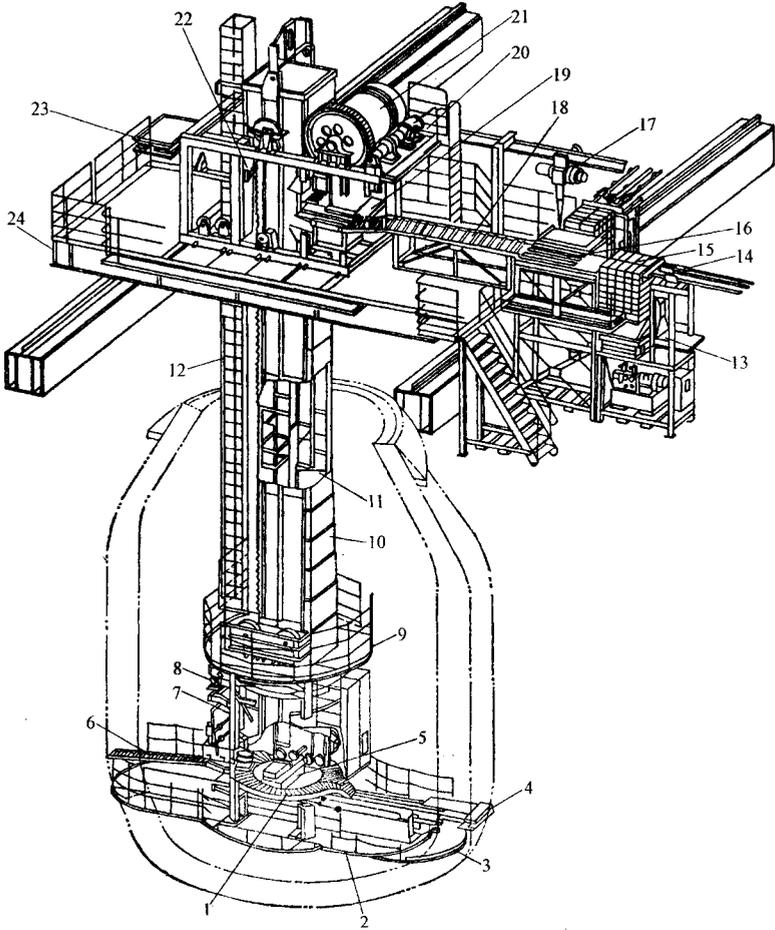


图 2-6-5 修炉塔总体结构图

- 1—环形输出辊道 ;2—作业平台 ;3—辅助平台 ;4—自动砌砖机 ;5—接收及输出辊道(分配辊道) ;6—倾斜输出辊道 ;7—旋转架 ;8—旋转架驱动装置 ;9—旋转平台 ;
 10—塔体 ;11—斗式运输机 ;12—梯子 ;13—升降台 ;14—推砖油缸 ;15—炉衬砖 ;16—砖换向台(辊道) ;17—电葫芦 ;18—倾斜辊道输送机 ;19—气动挡板 ;20—送砖皮带机 ;21—塔体升降装置 ;22—塔下落止坠装置 ;
 23—钢绳平衡及断裂检测装置 ;24—修炉塔台车

第三节 炉底车

炉底车主要是用于转炉下修时卸装炉底的机械设备。通过炉底车上可升降的顶盘，将直立着的转炉的炉底托住，待炉底从炉身拆卸下后，将炉底托下并从炉体下方运出，然后由车间吊车将炉底吊运至修砌地点。在炉身内衬和炉底修砌完毕后，再将炉底运至炉体正下方与炉身连接。

炉底车在炉下钢包车的轨道上工作，由钢包车拖动。修炉工作结束后，则由吊车将其吊运到车间指定的停放地点。

炉底车的总体结构如图 2-6-6 所示。它是由顶台—操作平台、升降油缸、液压—电气系统和车体组成。安装炉底时，将炉底放在顶盘的滚动支架环上，通过液压传动系统将顶盘升起，使炉底与炉身吻合并连接。

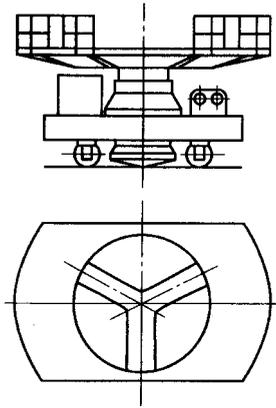


图 2-6-6 炉底车示意图

第四节 喷补机

转炉在冶炼过程中，炉衬尤其是渣线部位因侵蚀而损坏。为提高炉衬寿命，降低钢

的成本,提高效益,配合溅渣护炉技术,同时采用炉衬的喷补,是提高炉龄的重要措施。国内外的转炉都采用了各种补炉技术。

喷补方法分为湿法和干法两种。喷补装置的形式多种,下面主要介绍两种。

喷补机如图 2-6-7 所示,喷补机的驱动电机经减速器带动搅拌器旋转,将料斗内的补炉料进行搅拌,并通压缩空气使其搅拌充分、混合均匀。在输送胶管的出口接一根钢管并通水。混有补炉料的高速空气流将水雾化,被浸湿的补炉料由压缩空气喷射到炉衬需要修补的各个部位。

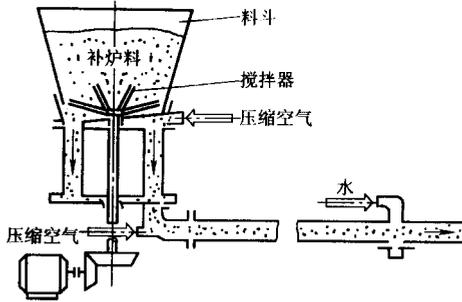


图 2-6-7 喷补机的工作原理图

图 2-6-8 为另一种半干热喷补装置的结构示意图,它是由密封料罐 2、铁丝网 4、铁丝网松动手轮 1、给料器 7、喷嘴 5 和供水、气管路组成。

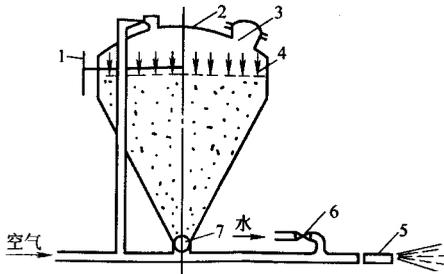


图 2-6-8 半干热喷补装置

- 1—手轮 2—密封料罐 3—加料口 4—铁丝网;
5—喷嘴 6—供水管 7—给料器

密封料罐上部有密封加料口,由此装入干喷补料,下部卸料口装有给料器,均匀连续向外送料。

第五节 拆炉机

转炉炉衬在吹炼过程中,由于机械、化学和热力作用而逐渐被侵蚀变薄,直到无法修补时,必须停止吹炼。此时,转炉即结束了一个炉役的使用周期,称一个炉役期,只有重新修砌炉衬才能继续炼钢。修炉操作包括炉衬的冷却、拆除旧炉衬和砌筑新炉衬等。对于中等吨位以上的转炉,两个炉役之间的修炉时间,通常在2~8天。因此,提高炉衬寿命,缩短修炉时间对于提高转炉产量有重要意义。拆炉机械化是改善工人劳动条件,减轻工人劳动强度,缩短修炉时间的重要措施。

拆炉机形式很多,这里介绍我国的一种履带式拆炉机。

如图2-6-9所示,拆炉机主要由拆炉工作机构、工作架、行走机构、液压传动系统和风动系统等组成。

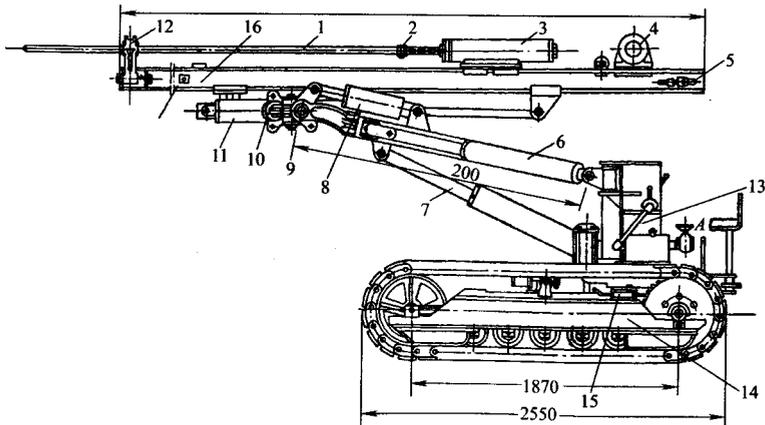


图 2-6-9 履带式拆炉机

1—钎杆 2—夹钎器 3—冲击器 4—推进风马达 5—链条张紧装置 6—桁架水平摆动油缸 7—桁架俯仰油缸 8—滑架俯仰油缸 9—滑架水平摆动油缸 10—滑架推动油缸 11、16—滑架 12—钎杆导座 13—车架 14—行走装置 15—制动手柄

拆炉工作机构包括钎杆 1、夹钎器 2、冲击器 3 和推进风马达 4。拆炉工作时,由冲击器冲击钎杆,捣毁炉衬。随着冲击深度的增加,推进风马达经链条向前推进冲击器进行工作。只要拆掉关键的衬砖,其他衬砖就比较容易松动而塌落。

工作架是由滑架 11 和桁架组成。桁架包括桁架水平摆动油缸 6、桁架俯仰油缸 7。在桁架上固定有滑架俯仰油缸 8、滑架水平摆动油缸 9 和滑架推进油缸 10。

行走机构是由车架、驱动装置和履带装置组成。

第七章 转炉设备的检查使用

第一节 装置的检查维护

检查加料装置是保证正常加料的重要一环。如某一种料加不下,就会造成冶炼被动,甚至停炉。如氧化铁皮加料发生故障,就造成石灰不易熔化,且温度降不下来;如石灰加料发生故障,无法进行冶炼,只能停炉修理。

转炉有一整套包括机、电、仪的加料设备系统。设备正常时加料既省力又省时间——按几下按钮即可,但如果有一处故障就会造成某一种物料或全部物料无法入炉,冶炼操作将会受到影响。开新炉前要仔细检查加料装置,平时生产中发现加料装置有故障要立即修理,若未能及时修好,交班时要交代清楚,并做好记录。目的是确认炼钢加料装置完好、安全、可靠,及时发现并排除加料装置的故障。

1. 检查操作

- ①料仓是否有料:可以直接观察高位料仓。
- ②振动给料器是否完好:由仪表工配合检查。
- ③计量仪表是否正常:由仪表工配合检查。
- ④料位显示是否正常:若显示不正确由仪表工配合检修。
- ⑤各料仓进出口阀门是否正常:由钳工配合检查。
- ⑥固定烟罩上的下料口是否堵塞,发现堵塞及时清理。
- ⑦最后炉子摇成水平位置,试放各种渣料(少量)。

2. 注意事项

①要求加料装置整个系统物料通道畅通无阻,阀门开、关灵活,保证渣料及时入炉。

②加料数量能正确显示及打印。

③转炉汇总料斗的出口阀除放料时外,要求为常闭,否则转炉烟气会烧坏加料设备系统。

3. 加料装置常见的故障

①汇总料斗出口阀不动作。主要原因是该出口阀距炉膛较近,受炉内高温辐射和高温烟气的冲刷后易变形。变形的阀门会不动作——打不开或关不上。若常开将造成烧坏加料装置系统。

②物料加不下去。主要是因物料堵塞,或振动器失灵等原因造成。

一些渣料堵塞是由于块度过大(超过规程要求的块度),或某些渣料由于粉料过多,受潮堵塞通道,物料内混有杂物等,均会造成系统设备收缩处堵塞;固定烟罩上的下料口因喷溅结了渣,也会造成物料堵塞。振动器故障一般由电气原因造成。

③仪表不显示称量数。其原因可能为:高位料仓已无料;仓内渣料结团不下料;振动给料器损坏(不振动或振动无力);仪表损坏。

④料位显示不复零。汇总料斗内料放完后,料位指示器应显示无料,即称复零。如不复零可能原因有因出口阀打不开,或下料口渣、钢堵塞,致使汇总料斗内的料加不下来,汇总料斗内不空,所以此时显示不复零。若检查汇总料斗确实无料而料位显示不复零则要考虑仪表损坏。

第二节 炉体倾动设备的检查使用

一、转炉炉体倾动设备的检查

检查炉体倾动设备,确认炉体倾动设备完好,能正常倾动;或及时发现设备故障,报修排除,保证设备能正常运行。

1. 检查内容

①润滑管路,保证畅通。

②检查密封部位是否漏油。

- ③检查制动器是否有效。
- ④检查钢滑块是否松动、跌落。
- ⑤抗扭装置连接螺丝、基础螺丝要检查其是否松动。
- ⑥检查托圈上制动块是否脱落松动,检查炉子在倾动中炉体与托圈是否有相对位移。
- ⑦检查大轴承连接螺丝和基础螺丝是否松动。
- ⑧检查轴承运转是否有异响。
- ⑨耳轴与托圈的连接螺丝是否折断、松动。
- ⑩炉口是否有结渣,炉子倾动时会不会发生意外或碰撞烟罩。
- ⑪检查各种仪表、开关及连锁装置是否有效。如转炉“0”位(吹炼位)及其与氧枪升降的连锁,包括氧枪升降中自动停供氧点装置正常动作等。
- ⑫炉体倾动时检查电流表显值是否在合适范围内。

2. 注意事项

- ①轴承如有异响,必须停炉检查和排除,否则会导致炉体转动不平稳,炉内钢水晃动,造成冶炼及安全上的不良后果。
- ②倾动速度不正常、倾动电流显示过大、转速不平稳等时都需停炉检查,以消除设备、冶炼及安全上的隐患。
- ③炉子制动时如有叩头现象,会造成设备损坏、转速不平稳等不良后果,必须停炉检查、消除。
- ④连锁装置、限位装置及各种仪表、开关必须灵敏、有效,如失灵会造成设备、生产等安全事故,危及生产及人身。

二、炉体倾动设备的使用

根据工艺要求,学会正确使用炉体倾动设备的各种功能,以完成一炉钢的冶炼。

1. 操作步骤

转炉倾动的操作装置是主令开关(见图 2-7-1),它有两套:一套安置在炉前操作室内,一般在操作台的中间位置,还有一套在炉旁摇炉房内,由炉倾地点选择开关(见图 2-7-2)进行选择使用。炉倾地点选择开关安置在操作室的操作台上。主令开关向正、反两方向的旋转操作各有五挡速度,第五挡达到正、反两方向的设计倾动速度。为减少启动电流,从一挡到五挡分别串联了启动电阻,第一挡最大,以下几挡逐挡减少。

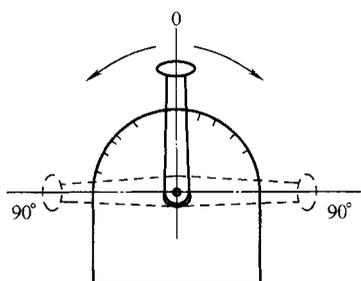


图 2-7-1 主令开关

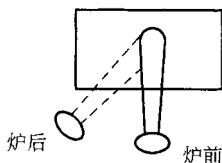


图 2-7-2 炉倾地点选择开关

(1) 炉前炉倾操作

①将炉倾地点选择开关的手柄旋转到“炉前”位置(此时炉倾主令开关的手柄应处于“0”位)。

②按工艺要求将炉倾主令开关的手柄由“0”位旋转向 $+90^\circ$ (前摇炉)或 -90° (后摇炉),使炉体倾动。

③当炉体倾动至工艺所要求的倾角时,立即将主令开关的手柄恢复到“0”位,炉倾电动机停电,刹车工作,使炉子固定在这个角度上。

(2) 炉后炉倾操作

①将炉倾地点选择开关的手柄旋转到“炉后”位置。

②进入炉后操作房用炉后主令开点进行如同(1)中的操作步骤。

在测温、取样和出钢倾动区内要求用低速,或多次倾炉来逐步达到要求炉倾角度,操作上可采用将主令开关手柄推到1、2挡后,快速回“0”;再推到1、2挡,快速回“0”;如此反复数次来达到目的。

2. 注意事项

炉倾地点选择开关如果选择“炉前”后,摇炉房主令开关就失效而不能操作炉倾,同样选择开关如果选择了“炉后”位置,则操作室内的主令开关就失效,不能操作炉倾。这由连锁装置来保证。

第三节 供氧器具和设备的检查使用

一、供氧及氧枪传动部分的检查

通过检查及时发现供氧器具和设备故障,并确认供氧器具和设备完好、正常。

1. 检查氧枪升降设备和更换机构

①检查氧枪升降用钢丝绳是否完好。

②对氧枪进行上升、下降、刹车等动作试车,检查氧枪提升设备是否完好。

③检查氧枪上升、下降的速度是否符合设计要求。

④氧枪下降至机械限位位置对检查标尺上枪位指示是否与新炉子所测量的氧枪零位相符(新炉子需测量和校正氧枪零位)。

⑤检查上、下电气限位是否失灵、限位位置是否正确。

⑥新开炉前检查氧枪更换机构是否正常、有效。

2. 检查氧枪供氧、供水情况

①检查开氧、关氧位置是否基本正确。

②在氧枪切断氧气时用听声音来判断是否漏气。

③检查各种仪表(包括氧气压力及流量,氧枪冷却水流量、压力、温度)是否显示读数且确认正确,以及各种联锁是否完好。

3. 检查氧枪本体

①检查氧枪喷头是否变形、粘钢、漏水。

②检查氧枪枪身是否粘钢、渗水。

4. 注意事项

①检查供氧器具及设备每班接班时进行,以确保班中安全生产。

②氧枪本体要求炉炉观察、检查,确保氧枪炉炉正常。如果在班中某一炉次由于未检查而在供氧吹炼中发生氧枪漏气、漏水都会对正常生产带来不良后果,也可能造成设备损坏或人身安全事故。

③发现供氧器具及设备故障,应立即进行处理。班中来不及修好应交班继续修理,另作好交班记录。

二、供氧及氧枪传动部分的使用

学会正确使用供氧器具和设备,能根据工艺要求进行供氧操作。

1. 操作步骤

(1) 氧枪升、降操作步骤

氧枪升降开关(见图 2-7-3)控制氧枪的升、降。一般安置在右手操作方便的位置处,是一种万能开关,手柄在中间为零位,两边分别为升和降氧枪的位置。平时手柄处于零位。

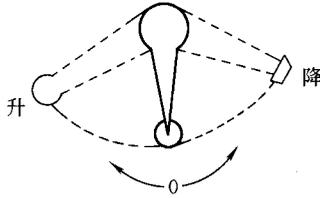


图 2-7-3 氧枪升降开关

①提枪操作。将手柄由零位推向左边“升”的方向,氧枪升降装置动作,将氧枪提升。当氧枪升高到需要的高度时立即将手柄扳回零位,使氧枪停留在该高度位置上。操作时要眼观氧枪位标尺指示。

②降枪操作。将手柄由零位推向右边“降”的方向,氧枪升降装置动作,使氧枪下降。当氧枪下降到需要的枪位时立即将手柄扳回零位,使氧枪停留在该高度位置上。操作时要眼观氧枪枪位标尺指示。

(2) 氧压升、降操作

在操作室的操作台屏板上装有工作氧压显示仪表和氧压操作按钮(见图 2-7-4)。

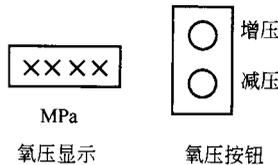


图 2-7-4 氧压显示及控制

①升压操作。当需要提高工作氧压时按下“增压”按钮使工作氧压逐渐提高,且眼观氧压仪表的显示读数,当氧压提高到所需数值时立即松开按钮,使氧压在这个数值下工作。

②降压操作。当需要降低工作氧压时按下“降压”按钮使工作氧压逐渐降低,且眼观氧压仪表的显示读数,当氧压降低到所需数值时立即松开按钮,使氧压在这个数值下工作。一般情况下氧压的升、降操作都是在供氧情况下进行的。静态下调节的数值在供氧时会有变动。

2. 注意事项

①转炉的氧枪升降手柄方向和氧压增减按钮位置绝对不能搞错,否则操作效果与操作意愿正好相反会给生产带来严重后果。

②当转炉在进行氧枪枪位调节时一定要同时眼观氧枪枪位标尺指示;当进行氧压调节时一定要同时眼观氧压仪表显示读数,以确保操作正确,避免发生操作事故。

③手不能握在接缝处,以防回火烧伤。如发生回火即关闭阀门,停止供氧,待查明原因并纠正后再吹氧。

④若漏气严重又来不及关阀门,可将供氧橡皮管对折并压紧为应急措施切断氧气,然后再关闭供氧阀门。

第四节 其他设备的检查使用

一、除尘及煤气回收设备的检查

确认设备完好正常,能及时发现设备故障。

1. 检查内容

①观察风机故障信号灯,该灯不亮,表示风机正常,该灯亮表示风机有故障。

②观察要求送停风按钮,信号灯是否正常。

③观察煤气回收信号灯是否显示正常。回收阀开时,放散阀关,回收阀关时,放散阀开。

④检查与煤气加压站联系回收煤气的按钮;信号灯是否正常;检查煤气加站同意回收煤气信号灯是否正常(手工回收煤气用)。

⑤检查与风机房联系的按钮是否有效(自动回收煤气用)。

⑥检查氧枪插入口、下料口氮气阀门是否打开,检查氮气压力是否满足规程要求。

⑦开新炉子时,炉前校验各项设备正常后,要求净化回收系统有关人员进行汽化冷

却补水、检查各处水封等。由风机房人员开风机。若是正常的接班冶炼操作,以上检查只需将当时工况与信号灯显示状态对照,相符即可。

⑧吹炼过程中,发现炉气外溢严重,需观察偶合器高、低速信号灯显示是否正常,如图 2-7-5 所示,若不正常与风机房联系,要求处理。

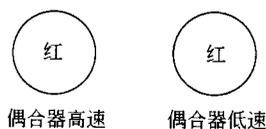


图 2-7-5 信号灯显示

2. 注意事项

- ①观察炉口烟气,若严重外冒(异常)需与风机房联系。
- ②严格按操作规程规定进行煤气回收。
- ③发现汽化冷却烟道发红,或漏水,及时报告净化回收系统有关人员。

二、除尘及煤气回收设备的使用

学会正确使用除尘和煤气回收装置,确保除尘和煤气回收装置安全运行。

1. 操作步骤

(1)使用除尘装置

①降罩操作

首先确认降罩系统完好,再进行降罩操作。降罩操作可以使炉口不吸或少吸入空气,保证含有较多 CO 的烟气不与空气中氧发生大量的化学反应,确保烟气中 CO 含量高且稳定。

降罩操作要求在供氧吹炼后 1~1.5min 进行。

②要求吹炼过程平稳,不得大喷。若炉内发生大喷,金属液滴,渣滴将获得巨大的动能,其中可能有一些会冲过一级文氏管的水幕,保持红、热状态,即将“火种”带入了一文后,由于此处具有的烟气成分、温度在爆炸范围内,所以有了火种极易造成一文爆炸。

操作中为避免大喷,必须注意及时、正确地加料和升降氧枪的配合。

(2)使用煤气回收装置

使用煤气回收装置,必须严格执行煤气回收操作规程和煤气回收安全规程。

(3)手工回收煤气

①降罩。吹氧后在规定时间内转动“烟罩”开关至“降罩”位置。烟罩下降,让未燃烟气

冲洗烟通。

②回收。在规定的时间内按下要求回收煤气按钮,要求回收信号灯亮。待同意回收信号灯亮即表示煤加站同意回收了,即按“回收”按钮,三通阀动作,开始回收。

③放散。待煤气回收至允许回收时间的上限时,按下“放散”按钮,三通阀动作,开始放散烟气。

④提罩。用废气清洗烟道一段时间后提罩即转动“烟罩”开关至“提罩”位置(“降罩”和“提罩”操作当烟罩到位后,“烟罩”开关需恢复至“零位”)。操作期间观察信号灯变化。

具体各操作步骤的时间经反复实践后制定,在各厂煤气回收规程中可见。

某厂 30t 转炉的规定如下。

降罩 :1 ~ 1.5min

回收时间 3 ~ 10min

放散后至提罩时间 :> 30s

如回收期间发生大喷,必须立即放散。

(4) 自动回收

在规定时间内转“烟罩”开关至“降罩”位置,当烟罩就位后将“烟罩”开关复“零位”。降罩后自动分析装置开始不断分析其烟气成分。

当自动回收煤气装置收到了三个信号:开氧信号,降罩信号,烟气成分符合回收要求信号时会进行自动回收。然后当其中任一条件不符合设计要求时又会自动放散。

主要设计的成分是 CO 和 O₂ 的含量。其数据由理论、实验和用户要求三个方面反复修正而定。

操作期间观察煤气自动回收系统的“回收信号灯”、“放散信号灯”的指示是否正常。

若发现自动回收有故障,或炉前发生大喷,要求结束自动回收,可按警铃(此铃直接与风机房联系)或打电话联系,立即改为“放散”状态。

2. 注意事项

正确使用除尘和煤气回收装置是关系到确保除尘和煤气回收系统安全正常运行的关键。所以上述操作内容必须严格按操作规程进行,特别是操作中发生大喷现象,必须立即停止煤气回收,否则易造成一文爆炸。

三、炉体部分

①检查炉壳变形、脱焊、小修小补立即处理,大面积变形应报计划安排修补。

②检查炉口水箱及罩裙,局部变形应修补,整体变形应整个调换。

③炉底拆下以后检查、修补。当变形不能再装上炉身,即联结法兰翘曲严重,整个报废更新。

④检查炉体与托圈联结的三个铰接球面支撑装置,拧紧螺母不准松动,与托圈的焊缝不准有裂缝。

四、活动烟罩与提升装置

①活动烟罩水封槽出灰。

②调换损坏的提升链、钢丝绳、接头、滑轮等。

③检查卷扬机调换超过标准的制动瓦、齿形联轴器等,添加润滑油。

五、水箱挡渣板与管道

①检查、修补炉前、炉后、炉侧水箱,将严重翘曲变形无法修补的水箱调换。

②检查修补各挡渣板,炉后封顶挡板,变形严重区应加强结构。

③检查各水管、压力表、阀门、不得滴漏、阀门手轮应旋动关得紧,不符合要求者应调换,炉口水箱胶管损坏应调换,石棉带松动应包扎好。

第八章 氧气转炉设计

氧气转炉是转炉炼钢车间的主体设备。其设计的质量不仅直接影响到投产后的各项技术经济指标以及企业的经济效益和社会效益,而且还关系到操作者的劳动安全。为了正确、合理的设计,达到预定的目标,必须依据建厂的具体条件,充分调查和掌握同类转炉的发展现状,切实做到理论与实际紧密结合。

本章以氧气顶吹转炉为重点,对其炉型、炉衬以及炉体金属结构和倾动机构的选型和设计进行系统的论述,同时,结合顶底复吹转炉的工艺特点,着重介绍其主要设备的设计方案和步骤。

第一节 氧气顶吹转炉炉型设计

一、炉型的定义

如图 2-8-1 所示,转炉由炉帽、炉身和炉底三部分组成。

目前常用的炉帽系一上小下大的正口形截圆锥体。炉帽以下、熔池面以上的炉身部分为圆筒形。熔池面以下的炉底部分,其形状视熔池形状而定,根据修炉方式的不同,有死炉底与活炉底之分,前者适用于上修,后者适用于下修。

所谓转炉炉型,实际上是指由上述三部分组成的炉衬内部空间或炉膛的几何形状。由于炉帽和炉身的形状并无变化,所以通常就按熔池形状划分归类。

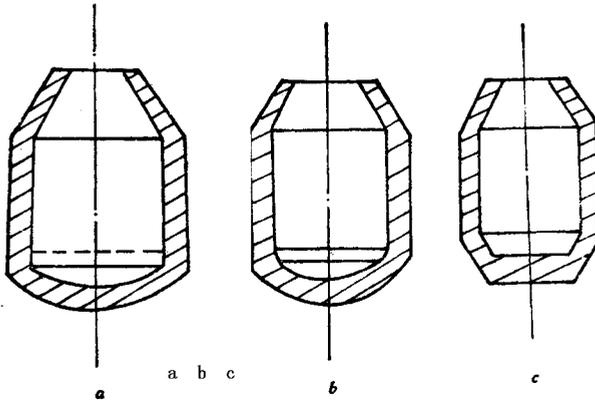


图 2-8-1 常见转炉炉型

a—筒球型 ;b—锥球型 ;c—截锥型

二、炉型的选择

按熔池形状来分,常见的氧气顶吹转炉炉型有筒球型、锥球型和截锥型三种(图 2-8-1)。

(1)筒球型。其熔池形状由一圆筒体和一球缺体组成。这种炉型炉衬砌筑简单,炉壳易于制作,其形状比较接近于金属流的循环轨迹。通常,球缺底半径 $R=(0.9 \sim 1.2)D$ 。当 $R=1.1D$ 时,熔池体积 $V_c(\text{m}^3)$ 与熔池直径 $D(\text{m})$ 和熔池深度 $h(\text{m})$ 有如下关系:

$$V_c = 0.790hD^2 - 0.046D^3 \quad (2-8-1)$$

在装入量和熔池直径均相同的情况下,与其它两种炉型相比,筒球型的熔池略浅些。这就是说,当熔池面积足够大时,可确保合适的熔池深度。显然,它对进一步提高供氧强度,促进渣钢反应和减少喷溅都是有利的。为此,我国 1993 年 5 月 1 日颁布的 YB9058—92《炼钢工艺设计技术规定》提出: $\geq 150\text{t}$ 的转炉采用筒球型死炉底。

(2)锥球型。其熔池形状由一倒截锥体和一球缺体组成,倒锥角度一般为 $12 \sim 30^\circ$ 。这种炉型的形状更符合钢渣环流的要求,炉衬蚀损后,其形状变化较小,对操作较为有利。在装入量和熔池深度均相同的情况下,熔池直径比筒球型的大。当球缺底半径 $R=1.1D$ 和球缺体高度 $h'=0.09D$ 时,熔池体积 $V_c(\text{m}^3)$ 与熔池直径 $D(\text{m})$ 和熔池深度 $h(\text{m})$ 有如下关系:

$$V_c = 0.665hD^2 - 0.033D^3 \quad (2-8-2)$$

目前,有些国家已将这种炉型用于大容量炉子,特别是德国应用比较普遍。但由于大的熔池直径需靠增大炉壳来实现,所以同等条件下,其投资高于筒球型炉子。我国过

去已建成的 30 ~ 80t 转炉多用锥球型。

(3) 截锥型。该炉型的熔池形状为一倒截锥体。在装入量和熔池直径相同的情况下,其熔池最深。因此不适宜于大容量转炉。我国过去已建成的 30t 以下的小炉子应用较多,新制订的技术规定中提出“ $\leq 100t$ 转炉一般采用截锥型活炉底”。国外已很少用这种炉型。通常倒截锥体的底部直径 $d \approx 0.7D$, 这时熔池体积 V_c (m^3) 与熔池直径 D (m) 和熔池深度 h (m) 有如下关系:

$$V_c = 0.574hd^2 \quad (2-8-3)$$

除上述三种基本炉型外,在矿石含磷较高的西欧一些国家,采用喷石灰粉冶炼高磷生铁时,也有的选择了炉身为上大下小且炉帽倾角很小的炉子。显然,较大的炉膛上部反应空间,对冶炼过程中增大渣量、造泡沫渣脱磷颇为有利,但该炉型砌筑复杂,炉衬寿命短,一般不用。

三、炉型设计

炉型设计的主要任务是确定所选炉型各部位的主要参数和尺寸,据此再绘制出工程图。氧气顶吹转炉的主要尺寸如图 2-8-2 所示。

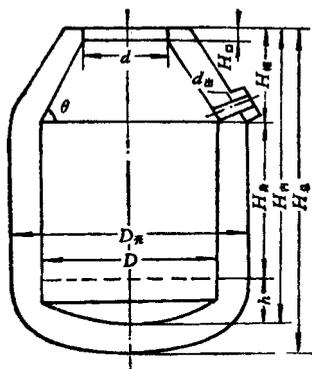


图 2-8-2 氧气顶吹转炉主要尺寸

D —熔池直径; $D_{壳}$ —炉壳直径; d —炉口直径;
 $d_{出}$ —出钢口直径; h —熔池深度; $H_{身}$ —炉身高度;
 $H_{帽}$ —炉帽高度; $H_{内}$ —转炉有效高度; $H_{总}$ —转
 炉总高; $H_{口}$ —炉口直线段高度; θ —炉帽倾角

(1) 熔池尺寸的确定。熔池是容纳金属并进行一系列复杂物理化学反应的地方,其主要尺寸有熔池直径和熔池深度。设计时,应根据装入量、供氧强度、喷嘴类型、冶炼动

力学条件以及对炉衬蚀损的影响综合考虑。

1) 熔池直径 D : 熔池直径通常指熔池处于平静状态时金属液面的直径。它主要取决于金属装入量和吹氧时间。例如, 随着装入量增加和吹氧时间缩短, 单位时间的脱碳量和从熔池排出的 CO 气体量增加。此时, 如不相应增大熔池直径, 势必会使喷溅和炉衬蚀损加剧。

众所周知, 转炉吹氧时间 t 与装入量 G 成正比, 而与单位时间供氧量 Q 成反比, 即

$$t \propto \frac{G}{Q} \quad (2-8-4)$$

若要增大供氧量还要使喷溅维持一定, 就需扩大熔池面。这意味着单位时间供氧量与熔池直径的平方成正比, 即

$$Q \propto D^2 \quad (2-8-5)$$

将式(2-8-5)与(2-8-4)合并, 可得

$$D \propto \sqrt{\frac{G}{t}} \quad (2-8-6)$$

或

$$D = K \sqrt{\frac{G}{t}} \quad (2-8-7)$$

式中 G ——新炉金属装入量, t 可近似地取其公称容量;

t ——平均每炉钢纯吹氧时间, min, 具体可参照表 2-8-1 推荐的平均每炉钢冶炼时间和实际生产条件来确定;

K ——比例系数, 可参照表 2-8-2 确定。

表 2-8-1 平均每炉钢冶炼时间推荐值

| 转炉容量(t) | < 30 | 30 ~ 100 | > 100 | 备 注 |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| 冶炼时间(min) | 28 ~ 32 (12 ~ 16) | 32 ~ 38 (14 ~ 18) | 38 ~ 45 (16 ~ 20) | 结合供氧强度、铁水成分和所炼钢种等具体条件确定 |

注: 括号内数字系吹氧时间参考值。

表 2-8-2 系数 K 的推荐值

| 转炉容量(t) | < 30 | 30 ~ 100 | > 100 | 备 注 |
|---------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| K | 1.85 ~ 2.10 | 1.75 ~ 1.85 | 1.50 ~ 1.75 | 大容量取下限 小容量取上限 |

除式(2-8-7)外, 还有若干用以确定熔池直径的经验统计式, 但都不常采用。

2) 熔池深度 h : 熔池深度系指熔池处于平静状态时从金属液面到炉底最低处的距离。计算方法通常有两种。

一种是在转炉容量、炉型和熔池直径确定之后,利用式(2-8-1)、式(2-8-2)和式(2-8-3)计算熔池深度:

$$\text{对筒球型熔池} \quad h = \frac{V_c + 0.046D^3}{0.790D^2} \quad (2-8-8)$$

$$\text{对锥球型熔池} \quad h = \frac{V_c + 0.033D^3}{0.665D^2} \quad (2-8-9)$$

$$\text{对截锥型熔池} \quad h = \frac{V_c}{0.574D^2} \quad (2-8-10)$$

另一种是从保护炉底免受氧气射流冲击和改善熔池的反应动力学条件出发,根据氧气射流的穿透深度 h_t 来确定,即要 h_t/h 比值合适。理论和实践表明,当出口马赫数相同时,对于单孔喷枪, $h_t/h = 0.4 \sim 0.7$ 为宜;对于多孔喷枪, $h_t/h = 0.25 \sim 0.40$ 为宜。鉴于今后我国的转炉容量系列均采用3孔以上的多孔喷枪,所以下面只介绍多孔喷枪穿透深度的确定。

根据首钢的经验式,多孔喷枪的穿透深度为

$$h = \frac{13 \left(\frac{H + h_t}{d_x} \right)^{-2.9}}{10^{-4} \rho} \cdot P_y^{3.4} \quad (2-8-11)$$

式中 d_t ——喷头喉口直径,mm;

ρ ——钢液密度, t/m^3 ;

P_y ——使用压力, 10^5 Pa ;

H ——氧枪枪位,mm。

而

$$H = (R_j + \Delta x - m d_k) / \text{tg} \beta \quad (2-8-12)$$

式中 R_j ——冲击半径,mm。对三孔喷枪而言,在正常吹炼枪位下, $R_j = (0.05 \sim 0.1)D$;

Δx ——射流对喷孔轴线的径向偏移量,mm。 $\Delta x = 170.90336 - 13.816m + 0.84155(H/d_x) + 3.63 \exp(9.82/P_y) - 195.7M + 49.56M^2 + 2.048 \sin(51\beta)$, 式中, M 为出口马赫数, β 为喷孔轴线与喷头轴线之间的夹角;

m ——小孔间距与喷孔出口直径 d_k 之比值,通常为 $0.8 \sim 1.0$ 。

应当指出,由上式算得的 h 只是理论值,尚需将其代入所选炉型的有关系式(2-8-1)~式(2-8-3)中,验证其等式是否成立。若有较大出入,则应调整。

(2) 炉身尺寸的确定。对于圆筒形炉身,因其直径与熔池直径是一致的,故需确定的尺寸即为炉身高度 $H_{\text{身}}$ 。

$$H_{\text{身}} = \frac{4V_{\text{身}}}{\pi D^2} = \frac{4(V_1 - V_{\text{帽}} - V_{\text{池}})}{\pi D^2} \quad (2-8-13)$$

式中 $V_{\text{帽}}$ 、 $V_{\text{身}}$ 、 $V_{\text{池}}$ ——分别为炉帽、炉身和熔池的容积;

V_1 ——转炉有效容积,为 $V_{\text{帽}}$ 、 $V_{\text{身}}$ 、 $V_{\text{池}}$ 三者之和,取决于容量和炉容比,见本节之(5)。

(3) 炉帽尺寸的确定。顶吹转炉一般都用正口炉帽,其主要尺寸有炉帽倾角、炉口直径和炉帽高度。设计时,应考虑到以下因素:确保其稳定性,便于兑铁水和加废钢;减少热损失,避免出钢时钢渣混出或从炉口流渣;减少喷溅。

1) 炉帽倾角 θ : 倾角过小,炉帽内衬不稳定性增加,容易倒塌;过大时,出钢时容易钢渣混出和从炉口大量流渣。目前倾角多为 $60 \pm 3^\circ$,小炉子取上限,大炉子取下限,这是因为大炉子的炉口直径相对来说要小些。

2) 炉口直径 d : 一般说来,在满足兑铁水和加废钢的前提下,应适当减小炉口直径,以利于减少热损失,减少空气进入炉内影响炉衬寿命和改善炉前操作条件。实践表明,取炉口直径为熔池直径的 $43 \sim 53\%$ 较为适宜。另外,从减少喷溅考虑,要求炉气从炉口排出的速度小于 15m/s 。

3) 炉帽高度 $H_{\text{帽}}$: 为了维护炉口的正常形状,防止因砖衬蚀损而使其迅速扩大,在炉口上部设有高度为 $H_{\square} = 300 \sim 400\text{mm}$ 的直线段。因此炉帽高度为

$$H_{\text{帽}} = 1/\chi(D - d)\text{tg}\theta + H_{\square} \quad (2-8-14)$$

炉帽总容积为:

$$\begin{aligned} V_{\text{帽}} &= \pi/24(D^3 - d^3)\text{tg}\theta + \pi/4d^2H_{\square} \\ &= 0.26\chi(H_{\text{帽}} - H_{\square})\chi(D^2 + Dd + d^2) - 0.785d^2H_{\square} \quad (2-8-15) \end{aligned}$$

(4) 出钢口尺寸的确定。出钢口内口一般都设在炉帽与炉身交界处,以便当转炉处于水平位置出钢时其位置最低,可使钢水全部出净。出钢口的主要尺寸是其中心线的水平倾角和直径。

1) 出钢口中心线水平倾角 θ_1 : 为了缩短出钢口长度,以利维修和减少钢液二次氧化及热损失,大型转炉的 θ_1 趋向减小。国外不少转炉采用 0° ,但 0° 倾角使钢流对钢包内金属的冲击力变小。国内转炉多为 45° 以下。

2) 出钢口直径 $d_{\text{出}}$: 出钢口直径决定着出钢时间,因此随炉子容量而异。出钢时间通常为 $2 \sim 8\text{min}$ 。时间过短,即出钢口过大,难以控制下渣,且钢包内钢液静压力增长过快,

脱氧产物不易上浮。时间过长,即出钢口太小,钢液容易二次氧化和吸气,散热也大。通常, $d_{\text{出}}$ 可按下面经验式确定

$$d_{\text{出}} = \sqrt{63 + 1.75 T} \quad \text{cm} \quad (2-8-16)$$

式中 T ——转炉公称容量, t。

(5) 炉容比(或容积比)的确定。炉容比系指转炉有效容积 V_1 与公称容量 T 之比值 V_1/T (m^3/t)。 V_1 系炉帽、炉身和熔池三个内腔容积之和。公称容量以转炉炉役期的平均出钢量来表示,这种表示法不受操作方法和浇注方法的影响。

确定炉容比时,应综合考虑以下因素:铁水比,铁水成分,冷却剂种类,供氧强度,喷枪孔数,基建投资等。通常,铁水比增加,铁水中 Si、P、S 含量高,用矿石作冷却剂,以及供氧强度提高时,为了减少喷溅或溢渣损失,提高金属收得率和操作稳定性,炉容比要相应增大。但过大的炉容比会使基建和设备投资增加。对于大型转炉,由于采用多孔喷枪,操作比较稳定,因此在其它条件相同的情况下,炉容比有所减小。

转炉新砌炉衬的炉容比推荐值为 $0.90 \sim 0.95 \text{m}^3/\text{t}$,大转炉取下限,小转炉取上限。

(6) 高径比的核定。高径比系指转炉炉壳总高 $H_{\text{总}}$ 与炉壳外径 $D_{\text{壳}}$ 之比值。实际上,它只作为炉型设计的校核数据。因为通过上述计算,当炉膛内高 $H_{\text{内}}$ 和内径 D 确定之后,再根据所设计的炉衬和炉壳的厚度,高径比也就被定下来了。转炉高径比的推荐值为 $1.35 \sim 1.65$ 。大炉子取下限,小炉子取上限。

第二节 氧气顶吹转炉炉衬设计

炉衬设计的主要任务是选择合适的炉衬材质,确定合理的炉衬组成和厚度,并提出相应的砖型和数量,以确保获得经济上的最佳炉龄。

一、炉衬材质的选择

合理选用炉衬,特别是工作层的材质乃是提高炉龄的基础。目前常用的工作层衬砖有:沥青结合镁砖(沥青浸渍或不浸渍),含碳量为 $5 \sim 6\%$;烧成浸渍镁砖,含碳量为 2% 左右;焦油或沥青结合的白云石砖,含碳量约 2% ;沥青或树脂结合的白云石碳砖,含碳量为 $7 \sim 15\%$;沥青或树脂结合的镁碳砖(加入或不加防氧化剂),含碳量通常为 $10 \sim 25\%$ 。

20 世纪 80 年代以来,氧气转炉炉衬材质的最大变化是普遍推广使用镁碳砖,炉龄有

明显提高。但由于镁碳砖成本较高,因此一般只将其用在诸如耳轴区、渣线等炉衬易损部位,即炉衬工作层采用均衡炉衬,综合砌炉。

二、炉衬的组成和厚度的确定

通常炉衬由永久层、填充层和工作层组成。有些转炉则在永久层与炉壳钢板之间夹有一层石棉板绝热层。

永久层紧贴炉壳(无绝热层时),修炉时一般不予拆除。其主要作用是保护炉壳。该层常用镁砖砌筑。

填充层介于永久层与工作层之间,一般用焦油镁砂捣打而成,厚度约 80 ~ 100mm。有些工厂则不作规定,一般只要达到找平的目的即可,该层的主要功能是减轻炉衬受热膨胀时对炉壳产生挤压和便于拆除工作层。也有的转炉不设填充层。

工作层系指与金属、熔渣和炉气接触的内层炉衬,工作条件相当恶劣。目前该层多用镁碳砖和焦油白云石砖综合砌筑。

炉帽可用二步煅烧镁砖,也可根据具体条件选用其它材质。

转炉各部位的炉衬厚度设计参考值如表 2-8-3 所示。

表 2-8-3 转炉炉衬厚度设计参考值

| 炉衬各部位名称 | | 转 炉 容 量(t) | | |
|---------|-----------|------------|-----------|-----------|
| | | < 100 | 100 ~ 200 | > 200 |
| 炉 帽 | 永久层厚度(mm) | 60 ~ 115 | 115 ~ 150 | 115 ~ 150 |
| | 工作层厚度(mm) | 400 ~ 600 | 500 ~ 600 | 550 ~ 650 |
| 炉身(加料侧) | 永久层厚度(mm) | 115 ~ 150 | 115 ~ 200 | 115 ~ 200 |
| | 工作层厚度(mm) | 550 ~ 700 | 700 ~ 800 | 750 ~ 850 |
| 炉身(出钢侧) | 永久层厚度(mm) | 115 ~ 150 | 115 ~ 200 | 115 ~ 200 |
| | 工作层厚度(mm) | 500 ~ 650 | 600 ~ 700 | 650 ~ 750 |
| 炉 底 | 永久层厚度(mm) | 300 ~ 450 | 350 ~ 450 | 350 ~ 450 |
| | 工作层厚度(mm) | 550 ~ 600 | 600 ~ 650 | 600 ~ 750 |

三、砖型选择

选择砖型时应考虑以下一些原则：

- (1)在可能条件下,尽量选用大砖,以提高筑炉速度,减少砖缝,减轻劳动强度;
- (2)力争砌筑过程中不打或少打砖,以提高砖的利用率和保证砖的质量;
- (3)对用小砖组合起来有困难或难以保证修筑质量的部位,如出钢口和炉底等,则选用异型砖;
- (4)尽量减少砖型种类。

第三节 氧气顶吹转炉炉体金属构件设计

转炉炉体金属构件由炉壳、炉体支承装置及倾动机构组成。其选型或设计是否合理,将直接影响到设备利用率、操作安全性和转炉生产率。氧气顶吹转炉总体结构如图 2-8-3 所示。

一、炉壳

(1)炉壳组成及结构型式。炉壳通常由炉帽、炉身和炉底三部分组成(图 2-8-4)。

炉帽制成截圆锥型。由于炉帽,特别是炉口部位受高温作用易变形,所以目前普遍采用水冷炉口。这样既提高了炉帽寿命,又能减少炉口粘渣。

水冷炉口有两种结构:其一是钢板焊成的水箱(图 2-8-5a),其二是把蛇形钢管铸在铸铁的炉口圈内(图 2-8-5b)。前者制作方便,但容易烧穿;后者制作难度大,但使用安全,水冷炉口可用销钉与炉帽连接,或用卡板焊在炉帽上。

炉身制成圆柱型,它是整个炉子的承载部分,受力最大。

炉底有球型和截锥型两种。前者制作和内衬砌筑均较后者复杂,但强度优于后者,所以多用于大型转炉。

炉帽、炉身和炉底三段间的联结有以下几种方式。对于死炉帽活炉底的结构,炉帽与炉身是焊死的,炉身与炉底多用丁字形销钉和斜楔联结。这种结构适用于下修法。对于只能采用上修法的死炉底结构,炉底与炉身可以焊死;有时为了增加修炉的灵活性,也用可拆卸的小炉底结构。

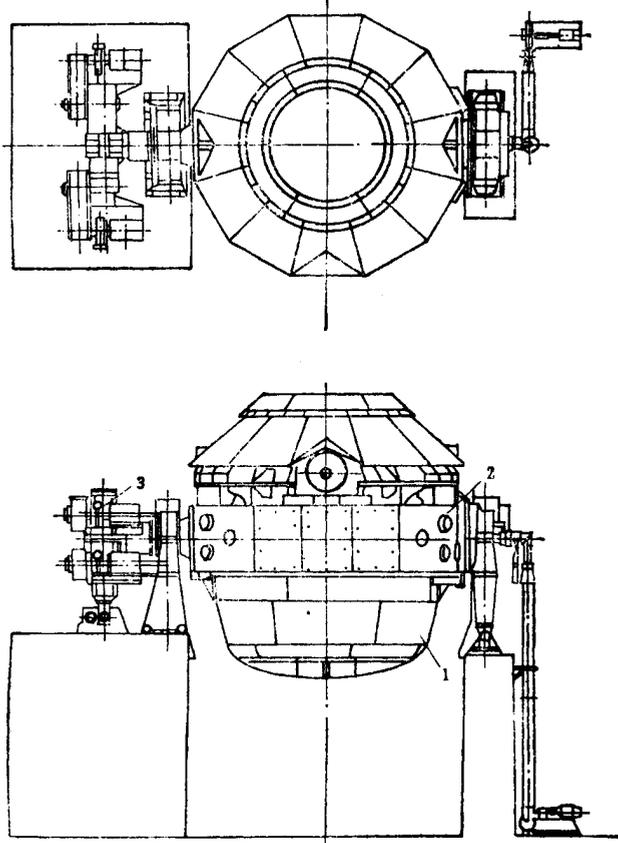


图 2-8-3 氧气顶吹转炉总体结构

1—炉体 2—支承装置 3—倾动机构

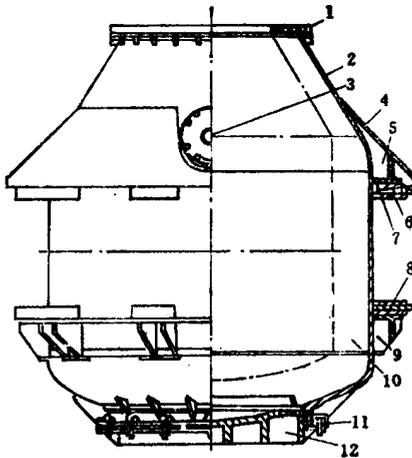


图 2-8-4 转炉炉壳

1—水冷炉口 2—炉帽 3—出钢口 4—挡渣板 5、9—上下卡板；
6、8—水冷槽 7—斜块 10—炉身 11—销钉和斜块 12—活动炉底

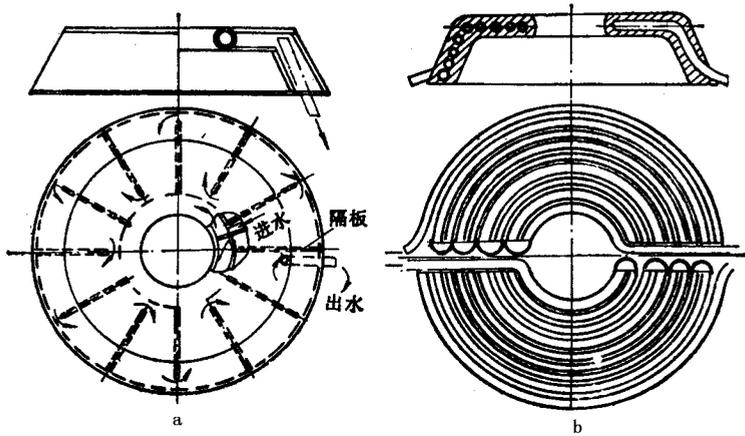


图 2-8-5 水箱式 (a) 和埋管式 (b) 水冷炉口

(2) 炉壳钢板材质与厚度的确定。转炉吹炼过程中,炉壳承受多种负荷的作用:有炉壳、炉衬自重和炉料重引起的静负荷;有兑铁水、加废钢时的冲击以及炉体旋转时的加速度或减速度产生的动力等引起的动负荷;还有炉衬热膨胀和炉壳本身温度分布不均引起的热负荷。受此种种负荷的影响,必然使炉壳产生相应的应力,以致引起不同程度的变形。实践表明,热应力在此起主导作用。所以设计时必须给予足够的重视。

就材质而言,力求选用抗蠕变强度高、焊接性能又好的材料。对于 30t 以上的转炉,各国多用耐高压的锅炉钢板制作炉壳,也有用合金钢板的。国内用于制作炉壳的低合金高强度钢有 16Mn、14MnNb 等。

由于应力计算相当复杂,所以炉壳钢板的厚度常按表 2-8-4 中的经验式确定。表 2-8-5 列出几种炉子容量的实际炉壳尺寸。

表 2-8-4 炉壳钢板厚度的确定 (mm)

| 炉子容量 | δ_1 | δ_2 | δ_3 | 备注 |
|------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--|
| $\leq 30t$ | $(0.8 \sim 1.0) \delta_2$ | $(0.0065 \sim 0.008) D'$ | $0.8 \delta_2$ | δ_1 炉帽钢板厚度 δ_2 炉身钢板厚度 |
| $> 30t$ | $(0.8 \sim 0.9) \delta_2$ | $(0.008 \sim 0.011) D'$ | $(0.8 \sim 1.0) \delta_2$ | δ_3 炉底钢板厚度 D' 炉壳外径 |

表 2-8-5 几种炉子容量的实际炉壳尺寸

| 炉子容量(t) | 15 | 30 | 50 | 120 | 150* | 300 |
|------------|------|------|------|------|------|-------|
| 炉帽钢板厚度(mm) | 24 | 30 | 55 | 50 | 58 | 75 |
| 炉身钢板厚度(mm) | 24 | 40 | 55 | 70 | 80 | 85 |
| 炉底钢板厚度(mm) | 20 | 30 | 45 | 70 | 62 | 80 |
| 炉壳高度(mm) | 5530 | 7000 | 7470 | 9750 | 8992 | 11575 |
| 炉壳外径(mm) | 3548 | 4220 | 5110 | 6670 | 7000 | 8670 |

* 国外某厂转炉

二、支承装置

支承装置承载着转炉炉体的全部重量。其主要部件有托圈,炉体与托圈的连接装置,耳轴及其轴承。

(1)托圈。托圈是转炉的重要承载和传动部件,通常是用钢板焊成的且呈箱形断面的环形结构(图 2-8-6)。两侧焊有铸钢的耳轴座,供装耳轴用。大型转炉的托圈直径较大,一般将其剖分成四段,运往现场组装。为增加托圈的刚度,中间焊有垂直筋板。

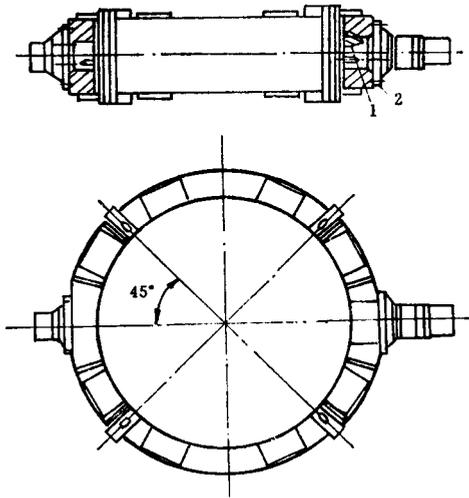


图 2-8-6 大型转炉剖分式焊接托圈

1—销 2—螺钉

另有一种托圈系半圆形(或马蹄形)开口式结构。炉体通过三个点支承在托圈上。

拆开三个轴承上盖,即可退出整个炉体,所以装拆炉体很方便。从降低热应力考虑,还可采用水冷托圈。

托圈的基本尺寸是断面尺寸,高宽比可按 2.5~3.5 选取。表 2-8-6 列出几种炉子的托圈尺寸。托圈与炉壳之间间隙宜适当留大,以改善炉身通风条件和适当留有扩容潜力,可以参照炉壳可能生产的最大变形量(为炉壳直径的 3%)确定。

表 2-8-6 几种炉子容量的实际托圈尺寸

| 炉子容量(t) | 15 | 30 | 50 | 120 | 150* | 300 |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 断面形状 | (铸)箱 | (铸)□ | 箱 | 箱 | 箱 | 箱 |
| 断面高度(mm) | 1060 | 1500 | 1650 | 1800 | 2400 | 2500 |
| 断面宽度(mm) | 480 | 400 | 730 | 900 | 760 | 835 |
| 盖板厚度(mm) | 100 | 255 | 80 | 100 | 83 | 150 |
| 腹板厚度(mm) | 60 | 130 | 55 | 80 | 75 | 70 |

* 国外某厂转炉

(2) 炉壳与托圈的连接装置。连接装置的基本型式有两种。一种是支承托架夹持器。其结构是沿炉壳圆周固接若干组上、下托架,由它们夹住托圈的顶底面。支架数目通常为 3~6 组,装在同一水平上。另一种是吊挂式连接装置。该结构是用若干组拉杆或螺栓将炉壳吊挂在托圈上。图 2-8-7 为 300t 转炉自调螺栓连接装置。炉壳上部焊有两个加强圈,炉壳通过它们和三个带球面垫圈的自调螺栓与托圈连接在一起。三个螺栓在圆周上呈 120°布置,且与焊在托圈盖板上的支座绞接。当炉壳产生位移时,自调螺栓本身倾斜,并靠其球面垫圈自动调位,使炉壳中心位置维持不变。这种三支点支承结构能适应炉壳和托圈的不等量变形,载荷分布均匀,制作方便,工作性能好。

(3) 耳轴及其轴承。炉体和托圈的全部载荷都通过耳轴,经轴承座传给地基;同时,倾动机构的倾动力矩又通过耳轴传给托圈和炉体。可见耳轴要受多种负荷的作用,因此应有足够的强度和刚度。耳轴材质一般为合金钢。几种不同容量转炉的耳轴直径如表 2-8-7 所示。

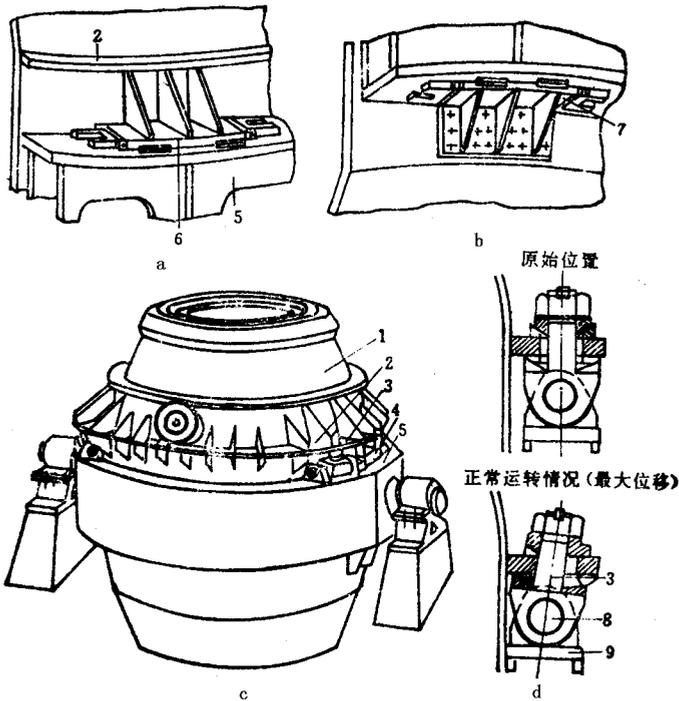


图 2-8-7 300t 转炉自调螺栓连接装置

1—炉壳 2—加强圈 3—自调螺栓装置 4—托架装置 5—托圈；
6—上托架(a) 7—下托架(b) 8—销轴 9—绞接支座

表 2-8-7 几种炉子容量的实际耳轴直径

| 炉子容量(t) | 15 | 30 | 50 | 120 | 150* | 300 |
|----------|--------------|------|------|------|------|--------|
| 耳轴直径(mm) | φ600 | φ630 | φ800 | φ850 | φ900 | ≈φ1350 |
| 耳轴轴承型式 | 重型双列向心球面滚子轴承 | | | | | |

* 国外某厂的转炉

耳轴与托圈的连接方式主要有三种：

- 1) 直接焊结 :这可省去耳轴座和连接件。
- 2) 法兰螺栓连接 :即用过渡配合将耳轴装入托圈的耳轴座中 ,再用螺栓和圆销连接。
- 3) 静配合连接 :即耳轴具有过盈尺寸 ,装配时将其冷缩插入耳轴座 ,或把耳轴孔加热后再装进耳轴。

常用的耳轴轴承是重型双列向心球面滚子轴承。其特点是能承受重载、自动调位和保持良好的润滑。

三、倾动机构

(1) 冶炼工艺对倾动机构的要求。转炉在冶炼过程中要前后倾转,倾动角度为 $\pm 360^\circ$,以满足兑铁水、加废钢、取样、测温、补炉、出渣、出钢等的需要。必要时,倾动速度也应是可调的。此外,倾动机构尚需与氧枪和烟罩升降机构联锁,且能适应载荷的变化和结构的变形。

(2) 倾动机构主要参数的确定。倾动机构的主要参数有倾动速度、倾动力矩和耳轴位置。

1) 倾动速度:转炉的转速通常为 $0.15 \sim 1.5 \text{r/min}$,而倾动机构是低转速,故其减速比很大,约为 $800 \sim 1000$ 。小于 30t 的转炉可不调速,转速为 0.7r/min 。 $50 \sim 100 \text{t}$ 转炉用两级调速:低速为 0.2r/min ,高速为 0.8r/min 。 150t 以上的转炉采用无级调速,转速为 $0.15 \sim 1.5 \text{r/min}$ 。

2) 倾动力矩:计算倾动力矩的目的是确定不同情况下的倾动力矩值和合理选择耳轴位置,以确保操作安全。

由图 2-8-8 所示, L 为耳轴中心, α 为倾动角度。如果合成重心是在炉底与转炉对称轴线 z 之间的 m 处,则有力矩 $M_m = Gx_m$ 。显然,当倾动设备失灵时,该力矩可以使炉子自动恢复到原来的垂直位置。设计中称其为正力矩。反之,如果合成重心是在炉帽与转炉对称轴线 z 之间的 n 处,则有力矩 $M_n = Gx_n$ 。此时,一旦倾动机构失灵,该力矩会使炉口朝下翻倒过来。设计中称其为负力矩。对于在任何倾度下均为正力矩的情况,则称全正力矩。

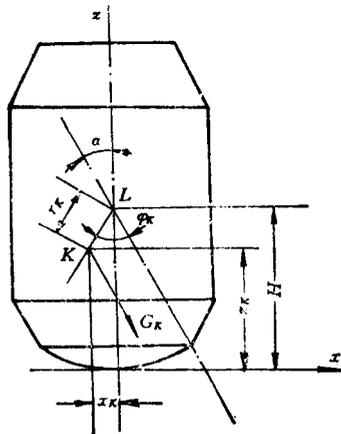


图 2-8-8 空炉力矩计算示意图

设计时,小于 100t 的转炉按全正力矩考虑,150t 以上的转炉采用正负力矩,即新炉为全正力矩,老炉为微负力矩。

转炉倾动力矩 M (合成力矩)由空炉力矩 M_k 、炉液力矩 M_y 和耳轴上的摩擦力矩 M_c 三部分组成。即

$$M = M_k + M_y + M_c \quad (2-8-17)$$

计算步骤如下。

第一步 计算新、老炉的空炉质量、重心及合成重心,再算出不同倾动角度下的空炉力矩 M_k 。

空炉质量为:

$$G_K = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum_{i=1}^n G_i \quad (2-8-18)$$

合成重心的 z 、 x 坐标值为:

$$z_K = \frac{G_1 z_1 + G_2 z_2 + \dots + G_n z_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i z_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (2-8-19)$$

$$x_K = \frac{G_1 x_1 + G_2 x_2 + \dots + G_n x_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i x_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (2-8-20)$$

空炉力矩为

$$M_K = G_K r_K \sin(\alpha + \varphi_K) \quad (2-8-21)$$

式中 G_i ——转炉单元体 i 的重力, kN;

z_i 、 x_i ——单元体 i 重心的 z 、 x 坐标值, m;

r_K ——合成重心到设定耳轴中心 L 的距离(图 2-8-8), m;

α ——倾动角度(图 2-8-8)度;

φ_K —— r_K 与 z 轴的夹角(图 2-8-8)度;

第二步 计算新、老炉在各种倾动角度下的炉液质量、重心和炉液力矩 M_y 。

由于炉液重心随倾动角度而变,因而使其倾动力矩的计算复杂化。目前,这类计算可用电子计算机来完成。为此,应提供以下数据输入计算机:

a. 计算炉型图(图 2-8-9)的数据有球缺半径 R_0 ,第一锥台底的半径 R_1 ,第二锥台底的半径 R_2 ,如为筒形炉身,则 $R_2 = R_1$,锥台口(炉口)半径 R_3 ,球缺矢高 z_0 ,第一和第二锥台底的 z 坐标 z_1 和 z_2 ,锥台口的 z 坐标 z_3 ,球底半径 R_0 。

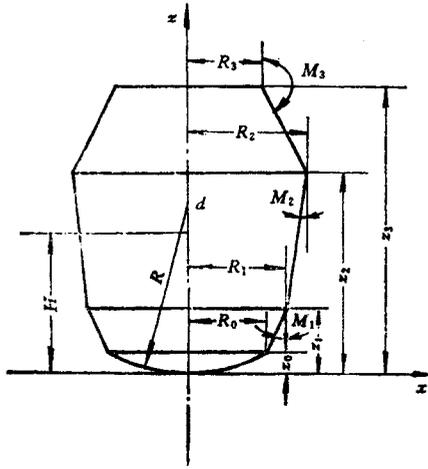


图 2-8-9 计算炉型图

b. 其它数据有耳轴中心的 z 坐标 H ;空炉和炉液的质量 G_k 和 G_y ;空炉合成重心的 z 坐标 z_k ;铁水和熔渣的密度 ρ_r 和 ρ_z ;炉液深度 H_y ;摩擦力矩 M_c (计算方法见第三步)。据此,每隔 5° 或 10° 计算出新、老炉的炉液体积、体积重心坐标和倾动力矩 M_y 。

第三步:计算新、老炉的耳轴摩擦力矩 M_c 。

$$M_c = (G_k + G_y + G_T) \frac{d\mu}{2} \quad (2-8-22)$$

式中 G_T ——托圈重, kN ;

d ——耳轴直径, m ;

μ ——摩擦系数,滑动摩擦为 0.10~0.15,滚动摩擦为 0.02~0.05。

第四步:由式(2-8-17)算出合成力矩 M 然后绘制新、老炉的倾动力矩随倾动角度变化的曲线。据此,可以找出转炉在正常操作过程中可能出现的最大值(“波峰”值)和最小值(“波谷”值)。前者为额定倾动力矩,将其乘以一安全系数(通常为 1.1~1.3),便可作为倾动机构的计算载荷,后者则可作为选择最佳耳轴位置的依据。

3)最佳耳轴位置的确定:从安全观点考虑,当用“全正力矩”来确定。若从经济效果出发,宜用“正负力矩等值”原则。所谓最佳位置的确定,即应兼顾到安全性和经济性。

欲使转炉在任何倾角下均能自动回复零位,必须满足以下条件:

$$(M_k + M_y) > M_c \quad (2-8-23)$$

如考虑到经济上的合理性,可取 M_k 和 M_y 的临界或最小合成值,且使此合成值

$$(M_k + M_y)_{cr} \geq M_c \quad (2-8-24)$$

根据式(2-8-17), $M_{cr} = (M_K + M_y)_{cr} + M_c$, 故上式可改写成

$$M_{cr} \geq 2M_c \quad (2-8-25)$$

式(2-8-24)和式(2-8-25)便是确定最佳耳轴位置的条件式。

如图2-8-10所示, 令:

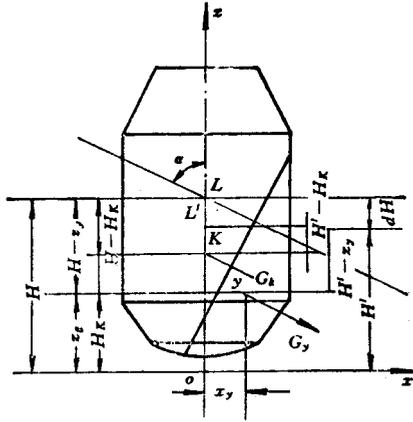


图2-8-10 最佳耳轴位置分析图

α 为临界(最小)倾动力矩的倾角;

y 为炉液重心;

H_K 为空炉重心 K 的 z 坐标;

H 为参考耳轴中心 L 的 z 坐标;

H' 为最佳耳轴中心 L' 的 z 坐标;

dH 为最佳耳轴位置修正值, 于是由式(2-8-24)和式(2-8-25)可得

$$dH \leq \frac{(M_K + M_y)_{cr} - M_c}{(G_k + G_y) \sin \alpha} \quad (2-8-26)$$

或

$$dH \leq \frac{M_{cr} - 2M_c}{(G_k + G_y) \sin \alpha} \quad (2-8-27)$$

$$H' \geq H - \frac{(M_K - M_y)_{cr} - M_c}{(G_k + G_y) \sin \alpha} \quad (2-8-28)$$

或

$$H' \geq H - \frac{M_{cr} - 2M_c}{(G_k + G_y) \sin \alpha} \quad (2-8-29)$$

顺便指出, 转炉炼钢过程中, 炉口难免要挂渣, 这会引致力矩的较大变化。因此, 在

选择最佳耳轴位置时,对此类附加力矩也应予考虑。

表 2-8-8 列出国内某些转炉的倾动机构设计参数,供参考。

表 2-8-8 某些转炉倾动机构的实际参数

| | | | | | |
|----------------|-------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| 转炉容量(t) | 15 | 30 | 60 | 120 | 150/180* |
| 铁水装入量(t) | 15~17 | 30~33 | 50~56 | 136~150 | 165~180 |
| 炉壳重量(t) | 27.1 | 40.0~43.5 | 68.0 | 175.3 | ~194 |
| 炉衬重量(t) | ~80 | 104~126 | ~140 | ~388 | ~400 |
| 倾动速度(r/min) | 0.7 | 慢 0.18 快 0.98 | 慢 0.1 快 1.0 | 慢 0.1 快 1.0 | 慢 0.30 快 0.65 |
| 缸大倾动力矩(t·m) | 6.7 | 100~110 | | 295 | 238 |
| 耳轴中心到炉底的距离(mm) | 2800 | 3050~3300 | 3510 | 4490 | 4230 |
| 炉壳高度(mm) | 5935 | 6700~7000 | 7230 | 9750 | 9200 |

* 改为顶底复吹转炉前的设计参数

(3) 倾动机构的类型。目前转炉倾动机构广泛采用电动机—齿轮传动方式。根据传动装置布置形式的不同,可将倾动机构分为三类。

1) 落地式:整个传动装置均安装在地基上(图 2-8-11),传动程序如下:电动机 2→联轴器 3→初级减速机 4→联轴器 5→末级减速机 6→联轴器 7→耳轴带动的转炉 8。整个传动系统通过联轴器连接。

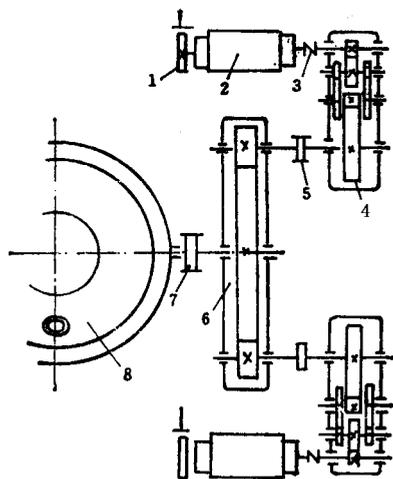


图 2-8-11 落地式传动装置

1—制动器 2—电动机 3—弹性联轴器 4—初级减速机;
5—齿轮联轴器 6—末级减速机 7—齿轮联轴器 8—转炉

这种布置方式占地面积大,早期建造的小转炉曾采用它。国内某厂 150/180t 转炉,建炉较早,也采用这种布置。

2)半悬挂式:初级减速机和电动机安装在地基上,末级减速机则悬挂在耳轴上(图 2-8-12)。传动程序如下:电动机 1→联轴器 2→初级减速机 3→联轴器 4→末级减速机 5→耳轴带动的转炉 7。

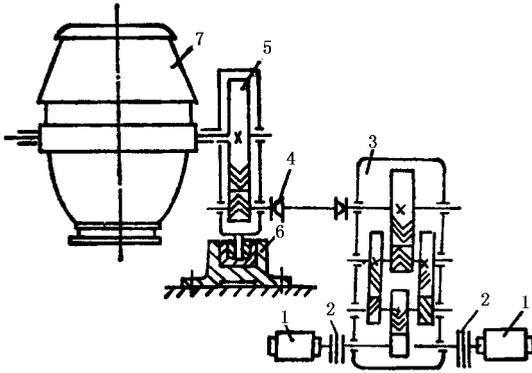


图 2-8-12 半悬挂式传动装置

- 1—电动机 2—齿轮联轴器 3—初级减速机 4—弹性联轴器;
5—悬挂式末级减速机 6—制动器 7—转炉

这种布置方式省掉连接耳轴的末级联轴器,占地面积也较前者少,通常适用于中型转炉。

3)悬挂式:整个传动装置全部悬挂在耳轴上。传动程序与半悬挂式基本相同。

这种布置方式的优点是设备轻、结构紧凑、占地面积少。特别是末级减速机中采用了由数个小齿轮驱动同一大齿轮的多点啮合传动方式,使设备的运行安全可靠大大提高。所以,一般情况下,宜采用这种传动装置。国内的 300t 转炉即为一例。

第四节 顶底复吹转炉炉型和底部供气构件的设计

顶底复吹转炉是继氧气顶吹转炉和底吹转炉之后,于 70 年代中期出现的一种新型转炉炼钢设备。顶底复吹兼有顶吹易于控制成渣过程和底吹可以增大熔池搅拌强度的优点,是节能降耗、扩大品种、提高产品质量的有效途径,特别对于容量较大的转炉,更具

有其优越性。因此,近几年来获得迅速发展。据报导,日本基本淘汰了单纯顶吹法。国内转炉的发展方向也是积极采用复吹。

本节将结合顶底复吹的工艺特点,着重讨论其炉型和底部供气构件的选型设计。

一、炉型设计

(1) 炉型选择。图 2-8-13 系顶底复吹转炉炉型示意图。

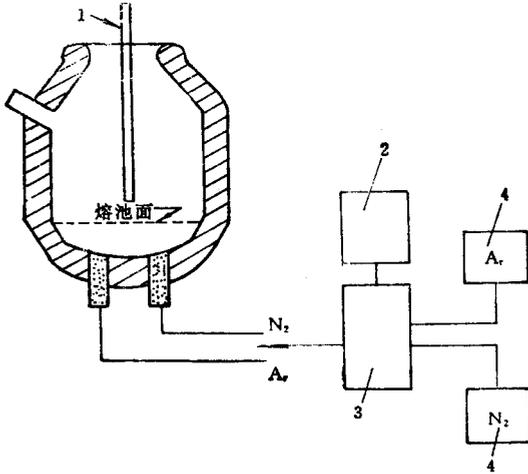


图 2-8-13 顶底复吹转炉

1—氧枪 2—气体控制板 3—气体分配站 4—储存罐

从冶金特征来说,顶底复吹转炉更类似于底吹转炉,因此它们的炉型更为接近。在此基础上,再兼顾到顶吹转炉的某些特点。概括之,复吹转炉炉型的基本特征如下:

1) 就吹炼的平稳和喷溅程度而言,它优于顶吹转炉,而不及底吹转炉。故炉子的高宽比略小于顶吹转炉,却大于底吹转炉,即其略呈矮胖型。

2) 炉底一般作成平底,以便设置喷口,所以熔池常为截锥型。

3) 熔池深度主要取决于底部喷口直径和供气压力,即喷口直径或供气压力大者,深度应适当增加;同时也兼顾顶吹氧流的穿透深度,力求保持吹炼平稳。

至于对其它部位的要求,则与顶吹转炉大致相同。

(2) 主要参数的确定。

1) 炉容比。在确定炉容比时,应考虑下述影响因素的互补性。即一方面,复吹转炉吹炼过程比单纯顶吹者平稳,其钢渣喷溅高度相应低于后者;另一方面,复吹转炉呈矮胖型,特别是采用截锥型熔池时,在装入量和熔池直径均相同的情况下,其熔池又比较深,

以致熔池面以上的炉膛高度已比熔池为筒球型或锥球型的顶吹转炉有所降低。综合分析表明,复吹转炉的炉容比可略小于顶吹转炉。

从目前实际情况来看,二者的炉容比基本相同,即复吹转炉一般也取 $0.85 \sim 0.95 \text{ m}^3/\text{t}$ 。对于容量较小的炉子,铁水比大且 Si 、 P 、 S 含量高,以及供氧强度增加和底部喷口直径大者,可取其上限。

2)高径比:高径比可参照顶吹转炉来确定。如前所述,复吹转炉的高径比略小于顶吹转炉,通常取 $1.25 \sim 1.45$ 。同样,对于容量较小的炉子,铁水比大且 Si 、 P 、 S 含量高,以及供氧强度增加和底部喷口直径大者,取其上限。

3)熔池直径 D :设计时,熔池面常与倒截体的顶面取齐。因为熔池体积为

$$V_c = K_1 h D^2 \quad (2-8-30)$$

$$V_c = G/\rho \quad (2-8-31)$$

故得

$$D = \sqrt{\frac{1}{\rho K_1}} \cdot \sqrt{\frac{G}{h}} \quad (2-8-32)$$

或

$$D = K_2 \sqrt{\frac{G}{h}} \quad (2-8-33)$$

式中 G ——炉子公称容量, t ;

ρ ——铁水密度, t/m^3 ;

h ——熔池深度, mm ;

K_1 ——与倒截锥体底部直径 d 有关的熔池容积系数。通常 $d = (0.65 \sim 0.85)D$, 与此相应的 K_1 值列于表 2-8-9。

K_2 ——系数, $K_2 = 1/\sqrt{\rho K_1}$, 其相应数值亦列于表 2-8-9。

表 2-8-9 对应于不同 d 时的 K_1 和 K_2 值

| d (mm) | $0.65D$ | $0.70D$ | $0.75D$ | $0.80D$ | $0.85D$ |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| K_1 | 0.536 | 0.574 | 0.604 | 0.637 | 0.673 |
| $K_2(\sqrt{\text{m}^3/\text{t}})$ | 0.520 | 0.503 | 0.490 | 0.477 | 0.465 |

4)熔池深度 h :当底部供气压力一定时,熔池深度主要取决于炉底喷口直径 d_0 ,且与其成正比。而喷口直径又与其数目有关。例如,小炉子因受炉底大小的限制,不可能设

置太多的喷口。为满足工艺要求,只能增大喷口直径。

研究表明,熔池深度可近似按下式确定:

$$h = Kw \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \cdot \frac{d_0}{g}} \quad (2-8-34)$$

或

$$h = K \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \cdot \frac{w^2}{gd_0}} \cdot d_0 \quad (2-8-35)$$

式(2-8-35)中根号内的数群组成一无量纲数,令

$$Fr' = \frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \cdot \frac{w^2}{gd_0} \quad (2-8-36)$$

则得

$$h = K(Fr')_{1/2} d_0 \quad (2-8-37)$$

式中 ρ_g ——底气密度, t/m^3 ;

ρ_l ——炉内金属的密度, t/m^3 ;

w ——底气喷出速度, m/s ;

g —— $9.81m/s^2$;

Fr' ——弗鲁德(Froude)修正准数,通常 $500 \leq Fr' \leq 800$;

K ——吹炼平稳系数,其临界值为0.6。设计时取值应大于它。

关于炉帽、炉衬等其它参数的确定可参照顶吹转炉来进行。

二、底部供气构件的设计

(1)底气种类。选用和设计供气构件时必须预先确定所用底气的种类。常用底气气源有 N_2 、Ar、 O_2 和压缩空气,缺少 Ar 气的地方可以设置 CO_2 或 CO 气源。气源压力应不小于 3MPa,必要时应设置 5MPa 的高压供气系统。气源的选择与吹炼功能有关。按照吹炼功能,顶底复吹法可分为强化冶炼型、增加废钢比型和加强搅拌型三种。

1)强化冶炼型:其特点是顶枪吹氧,底部也吹氧,同时还要吹入保护性燃料和中性气体、石灰粉等。供气构件和系统比较复杂。

2)增加废钢比型:其特点是顶枪上设有上、下孔:上孔专为 CO 完全燃烧成 CO_2 提供氧气,下孔专为氧化金属中的杂质供氧;底枪为氧—燃型喷枪,既可加热废钢,又能搅拌熔池。采用这种手段通常使废钢用量增加 10%。

3)加强搅拌型:其特点是顶枪吹氧,底部吹惰性气体或中性气体 N_2 等。这种情况

下,供气构件大为简化。

(2)底气用量。采用底吹氧时,一般认为吹氧量占总氧量的 20~25% 就足以保证熔池获得良好的搅拌,且废钢用量也达到最大值。若超过 30%,冶金特征变化不大。底吹氧强度为 $0.3 \sim 0.8 \text{ Nm}^3/\text{t} \cdot \text{min}$ 时,冶金特征也已接近底吹法。

采用底吹 Ar 、 N_2 、 CO_2 等气体时,供气强度小于 $0.03 \text{ Nm}^3/\text{t} \cdot \text{min}$,其冶金特征接近顶吹法,达到 $0.2 \sim 0.3 \text{ Nm}^3/\text{t} \cdot \text{min}$,可以保证降低炉渣和金属的氧化性,并达到足够的搅拌强度。最大供气强度一般不超过 $0.3 \text{ Nm}^3/\text{t} \cdot \text{min}$ 。全程吹 Ar ,成本太高,全程吹 N_2 ,又会增加钢中的氮。为此,可根据所炼钢种的要求,采用不同的吹炼工艺。目前常用的有两种:一种是当冶炼含碳低于 0.02% 的钢时,待碳降至 0.035~0.040% 左右时,切断顶枪的氧气,改为底吹 N_2 ,吹炼时间约 5~10min。另一种是底部全程供气,只是前期吹 N_2 ,末期再改吹 Ar 。

表 2-8-10 列出各种顶底复吹法的底气种类、用量及供气构件,供设计时参考。

(3)供气构件。目前常用的供气构件主要有以下三类。

表 2-8-10 各种顶底复吹法的气源和供气构件

| 名称 | 厂家 | 顶吹氧 | | 底吹氧 | | 底吹其它气体 | 底部供气构件 |
|---------|----------------------|--------|--|--------|--|--|-----------|
| | | 比例 (%) | 流量 ($\text{Nm}^3/\text{t} \cdot \text{min}$) | 比例 (%) | 流量 ($\text{Nm}^3/\text{t} \cdot \text{min}$) | 流量 ($\text{Nm}^3/\text{t} \cdot \text{min}$) | |
| LBE | 卢森堡阿尔贝德—法国钢铁研究院 | 100 | 4.0~4.5 | 0 | | Ar, N_2 0.05~0.25 | 透气砖 |
| LD-KG | 日本川崎公司 | 100 | 3.0~3.5 | 0 | | Ar, N_2 : 0.01~0.05 | 单孔喷嘴 |
| LD-OTB | 日本神户公司 | 100 | 3.0~3.5 | 0 | | Ar, N_2 : 0.01~0.10 | 单孔、套管式喷嘴 |
| NK-CB | 日本钢管公司 | 100 | 3.0~3.3 | 0 | | $\text{Ar}, \text{N}_2, \text{CO}_2$: 0.04~0.10 | 单孔喷嘴,多孔塞 |
| LD-AB | 新日铁公司 | 100 | 3.5~4.0 | 0 | | Ar 0.014~0.310 | 单孔喷嘴 |
| J&L | 琼斯—劳林公司 | 100 | 3.3~3.5 | 0 | | $\text{Ar}, \text{N}_2, \text{CO}_2$ 0.045~0.012 | 喷嘴,沟槽砖 |
| BSC-BAP | 英国钢铁公司 | 85~95 | 2.2~3.0 | 5~15 | | Ar 0.075~0.20, 空气 + N_2 | 套管式喷嘴 |
| LD-OB | 新日铁公司 | 80~90 | 2.5~3.0 | 10~20 | 0.3~0.8 | 天然气保护 | 套管式喷嘴 |
| LD-HC | 埃诺、松布尔冶金公司和比利时冶金研究中心 | 92~95 | 3.1~4.2 | 5~8 | 0.1~0.4 | 天然气保护 | 套管式喷嘴,透气砖 |

| 名称 | 厂家 | 顶吹氧 | | 底吹氧 | | 底吹其它气体 | 底部供气构件 |
|-------|----------|--------|-----------------------------|--------|-----------------------------|--|--------|
| | | 比例 (%) | 流量 (Nm ³ /t·min) | 比例 (%) | 流量 (Nm ³ /t·min) | 流量 (Nm ³ /t·min) | |
| STB-P | 日本住友金属公司 | 90~92 | 2.0~2.5 | 8~10 | 0.15~0.25 | 内管 O ₂ /CO ₂ , 外管 CO ₂ /N ₂ /Ar 0.03~0.07 | 套管式喷嘴 |
| K-BOP | 日本川崎公司 | 60~80 | 2.0~2.5 | 20~40 | 0.7~1.5 | 天然气保护 | 套管式喷嘴 |

1) 透气砖: 早期透气砖, 内有大小约 100 目的无数微细孔。其主要缺点是砖的致密性差、寿命低, 气流通过的阻力大。图 2-8-14 系组合式透气砖, 它由多块耐火砖按不同形式组合成各种砖缝并外包不锈钢板而成。这种透气砖致密度增加, 寿命提高, 但气流分布不均匀。

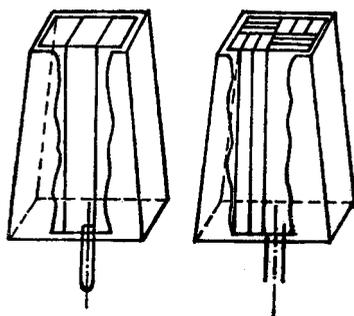


图 2-8-14 组合式透气砖

图 2-8-15 为高压成型透气砖, 砖质以镁碳砖为宜。其中 a 是在砖内埋入许多易熔金属丝, 待其焙烧熔出后即成通道。通道直径为 $\phi 0.1 \sim 5\text{mm}$ 。实践证明, 当直径小于 $\phi 0.5\text{mm}$ 时, 气流阻力增大, 若直径大于 $\phi 3\text{mm}$ 特别是在供气量小的情况下, 通道容易灌钢。b 为分段组合式透气砖。砖内设置 10~150 支细不锈钢管或耐热钢管, 单管直径为 $\phi 0.5 \sim 3\text{mm}$ 。根据我国具体情况, 目前供气构件宜采用高级镁碳质材料高压成型多支细不锈钢管的形式, 单管内径可取 $\phi 1.5 \sim 4\text{mm}$, 壁厚 1mm。

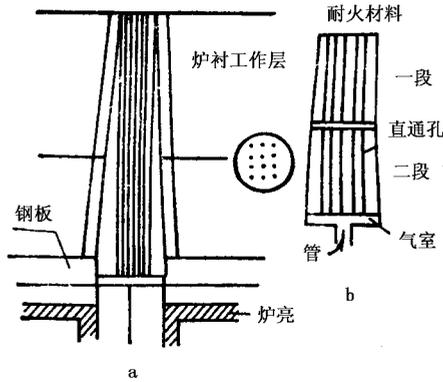


图 2-8-15 高压成型透气砖

a—改进前 b—改进后

上述砖内通道亦可不等径,中间直径比四周直径大。这可免除在工作面上形成的气带形状不稳定,减少管道堵塞现象,提高吹炼效果和砖的寿命。

除上述透气砖外,各国还研制出几种组片式透气砖。

图 2-8-16 为法国发明的定向透气砖,由五片耐火材料组合而成。每片砖面上有若干个贯通孔(面积最大为 $1\text{mm}^2/\text{孔}$)。砖的外部用 1mm 厚的钢板包覆。砖片尺寸为宽 \times 高 \times 厚 = $150 \times 100 \times 30 \sim 50\text{mm}$ 。

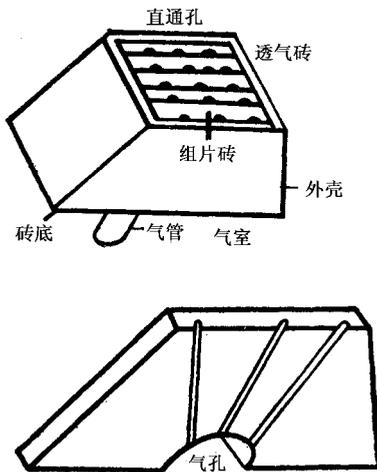


图 2-8-16 定向透气砖

日本研制出一种内夹波形衬板的透气砖(图 2-8-17)。砖内贯通孔由两块金属质或陶瓷质的衬板贴合而成:一块带波形,另一块是平板,或者两块均呈波形。据研究者认

为,在面积相同的情况下,圆孔的周长短,钢水与孔壁的接触界面小。当气流量小时,容易灌钢;而弓形孔可以较好地防止钢水浸入。

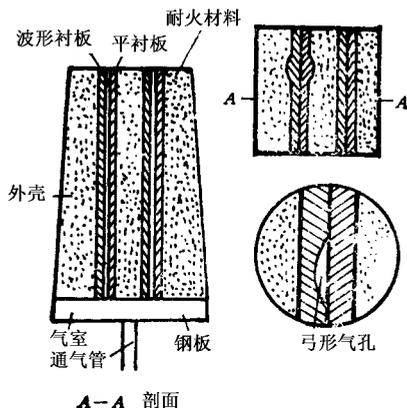


图 2-8-17 内夹波形衬板的透气砖

组片式透气砖的优点是膨胀系数较小,可以防止剥落,寿命比较长。

2) 喷嘴 炉底喷嘴有单管式、套管式和实心环缝式三种(图 2-8-18)。

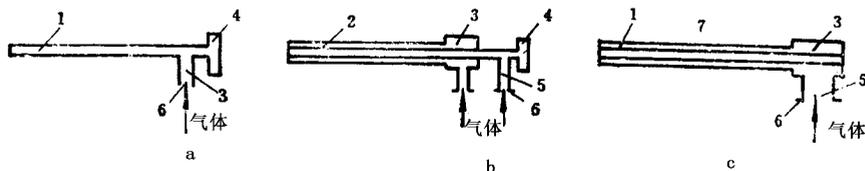


图 2-8-18 喷嘴结构

a—单圆管风嘴;b—套管风嘴;c—环缝式风嘴

1—中心管 2—外管 3—风包 4—测量孔 5—导管 6—法兰 7—耐火材料

顶底复吹法发展初期,主要采用单管式炉底喷嘴喷吹 Ar 、 N_2 等非氧化性气体。这种构件供气量调节范围小。生产过程中,当气流出口速度低于音速时,容易引起气流脉动,造成间断式供气,从而导致喷嘴粘结,甚至灌钢。此外,出口处气流后座力(反向非连续性冲击力)也大,会加速炉底耐火材料的毁损。

套管式喷嘴的内管和环缝均供气,所供气体的压力和流量各异。为防止内管粘钢,环缝应送入速度较高的气体。通过调整内外管中气流的压力和面积,可以改善气体的性能。一般要求 $P_{内}/P_{缝} \geq 1.89$, $1 \leq A_{内}/A_{缝} \leq 3$ 。内外管压差越大,气流反向冲击次数就越少,这对提高喷嘴寿命和减轻炉底耐火材料的毁损是有利的。若环缝出口处气流速度

达到音速,则会形成气流屏障保护内管。流量通过改变内管压力来调节。这种喷嘴既可用于喷吹非氧化性或氧化性气体,也能进行喷粉。只是可调节的气量范围仍嫌小,其最大气量与最小气量之比 ≤ 2.0 。

环缝式喷嘴只由环缝供气,内管用耐火材料堵实。当出口气流速度达到音速时,可消除喷嘴结瘤,后座力也大大减小。该喷嘴的气量调节范围很大,约达 10。其主要不足是不适用于喷吹氧化性较强的气体,且因环缝狭窄(0.5~5.0mm),也不适宜喷粉。

3)类环缝管式喷嘴 图 2-8-19 是类环缝管式供气构件。环缝中设有许多细金属管。它兼有透气砖和喷嘴供气的优点,适用于喷吹各种气体和粉剂,还简化了细金属管砖的制作工艺,是很有发展前途的一种供气构件。

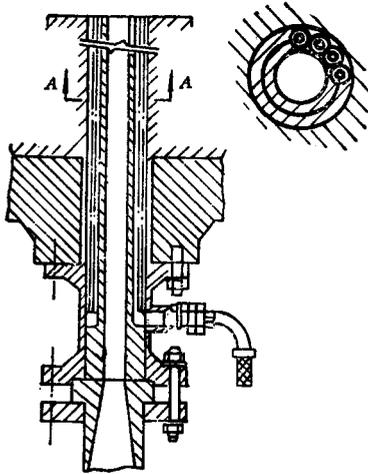


图 2-8-19 类环缝管式喷嘴

(4)喷嘴数量及布置。目前对最佳喷嘴数量和布置方式尚无一致看法。一般说来,喷嘴多而直径小些好。生产中喷嘴数量常为 2~4 个,具体视炉子容量和布置形式而定。

合理的布置应使底吹和顶吹产生的熔池环流运动同向,以获得最佳的搅拌效果,即最快的熔池混匀时间。为此,应满足如下关系:

$$R_c \leq X_{\max} \leq 1.3 R_c \quad (2-8-38)$$

而

$$R_c = H_1 \operatorname{tg} \left(\theta_1 + \frac{1}{2} \theta_2 \right) \quad (2-8-39)$$

式中 X_{\max} ——炉底喷嘴至炉底中心的最大距离,mm;

R_c ——顶吹氧流对熔池的冲击半径,mm;

H_1 ——顶吹氧枪枪位 ,mm ;

θ_1 ——顶吹氧枪喷孔夹角 ;

θ_2 ——顶枪喷出射流的扩张角。

顺便指出 ,如果炉底喷嘴较多 ,一般只要半数以上喷嘴能满足式(2 - 8 - 38)的要求也就可以了。另外 ,从实际情况来看 ,喷嘴呈非对称布置似乎更好些。

(5) 喷嘴直径的确定。

1) 单管喷嘴 :如图 2 - 8 - 20 所示 ,等截面圆管内的气体流动可近似按完全气体的连续稳定绝热流动来处理。假定流动过程中存在摩擦损失 ,则有

$$\frac{dM^2}{M^2} = \frac{KM^2 \left(1 + \frac{K-1}{2} M^2 \right)}{1 - M^2} \cdot \frac{\lambda dL}{D} \quad (2-8-40)$$

$$\frac{dP}{P} = - \frac{1 + (K-1)M^2}{2M^2 \left(1 + \frac{K-1}{2} M^2 \right)} dM^2 \quad (2-8-41)$$

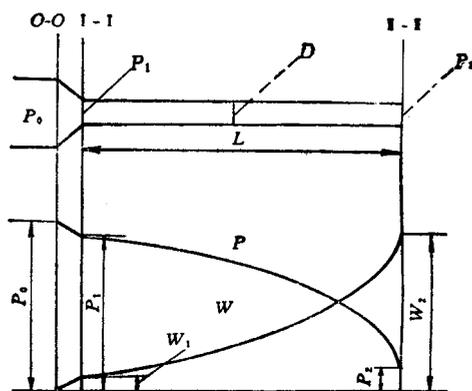


图 2 - 8 - 20 等截面圆管中气流的压强 P 和速度 W 沿管长的变化

式中 M ——马赫数 ;

K ——气体绝热指数 ,即定压比热与定容比热之比。 O_2 、 N_2 和 Ar 分别为 1.399、 1.400 和 1.660 ;

λ ——气流沿管长的平均无因次摩擦系数 ,对于光滑铜管或钢管 , $\lambda = 0.025 \sim 0.035$;

L ——喷管等截面段长度 ,m ;

D ——喷管等截面段的水力学直径 ,m ;

P ——管内气流压力 , 10^5 Pa 。

沿管长 L 从截面 I - I 到 II - II 对式(2-8-40)和(2-8-41)积分,且假定 λ 恒定,则得

$$\int_{M_1}^{M_2} \frac{1 - M^2}{KM^4 \left(1 + \frac{K-1}{2} M^2\right)} dM^2 = \int_0^L \frac{\lambda}{D} dL \quad (2-8-42)$$

即

$$\frac{1}{K} \left(\frac{1}{M_1^2} - \frac{1}{M_2^2} \right) - \frac{K+1}{2K} \ln \left(\frac{M_2^2}{M_1^2} \cdot \frac{2 + (K-1)M_1^2}{2 + (K-1)M_2^2} \right) = \frac{\lambda L}{D} \quad (2-8-43)$$

和

$$\int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{P} = \int_{M_1}^{M_2} - \frac{1 + (K-1)M^2}{2M^2 \left(1 + \frac{K-1}{2} M^2\right)} dM^2 \quad (2-8-44)$$

即

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{M_2}{M_1} \sqrt{\frac{2 + (K-1)M_2^2}{2 + (K-1)M_1^2}} \quad (2-8-45)$$

式中 M_1 、 M_2 ——截面 I - I 和 II - II 处气流的马赫数；

P_1 、 P_2 ——截面 I - I 和 II - II 处气流的静压力。

因为马赫数的平方

$$M^2 = \frac{\frac{2}{K+1} M^{*2}}{1 - \frac{K-1}{K+1} M^{*2}} \quad (2-8-46)$$

式中 M^* ——气流速度系数,即气流速度 W 与临界音速 a^* 之比值。

将式(2-8-46)代入式(2-8-43)和(2-8-45),则有

$$\frac{K+1}{2K} \left(\frac{1}{M_1^{*2}} - \frac{1}{M_2^{*2}} - \ln \frac{M_2^{*2}}{M_1^{*2}} \right) = \frac{\lambda L}{D} \quad (2-8-47)$$

和

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\left(1 + \frac{K-1}{K+1} M_1^{*2}\right) M_2^{*2}}{\left(1 + \frac{K-1}{K+1} M_2^{*2}\right) M_1^{*2}} \quad (2-8-48)$$

通常,由截面 $O-O$ 到 I - I 的摩擦阻力可忽略不计,即此段中的气体流动可视为等熵流动,故压力比为

$$\frac{P_0}{P} = \left(1 + \frac{K-1}{2} M^2\right)^{K/(K-1)} \quad (2-8-49)$$

于是可得

$$\frac{P_0}{P_1} = \left(1 - \frac{K-1}{K+1} M_1^{*2}\right)^{-K/K-1} \quad (2-8-50)$$

$$\frac{P_0}{P_2} = \frac{\left(1 - \frac{K-1}{K+1} M_1^{*2}\right)^{1/1-K} \cdot M_2^*}{\left(1 - \frac{K-1}{K+1} M_2^{*2}\right) \cdot M_1^*} \quad (2-8-51)$$

根据连续性方程,气体的质量流率 m 为

$$m = fW_2\rho_2 = fW_2 \frac{P_2}{RT_2} = \frac{fW_2 P_2}{RT_0 \left(1 - \frac{K-1}{K+1} \cdot M_2^{*2}\right)} \quad (2-8-52)$$

式中 ρ_2 ——截面 II - II 处的气流密度, kg/m^3 ;

T_0 ——截面 O - O 处的气流滞止温度, K;

f ——等截面管的截面积, m^2 ;

R ——气体常数 $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ 。 O_2 、 N_2 和 Ar 分别为 259.8、296.8 和 208.2。

式(2-8-47)、(2-8-51)和(2-8-52)适用于冶金中等截面管亚音速和音速喷出气流的计算,如为音速喷出,则可将 $M_2^* = 1$ 和 $W_2 = a^* = \sqrt{2KgRT_0/(K+1)}$ 代入,此时 P_2 也改写成 P_2^* (II - II 断面处的气流临界压力),于是上述三式可简化为

$$\frac{K+1}{2K} \left(\frac{1}{M_1^{*2}} - \ln \frac{1}{M_1^{*2}} - 1 \right) = \frac{\lambda L}{D} \quad (2-8-53)$$

$$\frac{P_0}{P_2^*} = \frac{K+1}{2} \cdot \frac{1}{M_1^*} \left(1 - \frac{K-1}{K+1} M_1^{*2} \right)^{1/1-K} \quad (2-8-54)$$

$$m = fP_2^* \sqrt{\frac{K(K+1)g}{2RT_0}} \quad (2-8-55)$$

令底部供气强度为 q (通常为 $0.05 \sim 0.15 \text{Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$),炉子容量为 $T(\text{t})$,可得底部供气量为(kg/s)

$$m = qT\rho_0/60 \quad (2-8-56)$$

式中 ρ_0 ——标准状态下的底气密度, kg/m^3 。

由式(2-8-55)和(2-8-56)可以确定炉底喷嘴总供气面积 $F(\text{m}^2)$ 为

$$F = \frac{qT\rho_0}{60P_2^*} \sqrt{\frac{2RT_0}{K(K+1)g}} \quad (2-8-57)$$

如喷咀数为 n ,则每个喷咀的直径(m)为

$$d_0 = \sqrt{\frac{4F}{\pi n}} = \sqrt{\frac{qT\rho_0}{47.1P_2^* n}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2RT_0}{K(K+1)g}} \quad (2-8-58)$$

2)套管喷嘴:如要求喷嘴出口处气流速度达到音速,则可按下式计算喷出的气体量

Q (Nm³/min)

$$Q = 128.7 \frac{aP_1 F}{\rho_0 \sqrt{RT_1/g}} \quad (2-8-59)$$

若喷嘴数为 n ,再将 $Q = qT$ 代入式(2-8-59) ,即可求出炉底每个喷咀的出口截面积 f_a 为

$$f_a = \frac{qT\rho_0 \sqrt{RT_1/g}}{128.7 anP_1} \quad (2-8-60)$$

式中 a ——流量系数 , $a = 0.68(\lambda L/D)^{-0.18}$;

P_1 、 T_1 ——分别为喷嘴入口处的气体绝对压力(10⁵ Pa)和温度(K)。

然后按下列公式确定套管喷嘴的内、外管直径 :

$$f_a = f_n + f_x \quad f_n/f_x = 1 \sim 3 \quad \delta_x/\delta_m \leq 3 \quad (2-8-61)$$

式中 f_n ——内管截面积 ,m² ;

f_x ——环缝截面积 ,m² ;

δ_m ——内管壁厚 ,m ;

δ_x ——环缝厚度 ,m。

3)环缝喷嘴 对于该喷嘴 $f_n = 0$,所以 f_x 可按式(2-8-60)计算。令环缝外圆和内圆直径分别为 D_1 和 D_2 ,则

$$f_x = 0.785(D_1 + D_2)(D_1 - D_2) \quad (2-8-62)$$

通常要求

$$3 \leq \left(\frac{D_1 + D_2}{D_1 - D_2} \right)^{1/2} \leq 5 \quad (2-8-63)$$

由式(2-8-62)和(2-8-63)即可确定 D_1 和 D_2 。

(6)气流以临界速度喷出的最低工作压力。先讨论气流在喷嘴出口端的最大平均速度 ,由式(2-8-40)得

$$\frac{\chi(1-M^2)}{KM^3 \left(1 + \frac{K-1}{2} M^2 \right)} dM = \frac{\lambda}{D} dL \quad (2-8-64)$$

因为等式右边不可能为零 ,故等式左边 $1 - M^2 \neq 0$,而只能是

$$1 - M^2 > 0 \quad (2-8-65)$$

或

$$W < a^* \quad (2-8-66)$$

这意味着气流最大喷出速度充其量只能接近临界音速 a^* 。即使气体进喷嘴前的压

力很高,也不可能以超音速喷出。

由式(2-8-53)和(2-8-54)可见,当底气和 $\lambda L/D$ 一定时, P_0/P_a^* 或 P_0/P_2 之比亦为定值。即

$$P_0/P_2 = S \quad (2-8-67)$$

式中 S ——比例系数。

由于喷嘴出口压力 P_2 必须大于外界压力 P_a 才能保证以接近临界音速喷出,因此有

$$P_0 \geq SP_a \quad (2-8-68)$$

即达到临界音速喷出的最低滞止压力为 $P_0 = SP_a$ 。

($P_0 - P_a$)称为过剩压力。显然,过剩压力不宜太大,否则气体喷出后会突然膨张,产生强烈膨胀波,但如果不能满足式(2-8-68)的要求,又会使气流喷出时产生后座现象。以上两种情况均会加剧炉底的损坏。

第九章 转炉炼钢车间布置

第一节 转炉炼钢车间总体布置的原则

炼钢生产在钢铁联合企业中处于中间环节。前面的炼铁车间供给炼钢车间铁水,后面的轧钢车间轧制炼钢车间的钢坯(或钢锭)。

炼钢车间设计的主要任务是根据建厂地区的具体条件,选择炼钢方法,确定车间的生产规模,车间的组成,各项作业系统的工艺流程,车间的布置,厂房尺寸参数,车间主要设备的规格和数量,以及合理的运输流程和运输方式。

氧气转炉生产率很高。原材料的运进量,产品、半成品及废物的运出量很大而且频繁。为了保证转炉高效和连续化生产,各种原材料的供应及钢水、炉渣的处理必须有足够的设备和使用面积,而且工作可靠。生产工艺流程和车间布局及车间内布置合理,尽量减少占地面积并适当留有扩建余地。车间设计时,还必须考虑安全生产,改善劳动条件。

只有具有充足的铁水供应条件才能选用转炉炼钢方法。新建转炉炼钢车间不应采用二次化铁炼钢。

转炉应以生产碳素钢、低合金钢为主。也可生产合金钢和专用钢。

铁水预处理—转炉—炉外精炼—连铸(连轧)应作为今后新建和改建转炉炼钢车间的基本工艺。

新建转炉炼钢车间应采用全连铸,旧有炼钢车间改扩建时应提高连铸比,并向全连

铸方向发展。至于已有开坯系统的钢铁厂,而且因品种规格的限制必须生产钢锭时才可采用模铸。

转炉炼钢车间及其配套设施应按二吹一或三吹二工作制进行设计,并优先选用二吹一工作制。只有在增加投资不多的前提下,才采用二吹二或三吹二的挖潜增产工作制方法。

转炉车间各辅助生产设施与公用系统必须与主体工艺设备配套完善,一次完成,使转炉车间形成规模后能迅速达到生产能力。

在炼钢区域的总体布置中应考虑以下原则:

1)除铁水、钢坯或其他大宗进厂原料采用火车运输外,炼钢区域内主厂房与各辅助生产车间之间的物料运输尽可能采用无轨运输方式,以保证物料运输灵活畅通。

2)转炉烟气净化设施及煤气回收设施应布置在主厂房近旁,以减少大直径废气管道的长度。

3)当转炉采用炉下电动渣罐车出渣方式时,中间渣场应在距主厂房不远处单独设置。当采用火车拉渣罐列车的出渣方式时,中间渣场应设在距主厂房较远且周围建筑物较少的地区。

4)主厂房出坯(锭)跨的布置与运坯(锭)方式应考虑与轧钢车间的协调关系,为钢坯(锭)的热送创造条件。

转炉炼钢车间工艺设计必须符合国家环保安全有关规定。转炉生产中产生的一、二次烟尘都必须收集净化处理,铁水倒罐站,铁水预处理,散状料加料系统等其他烟气与粉尘发生点亦均应设置除尘系统;凡易漏钢、爆炸、中毒的区域或设施,设计时都要采取必要的安全措施。

认真贯彻执行节能原则,转炉炼钢的工序能耗必须符合冶金部规定的指标。

认真贯彻执行综合利用方针,对转炉生产中的废钢、废渣、废砖、废气、废水和烟尘等应积极创造条件回收利用。

工艺设备的操作控制应在方便操作、安全可靠的前提下努力提高基础与自动化控制水平:

1)30t以下转炉建立计算机在线数据收集系统并打印报表,以经验模型指导操作。

2)30~100t转炉采用自适应跟踪—统计法建立模型,进行转炉静态过程控制,并采用集散系统全屏幕动态显示(CRT)。

3)大于100t转炉采用副枪点测动态闭环过程控制和集散系统全屏幕动态显示(CRT)。转炉炼钢车间应分两路供电,关键的工艺设备应设置事故电源。

4)转炉生产中全部原材料的成分、质量、温度和各种动力介质(水、电、压缩空气、氧、氩、氮)和燃料的工作参数(压力流量、温度、用量)及有关冶炼工艺参数都应设置完善的检测仪表,测量数据应汇入计算机数据收集系统。

转炉应配置声纳监控化渣装置,并根据操作管理的需要,在某些特定部位配置工业电视。

冶炼试样应采取风动送样和光谱仪快速分析。

转炉炼钢车间的公用设施应满足以下要求:

1)氧、氩、氮、压缩空气和燃料的供应能力按转炉二吹一或三吹二工作制配备,其用量按吨炉耗量计算。但管道与贮气罐的能力应按车间最大瞬时流量确定。当按二吹一设计时,在总图布置上,应预留发展条件。当按三吹二设计时,在不增加投资的前提下,公用设施能力应适当留有余地。

2)在二吹一工作制时冷却水供应能力应按二座转炉用量设计,在三吹二工作制时应按三座转炉用量设计。

3)应确保用户接点处要求的工作参数和质量。

4)当车间分期建设时,各种介质的主管道应按最终规模一次建成。而有关公用设施则视具体条件确定,或在总图上预留发展面积,或在厂房内预留增建机组的条件。

总之,在确定转炉炼钢车间的总体布置和工艺流程时应进行多方案比较,妥善处理好车间内外部各工序环节的衔接和相互平衡的生产关系,保证各种原材料、钢水、炉渣、钢坯(锭)等所有物料流向顺行,互不交错干扰,各工序作业能顺畅协调。

第二节 炼钢车间在钢铁厂总平面图上的布置方式

一座炼钢车间的正常生产及其经济技术指标,在很大程度上取决于炼钢车间在钢铁厂总平面图上的位置和运输组织。

现代钢铁联合企业的总平面布置,一般均按炼铁→炼钢→轧钢三个主要工序的工艺流程来进行。在总图布置中,关键的问题是运输组织。不同的运输安排则有不同的布置方式。以铁路运输为例,有下列主要布置方式。

一、顺序布置

各车间布置,按炼铁→炼钢→轧钢的顺序排列。炼钢车间可布置在炼铁车间的中心

线上,也可以与炼铁车间的中心线成一角度(图 2-9-1)布置。

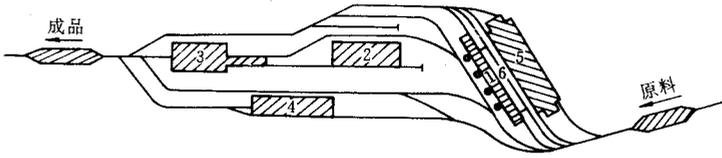


图 2-9-1 钢铁厂顺序布置

1—炼铁车间 2—炼钢车间 3—轧钢车间 4—修理车间 5—焦化车间 6—烧结车间

如果企业设有焦化车间、烧结车间,则在任何形式布置中,都是和炼铁车间作相互平行的布置。

这种布置的优点在于,当联合企业发展成为有几个炼钢车间和轧钢车间时,这些车间就可平行地发展成为一条新的生产线。这种布置生产流程顺行,车间之间运输方便,有利钢坯(锭)红送,特别适合狭长地形的厂址和设有两个与厂外铁路的接轨站和编组站的大型钢铁联合企业。若与厂外只有一个铁路接轨站和编组站,成品需倒运,这是其缺点。此外,厂址狭长使管线长度增加,土方工程加大,总厂占地面积增加,动力站距某些车间稍远。

二、顺序平行布置

在设计方案中,一部分车间是顺序布置,一部分车间平行布置,其中又分为三种类型:

1. 炼铁与炼钢为顺序布置,炼钢与轧钢为平行布置(图 2-9-2)。

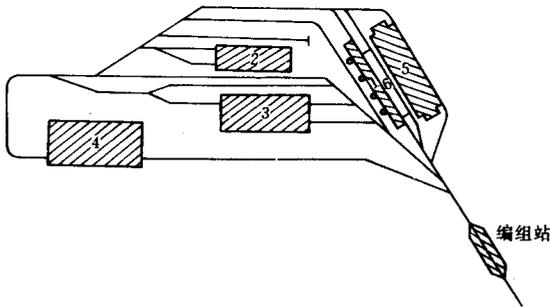


图 2-9-2 炼铁与炼钢为顺序布置,炼钢与轧钢为平行布置

1—炼铁车间 2—炼钢车间 3—轧钢车间 4—修理车间 5—焦化车间 6—烧结车间

这种布置的特点:各主要车间之间布置紧凑,总厂占地面积较少,铁路、公路及管线

的总长度减少,动力站可布置在主要车间中央位置,适于平原布置,多适用于与厂外铁路只有一个编组站的中小型钢铁联合企业。这种布置的缺点:炼钢至轧钢车间采用拐角运输,运输线路较长,给钢坯(锭)运送带来困难。此外,企业规模的发展受到很大限制。

2. 炼铁与炼钢为平行布置,炼钢与轧钢为顺序布置(图 2-9-3)。

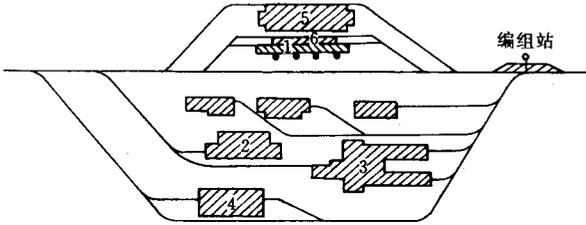


图 2-9-3 炼铁与炼钢为平行布置,炼钢与轧钢为顺序平行布置

1—炼铁车间 2—炼钢车间 3—轧钢车间 4—修理车间 5—焦化车间 6—烧结车间

这种布置方式炼铁至炼钢车间运输不便,炼钢至轧钢车间运输方便。本布置的优点大致与图 2-9-2 的布置相似。

3. 炼钢与炼铁中心线成一角度布置,轧钢与炼铁为平行布置(图 2-9-4)。

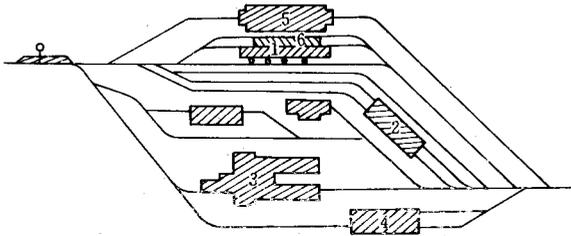


图 2-9-4 炼钢与炼铁中心线成一角度布置,轧钢与炼铁为平行布置

1—炼铁车间 2—炼钢车间 3—轧钢车间 4—修理车间 5—焦化车间 6—烧结车间

这种布置炼铁到炼钢运输较方便,炼钢到轧钢不方便。

在钢铁厂总平面布置中,三个主体车间采用顺序布置,其优点是主要的,适于规模一次建成或分期发展的大型钢铁联合企业。在顺序平行布置类型的车间中,图 2-9-2 的布置,仅适于小型钢铁联合企业;图 2-9-3 的布置,由于与厂外铁路可以发展成两个编组站,能适当扩大运输能力和生产规模;图 2-9-4 的布置给三个主体车间扩大生产规模提供了较大的可能性,有利于向大、中型钢铁联合企业发展。

第三节 转炉车间炉子容量及座数的确定

一、炉容量系列及确定依据

转炉公称容量的大小,是进行车间和炉子设计的基本参数之一,也是对全国相同炉子吨位的作业技术经济指标进行对比分析的基础。

转炉公称容量有三种表示方法:

- 1) 每炉金属料(铁水和废钢)的平均装入量,吨装入量/炉;
- 2) 炉产良锭量,吨良锭/炉;
- 3) 炉产钢水量,吨钢水/炉。

用装入量表示炉子容量,便于作炉体设计和物料平衡与热平衡计算;用炉产良锭(坯)量表示,便于直接衡量车间的生产规模和各项技术经济指标;用炉产钢水量表示,则介于两种方法之间,便于相互换算比较,而且不受铸锭方法的影响。目前广泛采用平均炉产钢水量和炉产良锭量表示转炉的容量。

各种不同容量的炉子,按大小顺序排列,并经国家计委确认,构成了转炉标准容量系列。对简化设计、施工、设备制造和备件等都有重要意义。

确定转炉容量系列的主要依据,炉子容量应与机电部现行标准铸锭吊车系列的起重能力相适应。考虑转炉炉役后期超装,选择铸锭吊车时应有一定富裕能力。

炉容量系列与铸锭吊车配合,列于表 2-9-1。

表 2-9-1 炉容量系列与铸锭吊车配合表

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|--------|--------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 转炉公称容量(t) | 15 | 30 | 50 | 100(120) | 150 | 200 | 250 | 300 |
| 最大出钢量(t) | 24 | 36 | 60 | 120(144) | 180 | 220 | 270 | 320 |
| 桶中渣重(t) | 1.2 | 2.1 | 2.2 | 2.53 | 3.18 | 3.5 | 6.25 | 10 |
| 桶重(衬砖)(t) | 9.314 | 14.885 | 16.70 | 28(41) | 58 | 62 | 68.785 | 90 |
| 盛钢桶容量(t) | 30 | 40 | 70 | 130(150) | 200 | 230 | 280 | 330 |
| 铸锭吊车能力(t) | 50/10 | 63/16 | 100/32 | 225/63/20 | 280/80/20 | 360/100/20 | 400/100/20 | 450/100/20 |

二、转炉生产率及车间作业指标

1. 转炉生产率 炉子生产率是反映一个炼钢车间工艺操作水平、机械化自动化水平、生产管理水平的—项重要的技术经济指标。

转炉生产率的表示与计算方法：

(1) 小时产钢量。

$$\text{小时产钢量} = \frac{\text{平均炉产钢水量}(t) \times \text{良锭收得率}(\%) }{\text{炉役期平均冶炼周期}(h)} \quad t \text{ 良锭}/h$$

(2) 年产良锭量(按一座连续生产的转炉计算)：

$$\text{年产良锭量} = \frac{1440 \times 365 \times n_1 \times t \times n_2}{\tau} \quad t \text{ 良锭}/a$$

式中 τ ——冶炼周期, min；

n_1 ——车间有效作业率, %；

t ——炉子容量, t 钢水/炉；

n_2 ——良锭收得率, %；

365——年日历天数；

1440——昼夜分钟数 $24 \times 60 = 1440$ 。

(3) 每公称吨容量的年产良锭量。按一座连续生产的转炉考虑：

$$\begin{aligned} \text{每公称吨容量年产良锭量} &= \frac{\text{炉子年产良锭量}}{\text{炉子公称容量}} = \frac{1440 \times 365 \times n_1 \times t \times n_2}{\tau \times t} \\ &= \frac{1440 \times 365 \times n_1 \times n_2}{\tau} \quad t \text{ 良锭}/t \cdot a \end{aligned}$$

2. 转炉车间作业指标 转炉炼钢车间的作业指标,是计算炉子生产率和选择炼钢设备的主要依据,也是衡量炼钢车间生产技术水平和管理工作的重要标志。这些指标应该在已有生产车间平均先进水平的基础上选取。

(1) 转炉冶炼周期。转炉冶炼周期是指每炼—炉钢所需要的总的的时间,即两次出钢之间的时间。包括吹炼时间、辅助时间及耽误时间三部分。

国内不同容量的转炉平均冶炼周期可参考下列数据：

| | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-----|-----|
| 炉子容量(t) | 15 | 30 | 50 | 100~120 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| 冶炼周期(min) | 25~28 | 28~30 | 30~33 | 33~36 | 36~38 | 38~40 | ~40 | ~40 |

(2) 车间年日历有效作业率。是指车间一年的有效工作天数与日历天数之比。

$$\text{车间年日历有效作业率 } n_1 = \frac{\text{车间一年有效工作天数}}{365} \times 100\%$$

车间非作业天数,包括车间计划检修和非计划检修。当转炉与单台连铸机配合全连铸时,年有效作业天数为 275 ~ 290 天。当转炉与部分连铸配合时,年有效作业天数为 300 ~ 320 天,即车间年日历有效作业率为 75 ~ 88%。

(3) 良锭收得率。炉产合格钢锭(坯)与炉产钢水量之比,称为良锭收得率。

$$\begin{aligned} \text{良锭收得率 } n_2 &= \frac{\text{炉产合格钢锭(坯)}}{\text{炉产钢水量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{炉产钢水量} - \text{浇注损失}}{\text{炉产钢水量}} \times 100\% \end{aligned}$$

一般情况下,对连铸良坯收得率可取 98%。对模铸上注法良锭收得率可取 98%,对模铸下注法可取 95%。

(4) 转炉寿命及炉子冷修时间。转炉寿命是转炉车间一项重要的综合指标,对车间生产率有重大影响。

提高转炉寿命的主要因素:高 MgO 含量的镁砂(MgO 占 98% 以上),高成型密度(3.3 以上),高碳素骨架(油浸砖、镁碳砖)经常性维护与修补(喷补或大面定期垫砖)。我国首钢 1978 年突破 4000 炉,济南钢铁厂 1979 年突破 5070 炉。目前,我国转炉平均炉龄在 700 炉以上。日本转炉最高炉龄在万炉以上,平均炉龄在 2000 炉左右。

转炉的冷修过程,包括冷却、折炉、检修烟罩、砌炉、烘炉等几个步骤。每个环节所需的时间,参考表 2-9-2。

表 2-9-2 转炉冷修计划(h)

| 冷 却 | 折 炉 | 检修烟罩 | 砌 炉 | 烘 炉 | 合 计 |
|--------|--------|-------|---------|---------|---------|
| 6 ~ 12 | 8 ~ 12 | 4 ~ 9 | 24 ~ 50 | 0.5 ~ 1 | 40 ~ 90 |

(5) 转炉主要原材料消耗指标(表 2-9-3)。

表 2-9-3 主要原材料消耗指标

| 项 目 | 单 位 | 转 炉 容 量 | | |
|-------------|-----|-------------|-------------|-------------|
| | | ≤ 30t | 30 ~ 100t | ≥ 100t |
| 1. 每炉座年产钢炉数 | 炉/a | 6200 ~ 7400 | 5600 ~ 6800 | 5000 ~ 6000 |

| 项 目 | 单 位 | 转 炉 容 量 | | |
|---------------|-------|---------|-----------|-------|
| | | ≤30t | 30 ~ 100t | ≥100t |
| 2. 钢铁料消耗 | kg/t | 1130 | 1120 | 1100 |
| 3. 石灰消耗 | kg/t | 70 ~ 80 | 60 | 50 |
| 4. 炉衬消耗 | kg/t | 10 | 6 | 4 |
| 5. 氧气消耗(炉座×1) | Nma/t | 80 | 70 | 60 |
| 6. 电耗(炉座×2) | kWh/t | 25 | 20 | 15 |

三、车间炉子容量及座数的确定

在确定转炉容量和炉子座数时,应考虑以下方面;

(1)考虑原材料来源、水、电、煤及交通条件,产品在市场有无竞争能力;

(2)考虑国家和地区对主要设备的制造和备件能力;

(3)考虑转炉生产特点,炉座数不宜过多,一般不超出三座,考虑钢的品种,转炉生产软线钢材和板材有明显优势,因此转炉应以生产低碳镇静钢和沸腾钢为主。转炉生产合金钢和特殊钢较难一些。

转炉容量可按下式计算确定:

$$\text{转炉公称容量}(t) = \frac{\text{年产良锭量}(t/a) \times \text{冶炼周期}(\text{min})}{\text{良锭收得率}(\%) \times \text{炉子年作业天数} \times 1440(\text{min})}$$

在计算转炉容量时,应正确选取有关技术经济指标,一是参考设计部门推荐数据;二是对同类型生产车间进行考查;三是根据新建车间的具体情况,综合分析比较加以确定。

转炉车间炉子座数一般采用“一吹一”、“二吹一”、“三吹二”三种方案。“一吹一”适合于用吊车起吊更换炉子的小转炉生产。在新建转炉车间分期建设的前期工程采用“二吹一”方案。“三吹二”车间生产比较稳定,通常在主体和辅助设施完善后的转炉车间采用这一方案。

近年来,有的转炉车间改进了转炉托圈结构,使托圈能迅速启闭,给炉子移动更换带来方便,或由于炉子寿命的显著提高,车间布置合理和运输能力扩大,也可采用“二吹二”或“三吹三”的转炉工作制方案。

第四节 转炉车间的组成和布置

一、转炉炼钢车间的组成

转炉炼钢车间包括 :1)铁水、废钢和渣料的存放和供应设施 ;2)加料设施 ;3)冶炼设备 ;4)浇注设备 ;5)炉渣污水处理、除尘、动力、拆修炉等一系列设施。

按生产规模不同 ,车间可分为大型、中型、小型三类。目前 ,国内年产钢量在 50 万吨以下的 ,称为小型转炉炼钢车间(转炉吨位在 30t 以下的) ;产钢量在 50 ~ 100 万吨的为中型车间(30 ~ 50t 的称为中型转炉) ;产钢量在 100 万吨以上者为大型车间(大于 50t 的称大型转炉)。

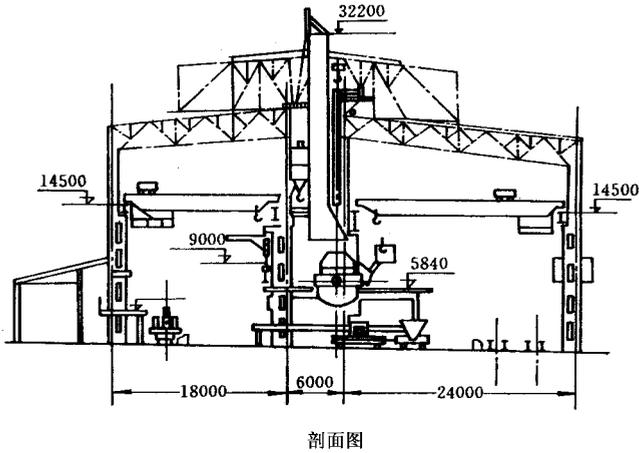
按主厂房跨间划分 ,分为单跨式车间、双跨式车间和三跨式车间。单跨式车间的缺点是厂房狭长 ,布置拥挤 ,吊车干扰严重 ,劳动条件差。双跨式车间 ,分别将冶炼和浇注布置在两个跨间 ,目前一些小型转炉车间采用这种布置方案。三跨式车间 ,将转炉、加料和浇注的设备和作业分别布置在三个跨间之内 ,并组成车间的主厂房。这种类型车间 ,各跨间的作业面积增大 ,劳动条件有所改善 ,吊车及物料运输线的专业化程度高 ,有利于车间生产能力的提高。近年来为了进一步提高转炉车间的生产能力 ,出现了 4 ~ 6 跨的多跨车间。

转炉操作平台有低架式(或称地坑式)和高架式两类。高架式可采用地面平车出渣和出钢 ,解决出渣和清渣的困难 ,改善劳动条件 ,故新建转炉一律采用高架式布置。

二、转炉车间浇注系统的布置方式

炼钢生产主要包括冶炼和浇注两个基本工序 ,为保证冶炼和浇注的正常进行 ,浇注系统的布置方式对车间组成和布置的影响最大。由于浇注系统的布置方式不同 ,可将炼钢车间的布置分为以下几种类型。

1. 纵向车铸炼钢车间 纵向车铸又称大车铸(火车牵引)。铸车行走线与铸锭跨厂房柱子纵向行列线呈平行布置 ,即铸锭跨平行于转炉跨(图 2-9-5)。



剖面图

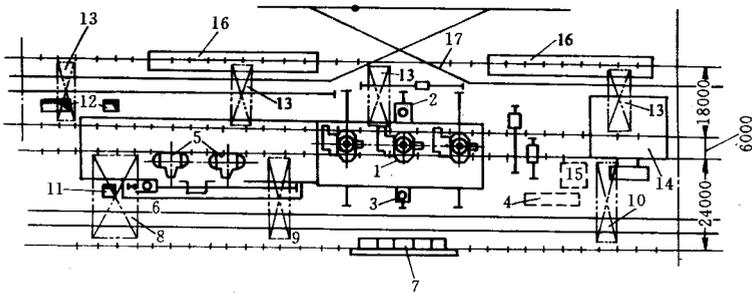


图 2-9-5 纵向车铸车间平面图和剖面图

- 1—转炉 2—钢水罐车 3—渣罐车 4—废钢槽架 5—混铁炉 6—铁水罐车 7—中央操纵室；
 8—铁水吊车 9—吊车；10—磁盘吊车；11—铁水罐修罐坑；12—钢水罐修罐坑；13—铸锭吊车；
 14—连铸预留区；15—废钢坑；16—铸锭平台；17—铸锭车线

对于纵向车铸车间,通常在主厂房外另设脱模间和整模间,脱模间和整模间的布置有的设在主厂房铸锭跨的厂房柱子行列线的延长线方向,也有的远离铸锭跨呈平行并列布置。在铸锭跨内将浇注平台组分为两段,对称布置在转炉中心线的两端,每段浇注线可放置浇注两炉钢的铸车。在中间正对转炉位置处,设菱形道岔与车间外铁路贯通线连接,便于铸车的调度。

纵向车铸的主要优点是将脱模、整模等工艺分散在主厂房之外的单独跨间内进行。因而主厂房内劳动条件好,也有利于钢锭直接热送。但车间分散,占地面积大,运输线长,车间周转时间长,操作复杂,能耗高,基建投资大,经营费用高。

纵向车铸分为单浇注跨和双浇注跨。单浇注跨间只适于炉座数少或炉容量较小的转、炉车间。如果炉座数较多或炉容量较大,应改为双浇注跨间,使作业面增加,减少吊

车干扰。

纵向车铸适合于钢产量大、品种比较单一的大、中型转炉炼钢车间。

目前尚存在过去遗留下来的纵向地坑模铸车间,新建转炉炼钢车间一律不得选择这种布置方案。

2. 横向车铸炼钢车间 横向车铸又称为过跨车铸。横向车铸的铸锭线与铸锭跨厂房柱子纵向行列线呈垂直布置,同时将脱模间和整模间布置在主厂房内与铸锭跨相毗邻的跨间,如图 2-9-6 所示。

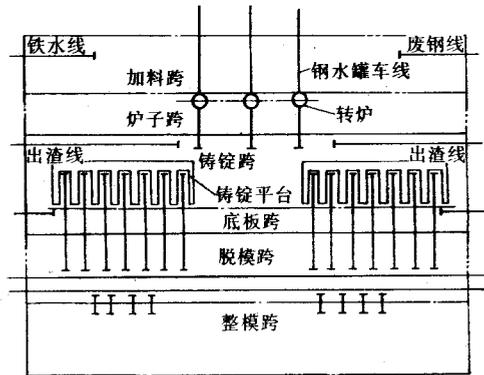


图 2-9-6 横向车铸车间布置

横向车铸的铸车由卷扬或链条或无轨内燃机车牵引,进行过跨作业。与纵向车铸比较,横向车铸的主要优点是可以在铸锭跨内布置能独立浇注、镇静、冷凝和脱模等操作的许多条铸锭线,具备足够的浇注作业面积;由于铸锭线多,在浇注不同钢种和不同锭型时,也比较容易解决复杂的配模作业;此外,由于将脱模、整模、底盘和钢锭模等跨间都集中布置在主厂房内,因而大大简化主厂房外的运输作业,缩短运输线路,降低运输和管理费用,还大大减少总占地面积,有利于改善全厂的总图布置。

横向车铸的主要问题是车间内部运输生产组织调度较为复杂,车间内通风、采光及劳动条件和安全生产方面不如纵向车铸好。

横向车铸一般适合于中、小型转炉炼钢车间。近年来,由于机械化、自动化程度的提高,主厂房整体布置及铸锭列车与车间外部运输装置和线路的改进,使得国外的一些大型氧气转炉炼钢车间也采用横向车铸布置方案。例如日本福山炼钢厂 $2 \times 300t$ 大型转炉炼钢车间,在主厂房平面布置图上将浇注跨、整模跨、脱模跨和转炉跨、加料跨在纵向两端错开,呈阶梯状布置,即转炉跨、加料跨靠纵向右侧布置,而浇注跨、整模跨、脱模跨靠纵向左侧布置。此种布置的突出优点是通风好,避免转炉、模铸等高温作业区均在同一

区域,劳动条件可明显改善,弥补了横向车铸的缺点。

3. 全连铸车间 近二十年来连铸工艺得到迅速发展,连铸机与转炉配合可充分发挥转炉的生产能力,综合能耗低,成材率高,劳动条件也比较好。

世界上已出现了很多全连铸氧气转炉炼钢车间,我国武钢在 1985 年已实现了全连铸。实现全连铸的主要经验是:在转炉炼钢车间一切管理和调度工作以连铸生产为中心,连铸机主体设备实行分段定人、定时的检修制度,并有充分的备品备件;中间罐及连铸机应具有多炉连浇的能力;全连铸车间连铸机总的小时浇钢能力要与转炉小时出钢量相平衡,要求终点钢水成分、温度和出钢时间稳定,铸坯质量能保证直接热送加热炉。

连铸车间工艺布置的原则是:连铸机在厂内的位置既要缩短运送距离,减少运送过程的干扰,又应创造连铸坯热送热装的条件。连铸机放在炼钢车间时,应把连铸机放在钢水供应的最佳位置,减少钢包倒运次数,缩短钢水运行距离,减少干扰。在多台连铸机时,应尽量将连铸机分设在转炉的两侧,并采用钢包回转台过跨浇注的布置,使钢水供应与浇注操作及维修分设在两跨内作业,且应设有红坯专用线输送铸坯,连铸机靠近轧钢车间,一般只能适用于转炉容量较大的全连铸车间,这种布置应设有专用的钢水运送线,同时用辊道直接输送红坯;应具有足够的中间罐、结晶器和铸机设备的维修面积;必须有耐火材料和保护渣的贮存和干燥设施;应有一定的铸坯检查、精整、必要的缓冷设施和堆存面积;应设有不合格钢水回炉重炼的条件及事故钢水的处理设施。

在浇注跨内设有两台或两台以上连铸机时,连铸机宜采用横向布置,即连铸机的中心线与厂房柱列线相垂直(图 2-9-7)。此种布置方式盛钢桶运送距离短,物料流程合理,便于增建和扩大连铸机生产能力,特别适于把不同的与连铸相关的作业分散在不同厂房内进行,使各项操作互不干扰。

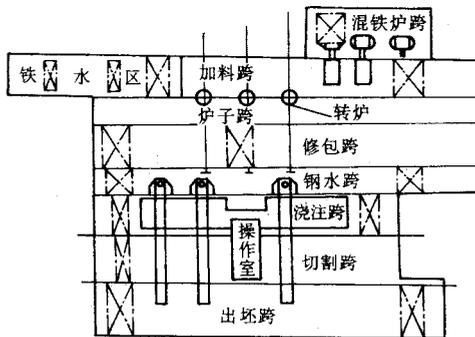


图 2-9-7 横向布置的全连铸车间布置

至于纵向布置的连铸机,即连铸机与各跨间相平行。适用于车间内连铸机台数不多

或总图等其它条件适于采用这种布置的场合。

4. 部分连铸与模铸车间 对已建成投产的转炉炼钢车间,原采用模铸工艺,现对转炉改造和扩建,采用连铸代替部分模铸。目前还有少数钢种用连铸尚有困难,有的钢种的连铸坯质量、铸坯断面和规格还满足不了要求,一部分新建转炉炼钢车间,也采用了部分模铸和连铸车间。部分连铸车间一般是铸锭跨的一端布置模铸,另一端为连铸。在铸锭线为纵向布置的浇注跨间,连铸机可作为横向布置工艺进行连铸(图2-9-8);连铸机也可作为与模铸线径向相反的布置。横向布置的连铸机,新增设厂房建筑面积较大,但增设连铸机台数却不受限制。而纵向布置的连铸机其优缺点与横向布置恰相反。如果原设计模铸的浇注线为横向布置,改为部分连铸或全连铸亦为横向布置,厂房建筑面积扩建甚少,连铸与模铸的外部运输亦可共同使用。

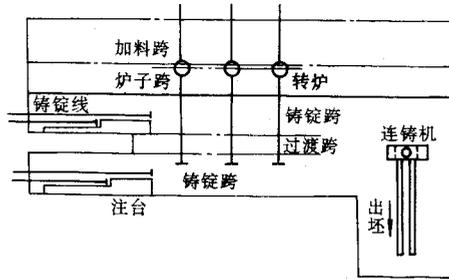


图 2-9-8 部分连铸车间工艺布置

第五节 转炉炼钢车间主厂房布置

氧气转炉炼钢车间各主要作业是分散在各主要跨间、辅助跨间和附属跨间内共同完成的。在一般情况下,完整的氧气转炉车间应包括:

(1) 主要跨间。由炉子跨、铸锭跨、加料跨组成,又称为车间主厂房。它负担着加料、吹炼、出钢、出渣、浇注、废气的净化与回收等任务,是车间的主体和核心部分,也是设计氧气转炉车间的重点。

(2) 辅助跨间。包括整模、脱模、精整等跨间。对大型转炉车间、辅助跨间与主厂房是分开布置的,小转炉车间一般是与主厂房相毗连集中布置在一起的。

(3) 附属跨间。包括石灰、白云石的焙烧、机修、制衬、制氧、供水等。

一、主厂房内跨间的布置

主厂房的布置,主要是确定加料跨、转炉跨和铸锭跨三个基本跨间的相互位置,其排列方式分为两种类型(图 2-9-9):

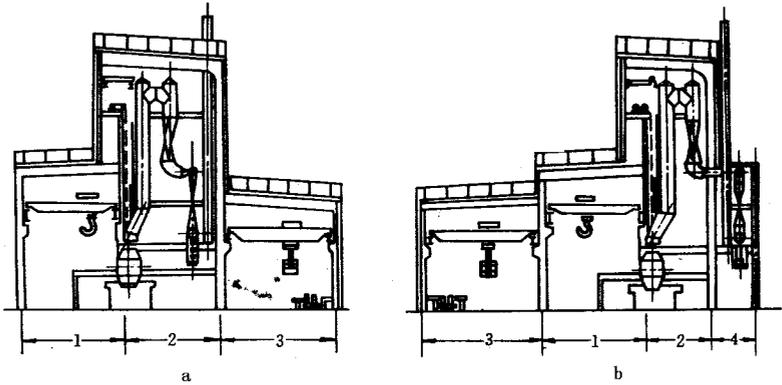


图 2-9-9 氧气转炉车间主厂房布置方案

1—加料跨 2—转炉跨 3—铸锭跨 4—偏屋

(1) 加料跨—转炉跨—铸锭跨(或炉外精炼和钢包转运跨)。按图 2-9-9a 布置方式的优点是:便于双面操作,转炉兑铁水、加废钢以及取样、测温在加料侧进行;而出钢、出渣在铸锭侧进行,操作方便,互不干扰,有利提高炉衬寿命,简化出钢口开堵操作;由于出钢靠铸锭侧进行,钢水罐车在炉下行走的距离较短,如果在加料跨出渣,还可利用加料吊车吊换渣罐,转炉跨排在中央位置,建筑重心稳定,可减少基建费用。其缺点是由于净化系统在两跨之间,除尘系统的布置比较紧张,污水排放管路较长。

(2) 转炉跨—加料跨—铸锭跨(或炉外精炼和钢包转运跨)。按图 2-9-9b 布置方式的优点是:便于在转炉跨外侧布置烟气净化系统设备,缩短了除尘系统的废气和排污管道长度;炉渣可从转炉跨外的配料偏屋运出,减轻了加料跨或铸锭跨吊车作业负荷。其缺点是炉子不便于双面操作,铁水废钢间布置往往受限制,钢包车运行线较长。如果是小型车间,加料跨被钢包车行走线切断,有效作业面积减小,无法铺设贯通铁路。

两者比较,第一方案的缺点易于克服。一般新设计的转炉车间,采用第一种布置方案者居多。

二、转炉跨的布置

转炉跨是主厂房设计的核心部分。转炉跨内布置的主要设备有转炉、转炉倾动系

统、散状料供应系统、供氧系统、烟气净化系统、铁合金供应系统炉下出钢出渣设备。转炉跨的设计主要是确定它们在转炉跨内的位置和厂房的主要尺寸。

1. 转炉位置的确定 通常,转炉是靠厂房柱子的纵向行列线集中摆成一行,应确定转炉中心线与厂房柱子纵向行列线的间距,炉子耳轴中心线的标高,转炉在主厂房纵方向上的位置和各炉子间的距离。

(1) 转炉中心线与厂房柱子纵向行列线的间距。转炉一般布置在加料跨和浇注跨的中央,转炉中心线与靠近加料跨的厂房柱子纵向行列线之间的距离 a (图 2-9-10),确定的 a 值应能保证用加料跨的吊车将铁水兑入转炉,因此要求 a 值取小些。同时又能满足布置转炉氧枪升降机构(包括副枪)的要求,这就要求 a 值取大一些好。 a 值与图中其它尺寸的关系为:

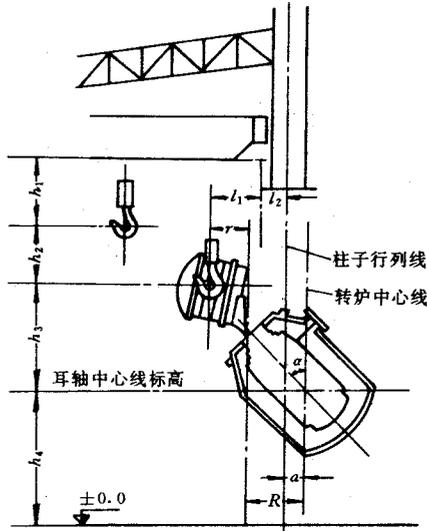


图 2-9-10 转炉中心线与厂房柱子纵向行列线间的距离 a 的示意图

$$a = R + r - l_1 - l_2$$

式中 R ——转炉倾动到接受铁水的位置(一般取倾动角 $\alpha = 30^\circ \sim 45^\circ$ 时炉口内缘与直立转炉中心线的距离);

r ——罐内铁水全部兑入转炉时,罐嘴前缘与吊车钩间的水平距离;

l_1 ——吊车钩的移动极限;

l_2 ——吊车规道中心线与厂房柱子中心线间的距离。

国内已投产的不同容量炉子的转炉车间,炉子中心线与厂房柱子纵向行列线的距

离,如表 2-9-4 所示。

表 2-9-4 不同转炉容量与 a 值的关系

| 转炉容量(t) | 15 | 30 | 50 | 120 | 150 | 300 |
|----------|---------|-----|-----------|------|------|------|
| a 值(m) | 0.5~0.8 | 0.8 | 1.15~1.25 | 1.75 | 1.90 | 2.70 |

(2) 转炉耳轴中心线标高。新建转炉一律采用高架式布置。转炉耳轴中心线标高 H 见图 2-9-11 所示。确定转炉耳轴标高时,应按炉身转动最大回转半径圆高出钢水罐最高点 200~300mm 考虑,并校核炉底车、修炉车的进出条件。在满足上述条件时尽量降低 H 值,以降低厂房高度、节约投资、缩短出钢钢流长度,减轻钢水二次氧化、散热降温 and 吸氧量。

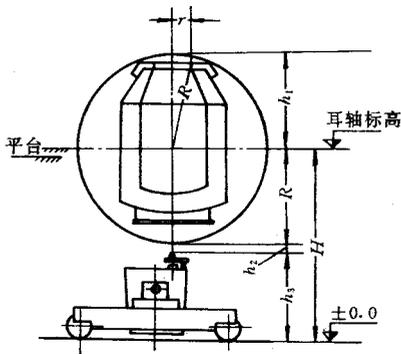


图 2-9-11 转炉耳轴中心线标高

转炉耳轴的标高按下式确定：

$$H = R + h_2 + h_3 \quad R = \sqrt{r^2 + h_1^2}$$

式中 H ——耳轴的标高；

r ——炉口半径；

h_3 ——钢水罐罐面或塞棒最高点的距离；

h_2 ——安全静空,一般为 200~300mm；

h_1 ——耳轴中心线以上炉子的高度。

国内已投产的不同容量转炉耳轴中心线标高,可参考表 2-9-5。

表 2-9-5 炉容量与耳轴中心线标高 H

| | | | | | | |
|---------|------|---------|----------|-------|-------|-------|
| 转炉容量(t) | 15 | 30 | 50 | 120 | 150 | 300 |
| H 值(m) | 6.70 | 6.7~7.0 | 8.0~8.15 | 10.40 | 10.95 | 12.30 |

(3) 转炉在主厂房纵向上的位置和炉子间距。一般都将转炉集中布置在转炉跨纵向的中央位置,并安装在两根厂房柱子之间。这种布置便于在加料跨的两端分别布置混铁炉工段和废钢工段,铸锭跨的铸锭平台也可以布置在两侧。这种布置方案,向转炉供应铁水、废钢和铸锭吊车调运钢水罐的距离缩短,减少吊车相互干扰。

几座转炉之间中心线的距离,应根据转炉炉壳直径、倾动机构所占的位置、高位料仓的布置方式以及炉前操作平台面积和修炉条件来确定,并应为厂房基本柱距的倍数。

国内已投产的转炉炉子中心线间的距离列于表 2-9-6。

表 2-9-6 炉子容量与炉子中心距的关系

| | | | | | |
|----------|-------|-------|------|-------|-------|
| 炉子容量(t) | 3×15 | 3×30 | 2×50 | 2×120 | 3×300 |
| 炉子中心距(m) | 12~18 | 15~18 | 18 | 24 | 27~30 |

2. 转炉跨各层平台的确定 在转炉跨的不同标高位置上,需要设置转炉操作平台、渣料系统平台、烟气净化系统平台和氧枪平台等。

转炉操作平台:主要用于炉前工艺操作,如测温、取样、开堵出钢口、观察炉况、补炉及向钢水罐内加铁合金等。操作平台设计均布负荷按 $2 \sim 3 \text{t/m}^2$,有拆炉机时应考虑局部负荷。操作平台高度一般低于转炉耳轴标高 $800 \sim 1200 \text{mm}$ 。表 2-9-7 为不同容量转炉操作平台标高的数据。

表 2-9-7 炉子容量与操作平台标高的关系

| | | | | | |
|-----------|-----|------|-----|------|-------|
| 炉子容量(t) | 15 | 30 | 50 | 120 | 300 |
| 操作平台标高(m) | 5.8 | 5.85 | 7.0 | 9.00 | 10.80 |

渣料系统平台:一般设有活动溜槽平台、称量漏斗平台和高位料仓平台。主要用来检修加料溜槽、称量漏斗、振动给料器和高位料仓的运料设备。

烟气净化系统平台:设有安装与检修活动烟罩传动设备平台、汽化冷却平台、烟气净化设备平台、气包和风机等设备。

供氧系统平台:为了向转炉供氧,在转炉车间内,自下而上设置氧枪孔平台、氧枪升

降机构平台及氧枪冷却水和氧枪软管的平台。设有副枪装置的还相应设置升降机构平台。

转炉跨为多层平台结构,应设置能到达各层平台的电梯。

为了简化平台的设置,节约投资费用,上述渣料、烟气净化和供氧系统等平台,应尽量合用或采用局部平台。根据平台上设备配置情况,平台设计均布负荷按 $0.5 \sim 2t/m^2$ 考虑。

3. 转炉跨的厂房高度、跨度和长度的确定 转炉跨立面布置应考虑与地下料仓间、倾斜皮带通廊、除尘设施与污泥处理设施的衔接。应保证造渣料顺利加入转炉及钢水罐,以最短距离进入浇注区。

转炉跨的厂房高度:主要决定于更换氧枪吊车的轨面标高(图 2-9-12)。它主要决定于氧枪口的标高、氧枪长度、提升极限,以及考虑检修氧枪时,吊车运行的安全净空。

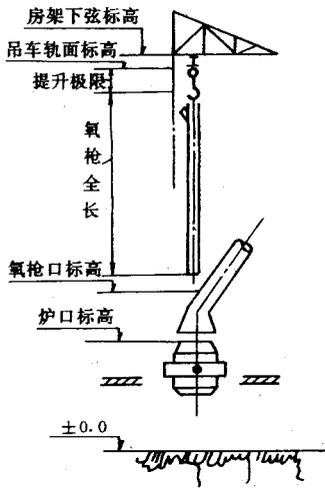


图 2-9-12 转炉跨轨面标高的确定

转炉跨的厂房跨度(宽度) 转炉跨跨度一般为 $12 \sim 24m$ 。主要根据转炉容量大小和该跨内转炉散状料加料系统、烟气净化系统和汽化冷却烟道的汽包等设备的布置要求确定,同时安排一定的维修设备通行空间。转炉炉前操作平台是布置在加料跨内的,其宽度应能满足从炉前兑铁水、临时贮存废钢料斗、堆放补炉材料和放置冶炼工具及安全冶炼操作的面积。

转炉跨的厂房长度:它决定于转炉容量及座数,炉子中心线之间的距离和两端空跨的长度。实际上,转炉跨长度一般小于加料跨和铸锭跨的长度。当其位于加料跨和转炉跨之间时,可以等于加料跨的长度,也可按转炉跨实际需要长度确定。

氧气转炉转炉跨主要尺寸见表 2-9-8。

表 2-9-8 转炉炼钢车间主厂房各跨的主要尺寸

| 转炉公称容量 及座数(t) | | 2×15 | 3×30 | 3×50 | 3×120 | 2×150 | 3×200 | 3×300 |
|---------------------------------|---------|-----------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------------|
| 主 厂 房 布 置 形 式 | 各跨布置顺序 | 加料 | 加料 | 加料 | 加料 | 转炉 | 加料 | 加料 |
| | | 转炉 | 转炉 | 转炉 | 转炉 | 加料 | 转炉 | 转炉 |
| | | 过渡 | 连铸 ₁ | 连铸 ₁ | 铸锭 ₁ | 铸锭 | 连铸 ₁ | 铸 ₁ ~铸 ₄ |
| | | 铸锭 | 连铸 ₂ | 连铸 ₂ | 铸锭 ₂ | | 连铸 ₂ | 接受跨 |
| | | | 连铸 ₃ | 连铸 ₃ | 连 ₁ ~连 ₄ | | | 连 ₁ ~连 ₂ |
| | | 连铸 ₄ | 连铸 ₄ | | | | 出坯跨 | |
| 加 料 跨 m | 长 度 | 60 | 312 | 294 | 252 | 平炉跨一段 | 288 | 192 |
| | 跨 度 | 18 | 24 | 24 | 24 | 26.5 | 24 | 25 |
| | 吊车轨面标高 | 13.79 | 19 | 21.8 | 21.5 | 17.0 | | 28.1 |
| 转 炉 跨 m | 炉子中心距 | 15 | 18 | 18 | 24 | | 36 | 28 |
| | 操作平台标高 | 5.8 | 6.5 | 7.8 | 9.0 | 6.45 | | 10.8 |
| | 厂房长度 | 60 | 264 | 294 | 252 | | 234 | 112 |
| | 厂房跨度 | 10 | 12 | 14 | 15 | 15 | 23 | 23 |
| | 吊车轨面标高 | 34.7 | 42 | 47 | 44.1 | 43.38 | | 58.7 |
| 烧 注 跨 m | 铸锭(坯)方式 | 连铸、坑铸 | 全连铸 | 全连铸 | 纵向车铸 | 纵向车铸 | 全连铸 | 模+连 |
| | 厂房长度 | — | 264 | 294 | 252 | — | 342 | 模铸 120×4 |
| | 吊车轨面标高 | 15 | 18 | | 16 | 17 | | 28.5、18、 18、18 |
| | 跨度 | 21 | 21.5 | 连 ₁ 24 | 24 | 20 | 接受跨 24 连 ₁ ~连 ₂ ~连 ₃ | 模跨 27×4 接受 27 |
| | | 24 | 连 ₂ 24 | 连 ₁ ~连 ₄ | | 30、27、27 | 连 ₁ 连 ₂ 27×2 | |
| | | 27 | 连 ₃ 32 | | | 接~连 ₁ ~连 ₃ | | |
| | | 27 | | | | 长 240 | 出坯 54 | |

三、加料跨的布置

加料跨的布置：一般中部为转炉炉前作业区，一端为铁水系统作业区，则另一端为废钢系统作业区，其中吊车等设备配置与具体工艺布置都应按分区作业的原则确定，并应考虑补炉料的运送和转炉修炉作业对生产中的转炉不发生干扰。

铁水工段的布置：转炉车间铁水供应方式大多采用混铁炉，混铁炉在加料跨的布置有双跨布置(图 2-9-13)和单跨布置(图 2-9-14)。

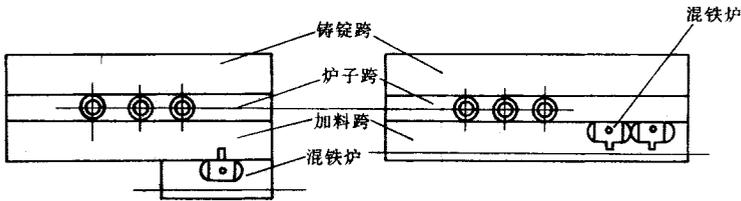


图 2-9-13 混铁炉双跨布置

图 2-9-14 混铁炉单跨布置

双跨混铁炉是将混铁炉布置在加料跨以外相邻的跨间内，出铁水和进铁水分别在两跨内进行。这种布置原料工段劳动条件好，但是吊车不能共用，厂房投资费用增加。结合我国具体情况，中小型转炉以采用单跨混铁炉布置较为合适，在炉容量较大或炉座数较多的车间，宜采用双跨式布置。

废钢工段的布置：废钢工段有三种布置方式，即废钢间布置在加料跨的一端，独立废钢间，废钢间与加料跨相毗邻。废钢间布置在加料跨的一端(图 2-9-15)，这种布置紧凑，占地面积少，可以共用吊车，转炉联系方便，但对大量废钢加工带来困难。独立废钢间可加工处理大量废钢，但占地面积大，向转炉联系不很方便。废钢间与加料跨相毗邻的布置(图 2-9-16)，采用横向渡车将料槽送入加料跨，这种布置为新建大型转炉广泛采用。

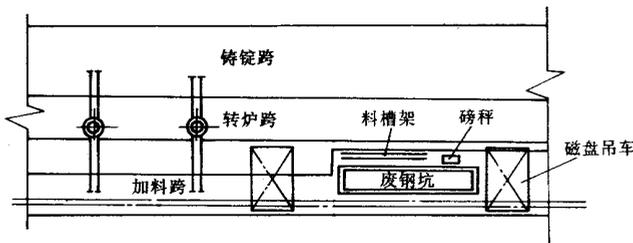


图 2-9-15 废钢间布置在加料跨一端

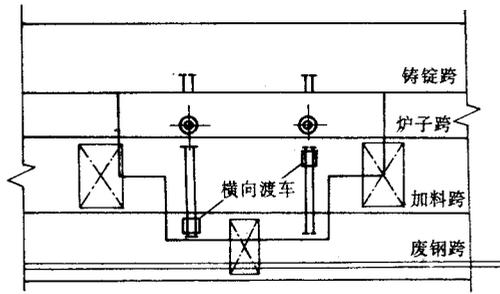


图 2-9-16 废钢间与加料跨相毗邻布置

加料跨吊车轨面标高的确定 :对于在加料跨一端设置混铁炉的车间 ,加料跨的轨面标高应与混铁炉的吊车轨面标高一致。加废钢吊车一般也应采取同一轨面标高。轨面标高太高不便于废钢料槽配料作业 ,此时在废钢区可设置低层吊车。

加料跨长度的确定 :为转炉工段、铁水工段和废钢工段三者长度的总和 ,还应考虑两端检修吊车所需的长度。

加料跨宽(跨)度的确定 :加料跨的宽度应满足转炉炉前工艺操作平台能顺利进铁水、加废钢及安全空间的要求。对在加料跨内倒换转炉炉下用渣罐时 ,能顺利吊换渣罐的宽度和设置炉渣铁路线的位置。加料跨的宽度一般在 21~27m 之间。

氧气转炉加料跨的主要尺寸见表 2-9-8。

四、铸锭跨的布置

由于氧气转炉的吹炼周期短 ,而浇注周期长 ,铸锭跨的布置会直接影响浇注、镇静、冷凝、脱模和整模等一系列工艺操作。

铸锭跨间的布置 ,主要是铸锭平台和铸锭线的布置 ,铸锭跨厂房尺寸的确定。

1. 纵向车铸的铸锭跨布置 国内外较多的氧气转炉炼钢车间是采用纵向车铸布置的。在采用纵向车铸的车间里 ,铸锭跨一般都与转炉跨平行布置。采用单浇注跨的纵向车铸线布置 ,分为单列平台和双列平台(图 2-9-17)。单列铸锭平台一般都布置在转炉的左右两侧 ,有条件的则在两铸锭平台中部设菱形道岔线 ,使得每个铸台的铸车均可分别由铸台两端出入 ,可提高铸台的作业率。每个铸台可以停放两炉钢的铸锭列车。双列铸锭平台较单列铸锭平台可以缩短跨间长度 ,减少铸台的相互干扰 ,但铸锭跨宽度有所增加 ,而且劳动条件较差。

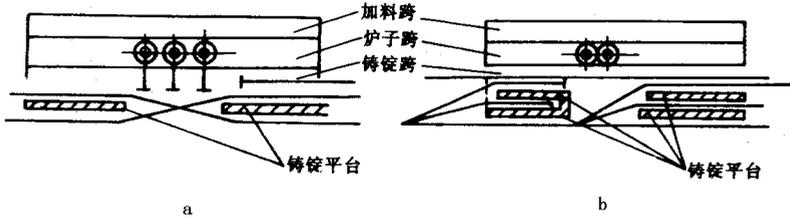


图 2-9-17 单铸锭跨铸锭线布置方案

a—单列平台 ;b—双列平台

采用双铸锭跨 ,可以解决铸台和铸锭作业面积不足 ,吊车相互干扰的矛盾。

双铸锭跨内铸锭线和平台的布置有以下三种方案(图 2-9-18)。

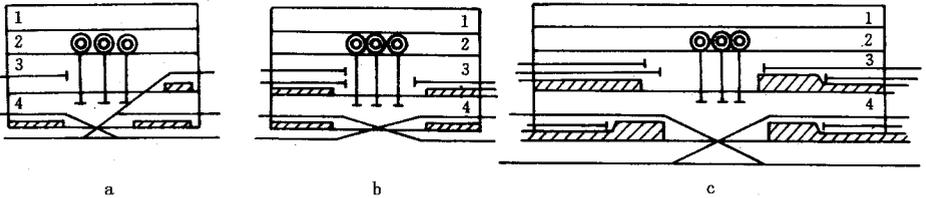


图 2-9-18 双铸锭跨铸锭线布置方案

1—加料跨 2—炉子跨 3—第一铸锭跨 4—第二铸锭跨

图 2-9-18a ,为俄罗斯 100 ~ 130t 容量转炉车间的标准设计推荐的方案。第一跨左端设有一条清渣线 ,右端设有一个铸台 ,并用道岔线与第二铸锭跨相联 ,铸车可从浇注一跨右端进入 ,也可从浇注二跨的道岔进入浇注一跨。这种方案的第一铸锭跨的浇注能力太小 ,厂房投资较多。图 2-9-18b ,为国内某大型转炉车间采用的方案。由图可见铸台增多 ,浇注作业面积扩大 ,吊车相互干扰减少。但第一铸锭跨被三条横向钢水罐车过渡线所切断 ,且左右两端的铸车必须从主厂房两端出入 ,对于脱模、整模间布置在主厂房外的车间 ,铸锭列车的调度就比较困难。图 2-9-18c ,为国内近期某大型转炉车间双铸锭跨布置方案。在第一铸锭跨两端设置注台 ,左端设普通铸台和清渣线 ,右端设阶梯铸台 ,使铸锭平台和列车进出线增加 ,从而第一铸锭跨间的铸锭能力扩大。第二铸锭跨左右两端设阶梯铸台 ,铸台中央设菱形道岔 ,也使第二浇注跨浇注能力明显提高。

浇注一炉钢占用铸锭平台的长度为一个标准铸锭平台 ,简称标准铸台。铸锭跨内需要设置的标准铸锭平台数目 n 可按下列式计算 :

$$n = \frac{1.3 \times A \times K}{24 \times 60 \times M}$$

式中 A ——车间每昼夜产钢炉数；

K ——浇注一炉钢铸车在铸锭平台前停放的总时间。包括浇注前的待浇时间、浇注时间和浇完后镇静到允许将铸车拉走的时间， min ；

1.3——生产不均衡系数；

M ——标准铸台利用系数，一般取 0.8。得出的标准铸台 n 如为小数则应进成整数。

通常每个标准铸台的长度等于浇注一炉钢的铸锭列车总长度，一般浇一炉钢占用一列铸车。一列铸车的铸车台数取决于转炉容量、锭型、锭数、钢锭单重、底盘数和铸车的额定载重等。我国设计部门推荐的标准铸车系列有 60、120、160、200t 等几种。国外载重最大的达 400t。一列铸车的总长度为铸车台数与每台铸车长度的乘积。

2. 横向车铸的铸锭跨布置 采用横向车铸的氧气转炉炼钢车间，主厂房内除了加料跨、转炉跨和铸锭跨外，还有脱模跨、整模跨、中注管、底盘、冷模及炉外精炼等跨间，这些跨间与转炉跨成平行布置，但铸锭车的运行线是与转炉跨成垂直布置的（图 2-9-6）。

铸锭线数目决定于转炉容量、生产转炉座数、冶炼周期、钢锭大小、镇静钢、下注比和浇注速度等因数。目前每个生产炉座从配有 3~5 条至 16~24 条铸锭线。

3. 铸锭跨厂房高度、跨度和长度的确定

采用纵向车铸的大中型转炉车间，脱模、整模和精整等跨间独立设在主厂房之外。对于纵向车铸或坑铸的小型转炉车间，脱模、整模和精整等跨间位于主厂房一起，且成平行布置。横向车铸的炼钢车间，上述所有作业都设在主厂房内。

铸锭跨厂房跨（宽）度的确定。铸锭跨的跨度应能满足布置铸锭平台、铸锭线、清渣线以及修砌和摆放钢水罐场地的要求。并与标准铸锭吊车的跨距相匹配。其中，铸锭平台的宽度和铸锭线的位置见图 2-9-19。一般可取 $L_1 = 1750\text{mm}$ ； $L_2 = 3000 \sim 3500\text{mm}$ ； $L_3 = 1300 \sim 1450\text{mm}$ 。铸锭跨一般跨度为 21~27m。

铸锭跨轨面标高的确定 铸锭跨吊车轨面标高主要决定于铸车高度、中注管高度、钢水罐及龙门钩的高度。铸锭跨的轨面标高（图 2-9-19）可按下列式确定：

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8$$

式中 h_1 ——铸车高度， mm ；

h_2 ——底盘厚度， mm ；

h_3 ——中注管高度， mm ；

h_4 ——钢水罐水口下沿距中注管盆砖上沿的距离， mm ；

h_5 ——水口下沿至钢水罐耳轴中心的距离， mm ；

- h_6 ——钢水罐龙门吊钩中心线与吊车钩的距离,75t 以上自带龙门钩的铸锭吊车,此项已包括在 h_8 中;
- h_7 ——安全距离,一般取 800~1000mm
- h_8 ——吊车吊钩的升高极限,mm。

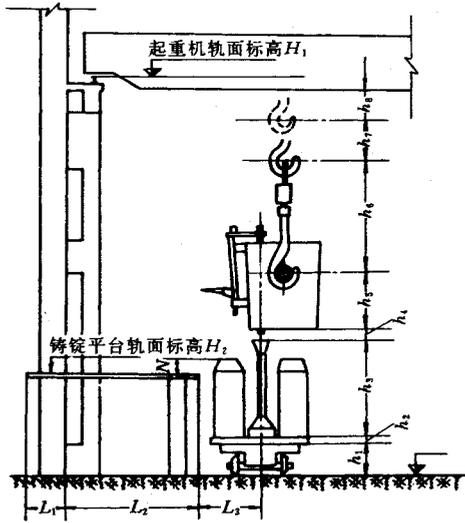


图 2-9-19 铸锭跨轨面标高及铸锭平台尺寸

铸锭跨长度的确定 铸锭跨的长度主要决定于铸锭跨的个数与每个铸锭跨内设置的铸锭平台数和每个铸锭平台的长度,决定于铁路道岔的个数和长度以及修罐区所需的作业面积等。铸锭跨数增加则其跨间长度可以缩短。铸锭平台长度(图 2-9-20)决定于同时停放的铸车列数和每列铸车的长度。为了在调度铸车时不彼此干扰,两列铸车间应留有 3m 左右的间距 L_2 。铸锭平台两端也应留有 3m 左右的富裕长度 L_1 。

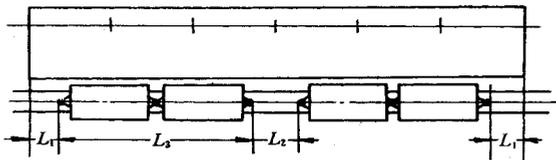


图 2-9-20 铸锭平台长度

4. 连铸跨的布置 连铸机的台数决定于转炉的生产能力。全连铸的转炉车间,连铸机的小时浇注能力应与转炉的平均小时出钢量相同。一般一座转炉宜与一台连铸机配

合生产,以采用多炉连浇作为提高产量为主要手段。如连铸机浇注一炉钢的时间为转炉冶炼周期的一倍,则每座转炉应设置两台连铸机配合生产。当连铸机的生产能力不足时,可将某座(或数座)转炉钢水模铸。此外,为适应连铸钢种、铸坯断面变化、检修和处理事故等,应配备一定数量的备用连铸机。

连铸机一般都采用横向布置。连铸机台数较多时,一般以两台为一组,布置在同一浇注平台上。两台连铸机的中心距取决于车间的厂房条件,连铸机流数,两台连铸机之间必要的操作面积,中间罐小车和中间罐烘烤器的安装位置及必要的安全操作面积和行走距离等。在厂房条件允许的情况下,两台连铸机的中心距可适当加大为24~30m。这便于布置机房操作室、液压站、电气室、电控设备、配水阀门站,可改善操作环境,减少两台连铸机相互操作干扰。

采用横向布置时,连铸跨的宽度主要决定于连铸机的尺寸(图2-9-21)。弧形连铸机从结晶器中心至辊道挡板的总长度 L 为:

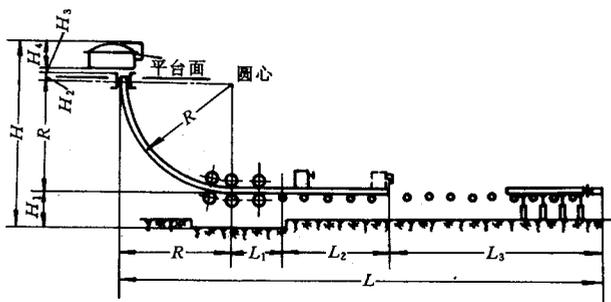


图 2-9-21 弧形连铸机总体尺寸

$$L = R + L_1 + L_2 + L_3$$

式中 R ——铸坯底弧弯曲半径；

L_1 ——弧形中心至拉矫机后第一个辊子的距离；

L_2 ——切割区长度；

L_3 ——出坯部分的长度。

因连铸机总长度较大,一般沿连铸机长度方向只将圆弧半径 R 以前部分放在连铸跨内,其余部分依次布置在切割跨和出坯跨内。

连铸跨厂房的高度和吊车轨面标高主要决定于连铸机的高度。连铸机从拉矫机底座基础面至中间罐顶面的总高度 H 为:

$$H = R + H_1 + H_2 + H_3 + H_4$$

式中 H_1 ——拉矫机底座基础面至铸坯底面的距离,一般取 0.5~1.0m;

H_2 ——弧形中心至结晶器顶面的距离,一般为结晶器高度之半,约 0.35~0.45m;

H_3 ——结晶器顶面至中间罐水口下沿的距离,一般为 0.1~0.2m;

H_4 ——中间罐全高,一般为 1.0~1.5m。吊车轨面标高可根据连铸机总高度,再考虑钢水罐的高度和吊车主钩的升高极限和安全距离来确定。

5. 主厂房内的出渣和清渣 转炉冶炼的渣量较大,一般占产钢量的 10% 以上,主厂房内不允许出现炉渣堆积的现象。

(1) 炉渣的运出方式。

1) 在加料跨用加料吊车更换渣罐,再用机车将渣罐运出主厂房。

2) 采用机车直接将炉下渣罐车拉出主厂房。

3) 靠近加料跨单独平行设一出渣跨,炉下渣罐车开到出渣跨,在出渣跨设置专门的换渣罐吊车。

4) 在加料跨用特制摇臂吊车换渣罐,用载重汽车运出主厂房。

(2) 炉渣处理方法。

1) 固体渣破碎法 转炉渣罐车运往中渣场,冷凝后用吊车将其翻出落于碎渣坑内,用磁盘吸锤头将渣坨砸碎,选出废钢,其余碎渣抛弃或待用。此法适应于各种转炉车间。

2) 热泼法 将液渣倾倒于热泼渣床上,经打水使其碎裂,待渣冷凝后即可抛弃或利用。此法适应于大中型转炉车间。

3) 水淬法 将盛有液体炉渣的渣罐置于水淬台上,打开渣罐底部流渣孔,使渣流落入高速水流水淬成细粒,汇入水池,水淬渣可回收利用(掺合高炉渣作水泥)。此法适用于小型转炉。

(3) 转炉炉下清渣方法。炉下清渣采用钢绳排刷扫渣设备,排刷固定在钢罐车前沿,钢罐车向前行走时,将溅落在地面上的渣推向前端的集渣坑内,然后运走。当钢罐车后退时,用电机带动排刷升高地面,不致将炉渣带回。

6. 转炉主厂房建筑及安全设施要求 转炉炼钢车间为高温多尘作业和重级吊车负荷的高大厂房建筑,厂房结构应适应这一特点,结实牢固,具有良好的通风散热与采光条件。转炉跨宜采用钢结构,容量大于 50t 的转炉车间,其他跨间也可考虑采用钢结构厂房。主厂房屋面应考虑风、雨、雪、灰等动静负荷,并有较好的清灰条件。各跨吊车两侧与两端山墙处应设贯通的安全走道,并在合适高度的厂房柱间设连通主要跨间和主要操作平台的参观走道。各热源发生点上空应设置气楼,屋架上应配置适当数量的吊车,用

于检修起重设备。各跨间的门洞尺寸除满足各种物料的运输车辆的要求外,还应考虑车间内大型工艺装备大部件的进出条件。

车间内凡邻近铁水、钢水、炉渣及有热辐射源的平台梁柱、吊车梁、厂房柱及其他建构筑物均应采取隔热保护措施。

车间地坪除出坯跨(出锭跨)可采用碎石铺盖的形式外,其余各跨均采用混凝土地坪,以改善车间卫生环境条件。

车间外部运输,除铁水与钢坯(锭)宜采用火车外,其它物料尽可能采用无轨机车运输方式。车间跨间之间的内部运输,宜采用过跨渡车、无轨机车或辊道运输方式。