

# 大型交流同步电机快速修理技术开发与应用分析

刘艳

(新余钢铁集团有限公司 江西 新余 338000)

**摘要:** 交流同步电机与直流电机相比,交流同步电机因无整流子其电机维护简单,驱动效率高,控制响应快,功率因数高,在各种轧机中得到了广泛应用。本文经过充分的技术论证和可行性分析,确定了大型交流同步电机快速修理的技术方案,在短期内现场解决轧机主电机修理问题。

**关键词:** 交流同步电机;修理技术;开发;应用

## 0 引言

新余钢铁股份有限公司卷板厂酸轧生产线采用交流同步电机作为轧机动力设备,自投产以来,其轧机与卷曲机7台交流同步电机运行良好。近年来,卷板厂酸轧线3#轧机主电机报速断保护故障停机,与此同时,2#电机也存在运行中噪音过大的情况,造成酸轧线停机。新钢机械制造有限公司组织人员对3#、2#轧机主电机开盖检查,发现3#、2#两台电机的部分磁极螺栓断裂,断裂的螺栓头进入电机气隙,引起电机扫膛,刮坏电机绕组。轧机是酸轧生产线关键设备,维修技术难度高。为准确判定电机损伤情况,项目组在第二天完成了电机抽芯工作,各专业技术人员对电机损坏的现状作了认真细致的研究,提出了现场快速修理的技术方案,同时与厂家就电机快速修理技术方案进行了交流沟通。经过充分的技术论证和可行性分析,项目组最终确定了快速修理的技术方案,并在电机修理完成后,由相关部门进行检测。利用新余钢铁股份有限公司的集中检修时间,分阶段对其余5台电机进行现场A级检修,更换原磁极极靴螺栓,并对原阻尼条的固定方式予以技术改进,以彻底消除、解决7台电机磁极极靴螺栓、阻尼条存在的重大设备隐患,保障公司的大生产。

## 1 难点分析

### 1.1 转子磁极极靴螺栓断裂缺陷的解决难点

酸轧轧机主电机转子是由主电机轴、四组铁芯、四组磁极线圈、四组磁极极靴组成,铁芯、磁极线圈和磁极极靴通过极靴螺栓固定在电机主轴上。

项目组通过抽芯检查发现,原电机采用的磁极极靴螺栓为M48,每组16个,4组共计64个。2#轧机与3#轧机主电机发生故障是由螺栓断裂引起,螺栓断裂部位均在过渡圆角处。极靴螺栓断裂后,其碎块飞出造成电机扫膛,刮坏定子绕组。

原磁极极靴设计的螺栓过渡圆角为R1.5(见图1),极靴螺栓断裂发生在此处。由实践经验可知,阶梯轴过渡圆角处的应力集中往往是轴类零件疲劳失效的主要原因。针对原极靴螺栓因过渡圆角处会发生疲劳断裂的问题,如还是使用原设计的极靴螺栓进行更换,并不能从根源上解决电机极靴螺栓存在断裂缺陷的隐患。因此如何解决原极靴螺栓疲劳断裂的缺陷是一难点。

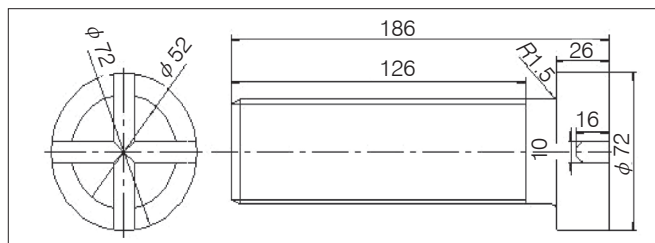


图1 原极靴螺栓结构图

原电机转子磁极极靴的螺栓头设计为十字型,因电机长期运行,磁极极靴螺栓因有略微变形卡死在极靴当中,利用制作的十字型专用工具也较难取出,且效率极低。而断裂的螺栓因没有螺栓头,需要采用对接一个M42螺栓后,再用电动工具取出。由于需要在螺栓的沉头孔中焊接对接螺栓,受空间限制,螺栓对接焊接难度大,焊接质量也很难控制,造成断裂的螺栓取出难度非常大。

### 1.2 电机定子线圈扁铜线损坏局部修理技术难点

项目组通过对2#、3#轧机主电机抽芯检查发现,断裂极靴螺栓头进入电机内,造成电机定子端部线圈外绝缘层若干部位严重损伤,且损伤部位扁铜线外露,部分扁铜线刮痕较深,严重的扁铜线快接近断裂。

如何选择扁铜线的焊接方法和工艺,确保扁铜线的焊接质量满足技术标准要求,使其电气性能不变,同时确保焊接扁铜线时不损坏线圈匝间绝缘层及下层扁铜线,是扁铜线修理的技术难题。

### 1.3 解决转子阻尼条松动的难点

酸轧线轧机主电机转子阻尼条的安装方法,是将阻

尼条插入磁极铁芯槽内再通过胀形及两端焊接在转子端盖上予以固定。这些主电机抽芯检查后均发现阻尼条有松动现象，主要原因是在转子长期高速运行中，离心力的作用引起阻尼条松动。阻尼条发生松动现象，易造成放电打火，严重时会导致转子阻尼条挤出铁芯槽或断裂，从而导致电机扫膛。

针对酸轧线轧机、卷曲机这些大型同步电机阻尼条在长期运行过程中会发生松动的隐患，如何固定阻尼条，防止阻尼条松动又是一难点。

2 主要技术内容

卷板厂酸轧线 2#、3# 轧机主电机极靴螺栓发生断裂，导致电机定子线圈部分绝缘层、扁铜线被损坏，以及电机阻尼条发生松动故障。针对这三种电机故障，项目组开发了三种不同修理技术进行修理。

2.1 自主设计了“八槽型”高强度极靴螺栓

为解决原极靴螺栓在电机长期高速转动受转矩作用发生疲劳断裂的问题，以及原螺栓拆卸困难的问题，项目组从提高极靴螺栓的强度、降低螺栓过渡圆角处应力集中系数、改进极靴螺栓头结构等方面进行了技术攻关，自主设计了“八槽型”高强度极靴螺栓。

2.1.1 改进极靴螺栓材质，以提高螺栓的强度等级

项目组对螺栓材料 35CrMo 与 42CrMo 两种低合金结构钢进行了分析比对。原磁极极靴螺栓材料选用 35CrMo，该材料具有较高的静力强度、冲击韧性及较高的疲劳极限。极靴螺栓材料选用 42CrMo，该材料具有高强度和韧性，淬透性好，无明显的回火脆性，高温时有高的蠕变强度和持久强度，调质处理后有较高的疲劳极限和抗冲击能力。比对 35CrMo 与 42CrMo 两种材料主要机械性能参数（见表）。

表 35CrMo 和 42CrMo 主要机械性能参数对比

| 名称                                        | 35CrMo | 42CrMo |
|-------------------------------------------|--------|--------|
| 抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa                      | 735    | 1080   |
| 屈服强度 $\sigma_s$ /MPa                      | 540    | 930    |
| 伸长率 $\delta_5$ /%                         | 15     | 12     |
| 断面收缩率 $\psi$ /%                           | 45     | 45     |
| 冲击功 $A_{kv}$ /J                           | 47     | 63     |
| 冲击韧性值 $\alpha_{kv}$ /(J/cm <sup>2</sup> ) | 78(8)  | 78(8)  |

从上述两种材料性能对比可以看出，42CrMo 优于 35CrMo，主要机械性能参数对比，42CrMo 的抗拉强度、屈服强度明显优于 35CrMo。因此项目组确定选用材质为 42CrMo 低合金结构钢来制作极靴螺栓，以增强极靴螺栓抗拉强度、屈服强度。

2.1.2 极靴螺栓结构改进设计

为有效降低极靴螺栓的应力集中系数，同时考虑到极靴螺栓能便于快捷安装与拆卸的要求。项目组对

原极靴螺栓的过渡圆角、极靴螺栓头进行了改进，设计了“八槽型”极靴螺栓（图 2），并对新极靴螺栓与原极靴螺栓的应力集中系数、螺栓头的强度进行了比对分析论证。

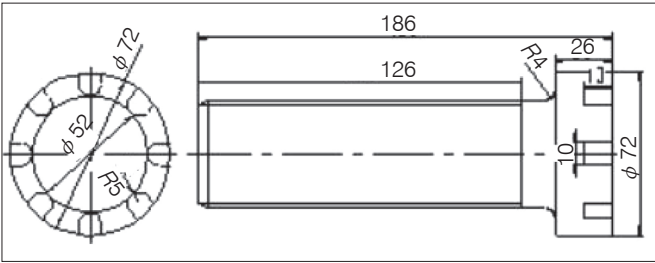


图 2 “八槽型”极靴螺栓设计图

2.1.3 极靴螺栓应力集中系数对比分析

项目组对电机转子的磁极极靴的螺纹孔端部倒角内径进行测量，测量值为  $\phi 55$ ，因此将“八槽型”极靴螺栓的过渡圆角设计为 R4，主要目的是保证过渡圆角与螺纹孔相配合。

为改进原极靴螺栓“十字型”螺栓头拆卸难的问题，项目组初步设计了“八槽型”“六槽型”“四槽型”三种螺栓头，考虑到这三种极靴螺栓在安装、拆卸时，应配套设计“八爪型”“六爪型”“四爪型”三种专用工装，在安装、拆卸极靴螺栓时，主要依靠工装的每个爪头来传递转矩，而“八爪型”工装的每个爪头的受力比“六爪型”减少 25%，比“四爪型”减少 50%。因此项目组确定优先选用“八槽型”螺栓，并对极靴螺栓“十字型”与“八槽型”螺栓头进行了承受拉应力、安全系数对比论证。

设计极靴螺栓需要用专用拆装工具，因此项目组对“八槽型”极靴螺栓安装及拆卸予以配套设计了爪型拆装专用工装。设计的专用工装能与标准的套筒装配，利用电动扳手高效、便捷完成极靴螺栓安装、拆卸。

2.2 开发了大型电机线圈扁铜线银铜钨极氩弧焊焊接技术

针对卷板厂酸轧线轧机同步电机因极靴螺栓断裂，造成电机定子线圈第一层扁铜线损伤，部分扁铜线损伤部位接近断裂边缘，项目组决定采用对损伤扁铜线实施焊接修理，且焊接时不能损伤层间的绝缘层或第二层扁铜线。因此项目组开发了线圈扁铜线银铜钨极氩弧焊焊接技术。

2.3 开发了转子阻尼条与极靴焊接并在槽内注入硅橡胶的整体固定方法

针对原电机阻尼条发生松动，易导致阻尼条放电打火，严重时会导致转子阻尼条挤出铁芯槽或断裂的设备隐患，项目组开发了转子阻尼条与极靴焊接并在槽内注入硅橡胶的整体固定方法。

阻尼条焊接固定方法。为有效固定阻尼条，防止阻

尼条在电机长期高速运行发生松动现象,项目组对极靴槽内阻尼条两端100mm处增设两个固定点,中间部位增设一个固定点,采用焊接方法,将每条阻尼条与极靴进行焊接固定。

焊接工艺的选择。为防止焊接造成母材温度过高,损伤励磁绕组,选用氧焊,焊材选用熔点较低的银铜 $\phi 2.0$ 焊丝。焊接时均沿槽口进行施焊,每条焊缝长6cm左右,施焊完成后,使用砂纸打磨焊缝,使每一条加固焊缝表片平整光滑,并用无水酒精进行清洗干净。

极靴槽内注入硅橡胶的固定方法。电机转子清理干净后,在阻尼条与极靴两侧,沿阻尼条极靴槽口注入密封硅橡胶990603A,填满槽内间隙,硅橡胶固化后,再喷油漆覆盖进行亮化。

### 3 项目解决的关键技术难题

项目组通过对酸轧轧机主电机快速修理技术开发与应用,成功地解决了原电机存在的以下难题。

- (1) 解决了电机原极靴螺栓存在疲劳断裂的设备缺陷问题;
- (2) 解决了电机极靴螺栓安装、拆卸的难题;
- (3) 解决了电机线圈扁铜线现场焊接修理技术难题;
- (4) 消除电机转子阻尼条在电机长期高速运行下发生松动的隐患。

### 4 实施效果

(1) 项目实施后,电机修理时间在两天内完成,实现了现场快速修复,比返厂维修缩短了38天。

(2) 项目实施后,极靴螺栓屈服强度提高了72.6%,应力集中系数下降了27%,螺栓头承受的拉应力降低了21.6%,螺栓头安全系数提高了119%。

(3) 项目实施后,电机的定子绝缘电阻、三相直流电阻不平衡系数均达到出厂技术指标。

(4) 项目实施后,对极靴槽内阻尼条采用与极靴槽进行焊接,并在槽内注入硅橡胶两方式进行固定,阻尼条与极靴连为一体。

### 5 主要创新点

自主设计的“八槽型”高强度极靴螺栓,提高了螺栓的强度,降低了应力集中系数,解决了极靴螺栓在电机长期高速运行下发生疲劳断裂的缺陷与极靴螺栓难拆卸的问题。

开发了大型电机线圈扁铜线银铜钨极氩弧焊焊接修

理技术。在不拆卸定子线圈扁铜线的情况下,采用银铜钨极氩弧焊焊接扁铜线,实现大型电机线圈扁铜线就地焊接的快速修理,解决了就地线圈扁铜线焊接修理造成绕圈匝间绝缘层及下层扁铜线受损的难题。

开发了转子阻尼条与极靴焊接并在槽内注入硅橡胶的整体固定方法,解决电机转子阻尼条在电机长期高速运行下发生松动的隐患。

### 6 效益分析

大型交流同步电机定子线圈扁铜线发生严重刮伤,此类故障的修理基本上是返厂维修,对生产线将带来严重的影响。项目组开发了大型电机银铜钨极氩弧焊焊接修理技术,解决了大型交流同步电机定子线圈扁铜线现场修理的难题,三相电阻不平衡系数、绝缘电阻均达到相关技术要求,也通过了相关部门的专业检测。此项技术的开发为本公司电机修理走向市场,或与电机制造厂联合对现场大型电机实现快速修理奠定了技术基础。

### 7 推广应用前景

大型同步电机线圈扁铜线银铜钨极氩弧焊修理的工艺技术,能在短期内现场对定子线圈扁铜线进行快速修复;转子阻尼条与极靴焊接并在槽内注入硅橡胶的整体固定方法,能有效消除电机转子阻尼条在电机长期高速运行下发生松动的隐患;设计的“八槽型”高强度极靴螺栓,能有效解决因极靴螺栓强度不足发生断裂的设备缺陷问题,上述三项技术在电机制造及现场电机修理中,都具有良好的推广价值。

### 8 结语

电机线圈扁铜线银铜钨极氩弧焊焊接技术,转子阻尼条与极靴焊接并在槽内注入硅橡胶的固定方法,设计的“八槽型”高强度极靴螺栓,三项技术的研究与应用,为开发大型同步电机现场修理的新技术,在国内冶金钢铁行业处在领先水平。

### 参考文献:

- [1] 王景明,盛志伟.大型交流同步电动机安装方法[J].科学技术创新,2020(23):195-196.
- [2] 李芳芳.高压电机定子线圈脱焊故障查找及处理[J].中国高新科技,2019(15):91-93.

作者简介:刘艳(1988.07-),女,汉族,江西新余人,本科,工程师,研究方向:机械设备运行管理。