



武穴水道航道整治工程坝体新结构研究

柴华峰, 黄召彪, 海 涛

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 本文结合长江中游武穴水道航道整治工程的工程需要, 分析了航道整治工程传统坝体结构的优缺点和破坏原因, 根据武穴水道的工程条件, 设计出了适合长江中下游航道整治工程的新型坝体结构型式——箱体坝和沙枕-模袋混凝土盖面坝体, 并进行了成功的运用, 结合运用后的效果对新型坝体结构的前景进行了预测。

关键词: 航道整治; 坝体新结构; 运用效果

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)10-0132-07

New dam structure in Wuxue waterway regulation project

CHAI Hua-feng, HUANG Zhao-biao, HAI Tao

(Changjiang Waterway Institute of Planning, Design & Research, Wuhan 430011, China)

Abstract: Considering the requirements of the Wuxue waterway regulation project, which is carried out in the middle reaches of the Yangtze River, this paper presents an investigation of the advantages, disadvantages and destruction reasons of the traditional dam structure in channel regulation projects. Furthermore, according to the Wuxue waterway conditions, new dam body structural types, i.e. box dam and sand pillow bag-concrete covered dam are proposed and applied successfully in the project. The prospects of the new dam body structure are forecasted based on the application effects of the new dams.

Key words: waterway regulation; new dam structure; application effect

1 工程背景

1.1 河道概况

武穴水道位于长江中游, 下距九江市45 km。上起仙姑山, 下止葫芦山, 全长14.5 km。本水道为向右弯曲的鲤鱼山弯道和向左弯曲的新洲鹅头型汊道之间的连接段。本水道进口宽约1.1 km, 狗头矶以下至葫芦山沿程放宽, 狗头矶处江宽1.35 km, 至泥湾处宽达2.1 km, 葫芦山处宽约2.2 km。狗头矶以上, 深槽贴右岸分布; 自狗头矶以下呈水下分汊形势, 主流由右岸向左岸过渡入北槽, 其右侧由于河岸凹进, 且沿程吸纳了北槽的漫滩水流, 贴右岸形成南槽, 因此, 北槽水深沿程减少, 而南槽则沿程增加。在两槽之间因断面扩大、流速

减缓, 泥沙落淤, 加上由横向水流所带来的底沙在此滞留, 形成由狗头矶直抵新洲头的长沙埂, 即鸭儿洲心滩。总体上看, 本水道呈两槽一滩的河势格局。南槽为常年通航槽口, 其进口段(泥湾附近)为主要碍航浅区, 航道现行维护尺度为: 4.0 m × 100 m × 1 050 m (航深 × 航宽 × 弯曲半径), 保证率98%^[1] (图1)。

1.2 工程条件

1) 工程区域河床主要由黏性土及中细沙组成, 沙土覆盖层厚20~30 m, 河床多变, 护底(滩)等建筑物应具有较好的保沙性能, 并能较好地适应河床变形。

2) 武穴水道年内水位变化大, 施工受水位影

收稿日期: 2012-08-02

作者简介: 柴华峰(1980—), 男, 工程师, 从事航道整治工程的研究和设计。

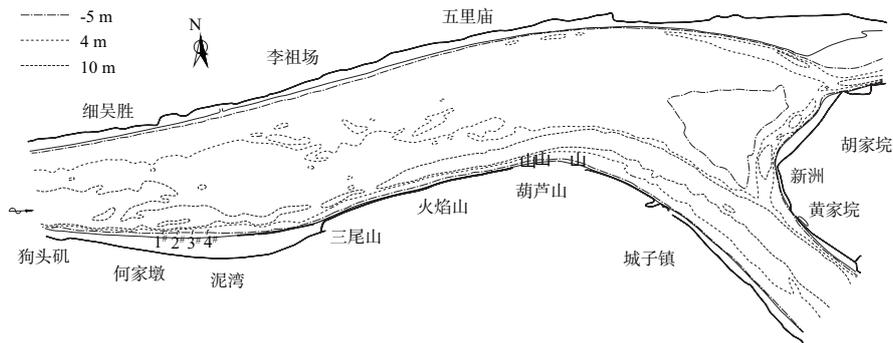


图1 武穴水道河势

响, 季节性强。

3) 坝体所受到的波浪力相对较小, 最大风速为 20 m/s。

4) 工程区表流最大流速洪水期为 2.2 m/s, 枯水为 1.8 m/s, 工程局部最大流速为 2.5 m/s (模型试验成果), 略大于实测流速。建筑物结构设计条件按 3 m/s 进行稳定性校核。

1.3 整治工程方案

整治工程选择南槽为主通航槽, 通过整治建

筑物减少漫滩水流, 增加南槽进口流量、流速, 减少淤积, 维持航槽相对稳定, 使南槽形成稳定优良的枯季航道。工程内容为: 在鸭儿洲心滩上建一道 5 988 m 长的顺坝, 稳定鸭儿洲心滩滩体, 拦截横向漫滩水流, 适当增加南槽进口流速、流量, 减少淤积; 在顺坝尾端建一道长 450 m 的条形护滩带, 守护鸭儿洲心滩的高滩滩脊部分, 防止冲刷, 避免漫滩水流抄后路^[2]。工程平面布置见图 2。

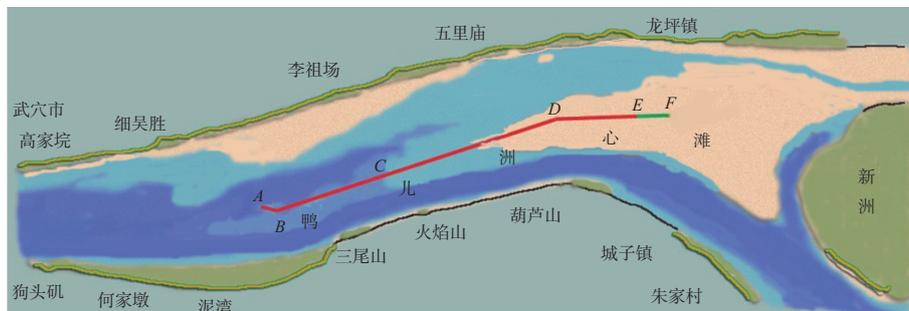


图2 武穴水道航道整治工程

2 新型坝体结构研究

2.1 传统坝体结构及特点

在长江以往的航道整治工程中, 出于建筑材料取材以及投资方面的考虑, 传统的坝体结构主要是堆石坝(浆砌块石坝或抛石坝)和沙枕填芯-块石盖面坝。

1) 堆石坝。

堆石坝主要有普通的全堆石坝以及改进型的全堆石坝 2 种。目前, 全堆石坝在长江中下游航道整治工程中运用得较多, 全堆石坝施工比较便利, 整体性较强, 但由于全堆石坝一般只在坝顶面进

行砌筑, 而坝坡面一般不做处理, 因此, 对于一些受水流顶冲或受中洪水期砂卵石磨擦较厉害的部位易遭受水流的破坏。改进型的堆石坝有在坝肩采用铁丝笼和灌注体形式以及抛石棱体与浆砌石墩的混合坝, 其中, 在坝肩采用铁丝笼和灌注体的堆石坝在长江上游及川江航道整治工程中运用得较多; 抛石棱体与浆砌石墩的混合坝外形美观, 顶部整体性强, 不易损坏, 在一定坝高条件下, 能节省石料、节省投资, 适用于河床比较稳定, 施工水位较低的河段, 但是工程须分汛前、汛后两次施工, 不能一气呵成, 当坝体发生沉陷

时,抛石棱体容易断裂崩毁^[3]。

2) 沙枕-块石盖面混合坝。

这是一种改进的堆石坝,以沙枕代替部分块石。随着土工布的迅速发展,以沙枕填芯为主的重型坝体结构,在国内外水利工程上已广为应用,实践证明:采用这种坝体结构材料,不仅取材方便,施工简单,而且机械化程度高,能进行大规模施工,节省投资,提高工效,加快工程进度。在长江张家洲南港航道整治工程和碾子湾航道整治工程中得到广泛的运用,从使用效果上看,坝体稳定、促淤效果良好。但在施工过程中,坝体抛石时容易扎破外层沙枕,当破损沙枕内的充填沙流失后坝体局部出现塌陷;当河床发生局部冲刷后盖面块石容易滚落,造成沙枕外露,使沙枕容易遭受破坏^[4]。

据统计,长江已建航道整治工程中处于受冲状态的丁(顺)坝局部遭受破坏的情况十分严重,据不完全统计,遭受破坏的丁(顺)坝条数占总丁(顺)坝数的82%。

2.2 破坏原因分析

对传统坝体结构遭受破坏的原因进行分析,主要因素有自身结构存在不足、水流泥沙动力、维护管理以及人为破坏等因素。这些因素之间相互影响,相互作用,使坝体受到不同程度的破坏。

1) 自身结构存在不足。

传统的坝体结构形式自身存在缺陷。首先,无论是堆石坝还是沙枕-块石盖面的混合坝都是只对坝顶面进行处理,没有对坝坡面进行处理,坝坡面容易遭受破坏,进而导致整个坝体出现破坏;其次是坝体面层采用的是散体结构,整体性不强,导致坝体容易遭受破坏。

2) 水流泥沙动力因素。

建成后的坝体受水流顶冲、沿体流、翻坝水流等多种水流的作用,坝体薄弱部位易出现破坏,形成小缺口,之后缺口扩散,破坏越来越严重。此外,风、洪水、船只等形成的波浪对坝体产生拍击力,也会使坝体结构的稳定性受到不利的影晌^[5]。

3) 维护管理因素。

传统的坝体结构多为散体结构,此类结构具有较好的适应沙质河床变形的能力,但不能做到一劳永逸,在整治工程完工后,需根据坝体变形的情况及时的对整治建筑物进行维护方能保持其整体性和牢固性。但由于航道维护经费原因,对一些整治建筑物未能及时进行维护,造成建筑物水毁并不断加剧。

4) 人为破坏因素。

受采砂、民船靠泊等人为因素的影响,坝体松动而出现整体性破坏。

以上4种因素中,水流泥沙动力因素是不可避免的,只能通过提高设计水平减小水流的影响,维护管理因素和人为破坏因素均可以通过加强管理进行解决,因此,坝体自身结构存在不足是目前亟待解决的问题。

2.3 坝体新结构研究

“十二五”期间,国家将进一步加大对长江航运的投入,长江航道已步入发展的黄金阶段,长江干流的航道整治工程已全面展开,为保证整治工程的质量和整治效果,降低工程维护成本,研究长江航道治理工程中的坝体新材料、新结构,并在整治工程中进行运用和检验,提出合适的坝体新结构是十分必要的。

长江中下游河床为沙质河床,随着三峡工程的应用、清水下泄,长江中下游河道冲刷会出现新的特点,航道整治对建筑物应考虑少淤多冲条件下的稳定。武穴水道航道整治工程中顺坝长5 988 m,占整个整治建筑物长度的93%,因此,选择在本工程中进行坝体新结构的研究和试验性运用^[6]。

2.3.1 新型坝体运用思路

根据本工程工程区域的河床地质条件、水深、工程实施前后的水流流速以及工程区的冲淤预测情况,以及不同坝体的优缺点,机械化运用对工程场地的要求等,提出新型坝体结构应具有较好的稳定性、耐久性,以减少维护工程量;新型坝体结构最好为混凝土预制构件,以提高机械化施工水平,提高施工进度。

2.3.2 坝体新结构及工艺

在工程设计阶段根据本工程施工与运用条件、各种坝体结构的适用条件和优缺点分析, 在水深较大而水流平顺的2[#]~3[#]缺口间(顺坝中下部), 试验性运用整体性好、稳定性强、外形美观的箱体坝; 在水深小、流速低、易回淤、坝体相对低矮的顺坝尾部, 试验性运用沙枕—模袋混凝土盖面混合坝。箱体坝、模袋坝试验段各设200 m长。

2.3.2.1 箱体坝

1) 结构形式。

箱体坝是一种重力坝, 其结构是整体的钢筋混凝土箱体, 箱体为开敞式, 充填河砂后进行现浇封闭。箱体构件属于对接箱体, 箱体构件尺寸为4.25 m×4 m×4 m(长×宽×高), 质量约60 t, 宽度方向两侧外伸脚趾为0.3 m, 混凝土为C₃₀。箱体构件顶部为开敞式, 四周均为封闭的钢筋混凝土

箱体, 底板厚300 mm, 其它均为250 mm厚。箱体构件迎水面和两侧面板呈直立式; 背水面板在底高1.5 m以上为1:1.25的斜坡式, 1.5 m以下为直立式。

箱体坝坝体包括护底和坝体两部分。其中, 护底采用D型排, 根据依托工程的部位, 箱体坝的护底宽度为135 m。由于箱体坝使用的部位存在沿体流, 且水流流速相对较大, 加上箱体坝为第一次在内河中使用, 为增加箱体坝体的稳定性, 在箱体坝的上下游面均加设了镇脚棱台。故, 坝体主要包括3个部分: 抛石基床、充沙箱体、镇脚棱台。充沙箱体由箱体构件及其内充填河砂构成; 充沙箱体下方设抛石基床, 基床顶部高程为坝面下4 m, 与箱体构件两侧肩台宽度1 m, 基床两侧边坡为1:1; 镇脚棱台位于箱体构件的两侧, 上游侧棱台顶宽1.5 m, 下游侧棱台顶宽2 m, 顶高为坝面下2.5 m, 左侧边坡为1:1, 右侧边坡为1:1.5。箱体坝的结构见图3。

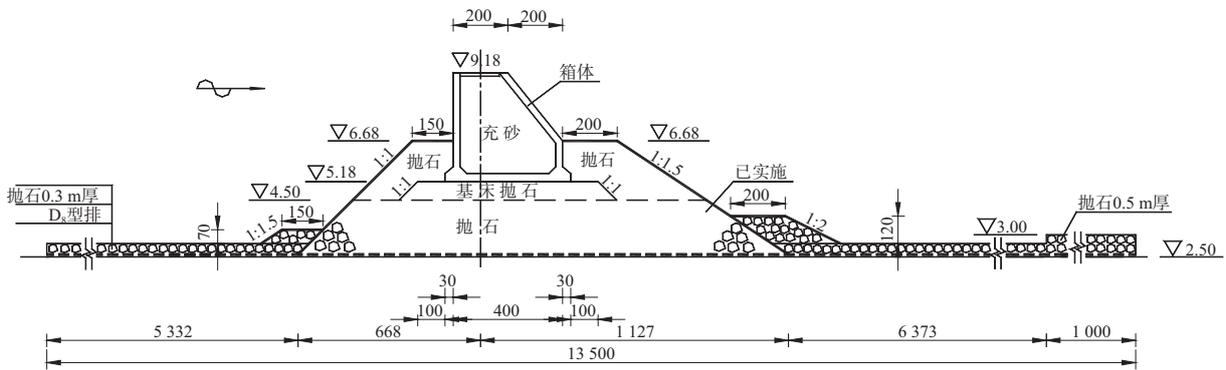


图3 箱体坝结构

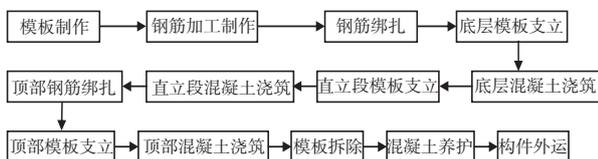
2) 施工工艺。

箱体筑坝主要包括以下4个环节: 构件预制、构件运输、抛石基床整平和构件安装。

① 构件预制。

箱体构件在预制场进行预制。预制场要求具备固定拌和、流动运输、泵送混凝土入仓和具备60 t起重能力以上的起重设备。

箱体构件预制的施工工艺流程为:



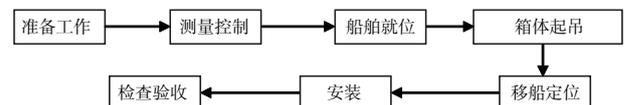
② 构件运输。

构件预制好后, 再用平板运输车、平板驳船运至施工现场。构件运输施工工艺流程为:



③ 抛石基床整平。

箱体构件沉放前, 应先对抛石基床进行整平。整平施工流程为:



为使基床顶高程符合设计要求，便于平稳安装上部预制构件，基床顶面均需按设计要求进行细平或极细平。细平和极细平时，大块石之间不平整部分宜用二片石填充；二片石之间不平整部分，用碎石填充，碎石允许成层，但其厚度不应大于5 cm。

④构件安装。

抛石基床整平验收合格后，进行箱体构件的安装，构件安装施工流程为：



2.3.2.2 沙枕-模袋混凝土盖面混合坝

1) 结构形式。

沙枕-模袋混凝土盖面混合坝采用的是向柔性的土工织物中冲灌混凝土的方式，其设计机理为：在坝芯上铺设土工织物（模袋），利用其柔性的特点使其能很好地与坝芯贴合在一起，再向其中冲灌具有流动性的混凝土，待其固结后形成刚性的整体，并与坝芯成为一体，由于模袋混凝土不过流，增大了坝面特别是坝坡面对水流的作用面，能有效减弱水流对坝体的作用力。由于模袋的表面为2层长丝机织布，很容易被硬物划破，因此，坝芯不能采用块石，利用柔韧性较好的沙枕代替；混凝土凝固成型后适应坝体的变形能力较差，因此坝体面层的模袋混凝土须在坝芯实施

并完成了沉降、变形后再实施。

枕袋由幅宽3.88 m、规格为200 g/m²的聚丙烯编织布缝制而成，长度按成型结构需要可为8 m、5 m、3 m共3种规格，沙枕直径为1.2 m。为增加枕袋强度，在袋布上沿长度方向布设宽5 cm的纵向加筋条4根，纵筋间距为96 cm，沿宽度方向加宽3 cm的横向箍筋，间距为100 cm。枕袋设置2~3个充灌袖口，直径为15 cm，袖筒长50 cm。沙枕采用丁缝法缝合，筋条之间错开连接。

模袋宽度根据坝体横断面长度要求而定，模袋内充填水泥砂浆，混凝土充填厚度为200 mm。模袋采用长丝机织聚丙烯材料制作，质量不小于570 g/m²（双层），模袋布垂直渗透系数、等效孔径、抗拉强度等各项指标符合设计要求。

模袋坝体包括护底和坝体两部分。其中，护底采用D型排，根据依托工程的部位，模袋坝的护底宽度为100 m。由于模袋坝使用的部位存在沿体流，加上模袋坝为第一次在内河中使用，为增加稳定性，在坝体上下游面均加设了镇脚棱台。坝体主要包括3个部分：沙枕坝芯、模袋盖面、镇脚棱台。坝芯为沙枕，坝面为0.2 m厚的模袋混凝土，沙枕与模袋之间用碎石袋找平，坝脚上下游两侧模袋分别伸出坝脚1.5 m和1 m。坝身段顶宽2 m，背水坡（右侧）边坡为1:2，迎水坡（左侧）边坡为1:1.5。坝体坡脚设置抛石棱体，上下游棱体分别宽1.5 m和2 m，高度为0.8 m。结构设计见图4。

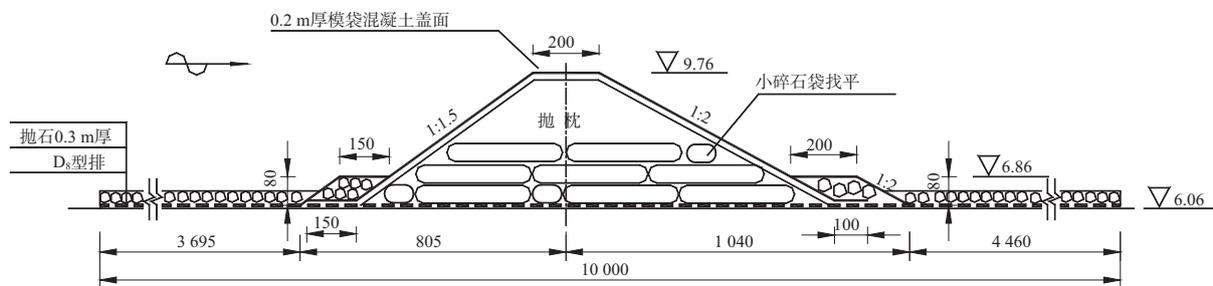


图4 模袋坝结构

2) 施工工艺。

模袋混凝土坝的施工工艺主要包括以下两个环节：抛枕筑坝和模袋混凝土护面。

①抛枕筑坝。

抛枕筑坝的流程为：放样→抛枕船展布→取沙充枕→沙枕试抛→抛枕。

②模袋混凝土护面。

模袋混凝土的施工流程为: 施工准备→模袋制作→坝坡面整平→模袋混凝土固定→模袋混凝土养护。

2.3.3 新型坝体造价分析

1) 箱体坝造价分析。

箱体坝工程造价分析按照与传统的抛石坝结构按20 m长、5 m高坝体的工程费用进行比较, 2种坝体的工程费用见表1。可以看出, 传统的抛石坝

造价每延米为5 979元, 而箱体坝造价每延米为14 654元, 比抛石坝造价提高145.09%, 造价较高。

2) 模袋坝造价分析。

沙枕-模袋混凝土坝工程造价分析, 按照与传统的抛石坝结构按20 m长、5 m高坝体的工程费用进行比较, 两种坝体的工程费用见表2。可以看出, 传统的抛石坝造价每延米为5 979元, 而沙枕-模袋混凝土坝造价每延米为8 003元, 比抛石坝造价提高33.85%。

表1 每20 m长、5 m高的2种坝体工程费用对比

| 结构方案 | 工程名称 | 数量 | 综合单价/元 | 合价/元 | 每延米造价/元 | 与抛石坝相比增减率/% |
|------|-------|----------------------|---------|---------|---------|-------------|
| 抛石坝 | 抛石坝体 | 1 270 m ³ | 90.475 | 114 903 | 5 979 | |
| | 坝面整理 | 130 m ³ | 4.367 | 568 | | |
| | 干砌块石 | 30.4 m ³ | 135.193 | 4 110 | | |
| | 抛石坝小计 | | | 119 580 | | |
| 箱体坝 | 箱体体 | 5件 | 50 626 | 253 128 | 14 654 | 145.09 |
| | 基床抛石 | 140 m ³ | 121.199 | 16 968 | | |
| | 抛石护脚 | 254 m ³ | 90.475 | 22 981 | | |
| | 小计 | | | 293 076 | | |

表2 每20 m长、5 m高的2种坝体工程费用对比

| 结构方案 | 工程名称 | 数量/m ³ | 综合单价/元 | 合价/元 | 每延米造价/元 | 与抛石坝相比增减率/% |
|-----------|-------------|-------------------|---------|---------|---------|-------------|
| 抛石坝 | 抛石坝体 | 1 270.0 | 90.475 | 114 903 | 5 979 | |
| | 坝面整理 | 130.0 | 4.367 | 568 | | |
| | 干砌块石 | 30.4 | 135.193 | 4 110 | | |
| | 抛石坝小计 | | | 119 580 | | |
| 沙枕-模袋混凝土坝 | 沙枕 | 993.6 | 80.822 | 80 304 | 8 003 | 33.85 |
| | 0.2 m厚模袋混凝土 | 460.0 | 154.594 | 71 113 | | |
| | 碎石袋找平 | 20.0 | 178.917 | 3 578 | | |
| | 抛石 | 56.0 | 90.475 | 5 067 | | |
| | 小计 | | | 160 062 | | |

3 坝体新结构的运用及效果

3.1 试验性运用

根据设计要求, 第一届枯水期实施了箱体坝月, 为采集工程实施后箱体的位移和沉降情况, 箱体安装完毕后, 及时在每个箱体的顶部均设置了观测点(共47个), 并于设点结束后的当天进行了第1次观测作为初始的观测数据。为了解箱体在汛后和退水后的沉降变形情况, 分别于汛后和退水期进行了第2次和第3次观测。

根据设计要求, 沙枕-模袋混凝土盖面混合坝在第1个枯水期实施沙枕坝芯, 等其沉降变形充分完成后, 再在第2个枯水期实施坝面模袋混凝土的铺设。为对已施工成型的沙枕-模袋混凝土盖面混合坝进行变形观测, 施工结束后在模袋混凝土覆盖的坝顶上设置了沉降观测点(17个), 每个观测点以钢钉钉入, 红油漆记录的方式设立。观测点设置后进行了初始观测, 并让坝体经历了汛期涨水和汛后退水, 让其有充分变形的时间和过

程,于次年枯水期进行了最终的观测。

3.2 运用效果

从观测箱体坝的位移和沉降资料的对比分析上看,比较箱体汛后的变形(第1个变形期)和退水后的变形(第2个变形期)情况,第2个变形期无论是水平位移还是沉降都略小于第1个变形期,说明箱体的变形是随着时间的推移而逐渐减小的。箱体坝从施工到整个观测结束,总体上是稳定的,最大的水平位移(位移绝对值)为0.4 m,最大的沉降为0.06 m,扣除测量仪器的正常误差,箱体的变形主要表现为水平位移上,其沉降基本上可以忽略不计。而且,工程实施后,经历了汛期和退水过程后,其水平位移和沉降已基本稳定,继续变形的程度将逐渐减小,箱体坝的整体稳定性是可靠的。

从观测沙枕-模袋混凝土盖面混合坝的位移和沉降的资料分析看,模袋铺设后经历一个涨水和退水过程,其最大水平位移为0.04 m,最大的沉降为0.03 m,经过测量数据的对比分析可以看出,各个观测点的最终数据与原始数据相差不大,由于沙枕-模袋混凝土盖面混合坝的沙枕坝芯在前一个施工期就已经实施,其沉降变形自模袋铺设之前就基本上已经完成,根据以往坝体变形的经验,坝面的变形基本上可以不考虑,因此,观测的变形值应属于仪器自身的误差引起的。因此,可以认为,沙枕-模袋混凝土盖面混合坝在坝面模袋铺设完成后并无沉降及变形情况的发生,此种结构形式是十分稳定的。

按照与传统的抛石坝结构按20 m长、5 m高坝体的后期维护费用进行比较可以看出,传统的抛石坝后期维护每延米为1 331元,而箱体坝和沙枕-模袋混凝土坝都不需要进行后期维护,后期工作量大大减少。

4 结语

1) 箱体坝主要优点是:整体性好、稳定性强、外形美观,机械化施工水平高,突破了长江

中下游航道整治枯水施工的限制,能提高施工进度;就地取材,利用箱体充填河沙,省去了块石,对环境的影响小。其缺点是:施工工艺较为复杂,投入大型设备多,造价相对较高。该结构适用于水深较大而水流较平顺的坝体,应用的规模越大,成本越低,在大规模的筑坝工程中有较广阔的运用前景。

2) 沙枕-模袋混凝土盖面混合坝在武穴水道整治工程实施后,已显示出其抗冲刷能力强、整体性能好、施工方便快捷、整体美观的优点。沙枕-模袋混凝土盖面混合坝在长江航道整治工程中的成功运用为今后整治工程提供了技术借鉴和经验,对加快长江航道系统整治工程实施步伐,早日发挥整治工程效益具有十分重要的推动作用。目前,沙枕-模袋混凝土盖面混合坝已经在长江下游张南下浅区航道整治工程等其他工程中进行了推广运用,具有广泛的运用前景。

参考文献:

- [1] 黄召彪,黄成涛,柴华峰,等.长江中游武穴水道航道整治工程初步设计[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2006.
- [2] 黄召彪,柴华峰,黄成涛,等.长江中游武穴水道航道整治工程施工图设计[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2006.
- [3] 刘书伦.丁坝设计.山区航道整治论文集[M].北京:人民交通出版社,1980:157-160.
- [4] 切格恰辽夫B B.内河航道整治建筑物的设计及管理[M].北京:人民交通出版社,1988.
- [5] 潘庆燊,余文畴.国外丁坝研究综述[J].人民长江,1979(3):15-17.
- [6] 黄召彪,柴华峰,余帆,等.长江中游武穴等水道.上游沪渝段航道整治建筑物坝体新型结构研究[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2010.

(本文编辑 郭雪珍)