

特种防水馈电电缆的研制

何亮 王献民 王跃 卢占宇 郑琳 徐玉林 曹俊钢
(宁波康兴电缆有限公司 浙江宁波 315205)

摘要:在特种防水馈电电缆的服役条件及失效分析的基础上,提出了电缆总体结构设计,导体、绝缘、屏蔽、护套等结构层材料的选用及生产工艺优化,阻水、阻燃及防老鼠、白蚁咬等性能表征及技术措施,研制出了一种高性能的特种防水馈电电缆。结果表明:研制的ZCFSFY-YJLSY-Z特种防水馈电电缆能满足高速磁浮交通系统使用性能要求,可替代同类进口产品,而价格却明显降低。

关键词:特种馈电电缆 结构设计 防水技术

中图分类号:TM8

文献标识码:A

文章编号:1674-098X(2013)01(a)-0001-03

Abstract:The general structural design of special waterproof feeder cable has been presented on the basis of working condition and failure analysis.The material and craft of conductor,insulation,screen and sheath have been optimized,with waterproof,anti flaming, rat proof,anti termite property.The special waterproof feeder cable can be high-performance.It turns out that,the ZCFSFY-YJLSY-Z special waterproof feeder cable can be used in high speed maglev transportation system.And it has a lower price when compared with similar imported product.

Key words:Special waterproof feeder cable Structural design Waterproof technology

近年来,国内各大城市的轨道交通及沿海地区的船舶制造业发展迅速,使得各类特种馈电电缆的需求量迅速增长。如在磁悬浮系统中,电缆的使用长度约为磁悬浮线路长度的30倍,使用量大,约占磁悬浮列车总投资的3%左右^[1]。由于特种馈电电缆使用环境特殊,对电缆的防水、阻燃、耐高温、抗拉强度等性能均有特殊要求,目前世界上仅有国外的耐克森等几家大型公司可以生产,国内同类产品虽然在电缆绝缘、护套料的阻燃及耐高温方面已经基本能满足使用要求,但其防水技术与国外相比仍有较大差距。

因此,上海磁悬浮项目投入使用后,其所需电缆全部依赖进口,大大增加了磁悬浮列车的运行成本^[2]。该文试图通过对磁悬浮列车用特种防水馈电电缆的国产化研究,在满足使用性能的基础上,降低生产成本1/3以上,以满足国内磁悬浮系统的发展需求。

1 特种防水馈电电缆的防水结构的作用及机理

磁悬浮推进系统由一个工作电压高达24 kV电压电源供电,其雷电冲击耐受水平高达 ± 125 kV,其电流负载为330~520 A,频率为0~300 Hz。馈电电缆在工作期间须承受瞬时(1s)22.5 kA短路电流;在敷设期间,由于复杂的地理因素,须承受拉伸、弯曲等应力;在近地区域,须承受水、气等环境介质的侵蚀;埋地敷设时,需考虑生物防鼠防白蚁措施。在运行期间,为了列车的通讯安全,不能对列车的通讯系统产生干扰。

常见的失效形式有老化、渗水、击穿等。基于此种特殊的服役条件,要求馈电电缆能承受瞬时5.2 kA/s的短路屏蔽容量、高屏蔽性及超强的防水性能(电缆须经10次加热循环,加热温度从常温开始升温至95~100℃,持续时间80 h,水头维持1 m高情况下,试样两端无水渗出)。绝缘层需要高的径向弹性性能、导体层需要高弯曲和成型特性(最小15 d弯曲半径)此外,由于列车高速运行,其可靠和安全性能尤为重要,要求产品须通过36 kV电压,持续4 h绝缘无击穿现象。

2 特种防水馈电电缆的结构设计

特种防水馈电电缆的结构见图1所示。根据特种防水馈电电缆的服役条件及技术要求,设计各层其结构功能如下。

2.1 导体结构

绞合紧压圆形铝导体是电缆主体载流部分,要满足电流

负载为330~520 A,系统频率为0~300 Hz;电缆导体连续负荷的长期工作温度达90℃,并需要在工作期间能承受瞬时(1s)22.5 kA短路电流。

2.2 阻水结构

目前阻水导体有以下几种生产方法:导体内部各层间涂敷阻水粉、导体内部各层间缠绕阻水纱、导体内部各层间纵包阻水带、或者几种方法混合使用。

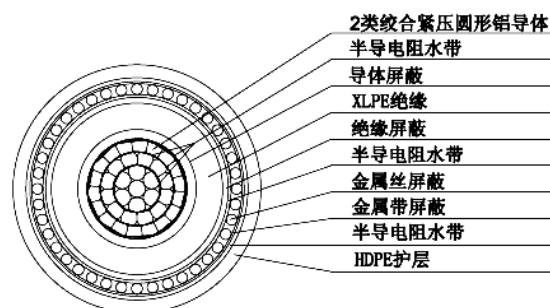


图1 特种防水馈电电缆结构示意图

导体内部涂敷阻水粉时,阻水粉本身就不易黏附在导体层上,再加上生产时导体的抖动而更容易造成阻水粉脱落,降低阻水能力,另外阻水粉脱落到设备上容易损伤设备;导体内部缠绕阻水纱时,需要特制绕包设备,提供绕包动力装置,阻水能力比无阻水纱全面涂覆或阻水带全面包覆效果好;导体内部纵包阻水带时,使用简单方便,阻水效果好,但就是因为纵包容易漏包而降低阻水能力,导致产品不合格。

本产品采用一种用于生产纵向阻水的特殊装置,其结构见图2所示。

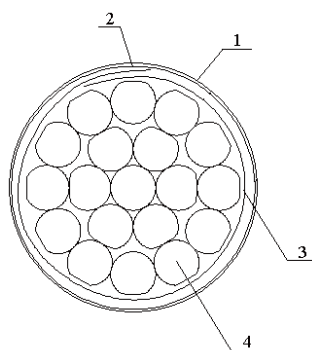
由图2可见,在绞线机的绞笼筒体的内圈上安装有一卷棉纱,棉纱另一侧缠绕在纵包阻水带上,使纵包阻水带紧密帖服在导体外表面。此结构同样可以包覆在绝缘层和屏蔽层,起到三重防水作用。

与其他防水结构相比,该结构特点是在不增加任何附加设备的情况下,可以确保电缆采用阻水带纵包而不漏包。

2.3 半导体屏蔽、XLPE绝缘、绝缘屏蔽三层共挤结构

通过CCV悬链式交联电缆生产线将导体屏蔽、XLPE绝缘(防水树脂绝缘材料)、绝缘屏蔽三层高分子材料一次性挤出成型,这种挤出方式使绝缘与屏蔽层间结合紧密,无污染,避免因

绝缘和屏蔽间气隙产生的气隙放电,但缺点是偏心不易调整,因此在制造过程中采取“EHT近端热处理技术”及上下牵引同步旋转方式保证绝缘偏心度在5%以内^[3]。



(1—绞笼筒体,2—棉纱,3—纵包阻水带,4—导体)

图2 纵向阻水结构示意图

2.4 铜丝及铜带屏蔽结构

与普通中压电缆结构不同,磁悬浮电缆无法使用普通的铜带屏蔽,而需使用铜丝铜带组合屏蔽结构。他的优势在于避免了铜带屏蔽因接触面产生氧化以及在弯曲、冷热后变形时接触电阻增加,限制了短路容量的大小的问题^[4];并且铜带屏蔽时电流不是沿轴向流动,而是绕轴心成螺旋流动,容易引起电感,从而导致感应电动势增加。因此本产品采用铜丝铜带反向疏绕结构。以防止感应电动势过大,同时也保证了屏蔽层在受热膨胀时不产生滑动。并且铜丝屏蔽结构产品具有良好的弯曲性能及耐拉伸性能,并且在屏蔽层前后绕包防水层作为综合护层。以满足产品阻水需求。

2.5 HDPE护套(高阻燃防鼠防蚁高密度聚乙烯护套)

外护套是磁悬浮电缆的另一个多功能元件,它应满足电气、机械、化学、抗生物蚀咬、阻燃和防水高要求:

- (1) 首先满足防水要求,这也是我们重点进行防水技术研究的原因之一;
- (2) 护套材料中增加环保型防鼠蚁蚀咬添加剂;
- (3) 磁悬浮电缆暴露在大气中,因此需耐受许多环境和化学因子影响;
- (4) 护套必须具有阻燃性。

3 防水馈电电缆的试制

3.1 防水馈电电缆的工艺流程

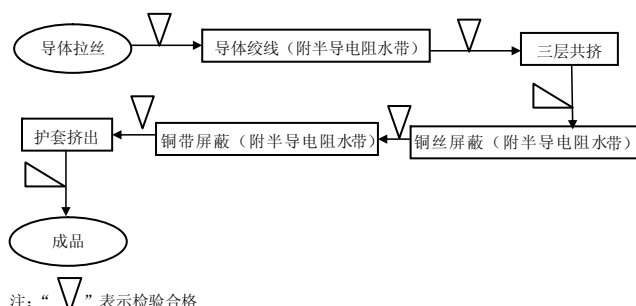


图3 特种馈电电缆生产工艺流程图

3.2 防水馈电电缆的线芯材料

电缆中导体线芯的作用是传送电流,为了减少线路损耗和电压降,一般采用高电导系数的金属材料来制造电缆的线芯。同时还应考虑材料的机械强度、价格、来源是否合适,综合比较后,一般采用铜和铝来作为电缆的线导体。本产品采用圆形紧压铝导体,并逐层绞入阻水纱。圆形紧压结构导体电场均匀^[5],有良好的可曲度和柔软性,相较于非紧压结构直径更小。阻水纱经过

紧压后不间断性地嵌入金属线股之间的空隙内,进而形成连续性的“水堵”。使整根导体的连续长度上,不间断地用阻水材料填充导体内部所有的缝隙,形成连续的导体阻水结构,完全杜绝导体纵向进水。

3.3 防水馈电电缆的屏蔽材料

半导体屏蔽层是防水馈电电缆绝缘体系的重要组成部分,其主要作用是防止导体及屏蔽层的金属离子扩散到XLPE绝缘中去而引发水树枝和电树枝,从而影响电缆寿命。因此要求其除具有低的电阻率要求外,还应具有例子杂质含量低,挤出加工后形成的界面光滑等特性。

因此我司在生产该产品时选用美国DOW化学的半导体屏蔽料来满足产品特性要求。

3.4 防水馈电电缆的绝缘材料

电力电缆绝缘的质量和绝缘水平,决定了电缆的使用寿命。设计绝缘厚度首先要分析电缆绝缘内的电场分布,一般以最大场强作为设计依据,然后要考虑电力电缆在运行中所承受的各种电压及绝缘材料击穿的统计规律,还要考虑绝缘的机械强度和工艺性能等。

根据馈电电缆绝缘中的局部放电是其劣化的主要因素,而电缆交联聚乙烯绝缘劣化的主要形式是绝缘内部放电导致的树枝化,因此电缆的绝缘材料应洁净、具有优良的耐电晕性和抗水树性。确定采用耐受树枝化性能更好的特种交联聚乙烯作为国产馈电电缆绝缘。

该特种交联聚乙烯料是在常规交联聚乙烯绝缘中加入树枝抑制剂,从而获得所需的耐树枝性能。为此经过多方对比选用美国DOW公司的防水树型交联聚乙烯绝缘材料进行试制^[6],在高压变频电源上完成绝缘料的耐树枝性能试验,通过普通材料与防水树材料的树枝增长长度对比得出本项目使用的防水树绝缘料具有明显的耐受高频交流电压下水树枝的性能^[7]。

3.5 特种馈电电缆的护套材料

外护套是特种馈电电缆的另一个多功能元件,它应满足高电气、机械、化学和防水和生物防白蚁、防鼠及阻燃措施等要求,采用HDPE材料(高阻燃防鼠防蚁高密度聚乙烯护套),其分子链具有更少的支链结构,且支链更短,分子链排列整齐,分子链间距离小,分子链间作用力大。

因此具有以下基本性能:材料密度较高,结晶性好,结晶度大,分子层间作用力大,拉伸强度等机械性能更优异,耐化学腐蚀性能好。但由于其熔体流动性、材料柔韧性略差,对材料的加工性能有更高的要求。另外材料本身添加防鼠防蚁助剂,并保证氧指数达38以上,以满足特殊需求。

4 特种馈电电缆的性能检测

试制的10 km的ZCFSFY-YJLSY-12/20 1×240/35特种防水馈电电缆,其样品经国家电线电缆质量监督检验中心及广东产品质量监督检验研究院检验,其电性能、机械性能、阻水性能、防鼠防蚁试验以及燃烧试验均符合特种馈电电缆的技术要求^[8]。

5 结语

经过对防水馈电电缆的结构以及电缆制造工艺技术的研究,已经形成完整的防水馈电电缆技术规范。依据技术规范完成了防水馈电电缆成品的试制工作,并对特种馈电电缆样品进行了全性能验证和可靠性试验验证,通过对试验结果的分析,证实磁悬浮馈电电缆具有预计的可靠性。目前,试制的10 km防水馈电电缆已送某设计研究院并安装在磁悬浮实验线路上运行,经半年使用后其各项性能数据满足磁悬浮列车运行要求。此外,除轨道交通系统外,该电缆还可以应用于船舶制造及采用变频调速的大型电机、变压器绕组等特殊场合,应用前景广阔^[9]。

(下转5页)

主要体现资金逐利本性,也是新产品开发资金的重要来源。从政府角度看,政府的研发投入在多大程度上能对企业的新产品开发起到积极的影响,最终能够带来多大的新产品产值是我们需要关注的问题。

利用重庆市2000-2011年的研发投入数据,经散点图、DW检验,政府研发投入与全社会研发投入、企业研发投入不存在序列相关性,经OLS回归得到政府研发投入(K_1)与全社会研发投入(K_2 ,表示全社会研发投入中除去政府投入部分)、企业研发投入(K_3 ,企业研发投入扣除政府投入部分)之间的关系如式、所示:

$$K_2 = 3.382K_1 + 11.46 \\ (7.57) \quad (2.09)$$

$$R^2 = 0.935 \quad DW = 1.41 \quad F = 57.31$$

$$K_3 = 11.385K_1 + 11.21 \\ (4.10) \quad (13.34)$$

$$R^2 = 0.898 \quad DW = 0.97 \quad F = 16.85$$

从式、可以看出,政府研发投入对全社会研发投入、企业研发投入具有正向促进效应,当全社会政府资金对全社会的研发资金的带动强度为3.382,投入到企业的政府资金对企业研发投入强度的带动作用更为明显,带动强度系数达到了11.385。政府资金对企业研发投入引导性更强。由于企业是新产品开发的主体,企业研发投入直接将影响新产品的产值,在现有科技人员不变的情况下,可以据此大致测算,每增加一亿元的政府研发投入到企业,将带动企业研发投入增加11.4亿元,带动相应新产品产值增长5.54倍,而根据近几年的数据,新产品产值在整个工业产值中均占据了30%以上的比重,按照30%的基本数据测算,新增工业产值可以增长达18.4倍。假设不考虑科技人员投入的影响,可以测算出,政府对企业投入增加1亿元,将带动研发企业投入11亿元,相应带动新产品产值270亿元,按照新产品产值占销售比重30%(近年来平均)的比重,将带动新增工业产值近900亿元。

3 结语

基于以上对研发经费投入、科技人员投入与新产品产值的分析和政府研发投入、全社会研发投入及企业研发投入间相互关系的基本分析,可以得出以下几点结论和建议:

(1) 重庆市研发经费投入、科技人员投入对新产品产值具有明显的促进作用,存在着长期的均衡关系。科技人员投入对新产品产值的促进效应更为明显,产出弹性达到了0.835,研发经费的产出弹性也达到了0.704。表明政府在推动企业新产品开发上,一方面要持续不断的加大研发经费的支出,同时注重建立以企业为主体的技术创新人才队伍^[9],通过进一步加大研发经费对科研人员投入的比重,营造良好的用人和留人环境,并对作出贡献的团队和个人给予奖励,积极推动企业成为技术创新的主体,

增强企业创新能力,促进新产品开发取得更大的实效。

(2) 政府投入应进一步加大对企业研发经费投入的比重。企业作为新产品开发的主体,政府研发投入对企业的研发投入带动效应比对社会研发投入更强,企业的研发投入直接影响新产品开发的成效。虽然近年来政府R&D支出增长加快,但投入到企业的比重呈现逐年降低的势头,因此政府应该通过资源整合,进一步加大研发经费支出力度,并着重确保企业研发支出的比重得到较快增长,以带动更多的社会资金和企业资金投入新产品开发中来,从而促进新产品产值的进一步增长。

(3) 政府应加大对新产品开发的扶持力度。2012年作为国内外形势特别复杂的一年,为了实现稳增长的目标,政府必须加大对新产品开发的扶持力度,研究出台积极的财税政策,打造行业公共检测、试验服务平台,加大对企业特别是民营企业和中小企业新产品开发的引导扶持力度,营造良好的发展环境,促进人才和技术的集聚,进一步促进企业新产品开发及产业化。

参考文献

- [1] R.G. Cooper & E.J. Kleinschmidt, Winning Business in Produce Development: The Critical success Factors, Research Technology Management, 2007, 50 (3): 50-66.
- [2] 江积海. 基于动态能力的后发企业新产品开发策略研究[J]. 科研管理, 2007(28): 104-109.
- [3] Housman, J., B.H. Hall and G. Griliches, Econometric Models for Count Data with an application to the Patents-R&D Relationship [J], Econometrica, 1984, 52: 909-938.
- [4] F. Aiello, P. Cardamone. R&D spillovers and firms' performance in Italy: Evidence from a flexible production function[J]. Empirical Economics, 2008, 34: 143-166.
- [5] Romer, Paul M. Increasing returns and long run growth[J]. Journal of Political Economy, 1986(94): 1002-1037.
- [6] Lach, Saul, Schankerman, et al. Dynamics of R&D and investment in the scientific sector [J]. Journal of Political Economy, 1989(97): 880-904.
- [7] 马宁, 官建成. 影响我国工业企业技术创新绩效的关键因素[J]. 科学学与科学技术管理, 2000(3): 16-20.
- [8] 李婧, 谭清美. 中国区域创新效率的随机前沿模型分析[J]. 系统工程, 2009(8): 44-49.
- [9] 熊维勤. 公共政策与新产品开发规模和效率[J]. 科学学与科学技术管理, 2011(3): 110-115.
- [10] 谢伟, 胡玮. 中国高新技术产业研发效率及其影响因素分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2008(3): 144-149.

(上接2页)

参考文献

- [1] 唐易生. 磁悬浮交通用特种中压电缆的结构[J]. 电器工业, 2004, 6(7): 1-2.
- [2] 杨建勇, 连级三. 磁悬浮列车定位测速及数据传输方法研究[J]. 铁道学报, 2001, 8(1): 2-12.
- [3] 刘子玉. 电气绝缘结构设计原理[M]. 机械工业出版社, 1981: 38-43.
- [4] 陈仲民, 程振杰. 电线电缆偏心度的在线测量技术[J]. 南京邮电学院学报, 1995, 9(3): 15-22.
- [5] 谢鹏, 王善铭, 王祥, 等. 三绕组谐波屏蔽变压器的研究[J]. 电

工电能新技术, 2005, 24(2): 42-43.

- [6] Yan M K, Yang L M. 陶氏HFDB-4202 NTEC绝缘料抗水树性能分析[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34 (S2): 141-555.
- [7] Campus A, Ulrich M. 20 years experience with copolymer power cable insulation[C]. Jicable, 2004: 83-86.
- [8] 许瑞生, 刘文彪, 廖强. 电气设计中的谐波影响有其抑制技术分析[J]. 电气技术, 2008, 16(7): 43-45.
- [9] 王志鹏, 袁登科. 上海高速磁悬浮地面牵引供电系统[M]. 变频器世界, 2004, 8: 101-103.