

Application of Low Smoke and Halogen-Free Technology in Coal Mine Cables

Bingjing Li

Mining Products Safety Approval and Certification Center Co., Ltd., Beijing
Email: zimubingjing@sina.com

Received: Jun. 28th, 2019; accepted: Jul. 11th, 2019; published: Jul. 22nd, 2019

Abstract

According to the "Safety Regulations for Coal Mines", the cables used in coal mines must be flame retardant. To meet this requirement, most of the cables are halogen flame retardants. However, when adding flame retardant, the amount of halogen gas and smoke produced during combustion is not taken into account, resulting in "secondary injury" of personnel in coal mine fire accidents. This paper describes the development of low-smoke and halogen-free cables at home and abroad, and compares the current status of China's coal mine cables with a variety of low-smoke and low-halogen-free cables. Through data analysis and comparison, the feasibility of low-smoke halogen-free cable application in coal mines is expounded, which provides reference and technical basis for the safe use of low-smoke and halogen-free cables in coal mines.

Keywords

Coal Mine Cable, Low Smoke, Halogen Free, Non-Toxic

浅析低烟无卤技术在煤矿用电缆的应用

李冰晶

安标国家矿用产品安全标志中心有限公司, 北京
Email: zimubingjing@sina.com

收稿日期: 2019年6月28日; 录用日期: 2019年7月11日; 发布日期: 2019年7月22日

摘要

根据《煤矿安全规程》的规定, 煤矿用电缆必须具有阻燃性, 为达到这一要求, 电缆大多添加卤素阻燃剂。但在添加阻燃剂的同时并未考虑燃烧时所产生的卤酸气体和发烟量的大小, 造成煤矿火灾事故中人

员的“二次伤害”。本文通过阐述国内外低烟无卤电缆的发展情况,针对我国煤矿用电缆的现状,对多种低烟无卤电缆进行对比试验,通过数据分析和对比,阐述了低烟无卤电缆在煤矿井下应用的可行性,为煤矿低烟无卤电缆的安全使用提供参考和技术依据。

关键词

煤矿用电缆, 低烟, 无卤, 无毒

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在我国,煤矿用“电缆”泛指煤矿井下使用的各种电线电缆和移动式地面采煤机设备的电源连接线。煤矿用电缆标准可追溯到上世纪九十年代初,但是煤矿用电缆均停留在不延燃的水平上,直接威胁安全生产尤其是井下的安全生产。直到1995年煤炭行业标准MT386《煤矿用阻燃电缆阻燃性的试验方法和判定规则》的颁布实施[1],才彻底改变了这一局面。电缆在燃烧试验时,采用GB/T 17651.2-1998 [2]/IEC 61034.2-1997 试验方法测量出的透光率通常在10%以下,采用GB/T 17650.1-1998 [3]/IEC 60754.1-1991 试验方法测量出的HCl含量通常达到100 mg/g~300 mg/g。如此浓的烟雾再加上如HCL与CO毒性气体对人的呼吸系统刺激,在井下狭窄的环境中,受灾人员难以逃离现场,仍不能摆脱伤亡的下场。

火灾过程中电缆燃烧释放的卤酸(HCL)气体数量、气体的腐蚀性、烟雾浓度以及烟气毒性是决定人们能否安全脱离火灾事故现场的主要因素。在煤矿火灾事故中死伤的人员多数不是被明火直接烧伤或致死,大多数是因为井下烟气浓度大而辨认不出逃生方向,以及吸入大量HCL、H₂S和CO等毒性气体而产生窒息所致。煤矿用电缆燃烧时释放出烟雾和毒性气体是造成煤矿井下电缆火灾事故的“二次伤害”[4][5],是造成煤矿火灾事故中人员伤亡的重要原因。

煤矿井下常伴有瓦斯气体溢出,煤矿井下属于火灾事故易发的高危险场所。煤矿井下敷设有各类电缆,无论煤矿火灾事故是由于电缆引起的直接原因或是由于其它电气设备引起的间接原因,电缆在煤矿火灾事故中都构成重要的不安全因素,因此,煤矿井下采用无卤阻燃电缆意义重大,势在必行。

2. 国内外低烟无卤电缆的现状

2.1. 国内外煤矿用电缆标准、材料要求

表1为国内外矿用电缆执行标准及基本阻燃对比表,从表可以看出国内外煤矿用电缆大多数使用氯化聚乙烯或氯丁橡胶或氯磺化聚乙烯,特别是国内因电缆价格因市场投标原因主要以最低价中标。氯化聚乙烯以其低廉的价格和优异的性能在矿(船)用电缆中得到广泛应用。国内煤矿用电缆护套几乎全部采用氯化聚乙烯混合胶。此混合胶大多添加卤素阻燃剂,属于一般阻燃电缆:不考虑燃烧时所产生的HCL气体腐蚀性和发烟量的大小。

2.2. 我国低烟无卤阻燃电缆的现状

2.2.1. 阻燃电缆阻燃特性

阻燃电缆阻燃特性可分为三类:

- 1) 一般阻燃电缆：不考虑燃烧时所产生的 HCL 气体腐蚀性和发烟量的大小；
- 2) 低烟、低卤阻燃电缆：要求电缆燃烧时所产生的 HCL 气体少、烟雾量少；
- 3) 低烟无卤阻燃电缆：HCL 释放量(mg/g)最大 5；pH 值最小 4.3 电导率(us/mm)最大 10。

Table 1. Comparison chart of domestic and foreign standards**表 1.** 国内外标准对比图

内容	国家	中国	英国	澳大利亚 新西兰	德国		
		MT818-2009	GB/T12972-2008	BS 6708-1998	AS/NZS 1802: 2003	AS/NZS 2802: 2000	VDE0250 Part813
标准		GB7594	GB7594	BS 7655.2.3	AS/NZS3803	AS/NZS3803	DIN VDE 0207.21
型号		XH-03A	大多 XH-03A	RS6 (60℃)			5GM3
护套	材料	氯丁橡胶或其他相当材料	氯丁橡胶或其他相当材料	氯丁橡胶或其他相当材料	HD-85-PCP HD-90-CSP HD-90-CPE	(X)HD-85-PCP (X)HD -90-CSP (X)HD -90-CPE	90-PCP
	强度 MPa	11.0	11.0	11.0	11.0	(12.5)11.0	10
	伸长率%	250	250	250	250	(300)250	300
电缆阻燃性能		MT 386-2011 单根燃垂直烧试验 负载条件下燃烧试验 成束燃烧试验	GB 18380-2001 没有负载条件下燃烧试验	BS4066.1 单根电缆燃烧试验	AN/NZS 1660.5.6 移出火焰后，试样应在 30 S 内自熄。燃烧完全停止后试样表面应擦拭干净，烧焦或受影响的部分不应延伸至上端固定夹下缘的 50 mm 之内。		

从阻燃机理上分析，有卤材料的阻燃能力是依靠材料本身阻燃，以及其它添加阻燃剂的协同效果，阻燃效果明显，不宜受温度和环境的影响。无论火灾的前期、中期和后期均能保持良好的阻燃性能。

无卤材料的阻燃能力主要依靠添加阻燃剂的效果，材料本身不阻燃，是易燃的。通过大量添加含结晶水的无机阻燃剂，依靠燃烧过程中释放结晶水，吸收能量来达到阻燃的效果。但是如果在火灾现场，由于周边的材料燃烧释放的热量，高温会造成无卤材料的“脱水”，从而降低阻燃效果，甚至不阻燃。但阻燃时不产生大量黑烟和酸性气体，利于人员疏散和生存，同时也不会腐蚀设备。

因此，有卤材料和无卤材料的阻燃方面互有特点。

2.2.2. 低烟无卤电缆的应用

低烟无卤阻燃电缆在国内外已经大量应用，现行的低烟无卤阻燃电缆材料标准和产品标准如：GB/T 17757-2010/IEC 60092-351:2004《船舶、近海装置用电力、控制、仪表、通信及数据电缆的绝缘材料》、GB/T 17756-2010/IEC 60092-359:1999《船用电力和通信电缆护套材料》、机械工业部标准 JB/T 10491-2004《额定电压 450、750V 及以下交联聚合物绝缘电线和电缆》、GB/T 9331-2008/IEC 60092-353:1995《船舶电气装置 额定电压 1 kV 和 3 kV 挤包绝缘非径向电场单芯和三芯电力电缆》、GB/T 17755-2010/IEC 60092-354:2003《船舶电气装置 额定电压 6 kV 至 30 kV 的单芯及三芯挤包实心绝缘电力电缆》以及挪威电缆标准 NEK 606:2004《海上石油平台用无卤防泥浆电缆》。

JGJ 16-2008《民用建筑电气设计规范》中 7.4.1 条第二款第三项规定：对一类高层建筑以及重要的公共场所等防火要求高的建筑物，应采用阻燃低烟无卤交联聚乙烯绝缘电力电缆、电线或无烟无卤电力电缆、电线。

低烟无卤阻燃电缆已经广泛应用于海上石油平台、船舶、高层建筑、机场、地铁、火车站、医院、大型商场、体育场、办公大楼等人员密集公共场所。

我国煤矿井下及非煤矿山使用的电缆，基本上都是按照煤炭行业标准 MT 818-2009《矿用电缆》、MT 818.14-1999《矿用阻燃电缆 第 3 单元：矿用阻燃通信电缆》进行生产。由于 MT 818 系列标准并未对电缆在燃烧时释放出的卤酸气体及有毒有害气体进行限定，为了进一步减少火灾过程中电缆燃烧释放的卤酸(HCL)气体数量、气体的腐蚀性、烟雾浓度以及烟气含量，减小电缆着火引起的火灾事故影响，安标国家矿用产品安全标志中心于经过多方的探讨于 2015 年发表了“关于征求矿用无(低)卤低烟电缆、输送带产品安全技术要求意见的通知”[6]，对低烟无卤电缆中卤酸气体含量和透光率做出了明确的规定。

3. 技术实现的主要途径，成本分析

目前实现电缆产品的低烟无卤阻燃化，主要通过护套材料的更换来实现。电力电缆和通信电缆中，绝缘采用 XLPE，护套由阻燃 PVC 更换为无卤阻燃聚烯烃(PO)。通信电缆和光缆只需要护套改为无卤聚烯烃。见下表 2：

Table 2. List of different cable jacket materials

表 2. 不同电缆护套材料一览表

电缆品种	电缆主要结构	现行阻燃电缆	低烟无卤电缆
电力电缆或通信	绝缘	PVC 或 XLPE	XLPE 或 TPE
	护套	PVC	PO
通信电缆	绝缘	PE	PE
	护套	PVC	PO
光缆	绝缘	/	/
	护套	PVC	PO

目前护套材料的无卤聚烯烃主要是热塑性的或热固性(辐照交联)，经过多年的发展，材料价格有了大幅度下降，应用越来越广泛。与 PVC 材料相比较，价格上应该大约有 30%~50%的增加。

如果橡胶类电缆实行无卤阻燃化，绝缘材料为乙丙橡胶，无需变更，护套材料必须有很大的变更，基体橡胶不能采用目前的氯化聚乙烯，氯丁橡胶，氯磺化聚乙烯橡胶。主要可采用的是乙烯-醋酸乙烯酯橡胶(EVA)，丙烯酸橡胶等特种橡胶。而此类橡胶目前基本依靠进口，价格很高。经济上不现实，而 EVA 无卤阻燃材料的机械物理性能下降较大，尤其是撕裂强度，难以满足电缆频繁弯曲的使用要求。

4. 实验

实验目的：通过测量低烟低(无)卤电缆氧指数与低烟低(无)卤性能和护套机械性能的关系，分析卤酸含量和烟密度对护套的影响。

实验方法：按照 GB/T 17650.2-1998、GB/T 17651.2-1998、MT 818.1-2009 的试验方法进行。

本次实验样品数量为 10 种。其中橡胶套电缆 6 种，1#~3#为低烟低卤电缆，4#~6#为无卤电缆。电力电缆共 4 种，均为低烟无卤样品。

由于影响电缆技术指标的因素众多,且受到样品长度、样品型号规格不同等因素的限制。故以下分析仅反映所做试验的结果及现象。氧指数数据表明:电缆氧指数最大的为6#,最低的为9#样品。烟密度试验只有2、3#样品低于60%,卤酸气体含量(pH值电导率)均能符合要求。故认为氧指数与烟密度及卤酸气体含量(pH值电导率)的关系不大,如下表3、表4。

Table 3. Relationship between oxygen index, structure and smoke density and halogen acid gas content (pH conductivity)
表 3. 氧指数、结构和烟密度及卤酸气体含量(pH值电导率)的关系

样品名称	样品编号	型号规格	透光率, %	卤酸气体含量, mg/g	pH 值	电导率, us/mm	氧指数
橡套电缆	1#	MYD-0.38/0.66 4 mm ²	63.1	78.2	/	/	34.2
	2#	MYD-0.38/0.66 16 mm ²	6.8	69.8	/	/	34.7
	3#	MYDP-0.66/1.14 50 mm ²	43.5	82.3	/	/	33.9
	4#	MY-0.38/0.66 25 mm ²	61	/	8.6	0.91	34.3
	5#	MYP-0.66/1.14 35 mm ²	85	/	8.3	1.83	32.4
	6#	MY-0.38/0.66 50 mm ²	89.8	/	8.5	0.43	35
电力电缆	7#	WD-MYJV22-6/10 50 mm ²	69	/	8.3	1.02	33.1
	8#	MDZ-MYJV32 25 mm ²	69.7	/	7.8	4.02	32.3
	9#	CHJ86/NSC 1.5 mm ²	86.5	/	8.5	1.82	30.4
	10#	ZR-YJY 50 mm ²	62.6	/	7.9	2.80	34.3

备注: 实验方法执行 GB/T 17650.2-1998 (IEC 60754)、GB/T 17651.2-1998 (IEC 61034)。

Table 4. Relationship between oxygen index and strength and elongation at break
表 4. 氧指数与强度和断裂伸长率的关系

样品名称	样品编号	型号规格	老化前强度, N/mm ²	老化前伸长率%	氧指数
橡套电缆	1#	MYD-0.38/0.66 4 mm ²	10.6	565	34.2
	2#	MYD-0.38/0.66 16 mm ²	10.9	505	34.7
	3#	MYDP-0.66/1.14 50 mm ²	10.4	520	33.9
	4#	MY-0.38/0.66 25 mm ²	10.8	275	34.3
	5#	MYP-0.66/1.14 35 mm ²	11.8	540	32.4
	6#	MY-0.38/0.66 50 mm ²	11.9	315	35
电力电缆	7#	WD-MYJV22-6/10 50 mm ²	13.1	205	33.1
	8#	MDZ-MYJV32 25 mm ²	12.1	180	32.3
	9#	CHJ86/NSC 1.5 mm ²	10.3	130	30.4
	10#	ZR-YJY 50 mm ²	8.9	230	34.3

备注: 实验方法执行 MT 818.1-2009 [7]。

总体上看: 目前国内外标准规定(包括船用, 军用以及铁路机车电缆等)无卤电缆抗张强度应 ≥ 9.0 N/mm², 伸长率 $\geq 120\%$ 。而本次试验样品2#、3#抗张强度大于10.0 N/mm²。除透光率性能外其余性能均能满足MT 818-2009要求。相比常规产品其降低了强度性能。

7#~10#样品为低烟无卤阻燃电力电缆, 7#样品性能较好, 依据 MT 818-2009 通过了所检项目。8#样品老化前断裂伸长率为 180%, 9#样品强度和伸长率较低, 氧指数较低, 10#样品老化前强度为 8.9 N/mm²。依据 MT 818-2009 规定, 除 7#样品外, 其他所检样品均无法满足要求。

参加试验的样品除 3#和 7#样品能够完全符合 MT818-2009 要求外, 其余均未能全面通过 MT 818-2009 普通电缆的要求。从试验数据分析: 企业所有产品气体酸度试验、烟密度试验都能符合要求。企业均采用了低烟无卤和低烟低卤材料, 而欠缺注重对于抗张强度、伸长率以及阻燃性能之间相互制约关系的平衡。

5. 低烟无卤不等于无毒

毒性不仅含卤电缆有, 所有的线缆(有卤和无卤)都产生有毒气体。根据火灾专家的经验, 火灾中最致命的原因是吸入有毒无气味的一氧化碳(CO)。英国建筑物研究/消防研究机构 UK BRE/FRS 的线缆防火研究显示, 在燃烧 LSZH (低烟无卤护套电缆)产生的一氧化碳(CO)比 CMP (美国 5 号 PVC 护套信号电缆)电缆更多。这主要是由于 LSZH 线缆燃烧得更快, 并很快地减少了可用的氧气。

GB/T20285《材料产烟毒性分级和产烟毒性危险评价标准》[8]中用实验动物(小白鼠)进行毒性试验, 按实验动物达到试验终点所需的产烟浓度作为判断材料产烟毒性危害级别的依据: 所需产烟浓度越低的材料, 所产烟毒性危险越高(危害性大), 所需产烟浓度越高的材料, 所产烟毒性危险越低(危害性小)。

6. 结论

由于煤矿电缆的使用环境的特殊性, 井下煤矿电缆的低烟无卤阻燃化, 需要考虑诸多因素, 从减小火灾事故的影响考虑, 电缆的低烟无卤化还是具有一定的可行性。将煤矿安全的重要性置于首要位置, 使煤矿用电缆的安全性达到尽可能高的水平, 最大限度消除煤矿用电缆对煤矿安全因素的负面影响。

1) 矿用矿用电缆的低烟低(无)卤、低毒化条件已基本具备, 矿用电力电缆、橡套电缆最终可实现低烟无卤化。但针对相关实验发现由于受到材料、成本、技术指标等因素相互制约的影响, 矿用低烟低(无)卤橡套电缆和电力电缆的技术发展程度又存在较大的差别, 需要进一步验证和数据支持。

2) 建议橡套类电缆采用低烟低卤和低烟无卤同步发展的方式, 逐步过渡到低烟无卤电缆。

3) 建议塑料类电缆可执行低烟无卤化。

低烟低(无)卤、低毒化代表了矿用电缆的发展方向, 对提高产品的安全性能、进一步保障煤矿安全生产, 必将起到十分重要的作用, 是继阻燃性能之后的又一次重大技术革新。

参考文献

- [1] 袁洪军, 旷天申, 富宝灿, 张胜华. 矿用低烟低毒(卤)阻燃电缆的性能测试[J]. 煤矿安全, 2005, 36(12): 1-3.
- [2] 全国电线电缆标准化技术委员会. GB/T17651.2-1998《电缆或光缆在特定条件下燃烧的烟密度测定, 第 2 部分: 实验步骤和要求》中国标准书号[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [3] 全国电线电缆标准化技术委员会. GB/T17650.1-1998《取自电缆或光缆的材料燃烧时释出气体的试验方法, 第 1 部分: 卤酸气体总量的测定》中国标准书号[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [4] China Ordnance Society (2006) Proceedings of the First Annual Sino-American Joint International Fire Safety Conference, October 30-November 1.
- [5] 旷天申, 等. 降低含卤的阻燃耐火电缆燃烧所造成的二次灾害问题探讨[C]//中国电工技术学会 2001 年会议文集, 2001.
- [6] 安标字(2015) 13 号“关于征求矿用无(低)卤低烟电缆、输送带产品安全技术要求意见的通知” [Z].
- [7] 煤炭行业煤矿安全标准化技术委员会. MT818.1-2009《矿用电缆第 1 部分移动类软电缆一般规定》中国标准书号[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [8] 全国消防标准化技术委员会第七技术委员会. GB/T20285《材料产烟毒性分级和产烟毒性危险评价标准》中国标准书号[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-7301，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：me@hanspub.org