

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2025.02.021

# 水库工作桥洪水标准选取及设计要点分析

岳雨欣

(陕西省水利电力勘测设计研究院(集团)有限公司,陕西 西安 710001)

**摘要:** 为了探明水库工作桥设计中存在的跨行业规范冲突及工程特性差异问题,以某水库连接工作桥为研究对象开展系统性分析,采用有限元梁格模型计算和方案比选,研究洪水标准协调机制、超限荷载承载力验证、施工制约因素以及桥梁设计受水工建筑物影响等关键技术难题。结果表明:连接工作桥应与水工建筑物保持防洪标准一致性,当水工建筑物洪水重现期达100年时,桥梁设计洪水频率需相应提升至1/100;应用midas Civil建立的预应力混凝土梁格模型显示,在650 kN超限荷载作用下结构所有截面的应力均小于截面抗力,主梁挠度值小于计算跨径的1/600;方案比选揭示山区水库工作桥结构形式选择受制于架设条件而非单纯经济指标。水库工作桥布设选型要结合水工建筑物综合考虑,遵循防洪标准协调原则进行设计。

**关键词:** 水库工作桥;防洪标准协调;梁格模型分析;山区施工制约;设计要点

中图分类号: TV312

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2025)02-0155-07

## Analysis of Flood Standard Selection and Design Considerations for Reservoir Work Bridge

YUE Yuxin

(Shaanxi Province Institute of Water Resource and Electric Power Investigation and Design (Group) Co., Ltd.,  
Xi'an, Shaanxi 710001, China)

**Abstract:** To investigate the cross-disciplinary specification conflicts and engineering characteristic discrepancies in reservoir work bridge design, this study conducted a systematic analysis of connecting work bridge at a specific reservoir. By employing finite element beam-grid model calculations and comparative scheme evaluation, the research addresses critical technical challenges including flood standard coordination mechanisms, verification of overload bearing capacity, construction constraints, and the impact of hydraulic structures on bridge design. Results demonstrated that connection work bridges should maintain consistency in flood prevention standards with hydraulic structures. When the flood recurrence period of hydraulic structures reaches 100 years, the design flood frequency of the bridge should be correspondingly increased to 1/100. The prestressed concrete beam-grid model established using midas Civil showed that under a 650 kN overload, the stresses of all sections of the structure were less than the section resistance, and the deflection of the main beam was less than 1/600 of the calculated span length. The scheme comparison revealed that the selection of structural forms for reservoir work bridge in mountainous areas is constrained by erection conditions rather than purely economic indicators. Adhering to flood protection standard coordination principles, bridge layout configurations must be determined through integrated consideration with hydraulic structures when designing reservoir work bridge.

**Keywords:** reservoir work bridge; flood standard coordination; beam-grid model analysis; mountainous construction constraints; design essentials

进、放水塔是水利工程中引水与泄水建筑物进、放水口的常见形式,体型大多为高耸结构,孤立细高,四面围水,塔顶设有工作桥与坝顶或道路连接<sup>[1]</sup>,此类工作桥在水利工程中普遍存在,然而,桥梁设计最重要的洪水频率标准却因水利与公路工程特性差异导致出现跨行业规范冲突,可能因防洪标准协调性不足致使桥梁整体设计标准偏高或偏低,造成资源浪费,严重时危及桥梁结构安全。

针对水库工作桥已有很多学者从桥梁结构稳定、荷载承载力验算及抗震等方面总结工程经验,张汉云等<sup>[1]</sup>通过建立塔身主体结构-启闭机房-工作桥-地基-库水整体有限元模型得出结构动力响应,考虑工作桥会使进水塔结构的顺流向位移、加速度有一定程度的减小,也使进水塔的应力有所减小;王国辉等<sup>[2]</sup>将进水塔工作桥视作水工建筑物的附属结构,通过 Ansys 有限元软件对桥墩及地基系统进行三维分析,得出墩体与山体的交界处易出现应力集中现象,为设计中薄弱部位;曾祥<sup>[3]</sup>通过分析工作桥受力特征,依据桥梁承受荷载建立简化计算模型确定上部结构尺寸,提出一种适用于无法采用标准图集进行施工建设桥梁的结构计算模型;吴钊等<sup>[4]</sup>从总体布置、梁板设计、排架计算三方面论述工作桥设计有关内容,指出水利桥梁在计算中应包含空库及满库情况,考虑库水对桥梁稳定性的影响;高建国<sup>[5]</sup>在分析李家河水库放水塔工作桥不利因素影响后提出施工方案优化措施,并通过满堂架稳定性计算证明优化方案的可行性;王飞等<sup>[6]</sup>通过遗传算法对某水利枢纽节制闸上中孔型钢混凝土工作桥进行受力主梁结构优化分析,提出传统钢筋混凝土结构因自重较大并不适用于大跨径工作桥,而通过调整型钢腹板厚度与翼缘厚度参数值可获取更高的经济效益;谭明卓等<sup>[7]</sup>基于振型分解法对除险加固水库工作桥进行抗震稳定性能数值分析,探讨加固设计方案的科学性和合理性。

设计洪水频率对于桥梁建设而言属于主要控制因素,而目前对水库工作桥设计洪水频率的研究大多基于公路设计,姜鹏<sup>[8]</sup>通过对桥梁水毁原因分析,提出合理确定洪水频率对评估桥位设计非常关键;杨玉芝<sup>[9]</sup>指出《公路桥涵设计通用规范》中设计洪水频率仅与桥梁跨径有关,而不涉及区域防洪标准,提出在防洪标准较低的区域设计洪水频率可区别对待,对于因此种调整导致的与桥梁结构自身需

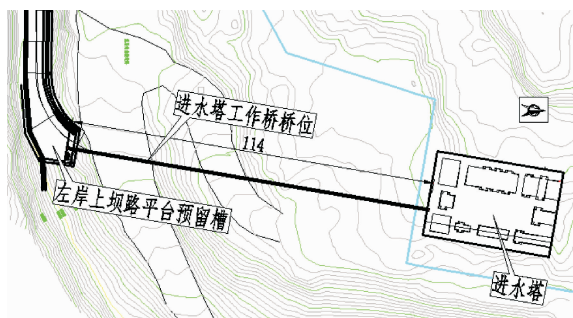
以较大概率在较长使用期内保证桥梁不触及设计水位的目标相抵触,应通过加强桥梁结构本身及强化临时性防洪设施来改善;郑瑞平<sup>[10]</sup>从预防洪水灾害的角度出发,综合调研资料和公路设计洪水频率标准框架,对现有公路设计洪水频率进行补充和修正,提出了适用于不同区域、不同功能的各公路等级的设计洪水频率标准。

综上所述,在众多专家学者的研究中专门论述水库工作桥洪水标准及其合理性评价方面的文献相对较少,但此问题对于水库工作桥总体布置及桥跨选择又具有极其重要的意义,原因在于水库工作桥防洪设计包含水利水电工程洪水标准和桥梁自身设计洪水频率两部分,且分别有各自的行业规范规定了等级划分依据,当两行业交叉时,在洪水标准的选取上难免互相矛盾,尤其是《公路桥涵设计通用规范》中设计洪水频率仅与桥梁跨径有关,就会出现因标准不匹配、选取不合理而引发的一系列问题。为此,本文在前人研究的基础上,拟通过某水利枢纽工程进水塔工作桥设计过程,分析水工建筑物对桥梁设计洪水频率的影响,对标准选取进行合理性评价并根据应用状况进行调整,通过 midas Civil 有限元梁格模型验证桥梁结构的安全性,并进行方案比选,提出此类工作桥设计及施工的制约因素,以期工程设计、施工提供参考。

## 1 工程概况

项目位于陕西省礼泉县境内,主体工程为水利枢纽工程,水库库容  $30.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,混凝土拱坝高 230 m,工程等别为 I 级,工程规模为大(1)型,进水塔为 2 级永久性水工建筑物,选取设计洪水标准为 100 年,校核洪水标准为 1 000 年<sup>[11]</sup>。进水塔工作桥一侧搭在塔体牛腿上,另一侧置于左岸上坝路平台预留槽处,塔体到预留槽直线距离 114 m,高程均为 804 m,最大荷载为金属结构特种设备重量 50 t,塔架基础为基岩,地勘资料显示弱溶蚀风化岩石饱和单轴抗压强度不小于 62 MPa,岩石属于坚硬岩<sup>[12]</sup>,桥梁建设条件见图 1。

由图 1 可知,桥头两端已被固定,桥梁在线形上没有比选性,桥面与地面间高差 35 m,柱式墩是 35 m 内最普遍适用的桥墩形式,工艺成熟、模板方便<sup>[13]</sup>,基岩条件好选用端承桩。综上所述,本项目桥位、下部结构、基础已定,重点在于荷载、洪水频率、上部结构及跨径的选取。



(a) 桥位平面示意图(单位: m)



(b) 桥位现场地形

图 1 桥梁建设条件图

## 2 工作桥设计

### 2.1 工作桥等级与设计洪水频率确定

进水塔建筑物级别 2 级,设计洪水位 796.22 m ( $P=1\%$ ),校核洪水位 799.21 m ( $P=0.1\%$ ),工作桥按跨径属大桥,设计洪水频率规定为 1/50。桥头两侧高差为零,纵坡受限只能为平坡,桥面高程 804 m,按塔架设计洪水位推算桥下净空  $h_0 \geq 6.23$  m,按塔架校核洪水位推算桥下净空  $h'_0 \geq 3.24$  m,均满足规范规定的桥下最小净空限值。因此,为使进水塔与工作桥的设防标准合理衔接,设计时将工作桥设计洪水频率提高到 1/100 以保证抗洪能力一致。

由于工作桥一般多采用低等级公路标准,当设计洪水频率提高后,其余设计标准不一定要按照高等级公路执行。规范中三、四级公路大桥的设计洪水频率为 1/50,一、二级公路大桥的设计洪水频率为 1/100,虽然在考虑进水塔洪水标准的前提下将工作桥设计洪水频率提高到 1/100,但由于工作桥受水利工程影响具备交通量不大且功能简单的特点,故除洪水频率标准提高外,其余设计标准如桥宽、车道划分等均可按低等级公路大桥标准执行,此项举措的意义在于合理控制桥梁规模、节约工程造价、防止因标准选取过高而导致的资源浪费现象。

### 2.2 工作桥荷载

金属结构特种设备需经工作桥运输至进水塔

内,设备最大件重 50 t,加上运输平板车约 15 t,桥梁在设计使用年限内需承受的最大荷载约 65 t。工作桥是场内交通的组成部分,桥梁应满足场内运输、重大件及施工机械设备的运输要求,设计标准应符合 JTG D60 的相关规定,《公路桥涵设计通用规范》<sup>[14]</sup> (JTG D60—2015) 规定的车辆重力标准值为 550 kN,而本文所述进水塔工作桥需承受的荷载已超出规范限值,对于桥梁结构而言属超限运输,严重时会导致桥梁整体破坏,因此,对超载或超限条件下桥梁结构的设计问题应重视。故本文对工作桥进行荷载效应分析,评估在 65 t 荷载下的承载能力。

### 2.3 材料及荷载基本参数

#### 2.3.1 材料

混凝土:主梁(板)采用 C50 混凝土,桥面铺装采用 C40 混凝土,混凝土力学特性参数见表 1。

表 1 混凝土力学特性参数表

混凝土	轴心抗压强度/MPa		轴心抗拉强度/MPa		弹性模量 $E_c$ /( $\times 10^4$ MPa)	重度 $\gamma$ /( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )
	标准值 $f_{ck}$	设计值 $f_{cd}$	标准值 $f_{tk}$	设计值 $f_{td}$		
C40	26.8	18.4	2.40	1.65	3.25	24.0
C50	32.4	22.4	2.65	1.83	3.45	26.0

预应力钢束:采用  $\phi^*15.2$  mm 钢绞线,每股公称面积 139 mm<sup>2</sup>,抗拉强度标准值  $f_{pk} = 1860$  MPa,弹性模量  $E_p = 1.95 \times 10^5$  MPa。

波纹管:管道摩擦系数  $\mu = 0.25$ ,管道偏差系数  $\kappa = 0.0015$ ;锚具变形、钢筋回缩取 6 mm(一端)。

支座:不均匀沉降  $\delta = 5$  mm。

普通钢筋:HRB400 钢筋抗拉强度标准值  $f_{sk} = 400$  MPa。

#### 2.3.2 基本荷载

永久荷载:一期恒载(主梁自重) + 二期恒载(铺装与护栏)。

预应力荷载:张拉应力  $\sigma_{con} = 0.75f_{pk} = 1395$  MPa,松弛率  $\rho = 0.035$ ,松弛系数  $\zeta = 0.3$ 。

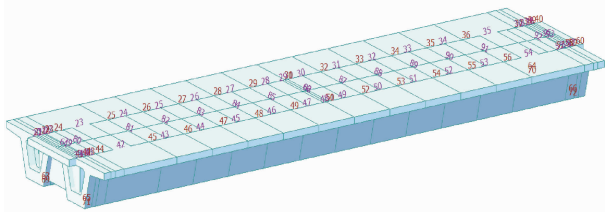
桥梁设计荷载:公路 - II 级,设计速度 5 km/h。

收缩徐变荷载:收缩龄期 3 650 d。

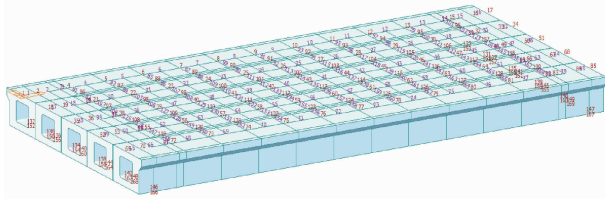
温度作用:计算桥梁结构因均匀温度作用引起的外加变形或约束变形时,最高有效温度标准值取 34℃,最低有效温度标准值取 -10℃;计算桥梁结构由于竖向温度梯度引起的效应时,桥面板表面的最高温度  $T_1 = 25$ ℃,梁高  $H = 100$  mm 处混凝土结构受竖向温度梯度影响温度下降至  $T_2 = 6.7$ ℃。

## 2.4 有限元模型的建立

本文分别以 19 m 预应力混凝土小箱梁和 13 m 预应力混凝土空心板作为有限元分析建模对象,采用 MIDAS/CIVIL 2023 有限元程序建立梁格模型,主梁自重按其一般构造建模后以自重系数考虑,支座位置及约束按实际采用,输入预应力束并进行张拉,加载护栏、铺装等二期恒载,最后输入收缩徐变,对于可变荷载,采用控制变量法,将汽车荷载作为变量荷载。按照空间梁格法进行有限元建模计算,19 m 预应力混凝土小箱梁共离散为 38 个单元、40 个节点,13 m 预应力混凝土空心板共离散为 80 个单元、85 个节点,仿真计算模型如图 2 所示。



(a) 19 m 小箱梁有限元计算模型



(b) 13 m 空心板有限元计算模型

图 2 仿真计算模型

桥梁整体结构计算,汽车荷载采用车道荷载,桥净宽  $W_0 = 5.5$  m,根据《公路桥涵设计通用规范》<sup>[14]</sup>选取设计车道数为 1、横向车道布载系数为 1.20、不考虑纵向折减,汽车荷载选用公路 - II 级,集中荷载  $P_k = 214.44$  kN,均布荷载  $q_k = 7.875$  kN/m。局部结构计算汽车荷载采用车辆荷载,车辆荷载  $P = 650$  kN。

## 2.5 计算结果与分析

计算梁板结构在各种荷载组合下的内力情况,正截面弯矩、斜截面抗剪强度、挠度及预拱度<sup>[15]</sup>结果如下:

### 2.5.1 截面抗弯强度校核

根据计算结果,19 m 小箱梁跨中最大弯矩为 3 603.3 kN·m,截面能承受的最大弯矩为 5 603.3 kN·m;13 m 空心板 5 块板中跨中最大弯矩出现在左右两侧边板上,弯矩值为 980.4 kN·m,跨中截面所能承受的最大弯矩为 1 480.4 kN·m,全桥所有

截面的最大弯矩和最小弯矩均小于截面抗力,满足规范安全要求。

### 2.5.2 截面抗剪强度校核

梁格模型计算剪力计算结果为:19 m 小箱梁最大剪力出现在梁端支点处,为 1 149.6 kN,跨中剪力为 149.6 kN;13 m 空心板最大剪力发生在左右两侧边板板端支点位置处,为 402.9 kN,跨中剪力较小,板两侧剪力基本对称。全桥所有截面的最大剪力和最小剪力均小于截面抗力,结构斜截面抗剪满足规范要求。

### 2.5.3 挠度及预拱度校核

钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件计算的长期挠度值,由汽车荷载(不计冲击力)和人群荷载频遇组合在梁式桥主梁产生的最大挠度不应超过计算跨径的 1/600;在梁式桥主梁悬臂端产生的最大挠度不应超过悬臂长度的 1/300<sup>[15]</sup>,挠度及预拱度值如表 2、表 3 所示,由表 2、表 3 可知,结构挠度满足规范要求。

表 2 19 m 小箱梁挠度及预拱度值 单位:mm

梁-孔	梁类型	节点	最大挠度设计值 $f_d$	最大挠度允许值 $f_n$	挠度验算结果	预拱值 $C$
右边梁-1	悬臂端	42	0.041	0.867	满足	0.105
右边梁-2	跨径内	50	5.029	30.667	满足	0.000
右边梁-3	悬臂端	59	0.039	0.867	满足	0.102
左边梁-1	悬臂端	22	0.006	0.867	满足	0.071
左边梁-2	跨径内	30	4.087	30.667	满足	0.000
左边梁-3	悬臂端	39	0.009	0.867	满足	0.075

表 3 13 m 空心板挠度及预拱度值 单位:mm

板-孔	梁类型	节点	最大挠度设计值 $f_d$	最大挠度允许值 $f_n$	挠度验算结果	预拱值 $C$
左边板-1	悬臂端	2	0.003	1.333	满足	0.015
左边板-2	跨径内	9	1.936	20.233	满足	0.000
左边板-3	悬臂端	16	0.003	1.333	满足	0.015
左中板-1	悬臂端	19	0.004	1.333	满足	0.016
左中板-2	跨径内	26	1.990	20.233	满足	0.000
左中板-3	悬臂端	33	0.004	1.333	满足	0.016
中板-1	悬臂端	36	0.004	1.333	满足	0.016
中板-2	跨径内	43	1.895	20.233	满足	0.000
中板-3	悬臂端	50	0.004	1.333	满足	0.015
右中板-1	悬臂端	53	0.002	1.333	满足	0.013
右中板-2	跨径内	60	1.680	20.233	满足	0.000
右中板-3	悬臂端	67	0.002	1.333	满足	0.014
右边板-1	悬臂端	70	0.001	1.333	满足	0.014
右边板-2	跨径内	77	1.487	20.233	满足	0.000
右边板-3	悬臂端	84	0.002	1.333	满足	0.014

综上所述,根据 MIDAS/CIVIL 计算结果得 19 m 小箱梁和 13 m 空心板在各种工况下均能承受 65 t 荷载。

## 2.6 桥梁断面方案比选

水库工作桥因受水工建筑物功能要求影响,建设上多呈现出长度长、宽度窄的特殊形态,看上去像“筷子上架天线”,比例不协调,故设计时应同山区公路桥梁一样不必过于强调高跨比协调<sup>[16]</sup>。本文工作桥在制定方案时摒弃高跨比概念,从满足功能、交通量等角度出发,通过方案比选分析出影响造价、控制施工工期的关键因素。本桥仅需对上部结构及跨径进行比选,桥梁横断面如图 3 所示。

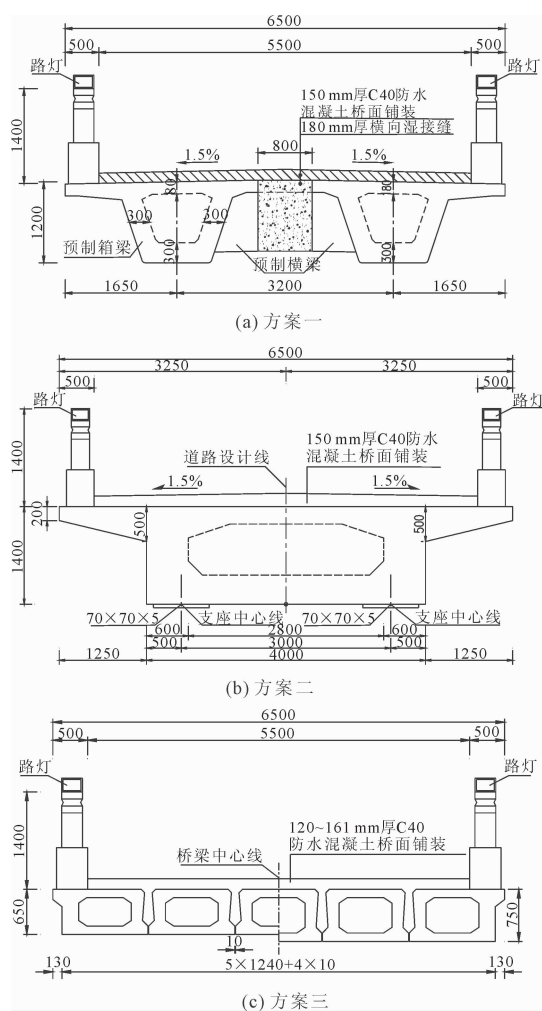


图3 桥梁方案横断面图(单位:mm)

### 2.6.1 预制小箱梁方案

上部结构采用 19 m 装配式预应力混凝土小箱梁,分两联,3 × 19 m + 3 × 19 m,简支结构,桥面连续,横断面由两片预制小箱梁组成,顶宽 2.85 m,底宽 1 m,梁高 1.2 m,湿接缝宽 0.8 m,见图 3(a)。桥墩采用双柱式,柱径 1.5 m,桩径 1.7 m。

### 2.6.2 现浇箱梁方案

上部结构采用 19 m 预应力混凝土现浇箱梁,分两联,3 × 19 m + 3 × 19 m,连续结构,横断面为一片现浇箱梁,顶宽 6.5 m,底宽 4 m,梁高 1.4 m,见图 3(b)。桥墩采用单柱式方墩,边长 1.8 m,柱底做承台与桩基连接,每个承台下接两根桩,桩径 1.5 m。

### 2.6.3 预制空心板方案

上部结构采用 10 m 和 13 m 两种后张法预应力混凝土空心板,分两联,第一联为 10 m + 4 × 13 m,第二联为 4 × 13 m,简支结构,桥面连续,横断面由 5 块预制板组成,板宽 1.24 m,边板悬臂 0.13 m,10 m 板高 0.65 m,13 m 板高 0.75 m,见图 3(c)。桥墩采用双柱式,墩高 20 m 以下柱径 1.4 m,桩径 1.6 m,墩高 20 m 以上柱径 1.5 m,桩径 1.7 m。

不同方案桥梁上部结构主要材料指标见表 4,全桥总体概算结果见表 5。

表4 桥梁上部结构主要材料指标

结构形式	预制小箱梁	现浇箱梁	预制空心板
跨径/m	19	3 × 19	10、13
单件件吊边梁(板)	575	—	178、244
装重量/kN中梁(板)	—	—	140、193
混凝土/m <sup>3</sup>	285.0	497.2	365.5
钢绞线/kg	9480.0	13080.2	8517.6
钢筋/kg	60390.0	98246.8	85583.2
施工方法	装配式、吊装	钢管柱 + 贝雷架、现浇	装配式、吊装

表5 不同桥型方案概算对比表

桥型	孔数及孔径/m	每平方米造价/万元	总造价/万元
预制小箱梁	3 × 19 + 3 × 19	0.445	330
现浇箱梁	3 × 19 + 3 × 19	0.588	436
预制空心板	(10 + 4 × 13) + 4 × 13	0.603	447

由表 4 可知,预制空心板方案上部结构材料用量少,吊装重量轻,对机械设备和场地的要求没有箱梁那么高。但之所以造价最高,是因为下部结构用量太大,当填高较高时,下部结构工程量成为整体工程造价的控制性因素,跨径越小,桥墩越多,造价越高<sup>[17]</sup>。实际工程中选取预制空心板作为最终设计方案,制约因素是梁板的架设问题:①预制小箱梁吊装重量大,起重设备受场地限制不具备作业空间,桥宽不满足架桥机作业宽度,且架桥机出场费较高;②现浇箱梁预应力钢束要一联整体张拉,各跨之间互相影响大,三跨一联工期无法保证,且因高差较大增加下部钢管柱和贝雷架施工难度。由此可见,水库

工作桥不能单纯以经济指标作为衡量标准,还需考虑场地限制、施工工艺等多方面因素。

### 3 水库工作桥设计要点

#### 3.1 进水塔工作桥特征

水库工作桥特征如下:①桥梁实际选取的洪水标准多与各桥梁规模所对应的洪水标准不一致,或高或低;②荷载由水工建筑物重大件、施工机械设备等确定,桥梁常处于超限或超载运输状态;③受交通量及重大件尺寸制约,桥梁形态上多以单幅窄桥为主,预制装配时采用纵向拼装,横桥向梁片数少,现浇时箱室多为单箱单室,结构尺寸较小;④桥梁高程通常由水工建筑物确定,为适配两侧高程,纵坡会突破规范小于 0.3%,为满足排水需通过铺装调整桥面横坡;⑤桥位、下部结构、基础没有方案可比性,均受水工建筑物位置限制,某种程度上说水工建筑物决定了桥梁总体走向,控制了桥梁大部分设计。

由上述工作桥特征可知此类桥梁设计时应注意以下三点:①桥梁设计洪水频率以所衔接水工建筑物洪水标准为主,应保证二者抗洪能力基本一致,同时保证桥下净空满足规范要求;②应采用有限元程序对桥梁建立单梁或梁格模型验算在超载或超限条件下结构的承载能力;③桥梁设计时要明确制约因素,例如本项目制约因素就是施工方法,要结合现场实际情况、施工工艺、工期等合理选择跨径及上部结构形式。值得注意的是,连续结构的关键技术要点在于合理布置分联情况,分联方式对梁板内力、工期影响很大,连续结构多用三跨连续梁而非两跨,原因在于承受相同荷载时,三跨连续梁在支点处负弯矩比两跨连续梁大,各跨跨中正弯矩比两跨连续梁小,弯矩分布更均匀些,具有更好的结构稳定性和抗弯性能。

#### 3.2 标准选取原则

标准选取原则如下:①桥梁作为水利工程配套设施,在主次关系中居于次要位置,标准选定应以所衔接水工建筑物等级为主要依据,在满足水工建筑物洪水标准、功能要求的前提下按桥梁规范标准执行;②水利桥梁具备双重属性,不仅是水利设施,也是交通工程的一部分,所以在项目早期规划中要与周边路网做好衔接,合理规划工程区内交通系统整体标准;③对于低等级水工建筑物匹配大、中桥的情况,桥梁设计洪水频率可适当根据项目情况降低;④对于高等级水工建筑物匹配中、小桥的情况,高等级水工建筑物洪水标准取 100 年往上,远远高于中、小

桥设计洪水频率,此时桥梁设计洪水频率与水工建筑物保持一致,按高标准设计;⑤重大件荷载并不全在公路荷载限值以内,对于荷载超出规范要求的应对桥梁进行有限元计算,保证结构的承载能力。

#### 3.3 选型、结构设计要点

水库工作桥设计要求工程师在充分了解水利项目整体建设条件、桥梁单体工程服务对象和整个项目投资规模以及桥梁单体工程投资规划的基础上,结合设计者自身对项目总体规划、设计意图和使用功能的理解制定方案。以工作桥为例总结水利桥梁选型、结构设计要点如下:①桥位应与水工建筑物保持安全距离,分析二者空间关系通过调整跨径或改做斜桥选取合适平面位置,且线形上应与水工建筑物平顺衔接;②确定水利桥梁高程时应明确两点:水工建筑物洪水标准和水工建筑物标高。在满足桥下净空的前提下计算能顺接水工建筑物的桥面高程;③水利桥梁以梁式桥为主,应选用结构简单、施工方便、技术成熟的结构形式;④施工工艺多为预制装配和现场整体浇筑,应根据地质、梁板形式、内力等选择简支或连续体系,注意合理布置分联方式,使梁板受力更均匀,抵抗变形能力更好;⑤选择桥梁基础应考虑对水工建筑物的影响,减少对其扰动并验算稳定性,当水工建筑物承担桥台功能时,应对承重部分进行承载力计算以确定尺寸。

#### 3.4 桥位受水工建筑物影响时的选型问题

本文所研究进水塔工作桥因塔底隧洞埋置较深,桥梁正交布置时桩基础与隧洞顶能保持足够安全距离,故此桥不存在桥位比选问题,但工作桥更普遍出现的情况是受塔底隧洞空间位置影响而导致的桥梁无法正交塔体,这种情况下桥梁平面位置很大程度上取决于水工建筑物的布置及特性,在设计时充分考虑桥梁与水工建筑物的空间位置关系,明确水工建筑物功能要求。当对塔底隧洞进行避让时,常用的做法是改做斜桥或增大跨径,考虑到工作桥交通量较小且对桥梁宽度要求不高,例如当桥宽为 3.5 m、跨径需达到 40 m 方可避让隧洞时,则无论选用预制或现浇箱梁都无法满足桥宽要求,且 40 m 箱梁用在工作桥上不够经济,所以对于此类工作桥来说,将桥位与塔体成一定角度斜交是最经济合理的方案。综上所述,工作桥平面布置时必须明确掌握塔底隧洞的详细资料,考虑调整跨径或改做斜桥并通过方案比选确定最优方案。

## 4 结 论

水库工作桥跨越水利水电工程和桥梁工程两门

学科,在设计中需考虑的因素更加冗杂,研究桥梁布设与水工建筑物适配理论,明确标准选取原则,使桥梁在设计中提前规避一些潜在问题是必要的。本文通过进水塔工作桥研究总结水利桥梁设计要点,得出以下结论:

(1) 桥梁与水工建筑物防洪标准应基本保持一致,并以水工建筑物洪水标准为主,可适当降低或提高桥梁设计洪水频率,但应满足最小桥下净空要求。

(2) 桥梁与水工建筑物联系密切,难免会对水工建筑物产生影响,应通过桥位、跨径、基础形式等有效避让水工建筑物,保证安全距离,必要时对水工建筑物进行承载能力及稳定性验算。

(3) 水库工作桥多为混凝土梁式桥且梁板架设是常见制约因素,条件困难时可不考虑高跨比协调,施工工艺对梁板形式的选择影响很大,应根据现场情况进行方案比选确定最优设计。

#### 参考文献:

[1] 张汉云,张云娟,张生太,等.工作桥对进水塔整体结构的抗震性能影响研究[J].水资源与水工程学报,2022,33(2):152-157.

[2] 王国辉,徐强,陈健云.江坪河进水塔工作桥桥墩应力变形与抗震研究[J].门窗,2019(8):127-129.

[3] 曾祥.某水库工程放水塔工作桥的简化模型结构设计[J].陕西水利,2021(6):199-201,206.

[4] 吴钊,吕磊.放水塔工作桥设计的有关问题[J].陕西水利,2014(6):92-93.

[5] 高建国.李家河水库放水塔工作桥施工方案优化[J].陕西水利,2013(2):67-68.

[6] 王飞,肖宁,陈文嘉.型钢混凝土工作桥受力特性研究与结构优化[J].河海水利,2024(5):83-86.

[7] 谭明卓,漆文邦,虎珀.某水库工作桥整体抗震稳定性数值分析[J].陕西水利,2021(3):3-5,9.

[8] 姜鹏.桥梁设计中的水文问题探析[J].中华建设,2016(11):98-99.

[9] 杨玉芝.对公路桥涵设计中设计洪水频率的思考[J].民营科技,2015(3):192.

[10] 郑瑞平.公路设计洪水频率标准研究[D].西安:长安大学,2012.

[11] 水利水电工程等级划分及洪水标准:SL 252—2017[S].北京:中国水利水电出版社,2017:11-12.

[12] 公路桥涵地基与基础设计规范:JTG 3363—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020:10-11.

[13] 邓楚星.山区公路桥梁设计方案比选分析[J].安徽建筑,2024,31(12):170-172.

[14] 公路桥涵设计通用规范:JTG D60—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015:26-28.

[15] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范:JTG 3362—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018:21-73.

[16] 杨芬,张华.山区公路中小跨径桥梁设计问题探讨[J].城市道桥与防洪,2021(9):77-79,14.

[17] 宋若雨,王怀海.芷铜高速山区桥梁总体设计方案分析[J].工程技术研究,2023,8(20):180-182.

(上接第 138 页)

[6] 张落玲,王敏,邓刚,等.近水平小管径油水两相流流型实验[J].测井技术,2020,44(6):528-533.

[7] 许明,赵铁柱,倪莉,等.水平油水两相流流型对阻抗式含水率计的影响研究[J].实验力学,2013,28(2):166-172.

[8] 金宁德,聂向斌,任英玉,等.垂直上升管中油水两相流流型辨识[J].工程热物理学报,2003,24(5):793-796.

[9] Zhai L S, Jin N D, Zong Y B, et al. Experimental flow pattern map, slippage and time-frequency representation of oil-water two-phase flow in horizontal small diameter pipes[J]. International Journal of Multiphase Flow, 2015,76:168-186.

[10] 孙皓,王殿学,郭大成,等.倾斜管内油水两相流数值模拟[J].北京石油化工学院学报,2015,23(4):40-

44.

[11] 宗艳波,金宁德,王振亚,等.倾斜油水两相流流型混沌吸引子形态周界测度分析[J].物理学报,2009,58(11):7544-7551.

[12] Song X, Yang Y, Zhang T, et al. Studies on water carrying of diesel oil in upward inclined pipes with different inclination angle[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2017,157:780-792.

[13] Paidoussis M P, Issid NT. Dynamic stability of pipes conveying fluid[J]. Journal of Sound and Vibration, 1974,33:267-294

[14] 樊洪明,张达明,赵耀华,等.90°弯曲圆管内流动数值模拟[J].北京工业大学学报,2007,33(2):174-177.

[15] 赵建兴.对原油乳状液粘度变化规律的认识[J].油气田地面工程,1985(4):15-22.