提高包钢高炉抗高温耐磨布料溜槽使用寿命*

张建东[1],李晓华[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司工程服务公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 通过分析目前包钢各高炉布料溜槽的使用工况,总结近年来布料溜槽的类型和结构特点,分析布料溜槽的失效形式与原因,从布料溜槽的材质与结构两方面对其进行研究改进,从而增强布料溜槽在高温环境下的耐磨损性能,进一步提高其在线使用寿命,满足高炉生产的工艺要求。

关键词: 高炉; 溜槽; 材质
中图分类号: TF321.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)06-0066-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.06.004

Improvement for Service Life of High Temperature and Wear Resisting Distributing Chute for Blast Furnace of Baotou Steel

Zhang Jian-dong[1], *Li Xiao-hua*[2]

(1. *Iron-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Engineering Service Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the types and structural characteristics of distributing chute in recent years are summarized by analyzing its current operating conditions in Baotou Steel. Moreover, such two aspects as its material and structure are studied and improved by analyzing its failure mode and causes so as to enhance its wear resistance at high temperature environment and further improve its on-line service life, which could meet the process requirements of blast furnace production.

Key words: blast furnace; distributing chute; material quality

布料器是高炉无料钟炉顶装料系统的核心设备,布料溜槽是布料器的关键部件,其功能是按照工艺设定的布料制度将来自布料器的炉料均匀地撒布到高炉内。1972年世界上第一座无料钟炉顶设备诞生,布料溜槽的使用寿命就成为行业内的热点问题。经过50多年的发展与改进,溜槽的使用寿命有所提高。但随着高炉炼铁工艺的进步,冶炼强度不断提高,愈加恶劣的工况环境严重降低了布料溜槽的使用寿命。

1 布料器溜槽及其工况简介

布料溜槽位于高炉炉喉内部,由布料器传动电机与直线油缸带动其沿水平方向360°旋转,同时在垂直方向上下35°范围内倾动。球团矿、烧结矿、熔

* 收稿日期:2021-09-22
作者简介:张建东(1978-),男,内蒙古包头市人,硕士,高级工程师,现从事炼铁设备管理工作。

剂和焦炭等炉料经过布料溜槽均匀地进入高炉内部进行冶炼[1]，溜槽使用工艺见图 1。近年来高炉逐步向大型化发展，冶炼强度不断提高，高炉上料批重明显增加，导致布料溜槽长期受到高速料流的冲击。高炉炉顶温度较高，炉顶中心温度通常为 200～600 ℃，遇到炉况不顺时瞬间可达到 1 000 ℃以上，使得布料溜槽衬板极易磨损且溜槽壳体易发生高温变形。同时在侵蚀性较强的高炉煤气长期冲刷下，布料溜槽寿命明显缩短。更换布料溜槽需要高炉点火休风5 h以上，影响高炉的稳定生产，降低生铁产量，造成经济损失。通过分析布料溜槽的损坏情况，对布料溜槽薄弱部位进行改进，延长布料溜槽的使用寿命是实现高炉稳产和高产的重要保证。

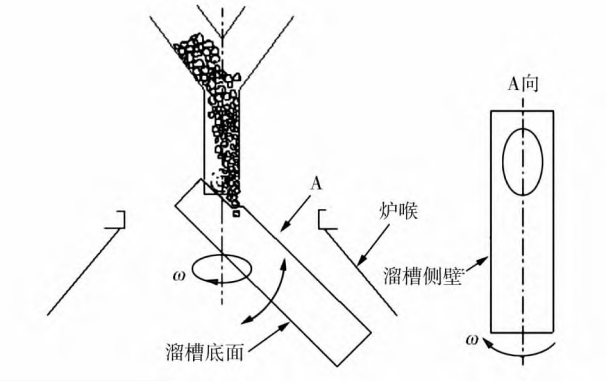
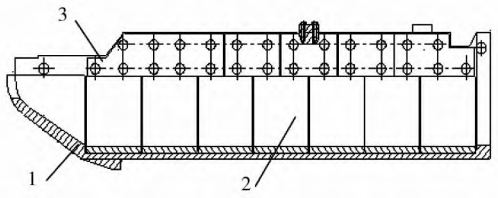


图 1　溜槽使用工艺简图

2　溜槽的结构分类及失效形式

布料溜槽的主要结构由壳体与耐磨衬板组成，见图 2。溜槽寿命取决于溜槽耐磨衬板。按照溜槽衬板的耐磨形式，可将溜槽分为光面衬板溜槽、料磨料衬板溜槽及光面与料磨料复合结构溜槽三种结构。光面衬板溜槽可分为铸造光面衬板、镶嵌合金衬板及光面堆焊合金衬板的溜槽。光面衬板溜槽完全依靠材料本身的耐磨性来抗击炉料的冲击和磨损。料磨料溜槽衬板可分为整体铸造料磨料和合金堆焊料磨料，其原理是在衬板上制作出炉料堆存槽，以形成炉料与炉料的相互磨损，从而达到“料磨料”的耐磨效果，减少炉料对衬板的直接磨损，延长衬板的使用寿命。在炉料经过光面溜槽时炉料的运动形式单一，不会发生“翻滚”现象。料磨料溜槽的抗磨性要优于光面溜槽，在炉料经过溜槽的过程中会发生翻滚现象，影响布料轨迹及工艺操作。目前为了提高溜槽抗磨性又不影响炉料的运动轨迹，开发出了将上述两种结构相结合的耐磨溜槽，在溜槽的落料点处，也是其易磨损部位采用料磨料形式，在溜槽的出口采用光面形式。



1－溜槽壳体；2－衬板；3－压板

图 2　布料溜槽结构图

溜槽的失效形式通常有溜槽衬板的磨损、脱落和溜槽壳体的变形与损坏。根据布料工艺的要求，溜槽底部特别是溜槽底部与下料管正对位置的衬板磨损严重，其承受大量炉料的冲击和磨损。溜槽的侧壁因炉料在溜槽旋转时产生离心力而磨损。在高炉生产过程中，溜槽的磨损状态不易观察，溜槽衬板磨损后本体很快被磨漏，造成高炉炉况失常，影响高炉生产。

包钢炼铁厂自 1989 年采用无料钟炉顶以来，根据生产实践要求，使用过镶合金刀片溜槽、整体铸造衬板溜槽、合金镶嵌与整体铸造耐磨合金衬板组合溜槽等。其中镶合金刀片衬板的溜槽，可基本满足高炉的正常使用，溜槽平均使用寿命为 1 年，溜槽一次使用产铁量为 120～160 万 t。从 2011 年开始，随着高炉容积的增大以及冶炼工艺、操作制度的调整，此形式溜槽的使用寿命出现急剧缩短的情况，溜槽使用寿命降至产铁量小于 80 万 t。2016—2019 年，包钢 6#高炉溜槽的平均使用寿命只有 3 个月，4#高炉溜槽的使用寿命最长为 182 天，最短 47 天，平均 97 天。因此，延长布料溜槽使用寿命必须提高其耐高温、耐磨、耐冲击性能。2016—2019 年炼铁厂 4#、6#高炉溜槽使用情况见表 1。

表1 2016—2019年包钢炼铁厂4#、6#高炉溜槽使用情况统计表

序号	高炉	更换时间	更换原因	使用寿命/天
1	4#高炉	2016-6-16	第二块衬板脱落	48
2	4#高炉	2016-10-4	溜槽磨损	107
3	4#高炉	2017-3-29	溜槽变形	182
4	4#高炉	2017-5-16	第二块衬板有裂纹	47
5	4#高炉	2017-8-24	壳体变形	98
6	4#高炉	2018-4-2	壳体变形	112
7	4#高炉	2018-7-26	壳体变形,衬板断裂	85
8	4#高炉	2018-10-31	壳体变形,衬板断裂	97
9	6#高炉	2016-1-24	衬板磨损	130
10	6#高炉	2016-6-15	衬板翘起	141
11	6#高炉	2016-8-29	变形,落料点处压板开裂	75
12	6#高炉	2016-09-23	磨损	24
13	6#高炉	2016-12-22	磨损	120
14	6#高炉	2017-04-21	下料点磨损	120
15	6#高炉	2017-07-26	落料点处本体变形	125
16	6#高炉	2017-11-03	衬板翘起	93
17	6#高炉	2018-3-12	溜槽本体磨漏	130
18	6#高炉	2018-6-15	衬板磨损严重	95
19	6#高炉	2018-10-29	第二块衬板磨漏	136
20	6#高炉	2019-2-13	工装板翘起	107
21	6#高炉	2019-8-25	磨损	193
22	6#高炉	2019-10-13	下料点磨损	49

3 失效原因分析及改进方案

3.1 失效原因分析

分析布料溜槽使用寿命短的主要原因是:其一,炉顶中心气流温度高与中心气流对溜槽本体的气蚀,造成溜槽壳体变形、局部开裂以及横梁弯曲的现象。其二,料流速度快,物料棱角锋利、硬度高。物料通过中心喉管落到溜槽衬板上,落差导致溜槽衬板受到强力冲击,如果衬板韧性不足,在使用后期就会发生开裂、击碎并逐块脱落,最后造成衬板失效,严重时甚至出现落料点位置磨穿现象。其三,溜槽衬板制造过程质量不稳定。在高温下难以承受大量炉料的冲击和磨损,外壳材料的高温强度性能达不到要求。其四,溜槽结构设计缺陷,无法消除高温热变形产生的应力集中,致使外壳开裂失效。同时无法消除热变形引起的耐磨衬板伸长,导致紧固螺栓剪断以及衬板上翘[2]。

3.2 改进前溜槽存在的问题

改进前布料溜槽存在的不足:首先,铸造本体材质选用35CrMo,这种材质有很高的机械强度、冲击韧性及较高的疲劳极限,高温下有较高的蠕变强度与持久强度,适用于工作温度在500 ℃以下,长期工作温度在500 ℃以上,则容易产生裂纹,发生变形甚至局部脱落。其次,炉料对布料溜槽落料点处衬板冲击、磨损大,进而磨漏溜槽本体,造成溜槽失效。

3.2 溜槽本体材质改进

溜槽本体材质采用316L不锈钢钢板,其材质为06Cr17Ni12Mo2,316L不锈钢添加了Mo元素,其耐腐蚀性、耐高温性能有较大的提高,可耐1 000 ℃高温,316L不锈钢的抗化学腐蚀性能、抗高温蠕变以及抗拉强度较35CrMo有较大的提高。使用316L不锈钢做溜槽本体,可以有效防止高温下溜槽本体变形及断裂。

3.3 溜槽落料点结构及材质改进

如图 3 所示，溜槽落料区域采用料磨料结构，其基本原理是在溜槽内布置一定数量高度的网格板，将一定数量的松散炉料存储在空腔中形成积窝，形成一层天然的保护耐磨层，形成“料磨料”，能够减缓落料的冲击。

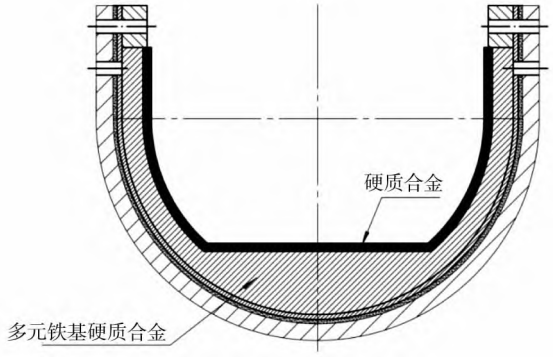


图 3　溜槽落料点截面图

在落料点网格衬板上表面采用浸融焊工艺，将硬质合金块通过耐高温铜钎料焊接到衬板表面，硬质合金高度为 19 mm。硬质合金材质 YG11C 是一种钨钴类硬质合金，既耐磨又耐冲击。在落料点网格衬板侧面堆焊 W、Cr、Mo、V 等多元铁基硬质合金，焊层表面硬度 *HRC* 大于 58，采用小电流分层堆焊，这样既保证合金在焊接过程中不会出现烧损，又保证了焊接强度，在使用过程中不易出现脱落的现象。这种多元铁基硬质合金在 800 ~ 1 000 ℃ 高温下，仍然保持抗高温、高硬度以及耐冲击的特性。

3.4　溜槽结构改进

如图 4、图 5 所示，溜槽出料口端面采用矩形光面结构，这样有利于炉料均匀滑落，防止崩料，从而使布料更为精准。

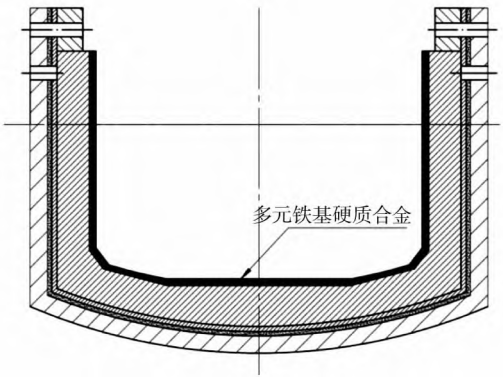
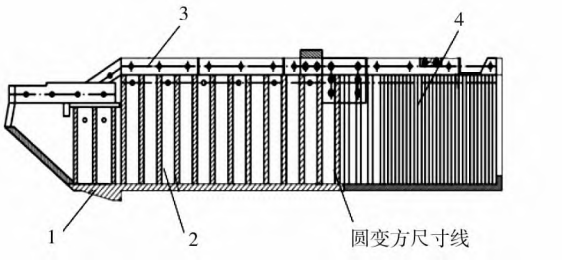


图 4　溜槽出料端截面图



1 – 溜槽本体；2 – 落料点衬板；3 – 压板；4 – 衬板二

图 5　改造后溜槽结构图

炉料滚落段到出料口端面衬板是由多件同类异型衬板垂直、均匀、紧密排列而成，衬板上表面堆焊厚度为 15 mm 的 W、Cr、Mo、V 等多元铁基硬质合金，堆焊后表面硬度 *HRC* 大于 62，炉料在出料口做滑动摩擦运动，衬板承受物料冲击比较小。同时，炉料流经出料口区域时能够平滑均匀地滑过，有利于均匀、精准的布料。采取前方后圆溜槽结构设计，溜槽工作高温区主要集中在高炉的中心部位，落料点及外伸约 1 m左右区间为高温受热区。前方后圆式溜槽在高温受热区仍采用圆弧形，而出口的前端改为方形，料流在矩形出口易形成料柱，有利于布料的精准控制，对生产极为有利。加固横梁提高了系统刚性，溜槽整体减重 900 kg。保留浸融焊工艺，在压板表面镶嵌硬质合金块，硬质合金材质为标准的 YG11C，镶嵌硬质合金块的压板能够有效减缓料流对其磨损。

4　应用效果

改进后的布料溜槽在包钢 4# 高炉从 2019 年 12 月上线使用到 2020 年 12 月下线，在线使用寿命达到 1 年，完成了布料溜槽长寿化攻关目标，见图 6。随后在包钢炼铁厂各座高炉进行了推广应用，在线使用寿命均达到 1 年以上，使用效果良好。



图 6　在线使用 12 个月后下线的布料溜槽

（下转第 95 页）

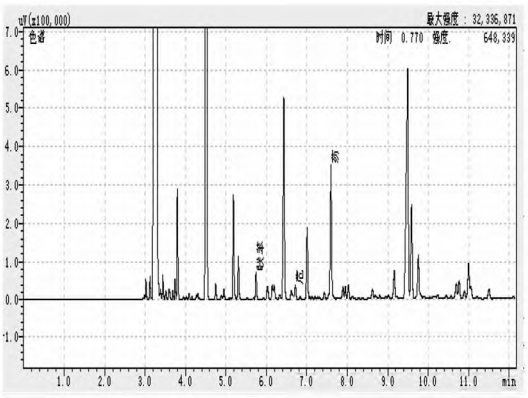


图 1　试样分析色谱图

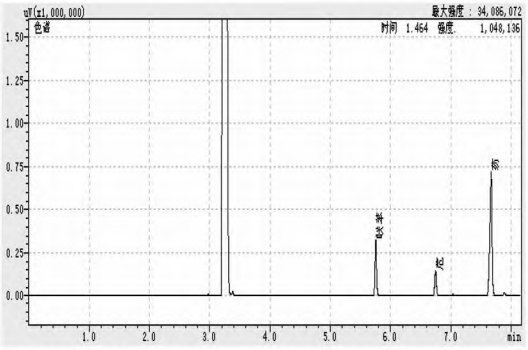


图 2　标样分析色谱图

从表 6 及图 1 和图 2 可以看出，待测焦油组分能够准确检测，色谱图中待测组分完全分离，分离效果非常好，验证了色谱分离条件、焦油试样溶剂选择及溶解步骤设置科学合理。

4　结论

(1) 气相色谱法检测煤焦油中联苯、苊及芴的含量检测速度快、准确度高。

(2) 结合四种有机溶剂本身的性质特点，通过焦油溶解残渣率试验及萘含量检测试验，选用 N，N－二甲基乙酰胺和四氢呋喃作为焦油溶解的溶剂。

(3) 焦油组分非常复杂，色谱柱温度采用程序升温法，保证待测试样较好的分离并缩短检测时间。确定合理的色谱分离条件，保证试样检测组分能够完全分离，分离度大于等于 1.5。

参　考　文　献

[1] 肖瑞华. 煤焦油化工学 [M]. 北京: 冶金工业出版社，2006.

[2] GB/T 1999—2008，焦化产品油类的取样方法 [S].

[3] 赵晨阳. 化工产品手册: 有机化工原料 [M]. 北京: 化学工业出版社，2016.

(上接第 69 页)

5　结束语

布料溜槽的在线运行状况直接关系到高炉的稳定生产，同时布料溜槽的在线使用寿命也是延长高炉定修周期的关键。通过改进布料溜槽的材质与结构，有效提高其在线使用寿命，对炼铁设备技术的进步具有十分重要的意义。

参　考　文　献

[1] 鲁素萍，吴崇兰. 高炉布料溜槽使用分析及研究改进 [J]. 矿山机械，2016，(11)：66－67.

[2] 高万良，张建东，张峰. 炼铁厂 4# 高炉布料器溜槽长寿化实践 [J]. 包钢科技，2020，(5)：76.