

贵州煤矿采空区架空线路杆塔基础方案探讨

张 军, 曹长胜

(贵州电力设计研究院, 贵州 贵阳 550002)

摘 要: 贵州地区的煤矿采空区具有分布广、影响范围大、地形地貌特殊、开采规模复杂等特点。常见煤矿采空区的地表塌陷和地基变形对输电线路铁塔与基础存在着极大的危害, 因此, 深入开展煤矿采空区对输电线路工程的理论研究, 制定合理、经济、高效的防护和治理方案, 对电网的安全、稳定运行有着极为重要的意义。结合近年来的工程实践, 提出了采用直柱式柔性大板基础有效防治采空区塌陷的方案, 重点分析了该基础方案的优化设计、理论计算及注意事项, 从而达到安全、环保、经济的设计目的。目前, 采用直柱式柔性大板基础方案在诸多采空区的输电线路工程实践中, 已经取得了较为成熟的应用。

关键词: 采空区; 架空输电线路; 直柱式柔性大板基础; 地表塌陷和变形

文章编号: 2096-4633(2018)01-0089-04 **中图分类号:** TM75 **文献标志码:** B

贵州省地处云贵高原东部, 是中国南方煤炭资源最丰富的省区, 素以“西南煤海”著称。自 20 世纪末以来, 贵州省局部地区小煤矿开采秩序较为混乱, 相对集中于西部的盘县、金沙等县, 由于小煤矿开采的随意性, 导致一些煤矿区及其周边留下了大量的不明采空区^[1]。这些煤矿采空区从变形到破坏是一个漫长而复杂的过程, 其变形机理复杂, 影响因素较多。煤炭开采后形成复杂的采空塌陷区, 造成输电线路故障、停电等现象逐年递增。目前对于影响输电线路工程安全运行的采空塌陷区, 一般采用迁改处理方案, 即迁改线路路径、新建杆塔的方法。然而采空区范围内的线路走廊十分稀缺, 迁改每基杆塔的造价在几十万到上百万不等^[2], 而且还造成局部电网较长时间的停电、停运, 用于预防、迁改及治理等经济费用巨大。

1 贵州煤矿采空区的特点及其危害

贵州省内 74 个县(市)产煤, 采煤区分布较多, 除了规模较大的国有煤矿, 还有各种形式的集办小煤矿, 长期以来的零星开采, 造成小煤矿采空区分布众多, 给电力建设造成很大不便, 尤其是对架空输电线路建设造成较大困扰。小煤矿采空区架空线路的设计受到采空区特殊地形的影响, 需要更好的把握整体设计方案, 根据架空输电线路杆塔基础位于不同的采空部位来确定杆塔的基础形式^[3]。小煤矿采空区一般采空范围较窄, 开挖深度较浅, 在地表易

形成地裂缝、塌陷坑, 具有密集性与不可操作性^[4], 采空区分布的无规律性, 导致形成的裂缝与塌陷坑的不规则, 而这种现象与该地区松散层厚度有关, 且易受到地表水及地下水影响。



(a) 塌陷坑



(b) 地裂缝

图 1 煤矿采空区常见灾害

Fig. 1 Common disasters above goaf of coal mine

采空区的存在, 给经过或坐落于其上的高压输电线路以及杆塔造成了很大的威胁和危害。常见危

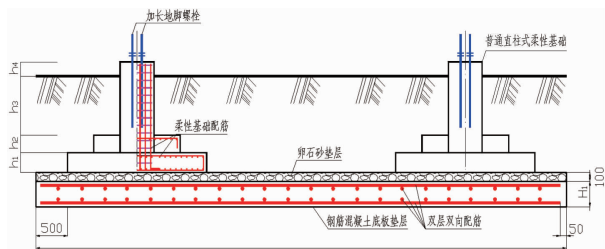
害主要包括铁塔倾斜、位移,构件变形断裂,导地线间距变化,断线断串等现象^[5]。采空区塌陷范围较小时,位于该区的铁塔基础会随之发生不均匀沉降,铁塔倾斜,塔身及横担出现一定的挠度变形。塌陷区持续发育,时常伴随地表整体滑移,基础变形,铁塔位置出现水平位移,铁塔根开发生变化,从而导致铁塔构件应力重新调整,局部构件出现较大变形或撕裂^[6]。铁塔发生倾斜或位移时,导地线将均出现倾斜一侧弧垂增大,另一侧减小,从而引起导地线间距变化;而对于孤立档距的耐张塔,严重时将引起断线断串。采空区出现严重地质灾害时,铁塔主材发生断裂,甚至发生倒塌事故。

2 直柱式柔性大板基础的设计应用

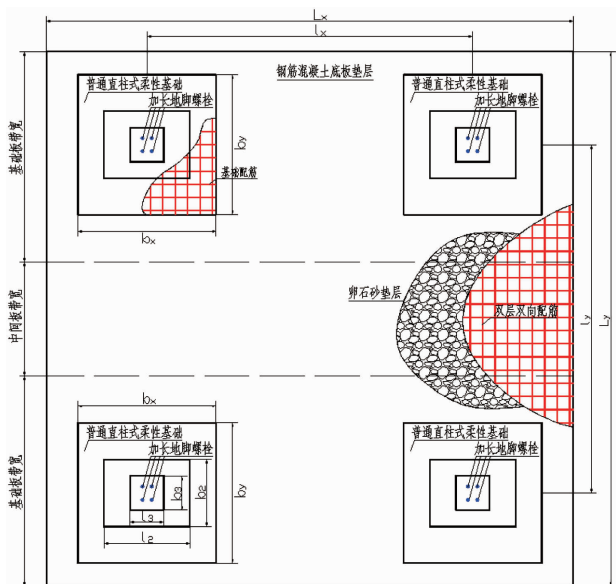
输电线路基础设计,对工程造价起着十分重要的作用,基础的选型、设计以及施工的优劣直接影响着整个输电线路工程的建设^[7]。为了减少采空区对线路稳定运行的影响,总结近年来贵州地区 110 kV 柳安线 N36 - N42 号塔迁改工程、金毕 I 回 220 kV 线路 130 号 - 134 号迁改工程、220 kV 盘红 II 回线路 11 号塔地质灾害迁改工程等工程经验^[8-10],提出了采用直柱式柔性大板基础方案,以提高铁塔基础对地基变形的适应能力和发生地基沉降后铁塔基础的可修复能力。

2.1 基础方案

直柱式柔性大板基础主要由混凝土底板垫层、卵石砂垫层、普通直柱式柔性基础和加长的地脚螺栓构成。基坑底部为天然地基,其上设置钢筋混凝土底板垫层,采用双层双向配筋,厚度 H_1 宜取根开的 $1/40 \sim 1/30$,且满足 $200 \text{ mm} \leq h_1 \leq 600 \text{ mm}$ ^[11]。上覆一层卵石砂垫层,厚度为 100 mm,夯实系数大于 95%。垫层上部为普通直柱式柔性基础,主柱上端预埋特殊的可调式加长地脚螺栓,其外露丝扣长度加长范围一般取 100 ~ 200 mm,以铁塔实际放样尺寸为准^[12]。直柱式柔性大板基础方案如图 2 所示。



(a) 立面图



(b) 平面图

图 2 直柱式柔性大板基础方案示意图

Fig. 2 Drawing of straight column flexible slab foundation

2.2 方案说明

直柱式柔性大板基础的基本设计原则是保证基础承载力的同时,降低地基不均匀沉降对铁塔的影响程度,提高铁塔基础的可修复能力,从而实现其安全性、适用性、耐久性和稳定性的结构功能的要求。其四个构成部分的主要作用总结如下:

(1) 钢筋混凝土垫层:采用双层双向配筋,用以抵抗由于不均匀沉降在大板上产生的弯矩,避免及减少基础间的水平和垂直位移。

(2) 卵石、砂垫层:使上方直柱基础顶推就位,减小直柱基础与钢筋混凝土垫层之间的摩阻力,以便于地基沉降、基础滑移后可对基础跟开调整复位,同时在不均匀沉降过程中起到缓冲受力的作用。

(3) 普通直柱式柔性基础:用以承受铁塔四腿的集中受力,传至垫层并在地基中进一步扩散应力。

(4) 加长的地脚螺栓:以备在塔基稍有倾斜和位移时,便于通过调整基础底板或塔脚板将塔身恢复就位。

综上所述,直柱式柔性大板基础在承受铁塔集中受力过程中,四个铁塔直柱基础的相对位置固定,当地表发生沉降或整体倾斜时,铁塔的四条腿能始终保持在同一个水平面上,利用卵石、砂垫层可对滑移后的基础跟开进行调整复位,从而保证铁塔及基础的根开始不变,如此可以大大降低采空塌陷对铁塔的影响。

2.3 基础计算

直柱式柔性大板基础的计算主要分为普通直柱

式柔性基础计算和底板计算。其中直柱式基础计算方法参见相关规程规范^[13]。假定底板边长为 L_x 和 L_y , 底板厚度为 H_1 , 其基底净反力为:

$$\sigma_0 = \frac{G + \sum F_z - \sum T_z}{A} \tag{1}$$

式中: A 为钢筋混凝土底板垫层面积, G 为上部直柱式柔性基础自重, F_z 为基础最大下压力, T_z 为基础最大下压力对应的上拔力。

地表正曲率作用下的基底反力 σ_1 为:

$$\sigma_1 = \frac{1}{24} \cdot L_1^2 \cdot \kappa \cdot E \tag{2}$$

$$k_{\max} = 1.52 \frac{w_{\max}}{r^2} \tag{3}$$

$$w_{\max} = m \cdot q \cdot \cos\alpha \tag{4}$$

$$r = \frac{H}{\tan\beta} \tag{5}$$

式中: κ 为底板处地表正曲率值, $10^{-3}/\text{m}$; E 为底板地基土的抗力系数,宜取 $15 \sim 25\text{MN}/\text{m}^3$; m 为采矿区的法线厚度,mm; q 为采矿区充分开采的下沉系数; α 为采矿区矿层的倾角; $w_{\max}$ 为采空区充分开采的最大下沉值,mm; H 为采空区矿层走向主断面的开采深度,m; β 为采空区主断面的开采影响角^[14-15]; r 为采空区主断面的主要影响半径,m。

考虑地表正曲率作用下的等效基底反力 σ_E 为:

$$\sigma_E = \frac{2\sigma_0 + \sigma_1}{2} \quad (\sigma_E \leq \frac{7}{4}\sigma_0) \tag{6}$$

$$\sigma_E = \frac{7}{4}\sigma_0 \quad (\sigma_E > \frac{7}{4}\sigma_0) \tag{7}$$

底板计算跨度 L_{x0} 为:

$$L_{x0} = l_x - (\frac{2}{3}b_x) \tag{8}$$

X 方向底板总弯矩值 M_{x0} 为:

$$M_{x0} = \frac{1}{8} \cdot (\sigma_E \cdot L_y) \cdot L_{x0}^2 \tag{9}$$

式中: l_x 、 l_y 为铁塔在 X、Y 方向的基础正面根开,m; b_x 、 b_y 为独立基础在 X、Y 方向的底边宽度,m; L_x 、 L_y 为底板在 X、Y 方向的总宽度,m。

底板正截面承载力设计值 M 值根据公式(9)及表 1 弯矩分配系数确定,则底板纵向受力钢筋面积 A_s 为:

$$A_s = \frac{M}{\gamma_s \cdot f_y \cdot h_0} \tag{10}$$

式中: γ_s 为内力臂系数,近似取值 $0.9 \sim 0.95$; f_y 为钢筋强度设计值, N/mm^2 ; h_0 为截面受压区有效高度,m。

表 1 基础板带和跨中板带弯矩分配系数

Tab. 1 Moment distribution coefficient of base plate and midspan plate

截面位置	基础板带	中间板带
支座负弯矩	0.45	0.22
跨中正弯矩	0.18	0.15

2.4 注意事项

直柱式柔性大板基础在输电线路工程采空区已得到了一定的应用,为提高铁塔基础对地基变形的适应能力,对于其具体实践应用应注意以下几个方面:

(1) 塔基范围内不得积水,必要时应采取临时排水措施,避免地表水直接冲刷塔基^[16]。

(2) 大板基础基坑开挖土石方量较大,应严格控制土石方的堆放。

(3) 大板基础混凝土方量较大,贵州地区多受地形限制而采用现场搅拌混凝土,必须确保连续浇筑作业并防止出现温度裂缝。

(4) 采空区铁塔高度宜适当增加,以防止地基沉陷后,铁塔定位高无法满足设计要求。

(5) 采空区所使用的铁塔宜将水平档距减小 10% 进行使用,为抵抗由于地基不均匀下沉而对铁塔产生的次应力,以及引发线路偏移所产生的角度张力。

(6) 采空区所使用的铁塔及地脚螺栓的强度宜留有一定裕度,用以抵抗由于地基沉降和基础位移给铁塔带来的附加应力。

3 结论

直柱式柔性大板基础在采空区应用已取得明显效果,在输电线路工程采空区得到了越来越广泛的应用^[17]。直柱式柔性大板基础地基应力小,柔性较大,抵抗地基变形能力强,同时运行单位可以在塔脚板下增加垫铁或顶推独立基础进行纠偏扶正,施工简便,治理费用较低^[18-19]。目前,贵州省每年用于采空区输电线路防范、监测、治理的费用逐年递增,耗费巨大,如果采用本文推荐的直柱式柔性大板基础方案,将至少能降低 1 000 万元以上的治理费用,大大降低企业投入,减轻企业负担。

参考文献:

[1] 李青松. 贵州煤矿安全生产形势及煤层赋存特性研究[C]. 煤炭工业出版社,2016-09.
[2] ZHANG YuanLiang, ZHANG YiHu. Research and application of new tower foundation type above goaf of coal mine[J]. Applied

- Mechanics and Materials, 2013, 2685(405): 386 – 389.
- [3] 付明翔, 韩为民, 默增禄. 煤矿采空区 500 kV 输电线路设计的探讨[J]. 电力建设, 2004(25).
- FU Mingxiang, HAN Weimin, MO Zenglu. Inquisition into design of 500 kV transmission lines routed in emptied area of coal mine [J]. Electric Power Construction, 2004(25).
- [4] 张俊英. 采空区地基评价与处理技术[J]. 矿山测量, 2001(02).
- ZHANG junying. Foundation evaluation and treatment technology in Goaf[J]. Mine Surveying, 2001(02).
- [5] 贾雷亮. 采空区对架空输电线路的影响分析及其综合治理研究[D]. 硕士学位论文. 华北电力大学. 2012.
- [6] 王明洲, 李陶, 刘艳. L 波段雷达卫星监测采空塌陷区及输电铁塔基础变形研究[J]. 测绘通报, 国家自然科学基金. 2014(07).
- WANG Mingzhou, LI Tao, LIU Yan. Study on monitoring the subsidence area above goaf and the transmission tower foundation deformation with L-band radar satellite [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, The National Natural Science Fund. 2014(07).
- [7] 薛小平. 煤矿采空区输电线路杆塔基础的设计[J]. 科教文汇, 2007(03).
- XUE Xiaoping. Design of tower foundation for transmission line of coal mine goaf[J]. The Science Education Article Collects, 2007(03).
- [8] 张军, 邓焯. 110 kV 柳安线 N36 – N42 号塔迁改工程总说明书[R]. 黔电设计, 2017.
- [9] 曹长胜, 周野. 金毕 I 回 220 kV 线路 130 号 – 134 号迁改工程可行性研究报告[R]. 黔电设计, 2016.
- [10] 曹长胜, 田如滔. 220 kV 盘红 II 回线路 11 号塔地质灾害迁改工程可行性研究报告[R]. 黔电设计, 2014.
- [11] 任庆峰. 论采空区大板基础施工技术[J]. 科学之友, 2012(02).
- REN Qingfeng. Discussion on the goaf slab foundation construction technology[J]. Friend of Science Amateurs, 2012(02).
- [12] 曾满. 可调式地脚螺栓的设计与应用研究[D]. 南昌大学, 2015.
- [13] DL/T 5219 – 2005. 《架空送电线路基础设计技术规定》[S].
- [14] 刘春城, 查传明. 中空式混凝土复合防护大板基础抗倾覆稳定研究[J]. 科学技术与工程, 2016(02).
- LIU Chuncheng, ZHA Chuanming. The anti overturning stability research of hollow type concrete composite protective slab foundation[J]. Science Technology and Engineering, 2016(02).
- [15] 邓斌, 仲跻云, 孔繁柏. 淤泥地基大板基础的试验研究[J]. 岩土力学, 1984(04).
- DENG Bin, ZHONG Jiyun, KONG Fanbai. A research for large plate foundation on silt[J]. Rock and Soil Mechanics, 1984(04).
- [16] 吴俊兰. 220 kV 输变电工程铁塔基础施工技术[J]. 贵州电力技术, 2014(02).
- WU Junlan. Research on the foundation construction technology of the iron tower in 220 kV power transmission and transformation project[J]. Guizhou Electric Power Technology, 2014(02).
- [17] 代泽兵, 鲁先龙, 程永锋. 煤矿采空区架空输电线路基础研究[J]. 武汉大学学报, 2009(10).
- DAI Zebing, LU Xianlong, CHENG Yongfeng. Research on foundation of transmission line tower in mined-out areas[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2009, 4(10): 312 – 315.
- [18] 曹雨晴, 孟长虹, 王文红, 等. 输电线路经过煤矿采空区建设、运行导则(Q/GDW1862 – 2012) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2011: 4 – 5.
- [19] 郑晓光, 陈驰, 王柯, 等. 基于全要素组件模型库的输电线路杆塔三维高效高精度建模[J]. 广东电力, 2017, 30(6): 94 – 97 + 131.
- ZHENG Xiaoguang, CHEN Chi, WANG Ke, et al. 3D high-efficiency and high-precision modeling for power transmission tower based on all-factor component model [J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(6): 94 – 97 + 131.

收稿日期: 2017 – 12 – 10

作者简介:



张 军(1990), 男, 硕士, 助理工程师, 从事高压输电线路设计工作。

(本文责任编辑: 王 燕)

Discussion on scheme of overhead transmission line tower foundation above goaf of Guizhou coal mine

ZHANG Jun, CAO Changsheng

(Guizhou Electric Power Design & Research Institute, Guiyang 550002 Guizhou, China)

Abstract: The goaf of coal mine in Guizhou has the characteristics of wide distribution, large influence scope, special topography and topography, complex mining scale and so on. While the subsidence and deformation of common goaf has great harm to the transmission line tower and foundation. Therefore, to investigate the influence of goaf on the power transmission lines and to renovate it by proper and economic and high efficiency method have very important significance for the secure and steady operation of power system. Based on the engineering practice in recent years, this paper puts forward the plan of preventing the collapse of goaf by using the straight column flexible slab foundation, and emphatically analyzes the optimization design, theoretical calculation and precautions of the foundation scheme, so as to achieve the purpose of safety, environmental protection and economic design. At present, the scheme of the straight column flexible slab foundation has been applied in many transmission line engineering practice above the goaf.

Key words: goaf; overhead electric transmission line; straight column flexible slab foundation; the surface subsidence and deformation