综述

文章编号:1671-251X(2012)02-0019-04　　DOI:CNKI:32-1627/TP.20120113.1254.006

防爆变频器在煤矿应用中的关键技术

祝龙记，　张旭立

(安徽理工大学电气与信息工程学院，安徽 淮南　232001)

摘要:分析了防爆变频器在煤矿井下使用过程中存在的电压等级、散热、电磁兼容性、逆变器转换效率等问题,详细介绍了解决这些问题的方法,即通过采用隔爆兼本质安全型技术和热管散热技术解决变频器的防爆和散热问题,使防爆变频器具有性能高、功能强、噪音低等特点;通过改变变频器的电路拓扑结构、改进控制策略等技术手段解决变频器的电磁兼容性和能耗问题,使防爆变频器满足煤矿生产的现代化要求。

关键词:防爆变频器;电压等级;散热;电磁兼容性;热管散热器;三电平逆变器;隔爆兼本质安全型

中图分类号:TD684　　文献标识码:A　　网络出版时间:2012-01-13 12:54

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120113.1254.006.html

Key Technologies of Explosion-proof Frequency Converter Applied in Coal Mine

ZHU Long-ji,　ZHANG Xu-li

(School of Electrical and Information Engineering of Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: The paper analyzed problems of voltage level, heat dissipation, EMC and conversion efficiency of inverter existed in using process of explosion-proof frequency converter in coal mine underground, and introduced methods of solving these problems in details, namely using technologies of flameproof and intrinsic safety and heat dissipation with heat pipes to solve problems of explosion-proof and heat dissipation of frequency converter, which can make explosion-proof frequency converter has characteristics of high performance, strong functions and low noise; using technical means of changing circuit topology and improving control strategy of frequency converter to solve problems of EMC and energy consumption of frequency converter, which can make explosion-proof frequency converter meet with requirements of modernization of coal mine production.

Key words: explosion-proof frequency converter, voltage level, heat dissipation, EMC, heat pipe radiator, three-level inverter, flameproof and intrinsic safety

0　引言

随着电力电子技术和计算机控制技术的不断发展,变频器在工业、民用等生产领域的应用已非常普遍,但在煤矿井下的应用却遇到了诸多技术问题。因为煤矿井下的电气设备存在于含有瓦斯和煤尘等爆炸性气体环境中,按照国家《煤矿安全规程》的要求,煤矿井下的电气设备必须采用矿用防爆型,通用变频器不允许直接下井使用[1]。煤矿井下防爆电气一般包括隔爆型和本质安全型两类。隔爆型是为了保证在腔体内所发生的电火花不会引燃壳体外部的爆炸性气体,主要考虑隔爆外壳的强度和间隙大小。

收稿日期:2011-10-17

作者简介:祝龙记(1964-),男,安徽安庆人,教授,博士,主要研究方向为电力电子与电力传动、煤矿防爆电气控制等。E-mail:ljzhu@aust.edu.cn

本质安全技术是抑制电路所产生电火花的能量不足以引燃爆炸性气体，其电气设备可在带电情况下进行维护和更换，安全可靠性高、适用范围广[2]。

煤矿井下的掘进机、刮板输送机、带式输送机、局部通风机、水泵、绞车等设备均采用隔爆型三相异步电动机拖动，由于通用变频器不允许直接下井使用，这些设备的控制方式为直接启动或机械调速控制，对供电系统的电流和电压都会造成很大的冲击。另外，设备长期高速空载运行还会造成电能的极大浪费。近几年来，随着煤矿生产技术的提高，上述设备开始采用防爆变频器启动，大多为在通用变频器的基础上加装防爆外壳，但防爆变频器在井下使用过程中遇到了诸多技术问题，如电压等级问题、散热问题、电磁兼容性问题、逆变器转换效率问题等。本文主要针对这几个问题进行分析。

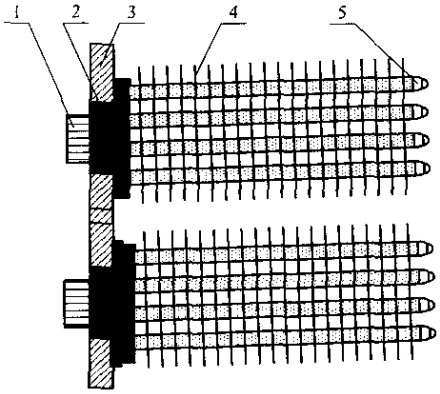
1 电压等级问题

我国工业及民用电压等级为 220 V 和 380 V，通用变频器的电压等级一般也为 220 V 和 380 V，由于煤矿的特殊环境，煤矿井下采用的供电电压等级为 660 V 和 1 140 V。随着煤矿生产能力的不断提高，生产设备单机功率的不断增大，有些大型煤矿综采工作面或掘进工作面供电电压等级已由原来的 660 V、1 140 V 提高到 3.3 kV、6 kV、10 kV 等。但 660 V/1 140 V 电压等级还是井下供电系统的主导电压，如煤矿井下的带式输送机、刮板输送机、局部通风机、给煤机及水泵等设备都采用该电压等级供电。对这些设备的电气控制系统进行变频改造[3-4]，则防爆变频器的电压等级应首选 660 V、1 140 V 两个电压等级，最好能有同样适用于这两种电压等级的防爆变频器。

2 散热问题

煤矿井下使用防爆变频器最大的难题是功率器件的散热问题。一般变频器的功耗为其容量的 4%～5%，其中逆变部分约占 50%，整流及直流回路约占 40%，控制及保护电路占 10%左右[5]。目前，变频器中广泛使用的主流功率器件有 IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor)和智能功率模块 IPM(Intelligent Power Module)，而 IGBT 的发热将占主回路发热的 50%～70%[5]。由于防爆变频器的所有电气元器件均密封于隔爆腔体里，无法实现自然风冷，水冷需要水循环系统和散热器。防爆外壳的体积本身就很笨重，安装水管和散热器会进一步加大防爆外壳的体积和重量，使防爆变频器的安装和维护十分不方便。如何将防爆变频器的散热量迅速有效地转移至防爆壳体外是设计防爆变频器的关键。

目前，采用热管散热器是一种有效的散热途径[6]。隔爆型热管散热器由热管、散热片及基板等组成，其结构如图 1 所示。功率器件安装在基板的隔爆腔内的一面，基板的另一面连接热管。基板是连接功率器件和热管受热的散热体部分，散热片是连接热管冷却段的散热体部分，热管是传输热量的元件。功率器件的发热量通过基板由热管的一端即通过工作介质的饱和蒸汽传输至热管的另一端即冷凝段。在冷凝段安装有散热片，散热片将功率器件产生的热量通过对流和辐射传至周围环境空间，工作介质的饱和蒸汽凝结成液体，依靠热管内管芯毛细结构的抽吸作用回流至热管的蒸发段。安装时热管微微上斜有利于介质液体的回流。



1－功率器件；2－基板；3－隔爆外壳；4－散热片；5－热管

图 1 隔爆型热管散热器结构

隔爆型热管散热器是通过工作介质不断地冷凝和汽化来传递功率器件的热量，其热阻可以达到 0.01 ℃/W，在自然冷却条件下，热管散热器比实体散热器的性能提高 10 倍以上[6]。对于双面散热的电力电子器件，热管散热器可有效地将功率器件在防爆腔体内积聚的热量传导到壳体外，并通过散热片快速散发，从而有效地解决了防爆变频器的散热问题。

3 电磁兼容性问题

煤矿井下的电气设备种类繁多、密度大、电动机启动频繁，防爆变频器易受外界的电磁干扰；而且防爆变频器的输入/输出侧电压、电流含有高次谐波，投入运行后，防爆变频器既是噪声发射源，又是噪声接收器，即所谓的电磁兼容性(Electromagnetic

Compatibility，EMC）。

变频器电路主要由整流电路、逆变电路及控制电路组成。由于采用 PWM 控制技术，防爆变频器运行时产生的高次谐波通过传导耦合、公共阻抗耦合和电磁耦合 3 种通道进行干扰[7-8]。根据传导干扰传播耦合通道的不同，将变频器输入/输出导线上的干扰区分为共模干扰和差模干扰 2 个部分：一般认为共模干扰主要是由变流器中的功率开关器件开关引起的 du/dt 经对地杂散电容间的耦合传播干扰；差模干扰则主要是由功率半导体开关器件开关引起的 di/dt 经输入输出线间的导体传播干扰[9]。

通用变频器电磁兼容性的研究已有很多，主要是从硬件结构和软件编程 2 个方面入手。硬件抗干扰就是要抑制和减少干扰源，切断干扰的耦合通道和降低系统干扰信号的敏感性，可以采取滤波、隔离、屏蔽、接地等措施将干扰抑制在相关标准允许的范围之内。

对于防爆变频器，由于其主电路及控制回路都密封在防爆腔体内，受空间和电气元器件密度的限制，上述措施的应用有较大的局限性。因此，必须找出产生电磁干扰的根本原因，即从电磁干扰源、电磁干扰传播途径等方面着手，降低干扰源的强度、切断传播途径和提高设备的抗扰度。可通过改变防爆变频器的电路拓扑结构、改进控制策略和优化逆变器驱动电路等技术手段解决防爆变频器的电磁兼容性问题。

4　逆变器转换效率问题

要解决防爆变频器的散热问题和电磁兼容性问题，提高逆变器转换效率，必须降低逆变器的功率损耗。除了选用低损耗的功率器件外，最有效的方法还是应该从改变防爆变频器的电路拓扑结构、优化控制策略着手。

4.1　改变电路拓扑结构

防爆变频器中的逆变器一般采用二电平结构，考虑井下供电为 1 140 V 电压等级，IGBT 的耐压应大于 3 000 V。高压功率器件的开关频率会比低压等级器件低、开关时间长，这将增加逆变器的损耗，降低转换效率。三电平逆变器的 IGBT 一般采用模块化结构，其反向阻断电压较低，IGBT 芯片比二电平的要薄，具有更低的开关损耗和正向压降。参考文献[10]指出三电平逆变器单个桥臂的总损耗比二电平逆变器的低 60%。如果使用三电平逆变器的电路拓扑结构（见图 2），每个桥臂由 2 个功率器件串联而成，这样可以使 IGBT 的耐压水平降低一半，由于损耗较低以及输出电压在 3 个电平间切换，使输出电压波形更接近正弦波，谐波失真更小，更符合电磁兼容性的要求[10]。逆变器损耗的减小也意味着变频器的散热问题得到解决。

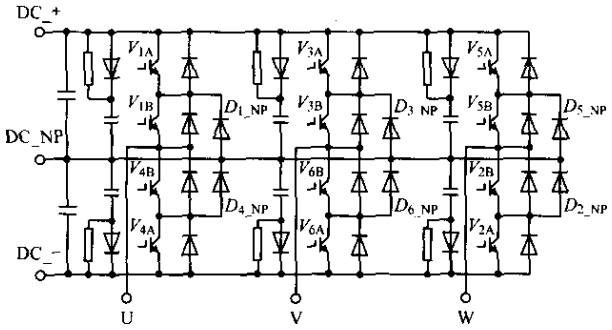


图 2　三电平逆变器的电路拓扑结构

4.2　改进控制策略

适用于三电平逆变器的控制策略采用空间矢量脉宽调制（SVPWM）技术。SVPWM 技术在大范围的调制比内具有控制结构简单、计算机编程方便、直流母线电压利用率高等优点，所以在三电平逆变器的控制中得到广泛应用。三电平逆变器每相输出状态有 3 个：正（P）、零（Z）、负（N），将三相的 3 种状态进行组合可生成 27 种电平状态，这 27 种电平状态又称三相三电平的 27 种空间电压矢量[11-12]。要得到某一个空间的电压矢量，可用位于该区域的部分或全部电压矢量适时切换来逼近。在三电平逆变器中，可以选择不同的矢量合成方法来实现 SVPWM 和中点电压的平衡控制[13]。

5　结语

通过上述几个方面的分析可看出，采用隔爆兼本质安全型技术和热管散热技术，可解决变频器的防爆和散热问题，使防爆变频器具有性能高、功能强、噪音低等特点；通过改变变频器的电路拓扑结构、改进控制策略等技术手段，降低 IGBT 的耐压，抑制输出谐波分量，可解决变频器的电磁兼容性问题和能耗问题，使防爆变频器满足煤矿生产的现代化要求。

参考文献：

[1]　陈磊. 低压防爆变频器在煤矿的应用研究[J]. 科技资讯，2009(6)：76.

[2]　孙继平. 煤矿电气安全关键技术的研究[J]. 工矿自动化，2011(1)：1-4.

[3]　毛鑫. 变频技术防爆变频器的现状及发展[J]. 电气开关，2009(6)：13-14.

文章编号:1671-251X(2012)02-0022-04　　DOI:CNKI:32-1627/TP.20120113.1258.007

矿用本质安全电源的基本要求和设计方法

朱前伟[1,2]

(1.中煤科工集团常州自动化研究院,江苏 常州　213015;
2.天地(常州)自动化股份有限公司,江苏 常州　213015)

摘要:结合新版国家标准GB3836.4—2010和安标国家矿用产品安全标志中心的相关要求,分析了矿用本质安全电源的技术性能,即电气隔离方法和限能电路的保护方式;根据矿用本质安全电源的技术指标,介绍了矿用本质安全电源的主要放电形式和设计要点,指出在设计本质安全电源时,需考虑最大输出电压、最大输出电流、最大外部电容、最大外部电感四个本质安全输出参数之间的关系,为了达到最大输出功率,可以尽量选择较低的最大输出电压。该文对矿用本质安全电源的设计有一定的参考价值。

关键词:本质安全电源;关联电气设备;电气隔离;限能保护电路;放电形式;本质安全参数;最大输出功率;最大输出电压

中图分类号:TD684　　文献标识码:A　　网络出版时间:2012-01-13 12:58

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120113.1258.007.html

Basic Requirements and Design Method of Mine-used Intrinsic Safety Power Supply

ZHU Qian-wei[1,2]

(1.Changzhou Automation Research Institute of CCTEG., Changzhou 213015, China.
2.Tiandi(Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: Combining with related requirements of new national standard GB3836.4-2010 and Mining Products Safety Approval and Certification Center, the paper analyzed technical performance of mine-used intrinsic safety power supply, namely electrical isolation method and protection mode of energy-limiting circuit, and introduced main discharge mode and design points of mine-used intrinsic safety power supply

收稿日期:2011-10-27

基金项目:天地(常州)自动化股份有限公司研发项目(10GY065)

作者简介:朱前伟(1979-),男,江苏徐州人,工程师,硕士,现主要从事本质安全型防爆电气产品的检验工作。E-mail:zhucongwei@126.com

[4] 庞宝良,邱锦川,韩菊娣.交流变频器在煤矿井下应用的现状及其前景[J].煤炭科学技术,2003(10):54-56.

[5] 吴忠智,吴加林.变频器电磁兼容(EMC)内容范围与标准的探讨[J].电工技术杂志,2001(6):54-56.

[6] 吴宝宗,邵蓉,陈捷频.热管技术在煤矿井下防爆电气设备中的应用[J].煤矿安全,2004(8):30-31.

[7] 朱玉堂,许力.变频器的电磁兼容及抑制[J].机电工程,2005(5):40-44.

[8] 惠烨,全振兴.矿用隔爆兼本质安全型交流变频器的散热[J].矿山机械,2009(7):14-16.

[9] CONSOLI A, SALVATORE M. An Innovative EMI Reduction Design Technique in Power Converters[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2006(4):72-76.

[10] LELLA M D, RAMIN R. The IGBT in Three-level Inverter Use for Improving DC/AC Converter Efficiency[J]. The World of Inverters, 2008(11):106-107.

[11] 马柯,李睿,徐德鸿.三电平和两电平逆变器效率分析与比较[J].电力电子技术,2009(7):1-3.

[12] 费万民,吕征宇,姚文熙.三电平逆变器特定谐波消除脉宽调制方法的研究[J].中国电机工程学报,2003(9):11-15.

[13] 伍小杰,符晓,潘庆山.一种三电平SVPWM算法及其DSP的实现[J].电力电子技术,2010(8):47-49.