

新型轨道交通用35kV无卤低烟阻燃B1级环保电力电缆研制、设计

刘凤伟 袁艳艳 周莹 吴文铎 周吉瑞
宁波东方电缆股份有限公司 浙江 宁波 315000

摘要：为了预防地铁等人员密集型的重要轨道交通枢纽设施发生火灾，减小火灾发生时的危害，最大限度的保障人们的生命财产安全，现依据：《GB 51298—2018地铁设计防火标准》、《GB 31247—2014电缆及光缆的燃烧性能分级》、《GB/T 50378—2006绿色建筑评价标准》《GB 50016—2014建筑设计防火规范相关要求》研制设计了35kV及以下阻燃B1级电力电缆的结构设计。该文详细阐述了新型轨道交通用35kV无卤低烟阻燃B1级环保电力电缆的原材料选择、产品研制设计、关键生产工艺控制及燃烧性能试验情况。

关键词：新型；阻燃；B1级；环保；燃烧性能

引言：早在2018年初，中国铁路总公司提出了《中长期铁路网规划》，到2025年铁路网规模可达到17.5万公里左右。截至2023年12月31日，中国内地累计有59个城市投运城轨交通线路11232.65公里，伴随着国家不断深化的城镇化与核心经济圈建设，未来打造的智慧型城市，离不开四通八达的轨道交通运输网络，预计未来10年城市轨道交通将持续不断新的建设。电力电缆作为轨道交通领域的主要动力传输设施，起着至关重要的纽带作用。地铁与轨道等交通运输设施，是人员密集型场所，安全、环保等问题重中之重，直接推进了轨道交通用电力电缆的技术革新。为了最大限度的保障人们的生命财产安全，现结合《GB51298—2018地铁设计防火标准》、《GB 31247—2014电缆及光缆的燃烧性能分级》、《GB/T 50378—2006绿色建筑评价标准》、《GB 50016—2014建筑设计防火规范相关要求》相关要求，研发设计了新型轨道交通用35kV无卤低烟阻燃B1级环保电力电缆（后续简称阻燃B1

级环保电力电缆），专门用于地铁、城轨等人员密集型的重要轨道交通枢纽设施。该类电力电缆具有阻燃B1级、绿色环保、防水、防紫外线、无卤低烟等超高阻燃特性，同时又具有普通电缆便于安装施工、运维的特点。

1 研制、设计思路

阻燃B1级环保电力电缆，考虑到绿色环保、无卤低烟高阻燃等特性在原材料选取上应选择无卤、绿色环保可回收再利用的材料，选取无机化合物充当结构护层等具有高阻燃性能，对燃烧过程中火焰高度、炭化距离、燃烧滴落物、烟气毒性、热释放量等都应具有较大抑制作用，在结构设计、电缆制造的工艺流程也需围绕此项要求进行。^[1]相比于传统26/35kV阻燃电力电缆，本产品需升级阻燃结构、减少对环境的破坏以及对资源的浪费等，选用新型阻燃材料、环保材料等创新手段，不断优化火焰传播特性，降低火焰传播和蔓延速率，减少燃烧热释放量和增强无卤低烟高阻燃等特性方面应做到整体提升。^[2]

表1 GB/T 31248—2014标准中B1级阻燃电缆或光缆的考核要求

序号	指标名称	要求	试验方法
1	火焰蔓延	$FS \leq 1.5m$	GB/T 31248—2014 (20.5kW火源)
2	热释放速率峰值	HRR峰值 $\leq 30kW$	
3	受火1200s内热释放总量	THR1200 $\leq 15MJ$	
4	燃烧增长速率指数	FIGRA $\leq 150W/s$	
5	产烟速率峰值	SPR峰值 $\leq 0.25m^2/s$	
6	受火1200s内产烟总量	TSP1 200 $\leq 50m^2$	
7	烟密度（最小透光率）	$It \geq 60\%$	GB/T 17651.2
8	垂直火焰蔓延高度	$H \leq 425mm$	GB/T 18380.12

2 阻燃B1级环保电力电缆原材料选取

该系列电缆导体采用无氧铜，纯度不小于99.95%，

由退火的无氧铜单线绞制而成，表面光洁、无油污、无损伤屏蔽及绝缘的毛刺、锐边，无凸起或断裂的单线。

内外屏蔽采用超净半导电屏蔽料，半导电层均匀地包覆在导体上，并牢固地粘在绝缘层上，界面光滑，无明显绞线凸纹，无尖角、颗粒、烧焦或擦伤的痕迹。绝缘材料应选择新型改性OCPP聚丙烯绝缘材料，可以达到绿色环保可回收再利用的无污染效果，大大降低了对环境的污染及对资源的浪费，为打造绿色轨道生态系统助力。^[3]阻水层结构采用（半导电缓冲阻水带与铝塑复合带复核的形式），屏蔽层采用铜丝加反向铜扎带束缚的形式，内护层采用掺杂耐高温粒子低烟无卤隔氧料，包带采用编织玻纤带（不涂胶），铠装层采用经特殊处理的非磁性钢带，铠装外侧采用高阻燃编织玻纤带，外护套采用年掺杂耐高温粒子采用黑色低烟无卤阻燃防鼠、防蚁、防紫外线聚烯烃护套料，鉴于该系列电缆的燃烧特性，下面将重点介绍导体、绝缘和屏蔽层及外护层等设计方案。

2.1 导体结构设计

导体应是GB/T3956的第二种TR退火软铜线紧压绞合成圆形导体，其组成、性能和外观应符合GB/T3956标准的规定，紧压系数不小于0.90。电缆芯线横截面积不小于标称面积，生产设备应采用配备纳米涂层模具和在线张

力控制系统，可确保电缆具备优良的电气和机械性能，导体表面应光洁、无损伤绝缘的毛刺、锐边以及凸起或断裂的单线等情况。^[4]

2.2 绝缘层设计

在绝缘和护层材料选用方面，一般绝缘工序采用导体屏蔽、绝缘、绝缘屏蔽三层共挤工艺，采用CCV改造悬链生产线，并需配有超净化上料装置及德国西柯拉公司的在线X光绝缘测偏仪。绝缘材料应选择新型改性OCPP聚丙烯绝缘材料，以达到无卤低烟绿色环保的使用要求，绝缘料和半导电料从生产之日到使用不应超过1年，绝缘的平均厚度不小于绝缘标称厚度，任意点最小厚度不小于标称厚度的95%（ $t_{min} \geq 0.95t_{n}$ ）保障绝缘偏心度控制在6%以内，以增强线路运行的可靠性保障轨道交通运输网络的稳定运行。^[5]所述的改性聚丙烯由下列质量份的原料制成：聚丙烯60—105，纳米有机改性蒙脱土0.8—1.5，硬质酸钙10—15，苯乙酮（AP）0.2—0.8，羟甲基纤维素钠8—16，金红石型纳米二氧化硅0.8—1.0，木纤维0.8—1.2，收缩均匀添加剂0.2—0.6，协同抗氧剂0.1—0.5，纳米增强剂0.8—1.2。绝缘设定温度参考值如表2所示：

表2 绝缘设定温度参考值

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	导胶 Adaptor	快夹 Clamp
Ø 65机	180	190	195	/	/	/	190	190
Ø 90机	170	175	180	190	/	/	190	190
Ø 150机	170	180	180	185	185	190	190	190

2.3 复合护层结构设计

复合护层由屏蔽层和阻水层组成，屏蔽层的设计应采用疏绕的软铜线组成，其表面采用反向绕包的铜丝或铜带扎进，相邻铜丝的平均间隙不大于4mm，屏蔽短路电流值应满足3.5kA/S，复合护层的结构应为半导电阻水带—铜丝加反向铜扎带—半导电缓冲阻水带—铝塑复合带的形式。电缆应具有径向防水功能，应采取纵包铝塑复合带（或其它金属复合带）的方式作为径向的阻水层，单根电缆的阻水带须用完整的一根，中间不允许接缝。若采用纵向绕包阻水层，接缝处应另有阻水防护层。

2.4 外护层结构设计

外护层由隔氧层—非磁性钢带铠装—玻纤带—PVC外护套组成，在复合护层的基础上，挤包一层高阻燃低烟无卤材料，以提高电缆综合氧指数，其标称厚度不小

于1.5mm，任一点的最小厚度不低于标称值的80%。隔氧层材料与电缆的工作温度相适应，并对绝缘材料无有害影响，铠装层大大提高了电缆的机械性能，另一方面还可以防止小动物咬伤电缆并使电缆免于一些机械损伤，铠装层可以采用非磁性钢带铠装，钢带的结构尺寸应符合GB2952的规定。采用非磁性钢带铠装时，非磁性钢带应双层左向螺旋间隙绕包，间隙应不大于钢带宽度的50%，且内层间隙应被外层钢带靠近中间部分覆盖。铠装层也可采用重叠绕包的黄铜带铠装，应满足GB/T12706标准要求，间隙率不大于铜带宽度的50%，铠装外侧应绕包一层阻燃玻纤带，搭盖率应不小于20%，外护层采用低烟、无卤、阻燃护套材料，护套标称厚度应按GB/T2952标准的规定，最薄点厚度应不小于标称值的80%—0.2mm。挤包后的外护套表面光洁，无杂质、擦伤等缺陷，外护套应满足抗环境应力要求。

表2 无卤低烟阻燃B1类防鼠蚁电力电缆燃烧性能及分级检测结果

检验检测项目	单位	技术要求	检验检测结果
试样上碳化的长度与喷嘴底边向上距离	m	≤ 2.50	0.70

续表:

检验检测项目	单位	技术要求	检验检测结果
停止供火后试样上有焰燃烧或发光的时间	h	≤ 1.00	0.20
烟密度试验——透光率		≥ 60.00	88.00
pH值(绝缘)		≥ 4.30	4.80
电导率(绝缘)	μS/mm	≤ 10.00	0.30
溴和氯含量(以HCl表示)(%)(绝缘)		≤ 0.50	0.20
氟含量试验——氟含量(%) (绝缘)		≤ 0.10	0.03
pH值(内层绕包)		≥ 4.30	5.20
电导率(内层绕包)	μS/mm	≤ 10.00	0.30
溴和氯含量(以HCl表示)(%)(内层绕包)		≤ 0.50	0.10
氟含量试验——氟含量(%) (内层绕包)		≤ 0.10	0.02
pH值(外层绕包)		≥ 4.30	5.30
电导率(外层绕包)	μS/mm	≤ 10.00	0.20
pH值(外层绕包)		≥ 4.30	5.20
电导率(外层绕包)	μS/mm	≤ 10.00	0.30
溴和氯含量(以HCl表示)(%)(外层绕包)		≤ 0.50	0.20
氟含量试验——氟含量(%) (外层绕包)		≤ 0.10	0.01

参考文献

- [1]住房和城乡建设部,地铁设计防火标准: GB 51298-2018[S].北京: 中国计划出版社,2018.
- [2]住房和城乡建设部,建筑设计防火规范: GB 50016-2014[S].北京: 中国计划出版社,2014.
- [3]全国消防标准化技术委员会技术委员会.电缆及光缆燃烧性能分级: GB 31247-2014[S].北京: 中国标准出版社,2015.
- [4]浙江大学,普通化学[M].北京: 人民教育出版社,1981.
- [5]王春江.电线电缆手册:第一册[M].北京: 机械工业出版社,2014.