

文章编号:1005-7854(2015)S0-0054-07

降低焦化 260 t/h 干熄焦系统生产材料消耗的方法研究

潘昊 王飞 柳钢

(首钢京唐钢铁联合有限责任公司,河北 唐山 063000)

摘要:首钢京唐钢铁联合有限责任公司的 260 t/h 处理量的干熄焦系统是目前世界上最大的单体处理量焦炭干熄焦系统,依赖其高度自动化的运行系统每年需处理 4×70 孔焦炉的红热焦炭,冷却量高达 360 万 t,在这个过程中,红热焦炭因工艺流程对干熄焦系统的各生产部件及部分易耗件造成损耗,而为了减少干熄焦系统的生产性消耗,降低系统性生产成本,分别从干熄焦焦罐、GX1-GX6 运焦皮带、篦条筛三个方面找寻干熄焦成本的控制点,并对具体工艺环节进行深入分析,同时从工艺、检修流程和材料材质选择等方面实施改善方案,取得了较好的经济效益,降低了干熄焦系统生产成本。

关键词:焦化;干熄焦;生产材料

中图分类号:TF526+.2 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1005-7854.2015.z1.013

1 干熄焦系统的组成和生产情况分析说明

首钢京唐公司焦化项目一期工程构成是建设年产焦炭 420 万 t 的 4×70 孔、炭化室高度 7.63 m 的特大型复热式顶装焦炉。相应配套世界上第一座处理能力最大的干熄焦装置,处理能力为 260 t/h;焦炭出炉的红焦显热约占焦炉能耗的 35%~40%,采用干熄焦可回收 80% 的红焦显热,平均每熄 1 t 焦炭可回收 9.8 MPa 的高压蒸汽 0.5~0.6 t。焦化一期工程投产后蒸汽发电可达到近 4 亿度。有利于环保、节能降耗、节约资金,有利于生产组织的顺利进行。

干熄焦生产系统包括干熄炉本体、干熄焦罐车及干熄焦筛运焦系统。焦炭在干熄焦系统中的运输流程:装满红焦的焦罐由焦罐驱动车牵引至焦罐提升井架底部,由焦罐提升机将焦罐提升并送到干熄炉顶,通过炉顶装入装置将焦炭装入干熄炉。在干熄炉中焦炭与惰性气体进行热交换,红焦冷却至 200 °C 以下,经排焦装置卸至胶带机上,送到筛焦系统 C103 转运站,然后通过筛焦楼的篦条筛系统将不同粒级的焦炭筛分出来,再经皮带运输系统运送至炼铁高炉使用或运输至原料料场存储。

在以上的生产流程中,焦炭依次经过的干熄焦

车焦罐;干熄炉底部的运焦皮带;筛焦楼的篦条筛这三个部位都是产生干熄焦主要生产性材料消耗的工艺环节,下面我们来逐一分析。

1.1 干熄焦焦罐车的焦罐衬板消耗

焦炭在焦炉成熟后经推焦车推焦,经拦焦车导入干熄焦焦罐车焦罐中,此时焦罐车内衬板将承受 950~1 050 °C 红焦的装入,在这个过程中,焦罐衬板将面临如下三种损耗风险(如图 1,2,3)。



图 1 衬板被焦炭冲击断裂而损耗的风险

衬板意外损坏后,会造成:(1)焦罐提罐装焦时,发生漏碳引发事故;(2)倒换新焦罐需要耽误生产 30 min;(3)断裂衬板掉落后易引起干熄焦旋转密封阀卡阻,高温煤气区域清理工作极难进行。事故发生后,不仅仅造成生产非计划检修的直接损失,还会对干熄焦系统后续生产的平稳进行造成不利的

作者简介:潘昊,工程师。



图 2 衬板受到持续高温而变形损耗的风险



图 4 皮带的老化分层的损耗风险

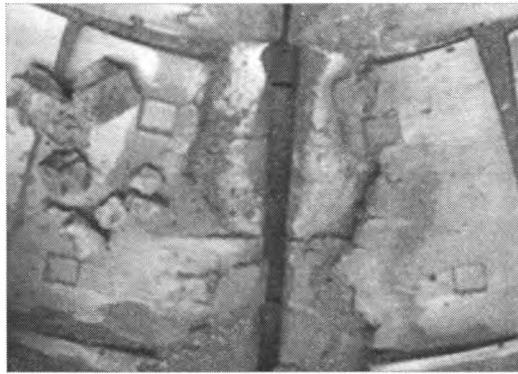


图 3 衬板受到焦炭磨损而导致损耗的风险

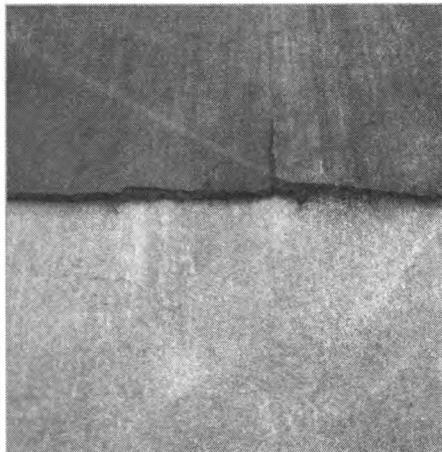


图 5 皮带受到焦炭的冲击断裂的风险

影响,因此带来对生产的负面影响是难以估量的。

经统计,以上三种焦罐衬板面临风险带来的直接衬板消耗量在 2013 年度共 178.5 万元,占干熄焦系统生产材料年度消耗的 21%。

1.2 GX1-GX6 高温运焦皮带的生产消耗

焦炭在干熄炉内冷却至 200~260 ℃后,经排出装置到皮带运输机,然后焦炭经由皮带运输至高炉或者料场,干熄焦运焦皮带系统共由 20 条皮带组成,主要将面临如下三种损耗风险(图 4,5,6)。

经统计,2013 年干熄焦皮带系统由于以上三种原因总共更换皮带 5 175 m,共计 340 万元,而 GX1-GX6 高温运焦更换 3 880 m,占到皮带总消耗量的 75%,占到干熄焦系统皮带总消耗量的 75%,因此我们选干熄焦运焦皮带系统的具有代表性 GX1-GX6 耐高温皮带作为研究降低消耗的对象。

1.3 篦条筛系统筛条消耗

焦炭在干熄炉降温冷却后,在运输至高炉或原料料场前,需经过筛焦楼的篦条筛系统对焦炭进行筛分处理,主要目的是筛分不同粒级的焦炭以备高炉使用。而篦条筛在筛分焦炭的过程中会面临冲击断裂和磨损损耗的风险,同时也因为筛条损坏频繁,造成篦条筛堵塞,均对生产造成严重影响。经统计,

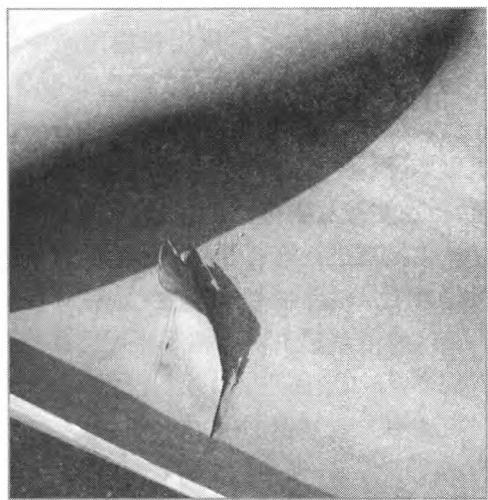


图 6 焦炭运输过程中对皮带表面的磨损损耗风险

2013 年,因筛条生产性损耗共消耗 273 万元,我们选定篦条筛系统的筛条消耗作为降低生产消耗的研究对象。

经过统计,2013年度,干熄焦系统生成材料费用消耗如图7所示。

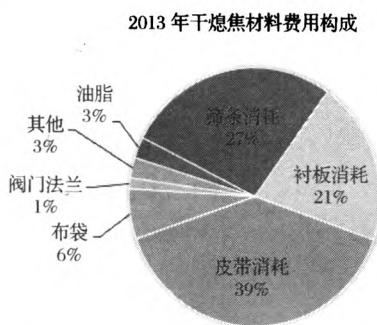


图7 2013年干熄焦材料费用构成

衬板、皮带和筛条消耗共占干熄焦系统生产性材料消耗费用(869万元)的87%,共计756.3万元,因此有针对性地选择从这三方面展开研究,以期降

低干熄焦系统的生产材料消耗。对于油脂、法兰、布袋等材料消耗,因在干熄焦材料整体消耗占比不高,故不作具体研究。

2 干熄焦系统材料消耗的量化定义与分析

2.1 焦罐车衬板消耗分析改善

焦化部共有7个焦罐,其中4个焦罐作为日常使用,每个焦罐有418块衬板,分为1#~16#共16种不同形状衬板。

从2013年度衬板消耗的帕累托图统计分析(图8)可以清楚地看到,2#,16#,3#衬板的消耗量占到963块衬板消耗的88.3%,所以我们将针对这三个型号的衬板进行分析。

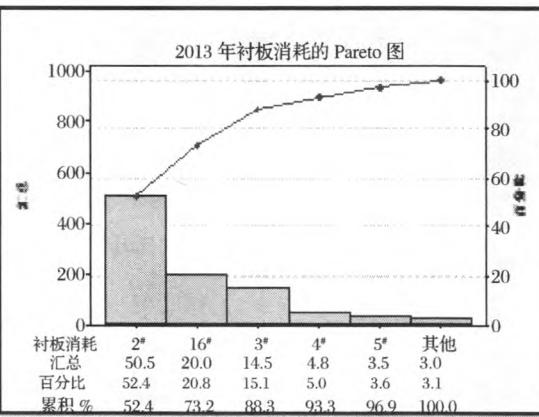
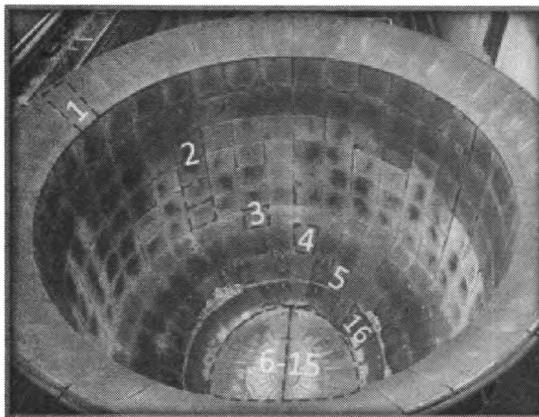


图8 焦罐衬板及2013年度消耗分析

在生产检修现场,针对焦罐衬板的周期性检修时间为每4~5d检修一次,每次安排5~6位检修人员,对下线冷却的焦罐进行全面的检查,发现有衬板损坏、脱落、松动等状况都会采取更换、加固等措施,但在实践过程中,因未对衬板系统的检修过程予以量化标准进行规范,导致点检员、检修员在判断衬板是否更换的随意性比较大,导致衬板的消耗增加,因此,我们制定了以下控制衬板检修流程的标准和规范。

衬板变形失效判定(图9)依据:由于焦罐倒修周期为四个工作日,且焦炭平均粒度大小为60mm,当变形量大于50mm后,焦罐衬板边缘因为进去更多的空气与红焦炭发生反应,会导致衬板在3d时间内变形大于70mm以上,焦罐会发生大量的漏炭事故。

衬板破损失效判定(图10)依据:由于焦炭平均



图9 焦罐衬板变形失效判定

粒度大小为60mm,当能使直径为70mm的圆盘顺利通过时,焦罐会发生大量的漏炭事故。挂钩断裂会使衬板固定不牢固,会导致整块衬板脱落。

衬板磨损失效判定(图11)依据:当衬板局部地区磨损量能使直径为70mm的圆盘顺利通过时,衬板整体强度会受到影响,易发生衬板整体脱落故障,或严重损害焦罐本体钢结构。



图 10 焦罐衬板破损失效判定

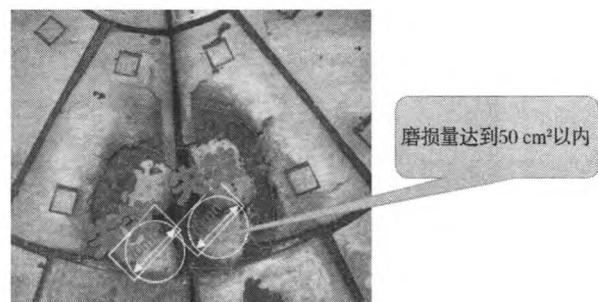


图 11 焦罐衬板磨损失效判定

完成对衬板各类型失效标准的建立后,还将完善衬板检修的记录,并制定衬板检修记录表(图 12)。

焦罐衬板更换记录图(罐体衬板)																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
2#板	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2#板	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		
2#板	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	100	0	0	0	1	0	
2#板	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	100	0	1	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	200	100	
2#板	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100	0.01	0	100	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	
2#板	100	100	0	0	100	100	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0.01	0	101	100	100	1	0	0	1	1	0.01	0	
3#板	1	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	
4#板	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5#板	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0
16#板	0.02	0.01	0	200	200	100	0.01	100	100	200	100	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0	100	100	0.01	100	100	0.01	100	0	0	0	0	0	100		
1#板	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

南侧闸板(顺时针计数)							北侧闸板(顺时针计数)							备注:																		
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	6#板	7#板	8#板	9#板	10#板	11#板	12#板	13#板	14#板	15#板	16#板	17#板	18#板	19#板	20#板	21#板	22#板	23#板	
6#板							6#板																									
7#板							7#板																									
8#板							8#板																									
9#板							9#板																									
10#板							10#板																									
11#板							11#板																									
12#板							12#板																									
13#板							13#板																									
14#板							14#板																									
15#板							15#板																									

图 12 焦罐衬板更换记录图

优化统计表后,对每个焦罐的每个位置衬板的维修、更换都有准确的更换时间及数量,便于后续检修计划和统计,并为未来的衬板生命周期管理建立基础。

在规范衬板的检修流程后,对衬板的安装检修进行了更具体和细致的要求。

(1) 衬板密封材料的安装

焦罐衬板安装到钢结构时,其背部需要添加密封材料,以保证在焦罐使用过程中,进入焦罐的空气质量尽量减少。否则接触焦炭的衬板局部地区会产生较大温差,衬板极易发生变形。

密封材料在焦炭装入进焦罐时,还能起到缓冲

的作用,减少焦炭的冲击,降低衬板开裂的风险。

(2) 修复损坏钢结构

焦罐衬板固定钢结构在使用过程中易发生开裂变形等问题,当钢结构开裂变形后,焦罐内衬板密封会出现问题,局部温度因为焦炭接触空气量大而变高,衬板就更易发生损毁。钢结构开裂后,维检员对其进行补焊维修,选用新不锈钢材料替代原 Q345B 材料,保证钢结构使用寿命。

(3) 焦罐衬板粘炭改善

焦罐衬板底部在使用过程中会发生粘炭现象(图 13),粘炭后高温焦炭会持续对衬板进行烧损,而且不易自行脱落。正常情况下,衬板在干熄焦塔

放焦后,焦罐有一个缓慢冷却的过程,这样才能保证

衬板温度不会持续升高。

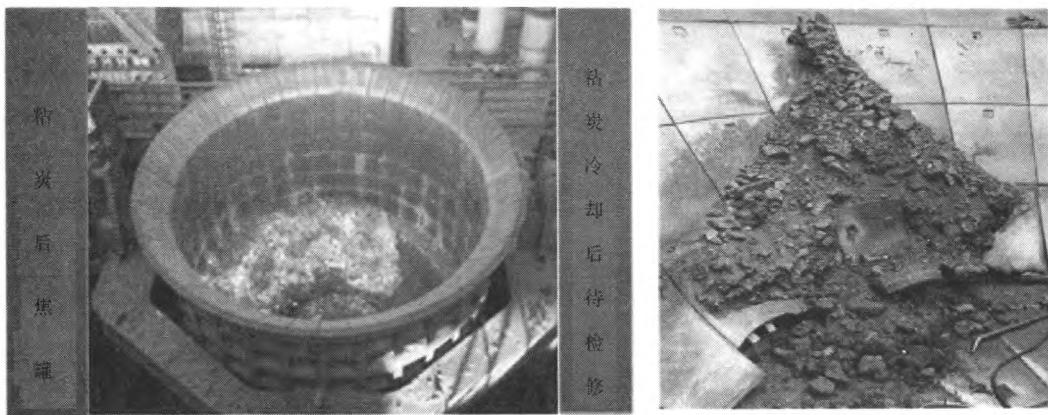


图 13 衬板粘炭

针对焦罐底部衬板粘炭情况,分析有如下问题点:

(1) 炉头温度偏低,头尾焦结焦不成熟,产生黏性物质将焦炭粘接在衬板上。炉头温度偏高,焦炭品质产量降低,能耗过高;

(2) 焦罐底部经常发生粘炭现象,粘炭后高温

焦炭会持续对衬板进行烧损;

(3) 粘炭不易自行脱落,在生产过程中无法进行有效清理。

因此成立了提高焦炉炉头系数 QC 小组,对焦炉炉头温度进行精细化管理,通过结合焦炉生产工艺分析,锁定几个主要影响因子进行措施改善(见表 1)。

表 1 焦炉炉头温度影响因素分析改善表

序号	主要影响因子	措施
1	煤气喷嘴板开度调整不合理	充分利用喷嘴板的调节手段:炉头温度上不去的一般采取缩小中部开度而加大边炉孔板开度;高气加热孔板调节一般情况以 5~10 mm 为主,而喷嘴板的调节一般以 4 mm 起步,反复不断地调节,可以逐步提高炉头温度。
2	煤气喷嘴大小调整	焦炉煤气加热除了喷嘴板的调节作用,还可以通过喷嘴口径进行调节。根据实际需要,我们利用原烘炉使用喷嘴再次加工,制作多种孔径喷嘴,并配合铁丝铁棍进行调节。
3	炉头封墙和小烟道窜漏	针对某些炉号燃烧室炉头温度偏低,采取了炉头焦炉煤气补充加热手段,使该号炉头温度满足要求。另外还安排热修人员对炉头封墙和小烟道窜漏进行了修补。

由于炉头温度会因为炼焦周期时间(即结焦时间)的变化而变化,因此采用行业指标来衡量炉头温度的改善:行业标准炉头温度系数大于 0.76 为特级焦炉水平,改善后,炉头温度系数达到 A 焦炉 0.9,B 焦炉 0.96,C 焦炉 0.98,D 焦炉 0.95。2014 年 3 月前,焦炉粘炭频率为一周发生一次,2014 年 5 月改善后观察至 2014 年 12 月,焦罐粘炭现象未发生一次。改善效果良好。

衬板系统经检修和控制炉头温度等一系列措施改善后,每月每万吨焦炭消耗衬板减少数量为 1.26 块/万 t,节约费用 30.194 万元/月。

2.2 GX1-GX6 皮带系统的分析改善。

皮带机结构如图 14 所示,主要由胶带、驱动装置、制动装置、托辊及支架、拉紧装置、改向装置、清扫装置、装料装置和卸料装置、辅助安全设施等部分组成^[1]。

输送带既是承载构件又是牵引构件,依靠带条与

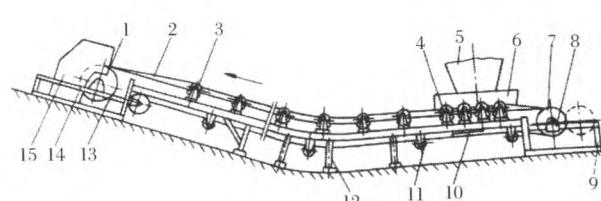


图 14 带式输送机原理结构图

1—传动滚筒;2—胶带;3—紧张装置;4—槽型托辊;
5—下料口;6—料槽;7—改向托辊;8—托辊支架;
9—机尾;10—空段清扫器;11—回程托辊;12—I型支腿;
13—头架;14—机头;15—机头罩

滚筒之间的摩擦力平稳地进行驱动,皮带机在工作时,主动滚筒通过其表面包胶与胶带之间的摩擦力带动胶带运行,煤等物料装在胶带上和胶带一起运动^[2]。

干熄焦皮带的运输物料为经过干熄塔冷却后的焦炭,焦炭平均温度为 150 ℃,而皮带设计耐热温度为 220 ℃,若超过此温度皮带将加速老化或烧损。

综合以上皮带机运行理论,结合干熄焦生产工况分析,干熄焦 GX1-GX6 皮带主要是由于皮带老化和皮带机的非正常运行导致的皮带更换消耗,那么需要改进管控的关键因子。以此为条件建立因子验证与改进的计划。

2.2.1 皮带老化分析改善

从干熄焦生产工艺(图 15)循环可以看到,皮带消耗与干熄焦炉的排焦温度直接相关,当排焦温度大于 220 ℃时,皮带因超过设计耐热高温而加速老化,导致皮带工作面龟裂,皮带强度降低,极易发生断裂引发生产事故,所以老化的皮带都需要尽快更换,以免导致更严重的事故。

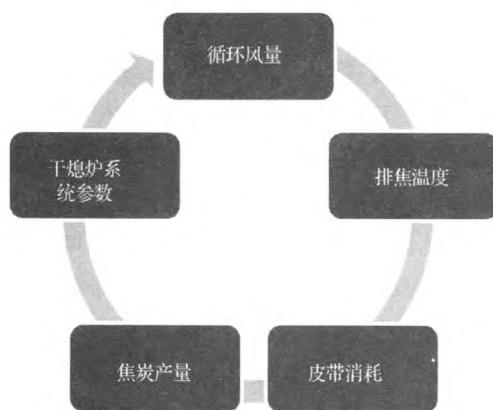


图 15 干熄焦生产工艺

在对干熄焦循环风量和排焦温度的回归分析(图 16)中,我们得出通过对循环风量和排焦流量的

调节将可以控制排焦温度的高低,因此将循环风量控制在 $(25 \times 106) \sim (30 \times 106) \text{ m}^3/\text{h}$, 排焦流量控制在 220 t/h 以内可以有效确保排焦温度在 220 ℃以内,以降低皮带长时间承受高温焦炭的风险,延长皮带老化时间周期,降低皮带消耗。

广义回归分析: 排焦温度 ℃ 与 循环风量 (万立方米/小时), 排焦流量 吨/小时

回归方程

$$\text{排焦温度 } \text{℃} = 1562.97 - 53.0376 \text{ 循环风量 (万立方米/小时)} - 5.57241 \text{ 排焦流量 吨/小时} \\ - 53.04 \text{ 循环风量 (万立方米/小时)} + 0.210257 \text{ 循环风量 (万立方米/小时)} * \text{排焦流量 吨/小时}$$

系数

项	系数	系数标准误	T	P
常量	1562.97	259.177	6.03051	0.000
循环风量 (万立方米/小时)	-53.04	9.471	-5.59986	0.000
排焦流量 吨/小时	-5.57	1.176	-4.73725	0.000
循环风量 (万立方米/小时) * 排焦流量 吨/小时	0.21	0.043	4.88978	0.000

模型汇总

$$S = 7.64278 \quad R-Sq = 44.88\% \quad R-Sq(\text{调整}) = 43.88\% \\ \text{PRESS} = 9951.19 \quad R-Sq(\text{预测}) = 43.09\%$$

图 16 干熄焦循环风量和排焦温度的回归分析

2.2.2 皮带的非正常运行分析改善

皮带非正常运行的影响因素有检修因素和环境因素,首先,“皮带接口断裂”、“皮带纵向划痕”、“皮带分层”是皮带检修主要存在的故障原因,对皮带机点巡检及检修制定“皮带机检修操作规程”,以规范皮带检修的 SOP 流程,从而降低皮带检修不完善导致的消耗^[3]。

其次,皮带运行的环境因素也是可以改善的,将皮带通廊皮带机头处彩钢板进行开孔处理,增加通廊散热通道,降低皮带机运行环境温度(图 17)。

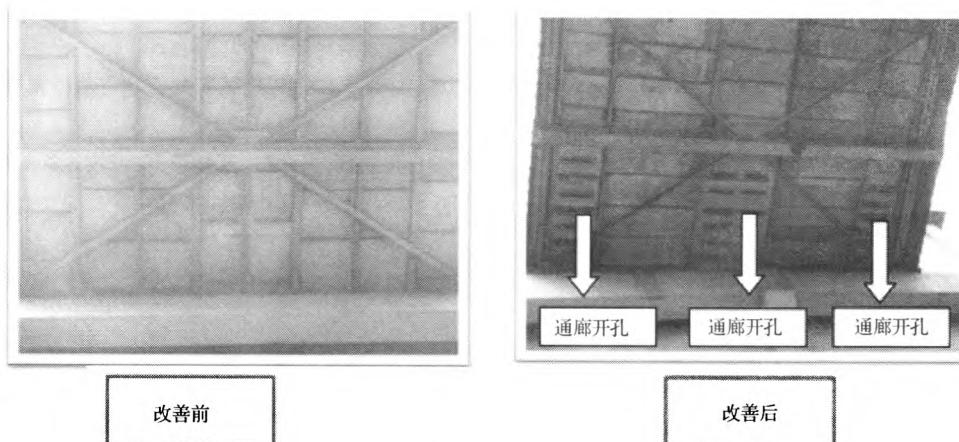


图 17 皮带通廊改善前后对比图

皮带系统经检修和控制皮带老化周期等一系列措施改善后,每月每万吨焦炭消耗皮带减少数量为 1.14 米/万吨,节约材料更换费用约 20.6 万元/月。

2.3 篦条筛系统的分析改善

结合现有铸石筛条寿命不够长,强度较差,同时耐磨性不佳的现状,我们引入陶瓷筛条和碳化硅筛条(图 18)进行实验对比,寻找出一种综合效益更优

的材质应用于生产。

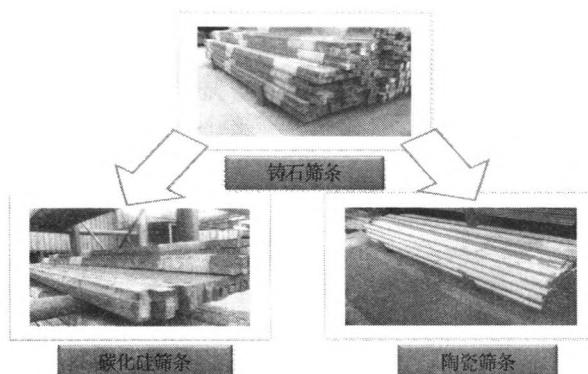


图 18 篮条筛材质选择

根据寿命实验结果(图 19-1 和 19-2)分析显示,陶瓷材质筛条平均使用寿命为 12.5 d,比铸石筛条的平均寿命 7.5 d 延长 5 d 左右。同时相对于现有铸石筛条(2 070 元/根),陶瓷筛条(2 100 元/根)的采购成本只有小幅增加,随着生产检修周期的延长,将会降低生产材料消耗的成本。

篮条筛系统经检修和控制皮带老化周期等一系列改善措施后,每月每万吨焦炭消耗筛条减少数量为 0.42 根/万 t,节约材料更换费用约 22.93 万元/月。

单因子方差分析: 铸石, 碳化硅, 陶瓷

来源	自由度	SS	MS	F	P
因子	2	138.07	69.03	8.42	0.001
误差	27	221.40	8.20		
合计	29	359.47			

$$S = 2.864 \quad R-Sq = 38.41\% \quad R-Sq(\text{调整}) = 33.85\%$$

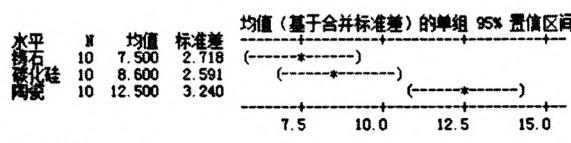


图 19-1 篮条筛不同材质使用寿命分析

Fisher 95% 两水平差值置信区间
所有配对比较

同时置信水平 = 88.07%

铸石 对比:

	下限	中心	上限	
碳化硅	-1.528	1.100	3.728	(-----*)-----)
陶瓷	2.372	5.000	7.628	(-----*)-----)

碳化硅 对比:

	下限	中心	上限	
陶瓷	1.272	3.900	6.528	(-----*)-----)

图 19-2 篮条筛不同材质使用寿命分析

3 结论

干熄焦系统因其生产流程所面临的物料高温、环节较长等工艺特征,因此对全系统的稳定性都有较高的要求,在分析各环节材料成本控制的过程中并非孤立地割裂各部位间的工艺生产衔接,而是从确保全局系统稳定性的宏观角度出发,在满足干熄焦本身工艺流程的基础上,着力对干熄焦车焦罐衬板、运焦 GX1-GX6 耐高温皮带、篮条筛筛条进行其现存生产环节特质的分析,明确其生产性消耗产生的原因、条件以及环境,最终通过实施一系列改善措施来争取获得生产成本的降低,其中所运用的方法及理论也可以推广至大型煤焦化甚至是钢铁制造业等厂矿企业的各类生产流程的分析中。

参考文献:

- [1] 赵雄. 浅析煤炭皮带输送机的安装操作和维护[J]. 科技创新导报, 2009(31):50.
- [2] 李伟. 皮带机跑偏的分析和防治措施分析[J]. 科技资讯, 2011(12):107.
- [3] 苏显斌, 崔彦军, 赵德民; 皮带输送机的维修与使用[J]. 机械工程师, 1999(2):46.