

# 永定河滞洪水库工程 模袋混凝土护坡的设计与施工

刘万新

(水利部天津水利水电勘测设计研究院, 天津 300222)

摘 要: 结合永定河滞洪水库工程实例, 着重介绍模袋混凝土这一新工艺应用于护坡时的设计原则、施工方法和质量控制要点等内容。

关键词: 水利工程施工; 模袋混凝土; 设计; 施工; 质量控制; 永定河滞洪水库护坡

中图分类号: TV431.9; TV861 文献标识码: B 文章编号: 1007-0133(2002)04-0035-03

## 0 前言

\*永定河滞洪水库位于永定河卢沟桥以下的稻田及马厂河段内, 距北京市市区约 20 km, 水库的主要任务是防洪。工程总体概括为“两库”(稻田和马厂水库)、“四堤”(滞洪水库右、中、横堤及永定河左堤)和“四闸”(扩建小清河分洪闸、新建进水闸、连通闸和退水闸)。其中在“四堤”的护坡设计中广泛采用了模袋混凝土这一新型的护面技术。

模袋混凝土是把流动性混凝土用混凝土泵压入用高强度化学纤维制成的模型垫袋中, 形成高强度的混凝土硬化体。由于垫袋本身的透水性使混凝土中多余水分在灌注压力的作用下被部分挤出, 从而可降低混凝土水灰比, 提高混凝土的密度和强度。模袋混凝土是一种新的混凝土施工工艺, 目前主要用于河流护岸、坡面衬砌以及防止高速水流侵蚀的部位。

模袋混凝土可适应复杂地形和松软地基, 施工时在施工现场铺上模袋, 用混凝土泵把流动性混凝土压入其中即成。模袋混凝土与以往的砌筑物和普

通混凝土相比, 具有施工迅速、安全、节省费用等特点。

## 1 模袋混凝土护坡的设计

模袋混凝土护坡的设计包括袋材选择、模袋缝制、厚度确定、稳定性分析、排水设计、护坡构造及抗滑措施考虑等。

### 1.1 模袋材料的选择原则

模袋材料的选择是模袋混凝土设计的首要工作, 必须根据工程要求和当地土质、地形、水文、经济、施工条件, 选择强度较高、变形较小、孔径适宜的模袋材料, 才能保证施工的顺利进行。选择的土工模袋应具有较高的强度和一定的透水性, 要求在混凝土自重的压力下模袋不能破裂, 但能将混凝土中多余的水分挤出来, 使混凝土的水灰比降低, 提高混凝土的早期强度, 在较短时间内能形成硬化体; 同时, 模袋的平均孔径应小于胶凝材料的平均粒径, 使其不致过多的漏浆, 从而保证混凝土的质量。

按照上述选择原则, 永定河滞洪水库选用的模袋材料的指标如表 1。

表 1 永定河滞洪水库选用的模袋材料指标

原料 品种	单层	拉伸强度		延展率		撕裂强度		顶破强度	渗透系数	单层厚度
	重量	(N·cm <sup>-2</sup> )		/%		(N·cm <sup>-2</sup> )				
		经	纬	经	纬	经	纬			
	(g·cm <sup>-2</sup> )							/N	(cm·s <sup>-1</sup> )	/mm
丙纶	200	1 500	1 300	14	12	600	400	800	0.028	0.45

### 1.2 模袋缝制的要求

模袋为双层织物、4 层组织, 上下 2 层土工模袋布起模板作用, 中间织入 2 层不同粗细的丝或绳作厚度加固筋, 以控制模板成形厚度。在护岸工程中, 模袋混凝土厚度一般为 15 ~ 20 cm; 在海堤  
万方数据

防护中, 厚度一般为 30 ~ 70 cm。

每块模袋缝制的总体尺寸要考虑坡长、纵横向

\* 收稿日期: 2002-05-23

作者简介: 刘万新(1974-), 男, 天津市武清县人, 助理工程师, 双学士, 从事水利水电工程设计工作。

水缩率和边界处理要求,如固定模袋的穿管孔、绑扎布条及连接相邻模袋的搭接土工布等。每单元体内留设充灌混凝土的灌浆口,各灌浆口的数量与位置一般均匀分布,每个口的进料要求大致能填满 10~15 m<sup>2</sup> 的面积。

1.3 护坡厚度的确定

土工模袋护坡厚度的确定,可分别按下列方法计算,然后取其中最大值<sup>[1]</sup>。

(1) 按抗漂浮所需,计算土工膜袋护坡厚度  $\delta$ , 其计算公式为:

$$\delta \geq 0.07CH_{\omega}\sqrt[3]{L_{\omega}/L_r} \times \gamma_{\omega}(\gamma_c - \gamma_{\omega})\sqrt{1+m^2}/m$$

式中,  $C$  为面板系数,大块混凝土护面取 1.0,护面上有滤水点时取 1.5;  $H_{\omega}$ ,  $L_{\omega}$  分别为波浪高度与长度,  $m$ ;  $L_r$  为垂直水边线护面长度,  $m$ ;  $\gamma_{\omega}$  为水的容重, kN/m<sup>3</sup>;  $\gamma_c$  为混凝土或砂浆的有效容重, kN/m<sup>3</sup>;  $m$  为边坡角  $\alpha$  的余切,  $m = \text{ctg } \alpha$ 。

(2) 按抗冰推力所需,计算土工膜袋护坡厚度  $\delta$ , 其计算公式为:

$$\delta \geq [P_i\delta_i*(F_sm-f_{cs})-H_iC_{cs}(1+m^2)]/[\gamma_cH_i(1+mf_{cs})\sqrt{1+m^2}]$$

式中,  $p_i$  为设计水平冰推力,有资料建议初设取 150 kN/m<sup>2</sup>;  $\delta_i$  为冰层厚度,  $m$ ;  $H_i$  为冰层以上护面垂直高度,  $m$ ;  $C_{cs}$  为护面与坡面的粘结力, 150 kN/m<sup>2</sup>;  $f_{cs}$  为护面与坡面的摩擦系数(无资料时可取 0.5);  $F_s$  为安全系数,一般取 3.0。

1.4 护坡稳定性分析

土坡上的模袋不允许在自重的坡向分力下产生滑动,并要有一定的安全系数。安全系数  $F_s$  可根据静力平衡条件按下式计算,计算所得的  $F_s$  应不小于 1.5。

$$F_s = R/T=[(L_3+L_2\cos \alpha )(L_2\sin \alpha )]\times f_{cs}$$

式中,  $R$ 、 $T$  为为模袋沿坡面的抗滑力与滑动力;  $\alpha$  为坡角, (°);  $f_{cs}$  为为模袋与坡之间的摩擦系数,应由试验确定,无试验资料时可取 0.5;  $L_2$ ,  $L_3$  分别为坡长、坡脚长,  $m$ 。

1.5 护坡的排水设计

土工模袋护坡应根据坡面出水的出流量来确定滤水点分布的数量,当选用无滤水点土工模袋时应增设渗水滤管,也可根据实际情况设置排水槽。

顺坡轴方向 1 m 所需排水孔数  $n$  可按下式估算:

$$n = F_s \times \Delta q/(k \times J \times a)$$

式中,  $\Delta q$  为顺坡轴方向 1 m 所需要的排水量, m<sup>3</sup>/万方数据

$s$ ;  $k$  为渗水孔处滤层渗透系数, m/s;  $J$  为渗水处水力梯度;  $a$  为一个排水孔面积, m<sup>2</sup>;  $F_s$  为安全系数,可取 1.5。

1.6 护坡的构造

(1) 顶部:一般宜采用浆砌块石保护,对于有地面径流的坡顶,应设置截水沟或其他防止地表水侵蚀土工模袋下部地基土的措施。

(2) 底部:海岸斜坡护岸,底端应设压脚棱体或块体;河岸宜使模袋下端伸过设计冲刷线以下 0.5 m 或抛石保护,以防冲刷。

(3) 侧翼:应开沟槽,将两翼模袋埋入沟槽中。

(4) 相邻两块土工模袋的接缝处应垫设土工布,土工布与土工模袋的搭接长度应不小于 50 mm。

2 模袋混凝土护坡的施工

2.1 施工前的准备

施工前的准备工作主要有以下几项:

- (1) 熟悉设计文件,编制施工组织设计;
- (2) 根据设计图纸、现场地形、设计标准段和异型段土工模袋加工尺寸图,委托生产厂家加工;
- (3) 布设施工基线、高程控制点;
- (4) 施工机具、设备组织、施工便道、管道铺设等。

2.2 坡面的整理

土工模袋护坡充灌成型后是否美观,很大程度上取决于坡面修整的质量。坡面的整理,首先要在测量放样的基础上,用机械进行开挖,并保证土坡面留有 20 cm 厚的保护层,切忌超挖回填。然后进行精细放样,采用人工方式进行坡面修整。施工时必须做到坡比达到设计要求、河口线顺直、坡面平整,不能有块石突出或凹坑,不能有树根及其他尖锐杂物,以免刺破土工模袋,影响充灌质量。对部分回填部位应做到分层夯实,以确保回填土干密度达到设计要求。

2.3 模袋的铺设

(1) 施工前必须确定沿水流方向为施工方向,然后沿岸线施工方向铺设土工模袋单元,第一次铺设至少 4 个单元,异型单元必须对号入座,施工的程序方向与单元搭接布同向。

(2) 在坡顶距模袋穿管布外侧 1 m 左右沿岸线方向设置钢管桩 1 排(间距 1~2 m),用倒链与模袋上端穿管布内钢管连接,以调节模袋施工充灌时的动态张力,确保模袋充灌厚度一致。坡顶模袋要有一定的富余量,使单元施工结束时上端控制在设计

范围内，富余量凭经验而定，一般为 3%，并在第一单元施工时修正确定。

(3) 随模袋的铺展要及时压设砂袋或碎石袋。对于受风浪影响较大的坡面，砂袋宜用绳索接成串；对水下部分铺设，应由潜水员配合进行检查。

(4) 土工模袋铺设后应及时充灌混凝土或砂浆。

2.4 模袋混凝土的配比及制作

为保证顺利施工，加快施工速度，保证施工质量，提高经济效益，充灌模袋的混凝土要有良好的和易性、流动性和泵送性，以保证混凝土能顺利地充灌入模袋中不需要机械外力而自动密实，且不发生离析。

模袋混凝土的配合比一般采用水泥砂碎石 = 1:2:2，水灰比为 0.6 ~ 0.65，坍落度为( 21 ± 2 )cm，中砂、碎石粒径为 0.5 ~ 1.0 cm。

为了保证混凝土在模袋中呈扇形扩散充盈袋体，可在混凝土配比中掺入高效减水剂、引气剂和膨胀剂。其掺量应先根据设计的建议值结合材料的实际情况进行调整，再通过模袋混凝土配比大样试验最终确定配比。

混凝土制作时由专门技术人员负责，严格把关，不合格的混凝土严禁使用，以免产生堵管的严重后果。

2.5 模袋混凝土的充灌

模袋混凝土充灌是整个施工过程的关键工序，须高度重视，具体操作如下：

(1) 混凝土充灌前首先要用清水冲洗湿润管道，然后用水泥砂浆润滑管道。

(2) 陆上部分的模袋充灌，在充灌前应洒水湿润。

(3) 模袋灌浆口与输送泵之间用橡胶软管连接，并绑扎紧密，以防泄漏。

(4) 混凝土充灌应从已充灌的相邻块处开始，沿自下而上、从两侧向中间的次序进行，充灌过程中应及时调整模袋上缘的拉力，确保土工模袋护坡厚度一致。

(5) 充灌速度应控制在 10 ~ 15 m<sup>3</sup>/h 范围内，出口压力以 0.2 ~ 0.3 MPa 为宜。当护坡坡度较缓、混凝土充灌向下流动困难大时，应采用人工踩挤的

方式，使混凝土向下流动，达到充灌成型的目的。

(6) 土工模袋混凝土充灌将近饱满时，应暂停 5 ~ 10 min，待模袋中的水分析出后，再充灌至饱满。

(7) 土工模袋充灌成型后，应及时用水将模袋表面和滤点孔内的灰渣冲洗、清理干净，并进行养护，7 d 内要保持表面湿润。

(8) 混凝土的拌和及运输能力必须能跟得上泵的输送能力，尽可能加快浇筑速度。浇筑应连续作业，尽量缩短浇筑时间，保证施工质量及施工安全。

(9) 一个单元浇筑完成之后再铺设、搭接、浇筑下一个单元。在每次混凝土浇灌完毕后的间歇期间，都应把输送泵与管道清理干净，以免混凝土粘附于机械和管道表面而影响下次混凝土的浇灌。

(10) 施工时要作好模袋混凝土的原始施工记录，其内容包括：每块混凝土所用的材料品种、质量、混凝土配比、坍落度和掺气量、每块混凝土的浇筑顺序和施工起止时间，以及施工时发生的故障及处理经过等。

3 模袋混凝土质量控制

3.1 土工模袋的检验与验收

(1) 厂(供)方应逐批提供出厂土工模袋的合格证明和国家认可的质量检测单位出具的技术性能鉴定书或试验报告。

(2) 土工模袋进场时，应对其规格尺寸、缝制质量和外观的缺陷等进行检查。

(3) 主要物理及技术性能应按下列要求抽查复验：每批(但不超过 5 000 m<sup>2</sup>)抽样 1 块；当设计有要求时，按设计要求抽样。

3.2 土工模袋混凝土的强度检验

土工模袋混凝土试件应在充灌口取样，取出的混凝土应先灌入与模袋相同的织物布袋中(布袋尺寸宽为 150 mm、长 1 500 mm)，灌入长度 1 200 mm，布袋要吊置 10 ~ 20 min，再取出袋中混凝土装入标准试模成型。

3.3 土工模袋护坡施工的检验标准

土工模袋护坡施工的允许偏差、检验数量和检验方法如表 2。

表 2 土工模袋护坡施工的允许偏差、检验数量和检验方法

序号	检查项目	允许偏差	检验单元	单元测点	检验方法
1	混凝土充灌率/%	± 5	每块	1	计算
2	相邻块缝宽/mm	≤ 30	每块	3	用尺量上、中、下 3 处
3	表面平整度/mm	20	每块	2	用 2 m 靠尺量

好。

(3) 用高压水枪喷洒,可控制较大范围。用高压水枪的目的不是用高压水冲洗堆石料中的细颗粒,而是用它扩大喷洒的范围。

这几种方法效果都较好,可根据具体情况选用。加水量宜通过试验确定,一般砂砾石宜为 10%~20%,堆石料宜为 10%~25%,最后由碾压试验确定。对细粒含量较多的软岩,加水量应控制在最优含水量附近,也由试验确定。

在冬季负温条件下填筑时,不能加水碾压,应减薄层厚、增加碾压遍数、加大碾压功能等,达到要求的密实度。

5 其他

边角及靠近岸边的部位的压实特别重要,特别是直接位于周边缝下面的区域,其变形直接影响周边缝的安全,要填筑较细材料,加强碾压,避免粗粒料在岸边的集中。在压实时,还可以用一些专门的机具和措施,如用液压振动平板专门压实,用振动碾载重车(或装载机)沿岸坡线方向碾压,或用小型振动碾压设备等。库克还提出最好在下部高压力

区,或离坝头 15 m 范围内,用细料加强压实,而不仅限于周边缝下。

对每层铺料厚度必须严格控制。过去经验表明,压实不合格的大都是铺料过厚的部位。铺料厚度要每层都用仪器测量。至于层厚是指铺料厚度还是压实后的层厚,并无统一规定,在设计要求中规定即可。如用压实层厚控制时,则可由试验确定相应铺层厚度,作为铺料时的控制标准。

坝体铺料次序,应先堆石→过渡层→铺垫层,即先粗后细的顺序。在铺好堆石后,先清理界面上大石集中处再铺过渡层料,同样清理界面上大石后铺垫层料。清理界面上的大石最好用反铲,并作为一道工序列入施工技术要求,这样质量才有保证。界面有些犬牙交错是无碍的。

参考文献：

[1] SL228-98,混凝土面板堆石坝设计规范[S].

[2] DL/T5016-1999,混凝土面板堆石坝设计规范[S].

[3] DL/T5128-2001,混凝土面板堆石坝施工规范[S].

[4] 澳大利亚国家大坝委员会.混凝土面板堆石坝导则[S].1991.水利水电规划设计总院译印.1992.

[5] DL/T5129-2001,碾压式土石坝施工规范[S].

[6] SL237-1999,水利部土工试验规程[S].

Rockfilling Construction Quality Control of High Rockfill Dam

JIANG Guo-cheng

(Water Conservancy & Hydropower Academy of China, Beijing, 100044, China)

**Abstract：**In the light of new stipulates about dam-body filling quality control in design and construction regulations of concrete face rockfill dam issued lately, the paper makes explanation and discusses some main problem related with quality suck as dam-body fill standard, dry density examination in site, rolling coarse materials with water and etc.

**Key words：**conservancy project construction, concrete face rockfill dam, filling parameter, filling quality control, filling standard explanation and discussion

(上接 37 页)

4 结语

模袋混凝土是一种新型的技术,具有整体性强,充灌的混凝土强度可根据工程具体要求设计。目前,模袋材料已从单一的锦纶扩大为丙纶、涤纶、锦丙等多种,使模袋布的价格大幅度降低。模袋混凝土护坡技术也得到了迅速的发展,它克服了其他护面形式的诸多缺点,成为十分成熟的护面新技术。模袋布的使用已从渠道、内河走向大江、沿

海和海岛。模袋混凝土护坡的施工工艺有了新的提高,从最初的岸上作业到水下的潜水作业。模袋混凝土护坡的厚度也从一般的 10~20 cm,发展到 30,40 cm,最厚达 60 cm。可以相信,随着模袋混凝土技术研究的发展和应用经验的不断积累,模袋混凝土护坡技术必将进入一个快速的发展阶段。随着土工合成材料在水利工程上大面积推广应用,模袋混凝土护坡具有良好的应用前景。

参考文献：

[1] SL/T225-98,水利水电工程土工合成材料应用技术规范[S].