

小型电弧炉加料方案研究

乔颖

中核环保工程设计研究有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i6.21037

[摘要] 为了提升小型电弧炉的加料自动化水平,提高生产效率,缩短电弧炉操作人员高温环境下的工作时间,通过优化车间布局、引入行车PLC控制程序,通过行车位置与炉盖开闭、密闭罩加料口开闭和风幕开闭联锁控制,从而实现小型电弧炉加废钢料的自动化操作;通过高位料仓的设计,实现造渣剂和合金料加料自动化操作。

[关键词] 电弧炉; 废钢加料; 合金加料; PLC; 联锁

中图分类号: TF748.41 **文献标识码:** A

Research on Feeding Solutions for Small Electric Arc Furnaces

Ying Qiao

China National Nuclear Environmental Protection Engineering Design and Research Co., Ltd.

[Abstract] To enhance the automation level of material feeding in small electric arc furnaces, improve production efficiency, and reduce operators' working time under high-temperature conditions, this study optimizes workshop layout and introduces an overhead crane PLC control program. By interlocking the crane position with furnace cover opening/closing, enclosed hood feed port opening/closing, and air curtain operation, automated feeding of scrap steel into small electric arc furnaces is achieved. Additionally, the design of a high-level material silo enables automated feeding of slag-forming agents and alloy materials.

[Key words] Electric arc furnace; scrap steel feeding; alloy feeding; PLC; interlock system

1 前言

钢铁绿色生产的工艺包括电弧炉炼钢和氢能炼钢,电弧炉炼钢是推动电能替代的主要途径^[1]。电弧炉作为绿色、清洁和节能的炼钢方式以废钢为主要原料,利用电极和炉料间放电产生的电弧所发出的热量进行金属熔炼。电弧炉熔炼过程中通过氧化、还原和合金化过程来改变钢液的成分,提高钢的品质。随着“双碳”布局的逐渐深入,社会废钢资源供应的总量增长,废钢循环和利用的完善,以及高附加值优质钢产品的需求增加,电弧炉炼钢占钢铁产量的比例将逐年提升。

目前国内外电弧炉类型主要有三种:传统式顶装料电弧炉、水平加料式电弧炉和竖炉式电弧炉^[2]。传统顶装料电弧炉采用料篮从电弧炉炉顶加入废钢的加料方式。水平加料式电弧炉和竖炉式电炉是为了缩短冶炼周期,有效利用熔炼烟气显热而开发的废钢预热技术。这两种电弧炉开发的目的虽然是利用高温烟气加热废钢,但是在操作中实现了在电弧炉侧自动加废钢料。尤其是水平加料式电弧炉,可以在不开炉盖、不停电情况下在电弧炉侧将废钢加入炉内。

但是小型电弧炉废钢普遍采用顶装料方式,操作中行车吊料篮到电弧炉上空,打开炉盖,将废钢料加入电弧炉内。加料过

程中需要人工辅助。

电弧炉熔炼过程中去除杂质和调节成分需要往炉内加入造渣剂和合金料。造渣剂和合金加料通常有两种形式,一是操作人员将原料称重后,通过料篮或人工分批投入炉内,二是通过皮带将造渣剂和合金料送入高位料仓,通过高位料仓控制将造渣剂和合金送入炉膛。第一种方式人员操作误差大、效率低,工作强度大。

2 大型电弧炉加料方式

意大利Techint公司研制的水平加料式电弧炉又称康斯迪电弧炉。其在炉壳和炉盖上侧面开口连接废钢输送带,废钢通过输送带连续加入炉内。在连续加料的同时,炉子熔炼产生的高温烟气在废钢输送带通道内与废钢相向运动,发生热交换从而对废钢进行连续预热^[3]。

德国Fuchs公司研制的竖炉式电炉又称手指式竖炉。其在炉盖和炉壳上部配置竖窑烟道,与熔化池相连,竖炉下部与熔化池中间设一水冷活动托架(又称手指)。废钢分批次加入竖窑在托架上通过熔炼烟气预热后,加入炉中。电弧炉侧可在不打开电弧炉盖的情况下通过烟道将废钢料从炉顶加入。手指托架附近废钢温度高,在使用过程中容易损坏水冷装置,出现轻薄型废钢在

高温烟气的加热过程中熔化，熔融的废钢将托架粘连，无法打开的情况^[4]。其故障率较水平加料式电弧炉高。

大型熔炼车间对废钢、造渣剂和合金料的消耗较大，通常配套原材料厂房。在原材料厂房，厂房行车配置电磁吊具，通过吸附作用将废钢装入废钢输送带或上料小车。废钢输送带输送废钢料至水平加料式电弧炉。因竖炉式电弧炉在电弧炉侧的加料点较高，一般采用轨道小车将废钢料装入电弧炉竖窑烟道。造渣剂和合金料来料在原料车间通过叉车或抓斗将物料卸入受料斗，再通过皮带机送入电弧炉车间的高位料仓料斗。加造渣剂或合金料时，高位料仓下的给料机将料送入称量料斗称重后投入电弧炉。

竖炉和康斯迪电弧炉均实现了在电弧炉侧不打开炉盖、通过控制程序加料，提高了生产效率，康斯迪水平加料方式应用比较成熟，一般用于50t以上电弧炉。

电炉安装废钢预热装置，随着废钢中氯化物含量和废钢预热温度的增加，烟气中含有的二噁英相应增加^[5]，预热后的废气需经燃烧室进入预热回收系统，导致烟气系统结构复杂，增加建设投资。

3 小型电弧炉加废钢料方式分析

3.1 废钢加料方式分析

小型电弧炉通常采用传统顶装废钢料，通过料篮将废钢料加入电弧炉中的方式。底开料篮的选用，可以减少操作人员加料时在炉前的操作，但是底开料篮需要车间行车大钩和小钩的配合，通常在行车吊运前挂钩环节需要人工操作。水平加料方式和竖炉方式，均无人工参与电弧炉侧废钢料进炉环节。本文以某项目5t电弧炉生产高锰钢ZG120Mn13Cr和ZG120Mn18Cr2为例分析自动加料方式。

3.2 水平加料方式

水平连续加料式电炉的特点是连续预热、连续加料和连续熔炼，如表一可知，50t电弧炉的熔池内径约4200mm，高温钢液可以迅速熔化加入的废钢。5t电弧炉的熔池内径约2400mm，开口进料位置至电极距离约600mm。废钢料的长度约300~500mm，且炉内高温钢液较少，废钢进入熔池后，很难立即熔化，连续加废钢料，废钢在炉子进料口附近形成堆积，进而新进废钢料极易与电极发生碰撞。电极损坏将导致电弧炉熔炼中断。

表一 5t、50t电弧炉常用炉壳、电极及耐材规格

序号	额定容量(t)	炉壳内径(mm)	炉墙厚度(mm)	熔池内径(mm)	电极规格(mm)	电极分布圆直径(mm)	加废钢料可利用距离(mm)
1	5	φ3200	400	φ2400	300	800	~600
2	50	φ5200	500	φ 4200	450~500	1200~1400	~1100

水平加料方式伴随废钢预热，高温烟气连续从与废钢传送带连接的烟道抽走，大量高温烟气排出，电弧炉的散热量增加，对于小型电弧炉，其热损失比较大，能耗增加较多。

因此水平连续加料方式不适用于5t电弧炉。

3.3 手指式竖炉加料方式

手指式竖炉在炉盖和炉壳上部开口连接烟道，根据5t电弧炉炉体尺寸分析，电极与炉体内壁净距约600mm，竖窑口需要与电极保持至少300mm净距才能保证废钢料从上部滑落进入熔池时不与电极碰撞。因此烟道口尺寸只能控制在300mm以内。块状废钢通过竖窑加料时堵塞发生的概率非常大。如果轻薄型废钢在烟气加热过程中熔化而粘连废钢，废钢通过狭小的竖窑进入炉内的可能性进一步降低。因此竖炉方式不适用于5t电弧炉。

3.4 加料小车加料方式

振动加料车广泛用于中频电炉加料。加料时，炉盖打开，加料小车前端伸入中频炉炉体上方，废钢在振动下加入炉内。这种加料方式与电弧炉水平加料方式类似，区别在于前者为开盖操作，后者为不开盖、不停电、连续加料、加料过程不影响熔炼。加料小车加料时，停止供电，炉盖打开，烟气在加料过程中一直外溢，减少加料时间，控制热损失值是关键。根据加料小车加料速度和废钢料尺寸估算，完成全部废钢料的加料用时约5至6分钟，占整个熔炼过程的4%，热损失较大。

加料小车在炉盖打开时加料，炉内烟气外溢，5t炉加料小车长约为5m，无论增加电弧炉密闭罩尺寸将加料小车包裹进密闭罩还是采用打开密闭罩加料方式，都将影响电弧炉烟气捕集效果，加大除尘系统所需烟量。除尘系统烟量的增加会导致除尘设备的成本、占地面积和运行维护成本的增加。

从加料过程的热损失和烟气量的增加角度，加料小车加料方式不适用于电弧炉加废钢料。

4 小型电弧炉废钢自动化加料

通过分析小型电弧炉由于炉体尺寸制约，以及加料时间的限制，无论是大型电弧炉应用的水平加料方式、竖炉上料方式还是中频炉采用的加料小车都无法通过改造用于小型电弧炉。采用传统的料篮顶装废钢料方式，利用车间行车将料篮内的废金属加入电弧炉内，炉盖打开时间较加料小车加料用时减少约50%，更适宜小型电弧炉应用。

小型电弧炉熔炼车间一般设计有废钢料、造渣剂和合金料暂存区，废钢的装篮与加料操作均在电弧炉车间内完成。通过优化不但可以降低操作人员的工作量，还可以减少其在高温环境下的作业时间。具体措施如下：

首先，将废钢装篮工序前移至废钢预处理车间，用配电磁吊具的车间行车将废钢装入料篮；其次，采用电动平板车或AGV小车将已装好废钢的料篮运输至电弧炉车间；再次，在行车控制系统中增设PLC自动控制程序，实现对行车挂钩动作、起升高度及行走距离的精确控制；同时，在电弧炉除尘系统中增加联锁控制功能，使密闭罩的加料开启与行车位置信号联动；最后，进一步将行车位置与电弧炉炉盖的开启动作进行联锁控制。废钢加料具体步骤如下：

第一步：料篮转运。电动平板车或AGV小车由废钢预处理车间将装好废钢的料篮运至电弧炉车间指定坐标位置后，启动熔炼车间行车加料程序。

第二步：料篮抓取及吊运。厂房行车到达废钢预处理车间料篮指定坐标位置停止，行车下降钩住料篮后起吊，自动运行至电弧炉密闭罩加料口处等待。

第三步：上料准备。电弧炉除尘系统PLC控制密闭罩顶部的加料口打开，同时开启加料口周围的风幕，电弧炉PLC控制炉盖旋开。

第四步：上料作业。行车PLC控制料篮从密闭罩顶部的加料口进入，并在装有废钢的料篮下降到指定高度后，通过行车PLC操作行车小钩将料篮底部打开，废钢料进入电弧炉。

第五步：料篮返回作业。完成废钢加料程序后，行车PLC启动行车料篮返回程序，行车离开密闭罩后依次关闭炉盖和密闭罩顶部加料口，停止风幕。空料篮按照行车设定的路线原路返回至预定位置，由电动平板车或AGV小车将空料篮运回废钢预处理车间。

目前，国内尚未有行车通过预定程序自动给电弧炉加料的应用，但是已有通过预定程序控制行车的挂钩动作、起升高度和行走距离的工程应用，所以用行车自动控制电弧炉加废钢料的设计具有可行性。通过程序的设置，小型电弧炉加废钢料可以最大程度实现废钢自动加料。

5 小型电弧炉合金加料分析及自动化

借鉴大型电弧炉高位料仓加料系统，由料仓、振动给料机、称量斗、称重装置、返料装置、溜管等组成高位料仓系统。在料仓下端出口处设一个振动给料器，PLC加料程序根据钢液成分检测结果，分析各种合金料需要的重量，将料仓中相应物料送到称量料斗称量后，通过溜管加入电弧炉中。

皮带机输送造渣剂和合金料到高位料仓系统中皮带占地面积大，不适用于小型电弧炉车间布置。将造渣剂和合金料来料通过叉车送入电弧炉车间，经电弧炉车间行车将装有造渣剂和合金料的吨袋加入高位料仓，料仓口设破袋器，破袋后的料进入高位料仓。

电弧炉熔炼过程中通过造渣、氧化和还原去除了废钢中的杂质，通过往钢水中投入合金料来调节钢水成分。根据产品的材质不同，在熔炼过程中钢水需要调节的材料成分不一样，相应设计料仓数量和容量。

根据奥氏体锰钢铸件标准GB/T 5680-2023，高锰钢铸件产品化学成分如表二所示。

表二 高锰钢铸件产品化学成分

材料牌号	主要化学成分(质量分数),%					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
ZG120Mn13Cr	1.05~1.35	0.3~0.9	11~14	<0.06	<0.04	1.5~2.5
ZG120Mn18Cr2	1.05~1.35	0.3~0.9	16~19	<0.06	<0.04	1.5~2.5

通过高锰钢的化学成分可以看出，其具有高碳、高锰、低硫、低磷的特点。熔炼过程中需要深度脱磷，加入大量的造渣剂石灰，每吨钢水需加石灰50kg，还需要萤石约10Kg。从原料成本和碳含量考虑，可分批次加入高碳锰铁和低碳锰铁。高碳锰铁价格相对较低，且锰与氧、硫的亲合力很强，能有效脱除钢液中的氧和硫，在调钢液成分初期加入。在调钢液成分后期，为了避免碳元素超出限制，加入低碳锰铁。每吨钢水需高碳锰铁140kg，需低碳锰铁40kg，铬铁30kg和硅铁8kg。按照生产50t铸件计算高位料仓容积，根据造渣剂和合金的密度以及容积利用率设计料仓容积如下表所示。

表三 高位料仓容积

名称	石灰	萤石	高碳锰铁	低碳锰铁	铬	硅
容积(m³)	3.5	0.5	3	1	0.5	0.5

6 结论

通过对大型电弧炉废钢加料方式、小型电弧炉加料方式以及中频炉加料方式的分析可知，无论是大型电弧炉的水平加料和竖炉加料还是中频炉加料小车加料方式，都不适宜小型电弧炉。为了提高小型电弧炉加废钢料的自动化，通过增加行车控制程序，行车与电弧炉密闭罩和炉盖的联锁等来实现自动加废钢料。同时，车间布局优化可以减少操作人员在高温环境下的工作时间。通过优化大型电弧炉高位料仓的设计，实现造渣剂和合金料加料自动化操作。

[参考文献]

[1]王新江,李京社,朱荣,等.现代电炉炼钢生产技术手册[M].冶金工业出版社,2023.

[2]朱德庆,潘建,郭正启.钢铁冶炼设备[M].冶金工业出版社,2023.

[3]张文怡.Consteel电弧炉连续炼钢设备[J].工业加热,2005,34(2):50-52.

[4]钱永辉.竖式电炉废钢预热工艺[J].现代冶金,2010,38(6):34-35.

[5]孙晓宇,唐晓迪,李曼,等.电弧炉炼钢过程的二噁英及抑制措施[J].环境与发展,2014,26(05):79-82.

作者简介:

乔颖(1981--),女,汉族,河北唐山人,本科,高级工程师,研究方向:金属熔炼工艺。