

# 河口筑堤土料的工程现场试验

束一鸣<sup>1</sup>,杨 威<sup>1</sup>,武良金<sup>1</sup>,周 琮<sup>1</sup>,李文范<sup>2</sup>,邹明德<sup>1</sup>,林 刚<sup>1</sup>

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098;2.临沂市水利勘测设计院,山东 临沂 276000)

**摘要** 介绍将蓄淡避咸水库建造在长江口江滩上,为利用库区弃土建造水库堤坝,在库区现场开展弃土土料筑坝的工艺试验(包括充填土工管袋、吹填土体、晾晒干填碾压等工艺)。试验结果表明,细粒含量高的土体的充填和吹填工艺不能满足潮汐施工要求与正常工期要求,粉细砂可满足管袋充填的潮汐施工的安全要求,弃土可采用翻晒干填碾压工艺满足坝体质量与工期要求。

**关键词** 河口堤坝 管袋充填 水力吹填 湿土干填 现场测试

**中图分类号** :TV41 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2004)05-0034-03

由于海潮上溯,某城市供水水源工程需在长江口建蓄淡避咸水库进行原水调节。水库建于长江大堤以外的江滩上,库区地基为第四纪松散沉积层。近岸处表层有一些厚度仅 0.3~1.0 m 不等的粉土层,其余均为淤泥及淤泥质粉质黏土,厚度达 14~24 m,承载能力约为 70 kPa。水库总库容 365 万 m<sup>3</sup>,占江滩面积 75 万 m<sup>2</sup>。水库坝体主要由 3 部分组成,即临江侧的大棱体、临库侧的小棱体、两棱体间的坝主体,棱体主要由充砂管袋构成。最大堤高 9.9 m,管袋棱体工期为半年,坝主体工期为 1 a。

长江口地基表层往往有一层砂土(称作“铁板砂”),可被利用作为充填管袋的土料。本工程库区内-1 m 高程以上土体需挖除,弃土量约为 90 万 m<sup>3</sup>,若能被利用充填或吹填,既可减少弃土又节省工程造价。经有关单位初步勘探,表层土分别为黏粒含量 16%的淤泥质粉质黏土(3 号土,占大部分)和 14%的粉土(2 号土,占小部分)。通过现场试验确定满足施工工期要求的弃土利用工艺。长江口一昼夜两次潮汐,每次较低潮位的相对稳定期约为 4~5 h,所以,管袋从充填至基本脱水固结在 5 h 内完成是施工安全所要求的。

## 1 管袋充填现场试验

### 1.1 试验内容

现场管袋充填试验共充填小管袋 12 个、大管袋 6 个。其中小管袋的尺寸为  $z=300\text{ cm}\times 300\text{ cm}\times 50\text{ cm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),袋布等效孔径  $O_{95}$  分别为 0.1、0.2 和 0.3 mm,充填材料分别为 3 号土浆、3 号土块浆、

砂 65% 与 3 号块浆 35%、白茆砂。大管袋的尺寸与充填材料见表 1。

表 1 大管袋规格与充填材料(设 2 个充填口)

| 管袋号 | $O_{95}$<br>/mm | $z$<br>/cm <sup>3</sup> | 充填材料            |
|-----|-----------------|-------------------------|-----------------|
| 1   | 0.3             | 2000×1500×60            | 充填白茆砂           |
| 4   | 0.3             | 2000×1500×60            | 干填 3 号土         |
| 2   | 0.3             | 2000×1230×60            | 充填白茆砂           |
| 5   | 0.3             | 2000×1230×60            | 干填 3 号土         |
| 3   | 0.5             | 2000×960×60             | 砂、10% 3 号土,设排水管 |
| 6   | 0.5             | 2000×960×60             | 砂、15% 3 号土,设排水管 |

充填设备为功率 1 kW 的高压泵、功率 22 kW 的 15.24 cm(6 in)泥浆泵及 10.16 cm(4 in)泥浆泵。泥浆块由挖掘机将土体送至泥浆泵附近,再由高压水枪切割喂至泵吸口而制备。泥浆块尺寸约为 0.5~1.5 cm 不等。

### 1.2 试验结果

各种管袋及充填土料的试验结果见表 2 与图 1~3,淤泥质黏土和粉细砂的颗粒组成见表 3。

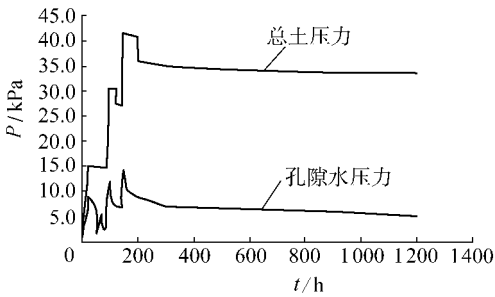


图 1 1 号管袋底部土压力和孔隙水压力变化  
(传感器编号 67846,67855)

作者简介 束一鸣(1952—),男,教授,硕士,从事水工结构和土工合成材料应用研究。

表 2 管袋试验结果描述

| 管袋规格与充填材料                                                                                                 | 脱水固结状况描述与评价                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 小管袋 $O_{95} = 0.3\text{ mm}$ 充填 3 号土块浆                                                                    | 泥浆从浓度 45.5% 至干密度达 $1.26\text{ g/cm}^3$ , 含水率 46.7%, 基本具备承受上压管袋的强度, 经过长达 17 d 的固结排水过程, 不能满足施工工期的要求。                                                                                                                                                                                         |
| 小管袋 $O_{95} = 0.3\text{ mm}$ 充填粉细砂, 掺 35% 3 号土块浆                                                          | 泥浆浓度从 35% 变为土体含水率 30%, 干密度 $1.47\text{ g/cm}^3$ , 已具备承受其上堆放管袋荷载的能力。经过 3~4 d 的脱水固结时间, 不能满足工期的要求。                                                                                                                                                                                            |
| 大管袋 $O_{95} = 0.5\text{ mm}$ ; 充填粉细砂, 最多掺 15% 的 3 号土块浆, 参见图 1                                             | 分两次充填, 每次约经过 5 h, 孔隙水压力基本消散, 袋底孔隙水压力 1.5 kPa 左右, 袋底总土压力 5.5 kPa 左右; 一天后袋中土体含水率 24.9%, 干密度 $1.49\text{ g/cm}^3$ 。能满足施工工期要求, 但掺土比例较低, 增加掺土工艺意义不大。                                                                                                                                            |
| 小管袋 $O_{95} = 0.1\text{ mm}, 0.2\text{ mm}, 0.3\text{ mm}$ 大管袋 $O_{95} = 0.3\text{ mm}$ 充填粉细砂, 参见图 2 和图 3 | $O_{95} = 0.1\text{ mm}$ 的小管袋脱水固结时间约需 5~6 h, $O_{95} = 0.3\text{ mm}$ 时只需约 3 h, 只是有少许极细砂在充填口附近流出袋布。大管袋 $O_{95} = 0.3\text{ mm}$ , 充满管袋后约 5 h, 孔隙水压力值减小约一半, 2 d 后测试含水率为 31.5%, 干密度为 $1.55\text{ g/cm}^3$ 。<br>面积为 $300\text{ m}^2$ 的大管袋净充填时间为 6 h, 所以, 正式施工时约平均不足 $50\text{ m}^2$ 即应有一个充填口。 |
| 大管袋 $O_{95} = 0.3\text{ mm}$ ; 干填 3 号土与 2 号土, 每层铺土约 40 cm, 每层的碾压遍数为 8~10 遍, 压实后的袋土高度约为 60 cm              | 碾压后测试, 3 号土的干密度为 $1.52\text{ g/cm}^3$ , 含水率为 29.8%; 2 号土的干密度为 $1.61\text{ g/cm}^3$ , 含水率为 24.5%。<br>压实后的袋土高度约为 60 cm, 采用手提式缝绉机将顶盖与周边缝合, 整个工艺需 8 h。<br>该工艺只能使用于水上部分的管袋施工, 在整个水力充填工艺外增加了一道干填工艺, 可根据实际施工情况选用。                                                                                 |

表 3 土的颗粒组成

| 粒径/mm       | 淤泥黏土/% | 粉细砂/% |
|-------------|--------|-------|
| 0.25~0.075  | 0      | 78.5  |
| 0.075~0.005 | 76.9   | 7.5   |
| <0.005      | 23.1   | 14.0  |

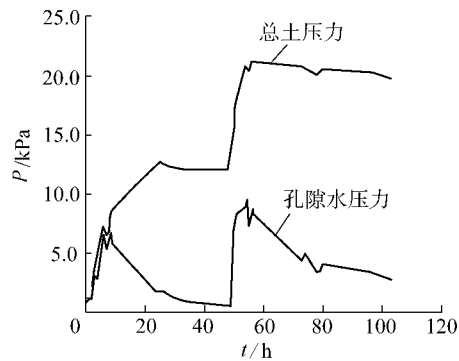


图 2 2 号管袋底部土压力和孔隙水压力变化  
(传感器编号 67847, 67856)

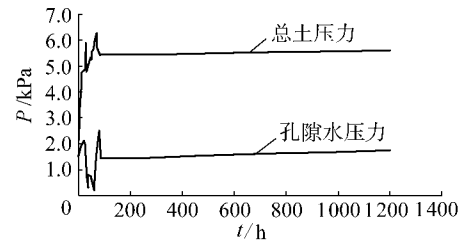


图 3 3 号管袋底部土压力和孔隙水压力变化  
(传感器编号 67848, 67855)

从图 1 可见, 孔隙水压力从充满 1 号管袋时达到 8 kPa, 2 d 后降到约 2 kPa; 当其上层 2 号管袋充满时, 孔隙水压力上升至 12 kPa, 其后又降至 7 kPa; 当最上层的 3 号管袋充满时, 孔隙水压力上升至 15 kPa, 最终降至 5 kPa。1 号管袋的总土压力在上述 3 个管袋分别充满时也分别从 16 kPa 上升至 31 kPa 和 46 kPa。管袋充满后约厚 0.6~0.65 m, 总土压力的量测值是比较准确的。

从图 2 可见, 当 2 号管袋自身充满时, 孔隙水压力为 6 kPa, 在充填其上的 3 号管袋前, 2 昼夜后降至 1 kPa, 当上面的管袋充满时, 孔隙水压力又升至 9 kPa, 接近 2 昼夜后降至 3 kPa。总土压力也在两袋充满时分别达到 12 kPa 和 21 kPa, 量测值较为准确。

1 号、2 号、3 号管袋的孔隙水压力总增量与大主应力之比  $\bar{B}$  分别为 0.14, 0.15, 0.25。

1.3 工程评价与选择

a. 3 号土不宜用作充填土。由于库区内主要弃土 3 号土的极细颗粒含量高, 不能满足本工程管袋充填的技术要求。

b. 砂与泥块浆混合充灌, 仍不适宜于本工程施工条件。小管袋的泥块浆含量约为 30%~40%, 4 d 后的土体干密度为  $1.47\text{ g/cm}^3$ ; 大管袋的泥块浆含量约为 10%~15%, 5 h 后的土体干密度为  $1.48\text{ g/cm}^3$ 。可见, 只有当泥块浆比例在 10% 左右, 才能满足施工进度要求(长江口一昼夜两次潮汐, 低潮位相对稳定的时间约为 4~5 h), 但为了掺这很少量的泥块浆, 再增加一套施工工艺和增加施工复杂程度, 实际意义不大。

c. 水下充灌白卵石, 砂粒径应适当增大。在几个月内完成 2 km 多长、近 7 m 高不等的管袋棱体充填施工, 只能充砂。现场试验使用的砂中黏粒含量达到 14% (见表 3), 粉粒含量也在 20% 左右, 整个砂的粒径偏细, 黏粒含量偏高, 不是合适的管袋充填砂料。要求: 黏粒含量控制在 5% 以下, 即  $P_{0.005} \leq 5\%$ ,  $\eta = d_{60}/d_{10} \geq 10$ ,  $d_{50} \geq 0.12\text{ mm}$ 。

d. 充砂管袋编织物的等效孔径  $O_{95} = 0.25\text{ mm}$  较合适。现场充灌试验如表 2 所示, 管袋的等效孔径  $O_{95} = 0.3\text{ mm}$  时, 脱水固结快, 但充灌口有少量粉沙析出, 因此, 选用管袋等效孔径  $O_{95} = 0.25\text{ mm}$  较为

合适.当然,若实际施工所用砂的粒径增大后,析出现象也将不再出现.

## 2 坝体填筑土体试验

### 2.1 吹填土试验

用常规的高压水枪采浆,9月16日泥浆浓度仅为12.0%,面积25m<sup>2</sup>、深0.6m的吹填池的脱水时间很长,经过18d时间,至10月4日泥浆浓度只增加到34.2%.

采用挖掘机挖喂料制备泥浆块的方法吹填土块浆(土块含量约为15%~20%),以缩短脱水时间,面积100m<sup>2</sup>、深0.8m的吹填池的脱水测试结果是2号池吹填3号土块浆10月4日的泥浆浓度为35.4%;11月22日的含水率为40.2%,干密度为1.31g/cm<sup>3</sup>.由此可见,由于土块在泥浆中的含量很低,所以,脱水固结的时间仍较长,10月4日吹填完成后,经过48d,土的含水率才基本达到流限.

2号池的池底总压力和孔隙水压力的变化见图4.由图4可见,吹填池充满时,孔隙水压力约为7kPa,以后持续下降,50d以后达到4kPa,只降了不到一半,由前述内容可知,土体仍处于饱和、流塑状态,尚不足以承受荷载,不能满足闭气土的工期要求.

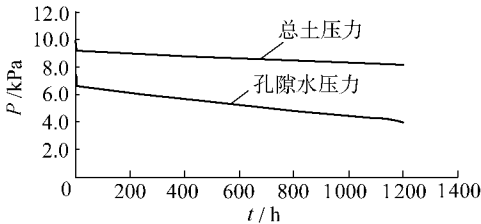


图4 吹填池底总压力和孔隙水压力变化  
(传感器编号67849,67853)

### 2.2 干填土试验

#### 2.2.1 湿土的晾晒

离地表3m处挖出的3号土,经晾晒,10d后的结果见表4.距地表2m深处挖出的3号土经5d晾晒的结果如表5所示.

表4 离地表3m深处3号土挖出晾晒后含水率的变化 %

| 日期    | 距土表5cm处<br>土体含水率 | 距土表25cm<br>处土体含水率 |
|-------|------------------|-------------------|
| 9月18日 | 46.32            | 50.59             |
| 9月26日 | 34.58            | 44.32             |
| 9月28日 |                  | 42.95             |

注 9月28日距土表5cm处的土体已呈风干粉状.

从表4、表5可见,若天气晴好,3号土体经晾晒后,表面十分容易干燥,但距土体表面距离大于20cm的土体含水率降低十分缓慢.因此,晾晒过程中土体至少需彻底翻动1次.

考察已堆放半年以上的高2.5m的3号土堆,

表5 离地表2m深处3号土挖出晾晒后含水率的变化 %

| 日期    | 距土表5cm处<br>土体含水率 | 距土表25cm处<br>土体含水率 |
|-------|------------------|-------------------|
| 9月26日 | 52.8             | 52.8              |
| 9月27日 | 38.9             | 39.6              |
| 9月29日 | 37.0             | 38.8              |
| 9月30日 | 31.6             | 36.4              |

土体表面已呈干土状,但经挖运摊铺后测定,其含水率仍达36.1%.与表5中数据相比,相当于薄层晾晒4d后的含水率.再次说明,3号土若不经彻底翻动,仅仅晾晒,即使晾晒时间足够长,但土体内部含水率的下降仍是十分有限的.

#### 2.2.2 晾晒土的填筑

晾晒后的3号土铺土厚度为40cm,采用推土机铺土、碾压,碾压遍数为8~10遍,未以专用碾压设备碾压.

9月28日、29日及10月4日分别进行了3次干填碾压,含水率及干密度测试结果见表6.

表6 3号土现场填筑含水率和干密度

| 日期      | 含水率/% | 干密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) |
|---------|-------|---------------------------|
| 9月28日下午 | 29.5  | 1.51                      |
| 9月29日上午 | 30.4  | 1.50                      |
| 10月4日上午 | 28.5  | 1.52                      |

由现场取样做3号土的室内标准击实试验,结果为:最大干密度 $\gamma_{dmax} = 1.69 \text{ g/cm}^3$ ,最优含水率 $\omega_{op} = 19.4\%$ .

本工程水库围堤(即大坝)为二级建筑物,压实度 $P$ 至少为0.96,考虑实际施工中填筑含水率的控制会存在一定困难,此外,考虑到地基的沉降量远大于坝体,坝坡缓至1:3~1:4,施工填筑干密度取 $\gamma_d = 1.60 \text{ g/cm}^3$ ,相应的填筑含水率约为 $\omega = 24.0\%$ ,这样,压实度 $P = 0.947$ .现场取样做渗透试验得3号土的渗透系数为 $5.29 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ .

#### 2.2.3 坝体填土工艺的选择

上述试验可见,利用库区开挖弃土作为坝体填土,采用与管袋同样的施工工艺——水力输送与沉淀固结是不能满足施工工期要求的,由于3号土细粒含量高,脱水固结时间长达50d尚不能完全承载,而连续翻晒(至少翻动1次)10d后的土体可作为坝体的碾压填土,所以利用库区弃土作为坝体填土应采用干填碾压工艺.

## 3 结 论

a. 尽管长江口地区江滩存在“铁板砂”可供充填管袋并可作为吹填土体,但本工程所在区域无该土层.

(下转第56页)

个构件且构件的检测测区数为 10 时强度推定的实现. 由于所有构件的每一测区强度换算值均存储在同一个数组中, 且每一构件的测区数均为 10, 所以通过循环结构对数组元素按顺序分组, 每组 10 个值, 每组值对应一个构件, 每一次循环进行一次计算, 得到一个构件的强度推定值, 这样可得到所有构件的强度推定值, 并存储到一维数组中. 按单个构件检测时通常在构件上布置 10 个测区, 当然, 在少数情况下在构件上布置的测区数也可能少于或多于 10 个, 故本系统将这两种情况作为单独的功能进行处理, 其实现也很简单.

## 4 系统特点

本系统有很好的密码验证与管理功能, 可以有效地保证系统的安全, 避免非法用户破坏. 使用人员只有通过身份验证以后才能进入本系统主界面, 而且只有具有系统管理员的身份才有权进行用户的管理, 包括添加新用户、修改用户密码和删除用户.

本系统通过 Data 数据控件连接 VB 用户界面和 Microsoft Access 2000 数据库, 进行有关回弹数据的

(上接第 36 页)

b. 由于库区弃土细粒含量高, 单独作为管袋充填土体, 脱水时间长达 20 d 以上; 充填粉细砂掺 15% 土块浆可满足工期需要, 但弃土掺量太少又需增加掺和工艺, 实际意义不大.

c. 为满足工期需要, 只能采用粉细砂充填管袋, 经试验, 管袋布的  $O_{95}$  可比按规范的计算值提高 1 倍, 以利于排水固结.

d. 库区主要弃土 3 号土采用吹填工艺同样不能满足工期需要.

e. 采用翻晒干填碾压工艺可满足施工要求, 但需提前备土.

2002 年 11 月全面开工建设, 2003 年 5 月上旬围堰合龙, 管袋棱体充填已经结束, 现正进行坝体干填碾压施工.

参考文献:

- [1] Pilarczyk K W. Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering[M]. Rotterdam: Balkema A A, 2000. 217 ~ 414.
- [2] SL/T225-98, 水利水电工程土工合成材料应用技术规范[S].
- [3] JTJ/T239-98, 水运工程土工织物应用技术规程[S].

(收稿日期 2003-12-01 编辑 骆超)

查询与计算, 由于 Data 数据控件简单、易用, 所以本系统的功能相对比较容易实现.

## 5 结 语

a. 本系统可以对回弹检测数据进行自动计算与查询, 不但减少检测人员的工作量, 而且避免了手工计算与查询产生的错误, 有效地提高了工作效率.

b. 本系统才开始运用于回弹检测工作中, 存在着一些不足之处, 仍需进一步完善与升级.

参考文献:

- [1] 詹炳根. 回弹法检测混凝土强度数据快速处理系统[J]. 建筑技术开发, 1998, 25(6): 38 ~ 39.
- [2] 廖备水, 孙超图. 基于 ASP 的泵站计算机监控信息查询系统[J]. 中国农村水利水电, 2003(4): 46 ~ 47.
- [3] 林陇万. Access 2000 中文版应用指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000. 1 ~ 112.
- [4] 刘萌. Visual Basic 中文版入门与提高实用教程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003. 295 ~ 348.
- [5] JGJ/T23-2001, 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S].

(收稿日期 2003-12-29 编辑 高建群)

(上接第 23 页) 系数较小或很小的原因是场次雨洪的产流面积往往不是全流域面积, 即场次雨洪为局部产流. 若改为计算产流面积上的次洪径流系数, 则次洪的径流系数明显提高. 这就表明产流面积的变化是影响该地区产汇流规律的重要因素, 预示着采用分布式流域水文模型的必要性.

参考文献:

- [1] 芮孝芳. 产汇流理论[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [2] 赵人俊. 流域水文模型(新安江模型和陕北模型)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [3] Zhao R J. The Xinanjiang model applied in China [J]. Journal of Hydrology, 1992, 134: 371 ~ 381.

(收稿日期 2004-02-16 编辑 高建群)

