

文章编号: 1000-7598 (2010) 10-3260-05

以抗压强度确定麦秸秆加筋盐渍土的加筋条件

杨继位¹, 柴寿喜¹, 王晓燕², 魏 丽¹, 李 敏³

(1. 天津城市建设学院 天津市软土特性与工程环境重点实验室, 天津 300384; 2. 中水北方勘测设计研究有限责任公司 勘察院, 天津 300222;
3. 兰州大学 西部灾害与环境力学教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘 要: 滨海盐渍土具有盐胀、溶陷和吸湿软化等不良工程地质问题, 未经固化处理不能满足工程建设的强度和变形要求。借鉴合成纤维加筋土和草根土的研究成果, 初步确定包括加筋长度、质量加筋率、加筋形状和石灰掺加量等因素的麦秸秆加筋盐渍土的加筋条件。通过抗压强度试验和 Taguchi 正交试验设计优化方法, 确定最优加筋条件为: 加筋长度为 10 mm、加筋率为 0.25 %、形状为 1/4 圆弧状和石灰掺加量为 8 %。以麦秸秆作加筋与石灰共同加筋固化滨海盐渍土, 其抗压强度试验结果表明, 石灰+麦秸秆加筋盐渍土的抗压强度、抗变形能力和水稳性均优于石灰土和盐渍土。初步的研究成果对今后系统研究麦秸秆加筋滨海盐渍土的抗压强度、抗剪强度和变形特性等具有指导意义。

关 键 词: 抗压强度; 加筋土; 麦秸秆; 加筋条件; 滨海盐渍土

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

Suitable reinforcement conditions on the basis of compressive strength of reinforced saline soils with wheat straw

YANG Ji-wei¹, CHAI Shou-xi¹, WANG Xiao-yan², WEI Li¹, LI Min³

(1. Tianjin Key Laboratory of Soft Soil Characteristics and Engineering Environment, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China;
2. Institute of Investigation, China Water Resources, Beifang Investigation, Design and Research Co. Ltd., Tianjin 300222, China; 3. MOE Key Laboratory of Mechanics on Disaster and Environment in Western China, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Inshore saline soils have some engineering geological problems from salt expansion, dissolution and water absorption; without solidifying treatments, the saline soil cannot meet requirements in strength and deformation in construction. First on the basis of research results from reinforced soil with synthetic fiber and that with grass root, the type of reinforcement condition of wheat straw, including reinforced length, reinforced ratio, shape of wheat straw and added ratio of lime, were determined preliminarily. Then according to unconfined compressive strength test and Taguchi orthogonal design optimizing method, the best reinforcement condition is as follows: reinforced length of 10 mm, reinforced ratio of 0.25%, a quarter in shape of wheat straw, and added lime of 8%. It has been proved that compressive strength in air, anti-deformation and compressive strength in water of reinforced saline soil with wheat straw and lime is better than that of saline soil with lime and saline soil. The results will guide a direction for studying compressive strength, shear strength and deformation characteristics of reinforced saline soil with wheat straw.

Key words: compressive strength; reinforced soil; wheat straw; reinforcement condition; inshore saline soil

1 引 言

渤海湾西岸的浅层地基土为软土, 表层分布着滨海盐渍土, 属氯盐渍土类型, 具有盐胀、溶陷、腐蚀和吸湿软化所引起的不良工程地质问题, 未经改性固化处理不能满足工程建设的强度和变形要求。考虑以防腐处理后的麦秸秆与石灰共同加筋固化滨海盐渍土, 应对上述问题。

Manbeian^[1]采用直剪试验研究了大麦、苜蓿、向日葵的根系对土体抗剪强度的增强作用, 对植物纤维作加筋的原理进行了理论探讨; Park 等^[2]将合成纤维应用于路基填料中, 通过抗压强度试验, 确认纤维加筋对路基的抗压强度有明显的提高作用; 吴景海^[3]通过三轴压缩试验比较了 5 种土工合成材料对加筋砂土的加筋效果, 优选了土工合成材料, 阐述了加筋机制; 陈昌富^[4]借助三轴试验研究了草

收稿日期: 2009-07-02

基金项目: 国家自然科学基金课题 (No. 40772166); 天津市自然科学基金课题 (No. 07JCYBJC12900)。

第一作者简介: 杨继位, 男, 1981 年生, 硕士研究生, 主要从事加筋土技术的试验研究工作。E-mail: jiweiyang1981@163.com

通讯作者简介: 柴寿喜, 男, 1962 年生, 博士, 教授, 主要从事岩土体改性加固方面的研究工作。E-mail: chaishouxi@163.com

根加筋土的应力-应变及强度特性,总结了不同加筋条件的草根加筋土抗剪强度指标的变化规律,证实植物根系加筋土的强度特性与其他加筋土类似;张孟喜等^[5]通过三轴试验证明立体加筋不仅能提高砂土的黏聚力,也能增加内摩擦角;Prabakar^[6]通过抗压强度试验与直剪试验,证实不同加筋长度和不同加筋率条件下,剑麻纤维加筋土存在一个最大强度值。

借鉴合成纤维加筋土和草根土的研究成果,初步确定麦秸秆加筋滨海盐渍土的加筋条件;随即进行各种加筋条件的加筋土的抗压强度测试;最后,将 Taguchi 正交试验设计优化方法结合到抗压强度测试的优化比较中,以确定石灰+麦秸秆加筋滨海盐渍土的最优加筋条件。

2 试验仪器、材料及试样制备

2.1 试验仪器

在南京土壤仪器厂生产的 CBR-1 型承载比试验仪上进行抗压强度试验,选用规格 10 kN 的测力环,应变速率为 1 mm/min。

2.2 试验材料

麦秸秆整根长约为 70 cm,直径约为 3 mm,剥皮后切割成不同的长度。滨海盐渍土为塑性指数 15.8 的粉质黏土,石灰的有效钙镁成分为 70%。

2.3 试样制备

按含水率为 18%、干密度为 1.70 g/cm³,制备盐渍土试样、石灰+盐渍土试样及石灰+麦秸秆加筋盐渍土试样。试样直径为 50 mm、高度为 50 mm。

将麦秸秆放入水溶性液体高分子材料——改性的聚乙烯醇中,浸泡 3 d^[7],取出后风干备用。在盐渍土中加水,均匀拌和后装入塑料袋,密闭 1 d,第 2 d 再将石灰和麦秸秆拌和在土中。

在钢质模具内壁涂抹润滑油,避免脱模时对试样产生拖动,将混合料一次倒入试模内,两端的挤压钢柱出露长度一致,将模具放在反力架上,用千斤顶上下同时挤压。维持压力 3 min 后,用千斤顶将试样推出。每组制备 6 个试样,将试样放入恒温恒湿的养护箱中养护至规定的龄期。

3 麦秸秆的加筋条件

3.1 初定麦秸秆的加筋条件种类

选定麦秸秆的加筋长度为 5、10、15、20 和 25 mm。如此考虑是因为:① 麦秸秆呈圆筒状,相对于加筋土试样尺寸 50 mm 来讲,小于 5 mm 时,麦秸秆在土中相对呈颗粒状,不能起到线状方向的

抗拉作用;② 25 mm 以上的长度已经超过了试样的半径,加入麦秸秆后,加筋土易产生明显的各向异性;③ 掺加较长的麦秸秆,若不能完好地与盐渍土压实在一起,反而在试样中形成薄弱面,破坏试样的完整性。

李广信等^[8]将 0.1%~0.4%干土重的聚丙烯纤维掺加到土中,纤维加筋土的三轴试验结果证实,0.2%的纤维掺加量能达到最优的强度。考虑到麦秸秆为天然草本植物纤维,同时借鉴合成纤维加筋土的研究成果,初定麦秸秆的质量加筋率为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%。

机械收割的麦秸秆形状不规则,制样过程中完全模拟实际形状较为困难。本次试验仅考虑 3 种情况:① 圆筒状麦秸秆;② 将圆筒状麦秸秆压成扁平状;③ 1/4 圆弧状麦秸秆。

分别将 4%、6%、8%、10%、12%、14%、16% 干土重的石灰掺加到滨海盐渍土中,固化土的抗压强度试验结果证实,8%为最优掺加量^[9]。因此,确定石灰的掺加量为 8%。

3.2 利用抗压强度试验初选加筋条件

选取圆筒状麦秸秆,掺加 8%的石灰,制备不同加筋率和不同加筋长度的麦秸秆加筋土试样,养护 7 d 时进行抗压强度试验,用以选择麦秸秆的加筋条件。试验结果如图 1 和图 2 所示。

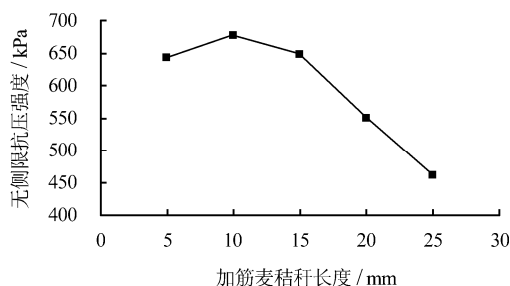


图 1 0.2%加筋率的加筋土抗压强度随加筋长度变化
Fig.1 Compressive strength vs. reinforcement length at reinforced ratio of 0.2%

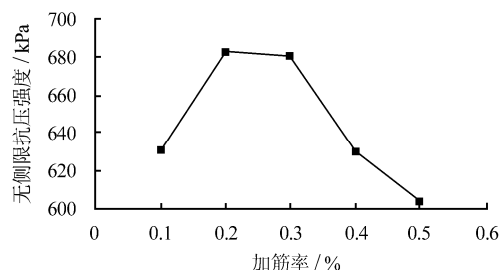


图 2 10 mm 长度加筋土的抗压强度随加筋率变化
Fig.2 Compressive strength vs. reinforced ratio at reinforced length of 10 mm

从图 1 可以看出, 固定加筋率为 0.2%, 加筋长度为 5、10、15 mm 时, 抗压强度的变化相对平稳, 每增加 5 mm, 抗压强度的数值变化量都不足 5%; 加筋长度大于 15 mm, 抗压强度开始下降, 每增加 5 mm, 抗压强度均下降 15%左右。因此, 初选麦秸秆的加筋长度为 5、10、15 mm。

图 2 显示, 固定加筋长度为 10 mm, 加筋率由 0.1%增至 0.2%, 抗压强度增加了 8%; 加筋率由 0.2%增至 0.3%, 抗压强度几乎没有变化; 从加筋率 0.3%开始, 抗压强度持续下降。

初选加筋率为 0.2%~0.3%。考虑到麦秸秆为轻质材料, 加筋率的微小变动都能使麦秸秆的根数改变较多, 所以, 决定在加筋率 0.2%~0.3%之间增加 1 个 0.25%的加筋率。

3.3 由 Taguchi 正交试验设计优化加筋条件

由前期试验结果初定加筋条件为: 加筋长度为 5、10、15 mm; 加筋率为 0.2%、0.25%和 0.3%; 筋材形状为圆筒状、扁平状和 1/4 圆弧状; 石灰掺加量为 8%。确定进行 Taguchi 正交试验时的影响因素为: 加筋长度、加筋率和筋材形状。

进行三因素、三水平的正交试验优化设计^[10], 即分别固定一种加筋条件, 通过改变其他加筋条件得出 9 组不同配比加筋土的抗压强度平均值, 对试验结果优化。因素与水平见表 1。正交试验安排表见表 2, 正交试验结果见表 3。

表 1 正交试验安排中的因素与水平
Table 1 Factors and levels in orthogonal design

水平	因素 1		因素 2		因素 3	
	编号	加筋长度 / mm	编号	加筋率 / %	编号	麦秸秆形状
1	A1	5	B1	0.20	C1	圆筒状
2	A2	10	B2	0.25	C2	扁平状
3	A3	15	B3	0.30	C3	1/4 圆弧状

表 2 正交试验安排表
Table 2 Orthogonal design

试验编号	加筋长度 / mm	加筋率 / %	麦秸秆形状
1 [#]	A1	B1	C1
2 [#]	A1	B2	C2
3 [#]	A1	B3	C3
4 [#]	A2	B1	C2
5 [#]	A2	B2	C3
6 [#]	A2	B3	C1
7 [#]	A3	B1	C3
8 [#]	A3	B2	C1
9 [#]	A3	B3	C2

表 3 正交试验试验结果
Table 3 Orthogonal results

试验水平	抗压强度 / kPa		
	因素 1	因素 2	因素 3
1	629.6	696.7	645.2
2	749.6	705.0	692.2
3	703.1	680.5	744.8

注: 因素 1、2、3 最优条件分别为 A2、B2、C3。

表 2 中, A1、A2、A3 分别表示加筋长度为 5、10、15 mm; B1、B2、B3 分别表示加筋率为 0.20%、0.25%、0.30%; C1、C2、C3 分别表示麦秸秆的形状为圆筒状、扁平状、1/4 圆弧状。

表 3 为 3 组试样的抗压强度平均值。依据表 3, 建立加筋长度、加筋率和加筋形状与加筋土抗压强度的关系, 分别如图 3~5 所示。

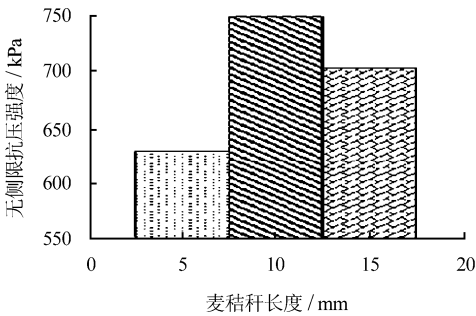


图 3 不同长度麦秸秆加筋土的抗压强度
Fig.3 Compressive strength of reinforced soil with wheat straw vs. reinforced length

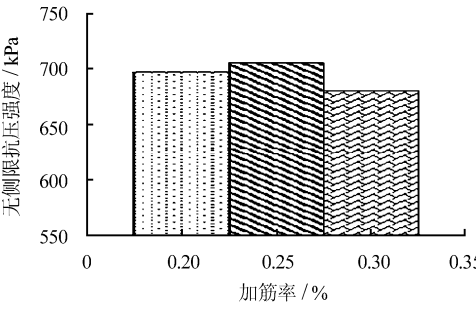


图 4 不同加筋率麦秸秆加筋土的抗压强度
Fig.4 Compressive strength of reinforced soil with wheat straw vs. reinforced ratio

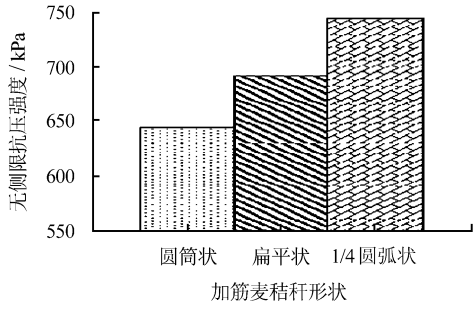


图 5 不同形状麦秸秆加筋土的抗压强度
Fig.5 Compressive strength of reinforced soil with wheat straw vs. shape of wheat straw

对照图 3~5, 选择石灰+麦秸秆加筋土的最优加筋条件如下: 加筋长度为 10 mm、加筋率为 0.25%、形状为 1/4 圆弧状、石灰掺加量为 8%。

4 加筋效果和影响因素分析

4.1 加筋效果

盐渍土、石灰土、石灰+麦秸秆加筋盐渍土在浸水和未浸水时的抗压强度试验结果见表 4。

表 4 加筋土和非加筋土的抗压强度
Table 4 Compressive strength in the condition of reinforcement and no reinforcement

浸水状况	抗压强度/kPa		
	石灰+麦秸秆加筋盐渍土	石灰土	盐渍土
未浸水	863	662	259
浸水	465	382	崩解

表 4 显示, 未浸水时, 石灰+麦秸秆加筋土的抗压强度分别比石灰土和盐渍土提高了 30%和 230%。浸水后, 盐渍土完全崩解; 而石灰+麦秸秆加筋土浸水后的抗压强度仍高出石灰土 22%。这表明, 麦秸秆起到了很好的加筋作用, 提高了土的力量; 土的水稳性则源于石灰的固化。

4.2 麦秸秆加筋土抵抗变形能力

盐渍土、石灰土和石灰+麦秸秆加筋土在抗压强度试验前后的形态见图 6。

受压时, 盐渍土产生横向变形, 中部鼓胀。由于试样的两端与加载装置间存在黏着力, 两端受到约束作用, 越靠近试样中部, 受到的约束作用越小。因此, 变形呈中间大、两端小。因没有掺加固化材料, 土体软弱, 呈典型的塑性破坏。

石灰土的横向变形总体较小, 中部和两端的变形大致相当。受压时, 试样产生了多条比较大的纵向和 45° 斜向裂纹, 在裂纹比较密集的地方, 有碎土块剥落。这是因为石灰的固化作用使土的抗压强度得以提高, 土体呈相对刚性所致。

石灰+麦秸秆加筋土的横向变形量和抗压强度值决定了加筋效果的发挥程度。加筋土的横向变形非常小, 试样只有很小的裂纹。因为受到外力作用时, 土颗粒间产生相互错动, 进而与麦秸秆间产生摩擦力, 通过筋土摩擦力和麦秸秆自身的抗拉性能, 提高了加筋土的整体性和抗压强度, 减小了土的竖向和横向变形。

4.3 养护龄期和浸水状况对抗压强度的影响

石灰土和石灰+麦秸秆加筋土浸水前后的抗压强度随养护龄期变化见图 7。

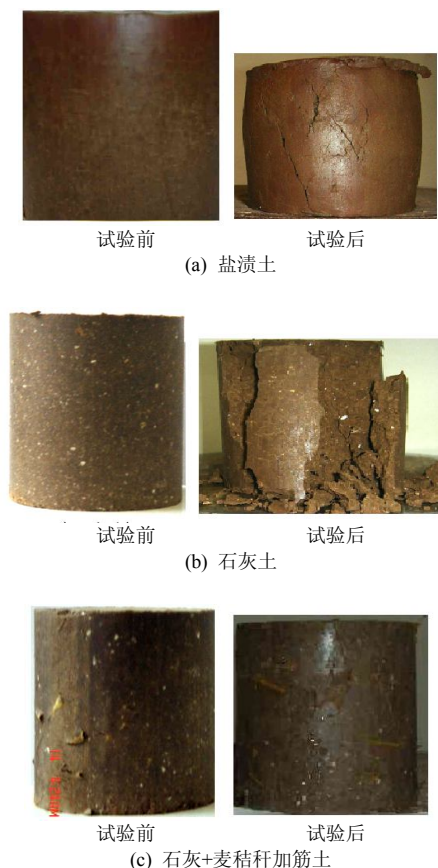


图 6 3 种土在试验前后的外观形态

Fig.6 Status afore and after fracture on saline soil, lime-soil and reinforced soil with lime and wheat straw

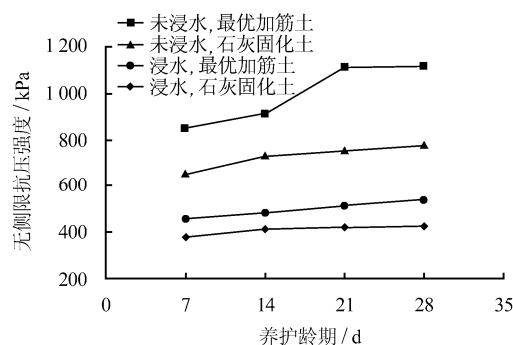


图 7 浸水和非浸水条件下石灰土和石灰+麦秸秆加筋土的抗压强度随养护龄期变化

Fig.7 Compressive strength vs. curing-day in the condition of saturated and no saturated

从图可以看出, 石灰+麦秸秆加筋土的未浸水和浸水抗压强度较石灰土分别提高了 36%和 22%。石灰+麦秸秆加筋土, 养护龄期从 7 d 增加到 14 d 时, 抗压强度提高了 8%; 从 14 d 增加到 21 d 时, 抗压强度提高了 22%; 从 21 d 增加到 28 d 时, 抗压强度仅提高了约 1%。这说明, 当养护到 21 d 时, 石灰+麦秸秆加筋土已形成了绝大部分强度, 这与石灰土的抗压强度增长规律相一致。麦秸秆的加筋效果主要体现在筋土作用上, 随养护龄期的增长,

土颗粒变粗、变硬,使得筋土摩擦作用增强。石灰+麦秸秆加筋土的后期强度增长则主要取决于石灰的反应程度,土的水稳性则源于石灰的固化作用。

5 结 论

(1) 麦秸秆与石灰共同加筋固化滨海盐渍土,在技术上是可行的。在土中随机拌和一定长度的麦秸秆,使加筋土成为“各向同性的土”,不会出现类似土工合成加筋材料与填土之间的薄弱面,有利于提高加筋土的抗压强度和整体性。

(2) 石灰+麦秸秆加筋土的最优加筋条件:加筋长度为 10 mm、加筋率为 0.25%、麦秸秆形状为 1/4 圆弧状、石灰掺加量为 8%。

(3) 抗压强度试验证实,在 7~28 d 的养护龄期中,到 21 d 时石灰+麦秸秆加筋土已形成了绝大部分强度,这与石灰土的抗压强度增长规律相一致。麦秸秆加筋提高了土的抗压强度和抗变形能力,石灰固化改善了加筋土的水稳性。

参 考 文 献

- [1] MANBEIAN T. The influence of soil moisture suction, cyclic wetting and drying, and plant roots on shear strength of cohesive soil[R]. Berkeley: University of California, 1973.
- [2] PARK T, TAN S A. Enhanced performance of reinforced soil walls by the inclusion of short fiber[J]. **Geotextiles and Geomembranes**, 2005, 23(4): 348—361.
- [3] 吴景海. 土工合成材料与土工合成材料加筋砂土的相关特性[J]. **岩土力学**, 2005, 26(4): 538—541.
- [4] 陈昌富, 刘怀星, 李亚平. 草根加筋土的室内三轴试验研究[J]. **岩土力学**, 2007, 28(10): 2041—2045.
- CHEN Chang-fu, LIU Huai-xing, LI Ya-ping. Study on grassroots-reinforced soil by laboratory triaxial test[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2007, 28(10): 2041—2045.
- [5] 张孟喜, 闵兴. 单层立体加筋砂土性状的三轴试验研究[J]. **岩土工程学报**, 2006, 28(8): 931—936.
- ZHANG Meng-xi, MIN Xing. Triaxial tests on sand reinforced with one-layer 3D reinforcement[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2006, 28(8): 931—936.
- [6] PRABAKAR J, SRIDHAR R S. Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behavior of soil[J]. **Construction and Building Materials**, 2002, 16(2): 123—131.
- [7] 魏丽. 麦秸秆加筋固化滨海盐渍土的筋材防腐与力学特性研究[D]. 天津: 天津城市建设学院, 2007.
- [8] 李广信, 陈轮, 郑继勤, 等. 纤维加筋黏性土的试验研究[J]. **水利学报**, 1995, 6(6): 31—36.
- LI Guang-xin, CHEN Lun, ZHENG Ji-qin, et al. Experimental study on fiber-reinforced cohesive soil[J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 1995, 6(6): 31—36.
- [9] 刘付华. 二灰和高分子材料固化滨海盐渍土作公路路堤填料试验研究[D]. 天津: 天津城市建设学院, 2006.
- [10] 杨继位. 麦秸秆加筋条件与加筋滨海盐渍土的抗压强度研究[D]. 天津: 天津城市建设学院, 2008.
- WU Jing-hai. Behavior of geosynthetics versus geosynthetics reinforced sand[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, 26(4): 538—541.
- CHEN Zheng-hong, MENG bin. Spatial and temporal distribution of rain-caused slopeslides and debris flows in Hubei Province and correlative analysis of rainfall factors[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 1994, 16(3): 62—69.
- [11] 毛以伟, 周月华, 陈正洪, 等. 降雨因子对湖北省山地灾害影响的分析[J]. **岩土力学**, 2005, 26(10): 1657—1662.
- MAO Yi-wei, ZHOU Yue-hua, CHEN Zheng-hong, et al. Analysis of influence of rainfall factors on mountain floods and geological disasters in Hubei Province[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, 26(10): 1657—1662.
- [12] 徐双柱, 王仁乔, 柯怡民, 等. 湖北省山洪灾害暴雨的中尺度分析[J]. **自然灾害学报**, 2006, 15(6): 101—105.
- XU Shuang-zhu, WANG Ren-qiao, KE Yi-min, et al. Mesoscale analysis of torrential flood-inducing rainstorm in Hubei Province[J]. **Journal of Natural Disasters**, 2006, 15(6): 101—105.
- [13] 李国军. 膨胀土地段铁路路基施工技术[J]. **铁道建筑**, 2007, (7): 23—24.
- LI Guo-jun. Construction technique of railway subgrade in areas with expansive clay[J]. **Railway Engineering**, 2000, (7): 23—24.
- [14] 周曾奎. 江淮梅雨的天气气候和环流形势特征[J]. **气象科学**, 1988, (4): 45—56.
- ZHOU Zeng-kui. Changjiang-Huaihe rains weather climate and circulation situation characteristic[J]. **Scientia Meteorological Sinica**, 1988, (4): 45—56.
- [15] 吕卫, 宫辉力. 地质灾害专题地图绘制研究[J]. **灾害学**, 1993, 8(3): 75—78.
- LÜ Wei, GONG Hui-li. Thematic mapping of geological disasters in research[J]. **Journal of Catastrophology**, 1993, 8(3): 75—78.

上接第 3259 页