

南疆典型区域盐渍土易溶盐检测关键技术与工程应用

闫秋明

新疆生产建设兵团建筑工程科学技术研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：南疆地区干旱少雨，蒸发强烈，地下水埋藏浅，盐渍土分布广，种类多，易溶盐引起的盐胀、溶陷、腐蚀等病害严重威胁公路工程质量及长久运行安全。本文结合 G217 阿拉尔至图木舒克公路、乌鲁木齐绕城高速西线两个典型的工程项目，对南疆盐渍土易溶盐的分布情况及检测技术进行了详细的阐述，主要包括样品采集与制备、浸提与检测操作、误差控制等方面，从工程病害防控和施工质量控制两个角度对检测技术的应用效果进行分析，并对南疆区域的检测经验以及防治措施进行总结，在此基础上给出一些具体的操作建议，从而为类似盐渍土地区公路工程中易溶盐检测及病害治理提供借鉴。

【关键词】：南疆；盐渍土；易溶盐检测；路基病害；工程应用

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.056

1 引言

南疆处于塔里木盆地边缘，属于典型的温带大陆性干旱荒漠气候，年均降水量少，年蒸发量远远大于降水量，蒸发量比降水量大得多。该地区地下水位埋深浅，毛细水上升作用强，土壤母质含盐量高、农垦灌区灌溉回水积盐等造成盐渍土普遍发育，是公路工程的主要地质难题。盐渍土中易溶出的盐类有氯离子、硫酸根离子、碳酸根离子、碳酸氢根离子、钠离子、钾离子、钙离子、镁离子等，遇水后会发生体积膨胀，破坏土体颗粒结构，容易造成路基盐胀、溶陷、翻浆和结构腐蚀等病害，严重影响公路工程的耐久性和安全性，加大后期养护费用。易溶盐检测是确定盐渍土分布情况、划分盐渍化程度、制定相应治理措施的基础。目前南疆盐渍土易溶盐检测还存在着区域气候复杂、检测误差难以控制、检测技术与工程实际不相适应等问题。本文根据北疆相关工程工作经验，以南疆典型公路工程为依托，对盐渍土易溶盐检测关键技术进行整理，在此基础上分析其在工程中的应用效果，为南疆类似工程提供技术支持和经验借鉴。

2 南疆典型区域盐渍土地质与易溶盐特征

2.1 区域地质与气候条件

本文主要针对南疆典型区域进行研究，以 G217 阿拉尔至图木舒克公路为研究对象，该项目位于南疆的核心地区，处于塔克拉玛干沙漠北缘和塔里木河灌区之间，属于典型的塔里木河冲积平原地貌，地质、气候条件具有南疆盐渍土区域的代表性。该地区地势比较平坦低洼，局部分布有古湖盆、湿地边缘、风积沙地块，气候极端干旱，昼夜温差大、季节温差大，冻融循环明显，地下水位埋深浅，毛细水上升作用强，土壤盐渍化现象普遍。另外，该工程地处天山北麓冲洪积平原、山前洼地和湖滨平原地区，地质情况比较复杂，同时也有干旱少雨、蒸发量大的气候特点，盐渍土分布广泛，凭借多年对盐渍土检测

有较丰富的经验，也为后续的南疆项目检测工作奠定了基础。



图1 阿拉尔-图木舒克公路工程

2.2 易溶盐类型与分布特征

经南疆核心研究项目试验室实测可知，南疆典型区域盐渍土易溶盐主要是硫酸盐和氯盐的复合盐，其中硫酸盐占比较高，氯盐次之，含少量碳酸氢盐、碳酸盐，属于典型的南疆盐渍土盐分组成结构，与南疆干旱气候、土壤母质和灌溉积盐等因素密切相关。易溶盐的竖向分布有明显的表聚性特点，路基表层易溶盐含量最高，是盐胀、溶陷病害的主要影响层，随深度增加，土层含盐量逐渐减少，地下水位附近土层因毛细水积盐，含盐量出现小幅回升。该种分布特点主要是由蒸发作用、毛细水上升所造成的，表层土壤水分蒸发之后，盐分不断堆积形成重度盐渍土。从横向分布上看，易溶盐含量与地形、排水条件密切相关，地势高、排水好的路段多为弱盐渍土，含盐量较低；地势低平、排水不良的路段多为中盐渍土，含盐量中等，分布较广；低洼积水区是强盐渍土分布区，含盐量较高。其中，硫酸根离子和氯离子是产生盐胀、腐蚀的主要阴离子，其含量分布与盐渍化程度呈正相关。

3 南疆盐渍土易溶盐检测关键技术

根据南疆地区的气候特点和盐渍土分布情况,严格按照公路《土工试验规程》JTG 3430-2020、《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610-2019、《新疆盐渍土地区公路路基路面设计与施工规范》XJTJ 01-2011、新疆、兵团盐渍土检测相关技术要求,结合在北疆乌鲁木齐绕城高速西线工程中积累的检测经验,建立全流程、高精度的易溶盐检测技术体系,主要包含样品采集与制备、浸提与检测操作、误差防控三个部分。

3.1 样品采集与制备技术

样品采集和制备的科学性直接影响检测数据的准确性,要根据南疆盐渍土表层聚集、垂直分布差异明显、灌区土壤含水率不稳定等特点,严格规范操作程序。取样时严格按照分层取样的原则进行,在常规区域按标准分层取样,对重度盐渍土区取样加密,保证取样范围可以覆盖到各种盐渍化的土层。每个取样点设平行样,样品重量满足试验要求,取样时避开积水区,详细记录取样位置、深度、时间及周围环境,全程密封保存防止盐分流失。取样密度按照工程检测规范要求合理设置,保证取样具有代表性、全面性。样品处理采用自然风干法或低温阴干法,严禁暴晒、烘烤,防止盐分高温下溶解流失。样品经过标准筛后,除去杂质,用四分法缩分为实验用量;对于含水率较高的土样,提前阴干处理以防止盐分溶解,保证样品的代表性,为后续浸提及检测提供基础。

3.2 浸提与检测操作技术

浸提与检测操作是得到易溶盐各项指标的中心步骤,要严格控制操作参数,保证检测数据准确可靠。浸提时采用规范要求的土水比,准确称量土样和无二氧化碳蒸馏水,加入恒温振荡器中,严格控制振荡温度和时间,使土样中的盐分完全溶解。浸提结束后用定量滤纸过滤,去除初始滤液,得到澄清的浸提液,防止初始滤液中杂质影响检测结果。检测过程中采用规范的检测方法,全面得到各项盐分指标,用硝酸银滴定法检测氯离子,用EDTA容量滴定法检测硫酸根离子,用双指示剂分步滴定法检测碳酸根、碳酸氢根,用质量法检测易溶盐总量,同时配套检测钠、钾、钙、镁离子,了解盐渍土的盐分组成。检测时每个组试验都做平行试验,平行试验的误差控制在规范允许范围之内,准确判断出盐渍土类型和盐渍化程度,给工程治理赋予精准的数据支持。另外,可利用X射线荧光光谱法检测盐碱土中高含量的水溶性盐阳离子,操作简单、安全、准确,可作为滴定法的补充。

3.3 检测误差防控技术

南疆地区风沙大、温差大,容易影响检测过程中的误差,结合北疆工程检测中积累的误差控制经验,从环境、仪器、操

作三个方面建立全方位的误差控制体系。环境管控上,检测工作在恒温、防风沙、无尘的室内开展,防止风沙污染样品和试剂,保持室内温度稳定,减小温差给检测结果造成的不良影响。仪器控制方面,定期对天平、滴定管、烘箱等检测仪器进行校准,保证仪器精度符合标准,使用符合标准的试剂和蒸馏水,杜绝仪器误差、试剂不合格造成的检测偏差。操作控制上,明确检测人员的操作规程,加强检测人员的岗位技术培训,保证检测人员对检测程序、操作要领熟练掌握。每组试验做平行检测,若数据超差则立即重新试验,排除环境、仪器、人为因素造成的影响,保证检测数据的准确性,为工程决策提供可靠的依据。

4 工程应用实例

4.1 阿拉尔至图木舒克公路项目应用

阿拉尔至图木舒克公路为南疆地区重要交通线路,途经垦区和荒漠平原,沿线盐渍土分布广泛,易产生盐渍土冻胀开裂等病害。项目采用建立的易溶盐检测技术体系,结合在北疆乌鲁木齐绕城高速工程中积累的检测经验,对全线及设计取土场盐渍土进行了系统的分布调查,通过检测得到各路段盐渍化程度及盐分组成,划分出弱盐渍土、中盐渍土、强盐渍土路段。根据检测结果,针对不同盐渍化程度的路段给出针对性处理意见,其中重度盐渍土路段采用换填、铺防渗层、铺设土工布隔离等处理方式,满足符合填筑要求的同时、为路基设计和施工提供了可靠的依据。建立易溶盐全流程检测管控体系,在路基填料进场、填筑、成型等各个环节开展抽检工作,严格把控不合格材料的进场环节,保证路基施工质量。

运用该检测技术有效预防了盐胀、溶陷等病害的发生,保证了路基结构的稳定性、耐久性,为项目顺利进行提供了技术支持,也为南疆农垦地区盐渍土公路建设积累了宝贵经验。另外,项目同步开展风积沙路基检测技术研究,通过室内试验确定风积沙最佳含水率和最大干密度,现场采用规范检测方法检测路基压实度,建立风积沙填料全流程检测管控体系,解决了风积沙路基压实难、易沉降问题,与易溶盐检测技术协同发力,进一步保障了工程质量。

5 易溶盐检测与工程病害防控关联性分析

5.1 盐胀病害与易溶盐检测的关联性

盐胀病害主要由硫酸盐引起,在冬季低温条件下,土中的无水硫酸钠会吸收水分结晶,体积显著增大,造成路基土体不均匀隆起。这种不均匀隆起会直接导致路面出现开裂、错台等病害,严重时甚至会破坏路基整体结构,影响道路通行安全和使用寿命,尤其在北疆、南疆等昼夜温差大、冬季严寒的地区,盐胀病害发生率更高、危害更突出。利用易溶盐检测可以准确掌

握硫酸根离子含量及硫酸盐渍土分布状况,通过室内试验与现场取样检测相结合的方式,精准判定盐渍土的盐胀等级,进而有针对性地进行换填、隔离等处理,有效控制盐胀系数在规范允许范围内,减小冻融季节盐胀风险。结合北疆工程积累的盐胀病害检测防控经验,可进一步优化检测重点,比如针对南疆冬季低温持续时间、土壤含水率等地域特点,调整检测频次和取样深度,提升南疆盐胀病害防控的针对性和有效性,降低道路养护成本。

5.2 溶陷与翻浆病害与易溶盐检测的关联性

溶陷和翻浆病害主要是由于易溶盐遇水溶解引起的,在春融期、雨季,易溶盐溶解会破坏土体颗粒结构,导致路基承载能力急剧下降,产生沉陷、溶陷、翻浆等问题。春融期冰雪融化产生的地表水和地下水会大量渗透到路基内部,使易溶盐快速溶解,土体颗粒失去粘结力,呈现软化、泥泞状态,形成翻浆;而长期的水分浸泡会导致土体结构孔隙增大,引发溶陷,严重时会造成路面塌陷,影响交通正常通行,甚至引发安全事故。通过易溶盐检测可以确定易溶盐总量和分布情况,明确病害高发区域和严重程度,采取强排水、换填非盐渍土、铺设隔离层等手段控制溶陷系数,保证路基稳定。检测数据的准确性直接决定了溶陷与翻浆病害治理方案的合理性,通过精准检测可避免盲目治理,有效降低病害复发概率,同时为后期路基养护提供数据支撑,延长道路使用寿命,保障道路通行的安全性和稳定性。

5.3 腐蚀性病害与易溶盐检测的关联性

腐蚀性病害主要由氯离子、硫酸根离子引起,会腐蚀路基填料、混凝土和钢筋,降低其强度和耐久性。利用易溶盐检测可以掌握氯离子、硫酸根离子含量,采取针对性防腐措施,延

长公路使用寿命。通过精准检测,可明确不同路段的腐蚀风险等级,为差异化防腐处理提供数据支撑,避免过度防护造成的成本浪费。

实践证明,完善易溶盐全流程检测体系,结合北疆工程积累的经验,可及时发现盐渍土病害隐患,为治理方案制定提供准确的数据支持,减少病害发生几率,提高工程质量,节约后期养护成本。

6 结论

新疆典型的盐渍土以硫酸盐和氯盐的复合盐为主,呈表聚状分布,容易引起盐胀、溶陷、腐蚀等工程病害,对公路质量及长期运营安全造成严重影响。结合北疆乌鲁木齐绕城高速西线工程积累的工作经验,以南疆阿拉尔至图木舒克公路为核心研究对象,建立起盐渍土易溶盐检测关键技术体系,包含样品采集与制备、浸提及检测操作、误差防控三个主要部分,可准确得到易溶盐的各项指标,给工程治理赋予可信的数据支撑。该检测技术体系符合南疆干旱、风沙大、温差大的区域特点,结合北疆工程经验进行优化完善,全程检测控制可有效克服盐渍土检测误差大、数据不准的缺点。工程实践证明,该方法可准确判定盐渍土的种类和盐渍化程度,为工程防治工作指明方向,能较好地控制由盐渍化导致的各种路基病害的发生,保证工程质量,实现检测技术与工程的深度融合。本文总结的南疆盐渍土易溶盐检测关键技术及工程应用经验,结合了北疆工程实践积累,具有较强的针对性和实用性,可为南疆同类盐渍土地区公路工程易溶盐检测及病害防控提供实际参照,对于促进新疆交通工程高质量发展有着十分重要的意义。今后可利用新型检测技术改进检测方法,提高检测效率和准确性,为盐渍土区工程建设提供更好的技术手段。

参考文献:

- [1] 杨鸿.基于烘干法的某高速铁路盐渍土易溶盐总量测试不确定度影响因素研究[J].中国科技纵横,2026,(01):96-98.
- [2] 陈建政.土工试验中易溶盐试验问题[J].科技视界,2025,15(13):60-62.
- [3] 姚占军.简谈公路工程易溶盐试验检测注意事项[J].大众标准化,2024,(23):170-172.
- [4] 王梅.易溶盐试验方法分析研究[J].青海交通科技,2025,37(02):144-148.
- [5] 黎敏,颜柳蝶,曹蔚.关于土工试验中易溶盐试验问题的分析[J].广东化工,2024,51(24):82-83+81.