

橡胶坝在山区水库工程中的推广应用

赵丽华 陈丽刚 冯向珍

(黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

【摘要】 针对水库高供水设计保证率,以及水库所在山区河流暴涨暴落的特点,选择在溢流堰顶设橡胶坝,在保证水库自身行洪的同时,最大程度地增加水库有效蓄水量,并尽可能少的增加工程投资。针对堰顶平台这一特殊的溢流堰体型,通过水工模型试验,选取幂曲线连接,更接近水流特点,堰顶负压较小。溢流堰顶设橡胶坝泄洪的方法从技术经济上分析是可行的。

【关键词】 橡胶坝;高供水保证率;山区水库;幂曲线

中图分类号: TV641

文献标识码: A

文章编号: 1005-4774(2017)02-0040-05

Popularization and application of rubber dam in mountain area reservoir project

ZHAO Lihua, CHEN Ligang, FENG Xiangzhen

(Yellow River Survey Planning and Design Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Rubber dam is set at the top of overflow weir in the view of high water supply design guarantee rate in the reservoir, and characteristic of river water level sudden rising and falling in mountain area reservoir. Own flood draw-off of the reservoir is guaranteed. Meanwhile, effective water storage of the reservoir is increased maximally, and the increased investment in the project is minimized as far as possible. Power curve connection is selected through hydraulic model test aiming at the platform at the top of the weir—a special overflow weir shape, which is closer to water flow characteristics, and negative pressure at the top of the weir is small. The method of setting rubber dams at the top of overflow weir is feasible in the aspect of technical economy analysis.

Key words: rubber dam; high water supply guarantee rate; mountain area reservoir; power curve

栾川县城第四饮水工程位于河南省栾川县城西部的石庙乡境内,为栾川县政府建设的城镇自来水供水工程,工程由龙潭水库工程、引水配水管线工程、双堂水厂扩建工程组成。

龙潭水库采用碾压混凝土重力坝布置方案,碾压混凝土重力坝由挡水坝段、溢流坝段组成,坝顶长度290.00m,共分12个坝段,其中溢流坝段长69.00m。

坝顶高程904.00m,最大坝高49.00m,正常蓄水位902.00m,死水位875.50m,汛限水位899.00m,有效库容625.79万 m^3 。龙潭水库可向栾川县城第四饮水工程日供水1.48万 m^3 ,年供水540.2万 m^3 。

龙潭水库泄洪建筑物采用开敞式溢流堰+橡胶坝,挑流消能。溢流净宽62.50m,堰顶高程899.00m,堰顶顺水流方向长9.00m,下游堰面为WES曲线。堰

上设 3.0m 高的橡胶坝,正常运用时,橡胶坝充水挡水,挡水高程为正常蓄水位 902.00m,泄洪时,橡胶坝塌坝。校核洪水位 903.75m 时橡胶坝塌坝泄洪,下泄流量为 $876.6\text{m}^3/\text{s}$ 。

龙潭水库的主要开发任务是供水,没有下游防洪及发电等其他要求,供水设计保证率 96%,这对水库有效库容要求很高,因此在满足供水保证率的情况下,为充分利用当地水资源,在水库不能满足日供水量 $2\text{万 m}^3/\text{d}$ 的情况下,水库正常蓄水位应取移民控制水位的上限,尽可能提高水库在非汛期的供水量,发挥水库的兴利效益。

而山区河流暴涨暴落的特点又决定了水库布置与运用的特殊性。坝址地区年降水主要集中在汛期,山区暴雨较多,主要出现在汛期 7—10 月。该地区的洪水为暴雨造成,因此该地区洪水一般也出现在 7—10 月。支流发源于山区,源短流急,洪水涨落较快。

龙潭水库虽然没有下游防洪要求,但为了确保水库自身防洪、蓄水供水及移民限制水位的要求,龙潭水库主汛期 7 月 1 日至 9 月 30 日需控制水位不超过汛限水位 899.00m。10 月 1 日至次年 6 月 30 日控制库水位在死水位 875.50m 与正常高蓄水位 902.00m 之间;当遇洪水使库水位上升超过 902.20m 并有上升趋势时,需进行泄洪将库水位降到汛限水位 899.00m,待洪水退水后,可蓄水至正常高蓄水位 902.00m。

因此,针对水库高供水设计保证率,以及山区河流暴涨暴落的特点,如何选取泄水建筑物型式,在保证水库自身行洪的同时,最大程度地增加水库有效蓄水量,同时尽可能少的增加工程投资,从而达到供水高保证率的目的,成为工程成败的关键。

1 泄水建筑物型式比选

1.1 泄水建筑物型式比选

泄水建筑物型式比较了溢流坝段堰顶设闸门方案和溢流坝堰顶设置橡胶坝塌坝泄洪方案(简称橡胶坝方案)两种型式。为了控制移民搬迁量,20 年一遇洪水时控制库水位在正常蓄水位 902.00m 左右,泄水建筑物型式根据此运用条件进行比较。

橡胶坝方案溢流坝全长 65m,堰顶高程 899.00m,其上设 3.0m 高橡胶坝。按照 20 年一遇洪水,计算塌坝后水库洪水位 902.24m。橡胶坝方案投资约需 70 万元。

按照同样的 20 年一遇洪水位控制在 902.00m 左右布置泄洪闸,则需要泄洪闸孔口尺寸 $8.0\text{m} \times 9.0\text{m}$ (宽×高),与泄洪闸配套的土建、金属结构、水机、电气等设备共需投资 340 万元左右。

橡胶坝运用条件与常规钢闸门相似,但与常规闸门相比又有以下特点^[1]:

a. 造价低。同等条件下,橡胶坝方案不需要常规闸的启闭机、工作桥等附属结构,节约了三材,故较堰顶设闸门方案投资降低 270 万元。

b. 施工期短。坝袋只需 3~15d 即可安装完毕,当年施工当年即可受益。

c. 抗震性能好,坝体为柔性软壳结构,富有弹性,能抵抗地震、波浪等冲击,且止水效果好,跨度大,汛期不阻水。

d. 维修少,管理方便。橡胶坝袋的使用寿命一般为 15~25 年。

因此该工程泄洪方式采用溢流坝顶设置橡胶坝方案。

1.2 溢流堰体型设计

目前国内橡胶坝主要应用于低水头、大跨度的闸坝工程,或用于河道上作为低水头、大跨度的滚水坝或溢流堰,应用与山区水库中等坝高的溢流堰顶(龙潭水库溢流堰最大坝高 44m)作为泄洪建筑物还较为少见,从水力学和运用条件分析,建在溢流堰顶的橡胶坝,坝后紧接陡坡段,无下游回流顶托现象,坝袋不易产生颤动;在洪水季节,大量推移质已在库区沉积,过流时不致磨损坝袋。但在溢流堰上建橡胶坝,堰顶形成宽 9.0m 的平台,溢流堰的体型较为特殊,必须采取合理的溢流堰体型,处理好过堰后的水流条件,否则不良的流态将会对溢流堰自身带来危害。因此采取合理的溢流堰体型,减小底板对水流的顶托,增大泄洪能力,并保证水流平稳下泄,处理好堰顶平台与下游溢流面的连接设计是溢流堰设计的重点^[2]。

溢流堰泄流能力与堰顶体型有关,确切地说,堰顶

曲线对水流特性影响最大。堰顶曲线做成与同样条件下薄壁堰自由出水的水舌下缘相吻合的形状,则水流将紧贴堰面下泄,水舌基本上不受堰面影响,堰面压强为大气压强。堰面曲线突出于水舌下缘,则堰面将顶托水流,水舌不能保持原有的形状,堰面压强应大于大气压强,堰前总水头中的一部分势能将转换成压能,使转换成水舌动能的有效水头减小,过水能力降低。堰面曲线低于水舌下缘,溢流水舌将脱离堰顶表面,脱离处气被水舌带走,堰面形成局部负压区,负压区的存

在,等于加大了水头,过水能力将增大,然而过大负压将形成空蚀破坏和水舌颤动^[3]。

本次设计比较了两种连接方式,即采用圆弧($R = 6.07\text{m}$)连接和幂曲线($x^{1.85} = 5.942y$)连接。通过水工整体模型试验(表1)可以看出,采用幂曲线连接,更接近水流特点,堰面负压较小,保证了溢流堰的安全运行,因此堰顶采用幂曲线与下游直线连接。最终确定溢流堰体型及下游消能,两种曲线连接方式溢流堰泄流能力与堰面压力对比如表1所列。

表1 两种曲线连接方式溢流堰泄流能力与堰面压力对比表

流量/(m ³ /s)	圆弧连接			幂曲线连接		
	水位/m	流量系数	堰面压值/m	水位/m	流量系数	堰面压力/m
658	902.11	0.38	-1.6	902.54	0.375	-0.4
1017	903.68	0.405	-4.1	903.75	0.401	-1.3

溢流表孔上游坝面与挡水坝段平齐,堰顶高程899.00m,堰面采用WES堰型幂曲线,堰面曲线为 $y = 0.1683x^{1.85}$;堰顶上游堰面曲线采用半径为0.5m的圆弧,考虑橡胶坝的布置需要,堰顶沿水流方向加宽至9.00m,其上布置3m高的橡胶坝,橡胶坝长65m,内压

比1.4,橡胶坝充水后坝顶高程与正常蓄水位相同,为902.00m;堰面下游端为WES曲线,曲线下接坡面坡度为1:0.65。出口采用挑流消能方式将水流挑入下游河道,挑坎高程867.00m,挑角25°(见图1)。

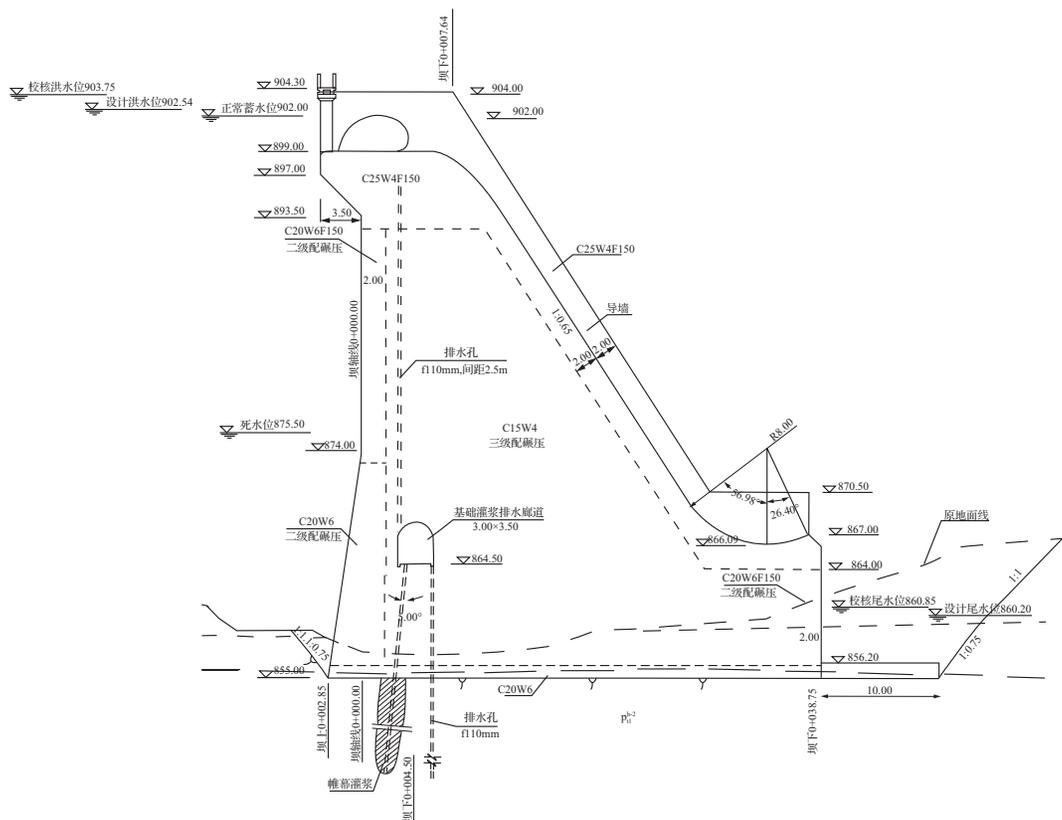


图1 溢流坝段典型剖面(单位:m)

2 堰顶橡胶坝的具体设计

橡胶坝布置在溢流堰顶,为单跨、堵头式充水橡胶坝,设计坝高 3.0m,坝顶长 65m,底板顶面高程

899.00m,坝顶高程 902.00m,与水库正常蓄水位相同(见图 2、图 3)。橡胶坝的设计主要包括坝袋设计、锚固设计及充排控制系统设计,按照《橡胶坝技术规范》(SL 227—98)^[4],其主要参数指标见表 2。

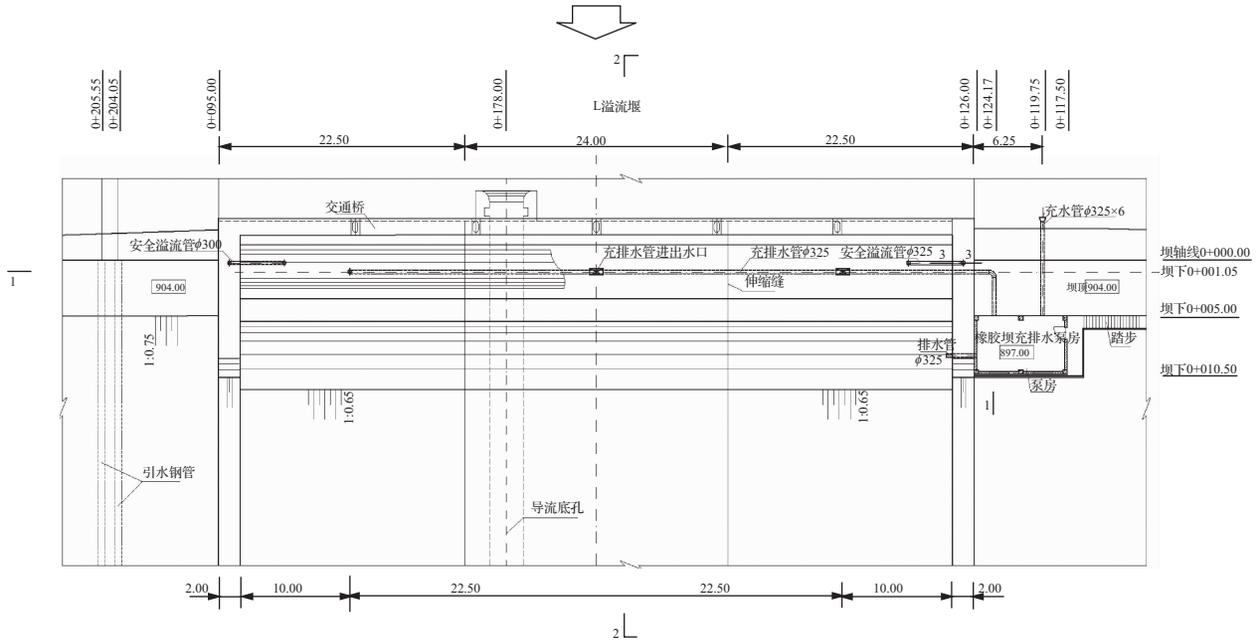


图 2 溢流堰顶橡胶坝平面布置 (单位:m)

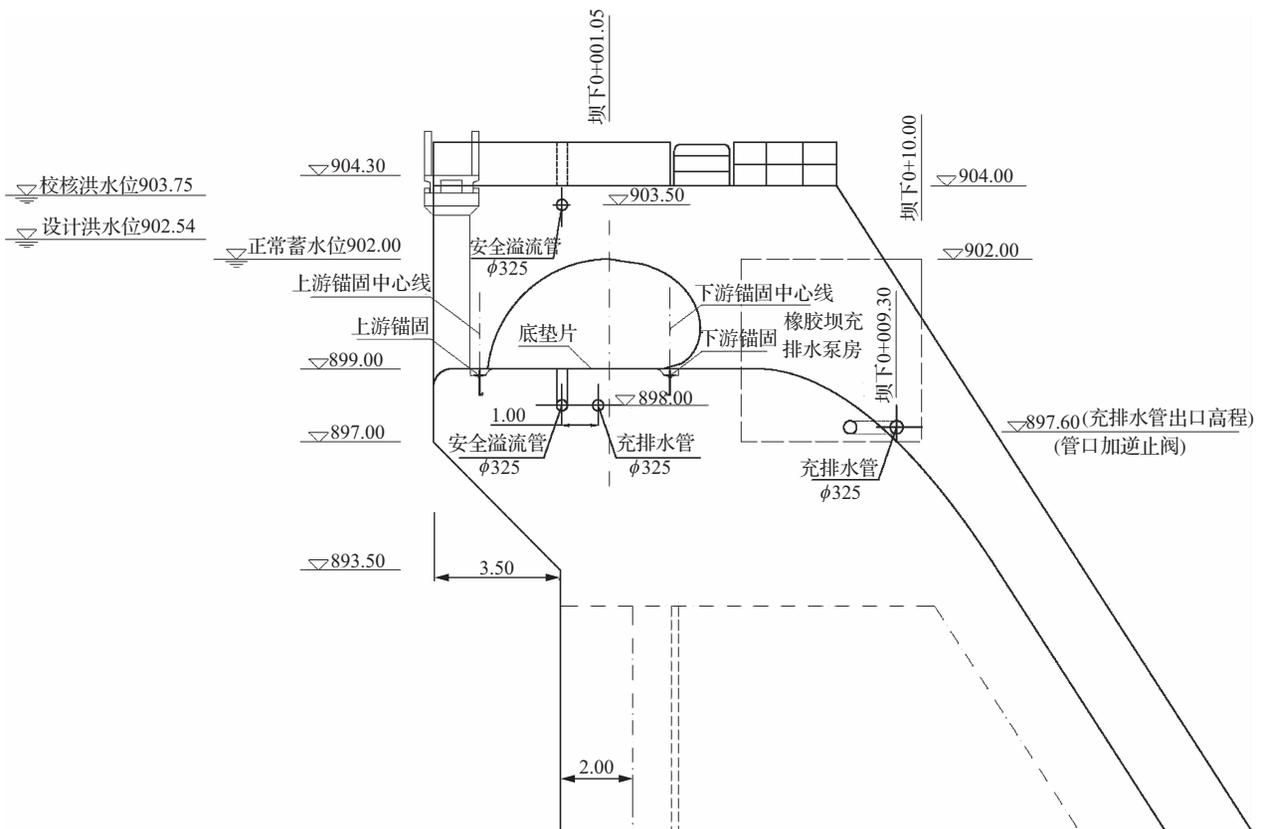


图 3 溢流堰顶橡胶坝剖面 (单位:m)

表2 橡胶坝主要参数指标

项 目	单 位	指 标
坝顶高程	m	902.00
底板高程	m	899.00
坝高	m	3
坝长	m	65
内压比		1.4
坝袋周长	m	10.78
上游坝面曲线段半径	m	3.38
上游贴地长度	m	3.35
下游贴地长度	m	1.5
坝袋径向计算强度	kN/m	40.5
坝袋型号		JBD3.0—220—2
胶布型号		J220220—2
设计安全系数		10.86
锚固型式		螺栓压板式
坝袋单宽容积	m ³	13.977
充排方式		泵充、自排

2.1 坝袋设计

坝袋设计内外压比经综合比较后选用 1.4, 强度设计安全系数为 8.7。袋布总厚度 9.5mm, 采用二布三胶, 外敷彩色胶层, 堵头采用一布两胶, 底垫片采用纯橡胶片。坝袋胶布使用高强锦纶帆布, 胶布强度经/纬向均为 440kN/m。坝袋胶料物理机械性能应满足规范要求。

2.2 锚固设计

考虑到橡胶坝设在溢流堰顶, 其运行可靠性要求较高且检修不便等因素, 坝袋锚固采用可靠度较高的螺栓压板式和双锚线锚固型式。通过螺栓、螺母将坝袋胶布、底垫片等锚在一起, 顶部用胶片保护, 内填黄油, 外填水泥砂浆至与底板齐平。侧锚固槽凹陷在侧墙底部, 锚固方式与上下游锚固相同, 仅锚固槽尺寸略小一些。为保证锚固槽的精度, 该部位采用二期混凝土浇筑。

2.3 橡胶坝基础和泵房设计

橡胶坝基础底板顶面高程 899.00m。底板顺水流向宽度根据计算定为 9.0m, 立坝时坝袋上游贴地长度 3.35m, 下游贴地长度 1.5m, 坝袋塌落贴地长度 7.47m。为减少塌肩的影响, 在距侧墙两端 1m 范围内

的底板做成 1:10 的斜坡向上抬高坝肩。与坝袋接触部位的混凝土表面要求平整光滑, 不平整度小于 $\pm 3\text{mm}$ 。

橡胶坝泵房布置在左岸挡水坝体下游侧, 紧邻下游坝面, 基础高程 897.00m, 沿坝轴线桩号为 0+122.5~0+131.0m, 坝下 0+005.0~坝下 0+010.25m, 长、宽、高分别为 8.5m、5.25m、5.0m, 泵房为砖混结构。从基础平台 897.00m 开始设有楼梯通向坝顶。

根据运行要求, 堰顶橡胶坝在汛期到来之前, 坝袋为完全塌平方式运行, 其余时间均为立坝运行状态。汛后充坝蓄水时, 将充胀时间控制在 3h 左右。橡胶坝塌坝排水时间控制在 2h 内, 排水方式为自排。水泵起泵运行水位为 898.40m, 安全溢流管溢流时停泵运行。

坝袋两端侧墙均设有钢爬梯, 供管理人员下至底板表面进行必要的观察、检修等工作。

3 应用优点

鉴于龙潭水库对栾川县城供水的重要性, 根据坝址所在山区河流暴涨暴落的特点, 工程通过橡胶坝在洪水期塌坝泄洪、洪水后拦蓄来水的方式有效解决了在不增加投资的情况下最大程度地增加水库有效库容, 提高了供水保证率, 方便了工程运行管理, 经济效益显著。

相较于传统的溢流堰顶设闸门泄洪的布置方法, 该方法的优点在于避免了增设检修闸门及配套的启闭设备, 降低了施工难度和工程投资, 经济易行且缩短了工期。

龙潭水库大坝工程于 2012 年 10 月完成开挖, 2013 年 7 月 26 日坝体浇筑到设计高程并开始下闸蓄水。投入使用几年来, 橡胶坝运行情况良好。

4 结 语

综上所述, 该方案利用橡胶坝汛期塌坝泄洪、非汛期立坝运行的方法成功解决了在少增加投资的情况下最大程度增大水库有效库容的问题, 对于龙潭水库安全运行, 缩短工期、降低施工难度和工程投资, 保障工程的顺利实施做出了贡献。该方法在 (下转第 39 页)

3.2 配筋

3.2.1 配筋计算

$$\alpha_s = \frac{\gamma_d M}{f_c b h_0^2} = \frac{1.2 \times 15.68 \times 10^6}{12.5 \times 300 \times 355^2} = 0.039$$

式中 γ_d ——结构系数,查表得 1.2;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值,混凝土选用 C25,查表得 $f_c = 12.5 \text{ N/mm}^2$ 。

$$\zeta = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.039}$$

$$= 0.039 < \zeta_b = 0.614 (\text{I 级钢筋})$$

$$A_s = \frac{f_c \zeta b h_0}{f_y} = \frac{12.5 \times 0.039 \times 300 \times 355}{310}$$

$$= 167.48 \text{ mm}^2$$

式中 f_y ——钢筋抗拉强度设计值,查表得 $f_y = 310 \text{ N/mm}^2$ 。

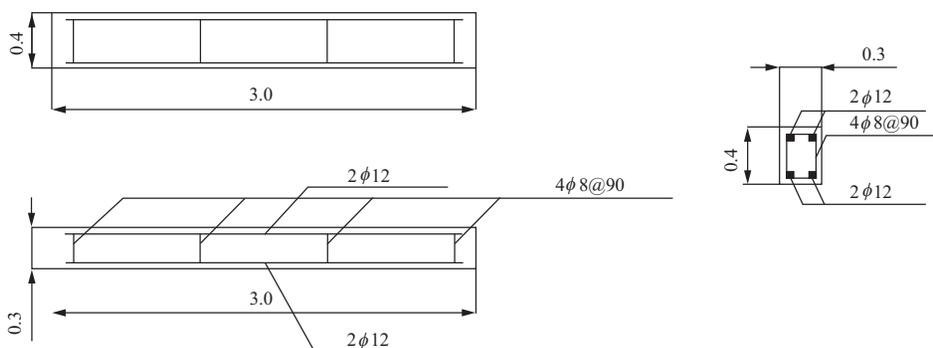


图4 配筋图

4 结语

a. 通过对已设计泵房的抗渗、抗浮、抗滑的稳定性以及地基应力是否超过容许承载力计算,分析得出泵房整体稳定,无需修改泵房布置、结构和尺寸。

b. 通过对湿室泵房水泵梁的荷载、内力计算,设计出水泵梁,再通过配筋和斜面承载力计算,绘制出水泵梁的配筋图。水泵梁的结构设计满足泵房要求。◆

(上接第44页)龙潭水库的成功应用,一方面体现了其优越性和可实施性,另一方面对类似工程具有普遍的指导意义。◆

参考文献

[1] 陈东清. 不同挡水建筑物方案的应用比选[J]. 水利规划与设计, 2014(1), 56-59.

选 $2\phi 12, A_s = 226 \text{ mm}^2$ 。

3.2.2 斜截面承载力计算

$$0.25f_c b h_0 = 0.25 \times 12.5 \times 300 \times 355 = 332.8 \text{ kN}$$

$$\gamma_d V = 1.2 \times 11.27 = 13.5 \text{ kN} < 332.8 \text{ kN}$$

所以,截面尺寸满足抗剪要求。

$$V_c = 0.07f_c b h_0 = 0.07 \times 12.5 \times 300 \times 355$$

$$= 93.2 \text{ kN} > \gamma_d V = 13.5 \text{ kN}$$

所以,不用配腹筋。

再选 $2\phi 12, A_s = 226 \text{ mm}^2$ 作为架立钢筋。箍筋

$4\phi 8@90, A_s = 352 \text{ mm}^2$ 。

3.2.3 配筋图

水泵梁的配筋图如图4所示。

参考文献

[1] 栾鸿儒. 水泵机水泵站[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1993.

[2] 丘传忻. 泵站工程[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2001.

[3] 杨进良. 土力学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2000.

[4] 吴持恭. 水力学[M]. 北京:高等教育出版社, 1982.

[5] 宋祖诏, 张思俊, 詹美礼. 取水工程[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.

[2] 王二平, 张玉华, 张小虎, 等. 顶部建橡胶坝的溢流堰体研究[J]. 人民黄河, 2006(8), 67-69.

[3] 郭莉莉. 宝泉抽水蓄能电站下水库溢流堰顶橡胶坝设计[J]. 河南水利与南水北调, 2006(10), 72-74.

[4] SL 227—98 橡胶坝技术规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.