

# 转炉加料溜槽漏水原因分析与防治研究

曲 操\*, 文关俊, 张小辉, 陶光军, 杨 明

北京首钢股份有限公司, 河北 唐山

收稿日期: 2022年7月20日; 录用日期: 2022年8月24日; 发布日期: 2022年8月31日

## 摘 要

加料溜槽是转炉炼钢过程中的主要设备之一, 用于炼钢过程中添加副原料, 故加料溜槽使用过程中工作环境较恶劣对加料溜槽的使用寿命产生严重的危害。加料溜槽使用周期寿命只有3个月左右, 失效形式表现为加料溜槽冷却水管爆裂漏水, 并且寿命期内漏水事故频繁发生, 需要经常停产检修, 严重影响了钢产量。本文加料溜槽冷却水管漏水原因进行可行性分析, 研究对导致加料溜槽冷却水管漏水的原因, 采取超音速电弧喷涂方法进行防治。

## 关键词

转炉加料溜槽, 冷却水管, 漏水原因, 超音速电弧喷涂

# Cause Analysis and Prevention of Water Leakage in Converter Feeding Chute

Cao Qu\*, Guanjun Wen, Xiaohui Zhang, Guangjun Tao, Ming Yang

Beijing Shougang Co., Ltd., Tangshan Hebei

Received: Jul. 20<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 24<sup>th</sup>, 2022; published: Aug. 31<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

The feeding chute is one of the main pieces of equipment in the converter steelmaking process. As a vulnerable part, the feeding chute is inserted into the transverse feeding port of the converter and is mainly used to add auxiliary raw materials in the steelmaking process. Therefore, the working environment of the feeding chute is relatively bad during use, and its maximum ambient temperature is up to 800°C, which seriously endangers the service life of the feeding chute. The service life of the feeding chute is only about 3 months. The failure form is that the cooling water pipe of the feed-

\*通讯作者。

ing chute bursts and leaks, and the leakage accident occurs frequently during the service life, which requires frequent shutdown and maintenance, which seriously affects the steel output and causes significant economic losses. In this paper, the causes of water leakage of cooling water pipe of the charging chute of converter under the action of high-temperature environment and wear of high particle size by-products are analyzed, and the causes of water leakage of cooling water pipe of charging chute are studied. The method of supersonic arc spraying is adopted for prevention and treatment. The investment in the supersonic arc spraying process greatly improves the high-temperature resistance, wear resistance, corrosion resistance, oxidation resistance and slag resistance of the pipe wall of the feeding chute.

## Keywords

Converter Feeding Chute, Cooling Water Pipe, Causes of Water Leakage, Supersonic Arc Spraying

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

### 1.1. 课题提出的背景及研究的意义

首钢迁钢 5 座转炉 210 吨转炉加料溜槽作为转炉炼钢加入副原料的主要设备, 加料溜槽使用过程中工作环境较恶劣, 加料溜槽使用周期仅有 3 个月, 加料溜槽冷却水管频繁出现漏水现象, 即达到使用寿命[1]。加料溜槽漏水会导致转炉放炮, 是重大的安全隐患, 危及到作业人员的人身安全。同时加料溜槽漏水也会导致烟道中烟气的氢含量上升与氧气含量达到一定比例造成干法除尘器内部泄爆, 对设备造成重大损坏。故溜槽漏水必须停炉处理, 每次补焊处理冷却水管漏水至少停炉 6 小时以上, 对首钢迁钢公司的钢产量造成较大影响。针对加料溜槽漏水原因分析及提高溜槽使用寿命的需求日益迫切。通过对转炉加料溜槽漏水原因分析, 采用超音速电弧喷涂技术进行治理, 此方法的投入大大提高加料溜槽的使用寿命, 使加料溜槽的平均寿命可以达到 1 年左右, 使用寿命提高 4 倍, 同时在使用寿命期内的故障率明显降低。

### 1.2. 加料溜槽简介

#### 1.2.1. 功能

加料溜槽作为易损件插入转炉横移烟道加料口内[2], 南北各有一个, 主要用于炼钢过程中添加散料, 故加料溜槽使用过程中工作环境较恶劣, 要求管壁能够承受高粒度副原料磨损及高温环境, 其工作压力为 0.6 MPa, 工作环境温度最高 800℃, 故采用强制水循环冷却。

#### 1.2.2. 参数

工作压力: 0.6 MPa; 水流量: 大于 35 t/h; 冷却水出水温度: 小于 55℃。

#### 1.2.3. 主要组成

图 1 左图中, 1——回水箱、2——进水箱、3——冷却水管(材质 20 g, 外层管  $\text{Ø}42 \times 5$  mm, 内层管  $\text{Ø}22 \times 2.5$  mm, 各 36 根)、4——固定筋板(材质 16 Mn, 厚度 12 mm, 宽 34 mm)等组成。

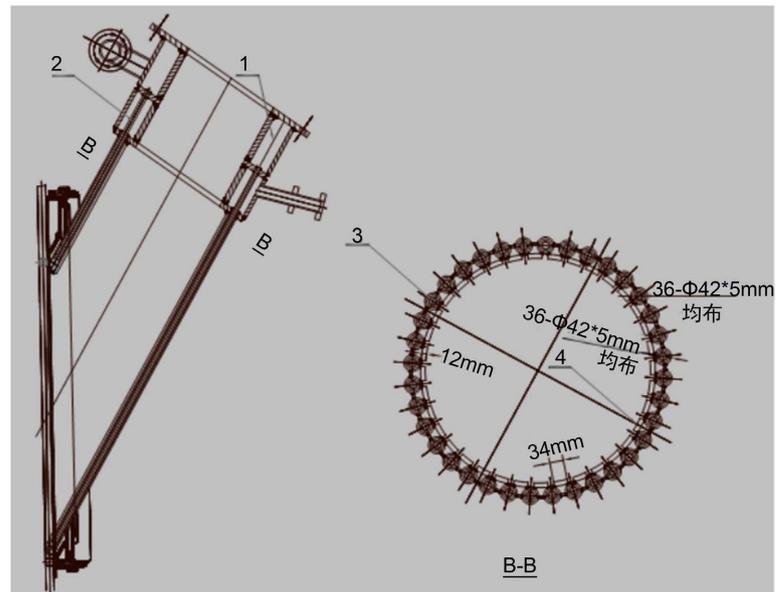


Figure 1. Structure diagram of feeding chute  
图 1. 加料溜槽结构图

#### 1.2.4. 焊接技术要求

- 1) 冷却水管采用氩弧焊打底焊接工艺;
- 2) 固定筋板与水冷壁连接以及水箱的焊接采用 C02 保护焊接;
- 3) 焊后进行去应力退火及压力实验, 实验压力 2.2 Mpa。

## 2. 加料溜槽冷却水管漏水原因分析进行可行性分析

结合加料溜槽的工作环境对漏水原因进行可行性分析, 取失效的冷却水管残片试样, 通过宏观形貌观察和金相显微镜对冷却水管的失效机理进行分析, 并对冷却水系统及水质进行检查, 找出造成加料溜槽排管漏水原因[3] [4] [5]。

### 2.1. 水系统运行状况及水质情况

经检查供水系统设计参数始终达到使用参数要求。泵站给水泵运作良好, 供水流量、压力正常, 管路无泄漏, 仪表装置正常[6]。加料溜槽的水源为中压净循环水, 对其水质化验, 水质成分均符合中压净循环水参数标准要求。经过对漏水管道剖开后观察, 冷却管内无结垢、无杂物、无堵塞现象故判断本次加料溜槽漏水原因与水系统运行及水质情况无关。

### 2.2. 热应力的作用

由加料溜槽冷却水管漏水位置的外观可知, 漏水点位置均在靠火近位置, 水管在使用过程中有较大幅度的塑性变形。取失效的冷却水管残片试样, 通过金相显微镜观看竖直水冷却管沿轴线不同部位的金相组织不同, 靠近固定筋板(向火侧)晶粒大小约为靠近水(向水侧)晶粒的 3~4 倍[7]。与新的 20G 钢管相比, 使用后向火侧的冷却水管晶粒明显长大。金相试样说明水管沿轴线的受热状况不同, 存在着较大的温度梯度。转炉在转炉冶炼周期为 50~60 min, 由于转炉冶炼工艺操作的周期性, 吹氧时烟气量处于最大, 烟气温度也达到最高, 其最高温度达 1700℃, 热负荷增大, 管壁温度升高, 停吹时烟气总量下降为零, 热负荷减小, 管壁温度随之骤降, 使受热管与筋板的冷热变形不同, 溜槽冷却水管与固定筋板间因受热

不均匀而产生热应力，由于热应力的作用使冷却水管表面生成横向裂纹，冷却水管被受热伸长的固定筋板撕裂[8]。加料溜槽在结构设计中存在缺陷，使溜槽向火侧产生较大的热应力，是导致加料溜槽漏水的原因。

### 2.3. 加料时原料摩擦作用

对失效冷却水管宏观形貌观察，管壁有磨损痕迹。形成原因是因为转炉在冶炼过程中加入副原料对加料溜槽冷却水管外表面产生较大的摩擦和冲击，高速的料物对金属壁面产生冲击和切削作用，形成受热面磨损。对管壁有冲刷磨损作用，冷却水管壁在固体料物不断的冲刷，磨损管壁会减薄，当管壁应力超过材料的屈服极限时，管子就会发生爆裂，产生了物理的失效。加料溜槽管壁除了挨着固定筋板处的管壁面受保护外，其他部分均为光管，因而磨损严重，也是导致冷却水管漏水的原因之一。

### 2.4. 氧化、腐蚀作用

观察失效冷却水管表面，管壁表面存在氧化现象，导致原因是因为转炉的烟气中主要成分是铁及其氧化物，而原材料粉末的主要成分为金属氧化物，由于下料过程中料物的冲击和高速流动烟气使管子局部表面上附着的不紧密的氧化腐蚀产物脱落，从而露出新的表面，加速氧化腐蚀的进行，而使冷却水管变薄。烟气中含硫量高，冷却水管壁由于 Fe 元素与高温烟气中的 S 元素反应成 FeS 而造成腐蚀。氧化、腐蚀作用均是导致冷却水管漏水的原因。

### 2.5. 岗位操作问题

加料溜槽失效管壁周围存在积钢渣现象，也是导致加料溜槽冷却水管漏水的原因。由于操作原因冷却水管表面上溅上大量的钢水、粒状红渣会影响冷却水管的冷却效果，导致冷却水管失效。或者水管转炉吹炼时常有部分钢水、粒状红渣溅到加料溜槽管壁上，在下氧枪吹氧时，冷却水管壁上的钢水在氧气的作用下，会造成冷却水管管壁上某一处烧穿漏水或局部水管壁变薄，也会导致冷却水管失效。

### 2.6. 本章小结

迁钢加料溜槽冷却水管失效的原因主要包括热应力作用、下料摩擦、氧化和腐蚀作用以及岗位操作问题。

## 3. 解决方案

### 3.1. 采用先进工艺

采用超音速电弧喷涂工艺对加料溜槽冷却水管管壁进行喷涂，使加料溜槽内表面管壁的耐高温性、抗氧化和耐磨性、耐腐蚀性、防粘渣等性能的提高，有效防治冷却水管漏水原因，提高加料溜槽使用寿命。

### 3.2. 优化岗位操作

要求岗位严格按照规程操作，尽量避免转炉冶炼时减少喷溅，避免加料溜槽冷却水管内壁上沾渣。发现烟道内壁有沾渣情况，要及时进行清理，防止操作造成冷却水管漏水。

## 4. 超音速电弧喷涂工艺的投入

### 4.1. 超音速电弧喷涂介绍

超音速电弧喷涂是热喷涂的方法之一，是材料表面加工的一种方法。该技术是利用燃烧于丝材端部

的电弧将均匀送进的丝材熔化, 经过喷嘴加速后的超音气流将熔化的丝材雾化, 喷向工件表面形成涂层。根据喷涂材料的选用, 决定涂层具体作用和性能。

#### 4.2. 喷涂材料选择

为提高加料溜槽的使用寿命, 增加加料溜槽管壁的、耐磨性、抗氧化和耐腐蚀性、防粘渣等性能, 复合喷涂材料采用铁、钴、镍、钼、硅等物质[9] [10]。

#### 4.3. 喷涂性能及对加料溜槽冷却水管的作用

1) 提高冷却水管耐高温性, 减少热应力作用。喷涂后冷却水管管壁涂层的耐高温性大于 1200℃, 原冷却水管最高耐热温度为 450℃。由于转炉运行时在烟温大于 700℃的区域内, 在高温高压条件下冷却水管受热面与含有高硫的腐蚀性燃料和高温烟气接触, 极易发生高温腐蚀, 冷却水管的抗腐蚀性大大提高。冷却水管的耐高温性的提高, 可以减轻高温烟气对该处水冷壁的热交换, 从而减轻该处的热应力作用[11] [12]。

2) 加强冷却水管硬度, 提高耐磨性。喷涂后涂层硬度大于 900 HV, 原冷却水管材质 20 g 硬度为 165 HV, 随着硬度提高, 耐磨性大大提高[13] [14]。

3) 降低冷却水管表面孔隙率, 提高抗氧化和耐磨性。喷涂后涂层小于 1%, 高致密度。涂层防治加料溜槽冷却水管的冷却抗氧化、抗腐蚀性能大大提高。

超音速电弧喷涂涂层本身结合强度大于 90 MPa, 具备一定的抗冲蚀性能, 防止涂层受冲击剥落。涂层材料的热膨胀系数与冷却水管的热膨胀系数接近, 可避免在热循环过程中由热应力造成的涂层剥落。涂层与加料溜槽管壁结合紧密、牢固, 与高温钢水有较大的不浸润性, 有效防止了钢水钢渣在加料溜槽管壁上积聚, 具有防粘渣性。

#### 4.4. 本章小结

主要使用镍、钴、铁为基的金属材料的主要元素, 并加入少量的硅、钼、硼的合金作为喷涂材料, 利用超音速电弧喷涂方法对加料溜槽管壁进行喷涂, 最终使加料溜槽冷却水管管壁的耐高温性、耐磨性、抗氧化和耐腐蚀性、防粘渣等性能大大提高, 从而进一步提高加料溜槽的使用寿命[15]。

### 5. 总结

1) 导致加料溜槽冷却水管漏水故障的原因很多, 如水系统运行状况及水质情况、热应力的作用、加料时原料摩擦作用、氧化及腐蚀作用、岗位操作问题等因素的影响。每次分析加料溜槽漏水原因时, 要逐一分析, 找出导致漏水的原因。

2) 本次造成迁钢加料溜槽漏水失效的原因主要有热应力作用、下料摩擦、氧化和腐蚀作用以及岗位操作问题。

3) 采取超音速电弧喷涂方法, 有效防治加料溜槽冷却水管漏水, 并管壁耐磨性能、耐蚀性能、抗氧化性能、耐高温性能、防粘渣性能等。

4) 通过超音速电弧喷涂的采用, 使加料溜槽的使用寿命提高了 4 倍, 从而减少转炉设备停工, 同时减少加料溜槽备件成本及施工成本费用, 为保证转炉设备正常的运行做出了巨大的贡献。

### 参考文献

- [1] 成立良, 王忠智, 沙博辉, 魏宗华, 吴振国. 炼钢转炉烟气的回收利用技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991, 71-75.
- [2] 曹天明, 尹平. 转炉煤气回收设备活动余热锅炉的改造设计[J]. 冶金动力, 2002(8): 29-33.

- 
- [3] 隋建才, 丘纪华. 转炉余热锅炉故障分析及对策[J]. 冶金能源, 2003(2): 37-40.
- [4] 马杰. 转炉废热锅炉受热面泄漏分析及处理措施[J]. 余热锅炉, 2000(3): 6-8.
- [5] 赵文彬, 姚易先. 转炉余热锅炉烟道故障及其防护[J]. 冶金动力, 1999(1): 1-4.
- [6] 蔡莉萍. 340吨 OG 转炉余热锅炉的特点[J]. 余热锅炉, 2002(3): 9-11.
- [7] 张克军. 转炉余热锅炉汽化冷却装置水管开裂分析[J]. 四川冶金, 1990(3): 33-34+61.
- [8] 龚桂仙, 曾静, 张敏. 转炉移动余热锅炉管爆裂分析[J]. 武钢技术, 1999(4): 76-79.
- [9] 郑明新. 工程材料(上册) [M]. 北京: 清华大学出版社, 1983: 157-169.
- [10] 杨世铭, 陶方栓. 传热学[M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 1998: 56-62.
- [11] 黄乾尧, 李汉康, 等, 编著. 高温合金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002: 88-93.
- [12] 李美栓. 金属的高温腐蚀[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001: 91-113.
- [13] 孙家枢. 金属的磨损[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992: 182-188.
- [14] 魏秀鹏, 陈家福. 20 g 钢的冲蚀磨损性能的研究[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2004, 24(2): 82-84.
- [15] 陈江涛. 转炉烟罩冷却水管的失效机理及新型防护涂层研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2005: 5-10.