

Geotechnical Engineering Issues and Countermeasures for Transmission Lines in Desert, Gobi, and Arid Regions: A Case Study of a 750kV Transmission Project in Qinghai

Yuping Liu Wenbo Liu Demin Xie Wenxin Zhang Runyi Chen

China Power Construction Group Qinghai Electric Power Design Institute Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810008, China

Abstract

With the development of large-scale wind and solar power bases in desert, Gobi, and arid regions, the construction of transmission lines in these areas faces unique geotechnical engineering challenges. This paper analyzes the environmental characteristics of desert, Gobi, and arid regions and systematically summarizes the main geotechnical engineering issues in transmission line construction, including wind-sand disasters, foundation stability, saline soil corrosion, local freeze-thaw cycles, and geological hazards. Based on a 750kV transmission project in Qinghai, the paper proposes comprehensive engineering countermeasures covering the entire process from route selection, site selection, foundation design to construction and operation, incorporating mechanized construction techniques. The study demonstrates that through scientific route selection, differentiated foundation design, anti-corrosion measures, and full-process mechanized construction, the geotechnical engineering risks in desert, Gobi, and arid regions can be effectively addressed, ensuring the safe construction and operation of transmission lines.

Keywords

Shagou desert area; Transmission line; Geotechnical engineering problems; Foundation selection; Salt-affected soil corrosion protection; Mechanized construction

沙戈荒地区输电线路岩土工程问题与对策——以青海某 750kV 输电工程为例

刘宇平 柳文博 谢德民 张雯昕 陈润懿

中国电建集团青海省电力设计院有限公司, 中国·青海 西宁 810008

摘要

随着沙漠、戈壁、荒漠地区大型风电光伏基地开发, 沙戈荒地区输电线路建设面临独特的岩土工程挑战。本文分析了沙戈荒地区环境特征, 系统总结了输电线路建设中的主要岩土工程问题, 包括风沙灾害、地基稳定性、盐渍土腐蚀、局部冻融及地质灾害等。结合青海某 750kV 输电工程, 提出了从选线、选址、基础选型到施工运维的全过程工程对策, 并融入机械化施工技术。研究表明, 通过科学选线、差异化基础设计、防腐措施及全过程机械化施工, 可有效应对沙戈荒地区岩土工程风险, 保障输电线路安全建设和运行。

关键词

沙戈荒地区; 输电线路; 岩土工程问题; 基础选型; 盐渍土防腐; 机械化施工

1 引言

近年来, 随着新型电力系统加速构建, 沙戈荒风光能源基地和西南水风光综合能源基地加快开发。该地区新能源送出需建设大量高压输电线路, 但该地区独特的自然地理条件给线路工程带来严峻挑战。风沙侵蚀可能导致塔基掏空, 盐渍土腐蚀降低基础耐久性, 松散地基易引起不均匀沉降等。因此, 系统研究沙戈荒地区输电线路岩土工程问题并制

定针对性对策, 对保障工程安全、降低建设成本具有重要意义。

青海某 750kV 输电工程是典型沙戈荒地区输电线路工程, 线路全长 2×205 km, 穿越戈壁、沙漠、丘陵等多种地貌, 沿线分布盐渍土、风积沙等不良地质。本文以该工程为例, 结合电力工程沙戈荒地区研究技术成果, 探讨沙戈荒地区输电线路主要岩土工程问题及工程对策, 以为同类工程提供参考。

2 沙戈荒地区环境特征

2.1 地理分布与气候特征

“沙戈荒”地区气候干燥、降雨量稀少, 往往地面缺

【作者简介】刘宇平 (1991—), 男, 中国青海西宁人, 硕士, 高级工程师, 从事电力工程勘察与研究。

乏植物覆盖,土地贫瘠,主要植物是耐盐碱和富根系的品种。在我国“沙戈荒”区主要位于贺兰山西麓—乌鞘岭北麓一线以北,南面起自西昆仑山、阿尔金山、祁连山等青藏高原边缘山地的北麓。风沙活动频繁,常出现沙尘暴天气。青海某750kV输电工程沿线海拔2800~3150m,最低气温-35℃,最高40℃,基本风速27~29m/s,充分体现沙戈荒地区极端气候特征。

2.2 地貌与地质特征

青海某750kV输电工程沙戈荒地区地貌类型多样,主要包括沙漠(流动沙丘、半固定沙丘)、戈壁(砾石覆盖的冲洪积平原)、盐碱地、低山丘陵等。地质条件复杂,地基土以风积沙、冲洪积砂砾石、盐渍土为主,具有以下特征:

1) 风积沙:颗粒细、松散、黏聚力低,承载力差,易发生风蚀和沙埋。工程沙漠段占43.4%,风积沙厚度变化大,基坑易坍塌。

2) 戈壁碎石土:级配不良,渗透性强,局部存在架空结构。工程山前冲洪积平原以砾砂、粉细砂互层为主。

3) 盐渍土:富含氯盐、硫酸盐,遇水软化、溶陷,对混凝土和钢筋产生腐蚀。工程沿线多处地基土对混凝土具中~强腐蚀。

2.3 工程环境特殊性

沙戈荒地区生态环境脆弱,植被稀疏,施工活动极易造成地表破坏且恢复困难。青海某750kV输电工程沿线植被稀少,环保要求高。同时,交通不便、水源匮乏、材料运输距离长,给工程建设带来额外困难,工程临时道路修建长达359km。工程设计中必须兼顾安全性与环保性,优先采用对环境影响小、施工高效的方案。

3 沙戈荒地区输电线路主要岩土工程问题

3.1 风沙灾害问题

风沙是沙戈荒地区输电线路面临的首要灾害,风积沙漠具有流动性,防沙固沙困难,主要表现为:

1) 风蚀:强风携带沙粒对塔基基础产生磨蚀,导致基础埋深减小、钢筋外露。

2) 沙埋:流动沙丘移动掩埋塔基,影响导线对地安全距离。工程沙漠段风积沙松散,塔基面临风蚀和沙埋双重威胁。

3) 风沙荷载:风沙流对杆塔的附加荷载影响结构安全。

3.2 地基稳定性问题

沙戈荒地区地基土多为松散砂土或碎石土,承载力低、压缩性大,易产生不均匀沉降。青海某750kV输电工程沿线分布粉细砂、砾砂互层,土质松散,承载力差异大。沙漠区风积沙黏聚力近于零,土体自立性差,基坑开挖易坍塌;戈壁区虽然表层有砾石覆盖,下卧层存在软弱夹层。

3.3 盐渍土腐蚀问题

部分区域地基土和地下水具有腐蚀性,需重点考虑基

础耐久性设计。盐渍土中的氯盐和硫酸盐对混凝土和钢筋具有化学腐蚀和物理结晶破坏作用。氯盐可导致钢筋锈蚀,硫酸盐与水泥水化产物反应生成钙矾石,体积膨胀造成混凝土开裂,需根据不同腐蚀等级采取不同防腐措施。青海某750kV输电工程沿线腐蚀性分段明显:地基土对混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋具中~强腐蚀,对钢结构的腐蚀性具中~强腐蚀,需针对性处理。

3.4 水分迁移与冻融问题

沙戈荒地区虽然干旱,但局部低洼地带或季节性河流附近存在地下水或上层滞水。青海某750kV输电工程那格勒河附近地下水位较浅(5~10m)。冬季水分迁移引起冻胀,春季融化产生融沉,工程区季节性冻土深度0.8~1.2m,冻胀性中等。

4 输电线路选线、选址与基础选型对策

4.1 路径选择原则

沙戈荒地区输电线路路径选择应遵循以下原则:

1) 贯彻国家政策,做到安全可靠、技术先进、经济合理、资源节约、环境友好。

2) 结合地方规划,统筹优化走廊走向与宽度,提高利用率;可研、初设阶段须进行多方案技术经济比选,大工程宜采用卫星影像、数字测绘等技术辅助优化。

3) 充分征求规划、国土、环保、军事等部门意见并取得协议,确保与铁路、公路、油气管线、危险品场所等设施的安全距离。

4) 避开军事设施、工矿企业、原始森林、风景名胜、水源地及自然保护区核心区;无法避让时须论证并采取保护措施。

5) 避开不良地质、采动区、重冰区、易舞动区、微气象区等影响安全运行的区域;无法避让时须论证并采取保护措施。

6) 沙漠地段尽量靠近公路;减少交叉跨越已建线路;冲刷区、油田区须充分论证。

7) 以人为本,少拆迁房屋,利用低利用率土地;考虑沙戈荒生态脆弱性,避让母树林、古树(如胡杨),必要时高跨。

8) 动态跟踪沿线在建工程,避免冲突。

9) 遵循“线中有位、线位结合”原则,以线为主,遇不良塔位时修正避让,方案比选时通过优化排位比较优劣。

4.2 塔位选择要点

在塔位选择时,应逐基踏勘,结合微地形微地貌确定:

1) 优先选择地势较高、干燥、植被稀少地段,避开沙丘、洼地、湿地。工程沙漠段塔位选在丘间低地或固定沙丘背风坡。

2) 同一塔腿不宜跨越不同地基类型,防止不均匀变形。工程要求避免将塔腿立于地基性质差异大的交界处。

- 3) 斜坡地段选在缓坡上部，避免坡脚和汇水区。工程丘陵段塔位位于缓坡中上部。
- 4) 流动沙丘区塔位选在丘间低地或背风坡，预留防沙措施。

4.3 基础选型对策

青海某 750kV 输电工程根据不同地质条件，采取差异化基础选型，详见表 1 和图 1。

表 1 青海某 750kV 输电工程基础选型对策

地质条件	推荐基础型式	设计要点 / 关键参数	主要优点
戈壁、丘陵地段 (覆盖层较厚、基岩埋深浅)	挖孔桩基础	桩径 1.2~2.0m, 桩长 6~14m; 长径比 $L/d \approx 5 \sim 6$, 扩底比 $D/d \approx 1.5$	较柔性扩展基础节约造价 20%~30%, 原状土扰动小
一般土质地基 (粉土、细砂、砾砂)	柔性扩展基础 (直柱板式)	底板尺寸 3.7~4.6m, 埋深 3.2~5.3m; 机械开挖	混凝土用量小, 综合造价低, 施工便捷
沙漠地基 (风积沙)	柔性扩展基础、螺旋锚基础、装配式基础	抗拔设计采用土重法, 上拔角 $10^\circ \sim 15^\circ$; 浮沙厚度 0.3~0.8m	适应松散地基, 配合固沙措施效果良好
河漫滩及地下水浅区域	钻孔灌注桩基础	桩径 1.0~2.0m; 桩端嵌入稳定持力层	抗冲刷能力强, 适应水下施工

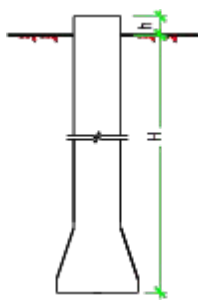


图 a 挖孔基础

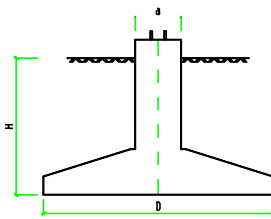


图 b 柔性扩展基础

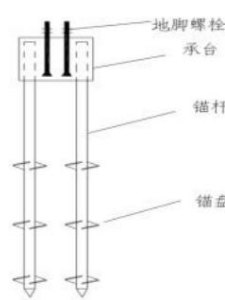


图 c 螺旋锚基础

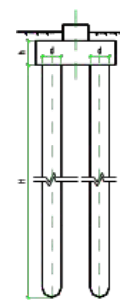


图 d 灌注桩基础

4.4 特殊地质处理措施

4.4.1 盐渍土防腐措施

青海某 750kV 输电工程针对盐渍土采用分级防腐技术。弱腐蚀区提高混凝土强度等级；中腐蚀区在混凝土达标基础上，对开挖基础表面、垫层顶面及保护帽涂刷防腐涂料，挖孔及灌注桩基础则涂刷地面上下各 500mm 范围；强腐蚀区除上述措施外，灌注桩采用“二布一膜”复合土工布裹体防护，氯离子强腐蚀时混凝土内掺钢筋阻锈剂。

4.4.2 风积沙地基处理

针对沙漠风积沙松散、易风蚀的特点，采取以下措施：

- 1) 基础设计：土重法计算抗拔承载力，上拔角 $10^\circ \sim 15^\circ$ ，考虑浮沙厚度。
- 2) 防风固沙：塔基周围采用砾石网格固沙法，在根开 +5m 范围内堆砌 $1m \times 1m$ 网格状石陇，有效降低风速、防止风蚀。
- 3) 施工期防护：基坑开挖后及时浇筑，减少暴露时间；回填土分层夯实，控制压实度。

5 施工与运维对策

5.1 施工期防风沙措施

青海某 750kV 输电工程沙漠段长，施工期防风沙是关键。施工前采用推土机、装载机平整碾压修筑临时道路，松散段铺垫戈壁料或钢板，该工程沙漠段共修筑临时道路

358.4km，路面宽 3.5m，并设置会车点定期洒水养护；基坑开挖后尽快浇筑以减少暴露，回填后立即铺设砾石网格进行防护；同时，在塔基周边同步实施草方格或砾石网格固沙措施。

5.2 基础施工质量控制

基础施工采用机械化作业：挖孔基础使用旋挖钻机或智能成孔扩一体机，灌注桩采用正循环钻机，扩展基础以挖掘机开挖，人工工日节省 25.5%；混凝土通过罐车配合泵车输送，确保连续浇筑密实，沙漠区加强养护；同时严格检验防腐涂层厚度与裹体材料质量。

5.3 运营期监测与维护

运营期应重点开展以下工作：定期巡视沙丘移动与风蚀情况，及时清沙并修复风蚀坑；在盐渍土及冻土区设置沉降观测点进行变形监测；定期检查防腐涂层，发现破损及时修补。

6 结语

- 1) 沙戈荒地区输电线路岩土工程问题主要包括风沙灾害、地基稳定性、盐渍土腐蚀、局部冻融及地质灾害等，需在勘察、设计、施工各阶段系统应对。
- 2) 科学选线、选址是前提，应遵循避让不良地质、靠近交通线、有利施工和环保的原则。
- 3) 工程设计应结合施工机械选型，秉持水土保持设计

理念, 优先采用原状土基础。沙漠区可采用全跟进护筒工艺, 先支护后开挖, 确保成孔质量与效率。盐渍土区需分级防腐, 强腐蚀区灌注桩宜采用裹体桩技术。

4) 机械化施工是提高效率、保障安全、减少环境破坏的有效途径。施工装备智能化、无人化发展, 可提高精度、降低人力成本与风险。

5) 建议进一步研究风积沙地基固化技术、盐渍土长效防腐新材料、智能化施工装备, 建立沙戈荒地区输电线路岩土工程风险评价体系, 以适应沙戈荒特殊环境施工需求。

参考文献

- [1] 国家电网有限公司基建部. 典型场景机械化施工技术沙戈荒地区输电线路分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2024.
- [2] 岳一骁. 沙戈荒地区输电线路铁塔-地基系统设计与机械化施工技术[J]. 应用能源技术, 2025, (08): 31-33.
- [3] 输电线路岩土工程勘测手册[M]. 《输电线路岩土工程勘测手册》编委会. 中国电力出版社, 2019.
- [4] 电力工程设计手册[M]. 中国电力工程顾问集团有限公司. 中国电力出版社, 2018.
- [5] 梁双, 王涉, 谢千, 等. 沙漠、戈壁、荒漠地区大型风光基地建设重点问题研究[J]. 中国工程咨询, 2023, (01): 71-75.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工业建筑防腐蚀设计标准: GB/T 50046-2018[S]. 中国计划出版社, 2018.
- [7] 国家能源局. 架空输电线路基础设计技术规程: DL/T 5219-2014[S]. 中国计划出版社, 2014.
- [8] 徐鸣. 沙漠地区750 kV输电线路杆塔基础的优化选型[J]. 电工技术, 2024, (11): 110-113.