



# 充填粉土的大尺度土工织物充填袋参数分析

武霄<sup>1</sup>, 白帆<sup>2</sup>

(1. 中交天津港湾工程研究院有限公司 港口岩土工程技术交通行业重点实验室 天津市港口岩土工程技术重点实验室, 天津 300222; 2. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

**摘要:** 通过工程实例, 得出粉土作为充填物的大尺度土工织物充填袋的各项参数, 给出充填压应力与袋体周向拉力之间的关系, 并得出一定规格的土工织物充填袋的填筑流失率。通过分析地基沉降位移数据, 在确保地基稳定的条件下, 调整了沉降位移控制标准, 使施工效率得到提高, 且缩短了施工工期, 降低了施工成本。

**关键词:** 粉土; 土工织物充填袋; 大尺度; 充填压应力; 流失率; 沉降位移; 控制标准

中图分类号: U 655.54<sup>4</sup>

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)12-0183-05

## On parameters of large-scale silt-filling geotextile bag

WU Xiao<sup>1</sup>, BAI Fan<sup>2</sup>

(1. PRC Key Laboratory of Port Geotechnical Engineering of Tianjin, Key Laboratory of Port Geotechnical Engineering Ministry of Communications, CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd., Tianjin 300222, China;  
2. CCCC-Fourth Harbour Consultants Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

**Abstract:** Based on the project example, we obtain the parameters of large-scale geotextile bag filled with silt, give the relationship between the filling pressure stress and circumferential force between the bag bodies, and get the turnover rate of the filling bags of certain specifications. Based on the analysis of the foundation's settlement displacement, we adjust the standard controlling the settlement displacement under the prerequisite of guaranteeing the stability of the foundation, and achieve the objective of improving the construction efficiency, shortening the construction period, and cutting down the construction cost.

**Key words:** silt; geotextile bag; large scale; filling pressure stress; erosion rate; displacement; control standard

在连云港港口被国家规划为主枢纽港后, 连云港加快了建设的步伐, 陆续开工建设了海滨新城、25万吨级矿石、10万吨级氧化铝、液体化工等诸多陆域形成工程。陆域形成一般首先构筑围埝、驳岸作为工程的围护建筑, 然后吹填淤泥作为陆域基础。连云港港口传统的围埝结构为爆破挤淤抛石堤。近年来, 随着国家对炸药及山体开采的控制越来越严格, 石料价格节节攀升。出于节约成本的目的, 围埝结构多趋向采用土工织物充填袋埝体代替传统的爆破挤淤抛石结构。

土工织物充填袋埝体是利用土工织物的隔

离、排水和防护功能, 将土工织物制成袋体, 利用泥浆泵向袋内充填砂土或其他可替代材料而进行的一种施工技术<sup>[1]</sup>, 它具有对软土地基适应力强、整体连续性好, 施工速度快、造价低等优点。

以往国内外专家对土工织物充填袋各项参数进行诸多研究。针对砂这种充填物, 作如下假设: 1) 忽略充填过程中土工织物的延伸; 2) 忽略袋体由浮力引起的应力下降; 3) 将介于椭圆形和矩形之间的土工织物充填袋的一般形状看成端部为半圆形、顶部平坦的袋状体。在理论假设条件下, 根据简单的力学平衡分析袋

收稿日期: 2013-03-11

作者简介: 武霄(1982—), 男, 工程师, 主要从事码头、陆域及防波堤监测检测工作。

体的形状及受力特点：1) Kazimierowicz<sup>[2]</sup>对圆柱形砂肠的二维变形和袋体周向拉力进行了简要分析；2) Leshchinsky等<sup>[3]</sup>提出了充填袋的几何形状、周向应力及轴向应力的计算分析理论方法；3) 在一定泵压下，充填过程中土工织物充填袋的横截面形状变化和袋体周向拉力变化，Palut和Suherman<sup>[4]</sup>给出了较明确的结论；4) Zhang等<sup>[5]</sup>详细研究了充填过程中土工织物充填袋的横截面形状、周向拉力同泵压之间的关系。近年来，工程用砂量的急剧增大导致了砂源紧张和工程用砂价格攀升，为了就地取材与节约成本，邱长林等<sup>[6]</sup>对粉土做为充填物的充填袋进行了受力特性分析，并进行了可行性试验。

### 1 依托工程概况

连云港某围埝使用粉土作为充填物进行大型土工织物充填袋围埝施工。该工程位于淤泥质滨海滩涂地带，揭露地层主要为第四系全新统海相沉积层和海陆交互层：上部为淤泥层，层面较平稳；中

部为硬塑-可塑黏土层，层面较平稳；下部主要为砂土层，层面起伏较大。各土层分布如下：

①淤泥：灰褐、灰黑色，流塑，含腐植质和粉土夹层，局部夹贝壳屑，揭露层厚6.50~8.10 m，平均层厚7.28 m；

②黏土：灰色、灰黄色，硬塑-可塑，含铁锰质浸染，夹蓝灰色条纹，局部夹粉土薄层，层顶含大量钙质结核及铁锰质结核，揭露层厚1.30~5.30 m，平均层厚3.94 m；

③粉细砂：黄灰色，饱和，中密-密实，级配差，含云母碎片，局部夹黏土薄层，该层未揭露。

其中工程主要影响土层（淤泥层）物理力学指标较差，含水率平均值约为60%，孔隙比1.6~2.1，压缩系数 $1.52 \sim 2.04 \text{ MPa}^{-1}$ ，压缩模量 $0.9 \sim 1.7 \text{ MPa}$ ，粘聚力为 $2.1 \sim 8.2 \text{ kPa}$ ，内摩擦角 $0.6^\circ \sim 2.5^\circ$ 。

设计围埝全长3 200 m，埝顶高程+3.5 m，埝身外坡采用混凝土栅栏板护坡，内侧吹填，底部采用软体排护底，围埝断面如图1所示。

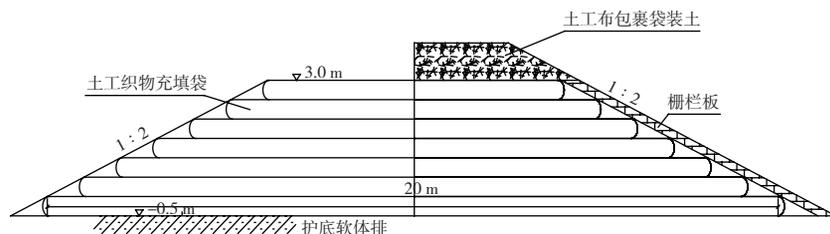


图1 围埝的设计断面

充填袋袋体采用防老化丙纶编织布，单位面积质量 $(140 \pm 10) \text{ g/m}^2$ ，等效孔径 $<0.09 \text{ mm}$ ，垂直渗透系数 $10^2 \sim 10^3$ ，周向抗拉强度 $1\ 200 \text{ N} (5 \text{ cm})$ ，CBR顶破 $N > 2500$ ，底部充填袋周长为41 m。堤心采用砂质粉土充填，塑性指数约为6，顶面泥浆密度约为 $1\ 200 \text{ kg/m}^3$ ，泥浆密度斜率取 $100 \text{ kg/m}^4$ 。

土工织物充填袋填筑工艺为：清理基床并整理边坡、铺设土工织物充填袋、对袋体进行张拉定位、分次进行充灌填料、充填结束后进行泵浆扫平、如高程不足则进行充填袋加高。

填筑过程中关键控制点如下：

1) 袋体铺设、张拉及定位：袋体与设计轴线平行纵向铺设，铺设最底层袋体时采用竹竿（或

功能相当的其他物体）定位，采用GPS准确定位充填袖口坐标。

2) 充灌填料：充填一般分2次或多次完成，在袋体位置确保固定的情况下，逆潮流方向进行充灌，充填过程中高频率检查充填管口的泥砂堆积情况，并及时调整充填管口位置；充填过程中采用人工或轻型机械的方式踩踏袋体顶面，可提高充填平整度，促使充填物充填均匀、密实，当充填袋达到屏浆时，应降低充填速率直至停止充填。

3) 控制袋体厚度：根据充填袋堤心设计断面控制每层充填袋厚度，充填袋厚度控制在50~60 cm。

4) 袋体铺放及搭接：袋体铺放采用阶梯式向前推进的方式，为避免形成通缝，相邻两层间的

充填袋应错缝铺设搭接, 搭接缝错位长度应不小于3.0 m。

为确保施工过程中袋体及埤体地基的安全稳定, 为后续施工提供更有效的施工控制参数, 首先进行一个试验段施工, 试验段长度为一个袋体长度10 m, 共有7层袋体, 在试验段进行了如下几方面研究分析:

1) 在充填过程中监测袋体周向拉力值, 并得出其与充填压应力之间的关系, 这是因为一定的充填压应力将使充填袋袋体产生一定的拉力, 为使充填过程中充填袋不被撕裂, 需确保在整个充填过程中, 土工织物充填袋所受到的拉力值严格小于袋体材料的抗拉强度值;

2) 监测粉土作为充填物充填的流失率, 并与常规砂质充填物进行对比;

3) 监测充填袋埤体填筑时, 埤体地基的沉降位移数据, 由于现行的沉降位移控制标准较严格, 故在确保埤体地基稳定的条件下, 寻求调整控制标准的可能性, 以期达到缩短工期、降低成本的目的。

## 2 袋体参数及稳定变形数据分析

### 2.1 袋体周向拉力与充填压应力间数据分析

袋体周向拉力监测采用应变计测量, 充填压应力可由充填设备上读取, 根据Palut等的研究结果可知, 充填袋体的周向拉力和充填压应力之间有直接的关系, 试验段施工过程中监测的充填压应力和对应的袋体周向拉力值之间的关系如图2所示。

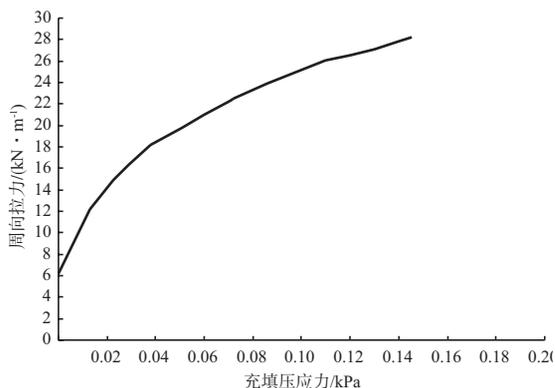


图2 测量得到的周向拉力和充填压应力之间的关系

图2曲线显示, 当充填压应力值由零值在较小

值范围内增大时, 周向拉力值增大趋势较显著, 两者变化关系成曲线, 这和文献[3,5]及邱长林等对其研究结果一致, 试验段选用袋体的周向抗拉强度为1 200 N (5 cm), 为确保袋体安全, 故须使充填袋在低充填压应力条件下进行施工, 监测到的极限充填压应力值为0.087 kPa, 考虑到本工程设计的安全系数值为1.5, 故选取充填袋充填压应力不大0.029 kPa, 充填袋的周向拉力不大于16.31 kN/m。

### 2.2 流失率分析

流失率监测采用充填泥泵流量与袋体最终容量对比测量, 土工织物充填袋共7层, 分别测量每层充填袋填料实际流失率, 实测结果见表1。

表1 土工织物充填袋实测流失率

土工织物充填袋	填筑高度/m	充填量/m <sup>3</sup>	充填后袋体存量/m <sup>3</sup>	流失量/m <sup>3</sup>	流失率/%
第1层	0.50	146.6	96.0	50.6	34.5
第2层	1.05	131.3	92.1	39.2	29.9
第3层	1.56	111.5	78.3	33.2	29.7
第4层	2.08	95.9	69.2	26.7	27.9
第5层	2.53	73.5	50.8	22.7	30.9
第6层	3.05	67.3	47.8	19.5	28.9
第7层	3.51	47.0	33.5	13.5	28.7

由表1可知, 粉土作为充填物的平均流失率为30.1%, 与常规砂质填料(流失率<25%)<sup>[7]</sup>相比, 流失率较高, 这是因为填筑料为砂质粉土, 粒径较小, 由于工程场区有大量的粉土, 获取相当容易, 成本较低, 相比采用砂作为充填物经济效益相当可观, 初设方案对比结果显示在流失率不大于35%的情况下, 成本节约约11%, 若需有效降低流失率, 可选用规格较高的200 g/cm<sup>3</sup>土工织物充填袋。

### 2.3 充填袋埤体沉降位移数据分析

充填袋埤体沉降监测采用袋体最底部放置沉降标的方式测量, 埤体地基位移监测采用紧靠最底部袋体外坡的分离式深层侧向位移仪测量。

埤体地基的沉降一般可包括瞬时沉降、主固结沉降及次固结沉降。充填袋体填筑时, 短时间内可对埤体地基施加一个较大的荷载, 饱和软土地基的孔隙水压力骤然增大且压力消散

值较小，此时地基沉降应为土体发生的形变，通常将这种沉降称为瞬时沉降；充填袋体填筑完成后，在荷载不再增加的期间，随着时间的延续，地基的孔隙水压力逐渐消散，土体有效应力随之增加，此时发生的沉降称为主固结沉降，由于本工程埤体地基不打设排水板（砂井），故在加载期间监测到的沉降数据不包含主固结沉降，在全部荷载施加完成后，监测到的沉降数据应为主固结沉降；在土体有效应力不再增加时，土体可能发生蠕变变形，变形值称之为次固结沉降，由于该过程需要较长的时间，故本工程不考虑次固结沉降量。

土工织物充填袋填筑时，每层袋体的填筑时间均较短，一般为数小时到数十小时，根据沉降的性质可知，在此期间监测的沉降应为瞬时沉降，监测数据显示埤体在填筑后一天内的瞬时沉降速率最大值可达58 mm/d，为沉降速率设计控制值（10 mm/d）的5倍多，埤体的侧向位移速率在31~46 mm/d，为位移速率设计控制值（4 mm/d）的8倍多。埤体侧向位移曲线见图3，埤体沉降过程曲线见图4，填筑各层对应累积沉降量见表2。

表2 填筑各层对应累积沉降量

土层	填筑高度/m	累积沉降量/dm
第1层	0.50	1.36
第2层	1.05	2.31
第3层	1.56	3.21
第4层	2.08	3.83
第5层	2.53	4.66
第6层	3.05	5.36
第7层	3.51	7.11

图3显示，填筑时埤体地基0~4 m深范围内土体发生侧向位移，位移方向为埤体外侧，印证了填筑时的埤体地基发生形变，该时期沉降应为瞬时沉降。围埤施工中，监测到的埤体地基的沉降速率、位移速率均超出设计控制值，但试验段埤体地基并未发生剪切破坏，故有现行的沉降位移控制标准是否较为保守的疑问。

本工程采用的土工织物充填袋尺寸较大，其中首层充填袋面积可达20 m × 10 m=200 m<sup>2</sup>，大尺度的袋体能有效的扩散地基荷载并可约束地基土过大的侧向位移，试验段监测数据显示埤体地基的沉降速率可在数天内衰减至较小值。为了后续工程提高施工效率，降低施工成本，在确保工程安全稳定的情况下，本工程适当放宽沉降位移速率控制标准：每层袋体填筑的沉降速率控制在50 mm/d之内，侧向位移速率控制在30 mm/d之内，且在每层袋体填筑完成后，埤体地基连续3 d沉降速率值不大于10 mm/d，埤体地基的侧向位移速率值不大于5 mm/d，符合上述条件后方可进行下一层填筑。通过调整沉降位移控制标准，本工程实际工期比预计工期缩短了约2个月（预计工期10个月），节约成本约12%。

在全部荷载施打完成1个月后，监测到的埤体侧向位移几乎为零，但埤体的沉降继续发生，沉降速率值较小但收敛较慢，此时发生的沉降为主固结沉降，继续监测约6个月后沉降速率降至0.5 mm/d，监测数据显示1年内主固结沉降值在17~22 cm，根据实测曲线并采用双曲线法推算的最终沉降量约为60 cm，根据地基参数采用地基计算系统计算的最终沉降量为56 cm，工程完工后的维护方案可参考此推算值。

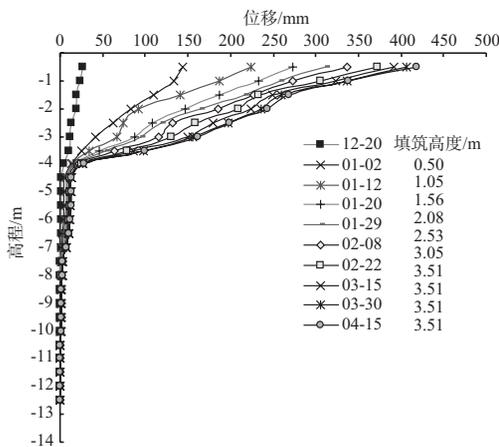


图3 侧向位移过程曲线

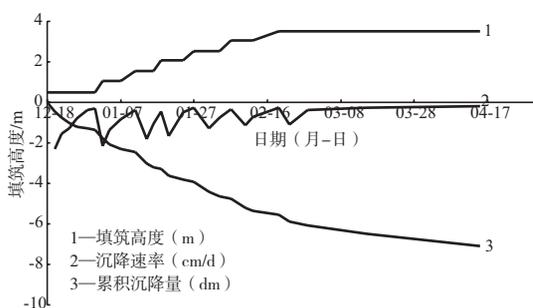


图4 地基沉降过程曲线

### 3 结语

1) 大尺度土工织物充填袋对充填压应力较敏感, 随着充填压应力的增大, 袋体周向拉力快速增加, 故要保证大型土工织物充填袋满足所选材料强度要求, 应使充填压应力控制在一个比较小的数值, 本工程袋体周向抗拉强度为 24 kN/m, 充填压应力控制在 0.09 kPa 以内。

2) 粉土作为充填物, 充填流失率较高, 故应严格控制土工织物充填袋的等效孔径, 若涉及到环境污染等方面, 可适当提高土工织物充填袋的规格。

3) 根据大尺度土工织物充填袋能有效分散地基荷载的特征, 可将地基变形控制标准适当放宽, 本工程控制标准为: 每层袋体填筑时的沉降速率不大于 50 mm/d, 侧向位移速率不大于 30 mm/d, 该层袋体填筑完成后, 确保袋体地基连续 3 d 沉降速率不大于 10 mm/d, 侧向位移速率不大于 5 mm/d 时方可进行下一层填筑。通过适当调整地基变形控制标准即可确保地基稳定, 又可大大提高施工效率, 缩短施工工期, 降低施工成本。

#### 参考文献:

[1] 张文斌, 谭家华. 土工布充砂袋的应用及其研究进展[J].

海洋工程, 2004, 22(2): 98-104.

[2] Kazimierowicz K. Simple analysis of deformation of sand-sausages[C]//Karunaratne G P, Chew S H, Wong K S. Proceedings of 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. Singapore: Southeast Asia Chapter of the International Geotextile Society, 1994: 775-778.

[3] Leshchinsky D, Leshchinsky O, Ling H I, et al. Geosynthetic tubes for confining pressurized slurry: Some design aspects [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 122(8): 682-690.

[4] Plaut R H, Suherman S. Two-dimensional analysis of geosynthetic tubes[J]. Aeta Mechanica, 1198, 129: 207-218.

[5] Zhang W, Tan J. Shape and mechanical behavior of geosynthetic tubes [J]. Journal of Donghua University :English Edition, 2006, 23(2): 8-12.

[6] 邱长林, 闫澍旺. 大尺度土工织物充填袋受力特性分析[J]. 工程力学, 2009, 26(1): 92-97.

[7] 邹必魁. 土工膜袋在围堰中的应用和探讨[J]. 西部探矿工程, 2005, 111: 362-363.

( 本文编辑 郭雪珍 )

.....

## · 消 息 ·

### 泰州大桥获英国卓越结构工程大奖

11月15日, 泰州长江公路大桥工程项目在英国结构工程师学会2013年年会中被授予年度最高奖项——卓越结构工程大奖。这是我国桥梁工程首次获得该奖项。

泰州长江公路大桥于2012年11月25日建成通车, 全长62.088 km, 全线采用双向六车道高速公路标准, 其中跨江主桥及夹江桥全长9.726 km, 桥面宽33 m。跨江主桥采用三塔双主跨悬索桥桥型方案, 在特大跨径桥梁中为世界首创。

英国结构工程师学会成立于1908年, 是享有盛誉的结构工程师学会组织。

摘编自《中国交通报》