

青海地区盐渍土分布规律及其盐胀溶陷机制探讨

罗友弟

(青海工程勘察院, 西宁 810008)

摘要: 针对青海一些地区盐渍土当硫酸钠含量小于 1% 时也会产生盐胀, 而超氯盐渍土却不会产生溶陷的事实, 进行了较为深入细致的论证和研究。得出如下结论: 建(构)筑物由于盐胀问题引起破坏, 往往由其所处地质环境因素起决定性作用, 而并非完全符合相关规范所给出的硫酸钠含量超过 1% 才应考虑盐胀性。柴达木盆地腹地超氯盐渍土却由于难溶盐及中溶盐含量偏高, 导致其反常态不产生溶陷。这些认识及观点与现行理论、规范有较大出入。

关键词: 盐渍土; 硫酸钠含量; 盐胀; 超氯盐渍土; 不溶陷

中图分类号: P642.13*9

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)04-0116-05

青海地处青藏高原东北部, 深居内陆腹地。省境土地面积广大, 地形复杂, 地势高耸, 高差悬殊, 形成独特的自然环境。地形、气候、植被、土壤等自然条件的地区差异和垂直差异均甚显著。省境北部为祁连山—阿尔金山山地, 南部为昆仑山脉。其群山间形成柴达木盆地。随着海陆变迁, 境内盐渍土形成独具特色的分布特点及工程特性。本文从青海省盐渍土的分布、特殊的工程地质特性入手, 通过具体研究实例, 对一些与人们传统的理论认识不相吻合的盐渍土工程特性进行较为详细的剖析, 从而提出新的认识。

1 青海境内盐渍土分布范围

多年勘察、研究资料显示, 青海境内盐渍土主要分布于柴达木盆地西部及西宁、平安河湟谷地湟水河南岸山前倾斜平原带(图 1)。其形成可能与大陆抬升古海洋逐渐干涸, 低洼地带的聚集、蒸发作用有关, 不再赘述。

2 传统理论对盐渍土盐胀、溶陷性状的认识

近年来, 新发行的规范、规程对盐渍土盐胀问题的认识形成了大体统一的观点。《GB50021-2001 岩土工程勘察规范》规定: 岩土中易溶盐含量大于 0.3%, 并且具有溶陷、盐胀、腐蚀特性时, 应判定为盐渍岩土。同时认为当土中硫酸钠含量超过 1% 时, 应考虑盐胀性^[1-2]。

收稿日期: 2009-12-19; 修订日期: 2010-02-02

作者简介: 罗友弟(1966-), 男, 本科, 国家注册岩土工程师, 主要从事岩土工程勘察和水工环工作。

E-mail: 501920429@qq.com

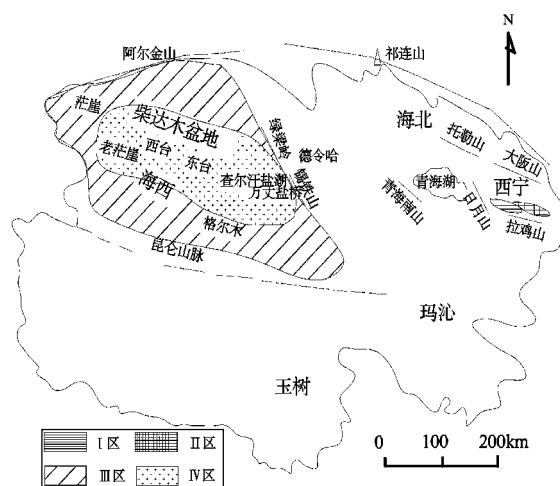


图 1 青海省盐渍土分区分布图

Fig. 1 Distribution division saline soil in Qinghai Province

这一传统理论告诉我们: 氯盐渍土可能会产生溶陷, 硫酸盐渍土当硫酸钠含量超过 1% 时才会对建设工程产生不可忽视的盐胀作用。但通过下面各节论述将发现这一理论在青海一些地区是有待商榷的。

3 青海地区盐渍土工程特例研究

青海地区盐渍土分布较广, 通过大量调查研究, 结合几十项代表性工程实验数据发现: 建(构)筑物由于盐胀问题引起破坏, 往往由其所处地质环境因素起决定性作用, 而并非完全符合相关规范所给出的硫酸钠含量超过 1% 时, 工程建设才应考虑盐胀性。

同样, 当土中含盐量很高, 定名为超氯盐渍土时, 也并不代表它遇水就一定会产生溶陷。表 1 为收集研究大量工程数据后的总结。

表 1 青海地区盐渍土分布概略表

Table 1 Distribution of saline soil in Qinghai approximate form

地形地貌		地层	地下水	SDS(%) 全盐量	SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	Cl ⁻ (mg/kg)	盐胀性	溶陷性
西宁南山区	山前倾斜高阶地	黄土	>15m	0.3~1.5	2 000~8 000	30~600	无	湿陷
西宁机场	低山丘陵	黄土	>15m	0.25~2.45	830~7 637	64~4 700	有(部分)	湿陷
西宁东出口	山前倾斜平原	黄土状粉质粘土	3~5m	0.6~5	2 400~50 000 但绝大部分不超过 8000	23~770	严重	湿陷
平安西南区	山前倾斜平原	黄土状粉质粘土	3~6m	1 970~13 390	845.33~8 833.68	200~700	严重	湿陷
东台	盆地腹地	粉质粘土	>15m	1.89~48.00	279~49 287	12 824~453 008	尚未发现	无
西台	盆地腹地	粉质粘土	>15m	1.70~46.00	200~50 000	13 000~410 000	尚未发现	无
老茫崖	盆地腹地	粉土、细砂	>15m	0.23~4.05	912~26 000	10 20~133 000	尚未发现	无
冷湖	盆地腹地 外围	砂砾土	>15m	0.3~0.8	144~435	1 140~4 100	尚未发现	有
格尔木	盆地腹地 外围	粉土	2~5m	0.7~1.9	2 900~11 000	920~2 100	有	无
新茫崖	盆地腹地 外围	砂砾土	4~8m	0.2~1.4	336~8186	373~9 500	轻微	有

3.1 青海地区盐渍土分区

程性状分为 4 个工程区(表 2)。

对表 1 进行解读,将青海地区按盐渍土分布及工

表 2 盐渍土类型及其工程性状表现与规范结论对比

Table 2 Saline soil types and their engineering properties and normative conclusions of the performance

分区	Na ₂ SO ₄	Cl ⁻ (mg/kg)	盐渍土类型	盐胀性	溶陷性	结论
I	一般小于 1%	含量较小	中硫酸-亚硫酸	一般无	无	与规范结论稍有出入
II	一般小于 1%	含量较小	中硫酸-亚硫酸	严重	无明显表现	与规范结论相悖
III	一般大于 1%	含量超高	超氯盐渍土	无明显表现	无	与规范结论相悖
IV	一般小于 1%	含量较高	亚氯-氯盐渍土、中硫酸-亚硫酸	无明显表现	有	与规范结论基本一致

分析表 2,可以得出如下结论:

(1) I 区:即以西宁南山区、机场等为代表的青海东部河谷阶地及低山丘陵地区。地层为黄土或黄土状土,水位埋深一般大于 15m,此类地区土层含盐量一般大于 0.3%,小于 1%。大量工程实例表明,这类地区一般不存在盐胀问题,黄土也显示为湿陷特征,无溶陷表现。也就是说:这类土层虽然按规范应确定为盐渍土,但其并不表现出盐胀、溶陷性状,仅可能对建筑材料产生一定程度的腐蚀。这类地层在有经验的地区可按一般湿陷性黄土对待。

(2) II 区:即以西宁东出口、平安西南区为代表的青海东部山前倾斜平原区。地层以黄土状粉质粘土为主,地下水位埋深一般在 3~5m 左右,此类地区土层含盐量一般大于 0.3%,小于 1.3%。尤其 Na₂SO₄ 含量不超过 1%,按规范可不考虑盐胀性,但事实恰恰相反,这类盐渍土的盐胀性状表现异常突出。区内轻型建构筑物大都受到盐胀作用影响,甚至破坏。

(3) III 区:东台、西台、老茫崖等为代表的柴达木盆地腹地带。地层以粉质粘土、粉土、粉细砂为主,地下水位大部分地区大于 15m(盐湖带除外),这类地区地层一般为超氯盐渍土,Cl⁻ 含量最高达 453008 (mg/kg)。Na₂SO₄ 含量一般均大于 1%,按相关规范及现有文献资料,这类土应属典型盐渍土^[1~3],应同时具备强盐胀、强溶陷性,但通过数千件原状土样溶陷试验发现,这类土不具备溶陷性。老茫崖地区浸水试验也验证了这一结论。同时,区内大量轻型建构筑物也均未产生盐胀破坏。仅个别地段门阶、散水偶见不明显似胀裂迹象。

(4) IV 区:以冷湖、格尔木、新茫崖为代表的柴达木盆地腹地外围地区。地层以砂砾类土、粉土为主,地下水位 3~6m 或大于 15m,这一地区的试验数据及工程实践经验与规范基本吻合。

3.2 盐渍土盐胀、溶陷异常机理的探讨

I 区和 IV 区盐渍土所表现出的物理力学性状与目

前流行理论没有太多出入,因此这两个区不作为研究重点考虑。Ⅱ区和Ⅲ区盐渍土所表现出的物理力学性状则与目前流行的理论出入较大,因此,以下仅对此两区做较深入探讨。

3.2.1 Ⅱ区异常盐胀机理的探讨

设想中,Ⅱ区表现出的盐胀性应与周边环境及地下水作用有关^[4-5]。基于此,在该区选取典型场址——西宁硝湾地区,进行了为期2年(2000~2002年)的专项研究。

3.2.1.1 场地地质条件勘察

西宁硝湾地区某变电所1996年建成运行2年后发现架构、设备基础以及场区道路等严重变形,部分母线被迫停止运行。经变形观测表明:场地为膨胀变形。为了弄清变形原因,首先在场地网格状均布开挖探井

20个,采188组各类土试样进行了分析^[3],结果如下:
地层组成:粉质粘土,红褐色,土质较均匀,局部含石膏颗粒,未见层理。含水量13.5%~35.6%,液性指数-0.44~0.88,坚硬-软塑状,层厚9~12m。第三系泥岩,埋深9~12m。

地下水:枯水季初见水位3.6~5.4m,稳定水位2.9~5.8m;丰水季水位约上升0.7~2.05m。

3.2.1.2 场地盐胀机理研究

查明场地地质条件后,把上述20口探井经特殊处理,改造为观测、测试井。其中包括水位变化及冻深观测;测试项目包括:毛细水上升高度测试,土中易溶盐、难溶盐、中溶盐含量测试,土的自由膨胀率、膨胀力测试、土的常规项目测试及水质分析测试,结果见表3。

表3 土中易溶盐指标
Table 3 The indicators of soil soluble salt

易溶盐	SDS(%)全盐量	Na ⁺ (mg/kg)	SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	土样膨胀力(kPa)	自由膨胀率(%)
范围值	1970~13390	68.25~1290.35	845.33~8833.68	15~46	11~84
平均值	6872			24.9	

(1)易溶盐含量及土的主要物理力学性状

从上述条件可以得出如下结论:一、土中Na₂SO₄含量不超过1%;二、地层膨胀力不超过50kPa。

首先,按荷载考量,因为地层膨力不超过50kPa,故可认为盐胀对4层以上的建筑不会产生破坏。这一点通过场地现有主控楼主体未受破坏可得到证明。

其次,若以现行规范为依据,土中Na₂SO₄含量不

超过1%时,可不考虑盐胀性。而场地内较轻建、构筑物大部分遭受破坏或产生较严重变形,且通过变形测量得出场地土严重膨胀的确切结论,显然,Na₂SO₄含量虽不超过1%,但盐胀问题却异常突出。

(2)观测、测试项目重要发现

通过长时间观测、测试,排除不相关因素,得到如下认识(表4)。

表4 观测、测试结果
Table 4 Observations, test results

地温	毛细水上升高度及地下水含盐量	最大冻深	易溶盐含量随深度变化	易溶盐含量随时间变化
地面下3.2m范围内地温与气温变化趋势几乎完全一致;3.2~5.2m变幅明显下降,且比气温变化滞后两个月;5.2m以下几乎无变化,证明不再受气温变化影响。	毛细水上升高度最小0.45m,最大3.85m,平均1.70m。场地水位变化大致:0.7~2.05m,平均1.39m;SO ₄ ²⁻ 含量一般在2500~3500mg/L,Cl ⁻ 含量一般在500~1000mg/L。相对于一般场地地下水,含盐量明显偏高很多。	最大冻深集中在1月12日~2月18日之间,平均最大冻深0.866m,极限最大冻深0.98m。	地面下1m范围内含量普遍较高,1.5m左右普遍偏低,2.0m以下、地下水以上段含盐量偏高。	8月份,即丰水季,含盐量普遍进入谷值,10月份普遍大幅上扬,达到一年中含盐量峰值。

分析上表,可以肯定:(1)受地温控制的盐胀作用主要发生在地面下3.2m以内,最大深度不超过5.2m。(2)场地毛细水影响段在地面下2~4m之间,盐胀作用主要发生在此段。(3)地下水含盐量高,尤其SO₄²⁻含量异常偏高,毛细带形成Na₂SO₄·10H₂O结晶,为产生盐胀提供了十分有利的环境条件。(4)

地面下1m范围内含盐量普遍较高,1~2m普遍偏低,2.0m以下、水位以上段含盐量偏高,也就是毛细带仍然是高含盐段。(5)盐胀作用主要发生在丰水季过后,气温下降期^[5-7]。

基于以上认识,对地层进行分带(表5),从分带情况看,盐胀作用集中在毛细水影响下含水量剧烈变化

带。现场不同埋深基础膨胀变形观测资料也证实这一结论是可靠的。可见,毛细水是造成盐胀的主导因素。那么,该场地地下水含盐量究竟为何如此之高呢?笔者将后续的研究工作集中在周边环境,很快找到了原因:场地位于山前倾斜平原,而场地南部为古近系泥、砂岩山区,山体本身含有大量芒硝、石膏,经雨季洪水冲刷,大量渗入地下,溶入地下水,形成特殊的高含盐地下水环境。

表 5 地层分带表

Table 5 Stratigraphic zonation of the table

温度范围	分带
地面下 1m	蒸发、冻胀带
地面下 1 ~ 2m	淋滤稳定带
地面下 2 ~ 4m	毛细影响盐胀带

3.2.1.3 II 区盐胀机理总结

当地下水埋深较浅,毛细水上升高度伸入地温变化急剧影响带,且地下水补给环境高度含盐时,便在地层中形成一个毛细影响盐胀带。丰水季节,环境中大量盐分随洪水渗入地下,使地下水含盐量升高甚至饱和析出,枯水季节,毛细带形成结晶,产生盐胀。

3.2.2 III 区超氯盐渍土不溶陷机理的探讨

为探究柴达木盆地腹地超氯盐渍土反常态不产生溶陷的事实,首先,结合具体工程采了近 2000 件原状土样进行了溶陷试验。结果表明:无一件具有溶陷性,溶陷系数 δ 最大仅 0.008。改变溶陷试验程序,采用 24 小时不少于 12 次浸水,但结果依然是不具溶陷性。

焦点集中在现场浸水载荷试验上,大家都认为只有浸水载荷试验才最能说明问题。由于所处场地偏远,交通不便,费用较高,正当准备推后此项工作时,老茫崖某新建厂区生产用自来水大量泄漏,厂家邀请笔者现场诊断论证厂区浸水后的安全性。

厂区地层由细砂及粉土组成,属超氯盐渍土,地下水位在 10m 以下。笔者到现场时已是浸水事件发生后两周,据介绍底面积约 400m² 的车间,浸水量超过 1000t。估算泄漏浸水过程在 10 天左右。从浸水开始计算,已过去三周有余。笔者对建筑物进行了详细探查,未发现任何变形迹象。于是要求现场开挖探坑 2 处,发现持力地层已全部饱水,基础回填土段存有大量积水。车间设计荷载 150kPa,事实有力地证明了在此荷载下浸水不会产生溶陷。这一事实给柴达木盆地腹地超氯盐渍土不产生溶陷的结论增添了一个有力的证据。

为什么会产生这种现象呢?为进一步弄清其机

理,通过对比大量实验数据得出如下结论(表 6)。

表 6 III 区与一般地区盐渍土化学成分差异对照表

Table 6 III area and the general area of saline soil differences in chemical composition of Comparison

	CO ₃ ²⁻ (mg/kg)	SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	Ca ⁺ (mg/kg)	Mg ⁺ (mg/kg)
一般盐渍土地区	0	100 ~ 10 000	10 ~ 300	40 ~ 400
III 区	4 ~ 400	200 ~ 50 000	200 ~ 4 000	500 ~ 11 000

对比非常明显,因此笔者认为:III 区之所以不产生溶陷,最重要的因素就是该区土层含有大量中溶盐和难溶盐,中溶盐和难溶盐对土体产生极强的胶固作用,使土体形成很强结构性,而这种结构性在一般胶溶、楔入作用下是很难被破坏的,因此溶陷也就很难发生。

4 工程应用

笔者在西、东台及老茫崖地区建议:超盐渍土不做地基处理^[8]。经数年运行,包括某锂业公司、某矿业公司等场地,均未进行地基处理,虽有浸水记录,但均未产生不良溶陷事故。

在 II 区的地基处理工作中,笔者建议在上文提到的变电所以粗颗粒土换填,以切断毛细水作用。设计时应用碎石土,切断了毛细水上升路线,同时起到应力缓冲作用,最终效果很理想。

5 结论

将青海地区盐渍土划分为四个区:I 区是青海东部河谷阶地及低山丘陵地区;II 区是西宁东出口、平安西南区为代表的青海东部山前倾斜平原区;III 区是东台、西台、老茫崖等为代表的柴达木盆地腹地;IV 区是以冷湖、格尔木、新茫崖为代表的柴达木盆地腹地外围地区。其中 I 区、IV 区盐渍土工程性状与现行理论规范相吻合,而 II 区、III 区盐渍土工程性状与现行理论规范有很大出入。II 区主要表现为 Na₂SO₄ 含量不超过 1% 时,土层具有严重盐胀性。IV 区主要表现为超氯盐渍土不具溶陷特征。

当地下水埋深不超过 5 ~ 6m 且补给环境含盐量很高时,即使土中 Na₂SO₄ 含量不超过 1% 也不能忽视强烈盐胀作用产生的可能。

在 III 区,当地层含盐量很高,达到超盐渍土,同时土中中溶盐及难溶盐含量明显偏高时,一般可不考虑溶陷性。

限于研究工作进展程度的局限性及研究范围的片面性,即使作了大量的试验研究,收集了许多有力的证

据,但仍有可能还远远不能涵盖青海广大地区盐渍土本身所具有的所有工程特性。是否具有普遍规律还需要进一步探讨和验证。

参考文献:

- [1] 中国石油天然气总公司. SY/T0317-97 盐渍土地区建筑规范[S]. 北京:石油工业出版社,1998.
- [2] 中华人民共和国建设部. GB 50021-2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [3] 中华人民共和国建设部. GB/T50123-1999 土工试验方法标准[S]. 北京:中国计划出版社,1999.
- [4] 常士骝. 工程地质手册[M]. 三版. 北京:中国计划出版社,1992.
- [5] 许攸在. 盐渍土地基[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [6] 铁道部第一勘测设计院. 盐渍土地区铁路工程[M]. 北京:中国铁道出版社,1998.
- [7] 顾强康,吴爱红,李宁. 硫酸盐渍土的盐胀特性试验研究[J]. 西安理工大学学报,2009,25(3): 283-287.
- [8] 李长洪,张吉良,林清华,等. 盐渍土盐化防渗与强度性能[J]. 北京科技大学学报,2008,30(11): 1211-1216.

Investigation of the distribution of saline soil in Qinghai and its unique engineering properties

LUO You-di

(Qinghai Engineering Investigation Institute, 810008 Xining, China)

Abstract: In some parts of Qinghai, the saline soil having sodium sulfate content of less than 1% will also has salt-inflation, and dissolved subsidence does not occur in the ultra-chloro-saline soil. An intensive demonstration and research was carried out for the saline soil. Based on investigation data and facts, some new understanding and new perspectives were obtained. Building materials due to salt expansion has caused damage. The geological environment tends to play a decisive role. The relevant specifications given in sodium sulfate content of more than 1% are not fulfilled before considering the expansion of salt. The ultra-chloro-saline soil in the hinterland of the Qaidam Basin does not lead to produce anti-solvent trap due to insoluble salts and high content of soluble salts. These perceptions and viewpoints are quite different from the existing theories and norms.

Key words: saline soil; sodium content; salt bulge; ultra-chloro-saline; soil insoluble trap

责任编辑:汪美华

•封面说明•

《地质灾害防灾避险科普宣传片》在京首发

7月1日,《地质灾害防灾避险科普宣传片》座谈会暨首发仪式在京举行。

《地质灾害防灾避险科普宣传片》由中国地质环境监测院联合中国大地出版社(地质出版社)制作,国土资源电子影像出版社出版发行,共5集,每集约8分钟。内容包括滑坡危害与预防、泥石流沟识别与避灾、滑坡前兆与临灾避让、地质灾害简易监测、临灾预警与转移避让等。目的是通过电视媒体特别是县级电视媒体播放,向受滑坡、泥石流、崩塌等地质灾害威胁的广大民众宣传防灾减灾科普知识,提升群众防灾避险、自救互救意识和能力,最大限度地减少人员伤亡。

在首发仪式上,国土资源部国际合作与科技司、地质环境司、中国地质环境监测院、中国大地出版社(地质出版社)的有关负责人先后讲话,并向来自山西、甘肃、四川、青海、陕西、河南等省地质环境监测和环境地质勘查部门的代表赠送了宣传片。