

高原地区盐渍土硫酸盐强腐蚀性环境防腐设计

黎玉婷, 张肖峰, 叶盛

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]为了应对我国西藏某输变电工程中遇到的高原地区盐渍土硫酸盐强腐蚀性环境,对混凝土结构耐久性进行特殊方案设计,以提高混凝土的抗腐蚀性能。[方法]通过研究硫酸盐对混凝土的腐蚀机理,分析影响混凝土耐久性的因素,找到防止或减轻硫酸盐对混凝土侵蚀的技术措施。[结果]结合工程实际情况确定了混凝土配合比,并在混凝土中添加抗硫酸盐类侵蚀防腐剂,提高了变电站灌注桩、承台等地下混凝土结构抗腐蚀性能。[结论]研究成果给硫酸盐强腐蚀性环境下的混凝土耐久性设计提供了参考。

关键词: 盐渍土; 硫酸盐强腐蚀; 混凝土耐久性; 抗硫酸盐类侵蚀防腐剂; 灌注桩

中图分类号: TU528

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)03-0102-04

Anti-corrosion Design of Concrete Structure in Sulfate Strong Corrosive Environment in Saline Soil in Plateau Area

LI Yuting, ZHANG Xiaofeng, YE Sheng

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] This paper aims to do specially design for durability of concrete structure to improve the corrosion resistance of concrete which is in strong sulfate corrosive environment of saline soil in a power transmission project in Tibet. [Method] Analyzed the corrosion mechanism of sulfate to concrete and the influencing factors of the durability of concrete. At last found out the technical measures to prevent or reduce the erosion of concrete. [Result] Combined with the actual situation of the project, we finally determine the concrete mix ratio, and add anti-sulfate corrosion preservatives in the concretet to improve the durability of underground concrete structures such as pouring pile and cap foudation. [Conclusion] This work provides some guidance for the durability design of concrete under strong sulfate corrosive environment.

Key words: saline soil; sulfate strong corrosive environment; durability of concrete; anti-corrosion additives; concrete pouring pile

西藏电力有限公司—藏中和昌都电网联网工程是国家电网公司“十二五”规划重点建设项目,澜沧江(昌都)500 kV 变电站起着连接藏中电网与四川电网的枢纽作用。变电站坐落于西藏昌都地区,站区场平标高为 3.199 05 km。本期扩建工程为扩建已建 500 kV 昌都变电站 500 kV 区域,扩建场地为回填区域,场地分布有对混凝土结构具有腐蚀性的盐渍土,经取样化验,场地冲洪积粉质粘土②含有高浓度的腐蚀介质 SO_4^{2-} , (其中硫酸盐含量高达

12.888 g/kg),根据标准《岩土工程勘察规范》(2009年版)(GB 50021—2009)、综合判定液态介质对钢筋混凝土腐蚀性等级为强。形成原因主要有该地段为沟谷中部,为场地周边地表水的排泄下渗通道,水中所含硫酸盐(SO_4^{2-})等易溶盐类在此聚集;另外,场地整平后上覆素填土①厚,素填土①混角砾和碎石,渗透性中等~强,土中所含硫酸盐(SO_4^{2-})等易溶盐类易随雨水淋滤下渗,至弱~微透水性粉质粘土②上部富集,致使该地段粉质粘土②硫酸盐(SO_4^{2-})含量高。场地稳定地下水水位埋深大于 30 m,对基础设计及施工无影响。

收稿日期: 2017-09-28 修回日期: 2018-01-24

基金项目: 中国能建广东院科技项目“新型长寿命防腐技术在输电杆塔中应用”(EX01761W)

1 研究必要性

盐渍土是指地下水中盐分分离出来聚集于地表

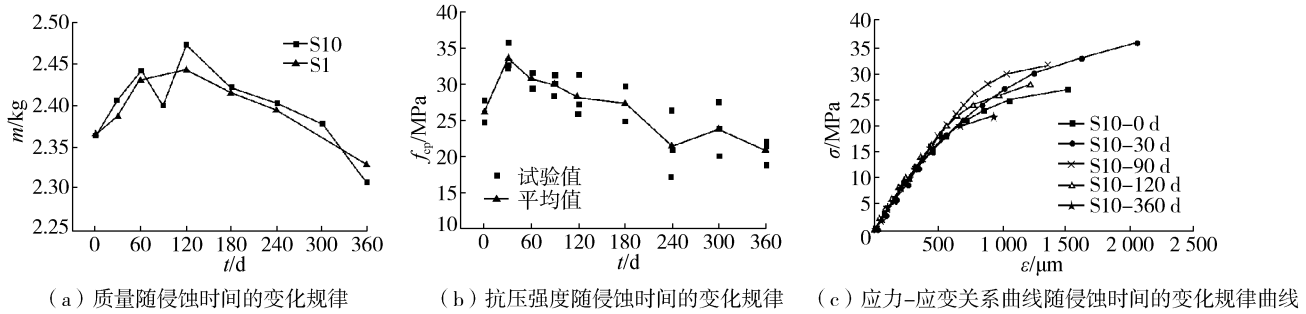


图1 混凝土质量及强度经时劣化规律

Fig. 1 Quality and strength of concrete deterioration law over time

土层中,使得易溶盐含量大于0.3%的土壤,其主要特性为腐蚀性,溶陷,盐胀等^[1]。根据本工程《岩土工程勘测报告》,工程所涉及的场地冲洪积粉质粘土②部分为盐渍土,根据化学成分分类属于硫酸盐渍土;按平均含盐量属中等~强盐渍土。硫酸盐离子会对与土壤直接接触的地下设施及结构基础构成很强腐蚀环境,对混凝土结构的腐蚀性非常明显,影响其耐久性,安全性从而影响其使用寿命。盐渍土区域混凝土结构的耐久性问题成为了影响变电站安全使用的关键问题。因此,本站盐渍土硫酸盐强腐蚀性环境地下混凝土结构防腐设计研究必不可少。

由于本工程为扩建工程,鉴于前期变电站已投产,考虑到对已有设备的影响,本工程基础选型为干作业成孔灌注桩筏板基础。现场钻孔机械在设计桩位上钻出桩孔,吊放钢筋笼并浇筑混凝土而成桩,是一种现浇混凝土桩。刚浇筑的混凝土仍然是液体状态,腐蚀性介质容易游离至混凝土中,与水泥水化作用,形成膨胀性晶体,使得混凝土开裂,剥落,蜂窝麻面甚至断桩等桩身缺陷,削弱了桩的承载力及耐久性。在《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB 50046—2008)^[2](以下简称防腐规范)中第4.9.5中规定:当腐蚀介质为 SO_4^{2-} ,且游态介质对钢筋混凝土腐蚀性等级为强时,不应采用混凝土灌注桩基础。本工程急需研究出一种具有良好耐腐蚀性,可以满足本工程需求的混凝土配方。

2 硫酸盐腐蚀混凝土机理及影响因素

2.1 硫酸盐腐蚀机理及评价指标

混凝土硫酸盐腐蚀属于结晶式侵蚀,其机理是指硫酸根离子进入混凝土内部,通过与水泥水化作用,生成如钙矾石,石膏,碳硫硅钙石等水化产

物^[3-4]。这些水化产物结合了大量结晶水,使得其体积大于参与反应的物质,从而引起了体积膨胀,产生膨胀压力。当膨胀压力产生的内应力超过混凝土的抗拉强度时,混凝土内部将生成微裂缝,而且随着微裂缝地不断开展贯通,表层混凝土逐渐开裂剥落,外界硫酸盐可以进一步通过贯通的裂缝渗透,加剧混凝土的膨胀破坏,最终使得混凝土的强度降低,崩裂破坏。混凝土受硫酸盐腐蚀一般最先出现受损坏的部位是棱角处,最显著的特征是表面发白且不断掉渣,最终发展为贯通裂缝,甚至为易碎松散状态,进而到整体崩裂。

混凝土受硫酸盐腐蚀破坏的评价指标有:试件的孔隙率,外观形貌,质量损失,动弹性模量,抗压强度,抗折强度等。如图1所示,王海龙^[5]等研究了受硫酸盐腐蚀的混凝土试块的劣化规律曲线。

2.2 硫酸盐腐蚀的主要影响因素

硫酸盐腐蚀混凝土的影响因素有:内部因素和外部因素,内部因素主要为材料因素,外部因素主要为环境因素,如图2所示。

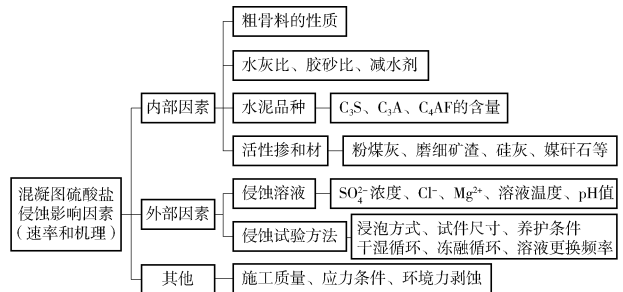


图2 混凝土硫酸盐腐蚀的影响因素

Fig. 2 Influencing factors of concrete sulfate erosion

内部因素和外部因素相互作用共同影响硫酸盐腐蚀混凝土速度^[6]。

3 防止或减轻混凝土硫酸盐腐蚀的方法

通过硫酸盐腐蚀混凝土机理及影响因素的分析结果得出,影响混凝土抗硫酸盐侵蚀的内因是混凝土本身的性能,不仅包括混凝土水泥品种矿物组成(C_3A 、 C_3S)、混合材掺量,水灰比,密实性等,还包括混凝土的强度、外加剂等,外因则是侵蚀溶液中 SO_4^{2-} 的浓度,干湿交替环境以及采取的隔离防护措施,因此,防止或减轻混凝土硫酸盐侵蚀的方法主要有:

3.1 选择合理水泥品种

水泥作为混凝土的主要成分,混凝土抗硫酸盐侵蚀能力在很大程度上取决于水泥熟料的矿物组成及其相对含量,尤其是 C_3A 和 C_3S 的含量。 C_3S 水化生成的 $Ca(OH)_2$ 容易受 SO_4^{2-} 侵蚀生成石膏, C_3A 水化生成的水化铝酸钙受 SO_4^{2-} 侵蚀钙矾石。这两者含量过高均容易导致混凝土膨胀破坏。工程中,一般通过降低 C_3A 和 C_3S 的含量来提高混凝土的抗硫酸盐侵蚀的能力^[7-9]。

3.2 提高混凝土的密实性

毛细孔隙的数量和与拌和时的用水量有很大关系,水泥水化需水量仅为水泥质量的10%~15%左右,为了保证拌和中要求的和易性,实际用水量高达水泥质量的40%~60%,多余的水分最终会形成孔隙或毛细管,降低了混凝土的密实性^[10]。侵蚀介质就容易渗入水泥石的内部,从而加速硫酸盐侵蚀。大量试验表明,一定范围内越低混凝土水灰比、砂浆的砂胶比,越可以减慢在硫酸盐环境中抗压、抗折强度、动弹性模量的衰减。合理设计混凝土的配合比,降低水灰比,掺适当的高效减水剂,改善集料的级配等措施,均可提高混凝土的密实度,减少硫酸盐进入混凝土的初始通道,降低硫酸根离子渗透和扩散,从而有效提高混凝土抗硫酸盐侵蚀的能力。

3.3 适当提高混凝土强度

混凝土强度等级越高,其微观结构越致密,越有利于提高混凝土耐久性。相关实际工程经验及相关的实验表明,采用适当强度等级的高密实性混凝土,可通过混凝土本身就获得良好的防腐蚀效果^[11]。

但高强度混凝土也存在一些缺点,强度等级高的混凝土水胶比低,粘度大,屈服剪切应力高,施

工过程易产生堵管现象,从而造成断桩,桩基承载力大大降低,对上部结构构成安全隐患^[13]。且高强混凝土本身的材料成本较高,在灌注桩破桩头以及泛浆区域混凝土的凿除阶段施工较难,需要人工较多,工期较长,设计时应综合考虑工程经济效益性。

3.4 隔离防护措施

混凝土构件外表面添加保护层,该保护层具有不透水、耐腐蚀性强的特性,常用的有纤维增强复合材料(FRP),玻璃钢模板保护法、涂刷防腐漆,碎石灌沥青或沥青混凝土耐腐蚀垫层^[12]。但增加防护措施施工工艺复杂,且施工过程中容易造成防护层的破损,防腐效果难以控制,一般用在侵蚀作用很强,上述措施不能奏效时采用。

3.5 添加抗腐蚀添加剂

在混凝土搅拌时加入的提高混凝土耐久性的外加剂,可用于抵抗硫酸盐、盐类侵蚀性物质作用。执行标准:《混凝土抗硫酸盐类侵蚀防腐剂》(JC/T 1011—2006)^[13]。混凝土抗硫酸盐类侵蚀添加剂是一种外加剂,由有机助剂、无机盐、表面活性剂和载体配制而成,可以减缓地下水及土壤中相当浓度的 SO_4^{2-} 可溶盐离子对水泥砂浆或混凝土的侵蚀。

同时添加Ⅱ级粉煤灰,可使水泥的抗硫酸盐极限浓度(K值)提高到10~15 g/l,较普通抗硫酸盐水泥高4~6倍^[13]。本工程场地冲洪积粉质粘土②中腐蚀介质 SO_4^{2-} 含量高达12.888 g/kg,故该类抗硫酸盐类侵蚀添加剂非常适用于本工程盐渍土强硫酸盐侵蚀混凝土的施工。如表1所示,混凝土的抗冻融性及抗压强度都有所提高。

表1 添加抗腐蚀添加剂性能表

Tab. 1 Add anti-corrosion additive performance table

混凝土性能	参考值
混凝土抗硫酸盐类侵蚀防腐剂掺量	水泥质量8%~12%
抗蚀系数	$K \geq 0.85$
膨胀系数	$E \leq 1.50$
耐腐蚀性	抗硫酸盐极限浓度(K值)/ $g \cdot l^{-1} = 10 \sim 15$
	重量损失率(ΔW) < 5%
	混凝土减水率(GB 8076—87规定) > 10%
抗压强度比	> 100%
抗冻融性	相对动弹性模量(P) > 60%

4 结论

经过对混凝土抗硫酸盐腐蚀性机理及影响因素的研究,本工程所处青藏高原特殊区域,考虑到施工条件有限,原材料采购及运输条件的影响,为有效保证施工质量,本工程混凝土灌注桩采用添加抗硫酸盐类侵蚀防腐剂的高强混凝土,具体配合比与工程规范比较如表2所示。

表2 灌注桩混凝土性能要求与规范对照表

Tab.2 Concrete performance requirements for piles compare with the specification

钻孔灌注桩混凝土要求	《工业建筑防腐设计规范》(GB50046—2008)规定	设计采用
混凝土强度	不低于 C40	C40
最小水泥用量/(kg·m ⁻³)	340	380
水灰比	不宜大于 0.40	不大于 0.4
抗渗等级	不应低于 S8	不低于 S12
钢筋的混凝土保护层厚度/mm	不应小于 55	80

针对高原地区盐渍土硫酸盐强腐蚀性土壤,国家电网公司技术部门组织召开了多次专题研讨会,最终确定的设计思路为用“内增外防”:内增即采用高性能抗腐蚀混凝土来提高混凝土自身的防腐能力,外防即外露承台、基础表面涂防腐涂料^[14]防腐措施具体如下:

1) 选用普通硅酸盐水泥, C₃A 含量不大于 5%, 水泥标号不低于 42.5。

2) 混凝土最大水胶比不大于 0.4。粗骨料的压碎指标为 2.3~3.0, 砂的细度模数应不小于 2.5。

3) 混凝土添加抗硫酸盐类侵蚀防腐剂, 掺量为水泥重量的 12%。

4) 增加混凝土的腐蚀裕度, 提高钢筋的保护层厚度, 灌注桩 80 mm, 地梁 40 mm, 承台、基础 50 mm。

5) 基础、地梁混凝土强度等级采用 C40。垫层采用 C20 混凝土, 垫层表面涂聚合物水泥砂浆, 厚度 15 mm。

6) 基础、地梁防腐涂料做法: 环氧沥青或聚氨酯沥青涂层, 厚度 ≥ 500 μm, 且基槽开挖后严禁久置, 应立即验槽进行基础施工以免季节降水或施工用水渗入地基内加速腐蚀。

参考文献:

[1] 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.

- [2] 中华人民共和国建设部. 工业建筑防腐设计规范: GB 50046—2008 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [3] 卢永成. 硫酸盐与氯盐强腐蚀环境桥梁钻孔灌注桩防腐对策 [J]. 城市道桥与防洪, 2014, 8(8): 70-72+10.
- [4] 储王应. 灌注桩混凝土抗硫酸盐侵蚀试验研究 [J]. 混凝土, 2012(6): 40-42.
- [5] 王海龙, 董宜森, 孙晓燕, 等. 干湿交替环境下混凝土受硫酸盐侵蚀劣化机理 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2012, 46(7): 1255-1261.
- [6] 韩宇栋, 张君, 高原. 混凝土抗硫酸盐侵蚀研究评述 [J]. 混凝土, 2011(1): 52-56+61.
- [7] 金雁南, 周双喜. 混凝土硫酸盐侵蚀的类型及作用机理 [J]. 华东交通大学学报, 2006, 23(5): 4-8.
- [8] 吴丹虹. 混凝土抗硫酸盐侵蚀研究综述 [J]. 粉煤灰, 2014(2): 40-42.
- [9] 贺传卿, 李永贵, 王怀义, 等. 硫酸盐对水泥混凝土的侵蚀及其防治措施 [J]. 混凝土, 2003(3): 56-57+51.
- [10] 陈波, 张文潇, 白银, 等. 混凝土强度对盐渍土地区钻孔灌注桩耐久性的影响 [J]. 水电能源科学, 2016, 34(6): 165-168.
- [11] 李栋林, 左玉玺, 王劲武, 等. 高压输电线路耐蚀灌注桩的混凝土配方研究现状及建议 [J]. 电工研究, 2013(3): 56.
- [12] 黄勇祥, 张卫东, 林芳, 等. 特高压工程灌注桩基础防腐措施研究 [J]. 山东电力技术, 2016, 43(5): 76-78.
- [13] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 混凝土抗硫酸盐类侵蚀防腐剂: JC/T 1011—2006 [S]. 北京: 中国建材出版社, 2006.
- [14] 万华. 强腐蚀土壤地区特高压线路路砟基础施工技术 [J]. 宁夏电力, 2014(3): 14-19.

作者简介:



黎玉婷(通信作者)

1988-, 女, 江西吉安人, 工程师, 哈尔滨工业大学硕士, 主要从事换流站、变电站结构设计工作(e-mail) liyuting@gedi.com.cn。

LI Y T

张肖峰

1977-, 男, 山西太谷人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司土建室主任工程师, 教授级高级工程师, 华南理工大学硕士, 主要从事变电站结构及岩土研究及设计(e-mail) zhangxiaofeng@gedi.com.cn。

叶盛

1978-, 男, 广西岑溪人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司项目设总, 高级工程师, 华南理工大学硕士, 主要从事变电站结构及岩土研究及设计(e-mail) yesheng@gedi.com.cn。

(责任编辑: 李辉)