

特殊地质条件下铁塔基础选型及施工要点

李明胜 唐保科 苏 宸

国网新疆电力有限公司阿克苏供电公司 新疆 阿克苏 843000

摘 要: 本文系统分析了软弱地基、湿陷性黄土、膨胀土、岩溶、冻土及风沙地基等特殊地质的工程病害机理,阐述了其对铁塔基础稳定性的影响。针对不同地质条件,提出了科学的基础选型原则与精细化的施工控制要点,并强调了施工期监测与应急安全管理的重要性。通过有效的地基处理与施工控制,可显著提升铁塔基础在复杂地质环境下的安全性和耐久性。

关键词: 输电铁塔; 特殊地质; 基础选型; 施工技术; 地基处理

引言: 输电线路常穿越地质条件复杂的区域,软弱土、湿陷性黄土、膨胀土、岩溶、冻土及风沙等地基具有显著的工程病害特性,极易导致铁塔基础发生不均匀沉降、滑移、倾斜甚至失稳破坏,严重威胁输电工程的安全运行。因此,深入研究各类特殊地质的工程特性,科学进行基础选型,并采取针对性的施工技术与防护措施,是确保输电线路在复杂地质条件下安全稳定的关键。

1 特殊地质条件分类与工程特性

1.1 软弱地基

软弱地基主要由淤泥、淤泥质土、杂填土、冲填土等低强度、高压缩性土体构成,广泛分布于河湖滨海及低洼沉积区域,是工程建设中最常见的特殊地质类型。该类地基土体孔隙比大、天然含水率高、抗剪强度极低,固结沉降周期长,具备显著的流变性和触变性。在外荷载作用下,软弱地基极易产生不均匀沉降、侧向滑移及剪切破坏,稳定性极差。施工前期未妥善处理时,建筑物易出现墙体开裂、结构倾斜、基础下沉等质量病害,且后期沉降持续时间久,会大幅增加工程运维风险。同时软弱地基渗透性弱,排水固结速度慢,常规压实处理效果有限,对基础选型、施工工艺及沉降控制标准均有严格要求,是浅基础施工的重点管控地质。

1.2 湿陷性黄土地基

湿陷性黄土地基是我国西北、华北地区典型的特殊地质,土体以粉粒为主,结构疏松、孔隙发育,天然状态下强度尚可、压缩性较低,可满足常规静置承载需求。该地基最核心的工程特性为遇水湿陷性,土体浸水后颗粒间胶结结构快速破坏,孔隙塌陷,产生大幅度、突发性的不均匀沉降。黄土天然含水率低,透水

性较强,雨水入渗、施工渗水、管道漏水均会诱发湿陷变形,且湿陷过程不可逆、沉降差值大^[1]。另外,湿陷性黄土抗冲刷能力差,易出现边坡坍塌、基坑溜坡等问题,地基承载力随浸水程度急剧衰减,极易导致建筑结构变形破损,对工程防水、地基加固及沉降防控设计有着极高的专业要求。

1.3 膨胀土地基

膨胀土地基富含蒙脱石、伊利石等亲水黏土矿物,具有显著的吸水膨胀、失水收缩、反复胀缩变形的工程特性,多分布于我国西南、中南及华北部分地区。该类土体结构致密,天然状态下承载力较好,但受环境湿度、季节降水及地下水位变化影响极大。雨季土体吸水膨胀,体积增大产生上拱推力,抬升基础结构;旱季土体失水收缩,土体开裂、地基下沉,反复循环会引发基础疲劳破坏。膨胀土地基变形具有不均匀性、长期性和反复性,常规压实、换填处理难以根治病害。施工中易出现建筑墙体开裂、地坪起拱、基础断裂等问题,且边坡易产生浅层滑塌,是对构筑物稳定性危害极大的特殊岩土类型。

1.4 岩溶(喀斯特)地基

岩溶地基由碳酸盐岩经地下水溶蚀、侵蚀作用形成,地表及地下发育溶洞、溶沟、溶槽、石芽、落水洞及地下暗河等复杂地貌,地质分布极不均匀。该地基核心工程特性为整体性差、稳定性不足,地下空洞隐蔽性强,无规律分布,地基承载力差异悬殊。上部结构荷载作用下,空洞顶板易发生坍塌、陷落,引发地基突发性沉降,造成建筑倾斜、开裂甚至整体失稳。同时,岩溶区域地下水径流活跃,水力渗透作用强,施工中易出现涌水、突泥、渗漏等隐患,岩体裂隙发

育导致地基加固难度大。地质勘察难以精准探明全部隐蔽空洞,极易出现勘察盲区,大幅提升基础设计与施工的不确定性风险。

1.5 冻土地基

冻土地基分为季节性冻土地基和多年冻土地基,主要分布于我国东北、西北及青藏高原高寒区域,土体温度长期低于零度,内部含有大量冻结冰体。其核心工程病害为冻胀与融沉特性,低温冻结时,土体水分结冰膨胀,体积增大,使基础产生抬升、挤压变形;气温回升后,冰层融化,土体含水率骤增、结构松散,承载力大幅下降,产生不均匀融沉沉降。冻土地基土体稳定性随温度变化剧烈,反复冻融循环会破坏土体结构,造成地基持续变形。此外,冻土区域植被、冰层对土体起到天然保护作用,施工扰动后极易引发冻土退化、边坡滑塌、地面沉降等问题,对施工温度控制、扰动管控及保温防护工艺有着严苛标准。

1.6 风沙与沙漠地基

风沙与沙漠地基主要由松散风积砂组成,颗粒均匀、级配不良、孔隙率大、黏聚力极低,广泛分布于我国西北沙漠及荒漠边缘区域。该类地基土体结构松散,抗剪强度小、稳定性极差,天然状态下承载力较低,在外荷载及风力作用下易产生滑移、沉降变形。风沙地基透水性极强,保水性差,无固结稳定性,常规压实成型难度大,基础易出现不均匀沉降。同时,区域风沙活动频繁,风积砂持续堆积、流动侵蚀,会掩埋施工结构、冲刷基础边坡,破坏地基整体稳定性。另外,沙漠区域昼夜温差大、风力强,土体易受风力扰动重塑,地基变形随机性强,施工成型质量难以把控,对基础防护、压实工艺及防风固沙措施要求极高。

2 特殊地质条件下基础施工要点

2.1 软弱地基施工要点

软弱地基施工核心原则为降低土体压缩性、提升地基承载力、控制不均匀沉降,施工前需全面勘察土体厚度、含水率及分布范围,结合工程荷载选用适配加固工艺。浅层软弱土层优先采用换填垫层法,清除软弱土体后回填砂石、灰土等高强度填料,分层压实夯实,保障垫层均匀受力。深层软弱地基可采用真空预压、堆载预压法,加速土体排水固结,提前完成沉降变形;荷载较大的构筑物可选用水泥搅拌桩、CFG 桩复合地基,通过桩体协同土体承载,提升地基整体稳定性。施工中需严格控制分层填筑厚度与压实系数,避免超荷载施工,杜绝土体扰动软化。

2.2 湿陷性黄土地基施工要点

湿陷性黄土地基施工核心是消除土体湿陷性、阻断渗水通道、强化地基整体性,施工前需划分湿陷等级,根据湿陷深度制定针对性处理方案。浅层湿陷黄土采用强夯、灰土挤密桩工艺,通过外力夯实挤密土体孔隙,破坏黄土疏松结构,大幅降低土体遇水湿陷能力;深层湿陷地基可采用素土夯实、垫层换填或注浆加固工艺,填充土体裂隙,提升地基密实度^[2]。施工全过程需严格落实防水防渗措施,场地设置完善排水坡度、截水沟及防渗层,杜绝雨水、施工积水、地下水渗入地基土体。基坑开挖避免超挖、扰动原状黄土,开挖后及时封闭基底,严禁基底长时间裸露浸水。

2.3 膨胀土地基施工要点

膨胀土地基施工以规避胀缩变形、稳定土体结构、隔绝湿度变化为核心,施工前精准检测土体胀缩等级、含水率及厚度,优先采用换填改良、封闭防护的施工思路。对于浅层膨胀土,全部挖除后回填非膨胀性砂石、灰土填料,分层压实成型,替换不稳定土体;深层膨胀土地基可采用石灰、水泥改性改良,拌合固化材料改变土体亲水特性,抑制胀缩变形。基础施工优先选用桩基础,将桩端嵌入稳定非膨胀土层,规避浅层土体胀缩对基础的破坏。施工中严控基坑开挖尺度,减少原状土体扰动,开挖后快速施工、及时封闭,避免土体长时间裸露风干、吸水。

2.4 岩溶地基施工要点

岩溶地基施工核心是探明隐蔽地质隐患、填充空洞缺陷、加固软弱岩体、保障地基整体稳定,施工前期需采用地质雷达、钻孔探测等方式,全面排查溶洞、溶槽、地下暗河的分布、尺寸及充填情况。针对浅层小型溶洞、溶隙,采用混凝土、浆砌片石回填密实,注浆封堵裂隙,填充土体空洞;对于深层大型溶洞、悬空顶板,采用桩基础跨越或顶板加固工艺,将桩基嵌入完整坚硬基岩,规避空洞坍塌风险^[3]。施工中严禁超挖扰动岩溶岩体,减少地下水扰动,及时封堵施工涌水、渗水通道,防止岩体持续溶蚀破坏。地基加固后全面检测承载力与完整性,对地质薄弱区域增设补强措施。

2.5 冻土地基施工要点

冻土地基施工遵循“保护冻土、减少扰动、严控温差、稳定地基”的核心原则,优先在低温稳定时段开展施工,规避高温季节冻土融化引发的融沉病害。施工中最大限度保护原状冻土结构,减少基坑开挖、机械碾压等人为扰动,避免冻土表层退化融化。基础选型优先采

用深基础、桩基础,将基础底端嵌入多年稳定冻土层,隔绝浅层季节性冻融层的变形影响。施工过程做好场地保温防护,对开挖基底、边坡铺设保温板材,防止气温升高导致冰层融化。严格控制施工用水、场地积水,杜绝水体渗入冻土引发冻胀融沉。施工完成后及时开展覆土回填、植被恢复,维持冻土热平衡,全程监测地基温度与沉降变形,及时处置冻胀、融沉引发的地基位移与结构变形问题。

2.6 风沙地基施工要点

风沙地基施工核心是固沙稳基、防风防蚀、提升土体密实度与承载力,施工前需完成场地平整,采用草方格、固沙剂、植被固沙等方式预处理场地,固定松散风积砂,抵御风力侵蚀与砂体流动。基础施工优先选用换填压实工艺,清除表层松散浮砂,回填碎石、灰土等稳定性填料,分层碾压夯实,严格控制压实度、平整度,构建稳定持力层。施工过程中避开大风天气作业,施工现场设置防风围挡,减少风沙对施工面的冲刷与堆积。基坑开挖遵循分层、分段、快速开挖快速成型的原则,避免基坑边坡松散滑塌,开挖后及时支护、回填封闭。同时完善场地排水体系,防止雨水冲刷砂体导致地基塌陷,施工后定期排查地基沉降、砂体流失情况,持续做好防风固沙防护。

3 施工期监测与安全管理

3.1 监测内容与布点

特殊地质工程施工期监测需结合各类地质特性,针对性布设监测项目,全面覆盖地基变形、结构受力、环境变化等核心内容。核心监测内容包含地基沉降、水平位移、不均匀沉降、边坡位移、土体含水率、地下水位、土体温度及结构应力等,岩溶地基增设空洞变形、涌水监测,冻土地基重点监测地温与冻融变形,风沙地基增加场地砂体位移监测。监测布点遵循全面覆盖、重点加密的原则,在基础中心、边角、沉降差异区域、基坑边坡、地质薄弱段布设监测点位,保证点位均匀分布、无监测盲区。关键受力部位、地质缺陷区域需加密布点,同时布设基准监测点,保障监测数据精准可靠。所有监测点位做好标识防护,避免施工扰动损坏,全程实时采集数据,动态掌握地基与结构运行状态。

3.2 监测频率与预警值

施工期监测频率根据施工工序、地质风险等级及施工阶段动态调整,基坑开挖、基础浇筑、土体加固等关

键施工阶段,实行每日1至2次高频监测;常规施工阶段可降低为每2至3日监测一次,雨季、高温、低温、大风等恶劣天气需加密监测频次,实时跟踪地质变化。各类监测项目严格设定分级预警值,结合设计规范、地质特性及工程荷载确定阈值,分为黄色预警、橙色预警、红色预警三个等级^[4]。黄色预警为数据小幅波动、趋于临界值,需加强监测观察;橙色预警为数据接近限值、出现轻微变形隐患,需暂停施工排查;红色预警为数据超标、存在坍塌沉降风险,需立即停工处置,全程做好监测数据记录、对比分析,及时预判安全隐患。

3.3 应急处置措施

特殊地质施工需建立完善的应急处置体系,提前编制坍塌、沉降超标、涌水突泥、冻胀融沉、风沙坍塌等专项应急预案,明确应急人员、设备、物资及处置流程。监测数据触发预警后,第一时间暂停现场施工,疏散作业人员与机械设备,封锁危险作业区域,杜绝人员伤亡与设备损毁。针对不同地质病害分类处置,地基沉降、边坡滑移隐患,立即采取回填压实、支护加固、卸载减压等措施稳定土体;岩溶涌水、基坑渗水及时封堵漏水通道、抽排积水、注浆加固;冻土融沉、冻胀变形快速开展保温防护、回填补强;风沙坍塌隐患及时固沙支护、清理堆积砂体。处置完成后复检地基稳定性,确认安全后方可复工,同时做好隐患溯源复盘,优化后续施工与监测方案。

结束语

特殊地质条件下的铁塔基础工程是一项极具挑战性的系统工程。本文通过对各类特殊地质的特性分析与施工要点梳理,为工程实践提供了科学依据与技术指导。未来,应持续推动地基处理技术的创新与智能化监测手段的应用,不断完善风险防控体系,以更高标准保障输电线路在各类复杂地质环境下的长期安全与稳定。

参考文献

- [1] 高蒙. 通信铁塔基础选型及设计的优化应用探析[J]. 大众标准化, 2024(23): 125-127.
- [2] 朱宁. 输电线路铁塔基础选型设计及其优化对策研究[J]. 中国设备工程, 2022(2): 130-131.
- [3] 王永华, 王玉红, 刘辉, 等. 输电线路铁塔基础选型分析[J]. 河北电力技术, 2022, 41(2): 57-61.
- [4] 刘阳, 马俊, 舒冬. 高地下水位地区集电线路铁塔基础选型分析[J]. 电工技术, 2023(19): 68-70.