

105°C非交联耐火环保电缆的设计及载流量传输能力浅析

高振军 施冠群

浙江万马股份有限公司 浙江 杭州 311314

摘要: 本文基于对PP-B聚丙烯材料的研究,设计研发了105°C非交联耐火环保电缆,相比常用的交联聚乙烯绝缘电力电缆,其长期工作温度由90°C提升至105°C,大规格绝缘标称值可减薄7%左右,同时传输载流量可提升8%以上。

关键词: 聚丙烯;非交联;绝缘设计;载流量

1 引言

目前,电压0.6/1kV电缆绝缘材料大多是硅烷交联聚乙烯(XLPE),与6kV及以上电缆用过氧化物交联材料和辐照型交联相比,其所用制造设备更加简单,操作方便,综合成本更低,已成为低压电缆用的主导绝缘材料。其在温度、湿度和时间条件下,经接枝、交联,使其由线形分子结构转变为三维网状结构的XLPE材料,绝缘层完好保留了聚乙烯材料的击穿强度高、绝缘电阻大的优点,同时经蒸汽、水煮或辐照等方式的交联工艺,使其具有优异的耐热、耐老化、抗腐蚀等性能,正常运行温度可达90°C。但随着社会发展和环保型社会的建设,XLPE绝缘材料的缺陷逐渐暴露:材料中所含的交联剂对人体健康有影响,且交联副产物会影响绝缘性能;交联需要高温、高压专用的环境、设备、场所,能耗高、周期较长;电缆寿命终期后,无法回收再次循环利用,XLPE在200°C以下是不分解和碳化,只能焚烧或掩埋,会造成不容忽视的环保问题,因此开发热塑性PP绝缘电缆显得尤为紧迫。

聚丙烯是一种非极性热塑性材料,聚丙烯材料制作工艺有物理共混、化学接枝、共聚、纳米以及晶型调控等方式,形成了以乙烯丙烯共聚物型、纳米MgO丙烯型、纳米SiO₂丙烯型的绝缘材料。本工作研制采用是以嵌段共聚聚丙烯(PP-B)、弹性体POE、抗氧剂、抗铜剂、流变剂、润滑分散剂、收缩均匀添加剂等等混合组成,并采用物理共混改性技术加工而成的绝缘料,密度仅有0.91g/cm³,比XLPE绝缘密度0.93g/cm³更轻,熔点165°C,材料在155°C左右软化,长期工作温度范围为-30~105°C。其加工而成的绝缘具有优异的耐化学、电绝缘、耐热、高强度机械拉伸性能以及较高的冲击强度。目前,以聚丙烯绝缘设计的0.6/1kV电缆并无国家标准、行业标准,本文主要根据0.6/1kV电缆的应用工程环境,结合GB/T12706.1相关规定,通过聚丙烯绝缘层厚度设计、工艺特点、载流量传输能力方面进行了深入的研究。

2 关键设计计算

2.1 绝缘层设计

根据0.6/1kV电缆制造工艺允许的最小厚度、并考虑电缆在制造和使用过程中,承受的机械力,参照GB/T12706.1中绝缘标称厚度、绝缘最薄点和电压试验相关规定,并根据PP绝缘材料的击穿强度值,设计代替XLPE的PP绝缘层,以达到长期工作温度105°C并满足系统运行需求。

PP绝缘材料的介电强度均在35kV/mm以上,实测值在39~41kV/mm之间。根据绝缘公式($\mu_{0m}k_1k_2k_3/G_1$)计算出0.6/1kV时PP电缆长期运行时最小绝缘层厚度值: $\Delta = 0.053\text{mm}$ 。由此可知,若制造加工工艺满足的条件下,PP绝缘电缆的最小厚度值大于0.053mm即可。但从实际出发,考虑在制造、敷设、运行过程中,电缆会受到拉伸、压、弯、剪切、扭等机械力的作用,故确定绝缘厚度时,应考虑其可能承受的各种机械力,大规格95mm²及以上比小规格95mm²以下电缆的绝缘厚度值要大一些,既可满足电缆绝缘层所承受的机械力,又可满足实际运行时所承受的绝缘击穿强度。

根据标准对绝缘、最薄点以及电性能检测规定,PP绝缘电缆标称厚度值50mm²以上厚度可参考GB/T12706.1中表7进行适当减薄约7.14%~12.5%。

2.2 耐火层结构设计

为了满足任一消防设备供配电线路和人员密集场所疏散通道上的规定:耐火电缆应在导体和绝缘层间设耐火层,材料选用纤维布薄膜云母带,其可在180°C的环境中正常使用,厚度0.06mm~0.20mm之间,采用双层螺旋式重叠绕包工艺。经反复静态验证:温度在不低于750°C时,在火灾中保持继续供电可达150min以上,相比GB/T19666规定的90min,延长了60min,极大提升了电缆的安全指数。

3 PP绝缘电缆的正常运行时载流量计算

本工作根据PP绝缘电缆的特点,结合电力工程敷设

运行环境,对载流量进行理论推导,为了方便客户产品选型和性能对比,载流量的计算条件选择与常用交联聚乙烯绝缘电力电缆相同,计算结果供电力工程项目设计选型参考之用。

根据如下公式,可推导出工作温度105℃时聚丙烯绝缘电力电缆的最大运行载流量:

$$I_N = \sqrt{\frac{(\theta_c - \theta_0) - nW_i \left(\frac{T_1}{2} + T_2 + T_3 + T_4 \right)}{nR[T_1 + (1 + \lambda_1)T_2 + (1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)]}}$$

式中:R——导体20℃时直流电阻,Ω/km。

T₁、T₂、T₃、T₄——分别为绝缘、内衬层、外被层、周围媒质的热阻,TΩ.km;

n——电缆的绝缘芯数;

θ_c——导体允许最高工作温度,105℃;

θ₀——环境温度,20℃;

λ₁、λ₂——损耗因数、铠装损耗因数;

W_i——聚丙烯绝缘损耗,W/m。

将相关数据代入公式进行综合计算得出系列规格的载流量值,见表1。

表1 正常运行105℃时载流量参考表, A

典型型号	非铠装PPV、PPY、WDZC-PPY								铠装PPV22、PPY23、WDZC-PPY23				铠装PPV62、PPY63、WDZC-PPY63				
	在空气中		直埋土壤中		在空气中		直埋土壤中		在空气中		直埋土壤中		在空气中		直埋土壤中		
敷设方式	单芯		单芯		3~5芯				3~5芯				单芯		单芯		
芯数	单芯		单芯		3~5芯				3~5芯				单芯		单芯		
导体类型	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	
电 缆 标 称 截 面 mm ²	1.5	30	/	36	/	23	/	29	/	21	/	28	/	28	/	35	/
	2.5	39	30	47	35	29	23	38	30	28	21	37	29	37	28	46	34
	4	50	40	61	46	38	31	50	40	37	29	49	39	49	39	60	44
	6	64	51	76	59	50	40	63	52	49	38	62	50	62	50	75	56
	10	106	82	106	81	74	57	93	72	72	55	92	70	104	81	105	80
	16	137	106	136	105	95	74	119	92	94	72	118	92	135	105	135	105
	25	176	137	174	136	125	99	152	119	125	97	151	119	176	135	172	136
	35	222	171	206	163	153	119	184	141	153	119	183	141	222	171	205	163
	50	268	205	249	190	193	147	222	174	187	142	217	168	262	199	244	184
	70	336	262	304	233	244	187	271	212	238	187	266	206	331	262	298	228
	95	422	325	363	282	301	232	326	255	295	227	326	250	416	319	363	277
	120	490	376	418	320	352	272	375	288	346	267	364	282	485	371	407	315
	150	565	433	467	363	397	306	418	326	391	306	413	320	559	433	461	358
	185	650	508	532	412	460	357	473	369	448	352	467	364	639	502	526	407
	240	776	605	619	483	545	426	544	430	528	414	544	424	759	593	619	478
300	902	702	700	548	631	494	615	485	608	477	615	479	879	685	700	543	
400	1051	823	798	625	728	580	698	556	706	563	709	551	1028	805	809	619	
500	1235	972	913	723	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1212	955	902	717
环境温度	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	

通过表1中载流量大小,与常用的交联聚乙烯绝缘电力电缆值比较可知,在相同敷设运行环境下,相同规格和铠装类型时,聚丙烯绝缘电缆的载流量:直埋土壤中运行的载流量可提升8.42%左右;空气中运行的载流量可提升13.1%左右。

4 性能检测

以WDZAN-PPY23-0.6/1kV-4×95为例,根据企业标准进行产品型式检测,所检试验项目:绝缘平均厚度(设计值1.0mm)、绝缘最小测量值(≥0.80mm)、

绝缘老化前机械性能、绝缘空气箱老化后机械性能(150℃,168h)、绝缘收缩试验(150℃,1h)、绝缘吸水试验(85℃,336h)、绝缘高温压力试验(105℃,6h)、绝缘热冲击试验(150℃,1h)、绝缘低温拉伸试验(-15℃)、绝缘200℃热稳定性试验(实测值195min)、绝缘电阻测量(105℃)、电压试验(3.5kV,5min)、4h工频电压试验(4U₀)、电缆的成束阻燃A类试验(实测碳化高度0.56m)、单纯供火的耐火性能(在试验供火150min,冷却15min期间,2A熔断器

未断,指示灯不熄灭)等等关键技术指标的检测结构均符合且优于GB/T12706.1和GB/T19666相关规定,材料从技术要求上满足了设计目标值。

5 结束语

(1)以聚丙烯树脂(PP-B)为基料的改性绝缘层具有优异的耐电、热性能,设计研发的绝缘标称厚度与XLPE绝缘相比,大规格的厚度可减薄7.1%以上,减薄后亦可满足能够满足电力系统运行要求。

(2)通过PP绝缘运行载流量的研究,其正常运行105℃时载流量可提升8%以上,提高了电缆的安全裕度。

(3)可循环回收利用的PP绝缘电缆实现了绿色可持续发展模式。

(4)以改性聚丙烯树脂研制的各类绝缘材料仍处于初始应用阶段,在应用过程中、使用寿命以及电气优越性等方面作需要深入系统地研究。

参考文献

[1]欧阳本红,赵鹏,黄凯文,王格,饶文彬,赵健

康,何逸帆.热塑性聚丙烯电缆料研究进展评述[J].高电压技术2023(03):19-31.

[2]颜安,翁长永,刘毓敏.聚丙烯改性技术及其产品应用进展[J].现代化工2022(S2):66-69.

[3]高振军,孟凡奇.额定电压±80到±320kV柔性直流交联电缆的研制[J].中国高新科技2018(06):30-32.

[4]JB/T10181.1-2000电缆载流量计算第1部分载流量公式(100%损耗因数)和损耗计算第1节一般规定[S].北京:机械科学研究院出版社出版,2000.

[5]马国栋.电线电缆载流量计算[S].北京:中国电力出版社出版,2003.

[6]GB/T12706.1-2020额定电压1kV(U_m=1.2kV)到35kV(U_m=40.5kV)挤包绝缘电力电缆及附件第1部分:额定电压1kV(U_m=1.2kV)和3kV(U_m=3.6kV)电缆[S].北京:中国标准出版社,2020.