

氯盐渍土抗拉强度特性的试验研究

周美丽, 侯炜

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要:以洛阳黄土为源土的室内配制氯盐渍土为研究对象,通过自制的单轴抗拉仪,进行了氯盐渍土抗拉特性试验,研究了干密度、初始含水率、含盐量对氯盐渍土抗拉强度的影响.试验结果表明,在相同含盐量和干密度下,抗拉强度与含水率呈对数关系;试样的抗拉强度随着干密度的增加而增加;在含水率小于15%时,破坏拉应力随着含盐量的增加,先减小后增大,拐点为8%;在含水率大于15%时,随着含盐量的增加,抗拉强度减小,而拉应变恰好相反;相同含盐量下,随着含水率的增加,破坏拉应力减小,破坏拉应变增大.

关键词:氯盐渍土;抗拉强度;单轴抗拉试验

中图分类号:TU448 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.006

Experiment study of tensile strength characteristics of chlorine saline soil

ZHOU Mei-li, HOU Wei

(School of Civil Eng., Huaqiao Univ., Xiamen 361021, China)

Abstract: To understand the tensile strength behavior of chlorine saline soil, the axial tensile test of chlorine saline soil specimens were carried out, using chlorine soil of Luoyang loess disposed indoors as an object of study. The influence of dry density, initial water content, salt content on the tensile strength of chlorine saline soil were investigated. The test result indicated that the logarithmic relation between tensile strength and water ratio under the same salt content and dry density are obtained; the tensile strength of samples increased with the increase of dry density; pulling stress decreased first and then increased with the increase of salt content when water content was less than 15%. The salt content of the inflexion was 8%. When the water content was more than 15%, the tensile strength decreased with the increase of salt content, while tension strain has an opposite changing law. With the increase of water content, the failure tensile stress decreased while the tension strain increased under the same salt content.

Key words: chlorine saline soil; tensile strength; axial tensile test

0 引言

我国盐渍土面积大、分布广,而盐渍土对建筑工程会产生较大的危害,如引起地基不均匀沉降、

墙身泛碱、墙皮脱落、墙面砖和地板砖内长毛、钢筋锈蚀、混凝土结构构件受到破坏以及盐胀造成的工程寿命降低等^[1-3].针对盐渍土地质特点,常用的处理方法及措施包括防水隔水、结构加强、浸水预溶、

收稿日期:2012-02-28

基金项目:华侨大学科研启动基金项目(11BS414)

作者简介:周美丽(1981—),女,陕西省渭南市人,华侨大学硕士研究生,主要研究方向为建筑项目管理、建筑结构抗震.

强夯、碎石桩复合地基、换土、振冲、盐化处理及综合处理法等^[4-5]。为满足岩土工程的实际需要,在盐渍土地区建筑工程的设计与施工中,计算盐渍土的抗拉强度与抗剪强度、抗压强度同样重要。土工建筑物的承拉能力较低,但其抗拉特性常常被忽视,相关研究成果也不多见。本文选取洛阳黄土为源土,加入氯化钠配制成氯盐渍土试样,通过自制的单轴抗拉仪,以单轴拉伸试验为主,分析干密度、含盐量、含水率对盐渍土的抗拉强度和拉伸变形的影响。

1 氯盐渍土试样制备

1.1 土样制备

通过对洛阳、靖边、杨凌、延安4地土样的物理性质、化学性质及组成成分的分析,发现洛阳和杨凌土质颗粒级配良好,而洛阳土的蒙脱石类黏土矿物的阳离子交换量较高,利于盐渍土试样配制,故选用洛阳土进行试样制备。具体配制方法为:1)对土样进行2 mm筛选,根据含水率的塑限值,并依据利于土样搅拌及盐分交换吸附的原则,在土中配制一定比例的水;2)按照一定比例称取NaCl盐,研磨,并使之干燥;3)将NaCl盐混入土中,搅拌均匀,放置7 d以上,使之得到最大程度的交换吸附;4)在土样中加入足够的纯水,然后自然风干,使盐分发生较为完全的置换反应;5)对风干后的土样再次研磨,加入一定的纯水,搅拌均匀,得到一定含水率的土样,使土样盐分发生充分交换吸附,通常需放置1个月左右。

1.2 试样尺寸及其制备

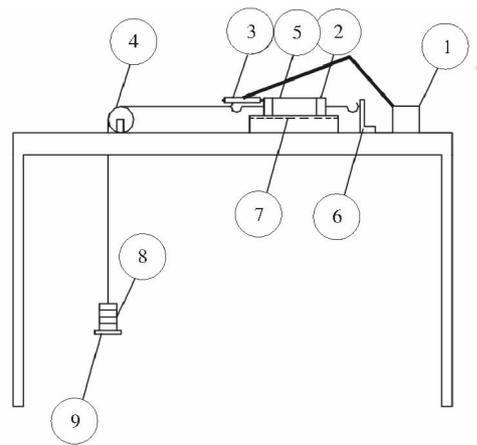
按需要采集洛阳黄土,在试验干密度为 1.60 g/cm^3 和 1.68 g/cm^3 条件下,配制5个不同含水率(9%,12%,15%,18%,21%),6个不同含盐量(素土,2%,6%,8%,10%,14%)的盐渍土样各30个,共60个。试样截面形状有圆形和正方形2种。从理论角度分析,试样的长径比或长宽比对试验结果影响很大,长径(宽)比越大,两端约束影响越小,试验精度越高,但制样和安装时的难度也越大。结合土的特点,参照三轴试样的尺寸,将试样的长径(宽)比定为 $2 \sim 2.5$,试样两端的约束长度取 $2.0 \sim 2.5 \text{ cm}$,本次试验采用长 8 cm ,截面面积 12.54 cm^2 (直径为 2 cm)的圆柱形扰动土样。在一定含水率下,采用自制制样装置卧式压样一次压制而成。对

于高含水率试样,采用水膜转移法,这样既可以保证试样的含盐量不变,又可避免土样形成大的团粒结构,从而影响抗拉强度。将制备好的试样用保鲜膜包裹,并放置在密封的玻璃缸内养护24 h以上,备用。

2 氯盐渍土单轴抗拉强度试验

2.1 试验方案

拉伸试验一般在室内进行,分为两大类:一类是直接测定,也就是单轴、三轴拉伸试验;另一类是间接测定,包括弯曲梁试验,圆柱形试样的径向、轴向挤裂试验等^[6-7]。在间接试验中,试样中的拉应力是通过理论方法结算得出的,因此,它不如直接试验中试样的应力明确^[8]。本试验采用直接测定法,所用仪器为1台自行改制的卧式单轴抗拉仪。该仪器由拉伸系统和测力系统组成,可以很好地测量试样在拉伸过程中和断裂时的应力和应变,仪器结构示意图如图1所示。



1. 磁性表架 2. 端板 3. 百分表 4. 滑轮 5. 土样
6. 固定端 7. 光滑玻璃板 8. 砝码 9. 加荷盘

图1 卧式单轴抗拉试验装置

单轴拉伸试验是无侧向受力的轴向拉长试验,可通过单轴拉伸仪、经改装的三轴拉伸仪完成,其特点是操作简单、容易控制,试验人员不需要有很高的专业知识,缺点是试样不易安装。

2.2 试验操作

试验具体操作如下:将试样的两端分别与端板(传力板)用黏合剂依次胶结后,用保鲜膜包住以防止试验过程中水分损失。将养护好的试样放在光滑玻璃板上(为了减小玻璃板与支座间的摩擦,在玻璃板底面涂抹润滑剂并在支座上放置滚珠),将一

端刚性连接在装置的固定端,另一端用钩拉装置通过滑轮挂上已平衡的加荷盘.安装百分表,并调0.进行试验时,确定加荷等级,而后逐级施加荷载,测记轴向变形、荷载重及各级加荷时间,直至试样断裂,停止试验.拆除钩拉装置和加荷盘,取下试样,打平端板,测定试样断裂处的含水率.

在整个试验过程中,加荷等级按照预估的抗拉强度分级加荷,加荷过程分为3个阶段:前期加荷等级约为预计破坏荷载的1/5,一般为1~2级;中期加荷等级约为预计破坏荷载的1/10,一般为4~5级;后期加荷等级约为预计破坏荷载的1/15,控制不少于3级.加荷稳定标准轴向变形不超过0.02 mm/10 min.破坏荷载为最后一级荷载的1/2与除最后一级荷载外的累积荷载之和.处理试验结果时,对于拉应变计算,以试验开始时受拉区的长度作为试样高度,并以此高度按式①进行应变计算,即

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_l}{l_0} \times 100 \quad (1)$$

式中, ε_a 为轴向拉伸变形率/%, Δ_l 为试样拉伸变形量/cm, l_0 为试样初始长度/cm.

对于拉应力计算,试样破坏时的轴向拉应力计算公式为

$$\sigma_t = \frac{T}{A_0} \times 100$$

式中, σ_t 为轴向拉应力/kPa, A_0 为试样校正后的面积/cm², T 为轴向拉力/N.

3 试验结果

以干密度1.68 g/cm³的土样为例,不同含水率和含盐量下氯盐渍土单轴抗拉试验结果见表1.通过对单轴抗拉试验全过程的观察,发现盐渍土的单

轴拉裂破坏为脆性破坏,具有突然性,破坏面沿主应力面发生,基本垂直于加荷轴,试样断裂面在距离端部约为样高的1/3处.即使在高含水率下,试样也没有颈缩现象,变形只沿加荷轴方向发生,无侧向变形.

4 分析与讨论

4.1 干密度对抗拉强度的影响

图2所示为不同干密度对氯盐渍土试样抗拉强度的影响.从图2可以看出,干密度对土样的抗拉强度有重要影响,随着干密度的提高,土体抗拉强度显著提高,但在不同含水率条件下,提高幅度变化较大,没有相对统一的变化.

4.2 含盐量对最大拉应力的影响

含盐量直接影响着氯盐渍土的抗拉特性,相同含水率下,含盐量与试件最大拉应力的关系曲线见图3.图3b)中,由于干密度较小,含水率过高,故含盐量为10%和14%的试样未测得抗拉强度有效值.当含水率 $\leq 15\%$ 时,试样最大拉应力随着含盐量的增加,先减小,后增大,曲线拐点为8%;当含水率 $> 15\%$ 时,试样最大拉应力随着含盐量的增加而逐渐减小;当含水率继续增加至21%时,随着含盐量的变化,试样最大拉应力变化幅度不大.

在相同含水率下,影响抗拉强度的主要因素是土中结晶盐、双电层厚度、水化膜厚度等.含水率 $\leq 15\%$,试样的饱和度较低,土体内的结晶盐含量随含盐量的增加而增大.含盐量 $< 8\%$ 时,随着含盐量的增大,钠离子和土粒周围结合水膜的润滑作用为主要作用,双电层厚度增大,颗粒之间距离增大,颗粒对重叠区的引力减小,土体黏性降低,结晶盐的作用相对很小,土粒之间容易产生滑动,土样抗拉强度

表1 氯盐渍土单轴抗拉试验结果(干密度 $\rho = 1.68 \text{ g/cm}^3$)

含盐量/%	含水率									
	9%		12%		15%		18%		21%	
	σ_{\max}/kPa	$\varepsilon_{\max}/\%$								
0	124.2	0.089	109.3	0.120	78.3	0.152	36.5	0.183	9.8	0.204
2	80.7	0.146	71.5	0.167	57.0	0.175	30.7	0.196	7.4	0.224
6	68.2	0.155	37.7	0.192	25.1	0.225	19.2	0.272	5.9	0.328
8	59.8	0.149	28.3	0.202	14.9	0.249	11.0	0.287	5.0	0.329
10	64.6	0.134	31.9	0.200	16.7	0.228	10.9	0.291	5.3	0.342
14	74.8	0.120	34.3	0.157	30.02	0.191	9.6	0.296	4.7	0.346

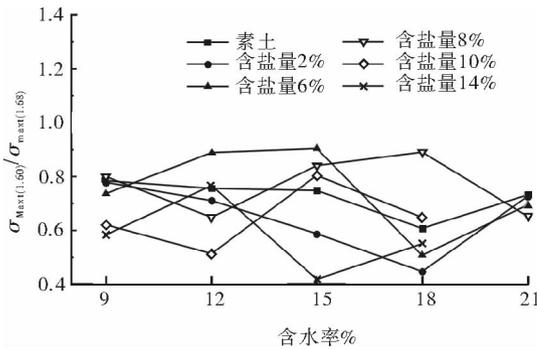
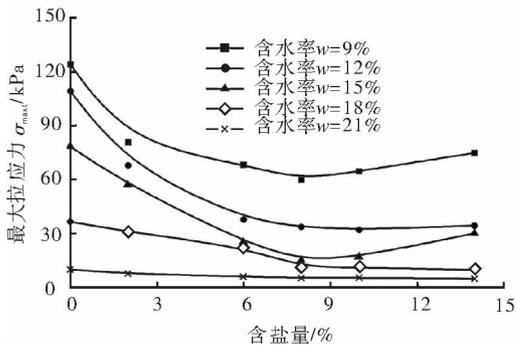
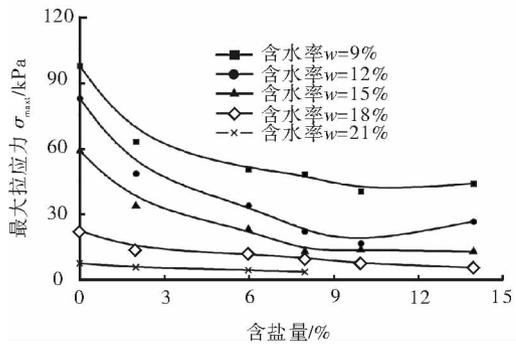


图2 干密度对土样抗拉强度的影响



a) 干密度 \$\rho = 1.68 g/cm^3\$



b) 干密度 \$\rho = 1.60 g/cm^3\$

图3 最大拉应力与含盐量的关系曲线

随含盐量的增大而降低;当含盐量 = 8% 时, 土体中的钠离子含量增大, 双电层的作用达到最大, 所以土体的抗拉强度最小; 在含盐量 > 8% 时, 结晶盐的含量增大, 使得颗粒之间的胶结作用加强, 足以抵消润滑作用, 所以土体的抗拉强度随含盐量的增加而增大. 在含水率 > 15% 时, 土体的饱和度增大, 结晶盐的含量减小, 胶结作用降低, 随着含盐量的增大, 土体中的钠离子含量增加, 土体整体主要表现为水化膜和钠离子的润滑作用, 所以随着含盐量增加, 抗拉强度减小, 特别在含水率 = 21% 时, 土体接

近饱和, 胶结作用基本丧失, 含盐量对土体抗拉强度的影响并不明显.

4.3 含盐量对最大拉应变的影响

含盐量与破坏拉应变的关系曲线见图 4. 图 4 显示, 当含水率 < 15% 时, 试样最大拉应变随着含盐量的增加, 先增大, 后减小, 曲线拐点为含盐量 = 8% 时的对应点; 当含水率 > 15% 时, 试样最大拉应变随着含盐量的增加而增加, 但在含盐量 > 8% 时, 曲线斜率降低, 接近水平, 拉应变变化幅度较小.

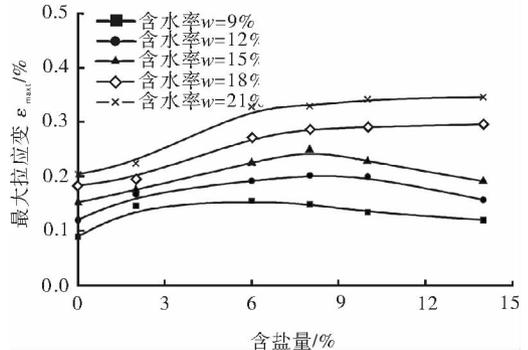
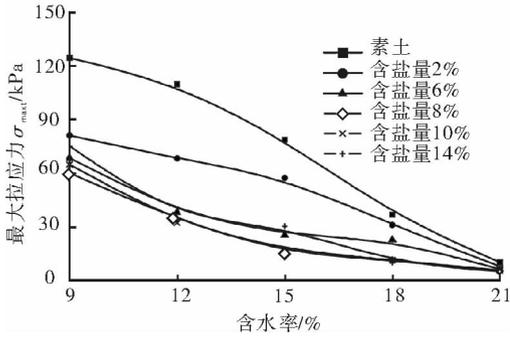


图4 最大拉应变与含盐量的关系曲线 (干密度 \$\rho = 1.68 g/cm^3\$)

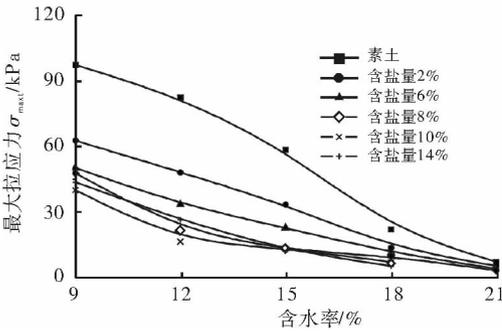
4.4 含水率对最大拉应力的影响

在相同含盐量的条件下, 含水率对土样最大拉应力的影响见图 5. 从图 5 可以看出, 相同含盐量下, 随着含水率的增加, 破坏拉应力减小. 含盐量为 0% 和 2% 时, 曲线的开口向下, 呈凸型, 但含盐量 > 2% 时, 曲线的开口向上, 呈凹型. 含盐量 \$\le 2\%\$, 含水率对破坏应力的影响主要在含水率 15% 以下; 而含盐量 > 2% 时, 含水率对最大应力的影响主要在含水率 15% 以上, 含水率从 9% 增大到 15%, 强度损失超过 1/2. 这是由于在含盐量较低时, 含水率对破坏拉应力的影响主要表现为水分对强度的弱化; 而在含盐量较大时, 胶结作用比较明显, 低含水率时胶结作用能很快降低, 并且介质中的离子数量增大, 所以前期影响较大.

为了进一步分析含水率对破坏拉应力的影响, 对破坏拉应力取自然对数, 研究了其与含水率的关系 (见图 6), 并进行了回归分析. 分析结果显示, 各回归方程的相关系数分别为 0.825 7, 0.796 5, 0.945 7, 0.982 6, 0.962 1 和 0.992 5. 从回归结果可知, 含盐量 \$\le 2\%\$ 时, 相关性较差, 而含盐量 > 2% 时, 相关性较好, 这与含水率对最大应力的影响趋势相同. 在较低且相同的含水率下, 回归方程的截距与含



a) 干密度 $\rho = 1.68 \text{ g/cm}^3$



b) 干密度 $\rho = 1.60 \text{ g/cm}^3$

图5 最大拉应力与含水率的关系曲线

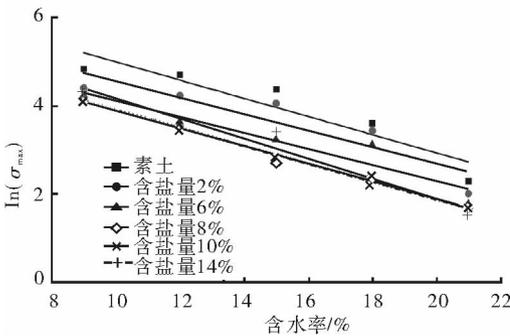


图6 $\ln(\sigma_{\max})-w$ 关系曲线

(干密度 $\rho = 1.68 \text{ g/cm}^3$)

盐量对抗拉强度的影响趋势相同,即随着含盐量的增大,先增大后减小.但总体上,土体的抗拉强度与含水率的关系基本符合指数函数,这与现有理论吻合^[9].

4.5 含水率对最大拉应变的影响

在相同含盐量下,含水率与最大拉应变的关系曲线见图7.含水率对最大拉应变的影响是通过分别对弹、塑性拉伸变形影响实现的.由图7可知,总体上,在相同含盐量下,随着含水率的增加,最大拉应变增大.含水率对破坏拉应变的影响幅度随着含

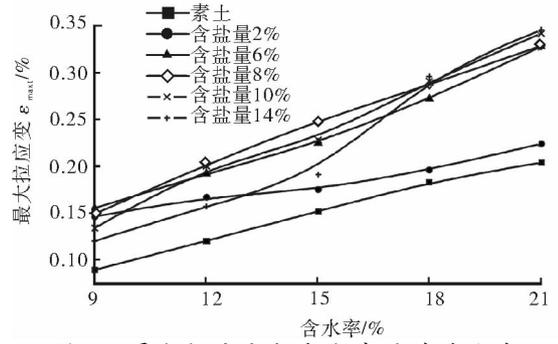


图7 最大拉应变与含水率的关系曲线

(干密度 $\rho = 1.68 \text{ g/cm}^3$)

盐量的增加而增大.相同含盐量下,随着含水率的增加,结晶盐含量越小,土体强度越低,塑性变形越大,因此,随着含水率的增加,最大拉应变增大.在含盐量 $\leq 2\%$ 时,含水率对破坏拉应变的影响曲线形式基本相同,曲线曲率较小,这是由于结晶盐的胶结作用较小,主要以土粒自身的黏结作用为主;而在含盐量 $> 2\%$ 时,曲线曲率较大,因为结晶盐含量较大,胶结作用增强,对土体的抗拉强度贡献相对较大,随着含水率的增大,胶结作用很快降低,所以从曲线增长速率可以看出,含水率 $< 15\%$ 时,增长较慢,而以后增长较快,这与含水率对拉应力的影响相符.

5 结论

本文通过对氯盐渍土的抗拉强度特性试验研究,得到了氯盐渍土试件单轴抗拉应力—应变曲线,分析了各因素对氯盐渍土试件单轴抗拉强度及变形的影响,得到了以下主要结论:

1) 随着拉应力的逐渐增大,拉应变也逐渐增大.曲线基本分为2段,前段应力增大比较明显,后段应变增长比较快,但并不符合双曲线形曲线无峰值点的特征,表现为硬化型曲线.

2) 试样抗拉强度随着干密度的增加而增加,但增加幅度与试样含水率和含盐量之间没有明显规律.

3) 在相同含盐量和干密度下,抗拉强度与含水率呈对数关系;在含水率 $\leq 15\%$ 时,最大拉应力随着含盐量的增加,先减小,后增大,最大拉应变随着含盐量的增加,先增大,后减小,拐点为含盐量 8% ;在含水率 $> 15\%$ 时,随着含盐量增加,抗拉强度减小,破坏拉应变随着含盐量的增加而增加.

(下转第39页)

方法.

表3 UHP法提取DP方差分析

因素	偏差平方和	自由度	$F/F_{0.05}$	显著性
A	2.382	2	1.615	显著
B	1.204	2	0.816	不显著
C	1.101	2	0.747	不显著
D	1.212	2	0.822	不显著
误差	5.90	8		

表4 UHP与其他方法的提取效果比较

方法	得率/%	所用时间/min
UHP	19.27	18
热水法	19.28	240
超声法	18.81	40

3 结论

本文采用超高压方法提取石斛多糖,在单因素实验的基础上采用正交试验优化提取工艺条件. UHP提取DP的优化工艺条件为:将原料粉碎到80目,按固液比1:20加水,然后将UHP压力设定为300 MPa,提取6 min,DP的得率可达到19.27%. 以UHP提取石斛多糖,利用UHP作用,可破坏石斛细胞的细胞壁,促进多糖溶出,具有时间短、节约能

(上接第25页)

4)相同含盐量下,随着含水率的增加,破坏拉应力减小,破坏拉应变增大.

参考文献:

- [1] 张卫国. 盐渍土地区工程质量常见病分析[J]. 科技情报开发与经济,2004,14(1):131.
- [2] 高福聚,俞然刚. 滨海盐渍土地区墙体和饰面侵蚀的防治措施[J]. 工业建筑,2000,30(1):38.
- [3] 李芳,高江平,陈建. 盐渍土盐胀对低层建筑的危害及其防治[J]. 土木工程学报,1999,32(5):46.
- [4] 耿树江. 青海西部盐渍土溶陷灾害对建筑物的影响及治理对策[J]. 中国减灾,1992,2(4):46.

耗等优点,是一种有效的提取石斛多糖的方法.

参考文献:

- [1] 刘莉,萧凤回. 石斛属药用植物多糖研究进展[J]. 现代中药研究与实践,2009,23(1):77.
- [2] 罗傲霜,淳泽,葛绍荣,等. 选鞘石斛多糖降血糖作用研究[J]. 应用与环境生物学报,2006,12(3):334.
- [3] 罗傲雪,宋关斌,淳泽,等. 选鞘石斛抗肿瘤作用研究[J]. 应用与环境生物学报,2007,13(2):184.
- [4] 郝杰,查学强,鲍素华,等. 霍山石斛不同分子量多糖体外抗氧化研究[J]. 食品科学,2009,30(15):94.
- [5] 邓银华,徐康平,谭桂山. 石斛属植物化学成分与药理活性研究进展[J]. 中药材,2002,25(9):677.
- [6] 范益军,何兴金,何涛,等. 正交设计优选金钗石斛多糖提取工艺研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(23):10999.
- [7] 周振鸣,来平凡. 铁皮石斛多糖的超声提取工艺研究[J]. 中外健康文摘,2008,5(5):100.
- [8] Zhang S Q, Zhu J J, Wang C Z. Novel high pressure extraction technology [J]. Int J of Pharmaceutics, 2004, 278:471.
- [9] 钟先锋,黄桂东,邓泽元,等. 荷叶多糖提取工艺的研究[J]. 食品与机械,2007,23(1):87.
- [5] 李伟. 包西铁路盐渍土工程地质性质研究及处理对策[J]. 山西建筑,2009,35(12):92.
- [6] Parry R H, Ajaz G, Discussion A. Behavior of compacted soil in tension [J]. Proc ASCE JGED, 1975, 101 (GT6):129.
- [7] 清华大学水利工程系土石坝抗裂研究小组. 黏性土抗拉特性的测量和对土石坝裂缝的初步研究[J]. 清华大学学报,1973(3):25.
- [8] 李永红. 氯盐渍土的强度和变形特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [9] 王毅红,王春英,李先顺,等. 生土结构的土料受压及受剪性能试验研究[J]. 西安科技大学学报,2006,26(4):469.