

±800 kV 特高压锦苏线检修关键工器具的研制

鲁永生, 康宇斌, 张云翔

(江苏省电力公司检修分公司, 江苏南京 211102)

摘要:文中根据±800 kV 特高压锦苏线设备特点,对更换导线直线塔V型悬垂串和耐张塔耐张串绝缘子等检修作业方式进行研究,研制了六线一体式提线器、绝缘吊杆及更换耐张串任意片的钛合金卡具等工器具,以满足更换悬垂串、耐张串单片绝缘子需要。经过在±800 kV 锦苏线上应用,表明作业方法和工器具安全可靠、操作简便,取得了良好的现场应用效果。

关键词:±800 kV 特高压;检修;工器具

中图分类号:TM726

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2014)02-0022-04

锦苏线是锦屏换流站至苏州换流站的±800 kV 特高压直流输电线路,承担着雅砻江流域锦屏一、二级和官地水电站的电力外送任务,对于促进西南地区水电开发及缓解华东地区用电紧张局面具有十分重要意义。本文根据±800 kV 锦苏线悬垂串和耐张串型式和横担结构,以及大吨位盘形绝缘子单个质量重不易操作等特点,研制适用于900 mm²大截面导线的提线工器具和耐张串盘形绝缘子更换的卡具,为±800 kV 锦苏线检修作业提供工艺支撑和技术保障。

1 锦苏线结构特点

±800 kV 锦苏线是我国首条采用六分裂900 mm²截面导线和760 kN绝缘子的特高压直流输电线路,输送功率7200 MW^[1],与其他±800 kV 特高压直流输电线路相比,其输送容量更大、输送距离更远,代表了高压直流输电技术的新高峰。导地线主要参数如表1所示,直线塔绝缘子参数如表2所示,耐张塔绝缘子参数如表3所示。

表1 导地线主要参数

名称	型号	计算截面/mm ²	外径/mm	计算重量/(kg·km ⁻¹)
导线	JL/G3A-900/40	939.16	39.90	2 790.2
地线	LBGJ-180-20AC	182.8	17.5	1 221.5

表2 直线塔绝缘子参数

型号	额定负荷/kN	结构型式	串长/m	V形度数/(°)
FZBZ-±800/240	240	双V	12.595	90—100
FZBZ-±800/300	300	双V	12.321	90—100
FZBZ-±800/420	420	双V	12.410	90—100
FZBZ-±800/420	420	单V	12.195	90—100
FZBZ-±800/550	550	单V	12.225	90—100

表3 耐张塔绝缘子参数

型号	额定负荷/kN	结构型式	单串片数	结构高度/mm	单片重量/kg	串长/m
CA-785EX	550	三联	76	240	23	20.8
FC760P/C270DC	760	二联	69	270	26.1	20.7
CA-765EZ	760	二联	69	280	30	21.4

2 检修工器具研制思路

线路检修包括停电检修和带电检修,主要包括绝缘子清扫、绝缘子及金具更换、修补导地线、更换间隔棒或防振锤、导地线异物处理等。更换耐张绝缘子或连接金具主要依靠闭式卡和端部卡;更换悬垂串绝缘子或连接金具,主要依靠提线工器具提升导线至绝缘子串松弛后将绝缘子或连接金具更换;带电修补导地线、更换间隔棒或防振锤、处理异物等,关键在于等电位作业人员的安全防护和进出电场的方式。

根据±800 kV 锦苏线设备特点,更换单V悬垂串合成绝缘子或连接金具的提线工器具,研究难点在于六分裂导线提线器、提升设备和用于带电作业的绝缘拉棒,其中六线一体式提线器是同行领先;更换双V悬垂串合成绝缘子或连接金具的提线工器具,研究难点在于大刀卡、联塔挂具和用于带电作业的绝缘拉棒;更换耐张串任意片的卡具,尤其是760 kN耐张绝缘子,锦苏线全线仅为江苏段独有,单片质量达30 kg,研究难点在于闭式卡、端部卡和托瓶架^[2]。

3 更换悬垂串工具的研制

3.1 工作荷载确定

±800 kV 锦苏线 JL/G3A-900/40 导线的计算重量2 790.2 kg/km,最大垂直档距为600 m,单极导线采用六分裂方式,合成绝缘子V串夹角在90°~100°,按最大角度100°分析,如图1所示。对于单V串提线的

最大荷载为 98 438 N,则六分裂提线器、提升设备和绝缘拉棒的工作荷载为 100 kN;对于双 V 串提线的最大荷载为 76 571 N,则大刀卡、联塔挂具和绝缘拉棒的工作荷载为 80 kN。

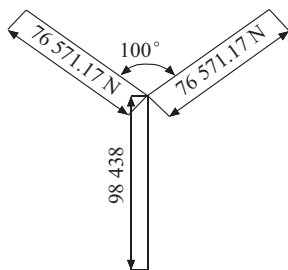


图 1 V 串受力分析示意图

3.2 六线一体式提线器研制

根据单极 6×JL/G3A-900/40 导线结构和最大荷载,采用传统机械丝杠较难实现提线功能,因此研制了采用液压缸为提升设备的六线一体式提线器。该提线器拥有 4 个吊线钩和本体架上方 2 个凹槽,按 60° 圆心角分布在直径为 900 mm 的圆上,保证提线过程中导线线束的尺寸不变,吊钩设计宽度 125 mm,如图 2 所示。结合 V 串导线至横担下平面的垂直距离,独创性的将液压缸放在本体架内部,活塞杆通过本体架轴向孔与机械丝杠、绝缘拉棒相连,这样操作时更便捷、更灵活,同时又充分保证了绝缘杆的有效长度以及操作人员的安全距离。提线器 4 个吊线钩、液压缸与本体架之间采用螺栓固定,本体架和吊线钩选用重量轻、强度高的铝合金材料制作,使得提线器本体便于现场运输和高空作业方便。

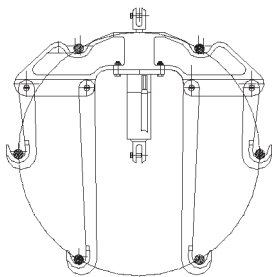


图 2 六线一体式提线器示意图

采用两侧提线,需考虑横担宽度引起的弧垂量,锦苏线铁塔横担宽度平均在 3 m 左右,根据任意点弧垂公式:

$$f_x = 4f \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \right) = 4 \frac{gl^2}{8\sigma} \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \right) = \frac{gl^2}{2\sigma} \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \right) \quad (1)$$

式(1)中: $x=1.5$ m,档距 L 取 600 m 时,弧垂量为 254 mm。

考虑现场操作性,提线器液压缸的行程确定为 400 mm。作业时,塔上电工在横担前后操作孔挂好接头,连接好机械丝杠、绝缘拉棒与六线一体式提线器,

先用机械丝杠预收紧整套提线工具,再用液压缸提升导线使绝缘子串松弛,换下绝缘子或连接金具。

3.3 大刀卡研制

±800 kV 锦苏线双 V 串的每个肢采用联板将两支合成绝缘子并联,如图 3 所示。据此在更换其中一支绝缘子时可以在二联板上使用大刀卡。借助大刀卡的杠杆作用,只需施加双 V 串单个肢承受荷载的 0.5 倍收紧力(即 38 kN),便可使合成绝缘子串松弛,也就是说,可采用 45 kN 的防扭机械丝杠作为大刀卡的收紧装置。为了高空作业方便,大刀卡和联塔挂具选用重量轻、强度高的铝合金材料制作。

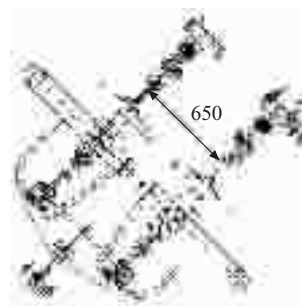


图 3 双 V 串绝缘子示意图

作业时,塔上电工将联塔挂具安装在横担挂点处或横担角钢上,导线上电工将大刀卡安装于导线侧直角挂板和二联板上,联塔挂具通过绝缘拉棒连接大刀卡,导线上电工收紧大刀卡上的防扭机械丝杠完成合成绝缘子串的荷载转移,绝缘子串松弛后进行更换。如图 4 所示。

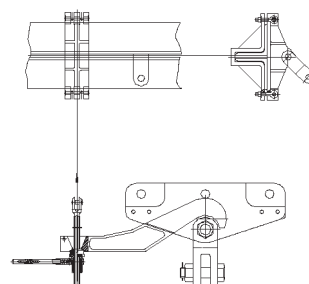


图 4 大刀卡连接示意图

3.4 绝缘拉棒研制

本文采用绝缘拉棒、预收紧机械丝杠和六线一体式提线器联合提线的方式更换单 V 绝缘子串,绝缘拉棒的结构长度受塔头间隙、金属连接件和提线装置行程等多方面因素影响,成为研制难点。±800 kV 锦苏线直线塔导线与横担施工孔的垂直距离为 8.1 m,考虑预收紧机械防扭丝杠和六线提线器活塞杆的长度,结合带电作业车车厢内尺寸,更换单 V 串时采用 2 节绝缘拉棒(单节长 3.77 m,有效绝缘长度 3.4 m),有效绝缘长度 6.8 m 大于规程要求的 6.6 m。基于合成绝缘子的结构长度均为 11.5 m,考虑联塔挂具和机械防扭丝杠的长度,结合带电作业车车厢内尺寸,更换双 V 串时

采用3节绝缘拉棒(单节长3.9 m,有效绝缘长度3.53 m),有效绝缘长度10.6 m大于规程要求的6.6 m,现场起吊和装卸运输均很方便^[3]。

4 更换耐张串工具的研制

4.1 工作荷载确定

±800 kV 锦苏线单导线的张力52.143 kN,单极6根导线的张力为312.86 kN。三联串时每串绝缘子串的张力为104.29 kN,确定出三联串卡具的工作负荷为150 kN;双联串时每串绝缘子串的张力为156.43 kN,确定出二联串卡具的工作负荷为190 kN。

4.2 材质比选

因为耐张绝缘子串的张力很大,所以选择强度高,质量轻,工作可靠的工器具材质是确保现场实用性的关键。通过对结构的优化和材料的优选,综合比选钛合金、铝合金、合金钢等材料,性能如表4所示。虽然铝合金材质较轻,但力学性能较差,做成的卡具尺寸较大,使用时要有足够大的作业空间;合金钢虽然和钛合金的机械性能相近,但合金钢的比重是钛合金的1.8倍,故合金钢不可取;钛合金的密度是铝合金的1.6倍,但强度却是铝合金的2倍,做成的卡具尺寸及总体重量较铝合金要小。

表4 主要材料性能比较

材料	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	密度 / [kg·(m ³) ⁻¹]
合金钢	980	780	8.1
铝合金	490	412	2.85
钛合金	902	824	4.55

经过比选,由于钛合金具有强度高和重量轻的特点,考虑高空作业的难度,选取钛合金材料作为制作卡具的材质。

4.3 卡具研制

闭式卡(如图5所示)用于更换耐张串中间任意一片绝缘子,结合端部卡(如图6、图7所示)可以更换任意一片瓷瓶。横担端部卡卡在牵引板QY-64S上,导线端部卡在平行挂板和三变二联板之间。

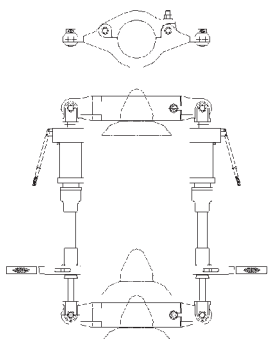


图5 耐张闭式卡整体图

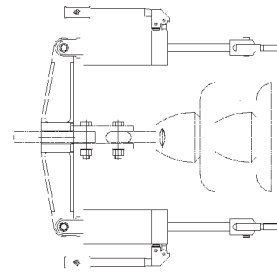


图6 横担端部卡

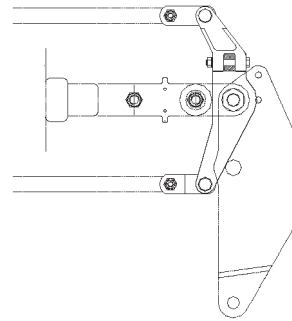


图7 导线端部卡

三联串卡具和两联串卡具均采用钛合金材料研制。以三联串闭式卡为例,对卡具整体和耳片部位进行截面强度校验。对于卡具整体,在卡具中心截面处将产生最大弯矩,此处的截面结构如图8所示。该截面的抗弯截面模量为72 782.182 2 mm³,施加于该截面上的弯矩为20 625 000 N·mm,该截面上的弯曲应力为283.37 MPa,安全系数取2.5时仍然小于钛合金材料的最大允许弯曲应力824 MPa,该截面强度足够。

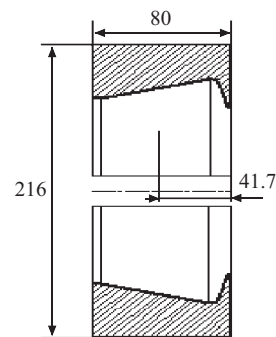


图8 卡具中心截面示意图

对于卡具两端的耳片,此处截面容易发生剪断,截面如图9所示。该处剪切面积390 mm²,剪切力75 000 N,故剪切应力为192.3 MPa,安全系数取2.5时仍然小于钛合金的最大允许剪切应力230.72 MPa,该截面的强度足够。

4.4 托瓶架研制

在超高压线路更换耐张单片绝缘子作业中仅使用卡具即能完成作业。根据特高压直流线路绝缘子盘径大、质量重、高空人员不好控制、容易高空掉落等特点,为提高现场作业的安全性,研制了适用于更换单片绝

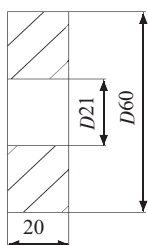


图9 耳片截面

缘子卡具的托瓶架。托瓶架选用铝合金管加工而成,具有重量轻、强度高、可灵活调节、安装简便等特点。在更换单片绝缘子前先将托瓶架安装在耐张卡具的正下方,待卡具与金具连接完好后,收紧机械丝杠和液压缸使单片绝缘子松弛,通过取销器将需更换的绝缘子摘开,此时绝缘子已被托瓶架托住;安装时新绝缘子时,先将新绝缘子吊上托瓶架,然后再进行安装连接。

5 试验验证及现场应用

根据优化设计后的加工图对工器具进行试制,并按照规程要求进行了出厂试验,试验结果工器具无目视可见裂纹、无残余变形或超过设计许可的变形、无漏气漏液、整套系统安全可靠、操作便捷。同时委托第三方进行了型式试验,结果满足要求。2013年3月,江苏省电力公司检修分公司输电运检中心组织检修人员在锦苏线上进行试用,现场完成了更换单V串绝缘子、

更换双V串绝缘子、更换耐张塔单片绝缘子工作,结果达到预期目标。

6 结束语

研制的±800 kV 锦苏线检修的液压缸式六线提线器、大刀卡、闭式卡和绝缘拉棒等工具,其机械荷载满足设计要求,经在±800 kV 锦苏线江苏段上检修现场应用,取得了良好的效果。该检修关键工器具的研制成功,为全面提升±800 kV 锦苏线特高压直流线路检修工作水平打下了基础。

参考文献:

- [1] 刘建坤,胡亚山,赵静波,等. 特高压接入对江苏电网的影响展望[J]. 江苏电机工程,2010,29(1):1-3.
- [2] 胡毅,刘凯,胡建勋,等. ±800 kV 特高压直流线路带电作业安全防护用具的分析[J]. 高电压技术,2010,36(10):2357-2361.
- [3] 胡川,向文祥,沈晓龙,等. ±800 kV 特高压直流输电线路带电作业工器具研制及应用[J]. 湖北电力,2010,34(5):1-3.

作者简介:

鲁永生(1980),男,河南杞县人,工程师,从事输电线路运行与检修工作;

康宇斌(1978),男,四川西昌人,高级工程师,从事输电线路运行与检修工作;

张云翔(1971),男,河南睢县人,高级工程师,从事输电线路运行与检修工作。

The Development of Key Maintenance Apparatus for ±800 kV UHV Jin-Su Project

LU Yongsheng, KANG Yubin, ZHANG Yunxiang

(Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper proposes maintenance operation modes for replacing wires hanging straight tower V-strings and string tension tower tension insulator with the consideration of characteristics of equipment of ±800 kV UHV Jin-Su project. Also, for meeting the need of replacing insulators, some working apparatus, such as six-thread lift conductor, titanium fixtures for insulation and replacement boom-string are developed. The field application of the developed operation modes and working apparatus in ±800 kV UHV Jin-Su project shows that the maintenance operation modes and working apparatus are safe and easy to operate.

Key words: ±800 kV UHV; Maintenance; Working apparatus

成思危:未来十年中国能源需保持5%的增长

经济学家成思危说,中国经济发展将对能源产生巨大需求,未来十年如果我国经济要保持7%的年增长率,能源大概就得每年增长5%。

成思危说,从2000年到2010年,世界经济增长率是3.2%,能源的增长率是2.2%,弹性系数大概为0.7%,如果世界经济在今后十年中保持平稳4%的增长率,能源年增长率要达到2.8%左右,而中国更是对能源的依赖程度更大。“如果把经济比做一个人的话,资金就是他的血液,能源就是他的粮食,没有粮食这个人肯定是活不下去的?”他表示,从全球来看,能源的供应往往是掌握在少数国家的手里,而这些国家出于各种原因,对能源供应的控制比较严格。

另外,成思危说,能源的价格波动也对消费国的经济产生很大影响。但是,受到金融市场上过度投机等因素的影响,能源价格的波动远远超过了供求关系所决定的水平。他说,“以石油为例,近几年它的全球需求量的波动也就是±5%~10%,但是石油价格的波动却达到了±50%,甚至个别情况下达到了±100%。我国前两年进口量大概是2亿t,这样大的价格波动给经济带来很大的影响。”

摘自《国家电力信息网》