浅谈湿陷性黄土地区通信塔桅基础不均匀沉降的预防

井沛¹ 郭琳²

1. 中国铁塔股份有限公司陕西省分公司 陕西 西安 710060

2. 陕西通信规划设计研究院有限公司 陕西 西安 710060

摘要: 本论文聚焦湿陷性黄土地区通信塔桅基础不均匀沉降问题, 深入分析其产生的内在机理与外部诱因。通过综合研究地基处理技术、防水排水系统构建、通信塔桅选址、选型设计优化等多方面内容, 系统总结出一系列针对湿陷性黄土地区不均匀沉降的预防措施, 旨在为该地区的通信塔桅建设提供科学、有效的技术指导, 降低不均匀沉降对通信塔桅基础的危害, 保障通信塔桅基础安全与使用寿命。

关键词: 湿陷性黄土; 不均匀沉降; 地基处理; 通信塔桅; 基础

引言: 湿陷性黄土在我国分布广泛, 尤其在西北、华北等地区。由于黄土特有的湿陷性, 当地基渗水时, 地基承载力特征值会大幅降低, 地基可能发生不均匀沉降, 对于通信塔桅来说, 轻则倾斜, 重则倒塌, 影响基站设施正常运转、通讯中断, 人流集中区域可能威胁他人生命财产安全。由于地基湿陷沉降造成基站铁塔及机房从上部结构到基础出现质量问题, 维护工作量及费用也随之增加, 如何有效预防不均匀沉降成为亟待解决的关键问题。因此, 深入研究湿陷性黄土地区不均匀沉降的预防措施, 具有重要的理论意义和工程实践价值。

1 湿陷性黄土危害

1.1 湿陷性黄土分布及形成原因

湿陷性黄土广泛分布于我国陕西、山西、宁夏、甘肃大部分地区以及河南的西部, 这些地区的湿陷性黄土面积较大, 厚度较厚, 湿陷性也较为强烈。在甘肃, 湿陷性黄土广泛分布于兰州、定西、天水等地; 陕西的关中平原、陕北地区以及山西的汾河谷地等都是湿陷性黄土的典型分布区域。此外, 青海、宁夏、河南等省份的部分地区也有湿陷性黄土分布^[1]。

湿陷性黄土的形成与特定气候、地理环境紧密相关。在第四纪干旱、半干旱气候下, 风搬运堆积大量粉砂颗粒, 经重力等作用形成黄土层。干旱气候使土孔隙水分蒸发, 毛细作用增强, 细粉粒、粘粒和水溶盐类在粗颗粒接触点集聚胶结, 赋予黄土天然状态下较高强度。但遇水时, 水软化胶结物, 导致土强度骤降, 引发湿陷。

1.2 湿陷性机理

湿陷性主要与黄土自身结构有关, 黄土是一种特殊的土壤类型, 主要由粉砂、黏粒等细小颗粒组成, 具有较高的孔隙率和一定的黏结性。从微观层面来看, 黄土颗粒间以碳酸钙、腐殖质等物质作为胶结材料, 形成了独特的架空结构, 这种结构在干燥状态下, 依靠颗粒间

的摩擦力、胶结力以及毛细作用力维持相对稳定, 使得黄土在未浸水时呈现出较高的强度和较好的承载性能。但在浸水及外部荷载因素共同作用下, 情况会发生显著变化。当黄土遇水后, 一方面, 水分会溶解颗粒间的碳酸钙等胶结物质, 削弱土壤颗粒间的胶结力; 另一方面, 水的存在会降低土粒间的摩擦阻力, 使得土体抗剪强度大幅下降。此时, 若外部荷载产生的剪应力超过抗剪强度, 原有的架空结构便会迅速破坏, 土壤颗粒间重新排列, 孔隙空间急剧减小, 导致土壤发生沉降, 甚至出现地面塌陷的现象。

2 预防不均匀沉降措施

2.1 工程勘察

2.1.1 在易受洪水淹灌的地区, 洪水不仅会直接冲击塔基, 还会加速黄土湿陷进程, 曾有某通信塔因选址靠近河滩, 暴雨后遭遇洪水浸泡, 地基发生严重湿陷导致塔身倾斜倒塌。同时, 应避开断层、土坡边缘、故河道、有可能塌方、滑坡、泥石流和有开采价值的地下矿藏或古迹遗址的地段。断层区域存在应力集中现象, 土坡边缘、故河道等地形易受地质活动影响产生位移, 而地下矿藏开采或古迹遗址挖掘, 会改变地层应力分布, 均可能引发塔桅基础沉降。

2.1.2 铁塔距离河道需严格满足安全距离(依据当地建设方和河道管理机关的要求), 一般来说, 河道冲刷、水位变化等因素会对周边土体稳定性造成影响, 距离过近存在隐患。观察地形地貌, 选择地势较高、排水良好的地段, 这样能有效避免积水渗透引发黄土湿陷; 同时, 要避开有因湿陷性黄土导致的地面裂缝、建筑物倾斜等迹象的地段, 这些迹象表明该区域土体已出现不稳定情况, 若在此建设通信塔桅, 后期维护成本高且存在安全风险^[2]。

2.2 地勘要求

2.2.1 地勘工作除符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《湿陷性黄土地区建筑标准》(GB50025 - 2018)规定及建设单位要求外,勘探点数、勘探深度及勘探位置的确定需精准合理。勘探点数应根据场地复杂程度和建筑物规模确定,一般小型场地不少于3个点,中型场地不少于5个点,大型场地不少于7个点;勘探深度需穿透湿陷性黄土层,一般在8-30米,具体深度依据当地地质条件而定;勘探位置应覆盖塔桅基础可能布置区域,以及场地内存在地质异常的部位。

2.2.2 地质勘探报告应全面、准确地反映湿陷性黄土地区的地质条件和勘探成果。报告内容一般包括工程概况、勘探目的和任务、勘探方法和工作量、场地工程地质条件、湿陷性黄土的分布特征和湿陷性评价、地基处理建议等。其中,在湿陷性评价方面,要明确湿陷起始压力、湿陷系数等关键参数,通过室内试验和现场原位测试相结合的方式,确保数据准确;地基处理建议需结

合工程实际需求和地质条件,提供多种可行方案,并分析各方案的优缺点及适用范围,为后续设计施工提供科学依据。

3 通信塔桅基础方案优选原则

对于湿陷性黄土分布较少的区域,选址时可尽量避免,但对于湿陷性黄土分布较广的区域,有大量站址需建设在该区域,此时应根据塔桅型式、高度、荷载、场地土湿陷类型、湿陷性土层的覆盖厚度、地基湿陷等级、场地施工条件、周边环境、经济适用性等因素,综合考虑确定基础设计方案、结构措施、地基处理方案^[3]。对于湿陷性黄土层分布厚度大、地基受水浸润可能性大的场地上高度较高的塔尤其是对地基不均匀沉降较为敏感的独管塔,优先采用桩基础或刚度较大的筏板基础等,结合《湿陷性黄土地区建筑规范》及近年来工程经验,通信塔桅常见基础型式可参照下表进行方案初选,具体方案应根据计算结果,综合考虑地基处理要求确定。

通信塔桅常见基础型式初选方案

湿陷类型	湿陷等级	地基受水浸润可能性	基础方案初选		
			50米及以上角钢塔/三管塔/四管塔; 30米及以上独管塔	30~50米角钢塔/三管塔/四管塔; 30米以下独管塔	30米以下角钢塔/三管塔/四管塔
非自重湿陷	I (轻微)	大/较大	1.筏板基础,独立基础,地基处理至压缩层深度 2.桩基础,穿透湿陷性土层或25米以上大厚度土层处理至不小于25米	1.独立基础(做好结构措施提高刚度)、筏板基础,地基处理至压缩层深度的2/3 2.桩基础,穿透湿陷性土层或20米以上大厚度土层处理至不小于20米	1.独立基础、筏板基础,湿陷性土层处理厚度 ≥ 1.0m 2.桩基础
		小	可按一般场地设计,做好防水排水措施		
	II (中等)	大/较大	1.筏板基础,地基处理至压缩层深度 2.桩基础,穿透湿陷性土层或25米以上大厚度土层处理至不小于25米 3.提高防水等级	1.独立基础(做好结构措施提高刚度)、筏板基础,地基处理至压缩层深度的2/3 2.桩基础,穿透湿陷性土层或20米以上大厚度土层处理至不小于20米 3.提高防水等级	1.独立基础、筏板基础,湿陷性土层处理厚度 ≥ 2.0m,提高防水等级 2.桩基础
		小	1.筏板基础,地基处理至压缩层深度 2.桩基础,穿透湿陷性土层或25米以上大厚度土层处理至不小于25米	1.独立基础(做好连梁提高刚度)、筏板基础,地基处理至压缩层深度的2/3 2.桩基础,穿透湿陷性土层或20米以上大厚度土层处理至不小于20米	1.独立基础、筏板基础,湿陷性土层处理厚度 ≥ 2.0m 2.桩基础
自重湿陷	II (中等)	1.筏板基础,基础底面以下湿陷性黄土层全部处理 2.桩基础,穿透湿陷性土层或25米以上大厚度土层处理至不小于25米 3.提高防水等级	1.独立基础(做好结构措施提高刚度)、筏板基础,基础底面以下湿陷性黄土层全部处理 2.桩基础,穿透湿陷性土层或20米以上大厚度土层处理至不小于20米 3.提高防水等级	1.独立基础、筏板基础,湿陷性土层处理厚度 ≥ 2.5m,计算处理厚度大于6.0m可适当减小但不得小于6.0米 2.桩基础	
	III (严重)	1.桩基础,穿透湿陷性土层或25米以上大厚度土层处理至不小于25米 2.加强结构措施 3.提高防水等级	1.独立基础(做好结构措施提高刚度)、筏板基础,基础底面以下湿陷性黄土层全部处理 2.桩基础,穿透湿陷性土层或20米以上大厚度土层处理至不小于20米,加强结构措施 3.提高防水等级	1.独立基础、筏板基础,湿陷性土层处理厚度 ≥ 4.0m,计算处理厚度大于10.0m可适当减小但不得小于10.0m 2.桩基础	
	IV (很严重)	1.桩基础,穿透湿陷性土层或25米以上大厚度土层处理至不小于25米 2.加强结构措施 3.提高防水等级	1.独立基础(做好结构措施提高刚度)、筏板基础,基础底面以下湿陷性黄土层全部处理 2.桩基础,穿透湿陷性土层或20米以上大厚度土层处理至不小于20米,加强结构措施 3.提高防水等级	1.独立基础、筏板基础,湿陷性土层处理厚度 ≥ 5.0m,计算处理厚度大于12.0m可适当减小但不得小于12.0m 2.桩基础	

4 地基处理

4.1 灰土换填法

灰土换填法是一种浅层处理湿陷性黄土地基的传统方法，也是通信塔桅基础最常用的处理方法。灰土垫层法适用于埋地下水位以上，深度为 1 - 3m 的湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。先将处理范围内的湿陷性黄土挖去，然后用灰土分层回填夯（压）实。当仅要求消除基底以下 1 - 3m 湿陷性黄土的湿陷量时，宜采用局部土垫层进行处理；当要求提高垫层土的承载力及增强水稳性时，宜采用整片灰土垫层进行处理。

相比之下，换填垫层法在处理湿陷性黄土地基时，通过换填优质材料，操作相对简便，成本可控，在通信铁塔建设中应用更为广泛。它通过消除地基土的湿陷性，提高地基承载力，保障铁塔稳固，以高性价比优势成为许多工程的优选方案。此外，其他还有强夯法，灰土挤密桩法，也是建筑工程中处理湿陷性黄土地基的常用方法，但是这两种方法相对于通信铁塔整体造价来说施工成本较高，较少选用^[4]。

4.2 防水与排水

陷性黄土产生下沉的条件是受水浸湿，只要保证地基不要受水浸湿，就不会产生显著附加下沉，所以湿陷性黄土场地防水与排水尤为重要，以防水为主，以排为辅，达到通信塔桅地基土不受水侵蚀的目的；

在铁塔基础周边设置排水沟或集水井等措施，通过拦截和引导地下水，将其排至指定地点，从而降低地下水位，减少地下水对铁塔基础的影响。排水沟应具有一定的过水能力，其尺寸和坡度应根据当地的降雨量和排水需求进行设计。

4.3 施工要求

4.3.1 当湿陷性黄土采用灰土换填法处理时，根据实际情况选择最优灰土配比，灰土要分层压实，每层厚度不宜超过 300mm，压实系数不小于 0.95。

4.3.2 当采用桩基础。桩型可根据工程具体情况选择，如钻孔灌注桩、人工挖孔桩等。桩端应进入非湿陷性土层一定深度，以确保桩的承载力和稳定性。

4.3.3 施工期间应做好现场的防水、排水工作，避免

地基土受水浸泡。在基坑周围设置截水沟、排水沟等排水设施，及时排除地表水和施工废水。对已开挖的基坑或基槽，应及时进行封闭保护，防止雨水渗入。

4.3.4 施工完成后，应按设计要求进行地基承载力检测，对于处理后的地基，应进行湿陷性检测，检查湿陷性是否已消除或满足设计要求。

5 其他

针对未发生质量问题，但地基范围内黄土层存在湿陷隐患的站址进行预防性维护，主要采取低成本的加强防水及排水的措施，对硬化地面和散水已发生轻微质量问题的引起重视及时处理防患于未然。

6 结论与展望

湿陷性黄土地区通信塔桅基础不均匀沉降的预防研究，对保障通信设施安全稳定运行意义重大。目前，通过完善工程勘察，准确判定湿陷性等级；运用灰土换填、强夯等地基处理技术，优化基础设计选型；采取防水排水、合理控制施工等措施，在预防不均匀沉降方面已取得一定成效。但仍存在部分问题，如复杂地质条件下监测精度不足、新型预防技术应用有限等。实际工程中，受地形地貌及地下水动态变化影响，传统监测设备易出现数据偏差，难以满足高精度预警需求；而诸如生物固化等前沿技术，因缺乏系统性工程验证和配套规范，难以在行业内大规模推广。

展望未来，可加强对湿陷性黄土微观机理的研究，探索更高效的地基处理技术；结合物联网、大数据等技术，实现监测预警智能化；推动不同地区经验交流与标准完善，提升预防技术的普适性与可靠性，为通信塔桅基础稳定筑牢保障。

参考文献

- [1]GB 50025 - 2018《湿陷性黄土地区建筑标准》
- [2]JGJ 79 - 2012《建筑地基处理技术规范》
- [3]陈智科《湿陷性黄土地区岩土工程勘察和地基处理要点》工程建设与设计2021年第18期
- [4]赵渤《湿陷性黄土塔基施工处理方法》黑龙江省送变电工程公司