

# 某护岸软土地基塑料排水板堆载预压监测及分析

金乐胜<sup>1</sup>, 何志刚<sup>1</sup>, 周亚东<sup>2,3</sup>

(1. 广东天信电力工程检测有限公司, 广州 510663; 2. 天津市软土特性与工程环境重点实验室, 天津 300384;  
3. 天津城建大学 土木工程学院, 天津 300384)

**摘要:** [目的]为研究塑料排水板堆载预压法处理软弱地基,当地基整体滑移失稳前,地基土的变形特征和所处状态。[方法]通过对某护岸软土地基整体滑移前的地基孔隙水压力、地表水平位移、地基土深层水平位移、地表沉降监测资料综合分析和研究。[结果]结果表明:地基失稳前,孔压消散率远未达到70%,而再次进行了加载;每级加载厚度过大,水平位移速率达20 mm/d,超过控制值4倍;地表沉降速率增大明显,发生突变。[结论]该案例数据分析,可为具有相同或类似条件的软土地基加固处理采用塑料排水板堆载预压法提供技术支持和宝贵经验。

**关键词:** 塑料排水板; 堆载预压; 排水固结; 加载间隙时间; 加载厚度; 整体滑移

**中图分类号:** TU433      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-8676(2019)S1-0147-06

## Monitoring and Analysis of Plastic Drain Plate Preloading Method for Soft Foundation of a Revetment

JIN Lesheng<sup>1</sup>, HE Zhigang<sup>1</sup>, ZHOU Yadong<sup>2,3</sup>

(1. Guangdong Tianxin Electric Power Engineering Testing Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;  
2. Tianjin Key Laboratory of Soft Soil Characteristics and Engineering Environment, Tianjin 300384, China;  
3. School of Civil Engineering, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** [Introduction] To study the deformation characteristics and state of soft foundation treated by plastic drainage plate preloading method before the whole foundation slides and becomes unstable. [Method] Through the comprehensive analysis and study of the monitoring data of pore water pressure, surface water horizontal displacement, deep horizontal displacement of foundation soil and surface subsidence before the integral sliding of revetment foundation. [Result] The results show that the dissipation rate of pore water is far from 70% before the instability of foundation and the load is carried out again. The horizontal displacement rate is 20 mm/d, which is 4 times higher than the control value. [Conclusion] The analysis of the case data can provide technical support and valuable experience for the plastic drainage plate preloading method in soft soil foundation reinforcement with the same or similar conditions.

**Key words:** plastic drainage plate; surcharge preloading; drainage consolidation; loading gap time; loading thickness; overall slip

我国珠三角地带广泛分布着饱和厚层淤泥及淤泥质软土,其特点是含水量高,孔隙比大,压缩性高等。在这种地基上兴建构筑物前,需要采取措施进行处理,以增加密实度,减少压缩性,提高抗剪强度及地基承载力。塑料排水板堆载预压法以其

施工简单易行、加固效果好、经济利益明显等特点得到了较为广泛的运用。

前人对该方法加固软基的机理、稳定性分析、施工参数等做了相关的研究<sup>[1-4]</sup>,同时大部分工程试验和案例采用该方法获得了较好的地基处理效果<sup>[5-9]</sup>,但在堆载过程中,也发生过由于加荷过快而失稳的工程案例<sup>[10]</sup>。本文结合塑料排水板堆载预压法处理某护岸软土地基工程,对软土地基整体滑移的原因和监测数据进行深入分析,为类似工程提供有价值的参考。

收稿日期: 2018-09-04      修回日期: 2018-09-27

基金项目: 国家自然科学基金项目“考虑饱和度变化的电渗固结模型与吹填软土快速固结试验研究”(51608351)

## 1 工程概况

护岸工程岸线为南北向,长约1 810 m。根据现场实际情况,护岸采用两种结构形式:南段500 m是在已场地平整的基础上进行清淤、抛填碾压块石基床,斜坡堤护坡处理;由于北段地基为软弱土层,填土及淤泥大部分有6.0~11.8 m厚,因此采用土工格栅加塑料排水板固结法处理地基,分层碾压开山土筑斜坡堤,大块石护坡、护底,并将北段淤泥较深段(长约240 m)作为试验段。试验段由于加载速率过快及加载厚度过大,导致2010年12月29日凌晨发生滑移,12月29日滑移段卸载填土约1.2 m厚,防止地基变形进一步增大。此次滑移,造成试验段的小石坝变形、淤泥隆起、背水面形成的明沟,整体滑移距离约4 m。滑移后,护岸沿轴线方向开裂,形成明沟,见图1;小石坝变形、淤泥隆起,见图2。



图1 护岸沿轴线方向开裂  
Fig. 1 Cracking of revetment axis



图2 小石坝变形和淤泥隆起  
Fig. 2 Small rock dam deformation and silt uplift

## 2 工程地质

勘察场地地层和岩性都较为简单,基岩主要为燕山期的侵入岩,各岩土层自上而下描述如下:

1)素填土(层号①):灰、灰黄、灰褐等色,层厚度一般厚度为1.0~2.0 m。

2)淤泥(层号②):深灰、灰黑色,饱和、流塑;该层厚度一般为4.4~8.6 m,部分地段较薄,为0.4~3.4 m,部分地段较厚,为10.1~10.8 m,平均厚度为6.4 m,该层全场分布,沿护岸轴线方向层厚度较为均匀,沿护岸横切面方向层厚度变化相对较大,大体呈内侧薄、外侧(靠湖一侧)厚。

3)粗砂(层号③<sub>1</sub>):深灰色,灰色为主,饱和,稍密~中密为主,该层分布于护岸北端,呈透镜体状分布,层厚度为1.1~4.3 m。

粉质粘土(层号③<sub>2</sub>):灰黄色,灰白色为主,湿,可塑,层厚度1.5~4.5 m。

粉质粘土(层号③<sub>3</sub>):棕黄色,灰黄色,很湿,软塑;该层在局部钻孔中有分布,层厚度3.1 m。

泥炭质土(层号③<sub>4</sub>):灰褐色,很湿,软塑;见于个别钻孔,呈透镜体状分布,层厚度2.0 m。

4)砾质粘性土(层号⑤<sub>1</sub>):棕红色,花斑色,稍湿,硬塑,层厚度一般为1.1~9.7 m,平均厚度为5.9 m。

砾质粘性土(层号⑤<sub>2</sub>):棕红色,花斑色,湿,可塑,层厚度一般为1.7~3.4 m。

5)场地基岩为燕山三期花岗岩,根据风化程度划分为全风化花岗岩、强风化花岗岩、中等风化花岗岩、微风化花岗岩。

## 3 施工工艺

1)在护岸基础范围内整理场地、清除树根、杂草等垃圾,填土到标高1.00 m,再填500 mm中、粗砂,靠江边用碎石滤层、块石保护。

2)施工塑料排水板,塑料排水板矩形布置,间距1.00 m,长度应根据地质资料确定,大约8 m~12 m,并保证穿透淤泥层,伸入下卧粘性土层,上面砂层各500 mm。

3)分层铺设土工格栅,每层间距300 mm,共四层,之间填中、粗砂,搭接长度不少于1.00 m,土工格栅施工时拉伸受力方向应垂直堤轴线,并应尽快覆盖保护,以免日晒老化。

4) 埋设监测设备, 监测项目包括: (1) 地基土表面沉降; (2) 地表面坡趾外地表土水平位移; (3) 地基深层土的水平位移; (4) 地基土孔隙水压力。

5) 分层回填碾压 150 ~ 200 kg 块石反压护底, 护底厚度不低于 2.0 m。

6) 分层碾压开山土, 每层厚度 300 mm, 推平碾压 6 ~ 8 遍, 压实系数 > 0.94。

7) 超载预压十二个月后沉降趋向稳定后, 方可进行卸载、理坡, 卸载土方堆放在堤后坡脚处。

8) 护岸迎水面边坡按 1 : 2.5 修理成型后, 每一工序需验收合格后才能进行下一工序的施工。

9) 施工 C20 砼压顶, 排水沟, 栏杆, 临时道路, 植草护坡, 每隔 20 m 设置伸缩缝, 排水沟, 栏杆为钢筋砼结构。

### 4 监测结果分析

本文仅对试验段监测情况进行分析。试验段中央处设立一个监测断面, 该段淤泥厚度约 10 m。监测项目包括地基土孔隙水压力、地表面坡趾外地表土水平位移、地基深层土的水平位移和地基土表面沉降。监测仪器埋设见图 3。由于监测设备埋设时, 试验段已经堆载达到一定厚度, 故以下分析仅针对监测设备埋设完后所测得的数据。

#### 4.1 孔隙水压力

《孔隙水压力测试规程》<sup>[11]</sup> (CECS 55: 93)

4.1.4 条: 加载间隙时间的控制应满足孔隙水压力

的消散率达到 70% (孔隙水压力的消散率为各级荷载下孔隙水压力消散量累计值与孔隙水压力增量累计值之比)。据此, 可将孔隙水压力消散率计算表现为下式(1):

$$U = \frac{u_{\max} - u_t}{u_{\max} - u_0} \quad (1)$$

式中:  $U$ ——孔隙水压力消散率;  $u_{\max}$ ——最大孔隙水压力;  $u_t$ ——当前孔隙水压力;  $u_0$ ——初始孔隙水压力。

图 4 为填土厚度 - 孔隙水压力 - 时间曲线图。从图中可以看出, 入淤泥 8.2 m 处探头较 3.2 m 处探头所测孔隙水压力小, 这和淤泥层下存在一层粗砂层有关, 即存在双向排水通道。

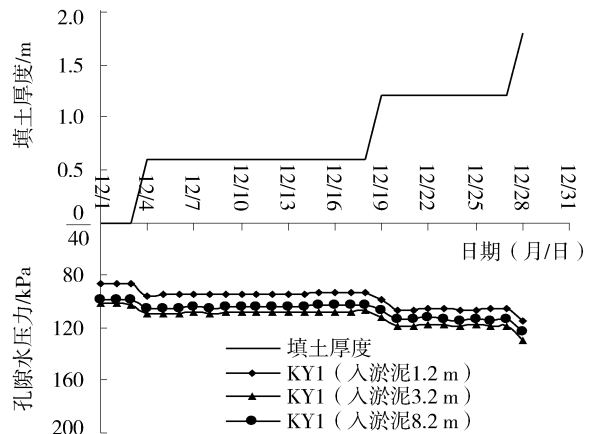


图 4 填土厚度 - 孔隙水压力 - 时间变化曲线  
Fig. 4 Soil thickness-pore water pressure-time curve

在 2010 年 12 月 4 日、12 月 19 日、12 月 28 日

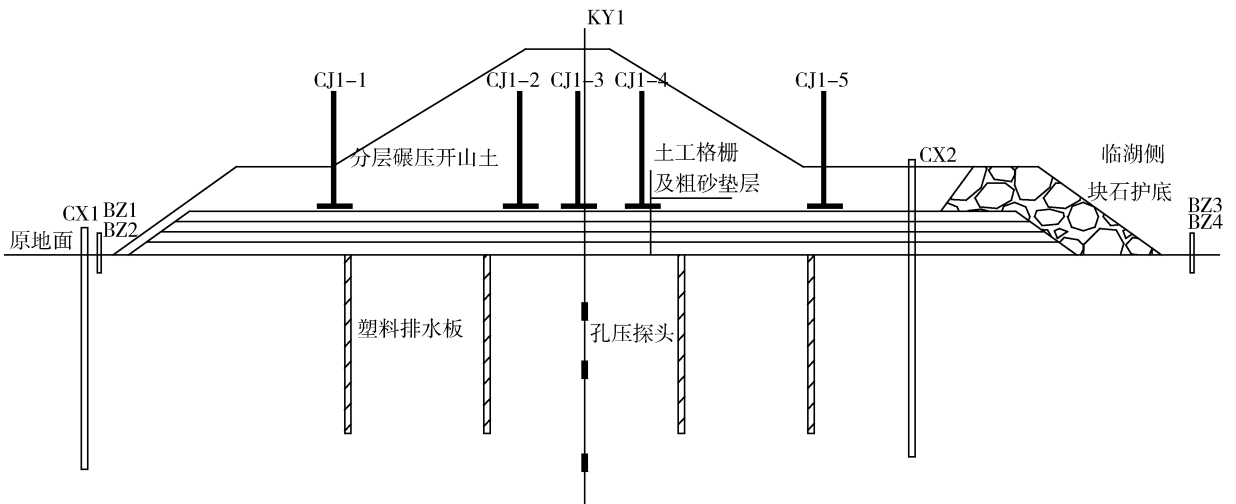


图 3 监测点剖面示意图

Fig. 3 Schematic diagram of monitoring points

堆载碾压后,不同深度处孔隙水压力均有明显升高。根据公式(1),可计算出下级堆载前12月18日和12月27日孔压消散率见表1。

表1 KY1孔孔隙水压力及消散率

Tab. 1 Pore water pressure and dissipation rate of KY1 hole

日期	KY1 孔隙水压力/kPa			KY1 孔隙水压力消散率(%)		
	(入淤泥	(入淤泥	(入淤泥	(入淤泥	(入淤泥	(入淤泥
	1.2 m)	3.2 m)	8.2 m)	1.2 m)	3.2 m)	8.2 m)
2010-12-1	85.97	102.00	98.33	—	—	—
2010-12-4	95.40	109.90	106.00	—	—	—
2010-12-18	93.99	107.44	102.99	14.91	31.16	39.25
2010-12-21	106.28	118.91	114.20	—	—	—
2010-12-27	105.63	119.27	113.01	3.20	0.00	7.46
2010-12-28	115.63	130.27	123.01	—	—	—

表1中以12月1日为孔隙水压力起点,而实际上12月1日以前试验段护岸已经堆载到一定高度,12月1日所测孔隙水压力相比初始地基孔隙水压力会有所偏高,故表1中计算出的孔压消散率相应的偏高。即便如此,12月19日和12月28日堆载前孔压消散率也远未达到70%。而施工方为加快施工进度,盲目进行堆载,致使12月29日凌晨,该段向湖边发生整体滑移约4 m。每级加载的间隙时间不够,致使堆载后孔隙水压力消散率达不到规范要求是本次事故的一个重要原因。

### 4.2 地表水平位移

图5、图6分别为地表土水平位移和水平位移速率随时间变化曲线图。图6中可以看出:在12月4日、12月19日和12月28日三次堆载后,临湖一侧的水平位移观测点BZ1-3位移速率分别为9 mm/d、8 mm/d和20 mm/d, BZ1-4位移速率分别为8 mm/d、8 mm/d和21 mm/d。设计控制堆载时水平位移速率为5 mm/d。由此可见,当堆载时水平位移速率接近2倍控制值时,地基还能勉强保持不失稳状态。当堆载时水平位移速率为4倍控制值时,应该采取卸载等必要措施,否则,地基会由于侧向位移过大而发生整体滑移。设计堆载厚度为每次300 mm厚开山土,而实际施工时候每次约600 mm厚开山土,每级加载厚度过大,致使地基水平位移速率严重超标是本次事故的另一个重要原因。

### 4.3 深层水平位移

图7为临湖一侧地基深层水平位移曲线图,可

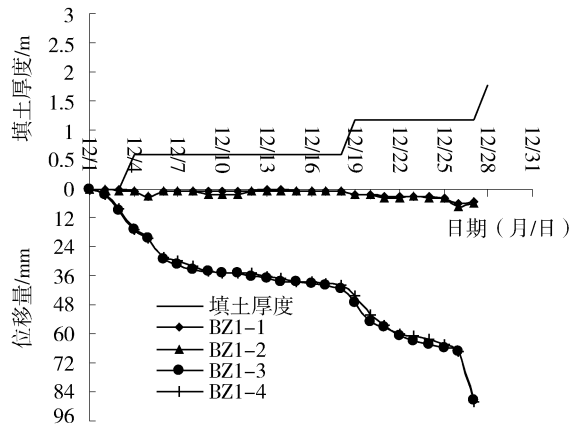


图5 填土厚度-水平位移-时间变化曲线

Fig. 5 Soil thickness-horizontal displacement-time curve

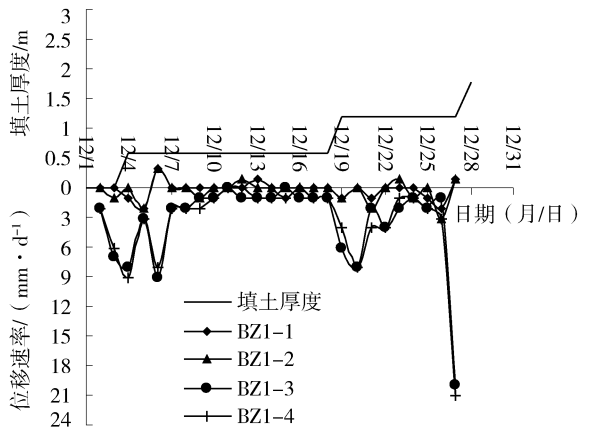


图6 填土厚度-水平位移速率-时间变化曲线

Fig. 6 Soil thickness-horizontal displacement rate-time curve

以看出位移主要发生在地面以下7.0 m深度范围(为了图面清晰,部分日期数据没反映在图中)。在12月4日、12月19日和12月28日三次堆载后,最大水平位移速率均发生在地表,位移速率分别达到8 mm/d、6 mm/d和21 mm/d,12月28日堆载时,水平位移速率已严重超过设计控制值5 mm/d。另外,比较图6和图7,不难发现,图7中深层累计地表水平位移速率和图6中地表土水平位移速率基本一致,这也相互验证了两种测试手段得到的数据的准确性。

### 4.4 地表沉降

图8、图9分别为地表沉降和沉降速率随时间变化曲线图。图9可以看出:12月19日和12月28日两次堆载后,五个沉降板沉降速率均明显增加,图中反映为存在突变点。尤其当12月28日堆载后,CJ1-2、CJ1-3和CJ1-4最大沉降速率分别



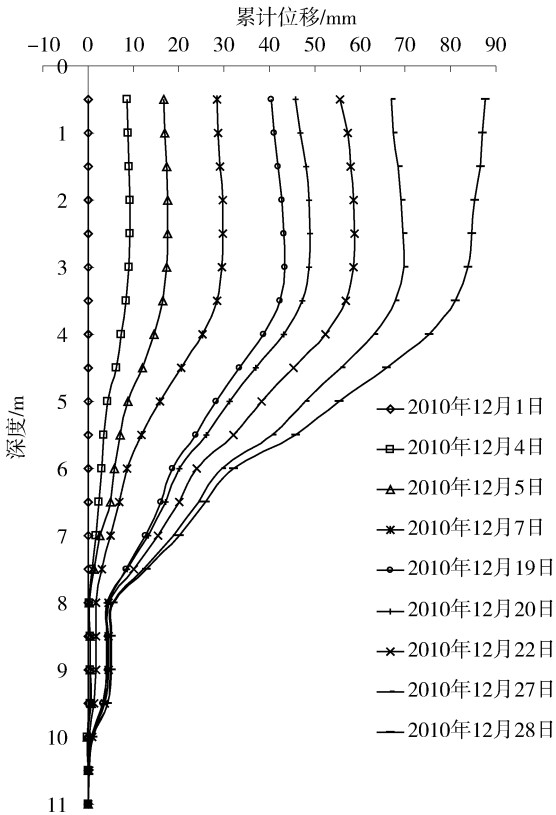


图7 CX2孔深与位移关系曲线图

Fig. 7 Relationship curves between depth and displacement of CX2 bore

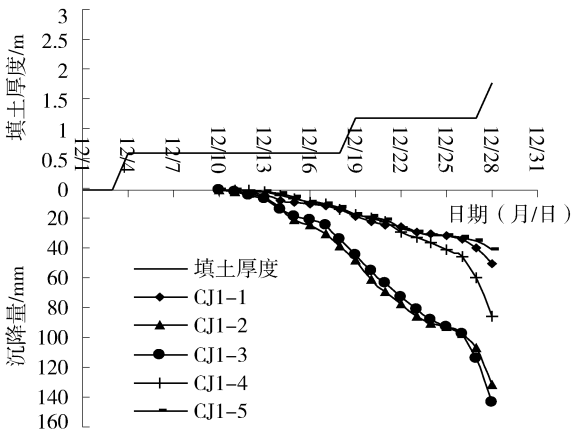


图8 填土厚度 - 沉降 - 时间变化曲线

Fig. 8 Soil thickness-settlement-time curve

达到 24 mm/d、29 mm/d 和 26 mm/d, 超过 15 mm/d 的设计控制值。

### 5 结论

通过对本工程的监测数据分析, 得出以下结论:

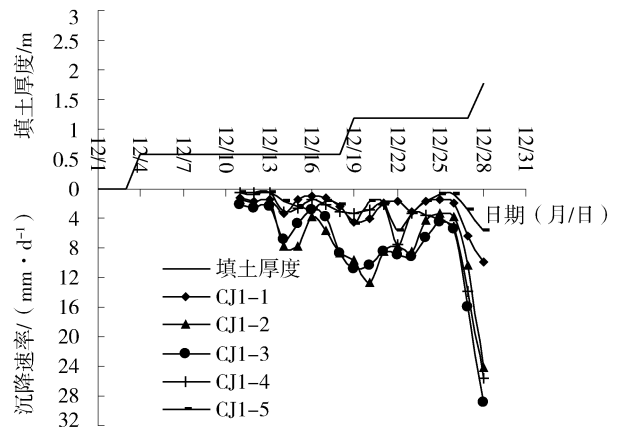


图9 填土厚度 - 沉降速率 - 时间变化曲线

Fig. 9 Soil thickness-settlement rate-time curve

1) 排水板堆载预压法处理软基时, 每级加载的间隙时间由堆载后孔隙水压力消散率确定。孔压消散率没达到规范要求值或者设计控制值, 而盲目继续堆载容易造成地基滑移。

2) 每级加载厚度宜按照设计值执行。当堆载时水平位移速率接近 2 倍控制值时, 地基还能勉强保持不失稳状态; 当堆载时水平位移速率为 4 倍控制值时, 应该采取卸载等必要措施, 否则, 地基会由于侧向位移过大而发生整体滑移。

3) 深层累计水平位移和地表水平位移监测数据可以相互比较对照, 本工程中深层累计地表水平位移速率和地表土水平位移速率基本一致, 相互验证了数据测试的准确性。

4) 地表沉降速率随时间变化曲线图中存在突变点时, 应加强观测并结合其他监测项目综合分析地基的稳定状态。

### 参考文献:

[1] 陈泽虎, 何开胜, 章杰. 江滩深厚软土地基堆载预压稳定分析和评价 [J]. 低温建筑技术, 2018, 40 (3): 138-141 +145.  
 CHAN Z H, HE K S, ZHANG J. Stability analysis and evaluation of deep thick soft clay on flood plain during surcharge preloading [J]. Low Temperature Architecture Technology, 2018, 40(3): 138-141 +145.

[2] 沈建东. 塑料排水板堆载预压法处理软土地基的工后沉降控制研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.  
 SHEN J D. Study on settlement-control of preloading method used to treat soft clay foundation [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.

[3] 邹海文, 张国联, 王首昊. 堆载预压塑料排水板参数研究

- [J]. 施工技术, 2017, 46(9): 71-74 +82.
- ZOU H W, ZHANG G L, WANG S H. Study on parameters of plastic drainage plate for surcharge preloading [J]. Construction Technology, 2017, 46(9): 71-74 +82.
- [4] 张国联, 邹海文, 王玉奇, 等. 堆载预压处理滨海软基三维数值分析 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2017, 38(12): 1780-1784.
- ZHANG G L, ZOU H W, WANG Y Q, et al. Three-dimensional numerical analysis of coastal soft soil foundation consolidation by surcharge preloading [J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 2017, 38(12): 1780-1784.
- [5] 谭南柏, 王谦. 插排水板堆载预压地基处理方案分析——以某滨海核电站取水明渠工程为例 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(3): 100-103 +111.
- TAN N B, WANG Q. Application of plastic drainage plate combined with surcharge preloading: a case study of water intake channel in a nuclear power plant [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(3): 100-103 +111.
- [6] 王祥, 周顺华, 顾湘生. 塑料排水板堆载预压处理深厚软基的试验研究 [J]. 岩土工程技术, 2004(4): 172-176 +186.
- WANG X, ZHOU S H, GU X S. Experimental study on the deep and thick soft ground treated with prefabricated vertical drains combination with heaped-preloading [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2004(4): 172-176 +186.
- [7] 黎玉, 王齐仁. 塑料排水板堆载预压法软基加固监测分析 [J]. 福建建筑, 2010(9): 80-82.
- LI Y, WANG Q R. Evaluation on monitoring data of reinforcing soft clay foundation by preloading accumulating load method with plastic drain plate [J]. Fujian Architecture & Construction, 2010(9): 80-82.
- [8] 肖策, 褚丝绪, 姜云龙, 等. 塑料排水板堆载预压法在软基处理中的应用 [J]. 施工技术, 2012, 41(1): 64-68.
- XIAO C, CHU S X, JIANG Y L, et al. Application of preloading method with plastic drainage plate in soft soil foundation treatment [J]. Construction Technology, 2012, 41(1): 64-68.
- [9] 李向群, 苑成旺, 张亮. 堆载预压法加固软弱地基效果分析 [J]. 吉林建筑大学学报, 2016, 33(4): 21-24.
- LI X Q, YUAN C W, ZHANG L. The analysis of effect of preloading method to soft foundation reinforcement [J]. Journal of Jilin Jianzhu University, 2016, 33(4): 21-24.
- [10] 徐晓斌, 肖广平, 王清, 等. 真空联合堆载预压软土路基失稳分析 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(增刊1): 107-110.
- XU X B, XIAO G P, WANG Q, et al. Instability analysis of soft foundation with vacuum-surcharge preloading [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(Supp. 1): 107-110.
- [11] 中国工程建设标准化协会. 孔隙水压力测试规程: CECS 55—93 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
- China Association for Engineering Construction Standardization. specifications for pore pressure measurement: CECS 55—93 [S]. Beijing: China Planning Press, 1993.

#### 作者简介:



JIN L S

金乐胜(通信作者)

1983-, 男, 湖北荆州人, 高级工程师, 注册岩土工程师, 华南理工大学岩土工程硕士, 主要从事地基加固、岩土工程测试工作及数值计算研究(e-mail) jinglesheng123@163.com.

(责任编辑 李辉)

