

高功率密度 10 kV 防爆高压变频器研制

徐占军¹, 谢小展², 徐国强², 许随利², 李瑞常¹

(1. 深圳市库马克新技术股份有限公司, 广东 深圳 518108;

2. 焦作煤业(集团)新乡能源有限公司, 河南 焦作 454100)

摘要: 针对煤矿井下 10 kV 电压等级的输送机应用, 研制了高功率密度矿用隔爆兼本质安全型高压变频变频器 BPBJV-1600/10, 介绍了整体设计、隔爆兼本质安全设计、主电路拓扑结构选择、功率单元设计及器件选型及试验等。研制的样机通过了第三方认证机构——国家安全生产上海矿用设备检测检验中心认证测试, 并在某煤矿成功投运, 取得了良好的效益。

关键词: 高功率密度; 复合功率单元; 单元级联; 矿用隔爆兼本质安全型高压变频变频器

中图分类号: TM921 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd20939

Development of High Power Density 10 kV Explosion-proof High-voltage Converter

XU Zhanjun¹, XIE Xiaozhan², XU Guoqiang², XU Suili², LI Ruichang¹

(1. Shenzhen Cumark Technology Co., Ltd., Shenzhen 518108, Guangdong, China;

2. Jiaozuo Coal Industry(Group)Xinxiang Energy Co., Ltd., Jiaozuo 454100, Henan, China)

Abstract: A high power density mine flameproof and intrinsically safe high-voltage converter BPBJV-1600/10 was developed for the application of 10 kV voltage grade conveyor in coal mine. The overall design, flameproof and intrinsically safe design, main circuit topology selection, power unit design, device selection and test were introduced. The developed prototype has passed the certification test of the third-party certification body——National Safety Production Shanghai Mine Equipment Testing and Inspection Center, and has been successfully put into operation in a certain coal mine and achieved good benefits.

Key words: high power density; composite power unit; unit series; mine flameproof and intrinsically safe high-voltage converter

近年来,随着技术发展,煤炭行业提出了建设智慧矿山战略,煤矿开采成套设备开始了技术升级。矿用隔爆兼本质安全型变频器作为一种电力电子传动自动化设备,以其优异的软启软停、变频无级调速、多机同步控制、多机转矩和功率平衡等性能,被广泛地应用到传统煤矿向智能化矿山升级改造中,极大地提高了煤矿装备的自动化与智能化水平。过去,在煤矿井下 10 kV 电压等级的胶带输送机中,其配套的 10 kV 隔爆型电机通常采用液力耦合器、CST 等进行驱动,这种方式自动化与智能化水平不高,经常出现内部液体泄漏、金属部件磨损、电机烧毁、多机运行时无法进行功率平衡等问题,维护成本居高不下,严重阻碍了煤矿智能化水平的提升及生产效率

的提高,寻求优秀技术方案解决这些问题刻不容缓。2018年,立项对此问题进行了专项攻关,研制出了能够在煤矿井下 10 kV 电压等级的胶带输送机上进行应用的高功率密度矿用隔爆兼本质安全型高压变频变频器,很好地解决了上述问题。

1 整体设计

本次研制的在煤矿井下 10 kV 电压等级皮带输送机应用的矿用隔爆兼本质安全型高压变频变频器 BPBJV-1600/10 主要技术参数为:额定输入电压 10 kV,额定功率 1 600 kW,额定输出电流 117 A,输出电压 0~10 kV,输出频率 0~50 Hz,过载能力 150%/1 min,防爆型式采用矿用隔爆兼

本质安全型。

立项后,对煤矿井下10 kV电压等级的皮带输送机及矿用隔爆兼本质安全型高压变频器的技术现状进行了调研,总结分析后,首次提出了内置整流移相变压器的高功率密度10 kV输入/输出矿用隔爆兼本质安全型高压变频器的方案,即移相整流变压器与逆变器集成在一个隔爆箱体内,通过采用水冷技术及复合功率单元技术,提高功率密度。最终实现了在一个外形尺寸不超过4 395 mm×1 560 mm×1 830 mm空间内满足额定功率1 600 kW,过载功率2 400 kW的设计要求。

2 矿用隔爆兼本质安全设计

此次研制产品是针对煤矿井下应用而研制。煤矿井下环境很复杂,存在易燃易爆气体甲烷,是一个存有爆炸性气体的环境;煤矿井下空间有限,对变频器的体积有着严格限制;煤矿井下存在煤尘、环境潮湿甚至有渗水滴水现象;同时国家相关单位针对煤矿井下应用的电气设备制定了严苛标准。这些环境条件及因素使得地面10 kV电压等级的高压变频器无法满足应用要求,同时这些因素也是本次研制需要攻克的关键点。本次研制的产品柜体采用了平面隔爆技术和圆筒隔爆技术,主回路输入输出端子采用了先进的10 kV高压电缆连接器技术,产品的控制端口采用了本质安全设计,柜体防护按照IP54设计,通过有限元分析及试验,本次研制的产品达到并超过国家标准GB3836.1, GB3836.2及GB3836.4的要求。

3 主电路拓扑结构

由于电力电子器件的工艺水平并不能很好地解决其功率、电压承受能力与开关频率之间的矛盾,为了研制高频、高压、高性能和低EMI的大功率变流器,必须将高性能电力电子器件、主电路拓扑结构以及变流器所在系统的控制策略进行综合考虑,以找到解决问题的方案。多电平结构成为其中一种具有代表性和较为理想的解决方案^[1]。常见的电压型多电平变频器主要有3种基本拓扑结构,即二极管钳位式、电容跨接式和具有独立直流电源的单元级联式。本次研制的矿用隔爆兼本质安全型高压变频器BPBJV-1 600/10采用单元级联式,如图1所示。

图1中,T为整流移相变压器;A₁~A₄,B₁~B₄,C₁~C₄为复合功率单元;KM₁,KM₂为输出接触器。整流移相变压器容量选择2 000 kV·A,包含1个原边绕组、1个辅助电源1 140 V绕组、24个额定电压为690 V的绕组。复合功率单元为6相输入单相输出,输入线电压为690 V,输出线电压为1 450 V。功率单元A₁~A₄的输出依次串联连接形成A相,相电压为5 800 V;功率单元B₁~B₄的输出依次串联连接形成B相,相电压为5 800 V;功率单元C₁~C₄的输出依次串联连接形成C相,相电压为5 800 V。然后,将A₄,B₄,C₄的L₁连接在一起,形成变频的中点,单元A₁的L₂作为逆变器的A相输出,单元B₁的L₂作为逆变器的B相输出,单元C₁的L₂作为逆变器的C相输出,输出线电压为10 kV。通过对KM₁和KM₂的控制,可使变频器输出具有2种驱动模式,即1台变频器驱动1台电机模式和1台变频器驱动2台电机模式。这种结构为高一低一高的功率变换方式,整流移相变压器将输入三相10 kV电压变为多组三相690 V电压,作为功率单元的输入,功率单元逆变出的单相1 450 V电压,分别将每相功率单元输出级联,最终使得变频器输出线电压为10 kV,功

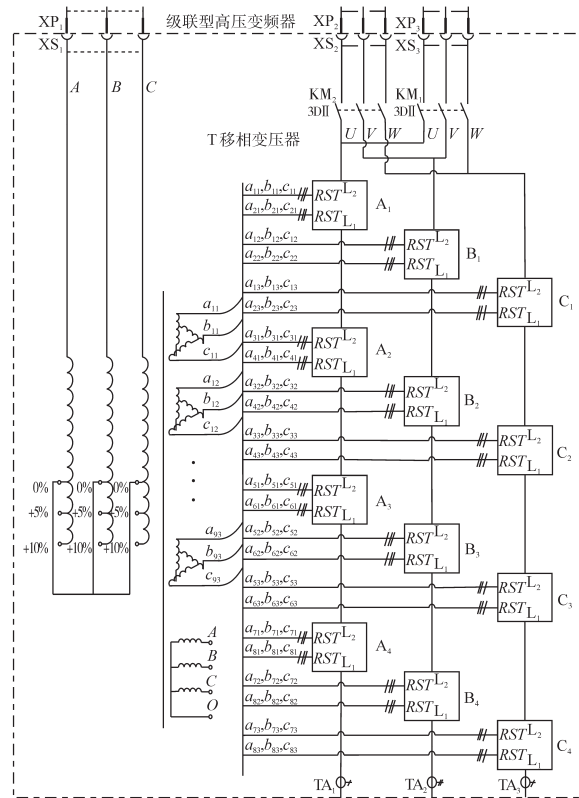


图1 主电路拓扑结构图

Fig.1 Diagram of main circuit topology

上海矿用设备检测检验中心按照《矿用产品安全标志审核发放实施规则——高压变频器》及企标在深圳库马克电机加载试验室完成了温升试验、恒转矩试验、150%过载试验、电磁兼容试验、电能质量试验及整机保护功能试验,各项试验指标完全满足要求,温升试验数据如表1所示,恒转矩试验数据如表2所示,额定负载试验时变频器输出波形如图4所示;在上海国家安全生产上海矿用设备检测检验中心完成了其他试验(如交变湿热试验、壳体防爆相关试验、雷击试验);2019年2月27日获得了防爆合格证书;2019年3月20日,获得了矿用产品安全标志证书。2019年4月将此变频器应用于某煤矿进行工业运行,运行良好,调速性能优异,胶带输送机的自动化水平和智能化水平获得提高,收到客户一致好评。

表1 温升试验数据

Tab.1 Temperature rise test record

	技术要求	试验结果
试验条件	输入90%额定电压,加载至额定负载,运行至热稳定。	满载运行8.5 h至热稳定,运行正常
环境温度/℃	(≤40)/(≤40)	20.1/21.0
进水温度/℃	(4~27)/(4~27)	23.0/23.1
IGBT散热板/℃	≤75	33.7
腔体/℃	≤70	54.9
电容温升/K	≤50	14.7
腔内导线温升/K	≤55	27.0
控制变压器温升/K	≤60	42.2
移相变压器最高允许温度/℃	≤180	80.6
移相变压器铁心温度应不损伤相邻绝缘材料	/	未伤害
外壳最高工作温度/℃	≤150	50.9

表2 恒转矩试验数据

Tab.2 Constant torque test record

输出频率/ Hz	变频器输入端			变频器输出端			电动机输出机械量	
	电压/V	电流/A	功率/kW	电压/V	电流/A	功率/kW	转矩/(N·m)	转速/(r·min ⁻¹)
49.996	9 996.3	103.8	1 724.8	9 725.0	114.6	1 666.0	15 528	994
39.996	10 025.0	81.3	1 352.9	7 994.0	107.2	1 300.4	15 318	795
29.995	9 990.4	61.4	1 017.5	6 068.0	104.1	974.1	15 382	593
19.993	10 012.1	42.3	696.4	4 086.0	105.7	653.2	15 434	395
10.000	9 967.0	22.5	362.1	2 018.8	106.6	329.0	15 475	195

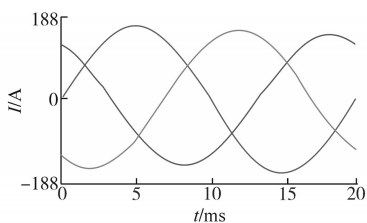


图4 输出电流波形图

Fig.4 The waveforms of output current

8 结论

本次研制的适用于煤矿井下10 kV电压等级的矿用隔爆兼本质安全型高压变频变频器,通过型式试验,调速性能优异,稳定可靠,2019年4月将此变频器应用于某煤矿进行工业运行以来,实

现了优异的软启软停、变频无级调速、多机同步控制、多机转矩和功率平衡等性能,极大地提高了煤矿装备的自动化与智能化水平,对保证煤矿安全生产、降低煤矿工人劳动强度、节能减排、实现少人综采乃至无人综采智慧化矿山的建设起到积极作用,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 中国电工技术学会电力电子学会. 电力电子设备设计 and 应用手册[M]. 第3版. 北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 李永东,肖曦,高跃. 大容量多电平变换器:原理·控制·应用[M]. 北京:科学出版社,2005.

收稿日期:2019-09-04

修改稿日期:2019-10-22