

西北戈壁地区线路工程地基土腐蚀性评价与防腐措施分析

任治军，任亚群，宋志远
(江苏省电力设计院，江苏 南京 211102)

摘 要：本文针对±800kV 哈密南-郑州特高压直流输电线路工程的岩土工程勘测实践，对西北戈壁地区特高压送电线路工程的场地土腐蚀性评价工作方法进行了论述，主要包括样本采取原则、取样点布置、试验结果分析等。在分析试验成果的基础上，根据规范对线路地基土的腐蚀性进行了综合评价，并提出了相应的防腐处理建议。

关键词：戈壁地区；特高压；送电线路；地基土；腐蚀性评价；防腐措施

0 前言

哈密南~郑州±800kV 特高压直流输电工程，西起哈密换流站，东至郑州换流站，工程额定电压±800kV，额定输送功率 8000MW，输电线路全长 2211.3km，采用单回双极架设方式^[1]。线路途经新疆、甘肃、陕西、宁夏、山西、河南 6 省（自治区）。由江苏省电力设计院中标承担一般线路工程中的 4 标段【峡西（东）-桥湾道班北】的勘测设计工作。本段线路路径长度约为 104.55km，塔位编号自起点到终点统一编号为 601~814，全部位于甘肃省酒泉市下辖的瓜州县境内河西走廊西段的酒嘉地区，该段走廊南北宽度十余公里到数十公里不等，沿线地貌主要为戈壁、山前平原和低山丘陵，地形基本平缓，局部略有起伏，地势西北高、东南低，海拔在 1391~1703m（1985 国家高程基准）之间。

根据本工程前期资料，沿线普遍分布有盐渍土，场地土腐蚀性等级以中等~强为主，对线路基础设计影响较大。

1 岩土工程条件

1.1 工程地质分区

根据本次现场勘察成果，并结合已有地质资料，沿线主要由第四系全新统、上更新统冲积、洪积、坡积、残积成因的角砾、砾砂、粉质黏土混粗砂、圆砾等以及白垩系、泥盆系、志留系、奥陶系、寒武系的泥岩、灰岩、大理岩、板岩、砂岩、千枚岩、石英片岩、片麻岩、砂质泥岩、花岗岩等组成。根据沿线地区的地形地貌特征及地基岩土的工程特性

等，可将沿线大致划分为 5 个工程地质区段，见表 1 所示。

表 1 沿线地区地基岩土工程地质分区表

区段 编号	起止塔位 编号	主要地貌 单元特征	岩土种类	地下水赋存 特征	长度 /km	占总长的 百分比/%
I	601~633	山间凹地	角砾、砾砂、基岩	潜水、基岩裂隙水，埋深 3-5m	16.15	15.4
II	634~657	丘陵	基岩	基岩裂隙水，埋深大于 5m	11.51	11.0
IV	776~799				11.63	11.1
III	658~775	戈壁滩	角砾、砾砂、圆砾、基岩	潜水、基岩裂隙水，埋深大于 10m	57.51	55.0
V	800~814				7.75	7.4
合计					104.55	100

1.2 地基腐蚀性基本特征及历史资料

沿线地基岩土以碎石土（带胶结的角砾、砾砂及圆砾）和基岩为主，不同地质区段有所变化。由于沿线途经地区处于西北干旱少雨区，加之年蒸发量又较大，土质的含盐量普遍较高，局部地段盐份聚集到一定程度便形成盐渍土（见图 1 所示）。根据本阶段现场踏勘情况，沿线地基土表层一般均有盐渍结晶分布。盐渍结晶是在降水和洪水的渗透淋滤和强烈蒸发作用下，盐分以层状或蜂窝状集聚于细颗粒夹层层面，形成的结晶盐层。



632 附近地表盐渍结晶 649 探槽表层盐渍结晶

图 1 沿线典型盐渍土照片

根据该地区现有资料,瓜州地区地下水对混凝土结构的腐蚀性一般为中等;地基土对混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋及钢结构具弱~中等腐蚀性。

2 腐蚀性评价工作方法

2.1 样本采取原则

根据《岩土工程勘察规范》^[2] (GB50021-2001, 2009 年版) 第 12.1.2 条的规定,采取水试样和土试样应符合下列规定:

1) 混凝土或钢结构处于地下水位以上时,应采用土试样作土的腐蚀性试验;

2) 混凝土结构处于地下水或地表水中时,应采用水试样作水的腐蚀性测试;

3) 混凝土结构部分处于地下水位以上,部分处于地下水位以下时,应分别取土试样和水试样作腐蚀性测试;

4) 水试样和土试样应在混凝土结构所在的深度采取,每个场地不应少于 2 件。当土中盐类成分和含量分布不均匀时,应分区、分层取样,每区、每层不应少于 2 件。

由于沿线地基土以碎石土为主,勘测过程采用干钻开孔,在设计位置采取扰动样,取样后及时封装;水样在终孔后待水位稳定后采取,取样后按规定封装,并及时送当地实验室。

2.2 取样点布置

为全面评价沿线地基土的腐蚀性,初步设计阶段按 10km 间距布置了取样孔^[3],施工图设计阶段则结合初设评价结论和地形地貌特征等腐蚀性评价影响因素,将取样孔间距加密至 3-5km,土样在垂直方向分布于自地表 0.00~20.00m 范围,采样间距 0.5~1.5m 不等,试验项目以易溶盐测定为主,本次取样场地土样本数量为 183 个。由于丘陵地段(包括丘陵之间的凹地)地下水埋藏较深,勘测期间未见地下水,因而没有采取到地下水试样,仅在初设阶段在戈壁滩地貌两个区段的 1C1、1C6 和 1C7(分别对应 815、724 和 705 塔位)采取了 3 组水试样,三个水试样深度分别为 5.0m、11.0m 和 12.0m。

2.3 取样代表性分析

沿线分布的盐渍土属于西北内陆盆地粗颗粒盐渍土^[4],为国内研究较少的盐渍土类型,具有在平面分布不连续、不均匀和垂直分布的表聚性特征。

一般情况下在平面上盐分主要富集在沟谷洪流的主线附近,在垂向上盐分富集在地表以下 3.0-5.0m 以浅,且随深度增大含盐量减少。根据本工程初步设计易溶盐测试情况,所含盐类由表层以亚硫酸盐为主,向深部逐渐变为氯盐、亚氯盐为主的特点。

因此,本阶段在充分分析初步设计试验成果的基础上,根据地形地貌特征和工程地质分区情况,有针对性地进行了采样工作,使得试样在水平和垂直方向上均有相当的代表性。

2.4 试验结果分析

从本工程初步设计及施工图设计阶段室内试验结果分析,试验结果在平面及垂直方向上离散度均较大,从垂直方向分析,腐蚀介质达到弱腐蚀以上的样本大约 67% 左右分布在地面以浅 5.0m 范围内,从平面上分析,则很难划分出准确的盐渍土和非盐渍土地段,几乎全部的取样孔表层土样试验结果满足盐渍土的定义标准,这一点更加印证了西北地区盐渍土分布的广泛性。

3 腐蚀性评价

3.1 场地环境类别

本工程位于干旱区,地基土属强透水层,根据《岩土工程勘察规范》附录 G 场地环境类型的划分规定,场地环境类别在评价水的腐蚀性时按 I 类考虑,评价土的腐蚀性时按 III 类考虑。评价是在本次试验基础上结合了当地部分线路工程的经验而综合确定。

3.2 对混凝土结构的腐蚀性评价

根据《岩土工程勘察规范》和《盐渍土地区建筑规范》,对混凝土结构腐蚀性评价情况见表 2~表 3。

表 2 地下水的腐蚀性评价结果表(环境类别: I 类)

腐蚀 介质	实测值范围/ (mg/L)	评价对象	评价标 (mg/L)	腐蚀 等级	综合 评价
SO_4^{2-}	73.0~253.4	混凝土结构	<200	微	弱腐蚀
			200~500	弱	
Mg^{2+}	35.5~193.2		<1000	微	
pH 值	7.5~7.9		>6.5	微	
HCO_3^-	(1.97~7.01)		(>1.0)	微	
Cl^-	647.9~5200.8	钢筋混凝土结构中钢筋 (干湿交替条件下)	500~5000	中等	中等~强 腐蚀
			>5000	强	
		钢筋混凝土结构中钢筋 (长期浸水条件下)	<10000	微	

注:带括号的指标单位为 mmol/L。

表 3 土对混凝土结构的腐蚀性评价表（环境类别：III 类）

腐蚀 介质	实测值范围 /（mg/kg）	评价标准 /（mg/kg）	腐蚀 等级	综合 评价
SO_4^{2-}	124.0~6094.0	<750	微	弱腐蚀 ^{注1}
		750~4500	弱	
		>4500	强	
Mg^{2+}	0.0~327.1	<1500	微	微腐蚀
Cl^-	186.9~41851.0	埋设条件：干燥 2000~5000	弱	弱~ 中等腐蚀 ^{注2}
		埋设条件：干燥 5000~20000	中等	
		埋设条件：干燥 >20000	强	
		埋设条件：无蒸发面 5000~20000	弱	
土中总盐 量	169.7~73145.6	埋设条件：无蒸发面 20000~50000	中等	弱~ 中等腐蚀 ^{注2}
		埋设条件：无蒸发面 >50000	强	
		水土酸度 7.0~8.0	>6.5	无 无腐蚀

注：1.仅 0668 塔处一个土样 SO_4^{2-} 含量大于 4500，该塔位建议做特殊处理，其指标在总体评价中剔除；
2、仅 0625 塔处一个土样 Cl^- 含量大于 20000、土中总盐量大于 50000，该样为全风化表层盐渍结晶样，其指标在总体评价中剔除；
3、 Cl^- 、土中总盐量和水土酸度三项指标评价执行《盐渍土地区建筑规范》。

3.3 对混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

根据《岩土工程勘察规范》，对混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价情况见表 4。

表 4 土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

土的种类	土中 Cl^- 含量实测 值范围/（mg/kg）	评价标准	腐蚀 等级	综合 评价
A 类（地下水位以上的 碎石土、砂土）	186.9~41851.0	<400	微	中等 腐蚀
		750~7500	中	
		>7500	强	

注： Cl^- 含量大于 7500mg/kg 土样均为表层盐渍结晶样，其指标在总体评价中剔除。

3.4 腐蚀性综合评价

因此，根据上述试验结果，场地土对混凝土结构的腐蚀性为弱~中等腐蚀，对混凝土结构中钢筋的腐蚀性为中等腐蚀。《岩土工程勘察规范》12.2.6 条规定，水、土对建筑材料腐蚀的防护应符合《工业建筑防腐设计规范》（GB50046）的规定，而《工业建筑防腐设计规范》中所及的腐蚀等级并未明确细分场地土对混凝土结构还是结构中的钢筋腐蚀，为便于设计使用，将场地土的腐蚀性按不利组合进行综合评价。各腐蚀等级塔位所占百分比见表 5。

表 5 各腐蚀等级塔位所占百分比

腐蚀种类	弱腐蚀 等级的 塔位数	中等腐蚀 等级塔位 数	弱腐蚀等 级塔位占 全部的百 分比/%	中等腐蚀 等级塔位 占全部的 百分比/%
场地土对混凝土结构	200	14	93	7
场地土对混凝土结构中的 钢筋	0	214	0	100
场地土腐蚀性综合评价	0	214	0	100

5 防腐措施分析

盐渍土吸水后易溶盐溶解产生溶陷、水分蒸发盐分结晶后而产生膨胀变形^[5]，反复的溶陷和盐胀将导致土体结构发生变化，大大减低土体强度，可能对基础的抗拔有一定影响。

从搜资及现场调查走访情况看，沿线分布的内陆盆地粗颗粒盐渍土在溶陷性、盐胀性等方面的危害并不明显，主要危害表现为对混凝土结构的腐蚀性。防护措施主要是提高混凝土的密实性，提高保护层厚度，减少 Cl^- 渗入量为主。在腐蚀性强的盐渍土地区，单单依靠混凝土自身的密实性尚不能达到钢筋混凝土结构的设计使用年限，可采取以下特殊防腐措施^[6]：

（1）钢筋阻锈剂：以氯盐为主的腐蚀环境需采用钢筋阻锈剂。阻锈剂在混凝土中可消除 Cl^- 的危害。

（2）混凝土涂层：包括渗透层、涂覆层、防腐蚀砂浆等，涂在混凝土表面以防止或减缓 Cl^- 的渗透。地下部分采用沥青类涂料，地上部分采用有机涂层。

综合土样易溶盐测试分析结果、水质分析结果及物探试验结果，并考虑基础防冲刷等因素，以下塔位建议采取一定的防护措施：602~605、610~611、617~619、625、632、633、647、668、721、743、746、775、778 和 799~814 等。根据西北地区线路建设经验，一般采用混凝土外涂沥青等措施加以防护，同时可考虑适当提高混凝土标号和密实度；对基础施工过程中表层盐渍土结晶富集地段，建议在回填过程中对基础周边的盐渍结晶土进行换填，确保工程安全。

6 结论与建议

（1）线路工程跨度大、岩土种类复杂等特点，导致场地水、土腐蚀性评价比发电厂、变电站工程

难度更大,要获取合理的评价结论,必须从岩土勘测各阶段不断深入研究。从本标段设计及施工现场反馈情况分析,本文得出的腐蚀性评价结论及措施是适宜的。

(2)西北戈壁地区的特高压线路主要经过无人区,周边工程经验匮乏,在缺乏相关经验支撑的情况下,场地水、土的腐蚀性评价必须基于适量的试验分析。因此,对岩土勘测提出了更高的要求。

(3)基于试验结果的腐蚀性评价及施工措施建议等,必须要慎重分析结果,本着去伪存真、实事求是和因地制宜的原则,才能真正地为优化设计提供足够依据。

参考文献:

- [1] 江苏省电力设计院.哈密南-郑州±800kV 直流特高压输电线路工程初步设计报告[R].2011.
- [2] GB50021-2001,岩土工程勘察规范[S].
- [3] 中国电力工程顾问集团公司.特高压架空输电线路工程勘测技术规定(Q/DG-2-A06-2005)[Z].
- [4] 华遵孟,沈秋武.西北内陆盆地粗颗粒盐渍土研究[J].工程勘察,2001(1): 28-31.
- [5] 张冬菊.盐渍土地区工程地基设计与防腐处理[J].青海大学学报(自然科学版),2000,18(6): 23-28.
- [6] 夏文俊,赵阳,周欣,等.盐渍土腐蚀机理与防腐措施分析[J].上海交通大学学报,2011,45 卷(增刊): 11-15.