

大型炼钢厂废钢切割移动罩除尘工艺和设备设计研究

北京首钢国际工程技术有限公司 北京 100043

时寿增

摘 要

大型迁钢炼钢厂废钢切割移动罩除尘工艺和设备是本公司跟踪国内外先进的炼钢工艺和设备的发展动向,通过调研并总结多年以来的生产经验与北京首钢机电有限公司机械厂合作,共同完成研发和集成创新的项目;设计团队通过使用 Inventor 三维软件绘图工具来校核完善设计图纸,使得大型废钢切割移动罩除尘工艺和设备设计更具有实用性和精准性,项目投产后,切割移动罩的除尘效果实现了预期目标,达到了国内领先水平,为今后的废钢切割除尘环保工程设计开辟了新的途径。

关键词

废钢切割移动罩, 捕集罩、移动罩行走机构、电动提升密封门。

前言

1 迁钢废钢切割移动罩设备概况

迁钢废钢切割移动罩设备和结构简图, 见图 1

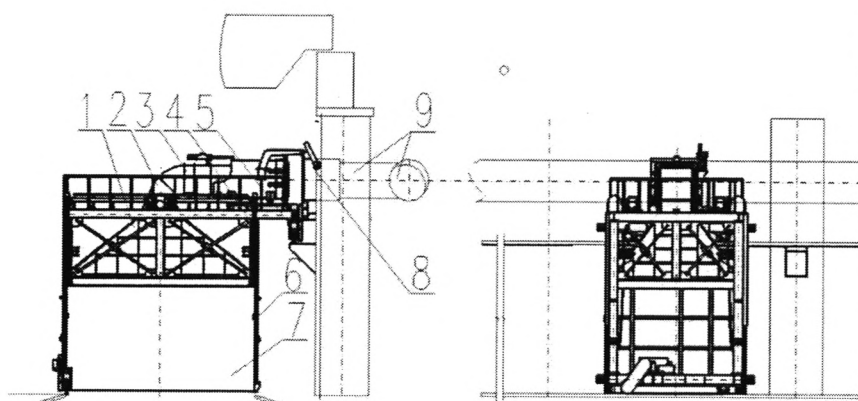


图 1 迁钢废钢切割移动罩设备和结构简图

- 1-捕集罩; 2-异形方弯头; 3-拉伸移动管道和滑动套管; 4-支撑框架;
5-切割移动罩行走机构; 6-移动罩固定密封板 (1) 和移动罩固定密封板(2);

策划和编辑：北京金属学会办公室

7-电动提升密封门；8-电气控制部分；9-主除尘管道

1.1 捕集罩

捕集罩安装在废钢切割移动罩支撑框架中心向上的位置，有利于将切割大块残废钢渣坨时产生的大量烟尘全部收集在捕集罩中；为了充分利用有效的空间，尽可能扩大捕集罩设计采用了多方案比较，最终确定使用矮方锥型结构捕集罩。这种结构可以缓冲含尘气流，减小局部正压；在结构型式上采用型钢和薄钢板拼焊组成，使加工制作工艺十分方便，又便于维护和修理。

1.2 异形方弯头

异形方弯头是通过三维图设计进行空间摆放，根据厂房和运行吊车及废钢切割移动罩可使用的吸风空间，选择最佳的吸风截面优化设计而成，异形方弯头回转曲线半径不小于最小截面高度；结构由薄钢板拼焊组成，四周设有加强筋，坚固耐用；它是连接捕集罩和拉伸移动管道装置的重要部件。

1.3 拉伸移动管道装置简图，见图 2

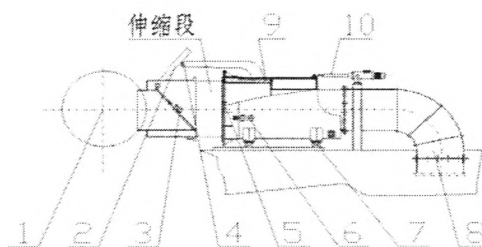


图 2 拉伸移动管道装置简图

1-主除尘管道；2-主除尘管道阀门开关柄；3-主除尘管道阀门；4-滑动套管小车和辊轮推杆；5-隔离迷宫密封法兰组件；6-阻尼器；7-滑动套管小车车轮；8-异形方弯头与切割移动罩整体；9-波纹型式拉伸移动管道；10-电液推杆；

拉伸移动管道装置工作原理简介：通过操作人员控制电气器柜的按钮使在电液推杆前后运动带动滑动套管使内部移动的管道小车，在支撑框架平台上的轨道行走，通过滑动套管前端上部一侧装有辊轮的推杆向前运动打开和主除尘管道阀门的开关柄，使移动的管道与主除尘管道相通，在主除尘管道吸风口的负压作用下，使废钢切割移动罩内切割时产生的大量烟尘顺利的排进主除尘管道，再辊轮的推杆向后运动时，通过阀门板自重缓慢关闭主除尘管道阀门，为固废切割生产工序除尘系统创造必要的前题条件。

结构特点：

策划和编辑：北京金属学会办公室

- 1) 移动管道采用波纹型式，如同补偿器一样。允许补偿量在 600mm 的范围内变动，工作环境温度在-28.2℃到 100℃之间，工作负压 5000Pa，每个工位最大风量为 80000m³/h。
- 2) 移动管道采用耐高温和耐腐蚀的复合材料制作，可由专业厂家来制作。
- 3) 对接接口连接法兰采用隔离迷宫密封法兰组件型式，能有效的将烟尘控制在移动管道内不向外泄露，建议采用锥形联接方式便于移动管道法兰与主除尘管道阀门法兰在伸缩段对中联接的要求，同时又在两侧对接法兰中间设有密封槽，槽内装有环型密封橡胶垫使密封效果更加可靠。
- 4) 结构采用 4 组阻尼器进行缓冲接触控制，始终保持移动管道法兰组件与主除尘管道阀门法兰压紧状态下，使设备接口处无缝隙，确保烟尘不泄露。

1.4 支撑框架

支撑框架采用型钢和钢板拼焊而成，这种结构易于制作，能够减轻设备重量，降低成本；支撑框架应考虑最大长细比和最小截面尺寸的要求，校核支撑框架是否满足重荷载作用下刚度和稳定性的要求。

1.5 切割移动罩行走机构

切割移动罩行走机构采用高低位轨道运行，高位轨道沿厂房立柱内侧牛腿上面布置，低位轨道沿厂房地坪布置，给工作和检修留有充分的空间。在驱动型式上采用变频交流电动机传动，通过制动器、减速机、链轮与链条轮传动带动行走机构车轮使废钢切割移动罩运行；为确保高低位轨设备运行同步，设计考虑高低位轨道运行设备选型应完全一致，电气控制系统和接线也完全一致；严格按照设计图纸技术要求和国家现行的规范逐条检验和验收，从而避免行走机构车轮跑偏和啃轨现象。

1.6 移动罩固定密封板

移动罩固定密封板（1）和（2），分别安装在捕集罩下面位置，在行走方向支撑框架的两侧。靠近厂房内低位轨道一侧为固定密封板（1），固定密封板（1）从捕集罩下端至接近地坪面采用型钢和薄钢板组合与支撑框架全封闭焊接而成；高位轨道沿厂房立柱一侧，在捕集罩下面至支撑框架下端安装固定密封板（2），除中间位置留有操作人员进出口专用门外，固定密封板（2）采用型钢和薄钢板组合并与支撑框架全封闭焊接。（操作人员进出口既是专用门，又是进风口的通道，为保证安全和气流畅通，工作期间不能关门。）在操作人员专用门的两侧，固定密封板的外侧，安装电气操作控制系统的控制箱及操作开关等，便于操作和维护检修。

1.7 电动提升密封门

策划和编辑：北京金属学会办公室

电动提升密封门安装在废钢切割移动罩前后两端，在调换工位或工作运行通过大块残废钢渣坨时，两个提升密封门都是处在升起状态。当切割残留大废钢渣坨时，两个提升密封门下端，下降到接近地坪面，在确保行车安全畅通情况下，只留很小的间隙，对提高下部密封起到良好的作用。两个提升密封门上端内侧与捕集罩下端外侧靠压边和通过支撑框架导槽对密封门进行位置的控制，使密封门只能在导槽内滑动，使两个提升密封门如同两个密封板，根据工作需要，进行升降。提升机构采用交流变频电动机传动，通过制动器、两级蜗轮减速机和联接传动轴上面的双排链轮带动链条传动使其密封门能上升和下降。为确保平稳运行，将驱动装置安装在密封门上部中间的位置上；密封门与双排链条采用螺栓连接进行固定，为防止链条在传动时松懈，在每条链子上都设有可调整的胀紧轮，根据需要进行调整，简单易行可靠。

1.8 电气控制部分

电气控制部分有：全部自动化控制状态，主要处在正常工作时；设备调试状态，主要是用于设备初试调试阶段；全手动控制状态，此种状态作为断电或停电时备用。

1.9 主除尘管道

主除尘管道设有 10 个除尘点，分布在 10 个工位上。根据现场情况，通过废钢切割移动罩拉伸移动管道套管前端上部一侧装有辊轮的推杆，在推杆作用下，打开和关闭主除尘管道折断阀门的开关柄，使移动的管道与主除尘管道相通，在主除尘管道吸风口负压的作用下，排除切割移动罩内切割时产生的大量烟尘。主除尘管道最前端设有平衡阀，进行全方位控制。根据工位的情况和生产的使用情况进行调节整个吸风量的大小。

2. 废钢切割移动罩主要外型尺寸

1) 设备最大外形尺寸：长 9.7m；宽 5.86m；高 8.757m

2) 设备内部切割最大尺寸：D4m×3m

3. 废钢切割移动罩设备主要技术参数

3.1 切割移动罩行走机构，包括天轨行走和地轨行走机构，运行速度为 0.236m/s；主要技术性能：

(1) 电动机 YTSZ132M2-6, 功率 $N=5.5\text{kW}$; 转速 $n=960\text{r/min}$, 工作制 S3; (2) 减速机 CW180-63-11F, $i=63$, $a=180$; (3) 链条型号 32A-1-66; (4) 链轮 $Z_1=17$; (5) 链轮 $Z_2=23$; (6) 制动器 YWZ5-250/30; (7) 缓冲器 JHQ-C-18 (8) $\phi 400$ 车轮组;

3.2 电动提升密封门机构，提升速度为 0.0876m/s，提升门提升高度 3.8m；主要技术性能：(1)

电动机 YZ160L-8, 功率 $N=7.5\text{kW}$, 转速 $n=705\text{r/min}$, 工作制 S3; (2) 减速机: CCWU160, $i=200$, (3) 链条型号: 20A-2-362 (4) 链轮 $Z=47$ (5) 制动器型号: YW/YWB 200-300,

策划和编辑：北京金属学会办公室

3.3 可移动管道机构，推进速度为 0.06m/s；主要技术性能：（1）电业推杆型号：DYZ1750-600，推力为 17.5kN，拉力为 13kN，（2）滑动套管电动机额定功率 2.2 kW，（3）采用 $\phi 160$ 车轮组。

4. 切割移动罩行走机构设计，主要计算简介

已知：设备自重 $G=297980$ N；运行速度 $V_1=0.2 \sim 0.4$ m/s；最大轮压 $P_{\max}=151$ KN；最小轮压 $P_{\min}=147$ KN；车轮直径 $D=400$ mm 轨道：QU70

4.1 切割移动罩在直线轨道上稳定运行的静阻力 F_j 由摩擦阻力 F_m ，坡度阻力 F_p 与风阻力 F_w 组成

按下式表示： $F_j = F_m + F_p + F_w$

式中： F_m —设备运行时的最大摩擦阻力 $F_m = G \frac{2f + \mu d}{D} \beta = G \omega$

式中： G —设备自重载荷 297980 N；

式中： f —滚动摩擦系数，取 $f=0.6$ ；

式中： μ —车轮轴承摩擦系数，为 $\mu=0.02$ ；

式中： d —与轴承相配合处车轮轴的直径(mm)， $d=100$ mm；

式中： D —车轮踏面直径(mm)， $D=400$ mm；

式中： β —附加摩擦阻力系数，取 $\beta=1.5$ 。

$$\text{则 } F_m = G \frac{2f + \mu d}{D} \beta = 297980 \frac{2 \times 0.6 + 0.02 \times 100}{400} \times 1.5 = 3576 N$$

4.2 坡度阻力组成按下式表示： $F_p = Gi$

式中：参照门式起重机设计， i 值取 0.003；

$$\text{式中：} F_p = Gi = 297980 \times 0.003 = 894 N$$

4.3 风阻力 F_w ，在车间室内工作，风阻力忽略不计。

$$\text{所以总阻力 } F_j = F_m + F_p + F_w = 3576 + 894 + 0 = 4470 N$$

$$4.4 \text{ 电机静功率按下式表示：} P_j = \frac{F_j \cdot v_1}{1000 \eta \cdot m} = \frac{4470 \times 0.236}{1000 \times 0.424 \times 1} = 2.488 kW$$

式中： F_j —运行阻力，4470N；

式中： v_1 —行走机构运行速度，0.20~0.40m/s；取 0.236m/s；

式中： η —机构行走机构的总效率；

$$\begin{aligned} \text{式中：} \eta &= \eta_{\text{联}} \times \eta_{\text{减}} \times \eta_{\text{链}} \times \eta_{\text{轴}} \times \eta_{\text{轴}} \\ &= 0.96 \times 0.49 \times 0.96 \times 0.96 \times 0.98 \end{aligned}$$

策划和编辑：北京金属学会办公室

=0.424

式中：m-电动机个数 1；

4.5 电动机初选功率按下式表示： $p_0 = k_d \times p_j = 2 \times 2.488 = 4.976 \text{KW}$

式中： k_d -电动机启动时惯性影响的功率增大系数 $k_d = 1.2 \sim 2.6$,

取 2。

选用电动机《机械设计手册》表 22-1-74, YTSZ132M2-6, 电机功率为 5.5kW, 额定转速 960r/min, 转动惯量 0.0375Kg.m, 电动机质量 97Kg。

已知：切割移动罩运行速度 $V_1 = 0.236 \text{m/s}$, 车轮直径 $D = 400 \text{mm}$ ，求车轮的转速每分钟的转数 r/min。

$$v = \frac{\pi D n_1}{60 \times 1000} \text{m/s}$$

$$n_1 = \frac{V}{\pi D} = \frac{60 \times 1000 \times 0.236}{3.14 \times 400} = 11.268 \text{rpm}$$

确定切割移动罩行走传动比；

$n_{\text{电转}} = i_{\text{减}} \times i_{\text{链}} \times n_1$ 车轮转数

求得： $i_{\text{减}} = 63$, $i_{\text{链}} = Z_2/Z_1 = 1.353$: ($Z_1 = 17$ 链轮 $Z_2 = 23$)

选用减速器查《机械设计手册》表 16-2-45, 确定减速器型号 CW 180-50-1F, 速比 $i_{\text{减}} 50$, 中心距 180mm。

高速轴带制动轮联轴器的转矩计算

按《机械设计手册》第二卷第 2 章 (6-2-1)

$$T_c = T \times K_v \times K \times K_z \times K \leq T_n$$

$$= 54.71 \times 1 \times 1.75 \times 1 \times 1.4 = 138.38 \text{ N.m} \leq T_n = 630 \text{N.m}$$

式中：T-高速轴上的理论转矩；N.m

$$T = 9550 \times (P / n) = 9550 \times (5.5 / 960) = 54.71 \text{ N.m} ;$$

式中： K_v -动力机系数；动力机为电动机， $K_v = 1$ ；

式中： K -工况系数；《机械设计手册》表 6-2-2，查得 $K = 1.75$ ；

式中： K_z -启动系数；查动频率小于 120， $K_z = 1$ ；

式中： K_t -温度系数；《机械设计手册》表 6-2-3，查得 $K_t = 1.4$ ；

式中： T_n -联轴器公称转矩；《机械设计手册》表 6-2-34

选用带制动轮联轴器 ZLL2 联轴器 YB38×82/Y42×112, 公称转矩 $T_n = 630 \text{N.m}$, 许用转速 $n_p = 3800 \text{r}$

策划和编辑：北京金属学会办公室

/min。根据制动轮直径在《机械设计手册》第二卷 4 章制动器(表 6-4-15 选用电力液压块式制

动器 YWZ5-200/30, 推动器型号 YTD300-50。

起动不打滑条件验算：

按起重机设计手册第二篇起重机构(2-2-25)和(2-2-26)分别进行计算如下：

$$\left(\frac{\varphi}{K} + \frac{\mu d}{D}\right) R_{\min} \geq \frac{2000 i_{\text{减}} \eta}{D} \left[M_{\text{dq}} - \frac{500 k (J_1 + J_2) i_{\text{减}}}{D} a \right]$$

$$\left(\frac{0.15}{1.1} + \frac{0.02 \times 100}{400}\right) 147000 \geq \frac{2000 \times 63 \times 0.424}{400} \left[82.07 - \frac{500 \times 1.15 (0.057 + 0.053) 63}{400} 0.236 \right]$$

$$20780 \text{N} \geq 10656.8 \text{N}$$

式中： φ —粘着系数，室内工作的起重机取 0.15；

式中 K —粘着安全系数取 1.1；

式中 $R_{\min}$ —驱动轮最小轮压 147KN；

式中： μ —轴承摩擦系数锥形滚子式 0.02；

式中：d—表示轴承的内径 100mm，D—表示车轮踏面外径 400mm；

式中： $i_{\text{减}}=63$ ；

式中： J_1 —电动机转子转动惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ；

式中： J_2 —电动机轴上带制动轮联轴器的转动惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ；

制动时按下式验算

$$\left(\frac{\varphi}{K} - \frac{\mu d}{D}\right) R_{\min} \geq \frac{2000 i_{\text{减}}}{D \eta} \left[M_{\text{制}} - \frac{500 k (J_1 + J_2) i}{D} a_{\text{制}} \right] \quad \text{N.m}$$

式中： $M_{\text{制}}$ —不打滑条件制动器力矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$)；

式中： $a_{\text{制}}$ —制动的平均减速度 0.143m/s ，

$$\left(\frac{0.15}{1.1} - \frac{0.02 \times 100}{400}\right) 147000 \geq \frac{2000 \times 63}{400 \times 0.64} \left[M_{\text{制}} - \frac{500 \times 1.15 (0.057 + 0.053) 63}{400} 0.143 \right]$$

$$40.66 \text{N.m} \geq M_{\text{制}} = 54.71 \text{N.m}$$

制动器使用时保持制动力矩小于 40.66 N.m，能满足制动不打滑条件。

5. 电动提升密封门计算简介；

已知：电动提升密封门实际最大重量

$$F = F_1 + (F_1 \times k) = 1.6 + (1.6 \times 0.15) = 1.846 \text{T}$$

式中： F_1 —提升密封门重量 1.6T；

式中： K —提升密封门与框架接触面的摩擦系数 0.15；机械设计手册第一卷表 1-1-7；

策划和编辑：北京金属学会办公室

式中：提升速度 $V=0.0876\text{m/s}$ ，提升高度 $H=3.8\text{m}$ ；

5.1 按实际提升计算所需功率

$$P_1 = \frac{Fv}{1000\eta} \times \phi \frac{1.846 \times 1000 \times 9.8 \times 0.0876}{1000 \times 0.575} \times 2 = 5.5 \text{ kW}$$

式中： η — 机构传动效率机械设计手册第一卷表 1-1-3；

$$\eta = \eta_{\text{联}} \times \eta_{\text{联}} \times \eta_{\text{减}} \times \eta_{\text{链}} = 0.96 \times 0.96 \times 0.65 \times 0.96 = 0.575$$

式中： ϕ — 电动机平均起动过载系数按 1.5~2；

对于提升机构和运行机构的电动机大多数都是先按静功率去选择，使电动机的额定功率与计算所得的静功率数值相近，然后进行起动时间验算。特别是提升门的惯性力矩很大，需要起动力矩比静阻力矩大得多，如仍按静阻力去选电动机，起动力矩常会不足，又必须重新再选，故采用变频调速三相异步电动机，YZ160L-8，功率 $N=7.5\text{kW}$ ；转速 $n=705\text{r/min}$ ，工作制 S3；它的特点是调速范围大，具有灵活性平稳和准确的调速功能的优点。

5.2 按实际提升计算所需扭矩：

$$T = 9550N/n \times i \times \eta$$

$$T = 9550 \times 5.5 / 705 \times 200 \times 10^3 \times 0.575 = 8567907 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

式中：N 电动机功率 5.5kW；i 电动机转数与链轮转数总速比 $i = 705/3.525 = 200$ ；

5.3 按名义电动机功率计算扭转：

$$T_d = 9550N/n \times i \times \eta$$

$$T_d = 9550 \times 7.5 / 705 \times 200 \times 10^3 \times 0.575 = 11683510 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

式中：N 电动机功率 7.5kW；

结论：满足设计要求条件。

废钢切割移动罩在炼钢厂预安装试车前部分照片 1 和照片 2



照片 1

照片 2

策划和编辑：北京金属学会办公室

6 结语

大型首钢迁钢炼钢厂精炼渣处理废钢切割移动罩除尘工艺和设备由公司动力室负责总承包，于2013年6月8日投产。经过半年的护航，设备运转正常，各项环保排放指标在 7.3 mg/Nm^3 范围，远远优于国家规定 20 mg/Nm^3 ，已正式交付业主使用。

随着国民经济的增长，国内炼钢工业得到快速发展，逐步形成许多大型炼钢厂。通过配套使用大型废钢切割移动罩设施，将废钢钢渣坨切成较小块状物，便于回收利用，有利于循环经济的发展和对环境保护要求的实现。这项技术对钢厂的经济效益和社会效益将产生巨大的影响。

我们还将不懈的努力，对废钢切割移动罩进一步的完善改进和创新，为我国环保事业做出更大的贡献。

参考文献

- (1) 起重机设计手册/张质等主编 北京:中国铁道出版社 1997 年
- (2) 机械设计手册第2卷主编单位北京有色冶金设计研究总院
主编成大先 副主编王德夫等 化学工业出版社 2001 年 11 月