

电弧炉自动加料车的设计与试验

□ 胡博 □ 郑飞 □ 于威威 □ 韩致信

兰州理工大学 机电工程学院 兰州 730050

摘要:设计了一套电弧炉冶炼加料设备,介绍了整机的基本结构、工作原理和性能参数,并试制了样机。对整机进行了高温加料性能试验,结果表明,整机满足设计要求,具有工作效率高和操作方便的优点。

关键词:电弧炉 自动加料 防倾覆 PLC

中图分类号:TH122

文献标识码:B

文章编号:1000-4998(2015)07-0037-04

铁合金是炼钢行业中不可缺少的原料,主要包括硅锰、锰铁和硅铁,其中硅铁是将焦炭、钢屑、石英三种原料加入电弧炉冶炼制成的硅铁合金^[1]。在冶炼过程中,原料投入炉膛的方法有两种,其一是工人将混合好的原料用铁锹抛入炉膛内电极周围;其二是原料通过输送管道送到电极周围。这两种加料方式存在效率较低和作业人员劳动强度大的问题^[2]。此外,由于这两种加料方式都不能使原料进行充分的混合,还存在兰炭浪费的情况。针对上述问题,笔者研发了一种可行走加料车,整机操作方便,单台设备三人操作就能够满足整个电弧炉的加料,降低了操作人员的劳动强度,提高了原料的利用率,更适用于铁合金行业电弧炉的冶炼,实现了6.3 kVA 电弧炉自动加料。笔者将从整机结构布局及工作原理、加料车参数确定、关键部件设计、控制电路设计、试验论证几个方面阐述。

收稿日期:2014年12月

(1) ANSYS Workbench 可以联合多种编程语言进行二次开发,设计人员可以通过选择任意较为熟悉的编程语言进行开发,明显降低编程开发的难度和提高仿真工程师的工作效率。

(2) 回流焊炉各个温区的温度设置直接影响焊接质量,合理设置炉温和传送带速可以提高焊接质量,进而降低裂纹出现的几率。

(3) 通过模拟炉温测试仪 KIC2000 温度曲线的评定,可以直观地发现预热时间、保温时间、回流时间等是否符合工艺要求,进而对炉区的温度和传送带速进行优化设计,满足产品的工艺要求。

参考文献

- [1] Radaj D. Heat Effects of Welding:Temperature Field, Residual Stresses, Distortion[M]. New York:SpringerVerlag Berlin Heidelberg,1992.
- [2] 胡绳荪,蒋秀晔,申俊琦,等.基于 ANSYS 二次开发的焊

1 电弧炉加料车的结构布局及工作原理

1.1 结构布局

电弧炉加料车结构示意图如图1所示,整机的质量中心处于设备两轮胎触地中心位置,皮带输送机(简称皮带机)伸缩机构安装在支撑桁架两内侧,控制皮带机在加料过程中的伸缩,实现了加料车处在电弧炉不同位置时加料落点与电极距离的调整,提高了加料的准确性。塔式回转机构安装在上转台,其下端的齿轮机构使安装在下转台上的皮带机能相对于底盘旋转,且以回转机构中心为原点旋转加料;冷却系统安装在支撑桁架前部,保护关键设备免受高温炙烤。

1.2 工作原理

加料作业前,根据加料车承载的加料厚度,调整振动给料机上的偏心块位置。加料车工作时,行走驱动电动机驱动行走装置,使加料车行走。塔式回转机构的电

接温度场前处理系统[J].天津大学学报,2013,46(22):1039-1044.

- [3] G Z Wang,Z N Cheng,K Becker,et al. Applying Anand Model to Represent the Viscoplastic Deformation Behavior of Solder Alloys [J]. Journal of Electronic Packaging, 2001,123:247-253.

- [4] 黄丙元.SMT 再流焊温度场的建模与仿真[D].天津:天津大学,2005.

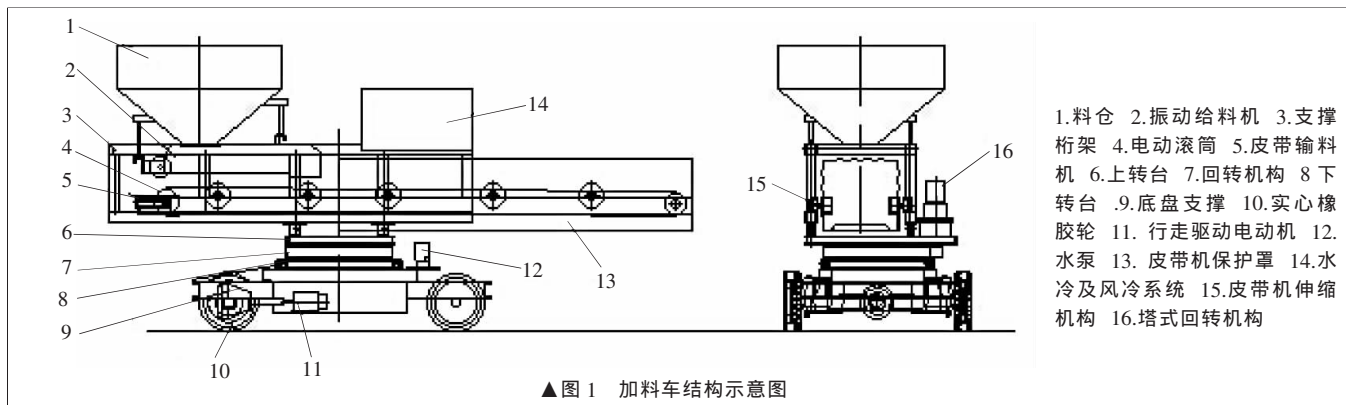
- [5] IPC -7530,Guidelines for Temperature Profile for Mass Soldering Prozesse(Reflow&Wave)[S].

- [6] IPC/JEDEC J -STD -020C,Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solidstate Surface Mount Devices[S].

- [7] 王惠平.SMT 再流焊温度曲线对焊接质量的影响[J].青海大学学报,2009,27(2):13-15.

(编辑 禾 禾)





▲图1 加料车结构示意图

动机通过齿轮带动安装在上转台上的回转支撑外圈转动,回转支撑外圈与安装在下转台上的回转支撑内圈作相对转动,实现皮带机旋转加料。伸缩机构电动机将动力传递给伸缩装置,实现皮带机作相对于桁架的移动。水冷和风冷系统负责设备的冷却。

2 加料车参数确定

电弧炉烟罩结构如图2所示,1、2、3、4号位置距圆心的距离分别是3400mm、2925mm、2450mm、1975mm。加料时,当皮带机输料口末端处在1号位置时,以加料车回转机构几何中心O点为圆心旋转加料,皮带机在大炉门内旋转的角度为 $\pm 13^\circ$;皮带机输料口末端处在2号位置时,旋转角度为 $\pm 15^\circ$;皮带机输料口末端处在3号位置时,旋转角度为 $\pm 17^\circ$;在4号位置时启动皮带机伸缩机构,实现极心圆加料。以此为例,分别完成在其它两个大炉门位置的加料。加料车的技术参数根据电弧炉直径确定,表1为1.8kVA电弧炉加料车技术参数。

表1 加料车技术参数

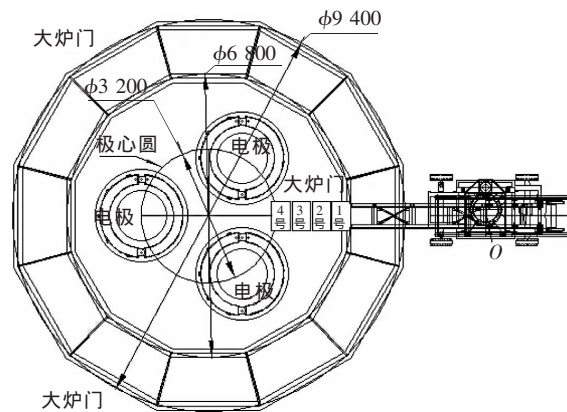
参数	数值	参数	数值
整机尺寸 (长×宽×高)/mm	5400×1800×2400	皮带机伸入炉膛 长度/mm	3200
总功率/kW	28.5	皮带机带宽/mm	350
总质量/kg	3768	皮带机伸缩/mm	1200
料仓容量/m ³	1.2	前后轴距/mm	2200
行走速度/(km·h ⁻¹)	5~10	每仓加料时间/s	120~160

3 关键部件的设计

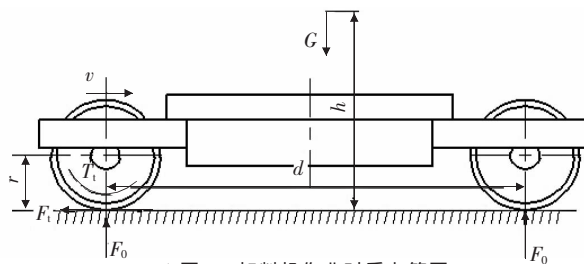
由于加料车在加料过程中料仓内的原料和冷却水呈动态变化,以及皮带机伸缩机构在桁架上的移动,都会造成加料机质量中心的变化,易造成设备倾覆。合理的轴距设计能使整机在不同工况下均能安全作业,不致因整机质心偏移而造成倾覆。

3.1 驱动功率计算

图3为加料车作业时的受力简图,对其进行受力



▲图2 1.8 kVA 电弧炉烟罩结构图



▲图3 加料机作业时受力简图

分析。图中 T_1 为驱动轮上的转矩, G 为整机的重力, F_0 为地面对驱动轮的作用力, F_1 为地面对驱动轮的摩擦力。

驱动功率计算:

$$P_e = \frac{1}{\eta_T} \left(\frac{Gf}{3600\eta_T} v_{\max} + \frac{C_D A}{76140} v_{\max}^3 \right) \quad (1)$$

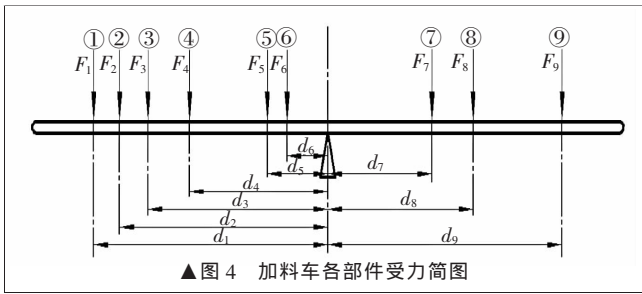
式中: G 为整机重力,装满原料时整机重力为33560N; η_T 为传动效率,取0.92; f 为滚动阻力因数,取0.018; C_D 为空气阻力因数,该机组的速度较低,取0.35; A 为迎风面积,根据测量得2.26m²; v_{\max} 为整机行走最高速度,取10km/h。

将相关的数据代入式(1),得:

$$P_e \geq 5.24 \text{ kW}$$

根据实际工作效率,将驱动功率增大5%后取整,得到实际所需电动机功率为5.5kW。





▲图4 加料车各部件受力简图

3.2 整机的稳定性计算

在加料过程中,料仓内原料的变化使加料车的质心位置动态变化,致使整机加料过程中可能出现设备倾覆,需要进行动态平衡计算^[3],图4所示为加料车各部件受力简图,由于所有作用力为质量力,表中工况用“质量矩”替代力矩较为简单,表2为设备自重及对底盘中心的水平距离。

表2 各部件的质量及对底盘中心的水平距离

序号	项目	质量 M/kg	重力 G/N	距离 d/mm
1	水泵	45.0	450	1 610
2	风机	28.6	286	1 458
3	料仓	514.5	5 145	1 266
4	振动给料机	84.7	847	842
5	支撑桁架	457.2	4 572	438
6	驱动电动机	186.6	1 866	386
7	水箱	218.0	2 180	700
8	皮带机	968.5	9 685	1 006
9	皮带机罩壳	389.2	3 892	1 600

3.2.1 对支撑点右侧求质量矩和重力

$$\sum_{i=1}^3 M_{i1} = G_1 d_1 + G_2 d_2 + G_3 d_3 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^3 M_{i2} = M_1 + M_2 + M_3 \quad (3)$$

$$e_1 = \frac{\sum M_{i1}}{\sum M_{i2}} \quad (4)$$

将由式(2)、式(3)计算的结果代入式(4)可得:

右偏心距 $e_1 = 0.85 \text{ m}$

3.2.2 对支撑点左侧求质量矩和重力

$$\sum_{i=4}^9 M_{i3} = G_4 d_4 + G_5 d_5 + \dots + G_9 d_9 \quad (5)$$

$$\sum_{i=4}^9 M_{i4} = M_4 + M_5 + \dots + M_9 \quad (6)$$

$$e_2 = \frac{\sum M_{i3}}{\sum M_{i4}} \quad (7)$$

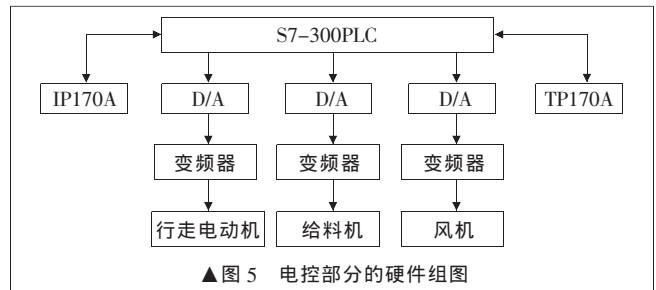
将由式(5)、式(6)计算的结果代入式(7)可得:

左偏心距 $e_2 = 0.76 \text{ m}$

根据前后轴距对回转中心最小距离及设备整机工况的可操作性,确定前后轴距为 2 200 mm。

4 控制电路设计

电控部分的硬件组成框图如图5所示,选用西门子 S7-300PLC 作为主控制器。



▲图5 电控部分的硬件组图

4.1 人机交互界面

加料车控制系统采用西门子 TP170A 触摸屏与 S7-300PLC,通过 RS485 接口进行数据传输^[4]。通过人机交互界面,一方面可以对操作参数进行调整,从而改变加料进程,包括驱动电动机行走速度、风机的风量和加料的厚度等;另一方面触摸屏可以实时显示系统的运动参数,如水温、加料时间、风压等。

4.2 驱动部分

驱动部分的行走电动机、振动给料机和风机的电动机由变频器进行控制,可以实时改变加料车行走的速度、振动给料机振动频率和风机风量,而回转电动机和伸缩电动机的驱动,直接由 PLC 控制。

4.3 信号的输入、输出部分

此部分的功能包括开关信号的输入与输出,以及距离传感器、温度传感器和用于遥控操作的 I/O 信号的采集。

5 试验和验证

为了准确测定加料车的操作性能,采用常温和高温炉膛环境两种方式试验。

5.1 室外常温试验

加料时振动给料机通过皮带机将原料输送到炉膛内,在振动给料机偏心块的合理调整下,通过调整振动电动机的电源频率来控制输送量^[5],加料车每分钟的加料量 Q 为:

$$Q = 60hBvp \quad (8)$$

式中: h 为物料厚度, m ; v 为物料的平均输送速度, m/s ; B 为振动给料机宽度, m ; ρ 为原料密度, $1\ 250 \text{ kg/m}^3$ 。

原料输送速度与振动电动机电源频率为一线性关系:

$$v = kf + b \quad (9)$$

式中: f 为振动电动机的电源频率, Hz ; k 为拟合成曲线的斜率; b 为拟合成曲线的截距。

将式(9)代入式(10),取加料机参数: $B = 0.35 \text{ m}$,

表3 不同频率振动下的给料机输送量

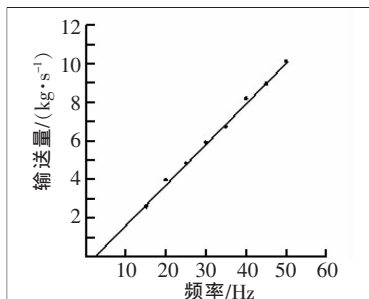
振动机频率/Hz	输送量/(kg·s ⁻¹)			
	1	2	3	平均值
20	4.04	3.88	3.96	3.96
25	4.75	4.96	4.86	4.86
30	6.12	5.96	5.88	5.99
35	6.82	6.71	6.86	6.80
40	8.14	8.07	8.22	8.14
45	9.04	8.97	9.18	9.06
50	10.46	9.95	10.17	10.19

$h=0.1\text{ m}$, 则振动电动机电源频率和输送量的关系:

$$Q=2.1\rho(kf+b) \quad (10)$$

5.2 不同频率下输送量的测定

在振动给料机下端放置托盘用于接收原料, 通过称量托盘中原料的质量, 即可获得振动电动机不同电源频率下的输送量。试验时料仓内原料不少于料仓容积的 2/3, 设定振动给料机的进出口距离为 850 mm, 分别对振动给料机在测定的频率下重复试验 3 次, 每次



▲图6 输送量与振动电动机频率的关系

试验 10 s, 试验后对托盘中的原料进行称重, 测试数据统计见表 3。

经曲线拟合得出输出量与给料机频率的标定拟合直线, 如图 6 所示。将表中的数据计算三次取平均

值, 得到输送量与振动电动机频率的关系式:

$$Q=0.23f-0.67 \quad (11)$$

5.3 电弧炉炉膛高温试验

试验条件: 624~1 263 ℃。

试验原料: 兰炭、矿石、铁粉混合原料(颗粒尺寸 10~156 mm, 堆密度为 1 250 kg/m³)。

试验地点: 宁夏嘉祺隆冶金化工集团有限公司,



▲图7 加料车在高温炉膛内试验

表4 不同频率加料时间

振动给料机电动机频率/Hz	20	25	30	35	40
加料时间/s	355.74	281.17	262.26	212.52	163.28

表5 预期输送量与实际加料量

预期输送量/(kg·s ⁻¹)	实际加料量/(kg·s ⁻¹)	误差/kg	加料精度/%
3.97	4.22	0.25	94.08
5.08	5.33	0.25	95.31
6.23	5.72	0.51	91.81
7.38	7.06	0.32	95.66
8.53	9.19	0.66	92.81

1.8 kVA 电弧炉。

5.3.1 加料稳定性

试验时, 料仓内装满原料, 水箱内注入一半常温水, 设定振动给料机的电动机初始频率为 30 Hz, 风机电动机频率为 50 Hz, 皮带机电动机初始频率为 45 Hz, 皮带机启动后调节电位器, 调整皮带的输送速度, 且伸缩机构和回转机构恢复原位。加料车炉膛试验现场如图 7 所示。

5.3.2 加料的可靠性

根据加料的工艺要求, 对于 1.8 kVA 的电弧炉每班需要加原料 60 t, 炉膛内加料根据实际炉台的大小, 设定加料车的行走速度为 6.5 km/h, 改变振动给料机的电动机频率, 测定加完料仓内原料所需时间, 重复试验 5 次, 测量数据见表 4。

通过 5 次加料试验, 实际加料时确定振动给料机的电动机频率为 30~40 Hz, 可以满足设计要求, 见表 5。

5.3.3 加料范围合理性

炉膛内加料面积根据图 2 烟罩图可知, 对于 1.8 kVA 电弧炉在实际加料过程中正炉门口左右两侧位置为盲区, 实际测量盲区约 1.2 m², 若改大炉门口的尺寸, 可以减小盲区面积, 但其成本较高及盲区范围温度较低, 不适合冶炼, 故暂不考虑。

参考文献

- [1] 李磊. 我国铁合金行业发展现状及未来需求展望[J]. 冶金管理, 2013(5): 15-24.
- [2] 李士琦, 郁健, 李京社. 电弧炉炼钢技术进展[J]. 中国冶金, 2010(4): 1-7.
- [3] 余志生, 赵六奇, 夏群生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 袁臣虎, 王臻, 李秀艳, 等. 基于 MODBUS 协议的触摸屏与 TMS320F2812 串行通信研究[J]. 天津工业大学学报, 2010(2): 63-67.
- [5] 郎平振, 王宗葳. 振动给料机参数选择与计算[J]. 矿业快报, 2006(6): 401-403.

(编辑 丁 罡)

