

# 吹填围堰技术的应用研究

宋建锋<sup>1</sup>, 张水根<sup>1</sup>, 周理武<sup>2</sup>, 陈雪仙<sup>1</sup>

(1. 杭州市市政工程集团有限公司, 浙江杭州 310014; 2. 丽水市路桥工程公司, 浙江丽水 323000)

**摘要:** 该文介绍了吹填围堰施工技术的优缺点, 对吹填围堰的设计、施工及质量控制三个方面进行了总结, 同时提出了吹填技术在实际工程中亟待解决研究的问题。

**关键词:** 围堰稳定性; 吹填; 施工工艺; 质量控制

**中图分类号:** U445.551 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)04-0036-04

## 1 概述

编织袋内吹填粉砂土筑围堰技术, 实际上是从小型袋装土包围堰发展起来的, 80 年代海塘围垦中已出现了它的雏形, 而随着管袋尺码的加大, 围堰整体稳定性、抗冲、防渗能力也大大提高。采用土工织物制作大型冲填袋, 袋内冲填砂性土, 用以筑成斜坡堤堤心, 并以土工织物或土工膜等制作的土工合成材料逐步替代一般斜坡堤(也可以做成垂直的坡度, 并用桩等在编织袋两侧作为支护)中的碎石倒滤层或粘土防渗层。

## 2 吹填围堰的优缺点

### 2.1 吹填围堰的优点

(1) 工效高。吹填与碾压方法比较, 省去了装土、运土、卸土、碾压四道工序。大大提高了工效, 节省了劳动力, 减轻了劳动强度。碾压方法每工可完成土方  $1 \sim 2 \text{ m}^3$ , 而吹填每工可完成  $10 \sim 20 \text{ m}^3$ 。

(2) 成本低。碾压筑堤的成本平均为吹填筑堤 2 ~ 3 倍。

(3) 质量好。吹填土的泥浆沉积秘水固结后非常密实, 质量较碾压效果好, 平均容重可达  $14.8 \sim$

$15.8 \text{ kN/m}^3$ 。泥浆具有无孔不入的性质, 吹填土堤与基础、老堤结合较好。

(4) 适用范围广。吹填技术是土方工程机械化施工的好方法, 不论滩地高低、运土距离远近均适用。

(5) 由于袋布的成型作用, 采用泥浆泵就近取砂冲填筑堤, 机械化程度高, 能迅速形成棱体, 对地基适用性好。可全面铺开施工, 施工工作面大, 施工速度快, 周期短。在深水区施工, 比传统的抛石坝, 在施工工艺和工程造价上具有较大的优势。

### 2.2 吹填围堰的缺点

(1) 在施工期间, 围堰体内含水量高, 如不注意脱水固结, 就有可能发生位移、鼓肚、滑坡或围堰漏通形成深沟等质量事故。

(2) 为了脱水固结, 吹填速度不能太快, 施工期也受到一定限制。

(3) 因固结沉降量大, 有时会出现裂缝。

(4) 施工中常受水源、电力的限制。

## 3 吹填围堰设计

### 3.1 吹填围堰内土体力学性质

在软弱地基上修筑围堰, 施工期间围堰的稳定性直接决定了围堰工程的成败。因此, 对软土地基上土工管袋围堰的稳定性研究相当重要, 但由于土工管袋的加筋作用, 使得围堰的稳定性分析

收稿日期: 2006-06-05

作者简介: 宋建锋(1976-), 男, 河北巨鹿人, 工程师, 主要从事市政工程施工研究工作。

容易造成测量误差。因此, 将 GPS 测量技术和常规测量手段相结合应用到海上施工测量中, 使用 GPS 布设控制网, 使平均密度达到  $300 \text{ m} \sim 400 \text{ m}$ , 精度应满足国家 GPS 测量 IV 等要求。

通过独立观测边构成闭合图形, 以增加检核条件, 提高网的可靠性。

尽量与原控制网相重合, 重合点不小于 3 个, 且分布均匀。

## 3 总结

在东海大桥 60 m 非通航孔段桥梁施工中, 海工高性能混凝土的应用、大型箱梁整体预制和滑移、扒杆式浮吊的应用和海上 GPS 测量技术的应用等技术创新为工程的顺利开展奠定了坚实的基础, 标段工程提前完成全部结构工程施工, 《跨海大桥大型混凝土构件成套施工技术研究》的课题也通过鉴定达到国际先进, 并申请了两项发明专利。这只是东海大桥工程技术创新的一小部分, 整个工程可为今后其他跨海大桥工程或相关工程的规划、设计和施工提供了借鉴。

相当复杂,现有的计算方法由于复杂繁难,而不易被工程技术人员所接受,严重地限制了土工管袋在水利工程上的应用。

从受力性能上说,袋装砂实质上是一种加筋土坝。由于土工管袋筋材的布设,改变了土体不能受拉的性能,因此,达到增加围堰整体及局部稳定性的目的。关键的问题是如何确定筋材的加筋作用对围堰稳定性的影响。

已有试验证明:加筋砂土试样与无加筋土砂土试样的破坏包络线基本平行,即其内摩擦角近似相等,两者的凝聚力不同。基于此理论,再根据加筋机理的分析,加筋材料的加筋效果就相当于在无筋砂土试样的凝聚力  $C$  的基础上,增加了一个凝聚力  $C_p$ ,可称之为拟凝聚力,

$$C_p = \frac{R_f}{2S_y} \sqrt{K_p} \quad (1)$$

式(1)综合考虑了土工合成材料的加筋机理,以及筋材的抗拉强度、变形性质后得到的土工合成材料砂土试样凝聚力  $C_p$ 。

### 3.2 袋装砂围堰的稳定性分析

#### 3.2.1 袋装砂围堰的破坏形式

对无加筋的土堤,若土堤是建在较厚的软土层上时,其破坏形式一般为圆弧滑动或冲切下沉隆起;若土堤是建立在薄软土层上时,则为侧向基础破坏。在软基上的加筋堤,由于有加筋垫层或整体加筋,其破坏形式明显地与加筋有关,大致有如下 5 种情况。

(1)滑动破坏。当地基软弱,强度不足时,由于产生较大的沉降,加之所铺设的土工织物强度太小以及刚度低,则由于沉降过大,土体的变形远大于织物的容许变形,致使土工织物被拉断,填土和地基一起滑动。

(2)加筋断裂破坏。当填土轴心沉降较大时,在基础底面形成一弓形基底沉降剖面,织物被拉断后,呈对称圆弧滑动。

(3)地基土塑性破坏。在填筑过程中,由于一次加载过大,路堤突然下沉,但仍未失去其稳定性。其特点是当地基土已经进入剪切破坏(或塑性流动),但填土和筋材尚未破坏。

(4)薄层挤出破坏。当软弱层很薄时,如果加筋垫层具有足够的抗拉强度、刚度和完整性,地基土可能会突然下沉,但很快趋于稳定。突然下沉说明地基已经出现局部剪切破坏;很快就趋于稳定说明塑性基础后,地基又获得新的平衡。

(5)水平滑动破坏。当设计的坝坡过陡时,沿填土与筋层之间产生较大的滑动力,当加筋或填

土的摩擦力不能满足时,就会沿筋材表面发生水平滑动。

从以上分析可知:影响加筋堤破坏形式的因素主要是筋材的抗拉强度和延伸率、加筋垫层的刚度和完整性、软土层的厚度及其强度和变形等。其中筋材强度控制潜在滑动面发展的位置;软土层的厚度影响潜在滑动面的形态;加筋垫层的强度、刚度及完整性则影响分析模型的建立。

#### 3.2.2 袋装砂围堰的稳定性分析方法

在稳定性计算中,整体稳定性分析规范推荐采用瑞典法和荷兰法进行。

对于层层叠筑的袋装砂围堰,上述两种稳定分析方法存在如下困难:(1)由于层间砂土较薄,加筋材料层数太多,这大大地增加了计算工作量;(2)加筋材料对整体滑动的作用实质,既不同于瑞典法模型,也不同于荷兰法模型,而是两者的综合,因此用这两种方法中的任何一种都不能完全反映实际情况,其计算结果与实际存在差距。

基于此,如果考虑到加筋材料的加筋效果,就相当于在无加筋材料砂土试样的凝聚力  $C$  基础上增加了一个凝聚力  $C_p$ ,对于层层叠筑的围堰稳定性计算,可把工程上较为通行的圆弧滑动法(简称 Bishop 法)移植到袋装砂围堰的稳定性计算中来,这样一方面可以避免固守前两种方法带来的计算结果与工程实际存在差距的缺陷;另一方面也可以大大地简化计算工作量,且得到的计算结果也完全能够满足工程的需要。

## 4 施工工艺

吹填围堰施工的主要顺序是:施工准备→测量放样→基础清理→铺防渗土工布→铺编织袋→吹填→固结→铺编织袋(逐层加高,逐层固结)→施工结束→拆除。

#### 4.1 施工准备

主要准备施工机具设备及材料情况,同时还应掌握当地水文及地质条件。施工机具主要包括:高压水枪和吸泥泵;材料包括填充料即粉砂土、编织袋及防渗土工布等。

#### 4.2 测量放样

在土工织物袋铺设前,由专业测量技术人员根据设计文件提供的控制点准确放样,并插上样标。为了便于织物袋施工定位,测量定位采取先放出试验段轴线,再确定吹填袋四角点坐标位置,以方便施工人员定位。

#### 4.3 基础清理

为将土工织物袋冲填后平整度控制在规定的

范围内,在铺设前,人工利用低潮时下水清除废弃鱼网、竹桩、块石等杂物,整平施工基础平面,以确保吹填袋整体的平整度,同时避免土工织物袋背杂物损伤。

#### 4.4 铺土工布

防渗土工膜为围堰的“生命线”,防渗膜的安装尤为重要,采用特制胶水在陆地上搭接完成后,再下水安装,在岸边设置搁架,利用二根麻绳通过人工牵引,将防渗膜牵引至水中,然后将两侧防渗膜的预留拉环固定在竖向钢管顶面上,用麻绳绑牢,然后用丁字木棍将土工膜逐段沉入水中,缓慢沉入湖底,确保压重土袋在土工膜的底角位置的正确。

#### 4.5 土工织物袋定位

(1)土工织物袋沿轴线垂直向铺设,同层相邻袋接缝处预留收缩量,确保吹填后两袋相互挤紧不出现缝隙。

(2)浅水段施工中,工人可直接下水将土工织物袋完全展开,并将土工织物袋压在泥面上,土工袋定位采用粗毛竹杆。

(3)深水段因水深较大,竹竿定位易发生偏移,故采用6 m长2寸钢管定位:将钢管对准预先放好的样标底部,插入泥面下约2~3 m,土工织物袋铺放好后,采用小沙袋将土工袋压至泥面上,以减小土工织物袋的偏移量,确保工程质量。

(4)铺土工布之前,用测杆测铺设土工布袋位置的地形,如果是坡形地面,则铺放时在上坡方向放出10~20 cm,根据斜坡陡缓而定;如果是起伏不平的地面,则先整平地面再铺设。铺好后用定位桩固定。

(5)在吹填袋四个角各缝制一只“耳环”,用尼龙绳固定在定位桩上,部分袋因长、宽加大,在每边中部缝制一只“耳环”,以确保定位稳固。

(6)通过尼龙绳将土工织物袋与定位桩连接,拉紧尼龙绳固定土工织物袋位置,使其不受水流影响而产生位移,并使袋体充分展开。

(7)深水区铺设土工袋时,潜水员进行水下观测、校正织物袋摆放位置和吹填效果。

#### 4.6 土工织物袋吹填施工

##### 4.6.1 水枪冲土

##### 4.6.1.1 水枪冲土的工作原理

水枪需配套压力较高的水泵和相应的动力设备,以保证水枪出口有足够的压力。高速水流通过圆锥形喷嘴射出,流速高达30~40 m/s。高速水流冲击土体形成强大的动水压力,具有一定冲击与切割性能,能把土体崩解剥离,把水土拌和呈泥浆。

##### 4.6.1.2 水枪冲土的优点

(1)工效高,每人每小时可造土 $5\sim 7\text{ m}^3$ ;(2)劳动强度低;(3)成本低;(4)构造简单,操作灵便。

##### 4.6.1.3 水枪冲土适宜的工作距离

高速水流从喷嘴射出后,开始呈柱状,切割能力强,随着距离增加,克服空气阻力消耗的能量越来越大,水柱逐渐扩散,切割能力减弱。一般水柱有效长度6~8 m,水枪离冲土工作面以4~5 m为宜。

##### 4.6.1.4 冲土水枪操作技术

水枪冲土时需选缺口、寻缝隙,因势利导,把冲、崩、割、塌有效结合起来,达到泥多浆浓。

#### 4.6.2 泥浆泵输土填筑

##### 4.6.2.1 泥浆泵输土工作原理

泥浆泵输土是有压式运输。将已拌和成的泥浆,用泥浆泵吸入输泥管送至填土处。以“临界流速”进行泥浆泵输土,能量最省。“临界流速”是指在一定的输泥管直径和泥浆比重下,某种颗粒组成的土料开始沉淀时输泥管道最小平均流速。

##### 4.6.2.2 泥浆泵输土的优点

(1)能连续运输大量土方。

(2)不受地形限制,可垂直输土方到一定高度。

冲填过程要注意控制砂袋的均匀度和饱满度,连续几次冲填,待砂袋冲到60%~80%时,停止对砂袋的冲填。

#### 4.6.3 现场测试

冲填砂浆浓度采集:为控制冲填袋平整度,将冲填浓度控制在30%左右。冲填过程中要注意控制砂袋的均匀度和饱满度,连续几次冲填,待砂袋冲填到60%~80%时,停止对砂袋的冲填。

### 5 质量控制

吹填土质是评定吹填工程质量等级的主要目标之一,因而吹填材料质量控制好坏,直接影响到整个工程的质量。吹填工程质量控制一般包括两个过程:材料质量控制和吹填过程控制。

#### 5.1 材料质量控制

##### 5.1.1 粉砂土的质量控制

粉砂土颗粒的大小和泥浆的粘滞性是冲填效果的关键,冲填和固结的快慢取决于粉砂土颗粒在编织袋内的沉降速度和编织袋的滤水速度。在《堤防工程施工技术规范》(SL260-1998)中,提出了各类土料在吹填筑堤施工中的适用性,其土料选择原则上是无粘性土和少粘性土,粘性较大的土料一般不宜做堤防吹填。

##### 5.1.2 编织袋、土工布的质量控制

(1)目前土工编织物生产厂家很多,生产规模

大小不等,生产原料和检测设备有差异,产品质量有很大差别。因此,采购土工布时一定要了解生产厂家,通过比较,选择质量、规格及技术参数符合设计要求的生产厂家的土工编制物。

(2)在运输过程中,应避免碰、擦、钩、晒、大火引起的破损和伤害。在装卸过程中注意保护好土工布,尽量避免或减少土工布在运输过程中所遭受的破损。

(3)土工织物进仓前按有关要求及合同规定对产品进行检验,提交出厂合格证明和试验报告,其中主要力学和水力学性能试验应委托国家认可的检测单位进行检测。存放的仓库应具备通风良好、防晒、防潮、杜绝火种的条件。

## 5.2 过程质量控制

### 5.2.1 供料阶段

事实上,在施工现场,工程管理人员无法对每一船(车)粉沙土进行检查,即使做到对每一船(车)粉沙土都进行检查,也无法保证质量。因为在船舱(车厢)里取样很难具代表性,这是由于装载时泥等杂质较易聚集在砂的表面或船舱的角落。而在吹填区取样,则由于取样工作具有较大的随意性,而很难有说服力;水力的作用使粉砂土粗细分布不均匀,距管口近的粗,距管口远的细,杂质经过水的冲洗,四处横流,且易被后来的填料覆盖等。更重要的是控制方法为滞后控制,一旦发现问题再采取补救措施不仅工作量大、费用高,也很难取得满意的效果,甚至可能影响工程进度。所以对粉砂土质量的控制应抓住其来源,控制住“源头”,确保每一船(车)都是来自经检验确认合格的砂土源。

### 5.2.2 吹填过程质量控制

吹填过程主要有以下几个方面:水平方向的相邻量冲填砂袋间距不得大于20 cm;冲填砂袋层与层之间应交错排列,不得形成上下通缝;袋装砂棱体的外轮廓线不得大于设计断面,破面、坡度必须符合设计要求;上层袋装砂的冲填,必须在下一层袋装砂基本固结后进行,且下一层袋装砂干容重必须达到15 kN/m<sup>3</sup>。

## 6 围堰工程有待深入研究的内容

### 6.1 围堰整体稳定性研究

每一个围堰工程必须满足稳定性,否则没有意义,垂填围堰与传统围堰都相同,破坏形式及控制因素难以确定,稳定性分析理论是否科学,符合实际,有待进一步的深入研究和实践验证。

### 6.2 预估沉降

施工中冲填土预留沉降量的问题将直接影响施工企业的经济效益;竣工验收时若超高,则施工单位完成的超额工程量得不到应有的报酬;若高度不够,则需要施工单位采用排泥管进行第二次冲填或采用机械运输方式回填。以上两种情况都将造成施工费用增加。

### 6.3 吹填材料的损失量研究

为了保证工程的正常进行,必须有足够的满足合同规格的填料资源,资源的实际可取量应大于吹填的30%(本系数随施工方法、材料规格、吹填量的不同而变化)以上。

### 6.4 吹填土工程性质的研究

到目前为止,对冲填土的工程性质还缺乏系统的研究,存在着理论落后于实际的现状。主要是吹填土沉积固化后的结构强度。对固结速度的掌握,直接影响到对工程的工期控制以及工程质量。固结速度的影响因素较多且复杂,需要深入理论分析和实践摸索才能掌握。

### 6.5 警戒值的确定

警戒值的确定,直接关系到判断堰体的危险状态及工作状态,警戒值的确定是否科学,符合工程实际,具有重大意义。警戒值过于宽松,难以把握围堰出现险情的确定,警戒值过于严格,则超过警戒值后的工程补救措施费用高,因此,警戒值有待进一步深入研究。

## 7 结语

围堰作为临时性的水利工程,其基本要求是稳定性和防渗性,同时还对环保有很高的要求,该种围堰形式在实践中获得了成功,效益较好,然而,该类型的围堰尚有很多待进一步研究之处,尤其是围堰本身的稳定性。围堰失稳破坏形式目前尚不明朗,只能借鉴其他相关理论,这在实际受力及模型上可能不是特别相符。

### 参考文献

- [1]张柏山,江恩惠,周会斌等.长管袋沉排潜坝技术研究与应用前景[M].黄河水利出版社,2003
- [2]韩曾萃,戴泽衡,李光炳等.钱塘江河口治理开发[M].中国水利水电出版社,2003
- [3]宋为群,叶志华等.软土地基上土工管袋围堤的稳定性分析[J].人民长江,2004,12(12)
- [4]王伟,陈法兴.土工织物袋筑堤工艺研究[J].广东水利水电,2004,(4)
- [5]土工织物充填管状袋的设计研究[J].中国港湾建设,2004,(5)
- [6]姜景凤,周开远等.浅谈土料在吹填筑堤施工中的影响[J].水利科技与经济,2000,(4)