

[变频调速系统]

交直交变频调速系统应用于热轧强力卷取机控制

文/吕少鹏¹ 赵书林² 郭艳兵¹ 许海涛¹

1. 北京金自天正智能控制股份有限公司; 2. 吉林建龙钢铁有限责任公司热连轧厂

热连轧生产线为了适应市场需求、提高产品竞争力, 需要将原来卷取机升级改造为强力卷取机, 驱动卷取机的异步电动机的容量随之增大。介绍了大容量异步电动机传动系统中, 采用PWM交直交、多传动变频调速系统及功率模块并联方式, 满足强力卷取机在全速度范围内的电流和转矩的输出, 重点阐述系统的拓扑结构、功率模块并联关键技术, 以及控制系统和网络配置等, 并对卷取机实际卷钢波形进行详细分析总结。

吉林建龙钢铁有限责任公司热连轧厂1 450 mm热轧生产线年产能300万t, 是一条装备水平高、功能完善的现代化热轧带钢生产线。主要机械设 备由二重集团公司设计及制造, 电气传动系统由北京金自天正智能控制股份有限公司配套, 完成设计、生产制造及现场调试。全线电气传动设备采用SINAMICS S120交直交变频调速系统控制异步电动机的方案, 很好地满足了轧钢生产工艺要求, 保证生产稳定运行。为了进一步扩大产品范围, 提高产品档次, 增强产品的市场竞争力, 决定将2#卷取机扩容、升级为强力卷取机, 以满足热轧带钢后续产品开发需要, 保证产品的优异质量与性能。

强力卷取机的工艺要求及设备组成

在热连轧带钢生产中, 卷取区主要是把从精轧机出来的带钢卷成钢卷并运送到下一道工序。强力卷取机系统是地下卧式结构, 由主卷筒、上下夹送辊及3台全液压助卷辊等组成。为了满足生产厚规格、高强度低合金结构钢板的需求, 综合校验带钢完成卷取的条件, 要满足卷取电动机转矩大于带钢的弯曲力、摩擦力及张力转矩之和的要求。因此, 强力卷取机的主卷筒电动机、上下夹送辊电动机的

容量都比原电动机容量增大1.3倍左右, 见表1。

表1 卷筒电动机和夹送辊电动机改造前后容量 (单位: kW)

种类	卷筒电动机	夹送辊电动机
一般卷取机	1 000	350
强力卷取机	1 300	420

强力卷取机电机参数

强力卷取机的主卷筒电动机为三相笼型异步电动机, 电动机定子绕组接法为4 Δ 形式, 输出接线为单绕组。电动机额定功率1 300 kW, 电压480 V/690 V, 转速290 r/min/1 000 r/min, 电流1 749 A/1 208 A, 频率9.85 Hz/33.6 Hz, 转矩42 810 N·m/12 415 N·m, 功率因数0.92/0.93, 效率93.8%/95.5%。电动机为S1工作制, 1.15倍额定电流长期运行, 2.0倍额定电流60 s过载运行。从电动机数据可以看出, 电动机从480 V到690 V是弱磁升压阶段, 弱磁调速比为3.45:1。

强力卷取机传动系统组成及配置

强力卷取机传动系统采用SINAMICS S120系列、多传动的脉冲宽度调制 (Pulse Width Modulation, PWM) 交直交变频调速系统, 由整流回馈单元、逆

变器单元和控制及网络配置三部分组成。

整流回馈单元由3台1 400 kW/690 V的整流回馈模块（SLM）并联输出直流母线。逆变器单元由4台900 kW/690 V的电动机模块并联构成，驱动1 300 kW/690 V的强力卷取异步电动机。强力卷取

机上下夹送辊电动机容量为420 kW/690 V，分别由两台710 kW/690 V的电动机模块并联供电。控制及网络部分由3块CU320-2DP核心控制板、传动内部网DRIVE-CLiQ及PROFIBUS-DP网络构成。强力卷取机电控系统配置如图1所示。

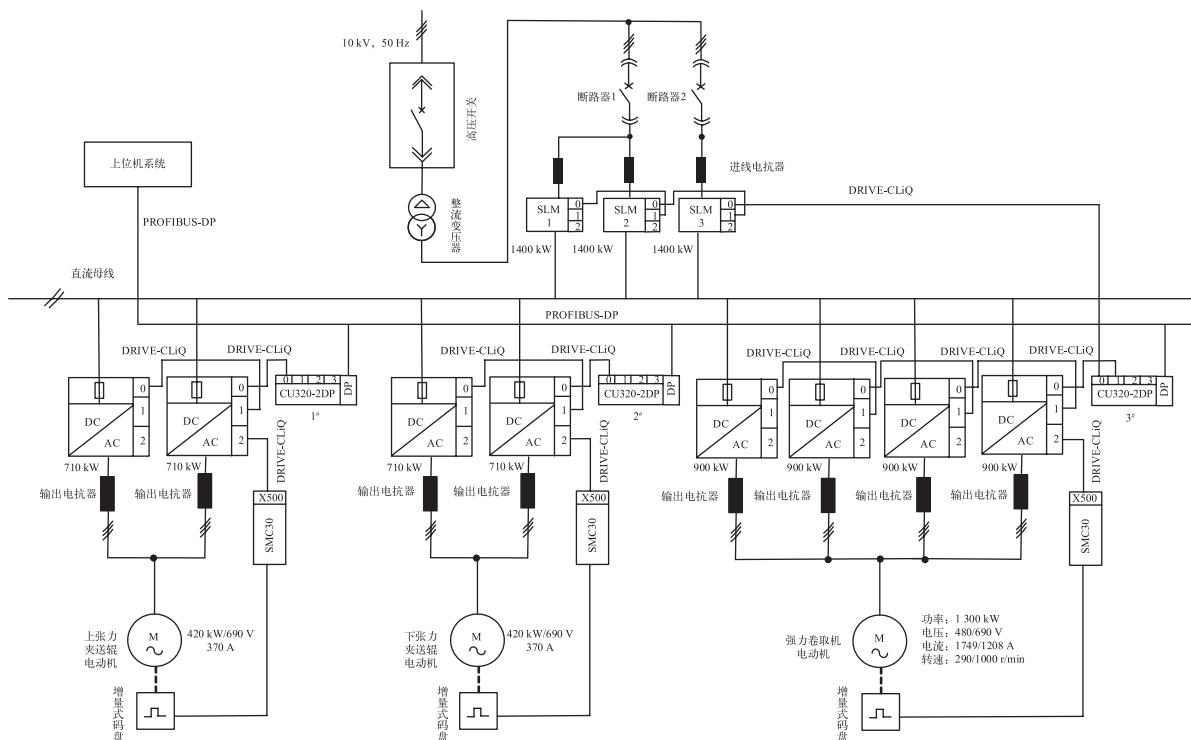


图1 强力卷取机传动控制系统配置图

1. 整流回馈单元

图1中，整流回馈单元由3台SLM模块并联构成，连接到双绕组整流变压器实现三相桥式6相整流。为了解决并联均流问题，相同规格的SLM模块均需要配置4%进线电抗器，整流变压器到SLM之间的电缆规格和长度要相同。此外，进线电抗器还有抑制谐波、减小空载或轻载时的无功电流和保护整流回馈功率器件的功能。

SLM模块可实现四象限运行，将制动的能量回馈电网。其功率器件为IGBT单元，两电平拓扑结构，IGBT单元内部的续流二极管完成整流功能，IGBT本身完成能量回馈，是在电网电压的自然换相点处（ $\alpha=0^\circ$ ）触发IGBT并导通 120° 后关断。这种新式整流回馈方式和晶闸管整流回馈方式相比，可避免由于电网跌落造成逆变颠覆、损坏器件的情况；和PWM整流回馈方式相比，在达到同样功能的情况下，性价比有很大优势。另外，IGBT内部整流

二极管承受峰值电流的能力较晶闸管或二极管弱，所以在过电流保护和装置选型时要给予考虑。

2. 逆变器单元

图1中，4台逆变器并联给电动机定子（单绕组）供电，逆变器为IGBT两电平拓扑结构，并在输出侧加电抗器使并联的逆变器之间电气解耦。

产生环流的原因主要是逆变器回路的阻抗差异以及PWM触发脉冲不同步。为了避免并联造成的环流发生，要求主回路阻抗尽量一致，并联的逆变器规格完全一致，且排列紧凑合理，均采用上进下出结构，逆变器连接贯通母线尽量短，输出电抗器内置，保证逆变器到均流电抗器的线路阻抗一致。逆变器输出到电动机定子的电缆要尽量等规格和等长度，保证线路阻抗一致。IGBT器件的PWM触发脉冲由控制板CU320经过DRIVE-CLiQ网发给各个逆变器模块，可实现PWM触发脉冲基本同步。所以，该系统在设计和现场实施方面可以克服并联环流的

发生。

3. 控制单元及网络配置

控制单元采用功能强大的CU320-2DP为控制核心（可以控制4个矢量轴），选择针对异步电动机的转子磁链定向的矢量控制，以满足强力卷取机在大弱磁比范围内转速和转矩控制的精确要求。每个CU320-2DP有4个DRIVE-CliQ口，同一个CU320-2DP控制下的各轴之间能快速进行数据交换。两个集成PROFIBUS-DP接口可以与上位机通信。图形化的Starter调试软件能实时监控各过程变量及动态测试。

DRIVE-CliQ是SINAMICS系列独有的、实时串行通信网络。可以通过控制单元自动识别和连接所有的SINAMICS驱动组件（功率单元、编码器及外部扩展模块），有很强的适应性和组合特性。

图1中1#CU320-2DP控制单元完成上夹送辊电动机的控制，2#CU320-2DP控制单元完成下夹送辊电动机的控制，3#CU320-2DP控制单元完成强力卷取机及整流回馈单元的控制。每台电动机配置了码盘，通过码盘接口板SMC30连入DRIVE-CliQ网络。SLM模块和逆变器模块均有3个DRIVE-CliQ口实现模块并联和数据交换。每台CU320-2DP控制单元的PROFIBUS-DP接口均与上位机相连，实现与一级自动化系统的通信。

4. 新旧版本功率模块并联注意事项

由于将原来的卷取机扩容为强力卷取机，则整流回馈单元由原来1 400 kW的SLM模块2台并联改为3台并联；逆变器由原来900 kW电动机模块3台并联改为4台并联。新旧模块虽然功率相同，但是由于订货号的尾号不同造成无法并联使用，因此需要将原有的SLM模块和电动机模块中的CIB板更换为

CIM板，实现新旧并联，要求功率模块的CIM硬件版本必须相同，同时还要将原有的CU320-DP控制单元升级为CU320-2DP。

现场应用

图2为热轧生产线强力卷取机在生产中的卷钢波形。曲线1为电动机速度给定值波形；曲线2为电动机电压实际值波形；曲线3为电动机转速实际值波形；曲线4为电动机转矩实际值波形；曲线5为电动机电流实际值波形。

从A点到B点为待钢阶段：电动机从50 r/min 低速爬行运行到430 r/min的待钢速度，电动机已经进入弱磁状态。

从B点到C点为张力卷取阶段：卷取机咬入带钢进行卷取，与精轧机F7建张，系统由速度控制变为张力控制，从波形1和波形3可看出，转速给定值大于实际转速以保证速度开环，波形4的转矩实际值随着卷径增加逐渐增大。

从C点到D点为F7抛钢后卷取阶段：此阶段F7精轧机抛钢，卷取机和加送辊建张仍保持张力控制，此时转矩最高接近25 000 N·m。

从D点到E点为停车阶段：带钢卷取到尾部，夹送辊抛钢，张力控制变为速度控制，电动机制动停车。

从F点开始为点动带钢尾部定位阶段。

从强力卷取机卷钢波形上看，卷筒传动控制系统具有良好的快速性和稳定性，能够根据卷钢所要求设定的转矩进行实时的跟随，从而维持带钢卷取时的张力恒定，保证带钢的卷形良好。

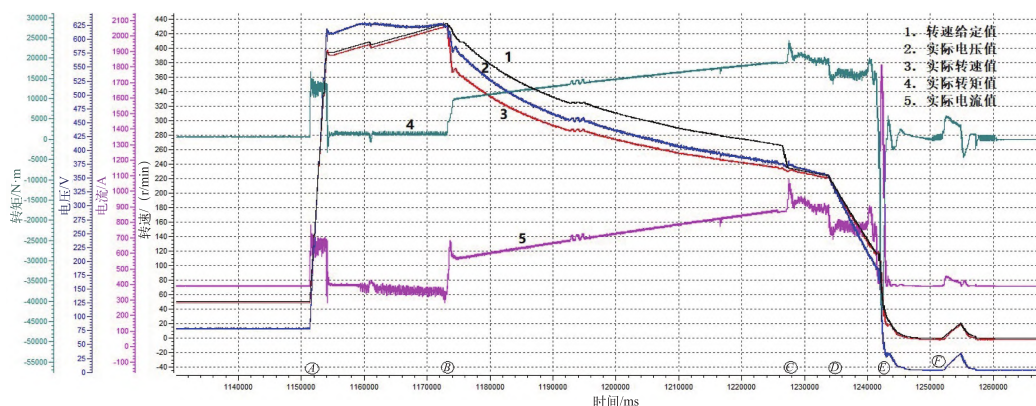


图2 强力卷取机卷钢波形

结束语

1) 本文提供了针对大容量、高性能异步电动机的传动系统解决方案,采用PWM交直交、多传动变频调速系统拓扑结构、功率模块并联方式及传动系统内部网络的通信配置等,在实际工程项目中得到广泛应用。

2) SLM模块没有均流控制,并联后会造成7.5%的降容系数。逆变器模块虽然有均流控制,但是电流分布仍出现不平衡,并联后有5%的降容系数。EA

(收稿日期:2023-05-31)

参考文献

- [1] 马小亮.高性能变频器调速及其典型控制[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [2] 傅培众,郭艳兵,徐伟光,等.交-直-交同步电动机矢量控制系统的工程应用[J].电气传动,2008,38(12):53.
- [3] 董云鹏,季宝伟,隋大伟,等.S120在薄带铸轧主轧机控制系统上的应用[J].电气传动,2021,51(15):76.
- [4] 郭艳兵,许海涛.高性能交-直-交同步电动机变频调速系统的应用[J].电气应用,2021,40(12):26-33.
- [5] 魏秀意,朱春毅,许海涛,等.IGBT整流回馈单元的研究及在轧机传动系统的应用[J].冶金自动化,2021,45(4):74.
- [6] 金书辉,张策,王欢,等.一种交流传动大功率并联逆变器的设计[J].电气传动,2022,52(5):8.
- [7] 刘二龙.Sinamics S120在限动齿条中的应用[J].电气传动,2015,45(10):64.
- [8] 吕少鹏,赵泉泉,申振鑫,等.西门子S120调速系统在中棒轧机主传动上的应用[C]//中国计量协会冶金分会.中国计量冶金分会年会论文集:2013年卷.冶金自动化,2013(S2):493.