

碳纤维导线在接地极线路中应用的经济性分析

林浩 梁明 魏德军 刘从法

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021)

摘要: 根据接地极线路额定电流大、运行电压低、额定电流情况下运行时间短的特点,通过与常规导线对比,分析了碳纤维复合芯导线的机械性能和电气性能。通过技术经济分析,探讨了碳纤维复合芯导线在接地极线路中应用的合理性。

关键词: 碳纤维复合芯导线; 接地极线路; 应用

Abstract: According to the features of grounding electrode lines such as high rated current, low running voltage and short operating duration in the rated current, the mechanical properties and electrical performance of aluminum conductor composite core (ACCC) are analyzed by compared with the normal conductor wire. Through the techno-economic analysis, the reasonable application of ACCC to grounding electrode lines is discussed.

Key words: aluminum conductor composite core (ACCC); grounding electrode lines; application

中图分类号: TM247 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)05-0059-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.05.015

0 引言

接地极线路是特高压直流工程不可缺少的重要组成部分。接地极线路有额定电流大、运行电压低、额定电流情况下运行时间短的特点,因此其导线组合宜选择总截面较小、载流量大、分裂根数少、便于布置、可靠性较高的导线型号和组合方式;而碳纤维复合芯导线具有载流量大、强度大、弧垂小、耐覆冰等特点,因此将碳纤维复合芯导线应用于接地极线路中具有显著意义。下面对碳纤维复合芯导线在接地极线路中的应用进行分析研究。

1 输入条件

涉及的工程输入条件: ± 800 kV 直流线路的输送容量为 10 000 MVA、额定电流为 6 250 A;其接地极线路额定电流为 6 250 A、最大过负荷电流为 6 690 A;线路长度为 85 km,平均耐张段长度 3 km,杆塔单公里基数为 2.6 基,地形为 35% 的平地、65% 的丘陵,覆冰厚度 10 mm,基本风速 25 m/s,最高温度 40℃,海拔 1 000 m 以下,原工程所采用的导线为 $2 \times 2 \times \text{JNRLH60/G1A}-630/45$ 钢芯耐热铝合金绞线。

2 导线选择

结合接地极线路额定电流大、运行电压低、额定电流情况下运行时间短的特点,其导线组合宜选择载流量大、总截面较小、分裂根数少、便于布置、可靠性较高的导线型号和组合方式。

在相同载流量情况下,碳纤维复合芯导线重量最轻,钢芯耐热铝合金绞线次之,而普通钢芯铝绞线最重,故目前设计的接地极线路已不采用普通钢芯铝绞线,本节仅对原工程所采用的钢芯耐热铝合金绞线和拟选用的碳纤维复合芯导线的电气性能、机械性能及经济性等方面进行对比分析。

2.1 导线主要参数

1) 最高温度

根据现有资料,钢芯耐热铝合金绞线和碳纤维复合芯导线控制温度按 150℃ 考虑。

2) 机械强度

根据规程规范,导线设计安全系数不小于 2.5,悬挂点的设计安全系数不小于 2.25,平均运行应力不大于拉断应力的 25%^[1]。

2.2 导线特性

根据工程输入条件,线路输送容量为 10 000 MVA,额定电流为 6 250 A,最大过负荷电流为 6 690

表1 导线技术参数

导线型号及 导线类型	JNRLH60/G1A-630/45 钢芯耐热铝合金线	JLRX/F2B-560/65	JLRX/F2B-630/70	JLRX/F2B-800/80
铝绞丝	629.4	563.6	631.4	801.3
芯	43.1	63.61	70.87	78.53
总计	672.5	627.21	702.3	879.8
导线直径/mm	33.75	29.2	30.9	36.6
单位重量/(kg·km ⁻¹)	2 078	1 677.3	1 878.6	2 362.8
计算拉断力/N	150 190	166 040	185 203	211 067
弹性模量/(N·mm ⁻²)	63 700	62 000	60 000	59 000
线胀系数[×10 ⁻⁶]/(1/°C)	20.8	17.6	17.6	17.6
20°C时直流电阻/(Ω·km ⁻¹)	0.047 1	0.049 8	0.044 4	0.035

A 原导线为 2×2×JNRLH60/G1A-630/45 钢芯耐热铝合金绞线。根据输送容量及每极电流的要求,可以选择 2×2×JLRX/F2B-560/65、2×2×JLRX/F2B-630/70 和 2×2×JLRX/F2B-800/80 碳纤维复合芯导线进行对比分析。参与对比的导线技术参数见表 1,为便于比较,以 JNRLH60/G1A-630/45 钢芯耐热铝合金绞线作为对比基础。

2.3 导线的电气性能

为初步确定导线型号,首先从导线的载流量^[1,3]进行比较。

按 GB 50545-2010《110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范》的要求,验算导线允许载流量时,环境气温采用最高气温月的最高平均气温,计算风速采用 0.5 m/s,太阳辐射功率密度采用 0.1 W/cm²^[1-2]。

经计算,各导线在最高允许温度下的载流量(最高气温月的最高平均气温 35°C)见表 2。

由表 2 可知,在导线的最高允许温度情况下,所选择型号的导线均能满足过负荷电流 6 690 A 的要求。

2.4 导线的机械性能

根据导线机械参数,计算机械特性情况如表 3 所示。

由表 3 可知,各导线的覆冰过载能力均超过 25 mm,满足工程要求,碳纤维复合芯导线 JLRX/F2B

-800/80 覆冰过载能力最强,碳纤维复合芯导线 JLRX/F2B-630/70 次之,钢芯耐热铝合金绞线相对较小;碳纤维复合芯导线拉重比相对较高,碳纤维复合芯导线弧垂特性较钢芯耐热铝合金绞线好;在荷载特性方面,导线单重决定了线条垂荷,导线直径决定了线条风荷载,导线拉断力决定了线条的张力荷载,从总体趋势上看,导线截面越小的方案,其垂直荷载、风荷载及线条张力越小,有利于降低塔重。

2.5 导线的经济性

1) 本体投资比较

考虑参选导线弧垂和荷载特性情况,进行杆塔设计和本体投资估算,如表 4 所示。

由表 4 可知,碳纤维复合芯导线价格虽然较高,但对应的杆塔价格较低,碳纤维复合芯导线 JLRX/F2B-560/65 本体投资相对较低,钢芯耐热铝合金绞线 JNRLH60/G1A-630/45 次之,碳纤维复合芯导线和钢芯耐热铝合金绞线本体投资基本相当。

2) 年费用比较

计算不同条件下各导线方案的年费用比较如表 5 所示。

由表 5 可看出,碳纤维复合芯导线年费用较钢芯耐热铝合金绞线费用低,3 种碳纤维导线年费用基本相当。

表2 导线载流量一览表

导线类型	导线型号	20°C 直流电阻/Ω	最高允许温度/°C	载流量/A
钢芯耐热铝合金线	JNRLH60/G1A-630/45	0.0471	150	7 508
	JLRX/F2B-560/65	0.049 8	150	6 954
碳纤维复合芯导线	JLRX/F2B-630/70	0.044 4	150	7 506
	JLRX/F2B-800/80	0.035	150	8 953

表3 导线机械特性

项目	JNRLH60/G1A-630/45	JLRX/F2B-560/65	JLRX/F2B-630/70	JLRX/F2B-800/80
	钢芯耐热铝合金线		碳纤维复合芯导线	
截面积/mm ²	672.50	627.21	702.30	879.80
导线直径/mm	33.75	29.20	30.90	36.60
计算重量/(kg·m ⁻¹)	2.078	1.677 3	1.878 6	2.362 8
拉断力/kN	150.19	166.04	185.203	211.067
拉重比	7.23	9.90	9.86	8.930
过载能力/mm	<i>L</i> ₀ = 300	30.97	36.85	41.17
	<i>L</i> ₀ = 450	26.95	30.94	34.83
	<i>L</i> ₀ = 600	25.54	26.33	28.05
	<i>L</i> ₀ = 300	7.30	5.83	6.40
高温弧垂/m	<i>L</i> ₀ = 450	15.53	12.70	13.83
	<i>L</i> ₀ = 600	27.90	21.08	21.14
垂直荷重	均温	24.45	19.74	22.11
	覆冰	100.00%	80.72%	90.40%
	覆冰	39.42	33.19	36.12
水平荷重	大风	100.00%	86.52%	91.56%
	覆冰	4.84	4.43	4.58
	覆冰	100.00%	91.53%	94.70%

表4 本体投资比较

项目	JNRLH60/G1A-630/45	JLRX/F2B-560/65	JLRX/F2B-630/70	JLRX/F2B-800/80
	钢芯耐热铝合金线		碳纤维复合芯导线	
环境温度/°C	40	40	40	40
运行温度/°C	130	145	130	110
每公里铁塔数量	2.86	2.47	2.58	2.83
每公里耐张塔数量	0.33	0.33	0.33	0.33
每公里直线塔数量	2.52	2.14	2.25	2.50
弧垂/m	12.29	12.31	12.28	12.27
直线塔高/m	22	22	22	22
耐张塔高/m	20	20	20	20
导线/(元·km ⁻¹)	178 948.8	199 756.8	208 080.0	224 726.4
悬垂线夹/(元·km ⁻¹)	5 249.52	2 093.09	2 205.63	3 499.34
耐张线夹/(元·km ⁻¹)	1 306.67	5 163.20	5 163.20	5 608.00
杆塔/(元·km ⁻¹)	93 077.18	72 583.63	84 652.59	106 119.81
本体投资/(万元·km ⁻¹)	63.27	63.16	65.21	69.16

表5 导线年费用比较

项目	JNRLH60/G1A-630/45	JLRX/F2B-560/65	JLRX/F2B-630/70	JLRX/F2B-800/80
	钢芯耐热铝合金线		碳纤维复合芯导线	
年损耗小时数/h	100	100	100	100
导线年费用/(万元·km ⁻¹)	28.52	23.80	23.99	24.21

注:回收率按10%考虑,电费按0.4元/kW·h考虑。

2.6 小结

从本算例来看,与原工程所采用的钢芯耐热铝合金导线相比,拟选用的碳纤维复合芯导线 JLRX/F2B-560/65 的电气性能可满足工程需要,机械性能相对较优,同时经济性也相对较优,在本算例中推荐采用。

3 结语

通过比较分析,得出以下结论:

- 1) 在导线的最高允许温度情况下,碳纤维复合芯导线能满足过负荷电流的要求;
- 2) 碳纤维复合芯导线弧垂特性、覆冰过载能力较钢芯耐热铝合金绞线优;
- 3) 碳纤维复合芯导线和钢芯耐热铝合金绞线本体投资基本相当,碳纤维复合芯导线价格较高但对应的杆塔价格较低;
- 4) 碳纤维复合芯导线年费用较钢芯耐热铝合金绞线低。

碳纤维复合芯导线在国内外已得到大量应用^[4-5],并取得一定的运行经验,因此碳纤维复合芯导线在接地极线路中具有广阔的应用前景,大规模的应用也将进一步降低工程投资费用。

参考文献

[1] GB 50545-2010, 110 kV ~ 750 kV 架空输电线路设计规范[M]. 北京: 中国计划出版社, 2010: 12-55.

[2] 国家电力公司东北电力设计院. 电力工程高压送电线路设计手册(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002: 166-167.

[3] 机械工程手册电机工程手册编辑委员会. 电机工程手册: 输变电、配电设备卷(第二版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997: 57-58.

[4] 何州文, 陈新, 王秋玲, 等. 国内碳纤维复合芯导线的研究和应用综述[J]. 电力建设, 2010, 31(4): 90-93.

[5] 梁栋, 邓蜀平, 蒋云峰, 等. 碳纤维复合芯电缆国内外技术研发现状及工程应用进展[J]. 化工新型材料, 2011, 39(2): 13-17.

作者简介:

林浩(1982), 硕士研究生、工程师, 长期从事输电线路设计工作;

梁明(1973), 教授级高级工程师, 长期从事输电线路设计工作;

魏德军(1964), 高级工程师, 长期从事输电线路设计工作;

刘从法(1979), 硕士研究生、工程师, 长期从事输电线路设计工作。

(收稿日期: 2017-08-09)

(上接第33页)

基础上增加 1~4 片盘型绝缘子, V 型串单侧肢长增加 0.51~1.18 m, 均压环对横担下平面距离为 6~7.1 m; 耐张塔跳线串在原设计基础上靠近塔身侧肢增加 6 片绝缘子, 远离塔身侧肢增加 4 片绝缘子, 均压环对横担下平面距离为 6.86 m, 对塔身距离为 5.85 m。

参考文献

[1] 王少华, 叶自强. 架空输电线路鸟害故障及其防治技术措施原因分析及预防措施[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 61-67.

[2] 王宝成, 祝永坤, 张悉正, 等. 高寒草原地区输电线路鸟害故障[J]. 内蒙古电力技术, 2013, 31(1): 96-98.

[3] 王峰, 黄福勇, 曾昊, 等. 湖南省输电线路鸟害障碍分析及防治[J]. 高压电器, 2011, 47(10): 97-101.

[4] 马兴龙, 陈伟东, 张育华, 等. 架空输电线路绿色防鸟害模式探讨[J]. 广东电力, 2011, 24(7): 37-40.

[5] 杨庆, 董岳, 司马文霞, 等. 鸟粪导致交流输电线路塔窗-导线空气间隙放电的特性研究[J]. 高电压技术, 2014, 40(1): 55-60.

[6] 王德吉, 赵强, 屈明. 新型超高压输电线路鸟害防范措施研究[J]. 四川电力技术, 2015, 38(4): 33-36.

[7] 李隆基, 周文涛, 李学刚, 等. 架空输电线路防鸟害技术措施[J]. 陕西电力, 2016, 44(4): 95-98.

[8] 黄瑞莹, 黄道春, 周军, 等. ±400 kV 直流输电线路杆塔涉鸟故障风险区域研究[J]. 电工电能新技术, 2017, 36(2): 68-73.

作者简介:

唐巍(1979), 高级工程师, 从事输电线路电气设计;

刘琦(1984), 工程师, 从事输电线路电气设计;

周军(1973), 高级工程师, 从事高压外绝缘方面的研究;

梁明(1973), 教授级高工, 从事输电线路电气设计;

胡全(1980), 高级工程师, 从事输电线路电气设计。

(收稿日期: 2017-06-21)