

# 新疆盐渍土公路路基施工病害及防治措施

相福磊

中铁三局集团第四工程有限公司, 北京 102300

[摘要] 随着新疆公路建设的发展, 盐渍土公路施工病害问题逐渐引起关注。为保证新疆盐渍土地区公路建设质量安全, 按照国家战略积极推进新疆公路工程等基础设施建设, 在此背景下, 文章基于新疆塔城地区 S258 国省干线公路项目施工勘察及相关施工经验, 结合盐渍土的特性、成因、发生病害, 提出对新疆盐渍土公路路基施工病害的防治措施。

[关键词] 路基工程; 盐渍土; 施工病害; 病害防治

DOI: 10.33142/aem.v4i4.5887

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

## Saline Soil Disease and Prevention Measures of Highway Subgrade in Xinjiang

XIANG Fulei

The Fourth Engineering Co., Ltd. of China Railway No. 3 Engineering Group, Beijing, 102300, China

**Abstract:** With the development of highway construction in Xinjiang, the problem of highway construction diseases in saline soil has gradually attracted attention. In order to ensure the quality and safety of highway construction in saline soil area of Xinjiang, actively promote the construction of infrastructure such as highway engineering in Xinjiang according to the national strategy. Under this background, based on the construction survey and relevant construction experience of S258 national and provincial trunk highway project in Tacheng area of Xinjiang, combined with the characteristics, causes and diseases of saline soil, this paper puts forward the prevention and control measures for the construction diseases of saline soil highway subgrade in Xinjiang.

**Keywords:** subgrade engineering; saline soil; construction diseases; disease control

### 引言

新疆地区盐渍土分部广泛, 在公路工程施工中经常会遇到盐渍土地质, 盐渍土的盐胀等工程特性是导致公路工程施工病害的主要原因。本人结合新疆塔城地区国省干线公路项目施工总结的经验, 浅析盐渍土对公路路基的危害及处理措施, 达到消除盐渍土路基施工病害, 确保公路施工质量安全的目的。

### 1 工程概况

新疆塔城地区 S101 线等国省干线及农村公路包 PPP 项目由中铁三局集团有限公司承建, 项目包括国省干线公路 2 条: S101 线玛纳斯南山至巴音沟公路全长 76.09km、S258 线乌苏市段公路全长 108.18km; 其中 S258 国省干线公路全线盐渍土路基处理里程长度为 48.4 公里, 约占全线施工总里程的 45%, 盐渍土路基处理里程长, 路基施工难度大, 本文以 S258 国省干线公路工程盐渍土路基处理为例展开论述。

### 2 盐渍土的分类及工程性质

#### 2.1 盐渍土的定义

《公路路基设计规范》(JTG D30-2015) 中定义盐渍土是指易溶盐含量大于规定值的土, 即是含盐量达到规定界限的各种盐化、碱化土的统称。《盐渍土地区建筑规范》(SYT0317-2012) 中规定, 当地基土中易溶盐含量超过 0.3% 时, 就应按盐渍土地基进行勘察、设计和施工。《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) 中规定岩土中易溶盐含量大于 0.3%, 并具有溶陷、盐胀、腐蚀等工程特性时, 应判定为盐渍岩土。

#### 2.2 盐渍土的工程分类

由于各地区自然条件的差异, 使得不同地区盐渍土的含盐量、含盐成分及工程特性存在明显的不同, 所以我国现行规范中对盐渍土分类标准有多种, 分类在表 1、表 2 中列出:

表 1 盐渍土按盐渍化程度分类

盐渍土类型	细粒土土层的平均含盐量 (以质量百分数计)		粗粒土通过 1mm 筛孔土的平均含盐量 (以质量百分数计)	
	氯盐渍土及亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土	氯盐渍土	硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土
弱盐渍土	0.3~1.0	0.3~0.5	2.0~5.0	0.5~1.5
中盐渍土	1.0~5.0	0.5~2.0	5.0~8.0	1.5~3.0
强盐渍土	5.0~8.0	2.0~5.0	8.0~10.0	3.0~6.0
过盐渍土	>8.0	>5.0	>10.0	>6.0

注: 离子含量以 100g 干土内的含盐总量计; 该表引自《公路路基设计规范》(JTG D30-2015)

表 2 盐渍土按含盐性质分类

盐渍土名称	离子含量比值	
	$CL^- / SO_4^{2-} - 4$	$(CO_3^{2-} + HCO_3^-) / (CL^- + SO_4^{2-} - 4)$
氯盐渍土	>2	—
亚氯盐渍土	1~2	—
亚硫酸盐渍土	0.3~1.0	—
硫酸盐渍土	<0.3	—
碳酸盐渍土		>0.3

注: 离子含量以 1kg 土中离子的毫摩尔数计 (mmol/kg); 该表引自《公路路基设计规范》(JTG D30-2015)

## 2.3 盐渍土的工程性质

盐渍土(硫酸、亚硫酸盐渍土)具有盐胀性。S258 国省干线公路路基主要以硫酸、亚硫酸盐渍土为主,当土壤环境中含水量降低或者温度降低时,易溶盐会结晶析出十水硫酸钠等晶体,体积显著扩大膨胀多倍,从而引起公路路面产生鼓包、隆起等工程病害,对公路路基结构造成破坏,其破坏的程度随着时间的增加而增大。

盐渍土具有溶陷性。由于盐渍土中含有大量的易溶盐,当受水浸泡时,土中的易溶盐会迅速溶解,并随水迁走,导致土中的固相体积减少、土体密实度降低,从而发生溶陷。而盐渍土的溶陷性与易溶盐的含量、盐分组成、土质、浸水时间、浸水大小等有关。

盐渍土具有腐蚀性。盐渍土中的易溶盐在溶解于水形成溶液后,很容易对与其接触的公路工程结构物,如桩基础、桥台、涵洞等产生腐蚀。盐渍土的腐蚀作用主要有化学腐蚀和物理腐蚀两种。而其腐蚀的程度取决于盐渍土中的含盐类型、含水量、含盐量、以及接触方式和接触时间等。

盐渍土中的易溶盐在溶解于水形成盐溶液后具有润滑性。盐渍土的润滑性会使其物理力学指标发生改变,具体表现为其强度会显著降低。此外,盐渍土的土体结构在易溶盐反复的相变作用下也会发生变化,从而导致其物理力学指标发生改变。

除了上述的工程性质以外,盐渍土还具有其它一些特点,如天然盐渍土地基在风干过程中,会因失水而出现干缩现象,造成路基表面开裂等问题。

## 3 盐渍土成因及主要病害

### 3.1 S258 公路沿线盐渍土成因

S258 国省干线公路位于新疆乌苏市境内,地处西北内陆,受到当地干旱少雨气候影响形成了盐分含量较高的地层结构。通过当地地质勘察发现,埋藏在较浅土层的地下水中存在丰富的矿物质和盐分,时间流逝伴随着周围环境、气候的逐渐变化以及地表的不断蒸发作用,土壤中的各种矿物质和盐分慢慢沉积,当土体中盐分含量突破一定界限值后形成盐渍土,对当地公路工程施工带来不良影响。

### 3.2 盐渍土主要病害

#### 3.2.1 盐胀病害

公路工程施工中会因盐渍土盐胀特性产生很多病害。通过相关工程试验研究发现,硫酸盐渍土产生盐胀病害现象十分普遍。S258 国省干线公路沿线盐渍土类型主要以亚硫酸盐、硫酸盐为主,因此土壤盐胀特性明显,公路施工盐胀引发病害情况突出。尤其硫酸钠在众多硫酸盐中的盐胀破坏作用最大,同时硫酸钠的膨胀体积随着其结晶方式的不同而变化。盐渍土发生盐胀具有累积效应和不可逆的特点,是由于温度变化可以较大影响硫酸钠的溶解度,随着季节性温差变化,导致盐渍土中的亚硫酸盐、硫酸盐反复的析出溶解和膨胀结晶,进而导致盐渍土盐胀破坏程

度不断加深。盐胀病害的发生过程是由于盐渍土中亚硫酸盐、硫酸盐的积累聚合,引发亚硫酸盐、硫酸盐结晶膨胀,最终导致盐渍土体积膨胀的综合表现。

#### 3.2.2 溶陷病害

S258 国省干线公路沿线广泛分部着黄土状硫酸盐渍土。黄土状硫酸盐渍土发生的溶陷病害大部分是由于潜蚀溶陷变形所导致,即在长时间浸泡水的情况下,盐渍土体中发生渗流,土体中易溶盐溶解流失的同时带走部分土颗粒,进而发生潜蚀沉降变形,土体发生的渗流速度越快,潜蚀溶陷变形程度越大;其次影响盐渍土发生溶陷变形的因素之一是土壤中含盐量的高低,盐渍土含盐程度越高,土体的溶陷系数越大;另外土体浸水时间的长短、土体表面荷载的大小,也直接影响着土体溶陷系数的变化,盐渍土土体浸水时间越长、土体荷载越大,盐渍土的溶陷系数就越大;盐渍土的溶陷性通过溶陷系数的大小等指标得出,浸水时间越长、含盐量越高,盐渍土的溶陷系数就越大,渗流速度越快速,盐渍土发生溶陷变形破坏的程度就越大。

#### 3.2.3 腐蚀病害

盐渍土中的亚硫酸盐、硫酸盐等盐分浸水溶解后形成的相应盐溶液会导致公路路基桥涵等结构物的材料腐蚀。研究分析得出盐渍土土体自身具有一定腐蚀特性,土体自身腐蚀特性包括:物理腐蚀、电化学腐蚀、化学腐蚀、微生物腐蚀等。结合 S258 国省干线公路盐渍土地质条件,盐渍土中的盐类成分也具有相对应的腐蚀特性。硫酸盐是 S258 公路沿线分布的盐渍土中发挥腐蚀作用的主要盐类,其含量的高低直接决定了盐渍土腐蚀性的强弱。通过试验分析得出盐渍土中硫酸盐的腐蚀特性包括:硫酸盐结晶膨胀、酸性盐金属腐蚀、化学腐蚀等。盐渍土自身腐蚀和硫酸盐类腐蚀导致盐渍土对公路工程中的混凝土桩基、墩柱桥台、涵洞砌体等造成较严重的腐蚀破坏。

## 3.3 盐渍土对路基的危害

### 3.3.1 破坏路基结构稳定性

环境温度的不断变化直接影响盐渍土中亚硫酸盐、硫酸盐等盐分的溶解度,盐渍土中的盐分在环境温度降低时结晶析出,导致盐渍土体积膨胀增大;盐渍土中的盐分结晶在环境温度升高时溶解形成盐溶液,导致盐渍土体积缩小。如果暴露在自然环境中的盐渍土作为填筑材料,随着周围环境温度的不断变化,亚硫酸盐、硫酸盐等成分的盐渍土体积不断交替循环增大或减小,公路路基土体就会变得松散,路基土的密实度也会降低,最终导致路基结构稳定性受到破坏。

### 3.3.2 影响路基的压实效果

由于 S258 公路沿线分布的亚硫酸盐、硫酸盐渍土具有较强的吸水性,如果不采取相对应预防措施进行处理,公路路基就会在非最佳含水率的状态下压实,这就直接影响到公路路基压实效果。

表 3 S258 线盐渍土路基处理措施统计表

项目名称: S258 线乌苏市-托里庙尔沟镇公路工程(一期)						
编制范围: K0+000~K108+183.066;			其中: 盐渍土路基处理长度总计 48.4km.			
序号	起讫桩号	长度(m)	说明	处理方式	平均宽度(m)	备注
1	K2+600~K6+400	3800	中、强盐渍土	换填+复合土工布隔离层	7.9	1. K96+500~K98+100 段既有路基先采用 15cm 天然砂砾整平, 铺复合土工布, 后修筑路基、路面结构层。2. K98+100~K102+100 段既有路基先采用 10cm 天然砂砾整平, 铺复合土工布, 后修筑路面结构层。3. K102+100~K104+000 段既有路基先采用 20cm 天然砂砾整平, 铺复合土工布, 后修筑路基、路面结构层。4. K104+000~K108+183 段先原地面以下挖除 0.5m 换填天然砂砾, 原地面以上 20cm 处铺一层复合土工布, 后修筑路基、路面结构层。
2	K6+700~K9+400	2700	中、强盐渍土	换填+复合土工布隔离层	5.7	
3	K9+400~K12+200	2800	中、强盐渍土	换填+复合土工布隔离层	5.7	
4	K13+100~K27+600	14500	中、强盐渍土	换填+复合土工布隔离层	5.7	
5	K28+000~K33+100	5100	中、强盐渍土	换填+复合土工布隔离层	5.7	
6	K33+250~K35+200	1950	中、强盐渍土	换填+复合土工布隔离层	5.9	
7	K42+300~K44+000	1700	中盐渍土	换填+复合土工布隔离层	6.2	
8	K46+500~K49+000	2500	中盐渍土	换填+复合土工布隔离层	6.8	
9	K62+400~K64+100	1700	中盐渍土	换填+复合土工布隔离层	5.7	
10	K96+500~K98+100	1600	中盐渍土	复合土工布隔离层	8.45	
11	K98+100~K102+100	4000	中盐渍土	复合土工布隔离层	8.3	
12	K102+100~K104+000	1900	中、强盐渍土	复合土工布隔离层	8.9	
13	K104+000~K108+183	4183	中、强盐渍土	换填+复合土工布隔离层	8.9	

### 3.3.3 降低路基的水稳定性

由于硫酸盐等盐渍土具有的吸水性, 导致盐渍土填筑路基比普通路基含水量高, 土壤液限饱和和状态更容易达到; 同时在环境温度影响下, 盐渍土中盐分循环出现结晶、溶解现象。因此使用盐分超标的盐渍土进行路基填筑, 会降低路基水稳定性, 出现路基翻浆等质量问题。<sup>[1]</sup>

## 4 盐渍土病害防治及路基处理方法

### 4.1 盐渍土病害防治方法

#### 4.1.1 盐胀病害防治方法

盐渍土的盐胀特性在施工过程中对公路路基造成了严重危害。通过实践摸索, 在施工中积累了盐胀相关病害防治的一些措施和方法。(1) 在新疆干旱地区硫酸盐渍土的分布有一定规律: 呈现环带分布。因此在工程选线时, 如果有选择余地则尽量避让; (2) 可以通过在盐渍土中掺入适量氯盐来达到抑制盐胀的目的; (3) 通过铺设一定厚度的粗砾石, 缓冲土体盐胀引发的路基变形; (4) 在一般路段, 如果盐渍土发育的土层厚度较浅, 可以通过换土垫层法来有效解决盐胀问题; 通过分析 S258 国省干线公路沿线盐渍土相关地质分布情况, 部分路段采用换土垫层法可以有效避免盐渍土盐胀病害的发生。

#### 4.1.2 溶陷病害防治方法

针对盐渍土溶陷性在公路路基施工中产生的病害, 通过实践摸索出一系列盐渍土溶陷病害防治的方法: (1) 强夯法适用于土体中结晶盐含量较低, 且盐渍土体呈现低塑性的情况下。强夯可以有效防治地基土发生溶陷变形; (2) 浸水预溶法是通过拟建工程基础采取预先浸水措施, 使

土体中易溶盐溶解发生渗流, 土体的原有结构发生破坏, 原先的盐渍土体在自重作用下压紧密实, 从而达到降低溶陷的目的; (3) 针对高盐渍土含量的砾类土层, 采用强夯作业的同时进行浸水预溶处理, 公路路基的密实性增大, 盐渍土体的浸水溶陷性得到有效降低; (4) 当盐渍土地层厚度较浅, 而土体溶陷性相对较高时, 通过采用换土垫层法消除其溶陷性效果较好。在对 S258 国省干线公路施工区域盐渍土溶陷性进行分析时, 为提高公路建设质量, 确保减少盐渍土溶陷性破坏病害的发生, 采用换土垫层法与设复合土工膜隔离法相结合的方式, 对盐渍土溶陷性起到有效的防范作用<sup>[2]</sup>。S258 国省干线公路盐渍土路基处理措施统计详见表 3:

#### 4.1.3 腐蚀性病害防治方法

盐渍土中亚硫酸盐、硫酸盐等含盐成分对公路工程结构物有严重的腐蚀破坏作用, 针对盐渍土的腐蚀性病害, 采取多种防治方法, 其中主要的防腐蚀措施有: (1) 通过调整配比方式, 在混凝土施工过程中适量添加硬化剂、改性掺合料等, 使公路工程混凝土的强度得到较大提高, 同时结构物的自身防腐性能得到有效提升; (2) 混凝土水泥原材料由普通硅酸盐水泥更换为抗硫酸盐硅酸盐水泥, 形成抗硫酸盐腐蚀型混凝土。在高盐渍土的施工环境中抗硫酸盐腐蚀型混凝土结构物具有较强的抗腐蚀能力; (3) 高盐渍土腐蚀环境中, 通过混凝土表面涂抹环氧防腐涂料、沥青防腐涂料等, 在混凝土外部结构形成防腐保护层, 使结构物与高盐渍土腐蚀环境相隔绝, 满足公路路基结构物抗盐渍土腐蚀性能的要求。

## 4.2 盐渍土路基处理措施

### 4.2.1 路基土体换填法

在盐渍土地质层施工通过采用符合路基填筑规范要求的砾类土等路基填料进行路基换填,达到改良盐渍土路基填筑材料的目的。从而有效避免了有盐渍土引发的相关施工病害。这种路基换填法在 S258 国省干线的高盐渍土、低压实度、低填浅挖地段路基施工中适用。具体施工中,通过试验相关数据确定路基换填土类型后进行现场路基盐渍土体换填施工。路基土体换填法在 S258 国省干线公路盐渍土路基施工中得到广泛应用。

### 4.2.2 路基隔层断层法

S258 国省干线公路盐渍土路基的施工中,采用路基隔层断层法及其他辅助措施可以有效解决盐渍土相关病害发生。施工过程中在原地面以下挖除 0.5m 换填天然砂砾,原地面以上 20cm 处铺一层复合土工布隔断层,阻断盐渍土路基中的有害盐分通过毛细作用上升到路基结构中,防止路基、路面结构出现松胀、翻浆的病害情况。路基隔层断层法由于施工材料不同可分为多种类型。复合土工布隔层作为路基隔层断层法多种类型之一,在 S258

国省干线公路盐渍土路基的施工中广泛应用。

## 5 结束语

综上所述,在盐渍土公路路基施工过程中,盐渍土相关病害的防治十分关键。由于新疆地区盐渍土形成种类多,工程性质与一般路基填筑材料有很大不同。在施工中往往采用多种盐渍土路基病害防治措施相结合的方式,多种盐渍土处理方法配合使用,从而达到理想的效果。S258 国省干线公路盐渍土路基施工采用的是路基土体换填与复合土工布路基隔层断层法相结合的处理方式,取得了良好的盐渍土病害防治效果。本文通过浅析新疆地区盐渍土对公路路基的危害及防治措施,达到消除盐渍土公路路基施工质量安全隐患的目的。

### [参考文献]

- [1] 喻学福. 浅谈盐碱土对公路路基的危害及处治措施[J]. 河南科技, 2014(8): 74.
  - [2] 张宇. 关于盐渍土工程性质研究[J]. 居舍, 2019(3): 168.
- 作者简介: 相福磊(198508-)男, 吉林建筑大学, 工程管理, 中铁发展投资有限公司, 安全总监, 中级职称。