

通用型反梁式角钢塔电缆终端平台研究

王伟煌¹, 刘宏滨², 吕付玉¹

(1. 广东天联电力设计有限公司, 广州 510663; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 电缆终端塔是电网建设中架空—电缆切换的发展趋势。[方法] 基于目前的电缆终端建设现状, 提出一种全新的反梁式终端平台结构, 主要研究平台结构的优化布置, 详细分析结构体系新颖之处, 校验平台主要受力构件的强度、刚度及稳定性, 分析平台结构对杆塔受力的影响, 讨论细节问题。[结果] 研究表明: 在一定跨度范围内采用简化支撑结构的反梁式平台结构, 利用终端头及避雷器台座作为主梁, 合理布置次梁大小及间距, 能够保证平台结构强度及刚度, 节约钢材用量, 形成平台标准化设计, 结合现有的、条件多样的终端塔, 通过“终端塔+标准设计平台”的模式, 实现“通用型”。[结论] 研究成果较多地吸取了广东省范围内的经验, 可满足不同地区、不同电压等级、不同塔型呼高等要求。

关键词: 通用型; 反梁式; 电缆终端平台

中图分类号: TM7; TM247

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0166-06

Research on General-purpose Anti-beam Platform of Angle Steel Cable Terminal Tower

WANG Weihuang¹, LIU Hongbin², LÜ Fuyu¹

(1. Guangdong Tianlian Electric Power Design CO., LTD., Guangzhou 510663, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] Cable terminal tower is the development trend of converting the overhead transmission line to electric cable line in power grid construction. [Method] Based on the current status of cable terminal construction, this paper proposed a new anti-beam structure of cable terminal platform, mainly studied the optimal arrangement of the platform structure and analyzes in detail of the new structure. The strength, rigidity and stability of the main force components of the calibration platform were analyzed. The influence of the platform structure on the force of the tower was analyzed, and the details were discussed. [Result] The results show that using a simplified structure of the anti-beam structure using simplified support structure in a range of span and the terminal head and the arrester base on the main beam, the size and spacing of the secondary beams can be properly arranged to ensure the strength and rigidity of the platform structure and save the amount of steel. Form a standardized platform design, and combine the existing terminal towers with diverse conditions can realize “general-purpose” through the “terminal tower + standard design platform” model. [Conclusion] Our data widely summarizes the experiences in Guangdong province, this work provides some guidance for different areas, voltage classes and tower models.

Key words: general-purpose; anti-beam; cable terminal platform

随着国民经济的迅速发展, 我国超高压送电线路的建设规模日益扩大, 线路建设越来越复杂, 受

到周围环境的影响越来越大, 加之国内建设用地的日益紧张、和谐社会提出的环境建设要求, 输电线路建设方向由地上转向地下, 高压输电电缆使用越来越多, 特别是城郊高压线路改造, 改造段一般都会要求采用电缆下地, 因此如何实现高压送电在地上、地下自由切换是送电线路设计的关键点^[1-3]。

收稿日期: 2017-09-04 修回日期: 2017-11-30

基金项目: 中国能建广东院科技项目“110 kV及以上电缆线路优化设计研究”(EX02721W)

架空导线与电缆的切换采用电缆终端头,目前终端头可分为湿式和干式,湿式电缆终端头重量大,内充油或气体,需要安装平台固定,便于运行维护,经验丰富,安全可靠;干式电缆终端头重量较轻,不需要安装平台固定,可直接上塔至横担位置与导线对接,但运行维护难度大,抗机械外力性能差^[4-6]。因此目前的电缆终端头,干式已经越来越少用,多数用的是湿式的,需要配套建设固定支架。

1 电缆终端应用现状及发展趋势

目前,常用的电缆终端有三种方式:(1)地面上的电缆终端场;(2)分离式电缆终端平台;(3)一体式电缆终端平台,如图1~图3所示。



图1 传统电缆终端场一

Fig. 1 Traditional cable terminal 1



图2 传统电缆终端场二

Fig. 2 Traditional cable terminal 2

由图1~图3可看出,地面上的电缆终端场和分离式电缆终端平台这两种方式具有明显的缺陷——占地面积太大,严重浪费土地资源。在用地紧张特别是发达地区,征地建设存在很大困难。

目前南方电网《3C 绿色电网建设指南(绿色部



图3 分离式电缆终端平台

Fig. 3 Separate cable terminal platform

分)》^[7],其中输电线路绿色部分第5章电缆线路评价指标中,5.1节节地与土地利用明确要求,对一般项110 kV架空线路转为电缆处,采用电缆终端塔形式;优选项220 kV架空线路转为电缆处,采用电缆终端塔形式。

因此,采用电缆终端塔,将固定电缆终端的平台与铁塔合并建设,最大限度减小用地面积,节约用地,必然是以后电网建设的发展趋势。

2 通用型电缆终端平台的提出

目前电缆终端塔的使用越来越多,传统的终端场型式及分离式平台用地较大,在用地较紧张地区已逐步淘汰。以110 kV双回路电缆终端为例,假设基础跟开为10 m,设计电缆终端场大约需要的围墙尺寸为15 m×20 m;设计分离式的电缆终端塔大约需要15 m×24 m;一体式终端塔约为15 m×15 m。由此可见,一体式终端塔可节约25%~35%占地,社会效益及经济效益都是比较明显的。

因此,越来越多地区推广使用电缆终端塔。由此带来终端塔的设计问题,不同地区不同设计条件,包括电压等级、气象条件、回路数、呼高等不一而同,甚至终端平台高度都因业主要求而异,没办法做到一个塔型适用所有工程。以往项目中根据不同的工程条件,设计电缆终端塔,然后给制图厂家绘制加工详图。这种模式有针对性、设计成品相对经济,但是及其耗时,设计效率低下且增加成本。

在当今经济社会模型下,项目建设全过程包括设计、加工、施工都在追求效率,旧的模式已经不合时宜。通过标准设计平台研究,形成平台标准化

设计,利用“终端塔+标准设计平台”的模式,满足不同地区、不同电压等级、不同塔型呼高等要求,实现“通用型”。

3 主要研究内容

3.1 结构体系的优化布置

3.1.1 典型平台结构

目前,电缆终端塔平台结构通常采用铁塔设计的稳定三角支撑体系,将每个节点进行平面内外约束,同时为实现电缆终端及避雷器立于平台上,在平台上架立2根槽钢,槽钢上开螺栓孔固定终端头及避雷器。此种做法成熟、灵活,方便布置及加工安装,广泛应用于目前的工程项目中。平台结构图如图4所示:

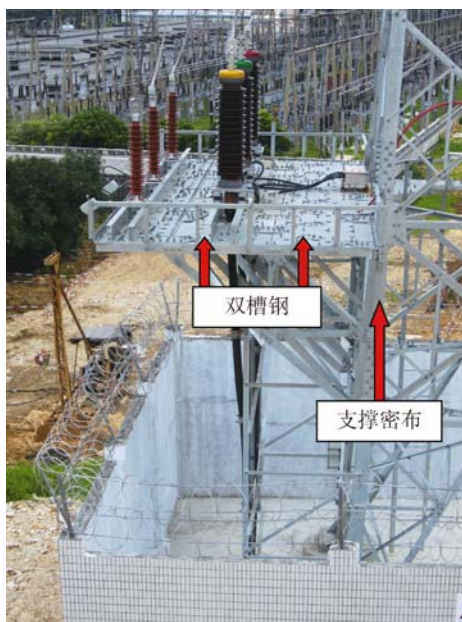


图4 典型平台结构图

Fig. 4 Typical platform structure diagram

但仔细思考此种结构,实际上有几个不足之处:(1)平台结构下部支撑过多。支撑密布导致节点加工复杂,杆件错综复杂不美观;(2)平台平面杆件三角布置,不够简洁,传力不清晰,螺栓及面板不规则,加工安装不便;(3)未充分发挥双槽钢良好的受力性能,其截面尺寸大、刚度大、抗弯性能好,但仅作为支座立于平台上,实际上对平台受力体系无贡献且加大负担。

3.1.2 新型平台结构

新型平台结构设计要点如下:

1)平台平面采用主次梁布置,将支撑避雷器、终端头的槽钢作为主要受力构件即主梁A,同时在靠近塔身处布置一根工字钢或槽钢作为主梁B,在主梁AB的下平面均匀布置角钢作为次梁,上铺防滑花纹钢板,如图5和图6所示。这样,平台平面位于主梁AB下面,形成反梁结构。此结构形式充分利用支撑设备的槽钢作为主梁,一方面其截面惯性矩大,受力能很好地满足要求;另一方面主次梁间为均匀布置长方形,平台板能够方便地制作安装,同时也非常简洁美观。

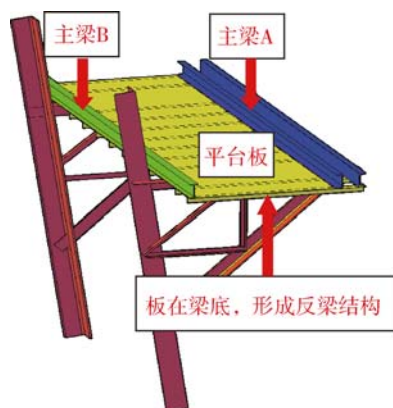


图5 平台结构轴视图一

Fig. 5 Platform structure axis view 1

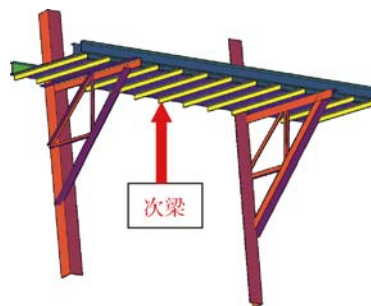


图6 平台结构轴视图二

Fig. 6 Platform structure axis view 2

2)简化平台下部支撑。仅采用两榀强桁架作为竖向支撑,因平台平面布满面板,平面内刚度很大,不易产生平面变形,因此对竖向桁架来说不必设置过多面外支撑。如图7所示,因为支撑简洁,电缆上下自由不受影响,同时传力路径简洁明了。

3.2 平台强度、刚度验算

因为采用简化设计结构体系,有必要对板、次梁、主梁的强度及刚度进行校验。校验条件为:主梁A为20b热轧普通工字钢,主梁B为20a热轧普

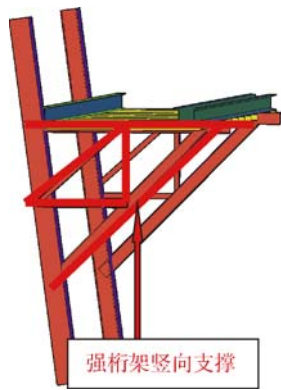


图 7 强竖向支撑

Fig. 7 Strong vertical bracing

通槽钢, 次梁为 Q345L90 × 6 角钢, 4 mm 厚花纹钢板; 主梁 AB 长度 7.5 m (注: 平台所在高度的塔身宽, 一般情况都不超过这个值, 说明在此跨度下能满足要求, 其他更小跨也行), 间距 1.7 m, 次梁间距 0.5 m; 主梁 B 上放置终端头及避雷器重量, 分别为 220 kg 和 50 kg, 间距 1 m, 共三组对称布置; 平台上考虑均布活载 1 kN/m² 及上人 1 kN 集中荷载。

表 1 构件参数

Tab. 1 Component parameters

| 项目 | 名称 | 截面高 H/mm | 截面宽 B/mm | 腹板厚 t _w /mm | 翼缘厚 t _f /mm | 截面积 A/mm ² | 惯性矩/ (10 ⁴ mm ⁴) |
|------|----------|-------------|-------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
| 主梁 A | 普工 20b | 200 | 102 | 9 | 11.4 | 3 955 | 2 502 |
| 主梁 B | 普槽 20a | 200 | 73 | 7 | 11 | 2 883 | 1 780.4 |
| 次梁 | 角 90 × 6 | 90 | 90 | 6 | 6 | 1 064 | 82.77 |
| 平台板 | 花纹板 | — | — | 4 | 4 | — | — |

表 2 应力和变形分析

Tab. 2 Stress and deformation analysis

| 项目 | 最大应力 σ_{\max} /(N · mm ⁻²) | 容许应力 $[\sigma]$ /(N · mm ⁻²) | 最大扰度 V_{\max} /mm | 容许扰度 $[V]$ /mm |
|------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------|-------------------|
| 主梁 A | 64.7 | 215 | 13.2 | 18.75 |
| 主梁 B | 73.8 | 215 | 17.5 | 18.75 |
| 次梁 | 90.2 | 310 | 1.07 | 6.80 |
| 平台板 | 43.0 | 215 | 1.46 | 3.30 |

注: 容许扰度值根据钢结构设计规范计算得到^[8]。

3.3 增加平台结构对原塔受力影响

准确地说, 不管哪种平台结构, 对塔身受力都有一定影响, 但影响到底有多少, 需进行专门研究

验证。因为采用了简化支撑体系, 支撑点相比以前的结构体系减少, 导致原塔杆件受力变化更大、更集中, 对主材、斜材的受力影响更大, 是否需要加强, 结论如何, 需要搞清楚, 以支撑平台结构“通用型”的使用要求。

一般情况跨度一定时, 平台结构作用在塔身上的附加荷载就基本确定, 作用在主、斜材上的力就可以确定, 就能得到杆件受力增幅。以南方电网输变电工程标准设计 V2.0 版^[9]中 1D1W8-J4 终端塔为例, 不加平台和增加平台受力变化情况如图 8 和表 3 所示。

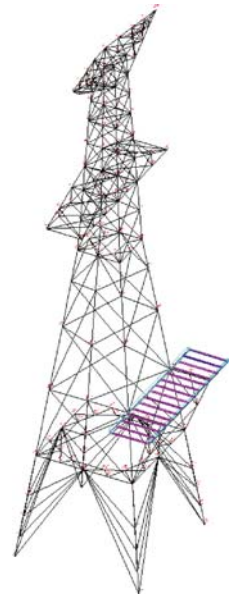


图 8 三维单线图

Fig. 8 3D single line drawing

表 3 杆件拉压力及变化

Tab. 3 Member tension/pressure and changes

| 杆件 | 节点号 | 无平台 | | 有平台 | | 影响 | |
|------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|----------|
| | | 压力 N /kN | 拉力 T /kN | 压力 N /kN | 拉力 T /kN | 压力 /% | 拉力 /% |
| 主材 | 4 040-4 100 | 807.55 | 749.42 | 811.10 | 749.42 | 0.44 | 0.00 |
| | 4 100-4 300 | 834.47 | 761.16 | 843.51 | 762.64 | 1.08 | 0.19 |
| | 4 100-4 500 | 814.93 | 743.30 | 823.79 | 744.77 | 1.09 | 0.20 |
| | 4 100-4 700 | 796.35 | 726.33 | 805.04 | 727.79 | 1.09 | 0.20 |
| 斜材 | 4 100-4 900 | 778.68 | 710.18 | 787.20 | 711.64 | 1.09 | 0.21 |
| | 4 040-4 101 | 29.17 | 29.76 | 29.17 | 29.76 | 0.00 | 0.00 |
| | 4 040-4 102 | 28.91 | 29.50 | 28.50 | 29.50 | -1.42 | 0.00 |
| 腿部斜材 | 4 140-4 300 | 37.98 | 35.27 | 38.11 | 35.14 | 0.34 | -0.37 |
| | 4 180-4 300 | 33.44 | 38.18 | 34.64 | 39.35 | 3.59 | 3.06 |
| | 4 140-4 500 | 37.94 | 36.33 | 38.06 | 36.25 | 0.32 | -0.22 |
| | 4 180-4 500 | 34.98 | 38.13 | 36.19 | 39.32 | 3.46 | 3.12 |
| | 4 140-4 700 | 38.30 | 37.83 | 38.33 | 37.79 | 0.08 | -0.11 |
| | 4 180-4 700 | 36.75 | 38.31 | 37.97 | 39.53 | 3.32 | 3.18 |
| | 4 140-4 900 | 39.24 | 39.24 | 39.24 | 39.24 | 0.00 | 0.00 |
| | 4 180-4 900 | 38.41 | 38.41 | 39.64 | 39.64 | 3.20 | 3.20 |
| 横隔材 | 4 100-4 120 | 22.76 | 20.65 | 22.52 | 20.88 | -1.05 | 1.11 |
| | 4 120-4 140 | 22.64 | 20.77 | 22.19 | 21.21 | -1.99 | 2.12 |
| | 4 100-4 160 | 21.41 | 19.99 | 24.04 | 18.38 | 12.28 | -8.05 |
| | 4 120-4 180 | 20.78 | 20.62 | 23.14 | 19.28 | 11.36 | -6.50 |

由表 3 可知, 增加平台后杆件受力增幅并不

大,特别是主材及塔身斜材的影响,基本上都在1%左右,影响可忽略不计,也无需加强杆件大小;腿部斜材受力影响在3%~4%之间,影响也不大,且腿部斜材在设计时为稳定控制,无需特别加强;真正影响比较大的,是平台的竖向支撑杆件引起的横隔材受力变化,达到了12%左右,占比较大。但是值得注意的是,横隔水平材料,在原塔设计时都有考虑上人荷载的验算,通常会加大1~2级,比如例中塔型,横隔材按受力计算用Q235L50×4,杆件利用率也只有82%,考虑上人后加大至L56×4,在平台荷载影响下,增量受力是没问题的。

据此,在其他终端塔(如回路数更多、导线更大、风速覆冰更大)条件下,原塔主斜材等杆件更大,增加平台荷载带来的受力增幅会更小,杆件受力应该更加容易能满足要求,无需特别加强。

3.4 平台与角钢塔连接设计

一般情况下,角钢塔为新建铁塔,则终端平台与塔身采用螺栓连接,加工及安装均很方便。特殊情况下,若改造现有角钢塔为电缆终端塔,铁塔扩孔受限,采用夹具式连接方式,能够有效解决问题。四川2015农网改造项目,其中长宁县余箐~井江110 kV送电线路工程就是在现有角钢塔JD-Sn3-18上增加电缆平台,采用夹具式连接,效果很好。

3.5 终端平台至地面电缆下引方式

下引方式可以采用从地面直引或者从塔身出支架进行固定下引。从目前的电缆终端塔情况看,两种方式均有用,采用支架固定的方式较多,一方面电缆出地面可以紧贴铁塔,减少占地面积。另一方面电缆有弯曲,避免直上直下引起竖向拉拽。根据电缆热胀冷缩力计算^[10],220 kV导体标称截面为2500 mm²电缆的热胀冷缩力达到106 kN,110 kV截面为1000 mm²电缆的热胀冷缩力大约为42 kN,因此在终端附近必须设置一道刚性固定,往下采用弧形敷设方式,一定程度通过位移抵消线芯轴力。

4 标准设计平台方案及应用范例

根据以上研究内容,结合电气专业间隙要求,形成标准设计平台结构方案,主要如下:

1)跨度7.5 m范围内,主梁A取普工20b;主梁B取普槽20a;次梁角钢L90×6,间距500 mm;平台钢板厚度4 mm;竖向支撑角钢L125×10。跨

度大于7.5 m时验算主梁。

2)110 kV电压等级,主梁B即终端头中线离塔身1850 mm,终端头与避雷器间距1000 mm,相间距不小于1500 mm。

3)220 kV电压等级,主梁B即终端头中线离塔身2900 mm,终端头与避雷器间距1500 mm,相间距不小于2500 mm。

4)终端平台离地一般为6~8 m,可根据运行要求自由调节。

实例:包头220 kV世纪输变电工程,架空段线路导线截面2×400 mm²,电缆截面为2500 mm²。架空电缆过渡采用双回路电缆终端塔2D2Y5-JD,呼高根据电气专业要求为18 m。本终端塔为南方电网公司标准设计^[9]塔型,根据以上分析和验算结果,结合电气专业对电缆终端头及避雷器布置要求,设置了前、左、右三面平台,每个平台均采用反梁式结构形式,布置合理、简洁、大方,具体如图9所示。

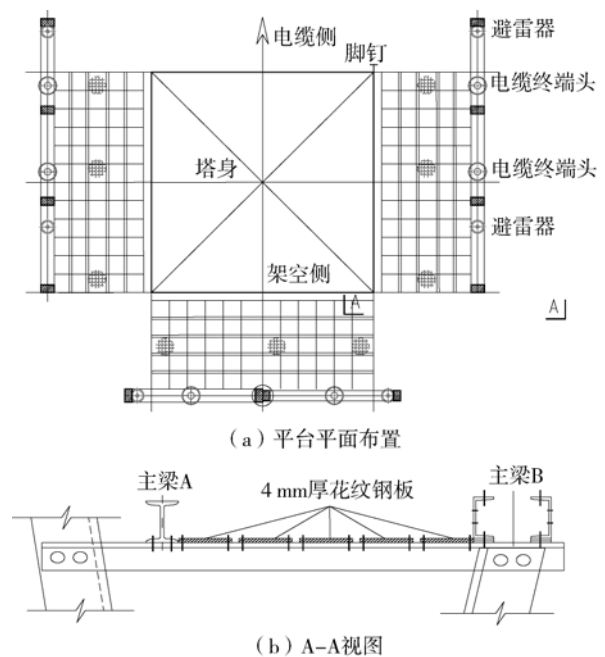


图9 平台结构布置

Fig. 9 Platform structure layout

5 结论

本着“创新发展、质量为本”的原则,通过对电网建设中电缆终端的发展趋势分析,认为通过形成平台标准化设计,“终端塔+标准设计平台”的模

式, 实现“通用型”, 是符合现阶段高效、保质的建设需求的。同时, 通过对典型终端平台的优化设计, 提出反梁式的新型平台结构, 简化竖向支撑体系, 并对其强度刚度进行验证, 讨论了一些细节设计。

根据本文研究成果, 对电缆终端塔的设计提出以下建议:

1) 采用反梁式平台结构, 合理利用终端头或避雷器台座槽钢作为主要受力构件(主梁), 同时合理布置次梁大小及间距, 形成主次分明的结构受力体系, 增大平台结构强度及刚度, 节约钢材用量、平台简洁美观。

2) 文中给出的算例条件下, 在 7.5 m 跨度下平台强度、刚度满足设计要求。

3) 平台竖向支撑采用强桁架体系, 不必设置过多面外支撑, 简化节点设置, 提高加工效率。

4) 在终端塔上增加平台结构, 实际上对原塔受力基本无影响, 杆件不需要进行特别加强。

5) “终端塔 + 标准设计平台”的模式, 高效、安全、通用, 能满足不同地区、不同电压等级、不同塔型呼高、不同业主运行要求。

从研究对象、研究方法、收集资料等来看, 本文分析对象主要是角钢塔, 且较多地吸取广东省范围内的经验, 因此对钢管塔、钢管杆等其他情况, 有待进行针对性的研究。

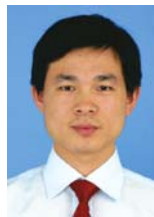
参考文献:

- [1] 周远翔, 赵健康, 刘睿, 等. 高压/超高压电力电缆关键技术分析及展望 [J]. 高电压技术, 2014, 40(9): 2593-2612. ZHOU Y X, ZHAO J K, LIU R, et al. Key technical analysis and prospect of high voltage and extra-high voltage power cable [J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(9): 2593-2612.
- [2] 江南, 谢聿琳, 侯俊平, 等. 电缆架空线混合线路重合闸投切方式 [J]. 电力系统自动化, 2010, 34(3): 112-115. JIANG N, XIE Y L, HOU J P, et al. Reclosing mode of cable-overhead mixed lines [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(3): 112-115.
- [3] 李骏, 范春菊. 基于小波分析的电缆-架空线混合输电线路行波故障测距方法 [J]. 电网技术, 2006, 30(9): 92-97. LI J, FAN C J. Wavelet analysis based traveling wave fault location for hybrid transmission line consisting of power cable and overhead line [J]. Power System Technology, 2006, 30(9): 92-97.
- [4] 朱晓辉, 李斌, 梁瑞成, 等. 高压电缆设备终端的分类及其选型原则 [J]. 高压电器, 2007(4): 315-317. ZHU X H, LI B, LIANG R C, et al. Classification and type selection principle of power cable apparatus terminal [J]. High

Voltage Apparatus, 2007(4): 315-317.

- [5] 杜伯学, 马宗乐, 霍振星, 等. 电力电缆技术的发展与研究动向 [J]. 高压电器, 2010, 46(7): 100-104. DU B X, MA Z L, HUO Z X, et al. Recent research status of techniques for power cables [J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(7): 100-104.
- [6] 何炜斌, 章晓满. 一种可采用湿式电缆终端的新型多回路电缆终端钢管杆 [J]. 中国电机(技术版), 2014(1): 25-27. HE W B, ZHANG X M. The using wet-type cable termination multiloop cable terminating steel pole [J]. China Electric Power (Technology Edition), 2014(1): 25-27.
- [7] 中国南方电网公司基建部. 3C 绿色电网建设指南(变电站绿色部分): 南方电网基建 21 号文 [R]. 广州: 中国南方电网公司, 2013.
- [8] 中华人民共和国建设部. 钢结构设计规范: GB 50017—2003 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2003. Ministry of Construction of the People's Republic of China. Code for design of steel structures: GB 50017—2003 [S]. Beijing: China Planning Press, 2003.
- [9] 中国南方电网公司基建部. 中国南方电网公司标准设计和典型造价: V2.0 南方电网基建 22 号文 [R]. 广州: 中国南方电网公司, 2016.
- [10] 吴军, 章志鸿, 赵强. 新型单杆 220 kV 电缆终端站研究 [C]//江苏电机工程学会. 2015 江苏省城市供用电学术年会论文集, 南通, 2015-10-28. 南京: 江苏电机工程学会, 2015: 131-135. WU J, ZHANG Z H, ZHAO Q. Study on new type of single pole 220 kV cable terminal stations [J]. JSEE. Proceedings of the 2015 Jiangsu province urban power supply conference, JSEE, Oct. 28, 2015. Nanjing: JSEE, 2015: 131-135.

作者简介:



WANG W H

王伟煌(通信作者)

1982-, 男, 广东梅州人, 高级工程师, 一级注册结构师、一级注册建造师, 华南理工大学工学硕士, 主要从事高压输电线路结构设计工作 (e-mail) wang-weihuang@gedi.com.cn。

刘宏滨

1959-, 男, 黑龙江哈尔滨人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司教授级高级工程师, 学士, 主要从事高压输电线路结构设计工作及研究 (e-mail) liuhongbin@gedi.com.cn。

吕付玉

1984-, 男, 江苏徐州人, 高级工程师, 一级注册结构师、注册咨询师, 中山大学工学硕士, 主要从事高压输电线路结构设计工作 (e-mail) lvfuyuy@gedi.com.cn。

(责任编辑 郑文棠)