

基于6RA80的12脉动并联在轧钢系统中应用

王文广^{1,2}, 邱书明^{1,2}, 白洋¹, 高鹏程^{1,2}, 于世鹏^{1,2}

(1.天津电气科学研究院有限公司, 天津 300180;

2.天津天传电气传动有限公司, 天津 300301)

摘要:以轧钢生产线改造为例,详细描述SIEMENS SINAMICS DCM 6RA80的12脉动并联电控系统在轧钢系统中的设计,以及整流变压器、整流装置、平波电抗器等主要器件计算选型。重点阐述了6RA80在12脉动并联系统中的主从装置间并行通讯、主机与励磁装置的点对点通讯,以及整流系统中的主从装置电流平衡、过压保护、过流保护功能,并对各种保护功能的必要性进行详细说明。

关键词:12脉动并联;并行通讯;系统保护

中图分类号:TM921 **文献标识码:**B **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd24342

Application of 12-pulse Parallel Based on 6RA80 in Steel Rolling System

WANG Wenguang^{1,2}, QIU Shuming^{1,2}, BAI Yang¹, GAO Pengcheng^{1,2}, YU Shipeng^{1,2}

(1. Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd., Tianjin 300180, China; 2. Tianjin Tianchuan Electric Drive Co., Ltd., Tianjin 300301, China)

Abstract: Taking the steel rolling system improvement as an example, the design of 12-pulse parallel electric control system of SIEMENS SINAMICS DCM 6RA80 in the steel rolling system was described in detail, as well as the calculation and selection of main components, such as rectifier transformer, rectifier device and smoothing reactor. The parallel communication between the master and slave devices, the peer to peer communication between the master and the excitation device, the functions of the current balance, overvoltage protection and overcurrent protection of the master and slave devices in the rectifier system were stressed, and the necessity of various protection functions was described in detail.

Key words: 12-pulse parallel; parallel communication; system protection

在大功率带钢热轧生产线上,轧机是整套系统中的重要部分,原轧机电控系统采用SIEMENS SINAMICS DCM 6RA70的扩容系统。目前,SIEMENS SINAMICS DCM 6RA70已停产,现有电控系统元器件老化,故障率增加,谐波大,功率因数低,轧机运行不平稳,启动过程波动较大,设备运行可靠性不高^[1],导致设备维护成本明显增加,因此对原有设备进行升级改造。

在该系统中,鉴于电机功率大、转速较低,系统继续沿用12脉动并联供电,可以减轻对电网的干扰,特别是减轻整流电路高次谐波对电网的影响。在原电机及整流变压器保持不变的情况下,采用SIEMENS SINAMICS DCM 6RA80控制系统对SIEMENS SINAMICS DCM 6RA70进行替代,功率部分采用RG3A-5 200/860-11-18替代原设备

实现12脉动并联,提升直流装置电流,提高设备的过载能力,同时增加直流平波电抗器、过流保护系统、过压保护系统(over voltage protection, OVP)等,提高设备运行的稳定性。

1 系统简介

轧机控制系统主要由整流变压器、控制柜、功率柜、直流快速开关、直流平波电抗器、励磁柜等组成。

整流变压器为裂解式三绕组变压器,原边为三角形接法,两个副边绕组一个为三角形接法、另一个为星形接法。两个副边绕组输出线电压相等,相位相差30°。

主机与从机之间通讯通过并口通讯进行主从控制,主机与励磁之间采用点对点(peer to peer)

通讯。励磁装置为电流闭环控制,由主机发送控制命令及电流目标设定值。

图1为轧机控制系统框图。

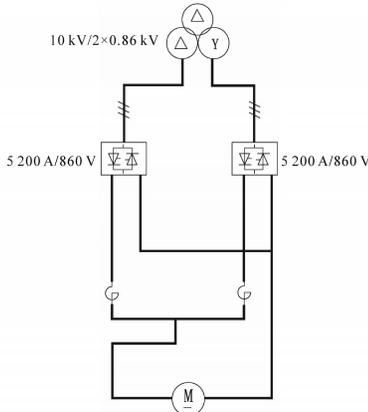


图1 系统框图

Fig.1 System block diagram

1.1 电机数据

直流电机额定功率4 250 kW,额定电压860 V,额定转速70/120 r/min,额定电流5 470 A,额定励磁电流534.4 A,额定励磁电压220 V。

电机运行工况为S9工作制,电机过载能力为:175%额定负载运行,过载时间120 s。

1.2 传动系统配置

1.2.1 整流变压器

整流变压器一次侧为三角接法,电压为10 kV;二次侧绕组采用双绕组,一组采用三角连接绕组、另一组采用星形连接绕组,两个绕组之间输出相位相差30°,二次绕组输出电压相同,均为860 V。变压器容量为

$$S = m \frac{K_{IV}}{K_{UV}} U_d I_d \quad (1)$$

式中: U_d 为变压器二次绕组额定电压; I_d 为电机额定电流; m, K_{IV}, K_{UV} 为12脉动全控桥变压器容量换算系数。

根据计算,现场采用变压容量为6 300 kV·A。

1.2.2 整流装置

功率装置负载能力如表1所示。

表1 装置容量

Tab.1 Device capacity

	额定电流/ A	150% 过载 (60 s)/A	200% 过载 (60 s)/A
单机装置参数	5 200	3 600/5 400	3 000/6 000
并联装置参数	9 880	6 840/10 260	5 700/11 400

控制系统采用两套6RA80CM-1000-85-1B作为控制器,该控制器可根据功率检测部分任意

调节电压及电流采样等级。功率部分采用RG3A-5200/860-11-18,可实现150%和200%短时过载。

励磁采用外部励磁方式,选用一台ZX1C-600/400-01-S80为励磁绕组供电。

1.2.3 直流平波电抗

在12脉动主从控制方式来实现两台直流驱动装置的电流(功率)均衡的同时,主机和从机电枢输出是并联的,输出侧即使很小的电压差也可能导致电流的突变,因此在主机和从机输出侧增加直流平波电抗器,减小电流的变化率,从而使变流系统工作更加可靠。

平波电抗器选型公式为

$$L_L = (0.296 \times 10^{-3} \times U_d) / (0.2 \times I_d) \quad (2)$$

$$U_L = 1.35 \times U_d \quad (3)$$

式中: L_L 为平波电抗器电感; U_L 为平波电抗器额定电压。

根据平波电抗器选型公式,平波电抗器选型为:额定电压 U_L 为1 000 V,额定电流3 000 A,电感 L_L 为0.6 mH。

2 系统功能

2.1 装置通讯

两台6RA80CM-1000-85-1B之间采用并口通讯方式,通讯控制信号(包括控制指令,触发脉冲,触发角等)自动发送。并行通讯还可以通过二进制互联和模拟量互联接口(binector input and conector output, BICO)连接传出其他参数,实现两台控制器之间数据交换。

在这个系统中主机为速度闭环控制,主机向从机发送触发角设定值和触发脉冲,从机跟随主机触发角设定值。

系统通讯的拓扑结构如图2所示。

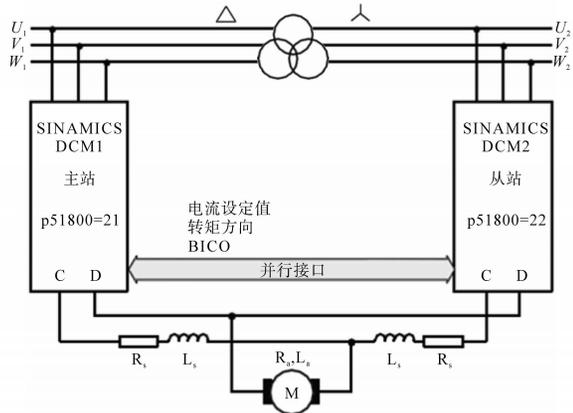


图2 系统通讯拓扑结构

Fig.2 System communication topology

2.2 电流平衡

电流平衡的控制是通过并口通讯将主机的触发角设定值和触发脉冲传输到从机,从机根据主机的触发角设定值触发晶闸管。

系统设计注意:由于直流装置输出侧并联,每台装置输出侧需配以直流平波电抗器来限制电流的变化率,确保主从之间的电流能够平衡;基于变压器的物理特性,一个整流变压器的二次侧仅允许运行一套12脉动系统,否则会导致输出电流的不平衡。

3 系统保护

3.1 直流平波电抗器

在12脉动并联的系统中,主机和从机均为三相桥式整流,整流装置输出的直流电压为6脉波电压。尽管每台整流装置输出的整流电压平均值相同,但是由于它们的脉动波相差 30° ,它们的瞬时电压会有不同,因此在12脉动并联系统中每个整流装置的输出侧都会有一个频率为 $6f$ 的交变电压(f 为进线电压的频率),主从装置间的交变电压差为 ΔU ,这个电压差会在直流的输出母排上产生电流 Δi ,通过并联的整流装置自成回路,不会通过电机电枢,这种情况下会产生环流。

为解决环流的情况,有效的方法是在电机主回路中串接平波电抗器来减小电流的脉动和延长晶闸管的导通时间^[2],防止闭环环流的产生。同时能够有效地减小晶闸管在开通关断时产生的高次谐波对电网的影响。

3.2 过流保护系统

3.2.1 控制器内的电流调节器

整流装置在交流进线侧配置两相交流电流互感器,通过采集交流进线电流计算整流后的直流电流。

标准电流互感器二次侧的额定电流为5 A,电流太大,不利于选配检测电阻,同时二次侧允许输出的电压也较低(小于3 V),在控制回路中使用不方便。因此采用二级变换,第一级从大电流变至5 A,第二级从5 A变至0.1 A,最后通过控制系统的采样电阻进入到系统中,控制系统根据测量到的两相交流进线电流计算得到整流的直流输出电流。

通过电流调节器闭环控制确保整流装置的正常工作。当电机电流较大时,通过限制晶闸管

触发角度来控制整流装置的电流输出;当故障电流超过装置或电机的过载能力时,快速切断晶闸管的触发脉冲,防止设备的损坏。

3.2.2 直流侧快速开关保护

在大容量的可逆整流装置系统中,直流侧设置直流快速开关。当系统产生逆变失败、晶闸管误触发或者12脉动系统中无环流控制失灵时,快速切断电流,有效地保护晶闸管,同时也可以有效地避免过电流故障时造成交流进线侧快速熔断器熔断。

通常,直流快速开关的分断电弧时间为25~30 ms,快速开关的动作时间和动作电流与直流侧的平波电抗器相匹配,可以有效地保护整个系统。

3.2.3 快速熔断器保护

在大容量的整流系统中,在每个桥臂的整流器件均串联一个快速熔断器作为系统的最终保护。在整流系统中发生内部或外部的短路故障时,保证在高压断路器不能及时有效地切断故障电流时,快速熔断器能够快速熔断,避免故障扩大化。

3.3 过压保护系统

3.3.1 压敏电阻保护回路

在整流装置交流进线侧,采用压敏保护回路,如图3所示。

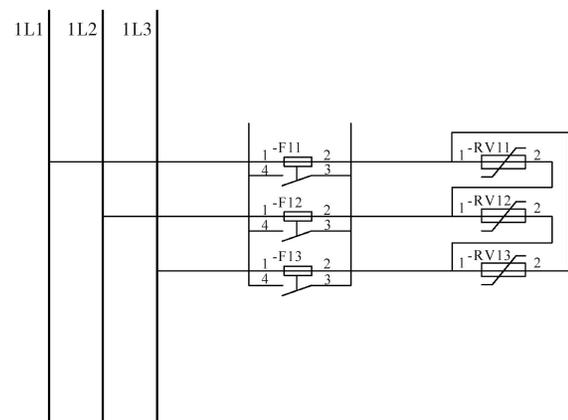


图3 进线过压保护

Fig.3 Incoming line OVP

压敏电阻是一种由氧化锌为主要成分的金属氧化物烧结成的非线性电阻元件,其主要优点是:压敏电阻具有正反相同的陡峭的伏安特性曲线,在正常工作时只有很微弱的电流(1 mA以下)通过元件,而一旦出现过电压时,压敏电阻可通过高达数kA的放电电流,将电压抑制在允许的范围,并具有损耗低、体积小、对过电压响应快等优点^[3]。

压敏电阻配合快速熔断器,可在出现电压过高、能量无法全部释放的情况时,保护压敏电阻本体不损坏,并且反馈到控制系统。

3.3.2 换相过电压用阻容保护回路

在三相全控整流系统中,由于晶闸管存在载流子积蓄的效应,当晶闸管在反向电压的作用下其载流子迅速消失恢复阻断的过程中,由于系统回路中有电感(变压器电感和进线电抗器电感)的存在,在晶闸管开通关断时两端会出现过电压的情况,通过在晶闸管两端并联电阻和电容(resistance and capacitance, RC)进行抑制,阻容保护示意图如图4所示。

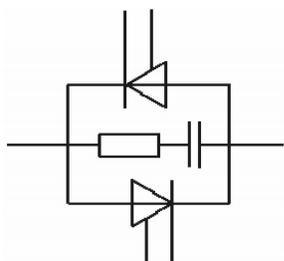


图4 阻容保护

Fig.4 RC protection

3.3.3 直流平波电抗并联压敏保护回路

在12脉动整流系统中,配置有直流平波电抗器和直流快速开关。

当直流快速开关因过流断开时,直流平波电抗器由于电感存在,电流不会突变,由于回路断开,直流电抗器上可能产生很高的电压,可能导致电抗器内绝缘击穿。

在直流平波电抗器两端并联压敏电阻,在快速开关断开时,电抗器与压敏电阻形成回路释放过

多的能量,可以避免电抗器内绝缘击穿现象发生。

4 结论

以6RA80的12脉动并联电控系统在轧钢系统中的改造为例,通过对旧设备的问题进行分析,提供全新的系统方案。对系统方案进行全面介绍,同时对系统中整流变压器、整流装置、平波电抗器这些主要器件选型计算作出详细的描述,对系统运行中存在的隐患提供相应的系统保护方案。成功完成了生产线的改造,实现生产线稳定可靠的运行。

参考文献

- [1] 刘怀江,张杰文,张森,等. 新型立井提升机直流调速电控系统的探讨及论证[J].能源科技,2019,17(11):33-36.
LIU Huaijiang, ZHANG Jiewen, ZHANG Sen, et al. Discussion and demonstration of DC speed control electronic control system of new vertical shaft hoist[J].Energy Science and Technology, 2019, 17(11): 33-36.
- [2] 王生德. 可控硅直流调速系统中平波电抗器的计算[J]. 郑州大学学报(理学版), 1998, 30(1): 55-58.
WANG Shengde. On calculating method of series reactor in thyristor DC regulating speed system[J]. Journal of Zhengzhou University (Natural Science Edition), 1998, 30(1): 55-58.
- [3] 天津电气科学研究院有限公司. 电气传动自动化技术手册[M]. 第3版. 北京:机械工业出版社, 2011.
Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd. Electrical transmission automation technical manual[M]. 3rd Edition. Beijing: China Machine Press, 2011.

收稿日期:2022-04-29

修改稿日期:2022-06-14

- [5] 程俊文,李慧娟,曹志强. 基于K-means算法和用电信息采集系统的防窃电研究[J]. 供用电, 2019, 36(1): 75-80.
CHENG Junwen, LI Huijuan, CAO Zhiqiang. Research on electricity theft prevention based on K-means algorithm and electricity information acquisition system[J]. Distribution & Utilization, 2019, 36(1): 75-80.
- [6] 邓明斌,徐志森,邓志飞,等. 基于多特征融合的窃电识别算法研究[J]. 计算机与数字工程, 2017, 45(12): 2398-2401, 2414.
DENG Mingbin, XU Zhimiao, DENG Zhifei, et al. Research on electricity stealing identification algorithm based on multi-feature fusion[J]. Computer & Digital Engineering, 2017, 45(12): 2398-2401, 2414.
- [7] CAMPOS G O, ZIMEK A, MEIRA W. An unsupervised boosting strategy for outlier detection ensembles[C]//Proc of Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 2018: 564-576.
- [8] REUNIG M M, KRIEGEL H P, NG R T, et al. LOF: identifying density-based local outliers[C]//Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 2000: 93-104.
- [9] WANG Weixing, LI Hongxia, WANG Kevin, et al. Pavement crack detection on geodesic shadow removal with local oriented filter on LOF and improved level set[J]. Construction and Building Materials, 2020, 237 (Mar.20): 117750.1-117750.9.
- [10] 周志华. 机器学习[M]. 北京:清华大学出版社, 2016: 121-145.
ZHOU Zhihua. Machine learning[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2016: 121-145.
- [11] 伍世虔,卢宇,方志军,等. 一种加权的红外图像线性归一化方法[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(20): 1-5.
WU Shiqian, LU Yu, FANG Zhijun, et al. A weighted linear normalization method for infrared images[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(20): 1-5.
- [12] 李新鹏,高欣,阎博,等. 基于孤立森林算法的电力调度流数据异常检测方法[J]. 电网技术, 2019, 43(4): 1447-1456.
LI Xinpeng, GAO Xin, YAN Bo, et al. Anomaly detection method of power dispatching flow data based on isolated forest algorithm[J]. Power System Technology, 2019, 43(4): 1447-1456.
- [13] 张瑜,罗可. 基于OC-SVM的大型数据集分类方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(4): 131-133.
ZHANG Yu, LUO Ke. Classification method of large data set based on OC-SVM[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(4): 131-133.
- [14] 张静,宋锐,郁文贤,等. 基于混淆矩阵和Fisher准则构造层次化分类器[J]. 软件学报, 2005(9): 1560-1567.
ZHANG Jing, SONG Rui, YU Wenxian, et al. Constructing hierarchical classifier based on confusion matrix and fisher criterion[J]. Journal of Software, 2005(9): 1560-1567.
- [15] 李长山. 基于Logistic回归法的企业财务风险预警模型构建[J]. 统计与决策, 2018, 34(6): 185-188.
LI Changshan. The construction of enterprise financial risk early warning model based on Logistic regression method[J]. Statistics & Decision, 2018, 34(6): 185-188.
- [16] HORYAINOV O M, ALPEEVA O V. Work of trucks and electric vehicles in the logistics system[J]. Nauka ta Progres Transportu, 2008(25): 122-124.
- [17] 谢娟英,高红超,谢维信. K近邻优化的密度峰值快速搜索聚类算法[J]. 中国科学:信息科学, 2016, 46(2): 258-280.
XIE Juanying, GAO Hongchao, XIE Weixin. K-nearest neighbor optimization density peak fast search clustering algorithm[J]. Scientia Sinica(Informationis), 2016, 46(2): 258-280.
- [18] 王道明,鲁昌华,蒋薇薇,等. 基于粒子群算法的决策树SVM多分类方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(4): 611-615.
WANG Daoming, LU Changhua, JIANG Weiwei, et al. Research on decision tree SVM multi-classification method based on particle swarm optimization algorithm[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(4): 611-615.
- [19] 吴潇雨,和敬涵,张沛,等. 基于灰色投影改进随机森林算法的电力系统短期负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(12): 50-55.
WU Xiaoyu, HE Jinghan, ZHANG Pei, et al. Short-term load forecasting of power system based on grey projection improved random forest algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(12): 50-55.
- [20] PAVLOV Yu L. Distributions of the number of vertices in strata of a random forest[J]. Theory of Probability & Its Applications, 1988, 33(1): 96-104.
- [21] 李占山,刘兆庚. 基于XGBoost的特征选择算法[J]. 通信学报, 2019, 40(10): 101-108.
LI Zhanshan, LIU Zhaoeng. Feature selection algorithm based on XGBoost[J]. Journal on Communications, 2019, 40(10): 101-108.

收稿日期:2021-09-18

修改稿日期:2021-10-28