

轨道交通直流防水、防鼠、防蚁、无卤低烟电缆的研制

王义军

阳谷新太平洋电缆有限公司，山东聊城，252300；

摘要：介绍了大规格轨道交通直流防水、防鼠、防蚁、无卤低烟电缆的结构设计，并对该产品的绝缘和护套材料提出了具体性能指标。

关键词：大规格轨道交通直流防水；防鼠；防蚁电缆

DOI：10.69979/3029-2727.25.02.009

引言

随着经济的发展和科学技术的进步，铁路机车技术得到长足的发展，同时随着国家铁路系统的快速发展，对机车电缆的需求量也逐年增加。考虑到一些机车车辆的使用环境的特殊性，需要电缆具有防水、防鼠、防蚁、防紫外线、无卤低烟低毒等性能，目前国内使用的机车电缆不具有防止大鼠啃咬，防白蚁蛀蚀性能，且在有水的情况下绝缘材料易吸水而影响绝缘电阻，以上情况都会对电缆结构造成损坏，进而影响到用电设备的运行，目前还没有防水防鼠防蚁等性能标准，只是在 GB/T 28429-2012《轨道交通 1500V 及以下直流牵引电力电缆及附件》中提到选用类似性能的材料而没有具体规定，近年来机械部逐渐推出防白蚁蛀蚀和防大鼠啃咬的试验标准，而电缆产品尚无相应标准出台。传统的轨道交通电缆只能满足其中一部分功能，这样机车在运行过程中很可能出现鼠咬、白蚁蛀蚀、进水、龟裂、柔软性下降、提前老化等现象，从而在很大程度上影响了机车的正产运行，存在着极大的安全隐患。

本文介绍一种大规格轨道交通直流电缆，能够适应铁路机车特定的使用环境，具有防水、防鼠、防蚁、防紫外线、无卤低烟低毒等性能。

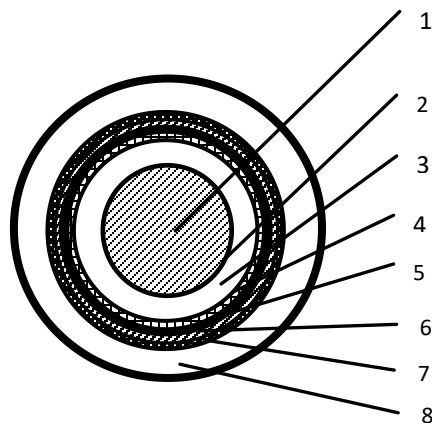
1 产品试制

试制产品型号规格为 FSYZ-DC-WDZA-EAY 1×400 mm²，额定电压 1500V。

1.1 电缆结构

导体采用 GB/T 3956-2008 规定的第 5 种镀锡软铜导体，单丝直径为 0.50mm，单丝根数为 2013 根，导体外径为 29.1mm，导体外绕包聚酯隔离层，绝缘采用无卤低烟防水乙丙橡胶材料，绝缘厚度为 2.6mm，绝缘层外

绕包阻水包带，阻水带外采用铝塑粘结防水层，防水层外挤包一层 HDPE，聚乙烯（HDPE）护层外挤包一层无卤低烟阻燃材料隔火层，隔火层外挤包无卤低烟热固性护套材料，电缆结构如图 1 所示。



1-导体；2-隔离层；3-绝缘；4-阻水带；5-铝塑带；6-聚乙烯层；7-绕包隔火层+挤包隔火层；8-护套

1.2 原材料选取及结构特点

该产品的绝缘采用无卤低烟防水乙丙绝缘料，该料正常运行时导体最高温度为 90℃，低温脆化温度为-25℃，在零下 25℃的天气中也能正常使用，不会发硬变脆，且该料的无卤性能指标溴和氯、氟含量、pH 值、透光率都优于国家标准要求。用该料挤出的绝缘线电性能好，绝缘电阻高达 200MΩ·km。

阻水带使用的是一种膨胀阻水材料，是用粘合剂将吸水树脂粘附在两层聚酯纤维无纺布里，制成带状物的材料，起到阻水作用。

双面铝塑复合带是采用铝带双面复合乙烯-丙烯酸共聚物(EAA)构成，共聚物与铝带基带具有良好的粘结性能，并且与低密度、线性低密度、中密度、高密度聚乙烯和无卤聚烯烃(HFPO)护套树脂形成牢固的粘结，

构成综合护层，对缆芯提供了可靠的防潮、屏蔽和化学防护层。

聚乙烯（HDPE）具有良好的耐热性和耐寒性，化学稳定性好，较高的刚性和韧性，机械强度好，化学稳定性好，对水蒸气和空气的渗透性小、吸水性低，起到很好的耐水性。其与铝塑复合带牢固粘结，形成一个完整的铝-塑粘结防水层。

隔火层采用绕包无卤低烟阻燃玻璃丝带+挤包无卤低烟阻燃热塑性聚烯烃材料，两层阻燃材料有效的起到隔火作用，同时可降低燃烧过程中散发出烟、毒、酸等有害物质。

护套采用无卤低烟阻燃热塑性聚烯烃材料，该材料不含卤素、重金属等，具有燃烧时无卤酸气体放出，毒性和腐蚀性气体释放量极少，产生的烟雾浓度极低，透光率大于 80%，具有极好的阻燃效果，自熄性好，抗机械外力冲击能力强，耐候性和耐日光性能优异，较好地满足了实际的使用条件。电缆用绝缘材料和护套料的性能指标见表 1 和表 2。

表 1 绝缘料性能

检验项目	无卤低烟乙丙绝缘料
抗张强度/MPa	≥5.0
断裂伸长率/%	≥125
热老化（135℃×168h） 抗张强度/MPa 抗张强度变化率/% 断裂伸长率/% 断裂伸长率变化率/%	≥5.0 ≤-30 ≥100 ≤±30
热延伸（200±3℃,15min, 20N/cm ² ） 载荷下延伸率/% 冷却后永久伸长率/%	≤175 ≤25
耐热压变形 试验温度（80±2℃） 压入深度/%	≤50
热收缩性（100±2℃,1h） 收缩值/%	≤4
绝缘吸水试验（130℃,1h） 吸水重量/mg/cm ²	≤1
燃烧气体的腐蚀性（750~800℃, 0.5h） pH 值 电导率（μS/cm-1）	≥3.5 ≤100
酸气含量试验 溴和氯含量（以 HCL 表示）/%	≤0.5
氟含量试验 氟含量/%	≤0.1

表 2 护套料性能

检验项目	无卤低烟护套料
抗张强度/MPa	≥9.0
断裂伸长率/%	≥125

热老化（100℃×168h） 抗张强度/MPa 抗张强度变化率/% 断裂伸长率/% 断裂伸长率变化率/%	≥9.0 ≤±40 ≥100 ≤±40
高温压力试验（80±2℃, 6h） 压入深度/%	≤50
低温拉伸试验（-15℃） 伸长率/%	≥20
冷冲击试验（-15℃）	不开裂
护套吸水试验（70℃,24h） 吸水重量/mg/cm ²	≤10
燃烧气体的腐蚀性（750~800℃, 0.5h） pH 值 电导率（μS/cm-1）	≥4.3 ≤100
酸气含量试验 溴和氯含量（以 HCL 表示）/%	≤0.5
氟含量试验 氟含量/%	≤0.1
烟发散试验 透光率/%	≥60

1.3 设备选用

采用德国特勒斯特公司的 60+150+90 三层共挤硫化线生产该电缆绝缘层，该设备可确保圆周方向物料流速相同，联动调速不偏芯，且配置的德国西科拉公司测偏仪，可在线监测绝缘层厚度，确保厚度均匀性，提高产品质量。

1.4 工艺流程

根据产品的结构特点及其特殊性，生产工艺流程为：
拉丝→切炼→镀锡→束绞→绝缘挤橡→
阻水带绕包→纵包铝塑带→聚乙烯挤塑→
隔火层绕包→隔火层挤包→外护套挤橡→
成品检验→包装入库。

1.5 电缆的性能

经测试，电缆的各项性能均符合 GB/T 28429-2012 的规定，按照客户的要求，还对电缆进行了吸水试验，试验后均没有发现电缆因吸水而影响电缆性能的现象。电缆的具体性能见表 3。

表 3 电缆的性能

检验项目	标准要求	实测结果
耐压试验（2.7kV, 5min）	不击穿	不击穿
90℃时体积电阻率/（Ω·cm）	≥1×10 ¹²	3.5×10 ¹³
单根垂直燃烧试验 上支架下缘与碳化部分上起点之间的距离，mm	>50	402
燃烧向下延伸至距离上支架的下缘，mm	≤540	495
护套吸水试验（70℃, 24h） 吸水重量/mg/cm	≤10	2

燃烧气体的腐蚀性（750~800℃， 0.5h）试验 pH 值 电导率（ μScm^{-1} ）	≥ 3.5 ≤ 100	6.5 55
酸气含量试验 溴和氯含量（以 HCL 表示）/%	≤ 0.5	0.1
氟含量试验 氟含量/%	≤ 0.1	0.02

2 结语

大规格轨道交通直流防水、防鼠、防蚁、防紫外线、无卤低烟电缆是一种新型的轨道交通直流电缆，不但要满足铁路机车车辆的使用条件，还要根据客户的要求进行设计。

该产品的防白蚁蛀蚀和防大鼠啃咬的性能目前尚

无国家标准明确规定，近年来机械部逐渐推出其试验标准，而电缆产品尚无相应标准出台，具有此功能的电缆是轨道交通电缆的发展趋势，有一定的市场前景和发展空间。

参考文献

- [1]GB/T 28429-2012《轨道交通 1500V 及以下直流牵引电力电缆及附件》
- [2]GB/T 34016-2017《防鼠和防蚁电线电缆通则》
- [3]GB/T 19666-2019《阻燃和耐火电线电缆或光缆通则》