80 t 工矿电机车全数字斩波调速系统改造*

许慧敏,王宏伟,白春玲

(包钢(集团)公司白云鄂博铁矿,内蒙古 包头 014080)

摘 要: 从 80 t 工矿电机车 IGBT 直流斩波电气传动系统设计要求出发,阐述了 IGBT 直流斩波电气传动系统结构、主要技术指标、电路工作原理及特点。分析了 IGBT 直流斩波器无吸收回路技术特征,并对老车进行电气传动系统技术改造。改造后电缆使用数量大为减少。

关键词: 工矿电机车; IGBT; 直流斩波器; 无吸收回路

中图分类号: TD679 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017) SO-0090-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.s1.024

Transformation for All-digital Chopper Speed Regulating System of 80 t Mining Electric Locomotive

XU Hui-min, WANG Hong-wei, BAI Chun-ling

(*Baiyunebo Iron Mine of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014080, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: Based on the design requirements of IGBT DC chopper electric drive system for 80 t mining electric locomotive, this paper expounds the structure, main technical indexes, circuit working principles and characteristics of IGBT DC chopper electric drive system, analyzes the characteristics of IGBT DC chopper non-absorbing loop technology, and carries out the technical transformation of electric drive system for the old cars. After transformation, the using quantity of cables has been greatly reduced.

Key words: mining electric locomotive; IGBT; DC chopper; non-absorbing loop

包钢白云鄂博铁矿铁路运输环节目前在用的 80 t 电力机车,是由湘潭电机股份有限公司生产的准轨大型工矿电机车。电气传动系统采用 SCR 斩波调速控制,控制及保护电路采用继电器及辅助触头联锁,以实现主接触器闭合顺序调速及主电路过电压、过电流保护,由于近年来 SCR 斩波调速控制系统备品备件购买渠道缺失,加之新技术的成熟运用,调速控制装置采用主电路简单、可靠性高的全数字 IGBT 斩波调速系统成为一个很好的选择。

1 IGBT 直流斩波电气传动系统

1.1 直流斩波调压控制装置构成

1 500 V 电压等级工矿电机车全数字 IGBT 斩波调速系统,主要由 IGBT 功率组件、微机主控板及 PLC 控制单元构成。IGBT 功率组件采用 3 300 V、800 A 斩波型 IGBT 模块作为主功率元件,主元件散热器采用新型风冷热管散热器,一个 IGBT 功率组件驱动一组(2 台)牵引电机。80 t 工矿电机车有 4 台牵引电机,所以共需要 2 套 IGBT 功率组件,

* 收稿日期: 2017-06-05

作者简介: 许慧敏(1985-),男,内蒙古乌兰察布市人,工程师,现从事矿山电力机车技术管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

IGBT驱动电路采用 lGD515 驱动模块配置光纤传输线，在高电压装置中光纤信号传输具有抗干扰能力强的特点。

微机主控板是装置的核心，控制方式为电流电压双闭环调节，可实现牵引、制动工况下的恒电流力矩调节电阻电气制动控制。牵引工况时采用给定恒流值控制，即恒流值跟随给定手柄，恒流调节过程中当导通比达到 0.98 时进入全电压自然机械特性运行，整个起动加速过程电流恒定，无加速度冲击感，电机车牵引起动运行稳定。在调节过程中可实现过流、短路、过压、欠压、防空转等保护功能。

PLC 控制单元采用西门子 S7-200 系列 PLC 及彩色液晶显示屏，PLC 控制主要取代控制继电器及辅助联锁触点，以实现无触点的软件控制模式。以往的电气控制采用有触点继电器控制，由于继电器为机械接触，故障率高，维修不便。改进后提高了系统的可靠性和减少了设备维修工作量，同时可实现显示屏在线显示电机车运行状态信息及故障自诊断信息。

1.2　主要技术指标(见表 1)

表 1　IGBT 直流斩波调压控制装置主要技术指标

额定电压/V	额定容量/kW	最大电流/A	导通比	斩波频率/Hz	散热方式
DC1500，电压 800～1900	n × 350(400)	n ×500(2min)	0.02～0.98	1 000	风冷热管散热器

注: n 为电机台数。

1.3　斩波器的工作原理

直流斩波器是一种把恒定直流电压变换成负载所需的可变直流电压的电源变换装置。它通过周期性地快速通、断，而把恒定的直流电压斩成一系列的脉冲电压，改变这一脉冲的宽度或频率就可以实现输出电压平均值的调节。直流斩波器最初是弱电技术，随着大功率电子技术的发展，现已广泛地应用于直流传动电机车，从 20 世纪 60 年代以来的 SCR 半控器件强迫换流斩波器，到 8O 年代的 GTO 全控器件斩波器，现已发展为 IGBT 复合器件斩波器，随着新型电力电子器件的发展，主电路的结构及驱动电路已相当简化[1]，例如 IGBT 专用斩波模块，已集成负载续流二极管，仅一个模块就构成一台斩波器功率变换单元。电力电子技术的发展给直流传动技术带来新的发展机遇。

1.4　斩波器主电路

工矿电机车直流斩波器主电路见图 1。主电路采用二相不相交叉励磁电阻制动线路。电路结构简单，司机控制器牵引、制动与方向手柄具有机械互锁功能，当方向操作手柄未合时，牵引、制动手柄锁住，同时方向手柄兼作司机控制器的钥匙。当合上方向手柄时，FXQ 转换为要求的行车方向。在牵引工况时，图 l 中 FXQ 转换开关位置为牵引状态，当 FXQ 闭合，KC1、KC2、KC3、KC4 闭合时，构成牵引回路，当斩波器 T1 及 T2 开通时，牵引电动机为牵引拖动运行状态。

由于该辆改造电机车的运行方式具有运距短，场地平坦，运速低的特点，为了减少故障点，缩减改造费用，特别向设计单位提出在保证安全的前提下，减去电制动系统的要求，取消牵引制动转换系统后，主电路得到简化的同时缩减了部分费用。在后期的运行使用中，也验证了该项改造的合理性。

与原电路相比，增加模块化 IGBT 直流斩波器装置、主电路的预充电路及滤波环节。同时驾驶台老式司控器也更换为小型轻便司控器及彩色液晶显示器。新设计部件全部采用模块化结构，便于维护。

1.5　主要技术特点

(1) 采用模块结构，IGBT 为自关断全控型电力电子器件，仅一个 IGBT 元件加上驱动模块及风冷热管散热器就构成斩波器功率单元，无需吸收缓冲电路或其它任何辅助器件，与传统的 SCR 斩波器相比，省去了换流电感、电容等复杂的换流元件，与 GTO 斩波器相比，省去了吸收缓冲电路，并且驱动电路简单，运营可靠性提高，用户维护方便。

(2) 微机主控板采用最新微电子数字控制和电气隔离技术，输入和输出信号隔离，IGBT 驱动信号及过流保护采用专用光纤接头，光纤传输信号，解决了驱动脉冲信号抗干扰和远距离传输的难题。实现了远距离信号传输，提高了系统抗干扰能力，简化了现场维护要求。

(3) 由于采用自关断 IGBT 器件，斩波器工作频率提高，牵引电机电流脉动率很小，改进了牵引电机的换向性能，省去了笨重的平波电抗器，进线滤波电抗器也减小，减轻了系统的重量和体积。

中国知网　https://www.cnki.net

(4) 全数字 IGBT 斩波调速系统实现了电机车无级连续速度调节,采用恒流控制,平滑性好,可有效的利用粘着极限,使牵引起动平稳,提高了电机车牵引力。由于矿山接触网供电质量差,网压波动范围大,实际情况达到 800~1 900 V,特别是处于移动线上运行,由于旁架线时常出现跳弓、脱弓、断开再接现象严重。因此,在控制软件的设计上模拟上述工况进行了试验。控制装置无触点化技术及主开关触头无载分断技术,使系统接触故障率下降,提高了触头使用寿命,减少了维护量。

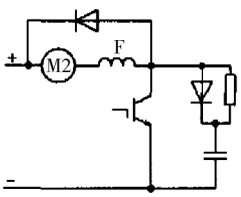
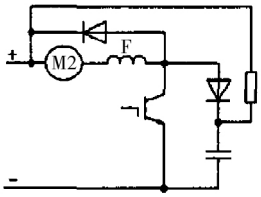
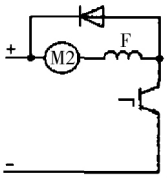
(5) 节约电能,与电阻调速方式电机车相比,节电 15%~20% 。同时由于电流恒定,运行时电机车具有良好的舒适度。

2 IGBT 直流斩波器设计

2.1 无吸收回路分析

要使斩波器主电路小型简单化、高效率、可靠性高,省略 IGBT 吸收回路是关键。表 2 为各种吸收回路方式及技术特征的比较。由表 2 可知,一般吸收回路积蓄的能量大部分消耗在吸收电阻中,简化吸收回路积蓄的能量仅在吸收电压高于电源电压时,才消耗在吸收电阻中,因此降低了吸收回路损耗; 无吸收回路没有能量损耗。但是取消吸收回路后,必须采取技术措施以抑制 IGBT 模块关断时的瞬时过电压。采取的措施就是降低母线电感。由此减少了电路元件数量,取消吸收回路元件,仅有 IGBT模块,装置小型轻量,节省电机车布置空间,并且可靠性提高。实现无吸收回路的方法就是使有电流变化的母线电采取的措施就是降低母线电感。由此减少了电路元 感最小,降低 $L \times \mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ 值,优化母线结构设计。

表 2 吸收回路方式及技术特征比较

项目	一般吸收回路	简化吸收回路	无吸收回路
主电路结构			
技术特征	抑制 IGBT 模块瞬时过电压	功能如左,瞬时过电压超过电源时	必须降低母线电感无损耗
损耗	吸收回路损耗大	吸收吸收回路损耗 50%左右	

2.2 直流斩波器用大功率 IGBT 模块的散热

由于 IGBT 模块的开关频率高,损耗大,特别是对大功率 IGBT 模块,一般普通型材散热器难以满足要求。因此设计选用了热管散热器。热管散热器具有散热效率高,热流密度变换大,等温性好,结构灵活多样等特点。特别适合于这种安装底板绝缘的大功率 IGBT 模块散热。国内外现已广泛用于车辆电气传动装置。目前适合于 IGBT 模块的热管散热器的热阻可以达到 0.01 ℃/W 以下 若 IGBT 模块散热器外壳允许温升 $\triangle T$ 为 40 ℃,则散热功率 P 为 4 kW。本装置共安装两套 IGBT 模块功率单元,包括负载续流二极管,散热功率 8 kW。强迫风冷,可满足装置散热要求[2] 。

3 改造后试验

对改造后的 1 台 80 t 工矿电机车进行牵引工况及制动工况负载试验。除常规生产环境,还包括了在供电电压突变、跳弓、状态不良旁弓线供电等各种特殊情况下的运行情况。试车结果表明,电气性能符合工矿电机车牵引技术条件,可满足工矿电机车在矿山固定线、半固定线等供电线路运输要求。

4 主要改造点

主要改造点为用全数字 IGBT 斩波调速系统代替原来的 SCR 斩波调速系统。主回路为二相不重交叉励磁电制动方案。改造后将取消原高压室电阻切

(下转第 102 页)

中国知网 https://www.cnki.net

(4) 在它们的接合处用 Φ12 mm×45 mm 的螺丝固定,以防风缸顶铁将衬套压入其中。

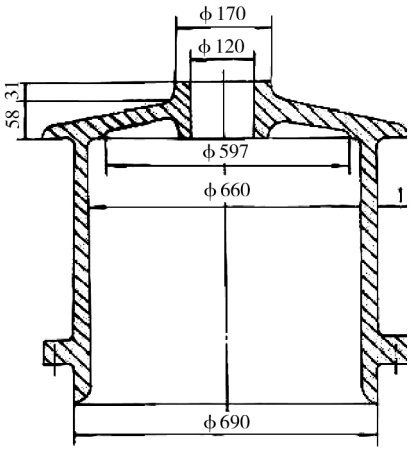


图 4 外活塞扩孔后的示意图

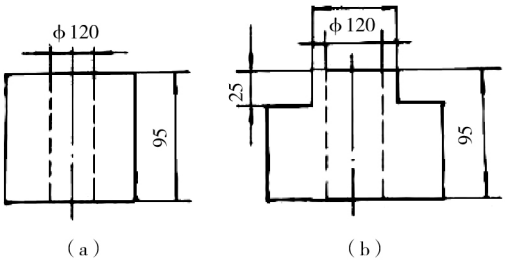


图 5 衬套毛坯加工后的示意图

5 结论

(1) 倾翻风缸外套缺油是制约自翻车起翻慢的主要原因,因此,不管是大中修、还是维修,必须对风缸进行彻底的清洗、注油。

(2) 购进质量优质的风缸皮碗、压条、润滑脂是保证风缸顺利起翻的前提条件。只要这三者中至少有一个质量得不到保证,风缸起翻就要受到影响。

(3) 风缸轴承内缺油风缸、顶铁与车箱小横梁没有间隙是导致自翻车回位慢的主要原因,对所有的风缸轴承从大中修开始进行技术改造,增加环形油槽。从大中修开始在顶铁与车箱小横梁之间增设调整垫板。

(4) 管路泄漏和风缸内进水也是影响自翻车正常起翻一个原因。日常加强管路密封和定期对机车总风缸排水,是提高自翻车倾翻效率很重要的措施。

(5) 设备检修费用严重不足,导致自翻车大中修欠修,检修质量达不到标准,使得自翻车技术状态逐年呈下降趋势。因此,从根本上扭转自翻车的倾翻系统的技术状态,建议增加大中修检修费用,进一步提高自翻车检修质量。

参 考 文 献

[1] 于和平.KF-60 自翻车倾翻装置常见故障分析及处理 [J].现代矿业,2016,32(8):280-281.

[2] 王佃文.k4-60 型自翻车气缸外活塞的修复 [J].矿山机械,2003,(7):66-68.

(上接第 92 页)

换及电机串并联电空接触器,分流器,过电压、过电流继电器等电器元件,增加模块化 IGBT 直流斩波器装置、主电路的预充电路及滤波环节。取消原驾驶台老式司控器,增加小型轻便司控器、操作开关、指示仪表及彩色液晶显示器。新增部件全部采用模块化结构,便于维护。改造后电缆数量大为减少,相关的电缆重新布置。

5 结束语

全数字斩波调速系统,即节能,又降低了维护成本,并且可以用最少的费用对现有车辆进行改造。使直流传动系统以最经济的方式实现电机车控制系统的现代化,从而延长设备的使用寿命。目前白云铁矿只对 1 台 80 t 电机车进行了全数字 IGBT 斩波调速系统改造,处于试运行阶段,如能保持良好的运行状态,证明这项技术的可靠性以及安全性,未来推广这项技术改造将会产生很高的经济效益。

参 考 文 献

[1] 张立,赵永键.现代电力电子技术器件 [M].北京:科学出版社,1992.

[2] 张宗桐,宋高升.大容量 IGBT 逆变器的开关瞬态电压抑制,电气传动自动化 [J].1998,(4):20-23.

中国知网 https://www.cnki.net