

# 连轧管机的主电机性能预控

闫文秀<sup>1</sup>, 国庆稳<sup>2</sup>

(1. 太原重工股份有限公司, 山西 太原 030024;

2. 黑龙江建龙钢铁有限公司, 黑龙江 双鸭山 155126)

**摘要:**连轧管机组需要70多台电机协同工作,开发一种能确保电机稳定运行的电控系统十分必要。电机的温度、电流、震动是电机性能和性能的变化的重要特征体现,这就需要寻找一种可靠的温度、电流、震动信息采集方案;有效比对采集后的温度、震动信息能实现电机性能的预测,电机电流限幅作为拖动设备的极限值保护。通过投入以上手段能够减少连轧管机组电机的故障率和提升整个机组的作业率。

**关键词:**轴承;绕组;热敏电阻;温度巡检仪;分析服务器;预判断

**中图分类号:**TM921 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd21770

## Pre-control of Main Motor Performance of Continuous Rolling Mill

YAN Wenxiu<sup>1</sup>, GUO Qingwen<sup>2</sup>

(1. Taiyuan Heavy Industry Co., Ltd., Taiyuan 030024, Shanxi, China; 2. Heilongjiang Jianlong

Iron and Steel Co., Ltd., Shuangyashan 155126, Heilongjiang, China)

**Abstract:** More than 70 motors are required for the continuous rolling mill unit to work together. It is necessary to develop an electronic control system that can ensure the stable operation of the motor. The temperature, current, and vibration of the motor are important characteristics of the performance and change of the motor. This requires finding a reliable solution for collecting temperature, current, and vibration information; effectively compare the collected temperature and vibration information to realize the prediction of the motor performance, and the motor current limit is used as the limit value protection of the dragging device. The investment through the above means can reduce the failure rate of the motor of the continuous rolling mill unit and improve the operation rate of the entire unit.

**Key words:** bearing; winding; thermistor; temperature patrol instrument; engineer station; pre-judgment

三辊式连轧管机组是高效生产无缝钢管的轧管机机组,是将穿孔后的毛管套在长芯棒上,通过一组由5~6架互成120°的连续布置的三辊式机架将其轧制成荒管,从而实现高度机械化和自动化的轧管方式<sup>[1]</sup>。52台的主电机和20多台的主要辅助电机共同实现机组的生产运行,如何保证电机的正常工作成为机组正常生产的重点之一。

太重近几年承揽了华润制钢Φ180三辊式连轧管机组、韩国日进的Φ180三辊式连轧管机组、山东墨龙Φ180三辊式连轧管机组、山东金正阳Φ180三辊式连轧管机组、包头Φ100三辊式连轧管

机组等连轧项目。以上这些项目中的电机和传动都由太重设计和供货,且这几个项目已经投入使用或将要投入使用。

## 1 主电机使用概况

主电机主要包含如表1所示的几部分(电机功率以Φ180为基准)。连轧机主电机布置图如图1所示。

主电机使用呈现以下5个特点:分布广,连轧机热轧线长度300多m宽度40m,电机安装在平台下-5m至平台上的6m标高;功率跨度大,主电机功率从穿孔机主电机的3000kW到张减机

基金项目:山西省科技重大专项(20191102009)

作者简介:闫文秀(1975—),男,本科,高级工程师,Email:369012279@qq.com

电机仅有 200 kW;形式多样,穿孔机主电机、限动主电机采用空水冷的冷却模式,其余的采用风冷,即使同功率电机也存在安装的差异(轧机每个机架3台互为 $120^\circ$ ),下左和下右部分安装的电机巡检困难(如图1所示);工作环境差,连轧主电机和 $1\ 100^\circ\text{C}$ 热轧钢管仅有3 m的距离,对于下左、下右安装的电机上部有轧辊冷却水、减速机润滑稀油管路、轧制过程石墨等,整体电机工作环境差;过载倍数大,部分电机的周期性尖峰负荷需要过载倍数达到2倍的额定值。

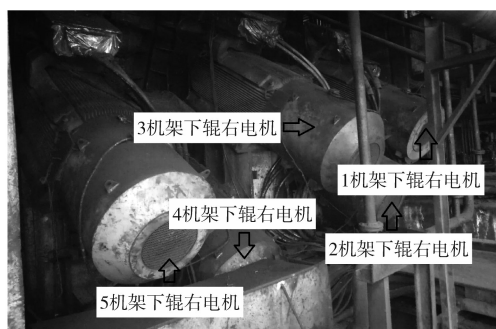


图1 连轧机主电机布置图

Fig.1 Layout of the main motor of the continuous rolling mill

表1 主电机清单

Tab.1 List of main motors

| 设备名称     | 单机架电动机功率/kW | 数量 |
|----------|-------------|----|
| 穿孔机主电机   | 3 000       | 2  |
| 穿孔顶杆小车电机 | 320         | 1  |
| 1~3架主轧机  | 800         | 9  |
| 4~5架主轧机  | 450         | 6  |
| 6架主轧机    | 300         | 3  |
| 1~3架脱管机  | 200         | 3  |
| 限动小车     | 650         | 4  |
| 张减机电机    | 200         | 24 |

轧线电机台数众多、形式多样、环境恶劣,如果不能有效维护,电机发生故障的概率比较高。而任意一台电机发生故障将导致整个轧线需要停机。目前在提升电机使用寿命、确保其长时间稳定运行方面,除了加强人工巡检,同行业中在电机的维护和保养方面所能采取的有效措施也仍然是非常有限的。而人工巡检会因个体差异带来生产线维护的不确定性。

## 2 控制方案

交流电机常见故障为两类:一类是电气方面的故障,如电刷、定子绕组、转子、接线端子及控制设备等的故障;另一类是机械方面的故障,如

轴承、机壳、端盖、轴承盖、转轴。

电动机发生故障时,会出现一些异常现象,如:温度升高,电流过大、振动增大,速度不稳等。根据设备与电机的当前和历史工作状态,提前对可能出现的故障状况做出相应的预判,并有计划的对设备和电机进行维护保养,就显得十分必要了。在轧制同规格的产品时,通过电机的电流、温度、振动、速度的当前实际数值和数值的历史趋势分析和判断可实现电机95%以上故障的预测。

## 3 温度监控实现

温度采集示意图如图2所示。

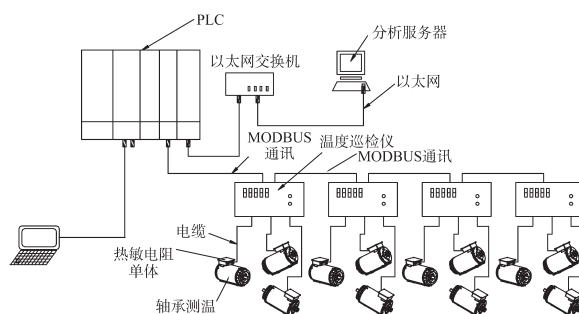


图2 温度采集示意图

Fig.2 Schematic diagram of temperature acquisition

为确保三辊连轧管机的主电机温度预控<sup>[2]</sup>监测的准确性和可靠性,在每个电机的轴承、绕组处都预埋两个热敏电阻单体(KTY84或PT100),热敏电阻将通过电缆连接至温度巡检仪,2路轴承测温回路都被连接至温度巡检仪而绕组测温则采用1路连接,1路备用。温度信息被温度巡检仪通过MODBUS通讯传输至PLC中,温度信息将从PLC通过以太网传输至分析服务器。图3为PLC的硬件配置图,图4为PLC中温度值读取的实现方法。

温度信息的上极限将在PLC中进行逻辑判断。一旦轴承达到 $85^\circ\text{C}$ 或绕组温度达到 $90^\circ\text{C}$ (F级绝缘)将触发电机温度高报警,报警后提醒检修人员现场检测并采取一定的冷却措施;一旦轴承达到 $90^\circ\text{C}$ 或绕组温度达到 $95^\circ\text{C}$ (F级绝缘)将触发电机温度过高报警,报警后允许当前正在轧制钢管完成轧制,本次钢管轧制结束后轧线设备停机同时触发故障报警停机信息。被传输至分析服务器的电机信息将作为电机预控制模型输入参数。

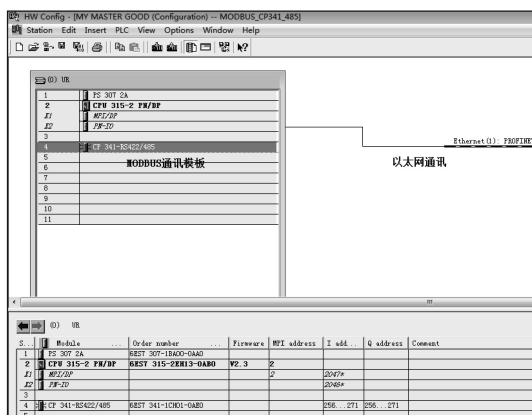


图3 硬件的配置

Fig.3 hardware configuration

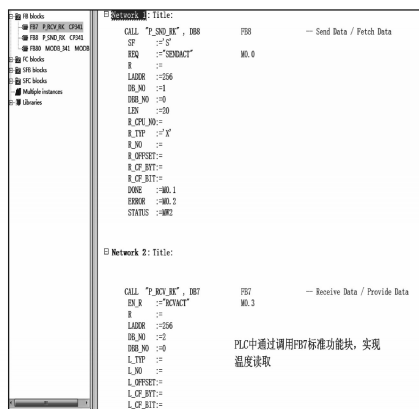


图4 程序的编写

Fig.4 Programming

使用热敏电阻测量温度是一种通用的办法,但通过温度巡检仪固有 MODBUS 通讯能力实现温度信息的传输是一种经济性很好的工程办法。仅需要有限的增加成本即可实现温度采集和传输功能。较少温度检测的回路也可以采用热敏电阻连接 PLC 的模拟量输入模板的办法实现温度采集功能<sup>[3]</sup>,温度检测数量较多的回路还使用 PLC 的模拟量输入模板方法<sup>[4]</sup>不仅会增加成本而且也不便于维护。1 个模拟量输入模板最多可以连接 8 路热敏电阻实现温度的采集,而价格相对低廉的温度巡检仪可以连接 16 路热敏电阻实现温度的采集。采用模拟量输入模板采集方法的优势在于数据采集可以在 20 ms 的时间内完成采集,但是实现电机温度控制的功能以秒为计时单位的温度巡检仪完全能够胜任。

## 4 电流监控实现

主机电流数值通过主电机的变频数字调速传动装置系统中读取<sup>[5]</sup>,主电机变频调速传动装置通过 Profi-Net 网络实现了传动系统和 PLC

的信息连接。

变频调速传动装置网络图如图5所示。主电机电流数值将被传输至分析服务器<sup>[6]</sup>。

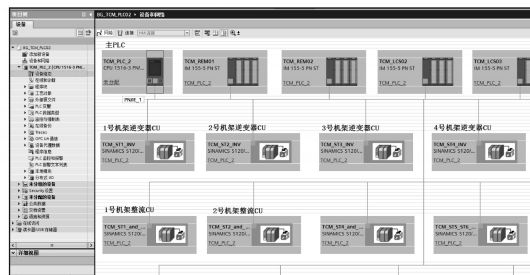


图5 变频调速传动装置网络图

Fig.5 Network diagram of frequency conversion speed control transmission device

工作中电机电流信息的上极限将在 PLC 中进行逻辑判断。在分析服务器的轧制数学模型中输入轧制品种和规格,轧制最大电流  $I_{LMAX}$  和稳定轧制电流  $I_{LST}$  将会被生成,该数值将被传输至 PLC。轧制时候实际电流值  $I_{ACT}$  将和  $I_{LMAX}$  进行比较,在咬钢阶段如果  $I_{ACT} > 1.15 I_{LMAX}$  将触发工艺报警,需要在下一支轧制前核查工艺数据和电机状态;在轧制阶段如果  $I_{ACT} < 0.75 I_{LST}$  将触发设备和工艺报警,需要现场核查设备和工艺参数。如果  $I_{ACT} > 1.6 I_{LMAX}$  将触发事故报警,以避免过大的工作电流致使电机烧毁或造成设备损坏。

## 5 电机振动实测

在主电机的传动端、非传动端、机体处都装设震动传感器,震动传感器将通过电缆连接至震动数据采集单元。震动信息被震动数据采集单元通过以太网通讯传输至数据分析服务器。震动信息采集示意图如图6所示。

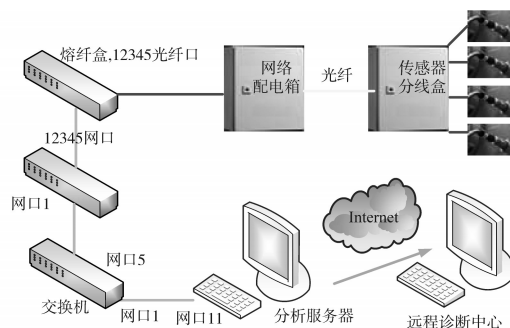


图6 震动信息采集示意图

Fig.6 Schematic diagram of vibration information collection

1个震动数据采集单元可以连接16路震动传感器,支持所有通道数据同步采集,并且传感

器和电缆连接状况可实现自我诊断。测量后的电机震动信息可以连续显示、存储。

关于震动针对不同电机将建立对应的预警模型<sup>[7]</sup>,根据频谱分析监测故障类型,给出震动来源如表2所示,震动加速度、速度、位移等信息将以曲线方式进行显示,其中震动加速度变化率是施加在设备上作用力的主要体现,图7为电机实测振动加速度变化率曲线。4条曲线自上而下分别表示电机非驱动端1H,电机驱动端2H,泵驱动端3H,泵非驱动端4H。

表2 震动来源

| Tab.2 Source of vibration |        |       |                         |
|---------------------------|--------|-------|-------------------------|
| 序号                        | 故障类型   | 故障部位  | 故障描述                    |
| 1                         | 工频故障   | 基础故障  | 结构松动                    |
|                           |        | 不平衡   | 电机转子不平衡                 |
|                           |        | 不对中   | 相互耦合的两个转子中心不重合          |
|                           |        | 松动    | 零部件连接螺栓松动、轴承配合松动        |
| 2                         | 机械部位损伤 | 轴承损伤  | 轴承内圈剥落、外圈剥落、滚动体剥落、保持架磨损 |
|                           |        | 联轴器损伤 | 联轴器膜片撕裂、膜片变形、螺栓磨损、螺栓断裂  |
|                           |        | 断轴    | 轴裂纹、轴断裂                 |
| 3                         | 工艺类    |       | 负载不稳定                   |
| 4                         | 其它     |       | 连接设备震动                  |

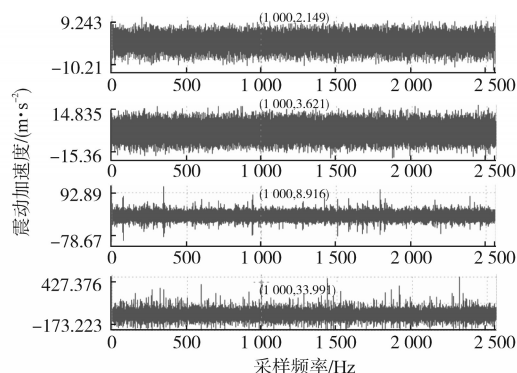


图7 电机震动信息

Fig.7 Motor vibration information

## 6 电机预控模型建立

轧制的品种和规格参数被操作人员输入到分析服务器,而当前轧制轧件温度和生产环境温度被实时采集。电机的实测温度、震动信息和电流信息都将通过网络汇聚到分析服务器。以轧制规格和品种建立数据库关键字,电机的最大电流、平均电流和电机各部位温度、震动信息将作为附属。再次轧制相同产品时候电机相同部位温度就会形成趋势图。根据趋势图结合震动频谱数据分析结果,可以实现电机的故障预判断,

如轴承润滑不良或绕组异常等。

通过收集电机信息建立多参数预警模型,可以实现电机的性能预判断功能。多参数预警模型如图8所示。这种技术有能力在异常发生的初期即触发报警,有助于避免更严重的损失。根据对应电机数据采集建立电机健康指数和更换指数2项。

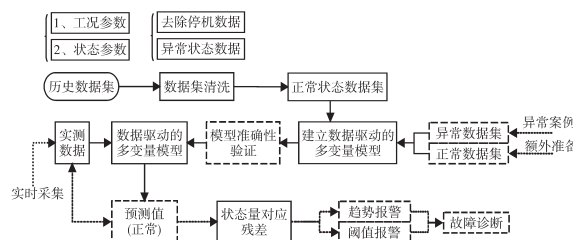


图8 多参数预警模型

Fig.8 Multi-parameter early warning model

根据趋势图电机的健康状况将被显示,针对每个电机提出对应的解决问题办法和路径。电机健康状况评价表如表3所示。

表3 电机健康状况评价表

| Tab.3 Motor health evaluation table |                 |      |    |      |                    |                              |
|-------------------------------------|-----------------|------|----|------|--------------------|------------------------------|
| 序号                                  | 设备名称            | 运行状态 | 部件 | 健康状态 | 诊断结论               | 检修维护建议                       |
| 1                                   | 1#矫直机上          | 运行   | 电机 | 正常   | 正常                 | 无                            |
| 2                                   | 1#矫直机下          | 运行   | 电机 | 正常   | 正常                 | 无                            |
| 3                                   | 2#矫直机上          | 运行   | 电机 |      | 电机自由端刚度偏差,近期震动幅度增大 | 检查电机非驱动端地脚螺栓状态               |
| 4                                   | 2#矫直机下          | 运行   | 电机 | 正常   | 正常                 | 无                            |
| 5                                   | 1#矫直机<br>1号液压电机 | 停机   | 电机 | 注意   | 当前保持稳定,电机驱动端存在磨损特征 | 巡检关注电机驱动端异响,检查转子与护罩或端盖有无摩擦现象 |
| 6                                   | 2#矫直机<br>2号液压电机 | 运行   | 电机 | 正常   | 正常                 | 无                            |

## 7 注意事项

温度巡检仪、震动信号采集箱放置于被检测物体的近距离位置,这样可以缩短检测和信息采集仪表之间连接电缆的长度从而提升温度、震动信息检测精度的目标。热敏电阻单体采用KTY84或PT100需要和温度巡检仪进行匹配使用。

## 8 结论

通过连轧管机的主电机性能预控的投入可以实现主电机性能的预判,实现性能较差电机提

前准备,在设备检修期间提前更换健康状况不佳的电机。电机性能预控功能已经在黑龙江建龙钢铁关键设备在线监测项目中得到了应用,实现了故障率减低5%的目标。下一步信息检测使用带有边沿控制的温度、振动传感器可以实现系统的更优化,减少过程数据的传输以及对非必要数据的处理。论文撰写过程中江苏精益智控科技有限公司和黑龙江建龙有限公司提供了大量详实数据。

## 参考文献

- [1] 李元德,李国栋,田颖峰. 对连轧管机机型选择的探讨[J]. 钢管,2011,40(2):20-24.
- [2] 闫文秀. 三辊连轧管机的电机监测系统:中国,201110460011.4[P]. 2015.01.28.
- [3] 周静,杨飞,尚海燕. 旋转导向钻井中矫正温度对无刷电机影响研究[J]. 电气传动,2019,49(9):77-81.
- [4] 李义,昌亮. 一种电机温度远程监测装置:中国,201020237074.4[P]. 2010.06.25
- [5] 闫文秀. SINAMICS在三辊无缝钢管连轧管机上的应用[J]. 冶金自动化,2013,37(5):61-66.
- [6] 曹学旺,梁素芬,穆太青,等. 大功率整流电源在热连轧生产线上应用[J]. 电气传动,2017,47(5):7-9.
- [7] 戴靠山,毛振西,赵志,等. 不同频谱特性地震动下某风电塔响应振动台试验研究[J]. 工程科学与技术,2018,50(3):125-133.
- [11] 收稿日期:2020-04-14  
修改稿日期:2020-05-09
- [12] Kanchan R S, Tekwani P N, Gopakumar K. Three-level Inverter Scheme with Common Mode Voltage Elimination and DC-Link Capacitor Voltage Balancing for an Open End Winding Induction Motor Drive [J]. IEEE Trans. Power Electron., 2006,21(6):1676-1683.
- [13] Oikonomou Nikolaos, Holtz Joachim. Optimal Control of a Dual Three-level Inverter System for Medium-voltage Drives [J]. IEEE Trans. Ind. Appl., 2010,46(3):1034-1041.
- [14] Somasekhar VT, Srinivas S. Switching Algorithms for the Dual Inverter Fed Open-end Winding Induction Motor Drive for 3-level Voltage Space Phasor Generation [J]. Asian Power Electronics Journal, 2007,1(1):96-110.
- [15] Somasekhar V T, Srinivas S, Kumar K. K. Effect of Zero-vector Placement in a Dual-inverter Fed Open-end Winding Induction-motor Drive with a Decoupled Space-vector PWM Strategy [J]. IEEE Trans. Ind. Appl., 2008,55(6):2497-2505.
- [16] Jae Hyeong Seo, Chang Ho Choi, DongSeok Hyun. A New Simplified Space-vector PWM Method for Three-level Inverters [J]. IEEE Trans. Power Electron., 2001,16(4):545-550.
- [17] Chung Dae-Woong, Kim Joohn-Sheok, Sul Seung-Ki. Unified Voltage Modulation Technique for Real-time Three-phase Power Conversion [J]. IEEE Trans. Ind. Appl., 1998,34(2):374-380.
- [18] 收稿日期:2019-02-27  
修改稿日期:2019-05-19

=====

(上接第9页)

Voltage Source Inverter Drives [C]//Proc. EPE' 93 Conf., 1993:7-14.