

胜利油田平原水库新型护面结构研究与应用

张 萍

(东营市海堤管理处, 山东 东营 257000)

摘 要: 平原软土地区的水库建设,蓄水深度取决于围坝高度。采用风浪模型试验与工程跟踪检测的方法,对新型护面结构进行了爬坡高度与稳定性研究分析。结果表明,风浪模型试验结果与实际观测数据一致,栅栏板反压混凝土矩形板的护面结构既不增加混凝土总量,又可以保证护面的稳定性,减小波浪爬高,降低围坝高度,从而大大降低了工程造价。

关键词: 平原水库; 波浪爬高; 风浪模型; 栅栏板; 护面结构; 混凝土

中图分类号: O342 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)09-0114-04

Application of New Armor Structure on Plain Reservoir Dam in Shengli Oilfield

ZHANG Ping

(Dongying Sea Dike Administrative Office, Dongying 257000, China)

Abstract: When constructed on soft foundations on a plain, reservoir water depth is decided by the dam height. In this study, a dam wave model was carried out and verified with engineering tests of the dam, to analyze the wave run-up and the stability of the new structure. The result showed consistence between the dam waves model results and the observations. The barrier board embankment concrete slab armor structure did not increase the amount of concrete needed, and was able to protect the stability of armor structure, reduced the wave run-up and the dam height, and substantially decreased the project cost.

Key words: plain reservoir; wave run-up; waves model; barrier board; armor structure; concrete

胜利油田为保障工农业生产与居民生活用水,兴建了多处引黄蓄水的平原水库。由于土地资源日趋紧张,纯化水库建设之初拟定了“深水高坝”的建设方案。初拟总库容为 $3\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

在平原软土地区,建设“深水高坝”型水库,最大的安全制约因素就是水库围坝的高度,能够在不减少蓄水深度的情况下降低围坝高度,是增加水库经济效益与安全性的首选良策。由于本地区石料缺乏,以往水库多采用混凝土预制板的护面型式。为加大坡面糙率、减小波浪爬高、降低坝顶高程,纯化水库围坝戗台以上坝坡设计采用栅栏板反压预制板护面、戗台以下采用混凝土企口板防护。

预制混凝土板的稳定性是保障水库大坝安全的重要因素。由于其所受作用复杂,影响因素也较多,

胜利油田面对渤海湾,经常受偏北大风影响,水库风浪将危及水库围坝护坡的安全,致使采用预制板护面的平原水库出现破坏的实例也不少。为此,笔者进行了水库围坝护坡风浪模型试验,并在工程建成后进行了跟踪研究,以期国内平原水库建设提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 围坝断面结构

纯化水库初设的围坝护面结构见图1。戗台以下为混凝土预制企口板,戗台以上为现浇栅栏板,栅栏板平面尺寸为 $2.1 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$,下压混凝土预制板厚为 9 cm 、尺寸为 $0.8 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 。混凝土板下均铺设碎石垫层、二布一膜防渗土工膜(780 g/m^2)及砂垫层。

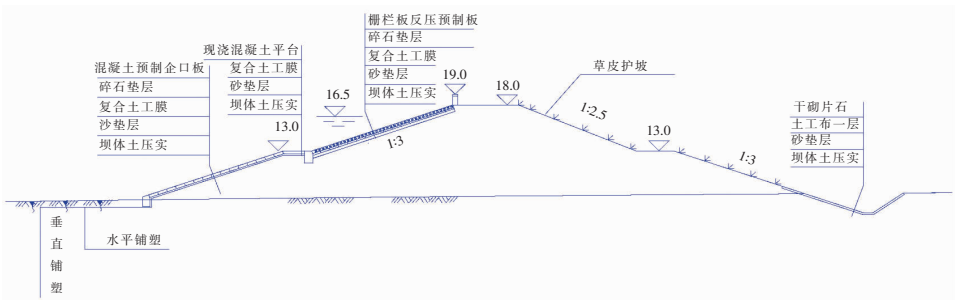


图 1 围坝护面结构示意图

Fig.1 Structure of dam armor

1.2 试验条件和方法

① 模型比尺。模型愈大,试验愈能模拟自然状态。根据围坝断面设计方案、试验要求、设计水位、设计风速、风浪要素及试验设备条件等,确定模型比尺为 1 : 8。

② 混凝土面板。断面结构根据设计按 Froude 相似准则制作模型。混凝土面板用水泥、细砂、铁粉等材料加水制作, $\rho_b = 2.35 \text{ g/cm}^3$,单块质量误差控制在 $\pm 5\%$ 范围内。

③ 碎石垫层。根据垫层渗透系数与孔隙率以工作状态相似的原则计算得出,取碎石粒径为 0.3 ~ 0.5 cm,垫层厚度为 0.9 cm。

④ 混凝土铰台。铰台混凝土采用新型材料制作,强度约为设计铰台混凝土强度的 1/8。

⑤ 复合土工膜。其物理特性的模拟尚无相似准则和模型律,试验中采用 100 g/m^2 的一布一膜土工膜代替。

⑥ 砂垫层。采用 $D_{50} = 0.036 \text{ mm}$ 的长江细砂。

⑦ 坝体模拟。采用带有一定粘粒的长江极细砂适当加水拍实形成坝体。

⑧ 试验仪器与设备。造波设备:尺寸为 $62 \text{ m} \times 1.8 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$ 的风浪水槽,丹麦造波设备;尺寸为 $55 \text{ m} \times 17.5 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ 的试验港池,美国造波设备;波高仪由美国 MTS 公司引进;风速仪、压力传感器、爬高仪均为国产。

⑨ 试验方法。试验方法按照交通部《波浪模型试验规程》(JTJ/T 234—2001)规定进行。风浪要素根据多年观测资料按莆田公式计算,结果如表 1 所示。其中不规则波取有效波高,规则波取 5% 概率波高^[1],模拟规则波作用和相应不规则波的对比试验。试验中控制水槽的水深以模拟水位,调节风

机转速在试验水槽内产生所要求的风速。不规则波按照 JONSWAP 谱由计算机计算造波讯号,反复调整造波参数以满足要求并形成造波文件供试验使用。

表 1 风浪模型试验参数

Tab.1 Parameters of wave model experiment

项 目	设计风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	吹程/ m	水深/ m	平均波 高/m	5% 概率 波高/m
南坝	30	2 159	8.5	0.66	1.27
东、西、北坝	24	2 020	8.5	0.50	0.98

2 结果与讨论

为简化内容,仅列示与讨论南坝试验结果。

2.1 风浪爬高

栅栏板孔隙率为 37.8%,风浪爬高的试验结果见表 2。可以看出,风浪最大爬高在 1.6 m 左右。按此拟定坝顶高程,并设高约为 1 m 的挡浪墙。试验还观察到,在风速为 30 m/s 的条件下,由于风的作用,有少量水花飞越挡浪墙顶,因此墙后土面应进行适当保护。

表 2 风浪爬高试验结果

Tab.2 Experiment result of wave run-up

项 目	风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	波高/ m	风浪爬高/m			
			R_{\max}	$R_{1\%}$	$R_{5\%}$	R_m
规则波	30	1.06				1.33
不规则波	30	1.23	1.69	1.61	1.55	1.14

2.2 护面上的波浪作用力

压力传感器安放在预制板的正反面,在水位为 16.5 m、风速为 30 m/s、有效波高为 1.06 m 的条件下,测得预制板所受最大正压力与最大浮托力分别见图 2、3。可以看出,波浪最大作用力点在静水面稍下一点的坝面上,护面有碎石垫层时,波浪的作用力小于无垫层时,说明碎石垫层有削减波浪作用力的作用。

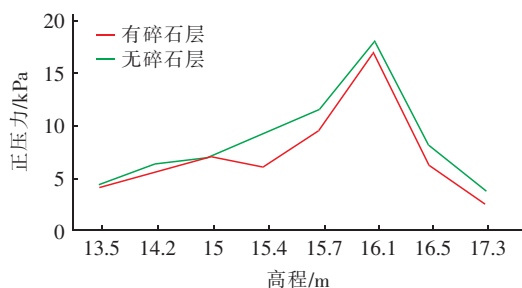


图2 预制板所受最大正压力

Fig. 2 Biggest positive pressure of precast slab

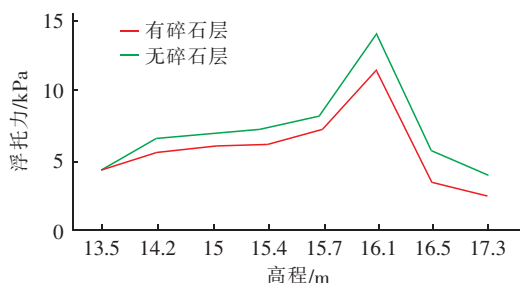


图3 预制板所受最大浮托力

Fig. 3 Biggest float pressure of precast slab

2.3 护面稳定性

根据《波浪模型试验规程》:斜坡式建筑物断面模型试验中,模拟的原型波作用时间不宜小于2 h,在波浪作用下,单层铺砌的护面块体,其累计位移超过单个块体的厚度时即为失稳。过去的试验多以风浪作用3 h护面板无脱落、滚翻(失稳率为零)为稳定,只要有一块脱落或翻滚则为损坏。通常将护面板在某一风浪要素作用下发生跳动、位移且临近滚落损坏而还没有发生损坏的状态视为临界稳定,此时的作用波高为临界作用波高,当波高大于临界作用波高时,则护面有可能遭受损坏。

本次试验发现,当护面板厚度(或质量)不足时,在风浪作用下护面板会发生震动或跳动,板下垫层亦会被震动,逐渐下滑造成坡面变形,有时在风浪作用的3 h内虽不致脱落破坏,但风浪作用时间如果再长,由于垫层甚至坡面土体的不断变形,护面就有可能遭受损坏。试验还显示,当护面板在某一风浪要素作用下发生震动或跳动,3 h内不会损坏,如再加大波高作用,护面板的震动和跳动会加剧,但3 h内也不会产生滚落损坏。说明一定厚度的护面板从稳定到失稳状态有一个过程和一个作用波高范围。可见,护面板的损坏不仅与作用风浪的大小有关,还与风浪作用时间的长短有关。

由于水库护面经常处于风浪作用下,护面板发生震动、跳动,短时间内护面不会损坏,经风浪长时间作用后,护面板会逐渐松动,由此造成其下的垫层及坡面会逐渐变形,从而导致护面的损坏。因此,研究认为《波浪模型试验规程》的护面稳定判断标准对于水库护面的稳定性判定并不合适,应该以护面板是否有微小震动或微小跳动作为判断护面是否处于临界稳定的标准,并由此确定栅栏板与预制板的厚度。试验表明,坝面采用混凝土企口板护面时,原设计14 cm厚的板在设计条件下处于临界稳定状态;戕台以上坝面采用“栅栏板+混凝土预制板”护面结构时,12 cm厚的栅栏板和8 cm厚的预制板组合护面处于临界稳定状态。

2.4 碎石垫层

如2.2节所述,护面板下设置碎石垫层对护面的稳定是有利的,碎石垫层可削减波能,减少波浪浮托力和正压力,防止和减少坝体土坡变形,增加护面板的稳定等,但碎石垫层必须有足够的厚度,碎石粒径也应适宜,护面板铺设必须平稳,且不能让碎石从板孔跑出,以免造成垫层的变形,影响护面板的稳定,这必然增加工程造价和施工难度。护面板下不设置碎石垫层,波浪浮托力和正压力将增加,但护面板直接铺设在复合土工膜上,板与板之间接触紧密,工程造价相对要低,施工也较容易。相比之下,两者各有利弊。从护面结构稳定、经济、合理、安全、工程造价、施工难易等方面综合考虑,可适当增加护面板厚度,不设碎石垫层。

2.5 戕台的稳定性

原设计在高程为13 m处设宽为3 m的戕台,戕台采用14 cm厚的C25混凝土护面。试验表明,在设计风浪作用下戕台是稳定的,但必须使戕台与下坡护面板牢固结合,防止板底直接透水,增加混凝土护面承受的浮托力。

2.6 水库隅角部位护面稳定性

水库隅角部位波能集中试验在造波港池内进行,局部隅角模型试验表明,坝体对波的反射作用小,波能多消耗在爬高过程中,水库隅角部位波能集中不明显,对护面稳定性没有太多影响。

3 工程实施与运行检测

3.1 护面结构确定

参考风浪模型试验结果,考虑构件结构强度与施工便利及方便质量控制,最终确定围坝护面结构

为:钱台以上 18 cm 厚的栅栏板和 9 cm 厚的预制板组合护面,取消碎石垫层,土工膜下设 20 cm 厚的砂垫层;钱台采用 18 cm 厚的 C25 混凝土浇筑;下坡采用 18 cm 厚的混凝土企口板护面,土工膜下设 20 cm 厚的中砂垫层。

3.2 运行检测

水库投产运行以后,所遇到的最大风速为 15.9 m/s,相应波浪爬高为 1.1 m,各类护面结构稳定,未发现位移、震动现象。大风天气实测风速与波浪爬高选列于表 3。由观测资料可导出栅栏板的波浪爬坡糙率 $K_{\Delta} = 0.55$,由此可推算出设计最不利状态下,波浪的最大爬坡高度为 1.66 m,与试验观测值 1.61 m 基本相符。浙江省河口海岸研究所海堤栅栏板护面的波浪模型试验中 $K_{\Delta} = 0.677 \sim 0.71^{[2]}$,这应该是栅栏板结构与孔隙率不同导致的。

表 3 实测风速与波浪爬高值

Tab. 3 Practical wind velocity and wave run-up

风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	9.84	14.36	11.34	10.6	15.9
爬高/m	0.68	0.99	0.78	0.73	1.1
风向	EN60°	NE30°	EN45°	WS45°	EN45°

与干砌石护面 ($K_{\Delta} = 0.75 \sim 0.8$)^[1]相比,该护面结构能降低波浪爬高 0.74 m,降低了围坝高度,增强了坝体稳定性,按围坝长度为 4 km 计算,节省筑坝土方为 $21.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

4 结论

① 平原软土地区水库围坝建设,采用栅栏板反压矩形板的复合性护面结构是合理的,既保证了防护结构的稳定性,又减小了波浪爬高,降低了围坝

高度,大大降低了工程造价。

② 以护面板是否有微小震动或微小跳动作为护面结构临界稳定的判断标准,对于水库坝坡护面是确保安全的稳定标准。

③ 试验与运行观测的资料基本相符,推算栅栏板的波浪爬坡糙率 $K_{\Delta} = 0.55$,可在其他防护工程中参考使用。

参考文献:

- [1] SDJ 218—84,碾压式土石坝设计规范[S]. 北京:水利电力出版社,1987.
- [2] 郭国林. 海堤加固中的钢筋混凝土栅栏板消浪机理及应用[J]. 水利科技,2007,(4):51-55.



作者简介:张萍(1964—),女,山东东营人,专科,工程师,主要从事水利工程建设与海堤管理工作。

E-mail:slofgxl@163.com

收稿日期:2016-11-12

大力推行节约用水,全面建设节水型社会