

柔性导流坝坝体拉力及稳定性试验研究

王建中, 范红霞, 朱立俊

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 描述了柔性坝坝体的结构和工作方式, 基于力学机制分析和力矩平衡原理给出了单宽浮力的一般表达式。以钱塘江萧山杭州湾出海码头附近的河床及潮流为原型, 建立了1:40正态水槽模型, 通过试验研究了不同坝体形态条件下坝体底部拉力的变化情况, 指出柔性坝底部拉力的大小与浮筒的大小、坝体长与水深的比值直接相关, 得到了沙毯、沙枕束锚块柔性坝的起动流速及维持锚定系统稳定所需沙枕的尺寸和数量。柔性坝在不同潮位和不同流速情况下的整体稳定性试验结果表明: 只要浮筒、坝高以及锚定系统选择适当, 柔性坝能起到柔性、悬浮、活动和导流的作用, 并能在一定的水流条件下保持稳定。作为一种创新工程措施, 柔性坝结构可行性研究尚处于探索阶段, 还有许多问题有待于进一步分析研究, 并经工程实践检验, 以期不断完善。

关键词: 柔性坝; 拉力; 稳定性; 模型试验; 导流坝

中图分类号: TV644

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2014)05-0001-07

从20世纪60年代中期到80年代初, 网坝^[1-8]曾一度被认为是用于海涂围垦、河川治理和海堤防护的一种新型整治建筑物。由于其具有投资少、工程量小、施工简便的优点, 引起了国内外许多学者的关注和重视, 并运用于一些工程实践中, 亦取得了一定的工程效果。但在80年代后至今, 国内外几乎再没有对其进行过室内研究及现场试验。究其原因, 主要是网坝尚存在以下两方面明显的缺陷: (1) 过去所应用的网坝由于制作工艺的限制, 透水系数大多在0.8左右, 缓流挑流作用比实体坝差, 难以达到理想的工程效果; (2) 网绳经不起尖锐和坚硬物体的碰撞和摩擦, 在大风浪条件下, 网体极易破损, 导致难以保障其安全运行。

受以往网坝工程的启发, 南京水利科学研究院和浙江省水利水电勘测设计院于2009年首次共同提出了柔性活动悬浮式导流坝(简称柔性坝)的构想, 基于杭州湾钱塘江河口尖山河段的水文和水深条件, 完成了“萧山杭州湾出海码头工程柔性活动悬浮式导流建筑物水槽模型试验”研究^[9]。建立了1:40的正态概化水槽模型, 通过试验研究得到了恒定流作用下柔性坝工作机理、动力平衡方程、坝体形态、稳定性、阻水挑流特性以及浮筒、坝体、锚定系统等各部件受力与水流条件的关系和设计要素等方面的成果。本文着重介绍柔性坝坝体布基本不透水的棉布拉力、坝体稳定性方面的研究成果。

1 柔性坝坝体结构及运动形式

1.1 柔性坝坝体结构

柔性坝坝体上部为浮筒, 根据需要采用一根或多根适当直径的空心密封圆柱桶, 并用坝体布包裹圆柱桶, 浮筒与坝体布形成整体; 浮筒下部为坝体, 坝体采用不透水或基本不透水的柔性布材料; 下部为锚块, 初步确定采用大尺寸的编织袋冲填沙枕作为锚块, 并用坝体布直接包裹沙枕, 形成上部浮筒、中部柔性布坝体及下部沙枕锚块的整体坝(见图1)。

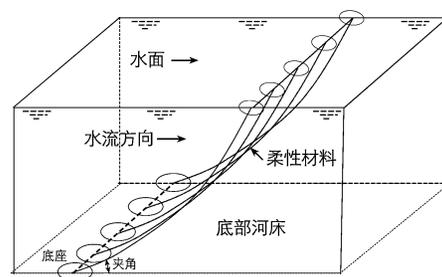


图1 柔性坝坝体结构示意图

Fig. 1 Structure of flexible dam

收稿日期: 2014-05-10

基金项目: 国家重点基础研究计划“973”项目(2012CB417001); 水利部“948”项目(201303)

作者简介: 王建中(1964-), 男, 江苏常熟人, 高级工程师, 主要从事港口航道工程物理模型试验研究工作。

E-mail: jzwang@nhri.cn

1.2 柔性坝运动形式

在一定的流速和水深条件下,当浮筒的浮力足以克服水流的作用,即浮筒抵抗流速大于水流流速时,浮筒能浮于水面,坝体为非淹没坝,起到较强的阻挡水流和挑流的目的;当水流流速超过浮筒抵抗流速时,浮筒的浮力不能完全克服水流作用力,浮筒潜入水中,浮筒和坝体形成潜坝,坝体能起到部分阻挡水流和挑流的作用;当水流流速很大时,浮筒及坝体基本倒伏在河床床面上,这时坝体对水流的阻挡和挑流作用较小。定义浮筒抵抗流速为:在一定的水流条件下,浮筒维持柔性坝悬浮的最小流速。

1.3 柔性坝及浮筒受力分析

根据柔性坝坝体的结构和工作方式,柔性坝在水中受到浮筒的浮力、水流推移力、水流上举力以及底部锚块的拉力和自身重力的共同作用,受力关系见图2。

由力学机制分析和力矩平衡原理,导出了单宽浮力的一般表达式^[9]:

$$F = k \frac{\rho}{2} U^2 H \frac{H}{L} \quad (1)$$

式中: F 为浮筒单宽浮力; U 为垂线平均流速; H 为水深; L 为柔性坝水平投影长度; ρ 为水的密度; k 为综合系数, $k = 7/6(k_1 - k_3 k_4^2)$,可通过试验确定(k_1 为水平推力系数, k_3 为上举力系数, $k_4 = x/y$)。

由式(1)可见,为克服水流作用力而使得浮筒正好浮于水面(即浮筒的抵抗流速等于水流流速),在忽略柔性坝布重力的情况下,浮筒的净浮力与流速的2次方成正比、与水深和工作角成正比关系。

2 水槽模型概况

2.1 水槽模型设计

以钱塘江萧山杭州湾出海码头附近的河床及潮流(涌潮流速达6 m/s以上)为原型,原型柔性坝长20 m,坝址最大水深16 m,即柔性坝垂向最大坝高为16 m。模型采用比尺为1:40的正态水槽模型,考虑到边壁影响及进出口流态需要,水槽宽度选择5倍坝宽,按比尺即水槽宽2.5 m,长40 m,高0.6 m,水槽最大流速按1.2 m/s设计,动力系统配备8台单台流量为500 m³/h的水泵,为便于观察坝体运动特征,在水槽中下段设置长3 m的玻璃观察段(图3)。

模型不仅必须满足几何条件相似,还必须满足水流运动相似和建筑物受力的力学相似。根据水流运动方程和水流对柔性坝的阻力关系,模型应满足的水流运动和水流对柔性坝的作用力相似条件为:

$$\text{重力相似:} \quad \lambda_V = \lambda_L^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{作用力相似:} \quad F = kA \frac{\rho}{2} V^2 \quad (3)$$

式中: k 为综合系数; A 为柔性坝迎水面积; V 为水流流速。式(3)写成比尺关系得到水流作用力比尺为:

$$\lambda_F = \lambda_k \lambda_A \lambda_V^2 \quad (4)$$

根据流体力学,在雷诺数超过10³以后,绕流阻力系数为常数,因此:

$$\lambda_F = \lambda_A \lambda_V^2 = \lambda_L^2 \lambda_V^2 \quad (5)$$

$$\text{将式(2)代入式(5),得到柔性坝水流阻力相似比尺:} \quad \lambda_F = \lambda_L^3 \quad (6)$$

将平面比尺 $\lambda_L = 40$ 代入式(2)和(6),则水流流速比尺 $\lambda_V = 6.325$,拉力比尺 $\lambda_F = 64\,000$ 。

2.2 柔性坝的制作

水槽试验中柔性坝浮筒采用直径为4.2和10 cm,壁厚为1.5~2.0 mm的密闭空心管,根据相似比尺,

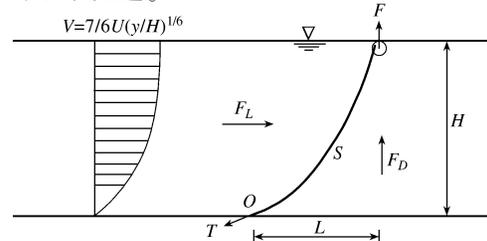


图2 柔性坝受力关系分析

Fig. 2 Stress relationship of flexible dam

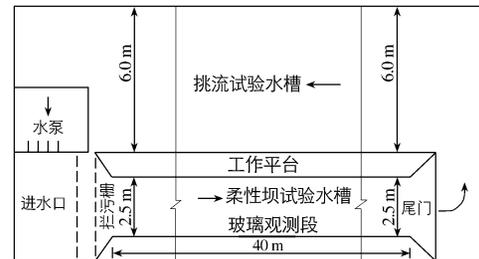


图3 水槽平面布置

Fig. 3 Layout of the flume

天然浮筒直径为 1.7 和 4.0 m,坝体选用基本不透水的棉布,布宽为 0.5 m,根据试验需要分别制作 1.2H, 1.5H, 1.8H 和 2.0H 等不同布长的柔性坝,浮筒与坝体采用坝体布包裹的方式连接,采用沙毯、沙袋束或直接固定于床面的锚定方式与床面连接。

3 柔性坝坝体拉力试验

3.1 试验目的

根据柔性坝的运行方式,坝体形态随潮位的涨落而有所变化,或浮于水面,或潜入水中,坝体底部的拉力会随着坝体形态的改变而变化,因此需了解不同情况和可能的极限条件下的坝体底部拉力,为柔性坝设计提供依据。

3.2 试验条件

试验共进行 3 种浮筒工况的拉力试验,浮筒按天然水深 10.0 m,抵抗流速分别为 2.0, 2.5 和 3.0 m/s 设计。试验的天然水深为 5.0 ~ 16.0 m,极限流速约 6.0 m/s,柔性坝的坝长与水深的比值约 1.0 ~ 3.3,具体试验条件及浮筒情况见表 1。

表 1 拉力试验浮筒及水流条件

Tab.1 Float and flow conditions for tension experiment

序号	浮筒设计抵抗 临界流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	浮筒情况(密封圆柱)	坝长/m	试验条件(天然)		
				水深/m	流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	坝长与水深比
1	2.0	4 根直径 1.7 m	16.1	5.0 ~ 16.0	1.50 ~ 5.98	1.0 ~ 3.2
2	2.5	3 根直径 2.2 m, 1 根直径 1.7 m	16.1	5.0 ~ 16.0	1.90 ~ 6.05	1.0 ~ 3.2
3	3.0	5 根直径 2.2 m	16.6	5.0 ~ 16.0	1.99 ~ 6.10	1.0 ~ 3.3

3.3 试验概况

试验过程中,为测量柔性坝底部拉力,在水槽中央设置 40 cm×70 cm×30 cm 的矩形槽,矩形槽顶部用留有缝隙的盖板覆盖,矩形槽中设置两个滑轮,试验时,将总力块的一端固定在矩形槽底部,另一端通过滑轮用细尼龙绳从盖板的缝隙中穿出与柔性坝坝底相连,并适当调整尼龙绳长度和方向,以保持尼龙绳不受缝隙边壁影响(见图 4)。

3.4 试验结果分析

试验结果表明:

(1)在一定水深和水流流速条件下,柔性坝底部的拉力与浮筒的大小直接相关,浮筒愈大,柔性坝底部所受拉力愈大。

(2)在水深一定的条件下,柔性坝坝体底部拉力随着水流流速的增大而呈增加趋势,当流速增加到一定值时,柔性坝底部的抓持部加长,悬垂部变短甚至出现柔性坝平卧在床面的现象,而对柔性坝底部拉力起主导作用的是悬垂部,因此底部拉力虽有增加,但增幅小于流速的增幅(具体见表 2)。

(3)柔性坝坝体底部拉力,和坝体长与水深的比值明显呈反比趋势,即在坝体长与水深的比值愈小时,柔性坝底部拉力较大,拉力的极限值基本上出现在坝体长与水深比值为 1.00 ~ 1.15,这是因为坝体长与水深的比值愈小表征了柔性坝的工作角愈大,也即柔性坝的抓持部愈短,悬垂部愈大,因而柔性坝底部的拉力相对愈大。

(4)在水深为 5.0 ~ 16.0 m,流速为 1.50 ~ 5.98 m/s 的试验条件下,当浮筒设计抵抗流速为 2.0, 2.5 和 3.0 m/s 时,柔性坝底部拉力分别在 4.88 ~ 7.09, 5.27 ~ 9.77 和 5.84 ~ 13.12 t/m 之间,拉力的极限值分别为 7.09, 9.77 和 13.12 t/m。试验结果统计见表 3。

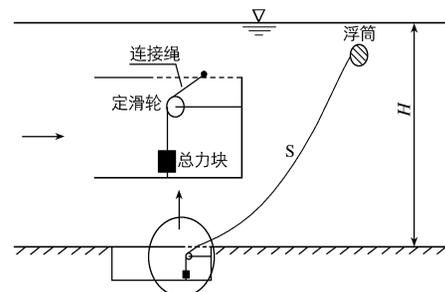


图 4 底部拉力测量示意

Fig. 4 Anchor device to measure bottom tension

表2 柔性坝坝体底部拉力

Tab. 2 The tension at the bottom of the flexible dam

序号	模型			原型			
	水深/ cm	流速/ (cm·s ⁻¹)	拉力/ (N·m ⁻¹)	水深/ m	流速/ (cm·s ⁻¹)	坝体与水深 比值	拉力/ (N·m ⁻¹)
1	12.5	30.2	31.21	5.0	1.91	3.20	5.09
2	20.0	24.2	30.50	8.0	1.53	2.00	4.97
3	20.0	46.7	32.50	8.0	2.95	2.00	5.30
4	20.0	58.6	33.63	8.0	3.71	2.00	5.48
5	25.0	23.7	29.95	10.0	1.50	1.60	4.88
6	25.0	31.2	39.97	10.0	1.97	1.60	6.52
7	25.0	40.1	41.12	10.0	2.54	1.60	6.71
8	25.0	46.0	39.10	10.0	2.91	1.60	6.38
9	25.0	63.2	41.91	10.0	4.00	1.60	6.83
10	25.5	74.0	39.24	10.2	4.68	1.57	6.40
11	29.7	23.6	32.68	11.9	1.49	1.35	5.33
12	29.7	32.1	43.49	11.9	2.03	1.35	7.09
13	30.0	38.0	42.55	12.0	2.40	1.33	6.94
14	30.0	48.5	39.65	12.0	3.07	1.33	6.47
15	30.0	61.5	42.00	12.0	3.89	1.33	6.85
16	30.4	80.0	41.38	12.2	5.06	1.32	6.75
17	30.0	94.6	38.78	12.0	5.98	1.33	6.32
18	40.0	32.6	42.18	16.0	2.06	1.00	6.88
19	39.5	48.0	41.12	15.8	3.04	1.01	6.71
20	39.7	65.0	40.14	15.9	4.11	1.01	6.55
21	40.0	92.3	43.15	16.0	5.84	1.00	7.04

注: ①浮筒设计抵抗流速为2.0 m/s; ②浮筒为4个直径1.7 m的圆柱; ③坝体长16.1 m。

表3 柔性坝坝体底部拉力试验结果统计

Tab. 3 Statistics of the experimental results for the tension at the bottom of the flexible dam

试验 类型	设计抵抗流速2.0 m/s, 坝体长16.1 cm			设计抵抗流速2.5 m/s, 坝体长16.1 cm			设计抵抗流速2.5 m/s, 坝体长16.6~18.6 cm		
	水深	流速	拉力	水深	流速	拉力	水深	流速	拉力
模型试验	12.5~40.0	23.6~94.6	29.95~43.49	12.5~40.0	30.2~95.7	32.32~59.89	12.5~40.0	31.5~96.5	35.83~80.47
原型试验	5.0~16.0	1.5~6.0	4.88~7.09	5.0~16.0	1.9~6.1	5.27~9.77	5.0~16.0	2.0~6.1	5.84~13.12

注: 模型试验中, 水深、流速和拉力的单位分别为cm, cm/s和N/m; 原型试验中, 对应的单位分别为m, m/s和t/m。

可见, 柔性坝底部的拉力与浮筒的大小直接相关, 浮筒抵抗流速愈大, 柔性坝底部所受拉力愈大, 因而对材料的抗拉强度愈高, 在柔性坝设计时, 应充分考虑这一因素。

4 柔性坝锚块稳定性试验

4.1 试验目的和条件

根据柔性坝的工作方式, 为抗击浮力及水流的冲击力, 必须在柔性坝底部设置锚定系统, 初步确定采用大尺寸的编织袋充填沙枕作为锚块, 用柔性坝坝体布包裹沙枕形成锚定系统, 为研究维持锚定系统稳定所需沙枕的重量, 设计本项试验。试验条件同柔性坝底部拉力试验。

4.2 沙枕设计、制作及失稳流速

4.2.1 沙袋设计及制作 沙枕沉降相似比尺: $\lambda_{v_{\text{沉降}}} = \sqrt{\frac{\lambda_{\gamma_s - \gamma}}{\lambda_{C_{D\text{沉降}}}}} \lambda_L$ 。假设模型沙枕与原形沙枕的阻力系数

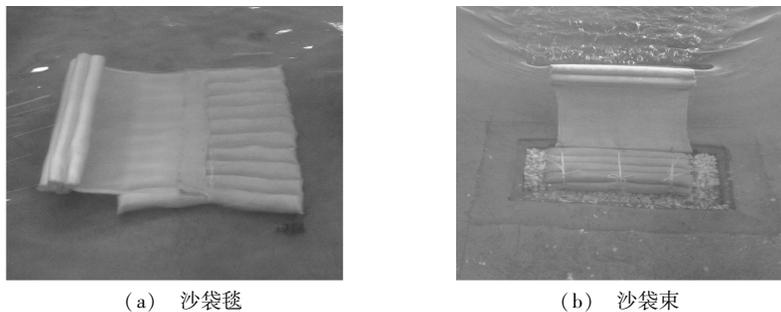
相等,由于沙枕沉降速度比尺为水流流速比尺,故上式转化为: $\lambda_{v_{\text{沉降}}} = \lambda_v = \lambda_{\gamma_s - \gamma}^{1/2} \lambda_L^{1/2}$,即要求: $\lambda_{\gamma_s - \gamma} = 1$ 。

因此,只要水流满足重力相似,并且模型沙枕的重度与原体重度一致,即模型与原型沙枕的充盈度一致,就能做到土枕的沉降相似。根据相似比尺,模型沙枕采用市场上的一般棉布,采用建筑用的中粗黄沙并混合轻质的模型沙为充填材料,密度按 1.88 t/m^3 控制,充盈系数采用 $0.70 \sim 0.85$,浸水后沙枕质量增加 20.5% 。

4.2.2 单个沙枕起动失稳流速 有学者曾对平床上单个沙枕的起动流速进行过研究^[10-11],单体沙枕在水流的作用下,先是晃动,当遇上较强的脉冲水流后,沙枕发生运动。沙枕的起动失稳条件与水流及沙枕尺寸有关,尤其与顺水流方向的长度有较大关系,当沙枕垂直于水流方向摆放时,沙枕的宽度大小对起动失稳条件起决定性作用,沙枕的起动流速可表达为: $U_c = 0.44 \left(\frac{H}{D} \right)^{\frac{1}{6}} \sqrt{agL}$,其中: U_c 为沙枕起动失稳临界流速; L , D 分别为沙枕长、高; $a = (\gamma_s - \gamma)/\gamma$; γ_s, γ 分别为沙枕和水的重度; g 为重力加速度。当沙枕直径为 1.9 m ,宽度为 1.82 m ,高度为 1.2 m ,长度为 18.4 m 时(近似圆柱),水深 16 m 条件下,可计算得出顺水流方向摆放时的起动流速为 8.54 m/s ,垂直于水流摆放时的起动流速为 2.68 m/s 。

4.3 锚块稳定性试验

以往研究成果表明,沙枕在长度方向顺水流摆放时能获得更好的稳定性,因此本项试验采用将多个沙枕平行连接在一起形成沙毯及多个沙枕形成的沙袋束作为锚块(见图5),测试不同流速下的沙毯、沙枕束锚块柔性坝保持稳定所需沙枕的大小及数量。



(a) 沙袋毯

(b) 沙袋束

图5 沙袋毯和沙袋束

Fig. 5 Sandbag blanket and sandbag bundle

试验结果表明要保持柔性坝在 6.0 m/s 流速情况下稳定,需满足:

(1) 当采用平置在床面上的沙毯方式锚定系统时,柔性坝锚固于沙毯中部的失稳流速大于锚固于尾部。当柔性坝锚固于沙毯中部时,对于浮筒设计流速为 2.0 m/s 的柔性坝,沙毯锚块至少由上层 8 根、下层 10 根直径 1.9 m 、长 20 m 的沙枕组成;对于浮筒设计流速为 3.0 m/s 的柔性坝,沙毯锚块至少由上层 8 根、中层 8 根、下层 10 根直径 1.9 m 、长 20 m 的沙枕组成。需要说明的是,沙毯作为锚定系统获得的柔性坝平衡为不稳定平衡,在较小的波浪、风力、水流紊动等外力作用下,均可能引起柔性坝失稳。这表明一方面所需沙枕数量较大,另一方面沙毯方式锚定系统容易失稳。

(2) 当采用沙袋束埋置于床面以下的锚定系统时,这时的沙袋束沙枕只要克服浮筒的浮力,就能保持坝体的稳定;对于浮筒设计流速为 $2.0, 2.5$ 和 3.0 m/s 的柔性坝,沙袋束沙枕的数量至少分别为 6 根、8 根和 10 根。

(3) 由上述两项试验可见,在相同水流条件下,置于床面的沙毯锚固方式与埋置于床面以下的沙袋束锚固方式相比,前者保持坝体稳定所需的沙袋数量约为后者的 3 倍。

5 柔性坝整体运行及稳定性试验

为验证一个潮周期内,柔性坝在不同潮位和不同流速情况下的整体稳定情况,设计本项试验。根据

2008年7月的现场实测水文资料,萧山杭州湾码头口门区的最高潮位为5.24 m,最大流速约4 m/s,试验时根据潮位和流速的变化过程,分别将潮位和流速概化为10~12个瞬时恒定流;根据现状河床地形条件,目前上潜坝处的河床底高程在-1.7~1.6 m之间,模型采用-2 m为潜坝处的河床高程,根据潮位计算相应的潜坝处水深。柔性坝浮筒采用在10 m水深情况下,分别按抵抗2.0,2.5和3.0 m/s流速设计,并分别采用6,8,10根沙枕束按埋置于床面以下方式的锚定系统,柔性坝坝高按大潮高潮位5.24 m时相应水深的1.5倍设计,即坝高10.86 m。

试验得出:①柔性坝随水位、流速的变化,呈上下浮动的运动状态,符合柔性、活动、悬浮、导流的设计思路;②在试验的各级水流条件下,3种类型的柔性坝锚定系统未出现滑动或翻滚的现象,柔性坝均保持总体稳定。

可见,只要浮筒、坝高以及锚定系统选择适当,柔性坝起到柔性、悬浮、活动和导流的作用,并能在一定的水流条件下保持稳定,柔性坝的结构型式总体可行。

6 结 语

(1)根据柔性坝坝体的结构和工作方式,柔性坝在水中受到浮筒的浮力、水流推移力、水流上举力以及底部锚块的拉力和自身重力的共同作用,推导出了单宽浮力的一般表达式。

(2)柔性坝底部的拉力与浮筒的大小直接相关,对于浮筒设计抵抗流速分别为2.0,2.5,3.0 m/s的3种工况,在水深为5.0~16.0 m,流速为1.50~5.98 m/s的试验条件下,柔性坝底部拉力的最大值分别为7.09,9.77和13.12 t/m,说明柔性坝浮筒的设计抵抗流速愈大,其底部所受拉力愈大,因而对材料的抗拉强度要求愈高,在设计柔性坝时,应充分考虑这一因素。

(3)柔性坝采用大尺寸的编织袋充填沙枕作为锚块,具有较好的性价比。采用沙袋束埋置于床面以下的锚定系统时(兼顾重力式和非重力式),柔性坝的稳定性较好,对于浮筒设计流速为2.0,2.5,3.0 m/s的柔性坝,沙袋束的水下重力应大于浮筒的浮力,沙袋束沙枕(单个沙枕直径为1.9 m,长20 m)的数量至少分别为6根、8根、10根。

(4)基于杭州湾钱塘江河口尖山河段一个潮周期的水文条件,柔性坝在不同潮位和不同流速情况下的整体稳定性试验结果表明,只要浮筒、坝高以及锚定系统选择适当,柔性坝能起到柔性、悬浮、活动和导流的作用,并能在一定的水流条件下保持稳定,因此柔性坝的结构型式总体可行。

(5)柔性坝作为一种创新的工程措施,其结构可行性研究目前尚处于探索阶段,还有许多问题有待于进一步的理论分析和试验研究,并在工程实践中不断修正和完善。

参 考 文 献:

- [1] 闵龙佑. 浙江省的网坝工程[J]. 浙江水利科技, 1982(增1): 157-171. (MIN Long-you. Net dam engineering in Zhejiang Province[J]. Zhejiang Hydrotechnics, 1982(Suppl1): 157-171. (in Chinese))
- [2] 呼延如琳. 聚烯烃网坝的研究和使用效果[J]. 华水科技情报, 1982(3): 177-182. (HUYAN Ru-lin. Study on net dam made of polyolefin and its application effect[J]. Journal of Science and Technology of East China Technical University of Water Resources, 1982(3): 177-182. (in Chinese))
- [3] 呼延如琳. 网坝在实践中的作用和效果[J]. 江苏水利, 1980(1): 83-93. (HUYAN Ru-lin. Function and effect of net dam in practice[J]. Jiangsu Water Resources, 1980(1): 83-93. (in Chinese))
- [4] 佚名. 聚烯烃网坝在国内的应用及其在河口防淤减淤的初步设想[J]. 海河水利, 1984(增1): 54-58. (Anon. Application of net dam made of polyolefin at home and preliminary plan to use for preventing and reducing silting at estuary[J]. Haihe Water Resources, 1984(Suppl1): 54-58. (in Chinese))
- [5] 黄春生. 过网坝水流的流场及其内部结构[J]. 华东水利学院学报, 1982(3): 64-72. (HUANG Chun-sheng. Velocity field and internal structure of water flow passing through net dam[J]. Journal of East China Technical University of Water Resources,

- 1982(3): 64-72. (in Chinese))
- [6] 张永昌, 李世东, 佟二勋. 网坝情况简介[J]. 人民黄河, 1981(5): 36-39. (ZHANG Yong-chang, LI Shi-dong, TONG Er-xun. A brief introduction about net dam[J]. Yellow River, 1981(5): 36-39. (in Chinese))
- [7] 谢年祥, 呼延如琳, 朱勇. 网坝减缓南门通道扩展的作用和效果[J]. 水运工程, 1981(3): 15-23. (XIE Nian-xiang, HUYAN Ru-lin, ZHU Yong. Function and effect of net dam to slowdown the extension in Nanmen channel[J]. Port & Waterway Engineering, 1981(3): 15-23. (in Chinese))
- [8] 李玉建, 侍克斌, 周峰. 游荡型河道透水整治建筑物研究综述[J]. 人民黄河, 2002, 24(11): 15-17. (LI Yu-jian, SHI Ke-bin, ZHOU Feng. Summary of permeable training structures in the wandering channel[J]. Yellow River, 2002, 24(11): 15-17. (in Chinese))
- [9] 朱立俊, 王建中, 范红霞. 萧山杭州湾出海码头工程柔性活动悬浮式导流建筑物物理模型试验研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2009. (ZHU Li-jun, WANG Jian-zhong, FAN Hong-xia. Model test research on a diversion structures(flexible, activity and suspended) used for Xiaoshan delivery wharf in Hangzhou bay[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2009. (in Chinese))
- [10] 朱立俊, 王建中. 长江镇扬河段和畅洲汊道左汊潜坝沙枕水槽试验研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2001. (ZHU Li-jun, WANG Jian-zhong. Flume model test research on sand pillow used for submerged dike located at the left branch of Hechangzhou waterway in Zhengyang section of Yangtze River[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2001. (in Chinese))
- [11] 应强, 张岱峰, 朱立俊, 等. 沙袋充填度与稳定性的试验研究[J]. 泥沙研究, 2003(2): 44-47. (YING Qiang, ZHANG Dai-feng, ZHU Li-jun, et al. An experimental study on the percentage filling and the stability of geo-textile sandbag[J]. Journal Sediment Research, 2003(2): 44-47. (in Chinese))

Experimental studies on tension and stability of a flexible dam

WANG Jian-zhong, FAN Hong-xia, ZHU Li-jun
(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The structure and working modes of a kind of flexible dam are described in this paper. A general expression for unit width buoyancy is given according to mechanic analysis and the principle of moment balance. Based on the prototype of riverbed terrain and current conditions around Xiaoshan Hanzhou bay delivery wharf in the Qiantang River, an undistorted flume model having a scale of 1 : 40 is established. The experiment results show that the tension at the bottom of the flexible dam is directly related with the size of the buoy and the ratio of the dam length and water depth. At the same time, the incipient velocity of the sandbag blanket and sandbag bundle used to anchor the flexible dam, and the size and quantity of sandbags needed to keep the anchorage system stable are obtained. The experiment results of the integral stability of the dam indicate that: the flexible dam with appropriate buoy, height and anchorage system can play a role in flexibility, suspension, movability and diversion, and can keep itself stable in some flow conditions. As a new engineering measure, there are quite a few studies on its theory and experiment. By comparison with the solid dam, the flexible dam has smaller negative influence, so the study in this paper has an important academic significance and can be used as a reference for similar works. For this new river engineering structure, it is still necessary to further study and improve it in the engineering practice.

Key words: flexible dam; tension; stability; model test; diversion dam