

矿物绝缘隔离型阻燃超柔性防火电缆分析

胡乐云, 王元元, 罗锡群

(浙江威尔鹰新材料线缆有限公司, 浙江 温州 325000)

摘要 耐火绝缘层材料赋予耐火电缆优越的耐火性能, 在多年的研究中, 国内耐火电缆的耐火或绝缘层材料制造取得了理想的进步。为更深入地了解矿物绝缘隔离型电源性质与性能, 本文对不同种类的电缆进行分析, 论述了BTTZ、RTTZ、BTLY、BBTRZ以及陶瓷化矿物绝缘隔离型电缆, 根据不同电缆的刚柔性对比, 分析电缆具备的电气绝缘性能, 以期减少电缆击穿和电气短路等事故提供借鉴。

关键词 矿物绝缘电缆; BTLY 隔离型矿物绝缘电缆; 陶瓷化绝缘电缆

中图分类号: TM75

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.04.022

0 引言

矿物绝缘隔离型阻燃超柔性防火电缆具备诸多优势, 已引起社会的广泛重视。这种电缆由无机材料制成, 本身不会燃烧, 也不会产生有毒气味, 即便在火灾中也可以正常工作。在接近铜的熔点温度下, 其也能够持续运作。该物质能够在 950 ~ 1 000 °C 下持续运行 180 min, 同时还可以承受重物坠落所导致的冲击。这一类电缆的载流量大, 具备防水、防爆、过载保护、安装便捷、重量轻等优势。目前这一类电缆经常在高层建筑和公共设施等重要领域使用。

1 矿物绝缘电缆

当前, 国家对特种材料的研究十分关注, 因此市场上关于矿物绝缘电缆的研究逐渐兴起。在《建筑设计防火规范》GB 50016—2014(2018版)中对矿物绝缘性能作出解释: 矿物绝缘类不燃性电缆是由铜芯和矿物质、铜等金属制成的材料, 在使用中具备优良的性能, 尤其是导电性和机械物理性能以及耐火性等, 在使用中, 不燃是其响亮的招牌。在火灾条件下, 即便火灾蔓延时间长, 消防供电也可以得到保持, 而且不会延燃也不会产生烟雾。因此按照对应的规范, 这一类电缆可以用明敷的形式进行。在《低压配电设计规范》GB 50054—2011 当中认为矿物绝缘电缆是经压缩的矿物粉绝缘的一根或数根导体所组成的电缆。根据市场上不同产品标准的矿物绝缘电缆性能和产品特征来看, 这些电缆产品标准不同, 因此在特征等方面都有差距^[1]。实际上国内质量认证中心 CQC 产品认证当中, 主要以 BTTZ 系列为主, 而 YTTW 和 RTTZ 的产品则比较少。

2 矿物绝缘电缆的定义与类型

2.1 刚性矿物绝缘电缆

矿物绝缘电缆 (Mineral Insulated Cables) 简称 MI。线芯铜制, 金属护套用铜或者铜类合金材质, 线芯、护套之间, 紧压矿物粉。护套外面还设置有有机护套, 形成紧密的电缆结构。矿物绝缘电缆是无机材料制造的, 铜的熔点能达到 1 083 °C, 内部紧压的高纯度氧化镁矿物熔点能够达到 2 800 °C, 高度熔点的特性, 让该电缆具备十分优越的性能。和传统电缆显著的区别在于, 这种电缆所使用的绝缘材料是矿物粉末, 因此粉末性能、质量决定生产制造出的电缆电气性能和耐火性能。目前, 市场上用作矿物成分的材质有 MgO、Al₂O₃、SiO₂ 等材料, 现阶段在工业生产中广泛使用的矿物粉有 MgO。

2.2 柔性矿物绝缘电缆

柔性电缆主要是云母带耐火型电缆, 利用云母带在常温、高温下具备电气绝缘性能来进行设计的, 这一类电缆的结构型式有:

1. 直接绕包在导体上。在制作与生产的时候, 将云母带直接绕包在导体上, 制作成绝缘线芯。成电缆之后, 再使用合金护套来保护电缆。该电缆的执行标准是 JG/T313—2014, 在该标准当中, 电缆与终端的额定电压为 0.6/1 kV 及以下, 为 YTTW 系列, 护套是无机矿物绝缘电缆, 由无机矿物合成云母带。该标准当中, 同样有波纹铜护套产品。这一系列电缆产品和 RTTZ 产品制定标准不同。但市场上部分产品符合这两个标准, 因此两个名字都可以^[2]。

2. RTTZ。这种绝缘电缆是无机矿物合成云母带绝

缘电缆，为绝缘铜护套结构。电缆的执行标准为 GB/T 34926—2017，属于 RTTZ 系列产品，这一类电缆的型号与额定电压在 0.6/1 kV、450/750 V 范围内。

3. BTLY。这一类电缆是无机矿物合成云母带的绝缘电缆，在护套内，加矿物隔离层、低延无卤阻燃，配合填充物与隔离层等制作成的矿物绝缘电缆。属于 BTLY 系列，市场上也将其叫作云母带绝缘护套矿物绝缘电缆。

4. BBTRZ。这一类电缆是无机矿物合成云母带绝缘电缆，常用的型号为 BBTRZ。这一类电缆中云母带直接绕包，围住导体，挤包有机聚合物形成线芯，形成电

缆后挤包胡桃。这种结构当中含有的有机聚合物较多，比如有交联聚乙烯、低烟无卤聚烯烃、改性硅橡胶等材料。生产这一类电缆的时候，经常会使用具备阻燃性能的材料来填充在电缆之内，确保材料有充分的耐火性能。目前市场上常用的有快速陶瓷化耐火的耐火绝缘聚合物基复合材料。这种材质能够低温快速成型，满足电缆制造的需求。

2.3 不同电缆对比

结合对 BTTZ、YTTW、BBTRZ 与 NG-A (BTLY) 的讨论，得出以下结论，见表 1、表 2。

表 1 常见矿物绝缘电缆对比

结构	刚性		柔性	
	BTTZ	YTTW	BBTRZ	NG-A (BTLY)
导线	退火铜棒	铜绞线	铜绞线	铜绞线
绝缘层	MgO	合成云母带	合成云母带交联聚乙烯	合成云母带交联聚乙烯
外护套	铜管	铜带	氢氧化镁、氢氧化铝	绕包铝带

表 2 矿物绝缘电缆的绝缘材料性能

类别	MgO (粉)	合成云母 KMg3(AISi3O10)F2
密度 ($\rho \times 10^3$) kg/m ³	3.58	2.78 ~ 2.85
体积电阻率	常温下 1 010 ~ 1 011 1 000 °C 状态下 109 ~ 1 010	常温下 1 011 ~ 1 012 800 °C 状态下 3.5 × 10 ⁸
熔点 °C	2 800	1 375 ± 5
导热率 W/m*K	36	3.75
吸水率 %	≤ 0.1	0.14 ~ 0.23

为进行刚性和柔性电缆材料的性能分析，这里进行 BTTZ 和 YTTW 两种类型电缆类别分析，刚性是 BTTZ，柔性电缆为 YTTW。将两种材料进行燃烧实验，C 级，950 °C 下燃烧 180 min，两种电缆均通过测试；将两种材料进行喷淋实验，W 级，于 650 °C，先燃烧 15 min，再燃烧与喷淋 15 min，两种电缆均通过测试；进行 Z 级装机实验，于 950 °C，进行每 15 min 30 次的试验，试验发现 BTTZ 没有明显的痕迹，但 YTTW 在撞击位置，护套上存在明显的变形情况^[3]。

结合实验来看，这两种电缆均能够通过 BS6387 测试，但在测试中 YTTW 作为矿物绝缘隔离型阻燃超柔性防火电缆，铜护套位置存在变形，重复试验之后，受到压纹结构的影响，云母带绝缘被烧成黑色粉末，在护套内散落于各处缝隙中。BTTZ 样品重复试验之后，发现护套内只有少部分的撞击痕迹。后续进行绝缘电阻测试，其中 YTTW 绝缘阻值几乎为 0，但 BTTZ 的阻值超过 200。

3 BTLY 隔离型矿物绝缘电缆与陶瓷化矿物绝缘电缆

3.1 BTLY 隔离型矿物绝缘电缆

本次讨论的电缆，额定电压 750 V，引用规范有 GB/T 2951.11—2008、GB/T 17650.2、GB/T 19216.21—2003 以及 JB/T 8137 等。该电缆经过例行试验、抽样试验、型式试验。750 V 电缆额定电压在使用中要求导体和金属护套、导体之间电压不应超过交流电压和直流电压 (750 V) 的额定值。BTLY 中外护套“Y”，为聚烯烃；金属套“L”为铝护套；导体代号“T”为铜导体；系统代号“B”为矿物绝缘。

该材质是由 PE/XLPE 材料在加温之后挤出，导体之间，每一根导体和铝护套之间的绝缘层厚度如表 3 所示。

在制作过程中，金属套使用退火铝以及绿金材料，使用的铝护套平均厚度也应该符合规定，只有这样才能确保符合规范。若有防腐和辨认、美观性能方面

的要求时，可以制作外护套。护套需要经过火花、阻燃试验^[4]。只要符合需求，外护套的颜色可以是符合国家规定的任何一种颜色。成品的电缆经过燃烧性能试验之后，如果市场有需求，外护套可以更换为替代材料和厚度。除非有规定，否则该材质试验温度必须符合 $20\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；试验电压频率范围为 $49\sim 61\text{ Hz}$ 。每根成品电缆在包覆外护套，需要将其浸泡在 $15\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水中，浸泡时间应该1 h，从水中取出后的8 h内，进行绝缘电阻测试。电缆端头剥除护套，露出导体之后，露出的部分应该增加密封处理。在导体之间，施加

2.5 kV的有效电压，增速为150 V/s，并且持续60 s。作业要结合GB/T13033.1—2007来进行。外护套完整试验也必须符合对应规定，在作业中电极电压的有效值为6 kV，另外电容器350 pF。铝护套厚度试验的时候，在不超过成圈的电缆端部150 mm处进行试验，在端部位置切铝护套圆环，抛开之后，在窄条上面测量。用千分尺沿着窄条进行测量6次，计算出至少三位数的平均值，按照规定处理后将其作为铝护套厚度的平均值。

表3 导体和铝护套之间的绝缘层厚度

导体表面截面	绝缘标称厚度	铝护套外径 (mm)				
		3+1 (芯)	3+2 (芯)	4 (芯)	4+1 (芯)	5 (芯)
4	0.7	11.20	13.20	13.20	17.20	19.30
6	0.7	12.45	14.30	14.30	18.30	20.40
10	0.7	14.50	16.50	16.50	19.80	21.50
16	0.7	17.02	18.50	18.50	22.50	24.60
25	0.9	20.12	23.40	23.40	27.30	29.60
35	0.9	24.50	26.70	26.70	29.80	32.20

3.2 陶瓷化矿物绝缘电缆

这里讨论的电缆为0.6/1 kV陶瓷化矿物绝缘隔离型A类阻燃超柔性电缆。这种电缆通常使用在消防报警和应急照明等场所中。该电缆制作中采用GB/T 3956—2008中的规定进行设计与生产，设计中精细布置了绞线间距，确保产品的导电性能，生产过程中拉丝、退火等工序都全过程监测，确保铜单线质量。该电缆的设计，使用耐火云母带。这类材质的生产制备环节都很烦琐，带宽的25%为搭盖率重叠绕包，确保导体可以承受持续的高温。在制作中，绝缘在 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 状态下会生成致密、坚硬的陶瓷壳体保护内部，无机填充层紧密，均匀分布在电缆缆芯之间^[5]。高强度保护层经过浸润处理的加强无碱玻璃纤维带和高阻燃包带组成，耐高温性能良好。在生产制作上，使用陶瓷矿物材料按照一定比例配置，塑化挤出包覆住缆芯，形成较高的氧指数，在高温状态下快速生成坚硬的陶瓷壳体，而且有很好的抗冲击性能。作为超柔性防火电缆，在使用中还具备防水、耐腐蚀和防爆的特性，在里面使用低烟与无卤和高阻燃的材料制作护套，在使用中具备优良的防水和防潮性能，在部分有爆炸危险的场所使用该电缆有重要作用。由于是使用无机材料制成的，所以电缆也不会被轻易损伤，使用寿命长达70年以上，比普通电缆更高。由于材质柔软容易弯曲，安装和敷设都很方便，而且不需要专门的接头，能够减少接头的成本，确保接入线路一致。

4 结束语

为深入了解矿物绝缘电缆的性能，文章首先对刚性与柔性电缆进行分析，论述矿物绝缘电缆的生产标准，最后重点阐述矿物绝缘隔离型阻燃超柔性防火电缆所具备的性能与优势，其作为优质的电缆材料，在使用中可解决传统绝缘层的弊端和不足，满足当下特殊场合的需求，也符合未来市场发展的需要。柔性矿物绝缘防火电缆具备较大的应用价值，在今后的研制中仍要考虑在制作柔性矿物绝缘电缆时加入高分子复合材料，需要投入更多科技研制出新的电缆材质，最大程度地发挥电缆的绝缘与防火性能。

参考文献:

[1] 李杰尉,方国华.基于传感器网络节点的矿物质绝缘防火电缆安全隐患预警系统构建研究[J].电子产品世界,2022,29(09):20-24.
 [2] 井秋军,张新录.RTYZ型小截面波纹铜护套矿物绝缘电缆的过程质量控制[J].汽车博览,2023(14):7-9.
 [3] 赵瑞军,张迪.超高层建筑RTTZ矿物绝缘电缆敷设技术研究应用[J].租售情报,2023(09):153-155.
 [4] 薛菁鑫.建筑工程防火电缆与电气照明设计与应用[J].中国建筑金属结构,2024,23(05):26-28.
 [5] 章城,李伟钢,徐季新,等.BITZ电缆制造过程中氧化镁落粉均匀性研究[J].电线电缆,2023(01):49-54.