

输电线路倾斜铁塔原位加固纠偏关键技术研究

刘毓胤¹, 刘祖德²

(1.福州大学 岩土工程研究所, 福州 350002; 2.武汉大学 土木建筑工程学院, 武汉 430072)

摘 要: 输电线路铁塔属高耸结构, 不同于一般建筑物, 输电线路铁塔加固纠偏有其特殊性。结合厦门电业局所辖 110 kV 输电线路倾斜铁塔加固纠偏工程实例, 深入探讨了输电线路倾斜铁塔加固纠偏关键技术。分析了铁塔倾斜原因, 应用 FEM 技术研究基础倾斜对塔身的应力和变形的影响机制, 分析了倾斜铁塔的健康状况, 在此基础上提出经济有效的加固纠偏设计方案; 对加固纠偏设计计算方法、加载控制指标分析及信息化施工控制等关键技术展开了讨论, 并指出需要进一步研究的问题。

关 键 词: 纠偏加固; 倾斜; 输电线路铁塔

中图分类号: TU 470

文献标识码: A

Study on stabilization and rectification technology for inclined transmission tower

LIU Yu-chuan¹, LIU Zu-de²

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China;

2. School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The transmission tower is located in Xiamen City, China, which is founded on weak, uneven highly compressible soils and its inclination has been increasing after construction. The technologies carried out to explore the applicability of the procedure for the stabilization of the leaning transmission tower are described. Firstly the causes of the inclination and the impact of the inclination on the tower are analyzed; the economic and effective stabilization scheme is brought forward base on it. Secondly the key technologies are discussed; and the future research direction about this issue is pointed out.

Key words: stabilization and inclination; rectification; transmission tower

1 引 言

一般来说, 软土地基的地质条件较差, 加上勘察失误、设计不当或施工质量低劣以及自然灾害等原因, 常使建筑物产生不均匀下沉, 使其发生倾斜、挠曲、开裂等病害现象; 此外, 城市建筑栉比鳞次, 地下空间开发、深基坑工程开挖也常使邻近地面建筑物产生不均匀下沉, 造成地面建筑物开裂、倾斜等岩土工程灾害。这些病害轻者影响建筑物的正常使用, 重者危及人民生命财产安全, 此类危险建筑物的病害治理是当前岩土工程研究的重要课题^[1]。

现有危险建筑物纠偏加固技术主要分为迫降法和顶升法两大类^[2]。迫降法是在建筑物沉降小的一侧采用掏土、浸水、加压或淤泥触变等扰动措施迫使基础下沉实现危险建筑物的改斜归正; 所谓的

顶升法即在建筑物沉降大的一侧采用锚杆静压桩、托梁柱或地基注入膨胀剂等措施顶升基础从而使建筑物回倾。

迄今为止, 国内外对普通建筑物纠偏加固积累了一定经验^[3], 但对于输电线路铁塔加固纠偏研究还很有限, 加固纠偏技术应用的相关报道很少。由于输电线路铁塔属高耸结构, 铁塔的材料、结构、受力情况及基础形式与普通建筑物有很大的不同, 因此, 有必要对输电线路铁塔加固纠偏技术开展相关研究, 解决输电线路铁塔加固纠偏关键技术, 为输电线路铁塔原位在线加固纠偏提供技术支持。

本文将结合厦门电业局所辖 110 kV 输电线路倾斜铁塔加固纠偏工程实例, 深入探讨输电线路倾斜铁塔加固纠偏关键技术, 并指出需要进一步研究的问题。

2 工程概况

已建的 110 kV 输电线路铁塔位于厦门市海沧出口加工区内, 该塔在运行过程中, 地基发生不均匀沉降, 变形观测结果分别见表 1。I, II, III腿相对IV腿出现不均匀沉降, 并有进一步发展的趋势。

表 1 基础不均匀沉降观测结果
Table 1 Differential settlements of foundation

测量位置	与IV腿相差值/mm
I 腿	-37
II 腿	-133
III腿	-117
IV腿	0

2006 年 1 月对铁塔场地进行岩土工程勘察, 钻孔地质剖面见图 1, 各土层特征分述如下:

(1) 素填土①: 稍湿~湿, 结构松散, 填料成分以粉质黏性土为主, 底部为原塔施工时换填的中砂, 属新近回填而成, 该层在场区均有揭露, 厚度 5.80~6.80 m;

(2) 淤泥②: 湿、流塑状, 含些腐植质, 具腥臭味; 该层在IV腿附近缺失 (ZK3 孔未揭露), 其埋深为 5.80~6.50 m, 厚度为 2.10~3.20 m;

(3) 粉质黏土③: 可塑~硬塑状, 成分以黏、粉粒为主, 砂砾含量为 10%左右, 黏性强, 属冲洪积而成; 该层在场区均有揭露, 其埋深为 6.80~9.00 m, 厚度为 7.80~10.10 m;

(4) 残积砂质黏性土④: 系花岗岩风化残积而成, 可塑状~硬塑状, 主要由长石风化的黏粉粒、石英砂粒及少量云母碎屑组成, 石英砂粒含量约 15%, 具遇水易崩解、软化的特点; 该层在场区均有揭露, 其埋深为 16.80~17.00 m, 揭露厚度为 1.15~3.15 m, 属中等压缩性土, 工程性能较好。

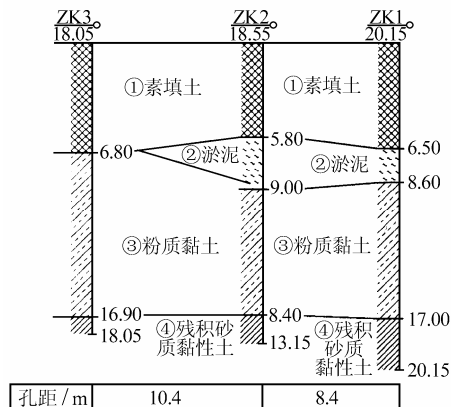


图 1 钻孔地质剖面(单位: m)
Fig.1 Geological profile(unit: m)

3 铁塔倾斜原因分析

根据上述提供的工程场地地质条件分析认为, 淤泥②层在IV腿附近缺失, 也就是说地基软弱下卧层分布不均匀是铁塔倾斜的主要原因。

4 铁塔健康状况评价

应用 FEM 数值模拟技术判断大型建筑结构特别是高耸结构的健康状况近年在国内外发展迅速, 是土木工程研究的重要创新, 并在实际工程得到很好的应用。本文采用大型有限元软件 Midas/civil 建立输电线路铁塔计算模型^[4], 分析塔基不均匀沉降对塔身的影响, 在此基础上对铁塔健康状况作出合理的评价, 这是倾斜铁塔能否进一步采取纠偏加固措施的基础。

计算模型共划分 1 331 个单元, 分 2 种荷载工况: 工况 1 为自重恒载, 工况 2 为塔基不均匀沉降。塔身水平位移计算结果见图 2, 由图可以看出, 塔身水平位移最大值为 84.5 cm, 与实际观测结果大致相符。塔身应力组合计算结果可以看出, 铁塔基础不均匀沉降引起的塔身应力在 500 MPa 左右, 基本上没有超过塔身材料强度。因此, 尽管塔基出现了不均匀沉降, 但是输电线路铁塔的安全是有保证的, 因此, 可以对倾斜铁塔采取相关纠偏加固措施。

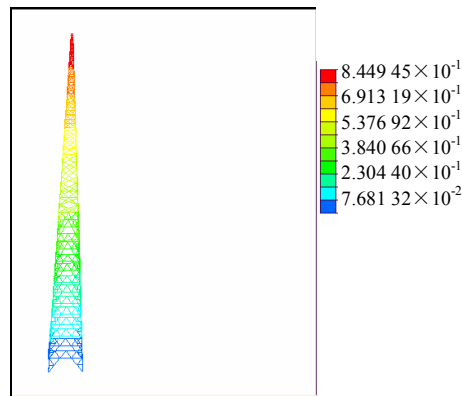


图 2 电塔塔身水平位移 (单位: m)
Fig.2 Horizontal displacements of tower (unit: m)

5 加固纠偏指导思想和原则

参照以往纠偏加固工程实践经验, 针对输电线路铁塔制定如下加固纠偏指导思想和原则。

(1) 指导思想

纠偏全过程中应确保 4 塔腿底部始终在一个平面上; 在不断电的条件下实施纠偏全过程, 铁塔不用更换改建; 原 4 个基础尽量不受破坏, 但它们的

受力条件要发生改变; 纠偏以顶升调平为主。

(2) 基本设计原则

首先必须设置一个刚度、强度都大的桩顶平面框架梁, 与原基础连在一起 (方法是在原基础上植筋)。然后在框架梁上设锚杆静压桩孔, 依次压入 $250\text{ mm} \times 250\text{ mm}$ 的方桩, 使上部铁塔荷载向框架梁和静压桩上转移, 实施静压桩加固托换。

为达到使框架梁顶升调平的目的, 各静压桩顶上要设置维持压入荷载的装置, 进行顶升作业; 原基础 (指 II, III, I 三个下沉基础) 底部在顶升中所形成的空隙需用水泥浆灌满; 在纠偏完成后, 上部铁塔和导线荷载全部由平面框架梁和锚杆静压桩群承担。

(3) 加固纠偏方案简介

根据上述加固纠偏指导思想和基本原则, 制定如下加固纠偏方案, 即静压桩托换加固和顶升法纠偏相结合的纠偏加固方案, 方案框图见图 3。

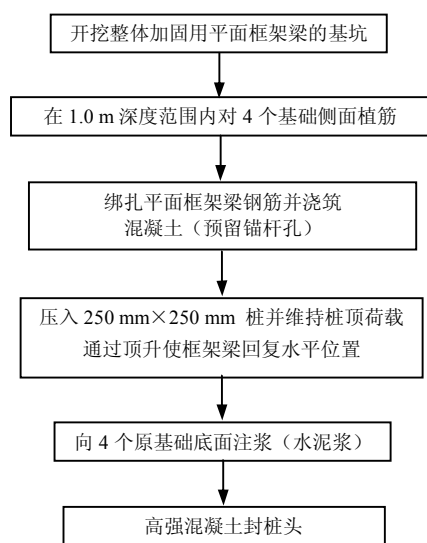


图 3 加固纠偏方案框图
Fig.3 Flow chart of scheme

6 加固纠偏方案设计计算

电塔纠偏加固方案计算过程, 主要考虑四部分荷载: (1) 原基础自重; (2) 新增顶升机构自重; (3) 电塔自重恒载和风载; (4) 顶升过程原基础上覆土可能产生的阻力。前三部分荷载按相关规范计算, 这里主要讨论顶升过程原基础上覆土可能产生的阻力的计算。

根据输电线路铁塔基础上拔试验研究成果^[2], 上拔角约为 $17^{\circ} \sim 18^{\circ}$, 上拔阻力与上拔位移有关。为安全起见, 采用土重法计算其极限阻力约为 750 kN 。

按照上述计算荷载, 为满足电塔加固纠偏要求, 共需设置 20 根锚杆静压桩托换, 顶升机构设置见图 4。

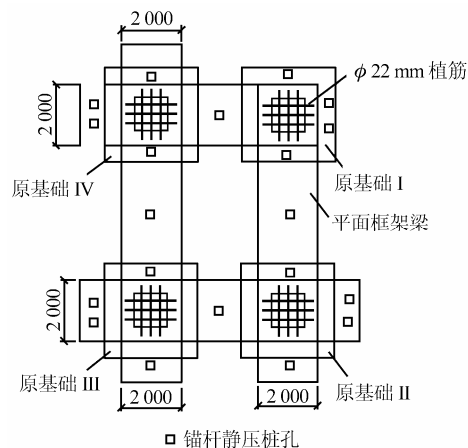


图 4 顶升机构平面图 (单位: mm)
Fig.4 Plan of lifting machine (unit: mm)

由图 2、图 3 铁塔基础不均匀沉降对塔身变形和应力分析结果可以看出, 铁塔基础不均匀沉降引起的塔身应力在 500 MPa 左右, 基本上没有超过塔身材料强度。有限元分析表明, 在纠偏过程中基础不均匀沉降逐渐得到消除, 由于基础不均匀沉降引起的塔身次应力逐步减小, 塔身将越来越安全, 但是以防万一, 纠偏过程对应力较大的塔身构件需进行必要的加固。

7 加固纠偏施工控制技术

(1) 原位设置平面框架梁, 确保纠偏全过程中 4 个塔腿底部始终在一个平面上, 减小塔脚次应力, 框架梁尺寸为 $2\text{ m} \times 1\text{ m}$; 框架梁初始状态设置为非水平的, 是南低北高的, 纠偏复位后方便框架梁恢复到原来的水平位置。目前各独立小基础顶部 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 墩基顶南北两个端点间高差达 20 mm , 与整个塔身的倾斜率基本一致。因此, 框架梁的初始顶面可设置为与现在有 4 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 墩基顶面齐平。纠倾到位时, 所有原有基础和新增框架梁全部处于水平位置。

(2) 在新建基础预留锚杆静压桩孔, 进行地基锚杆静压桩加固托换; 锚杆静压桩的压桩力应以能满足刚性框架抬升、调平至完全水平位置的需要, 同时不能大于 500 kN (方桩的尺寸为 $250\text{ mm} \times 250\text{ mm}$), 以保证桩身强度不被破坏。因此, 桩群的施工流程必须采取信息化施工原则, 即轮流微调的操作形式, 不能操之过急。若能考虑到桩数可

能不足,难以纠偏到位这一非常规因素,则宜在框架梁南侧多留两个压桩孔,以供万一需补桩用。

(3) 采用顶升法对 II, III, I 三个下沉基础进行纠偏,使塔脚回复在一个水平面上。

(4) 为了使整个纠倾工程始终保持绝对安全的状态,原有基础必须与框架梁同步顶升移动,不受破坏或削弱。基底下产生的空隙必须用灌浆方法填补。

(5) 顶升机构的设计可以用液压式千斤顶,置放在已压入的锚杆静压桩顶部中心位置,在框架梁顶面该桩位处设置带传感器的荷载维持装置,20 个桩位静压桩必须先压入孔内到位。然后在维持荷载阶段,用带传感器的荷载维持装置塞到反力架空挡内。抽出液压式千斤顶,荷载转移到荷载维持装置。纠偏到位后,直接将微膨胀细粒混凝土灌入桩孔的内腔。7~8 d 凝固后,即可拆除加荷框架,材料回收,4 根锚杆可交叉焊上 II 形钢筋,然后浇上高强混凝土。

(6) 纠偏加固实施前,宜对电塔塔身先行加固,同时加固纠偏过程应采用信息化施工,以确保纠偏过程电塔塔身绝对安全。

8 结 论

输电线路铁塔属高耸结构,不同于一般建筑物,输电线路电塔加固纠偏有其特殊性。结合厦门电业局所辖 110 kV 输电线路倾斜铁塔加固纠偏工程实例,深入探讨了输电线路倾斜铁塔加固纠偏关键技术。该输电线路铁塔纠偏加固方案于 2005 年 8 月开始实施,历时 40 d,成功应用于该铁塔纠偏,

从施工后期沉降监测结果可以看出,加固纠偏方案竣工后第 2 个月沉降速率已小于 0.015 mm/d,基本趋于稳定,这表明加固纠偏方案是成功的。

(1) 输电线路铁塔属高耸结构,出现倾斜后,在分析倾斜原因的基础上,应先采用 FEM 技术分析其健康状况,以指导后续施工;

(2) 为了整个纠倾工程始终保持绝对安全的状态,原有基础必须与框架梁同步顶升移动,确保纠偏全过程中 4 个塔腿底部始终在一个平面上,减小塔脚次应力,同时应设置荷载维持装置;

(3) 今后应加强计算机自动控制技术在顶升纠偏中的应用研究,完善施工综合监测技术,增加加固纠偏设计施工科学性,减少对经验的依靠。

参 考 文 献

- [1] 刘毓毓. 倾斜建筑物纠偏加固计算机智能施工控制系统初探[J]. 土木工程学报, 2002, 35(3): 99—103.
LIU Yu-chuan. Intelligent construction for restoring tilted building on soft ground[J]. *China Civil Engineering Journal*, 2002, 35(3): 99—103.
- [2] 刘祖德. 纠偏防倾工程十五年. 全国首届建(构)筑物地基基础特殊技术研讨会特邀报告[R]. 上海: [s. n.], 2004.
- [3] 刘毓毓. 建筑物倾斜的纠偏加固综合治理实践[J]. 岩土力学, 2000, 21(4): 420—423.
LIU Yu-chuan. Synthetic improvement practice for inclination rectification and reinforcement of inclined building[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2000, 21(4): 420—423.
- [4] 迈达斯技术有限公司. MIDAS CIVIL 使用手册[M]. 北京: 迈达斯技术有限公司, 2005.

第十届全国地基处理学术讨论会会议通知

随着我国现代化建设的发展,高速公路、铁路、港口码头以及高层建筑等基础设施建设日新月异,地基处理技术得到了广泛应用和快速发展。为加强地基处理技术的学术交流,提供新理论、新技术、新理念、新设备的探讨平台,中国土木工程学会土力学及岩土工程分会地基处理学术委员会将于 2008 年 10 月下旬在“六朝胜地、十代都会”——南京举办第十届全国地基处理学术讨论会。组委会诚邀您参加这次会议。本次大会旨在展示地基处理领域的最新研究成果与发展趋势,您将有机会全国各地的同仁们进行技术、科学方面的交流与探讨。会议将特邀国内外著名专家学者做学术报告并出版正式论文集。

会议征文内容:(1)现有地基处理技术进展;(2)地基处理新技术的开发和应用;(3)复合地基理论与实践新发展;(4)地基处理工程勘察技术、设计计算、施工设备、质量检验等方面的新发展;(5)地基处理其他方面的发展。

论文格式要求:(1)应征论文要求内容具体、明确、严谨、未公开发表过、文责自负且不涉及保密内容。论文字数一般不超过 8 000 字(包括图表和公式),具有创新性以及充分尊重事实的论文将被优先采纳;(2)论文格式请按《岩土工程学报》论文体例;(3)请务必注明作者详细通讯地址、邮编、联系电话及 Email 地址;(4)应征论文一式 3 份,2 份打印稿和 1 份电子稿。

会议论文集将收录大会主题报告及所有被学术委员会录用的论文,并由东南大学出版社正式出版。

重要日期:(1)提交全文截止日期:2008 年 3 月 15 日;(2)全文录用截止日期:2008 年 4 月 30 日;(3)修改稿提交截止日期:2008 年 6 月 30 日;(4)会议时间:2008 年 10 月下旬。

论文投稿及其他事宜联系人:李宏;通讯地址:南京市四牌楼 2 号东南大学交通学院;邮编:210096;电话:025-83795086;传真:025-83795086;E-mail: hongl@seu.edu.cn。

(摘自 东南大学岩土工程研究所网站)