

# 定边供水工程管道地基土工程性质的试验研究

任瑞平

(杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 盐渍土是一种特殊类型的土,具有溶陷、盐胀、腐蚀等工程特性,对工程的危害性很大。采用易溶盐试验、溶陷性试验、盐胀性试验,对陕甘宁盐环定扬黄定边供水续建工程管道地基土的工程性质进行了试验研究与分析评价。试验结果表明:土样1、土样2含盐量低于3 g/kg,不属于盐渍土,不具有溶陷性和盐胀性,属于非湿陷性黄土。腐蚀性评价结果表明:土样1、土样2在干燥条件下没有腐蚀性;在潮湿条件下,土样1对于钢筋混凝土具有弱的腐蚀性,土样2没有腐蚀性。但是,土样1与土样2相比较,由于土样2的干密度比较低,易溶盐含量比较高,而且溶陷系数比较高,所以在工程设计时土样2的溶陷性应予以考虑。

**关键词:** 盐渍土;工程性质;易溶盐;溶陷性;腐蚀性

中图分类号: TU 472.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)03-0230-04

## Study on engineering property of foundation soil in pipeline of Dingbian supply water project

REN Ruiping

(Yangling Vocational & Technical College, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The saline soil is a special type of soil which has the engineering behaviors of salt resolving slump, salt expansion and corrosion which is harmful to engineering. The paper used the easily soluble salt test, salt resolving slump test and salt expansion test to study and evaluate the engineering properties of foundation soil on pipeline in Dingbian supply water project. The results showed that the soil sample 1 and 2 do not belong to saline soil and have not salt resolving slump and salt expansion, and belong to non-collapsible loess. The salt content is lower than 3 g/kg. Through the result of corrosive evaluation, the soil sample 1 and 2 haven't corrosivity under dry condition; but the soil sample 1 has weak corrosivity to reinforced concrete and the soil sample 2 has not under wet condition. However, through the comparison of soil sample 1 and soil sample 2, the dry density of soil sample 2 is lower and its resolving slump coefficient is higher, so it is necessary to consider the resolving slump of soil sample 2 in design of engineering.

**Key words:** saline soil; engineering property; easily soluble salt; salt resolving slump; corrosion

盐渍土是一种特殊类型的土,其土体中的易溶盐含量大于3 g/kg。盐渍土的固相中含有结晶盐,液相中含有盐溶液,强度和变形特性具有自身的变化规律,具有溶陷、盐胀、腐蚀等工程特性<sup>[1-2]</sup>,因此对道路工程<sup>[3]</sup>、水利工程<sup>[4]</sup>和管道工程<sup>[5]</sup>等容易造成潜在的危害。所以,认识盐渍土的工程性质对于保障工程安全具有非常重要的意义。

陕甘宁“盐环定”扬黄工程地跨陕西、甘肃、宁夏3省,该工程分3省区共用工程和各省区专用工程。“盐环定”扬黄共用工程是从宁夏青铜峡东干渠取水,共设有11座泵站,总装机容量49 565 kW,

干渠总长94 km。定边供水工程是“盐环定”扬水工程陕西专用部分,兴建的主要目的是解决定边县氟病区及部分缺水地区人民群众和家畜的引水问题,同时还可以灌溉少量耕地。陕甘宁“盐环定”扬黄供水续建工程设计从宁夏青铜峡东干渠引水11 m<sup>3</sup>/s,年供水总量为7 537万m<sup>3</sup>。其中,定边扬黄供水续建工程设计引水流量2 m<sup>3</sup>/s,年供水总量1 038万m<sup>3</sup>。陕甘宁“盐环定”扬黄定边供水续建工程跨越湿陷性黄土地区,而且含盐量偏高。盐渍土具有溶陷性、盐胀性与腐蚀性,如果处理不当,将会对工程建设带来极大的危害,造成不可挽回的损失。为了

了解定边供水续建工程管道地基土的湿陷性以及工程的不良影响,为工程设计和施工提供科学依据,对管道地基土的易溶盐、溶陷性、盐胀性、腐蚀性进行了试验研究与分析评价。

## 1 土样基本性质

选取两组管道地基土进行了基本性质分析,见表1。从表1可看出,土样1的取样位置深于土样2

的取样位置,土样1的含水率和干密度大于土样2的含水率和干密度。两组土样的颗粒相对密度均为2.64,而且颗粒组成以砂粒(2~0.075 mm)为主,粉粒(0.075~0.005 mm)次之,粘粒(<0.005 mm)含量最低。土样1和土样2的液限分别为22.0%、20.8%,塑限分别为13.5%、12.4%,塑性指数分别为8.5、8.4。按塑性图分类两组土样均为低液限粉土(ML)。

表1 土样基本性质

土样 编号	深度	含水率	干密度	颗粒相 对密度	颗粒组成			液限	塑限	塑性 指数	土样 分类
					砂粒	粉粒	粘粒				
					(2~0.075)	(0.075~0.005)	(<0.005)				
1	2.00~2.20	20.5	1.741	2.64	52.0	37.0	11.0	22.0	13.5	8.5	ML
2	1.00~1.20	17.8	1.583	2.64	46.6	43.2	10.2	20.8	12.4	8.4	ML

## 2 试验方法

### 2.1 易溶盐总量及分量测定

易溶盐总量及分量试验方法按照《土工试验规程》(SL 237-1999)<sup>[6]</sup>中规定的方法进行。易溶盐总量采用烘干法,碳酸根和重碳酸根采用双指示剂中和滴定法,氯离子采用硝酸银滴定法,硫酸根采用重量法,钙镁离子采用EDTA络合滴定法,钠钾离子采用火焰光度法。

### 2.2 溶陷性试验

采用《盐渍土地区公路设计与施工指南》<sup>[7]</sup>中规定的室内压缩试验的双线法测定溶陷率,即采用两个相同的原状盐渍土样,一个土样不加水逐级加载做压缩试验,另一个在浸水溶滤条件下逐级加载做压缩试验。每50 kPa为一级荷载,逐级加载,每级荷载施压时隔10~30 min读取百分表读数,至该级荷载变形稳定为止(即每小时变形量不大于0.01 mm为变形标准)。绘制溶陷系数试验曲线图和计算盐渍土溶陷系数。

### 2.3 盐胀性试验

盐渍土的盐胀通过盐胀率来反映,测试方法有

野外测试法和室内试验法两种,本研究采用室内试验法,即将试样置于低温控制箱内,利用百分表读取不同温度下试样的胀量值,计算盐胀率,绘制盐渍土盐胀率与温度关系曲线图。

### 2.4 腐蚀性评价

根据含盐种类的不同和含盐量的大小,分为强腐蚀性、中腐蚀性、弱腐蚀性和无腐蚀性4类。评价是根据《盐渍土地区建筑规范》<sup>[8]</sup>中关于盐渍土腐蚀等级的规定。

## 3 试验结果分析

### 3.1 易溶盐总量及分量测定

易溶盐总量及分量测定的试验结果见表2。将易溶盐中各种离子按照阴阳离子等当量结合的方式进行成盐分析,计算结果列于表3。表2和表3表明:土样1、土样2的易溶盐含量分别为2.17、2.27 g/kg。土样1、土样2中阳离子均以钠离子为主,但阴离子土样1以氯离子为主,土样2以碳酸氢根为主。将土样易溶盐中阴阳离子进行成盐分析计算,发现土样1中主要含有氯化钠和硫酸钠,土样2中主要含有碳酸氢钠和碳酸钠。

表2 土样易溶盐试验测定结果

土样编号	易溶盐	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	评价
1	2.17	0.05	0.36	0.56	0.47	0.03	0.03	0.67	0.00	非盐渍土
2	2.27	0.42	0.58	0.15	0.32	0.03	0.00	0.76	0.00	非盐渍土

表3 土样易溶盐成盐分析计算结果

土样编号	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaCl
1	0.070	0.012	0.000	0.183	0.286	0.699	0.918
2	0.069	0.000	0.676	0.000	0.803	0.471	0.251

土体中的盐分包括易溶盐、中溶盐和难溶盐。易溶盐指土中易溶于水的盐类,包括全部氯化物、易溶的硫酸盐和易溶的碳酸盐以及重碳酸盐等。中溶盐一般指的是带结晶水的硫酸钙。难溶盐指的是难以溶于水的碳酸盐。《岩土工程勘察规范》<sup>[1]</sup>中规定,岩土中易溶盐含量大于 3 g/kg 并具有溶陷盐胀腐蚀等工程特性时应判定为盐渍岩土。因此,根据该规范规定,由于土样 1 和土样 2 的易溶盐含量分别为 2.17、2.27 g/kg,均低于规范规定的 3 g/kg,因此选定的两组土样不属于盐渍土。但是,《西北黄土的性质》<sup>[9]</sup>一书中指出,陕北黄土的易溶盐含量最大值为 6.6 g/kg,最小值为 0.2 g/kg,平均值为 1.7 g/kg。由此表明,土样 1 和土样 2 的易溶盐含量大于陕北黄土易溶盐含量的平均值,而且与规范中规定的 3 g/kg 比较接近,因此,在工程施工中应注意土体的溶陷性和腐蚀性。

### 3.2 溶陷性试验

盐渍土在干燥状态下,土体中的盐分呈固相,可胶结土体颗粒或以单个颗粒体的形式存在,能够提高土体的力学强度。但是,盐渍土在潮湿或浸水条件下,土中的易溶盐类被溶解,导致土体结构破坏,强度和承载力迅速降低,工程特性变差。干燥或稍湿的盐渍土,受水浸湿时在自重压力或附加压力作用下所产生的变形称为溶陷变形。溶陷系数  $\delta$  是评价盐渍土溶陷性的重要指标,可采用室内压缩试验或现场荷载试验方法求得。本实验采用室内压缩试验,试验结果见图 1。

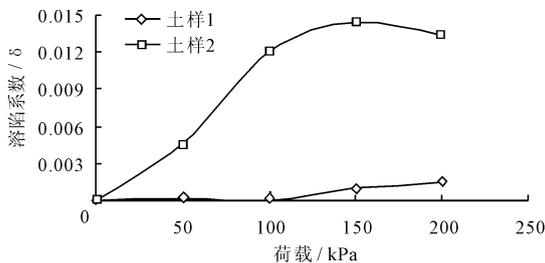


图 1 土样溶陷系数与压力关系曲线

从图 1 可以看出,土样 1 的溶陷系数较小,几乎不发生溶陷;土样 2 的溶陷系数较大,在荷载为 150 kPa 下溶陷系数为 0.014。《盐渍土地区建筑规范》<sup>[8]</sup>规定,当溶陷系数  $\delta$  低于 0.01 时,为非溶陷土;当溶陷系数  $\delta$  大于或等于 0.01 时,为溶陷土。如果单纯按照该规范规定,则土样 1 属于非溶陷性土,土样 2 属于溶陷性土。但是由于土样 2 的易溶盐含量低于盐渍土的判别标准,不属于盐渍土,故不可以按照盐渍土的溶陷性判别标准来判别,因此土样 2 不

具有溶陷性。由于溶陷系数试验方法与湿陷性黄土湿陷系数的试验方法相同,所以采用《湿陷性黄土地基建筑规范》<sup>[10]</sup>进行评价较为妥当。本规范规定当黄土的湿陷系数  $\delta$  小于 0.015 时,应是非湿陷性黄土;湿陷系数等于或大于 0.015 时,应为湿陷性黄土。因此,土样 1、土样 2 属于非湿陷性黄土。但是,由于土样 2 的干密度比较低,而且易溶盐含量比较高,再加上其室内溶陷系数比较高,如果按照盐渍土的判别标准,其属于溶陷性土;如果按照湿陷性土的判别标准,其虽不属于湿陷性黄土,但是由于其溶陷系数仅比判别标准小 0.001,所以土样 2 的溶陷性还是值得工程设计时考虑的。

### 3.3 盐胀性试验

盐渍土的盐胀通过盐胀率来反映。土样 1 和土样 2 的盐胀率与温度关系曲线见图 2。

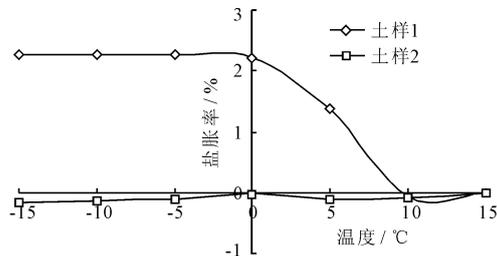


图 2 土样盐胀率与温度的关系

从图 2 可以看出,土样 1 的盐胀率随着温度的下降而增大,在温度达到零度以下后,盐胀率基本保持不变,维持在 2.27%;土样 2 的盐胀率随着温度的变化基本保持不变,即没有盐胀性。盐渍土的盐胀是由于土体中的硫酸盐沉淀结晶时,体积增大而引起的。干旱地区日温差较大,由于温度的变化,硫酸盐的体积时缩时胀,致使土体结构疏松。在冬季温度下降幅度较大,便产生大量的结晶,使土体剧烈膨胀。一般认为硫酸钠含量在 10 g/kg 以下,可以不用考虑盐胀,含量在 20 g/kg 以内时,膨胀带来的危害性较小,高于这个含量则膨胀量迅速增加。资料表明:盐渍土的盐胀率与土样的密度呈正比关系;对于同一类型的土体,当其含水率过小时,土壤中的盐分没有足够的结合水,盐胀不充分;当含水率过大时,土壤中的自由水又会溶解一部分盐分,使盐胀量显著减小。由于土样 1 和土样 2 不属于盐渍土,土体中的硫酸钠含量很低,两者均不具有盐胀性。土样 1 和土样 2 的易溶盐、硫酸钠含量相近,但是盐胀率测定结果差别比较大,其原因可能是由于两者的密度和含水率不同导致的。土样 1 的含水率和干密度较土样 2 的大,在温度较低时相对而言容易产生冻胀,而不是盐胀。

### 3.4 腐蚀性评价

盐渍土的腐蚀主要表现为对水泥混凝土和金属建材的腐蚀。水泥混凝土的腐蚀是由物理作用和化学侵蚀引起的,化学作用包括混凝土碳化、硫酸盐、氯盐等盐类的侵蚀,强酸强碱溶液的腐蚀。物理腐蚀作用主要是盐类结晶腐蚀,由物理作用引起的侵蚀破坏速度远比化学腐蚀破坏快<sup>[11]</sup>。钢筋腐蚀现象不会单独发生,它往往伴随着混凝土保护层物理化学作用的减弱

或失效。混凝土中钢筋的腐蚀适用于电化学机理。混凝土表层毛细孔道的不均匀性会导致不同位置的传输过程不一致,这样  $H_2O$ 、 $O_2$ 、 $CO_2$  和  $Cl^-$  等物质在钢筋界面的浓度分布会产生差异、形成浓度梯度。因此,钢筋表面的电化学活性的不均一性不可避免<sup>[12]</sup>。

本文评价是根据《盐渍土地区建筑规范》<sup>[8]</sup>中关于盐渍土腐蚀等级的规定进行。表4是对这两组土样的腐蚀性进行评价的结果。

表4 土样的腐蚀评价

g/kg

土样 编号	土中盐离子含量		换算后盐离子总量		评 价
	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$	$SO_4^{2-}$ <sub>总量</sub>	$Cl^-$ <sub>总量</sub>	
1	0.473	0.557		0.6753	在干燥条件下,没有腐蚀性;在潮湿条件下,对于钢筋混凝土具有弱的腐蚀性,但是对于素混凝土和砖砌体没有腐蚀性。
2	0.319	0.152	0.3304		在干燥或潮湿条件下对于钢筋混凝土、素混凝土和砖砌体均没有没有腐蚀性。

注:以氯盐为主的盐渍土: $Cl^-$ <sub>总量</sub> =  $Cl^-$  +  $0.25 \times SO_4^{2-}$ ; 以硫酸盐为主的盐渍土: $SO_4^{2-}$ <sub>总量</sub> =  $SO_4^{2-}$  +  $0.075 \times Cl^-$ 。

易溶盐试验表明土样1、土样2虽然不属于盐渍土,但是由于含盐量比较大,而且腐蚀性评价要求区分硫酸盐为主还是以氯盐为主,因此,根据盐渍土的分类标准进行了分类,土样1属于亚氯盐渍土,土样2属于亚硫酸盐渍土。根据盐渍土的腐蚀性评价等级,认为土样1在干燥条件下,没有腐蚀性;在潮湿条件下,对于钢筋混凝土具有弱的腐蚀性,但是对于素混凝土和砖砌体没有腐蚀性。土样2无论在干燥还是潮湿条件下对于钢筋混凝土、素混凝土和砖砌体均没有腐蚀性。

土、素混凝土和砖砌体均没有腐蚀性。

## 4 结 语

(1)土样1、土样2的易溶盐含量分别为2.17、2.27 g/kg,不属于盐渍土,而且没有溶陷性和盐胀性。但是,由于土体中的易溶盐含量大于陕北黄土的平均值1.7 g/kg,而且与规范中规定的盐渍土易溶盐含量3 g/kg比较接近,因此,在工程施工中还是应注意土体的溶陷性和腐蚀性。土样1与土样2相比较,由于土样2的干密度比较低,而且易溶盐含量比较高,再加上其室内溶陷系数比较高,所以土样2的溶陷性还是值得工程设计时考虑的。

(2)腐蚀性评价结果认为,在干燥条件下土样1和土样2没有腐蚀性。在潮湿条件下,由于土样1中阴离子以氯离子为主,因此会对钢筋混凝土具有弱的腐蚀性,但是对于素混凝土和砖砌体没有腐蚀性;土样2中阴离子以硫酸根离子为主,对钢筋混

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部. GB 50021 - 2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [2] 徐攸在,等. 盐渍土地基[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [3] 杨保存,汪为巍,杨柳. 南疆盐渍土路基盐-冻胀变形综合防治技术研究[J]. 干旱区地理,2011,34(1):133 - 142.
- [4] 樊恒辉,李永红,陈涛. 盐分对砂砾石盐渍土渠基稳定性影响的试验研究[J]. 防渗技术,2001,7(1):4 - 8 + 36.
- [5] 张国珍,刘晓燕. 盐渍土地区钢筋混凝土排水管道腐蚀研究[J]. 水资源与水工程学报,2008,19(1):19 - 21.
- [6] 中华人民共和国水利部. SL 237 - 1999 土工试验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
- [7] 新疆公路学会. 盐渍土地区公路设计与施工指南[M]. 北京:人民交通出版社,2006.
- [8] 中华人民共和国水利部. SY/T 0317 - 97 盐渍土地区建筑规范[S]. 北京:石油工业出版社,1998.
- [9] 西北水利科学研究所. 西北黄土的性质[M]. 西安:陕西人民出版社,1959.
- [10] 中华人民共和国建设部. GB50025 - 2004,湿陷性黄土地基建筑规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [11] 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(S1):11 - 15.
- [12] 李本发. 钢筋混凝土的腐蚀研究现状与进展[J]. 城市建筑,2013,(8):280 - 281 + 283.