

基于 Abaqus 对比计算下 杨庄闸加固墩体型设计方案分析研究

胡志浪¹, 谢昌原²

(1. 江苏省淮沭新河管理处, 江苏 淮安 223005; 2. 江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏 南京 210000)

摘要:为研究杨庄闸墩体加固放大增强体截面宽度参数最优设计方案, 利用 Abaqus 进行了设计方案的应力、位移特征对比计算分析。获得了闸体关键部位中拉、压应力最大分别为墩体内侧面与连接梁。墩体内、外侧面最大拉应力在截面宽度参数 0.5~2 m 与 2~3 m 区间分别为抑制与促进关系, 但最大压应力在此两区间内影响特征为促进与抑制关系, 即宽度 2 m 方案的拉、压应力为最低与最大; 连接梁最大拉应力及 Z 向负位移受宽度参数影响均较小, 而最大压应力在宽度 2 m 前稳定在 11.8 MPa, 宽度超过 2 m 后才具减少态势。综合分析认为截面宽度参数 2 m 时为最优设计方案。

关键词:杨庄闸; 墩体; Abaqus; 应力; 位移

中图分类号: TV662

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2022)07-0016-0005

Analysis and research on the shape design scheme of reinforced piers of Yangzhuang Gate based on Abaqus contrast calculation

HU Zhilang¹, XIE Changyuan²

(1. Jiangsu Huaishuxinhe Management Office, Huai'an 223005, China;

2. Management Division of Qinhuai River Hydraulic Engineering of Jiangsu Province, Nanjing 210000, China)

Abstract: In order to study the optimal design scheme of the section width parameters of Yangzhuang Gate pier reinforcement, the stress and displacement characteristics of the design scheme were calculated and analyzed by Abaqus. The results show that the maximum tensile and compressive stresses are the inner side of the pier body and the connecting beam respectively. The maximum tensile stress of the inner and outer side of the pier body is the relationship of inhibition and promotion in the section width parameters of 0.5~2 m and 2~3 m, respectively. However, the influence characteristics of the maximum compressive stress in these two intervals are the relationship between promotion and inhibition, that is, the tensile and compressive stresses of the scheme with a width of 2 m are the lowest and the largest. The maximum tensile stress and Z-direction negative displacement of the connection beam are less affected by the width parameters, while the maximum compressive stress is stable at 11.8 MPa before the width of 2 m, and decreases after the width exceeds 2 m. Comprehensive analysis shows that the optimum design scheme is the section width parameter of 2 m.

Key words: Yangzhuang Gate; pier; Abaqus; stress; displacement

收稿日期: 2021-09-10

作者简介: 胡志浪(1989—), 男, 工程师, 本科, 主要从事水利工程设计、管理工作。Email: hbyy65@163.com

水工设施的安全运营离不开结构体系的稳定性设计,针对水工结构开展优化设计^[1-2],有助于提升水利设施运营年限及运营效率,推动工程更长久化运营发展。当前,贾旺等^[3]、沈卫^[4]、段洪元等^[5]根据水工模型实验理论,设计溢洪道、坝体及消力池等水工结构的模型试验,以对比模型试验结果作为水利工程设计优化的重要载体,为提高工程设计标准提供了重要依据。当然,基于已有工程的监测分析^[6-7],进而为拟建工程设计提供参考,此也是一项重要设计优化的措施,对已有工程运营过程中的细观数据进行监测,预判工程失稳前兆,为工程建设提供衡量标准。模型试验成本较高,而已有工程的监测势必耗时周期较长,不利于工程快速化设计进程,因而数值仿真计算逐步应用,基于 Abaqus^[8]、ANSYS 及 COMSOL^[9]等仿真平台建立计算模型,通过对不同设计方案的计算模型对比分析,进而评价最适宜于工程的最优方案。本文根据杨庄闸墩体放大增强体加固设计方案优化问题,利用仿真平台计算分析了不同设计方案的差异性,为工程建设提供重要基础评价依据。

1 工程仿真概况

1.1 工程概况

杨庄闸乃是淮安西郊重要水利控制枢纽,设计为控制入海口的水利设施,最大泄流量设计 $750 \text{ m}^3/\text{s}$,采用多孔式泄洪工作模式,单孔宽度为 10 m ,闸顶高度为 5.1 m ,总宽为 67.7 m ,闸室内总长为 89.4 m ,上游迎水侧水位设计为 15 m 。杨庄闸两侧建设有挡土边墙,高度为 6.6 m ,采用水工预制拼装式挡土墙结构体型,箱涵厚度为 0.6 m ,设计最大土压力为 2.5 MPa ,承受最大沉降变形为 12.5 mm ,有效保证杨庄闸室两侧土体稳定性。杨庄闸室基础采用板桩基础,其中在底板处设置有 760 根杉木桩,经桩基础测试表明,各桩工作状态较好,无显著缺陷。闸体下游建设有消力池,坎高为 0.45 m ,共有 4 个消力坎,有效降低下游水工设施受水力冲刷影响,池内动水压强稳定在 30 kPa 以内,流速较稳定,最大流速不超过 0.45 m/s ,无紊流、涡流集中现象,表明杨庄闸控制区域渗流活动较佳,特别是边墙内渗透坡降最低仅为 0.02 ,防渗效果较佳。杨庄闸溢流堰顶高程为 8.5 m ,顺下游水流方向底板长度为 16.6 m ,闸室设计有墩体结构,其顶部高程为 16.5 m ,厚度为 1 m ,与闸体底板两侧相接触。由于杨庄闸所在位置为交通要道,因而在杨庄闸顶建设有交通桥,采

用单向车道硬化路面设计,宽度为 4 m ;另一方面,杨庄闸具有农田灌溉用水调度、防洪排涝作用,年最大调度农业用水超过 250 万 m^3 ,惠及农田面积超过 10.67 万 hm^2 。闸室控制水流采用弧形钢闸门,直径为 2.2 m ,采用启闭机控制闸门开度,确保上游水流量与下游设施承受能力相匹配。

由于杨庄闸在淮河入海处控制水流作用较显著,但其修建年代在 1936 年,运营年限较长,局部水利结构受损较严重,极大限制了杨庄闸的泄流、调度水资源能力,特别是其上游泄洪流量相比设计之初增长较大,最大泄流量甚至可达 $700 \text{ m}^3/\text{s}$,其要求最高防洪水位应达到 16.43 m ,此对杨庄闸结构的运营安全性带来较大挑战。为此,工程管理部门考虑对杨庄闸进行加固升级,提升杨庄闸在复杂工况运营下静、动力安全稳定性。从杨庄闸设计现状出发,对闸室墩体进行加固,特别是对墩体与闸室相交处采用增设局部放大体方案,根据已有研究表明,增强墩体的存在可提升结构体系静力、动力稳定性。因而,本文重点探讨杨庄闸增设局部放大增强体设计方案对结构静力稳定性影响,进而确定最优设计方案。

1.2 工程建模

根据杨庄闸设计平面图,经简化获得闸室设计立面图,如图 1 所示,增强体分左、右两侧,分别与墩体与闸室相交界面,本文为设计方便,综合认为左、右侧增强体截面尺寸为一,故仅探讨单一改变一侧增强体截面尺寸设计方案(长度 L 、宽度 H),对结构体系静力特征影响。

利用 Abaqus 仿真计算平台建立杨庄闸有限元

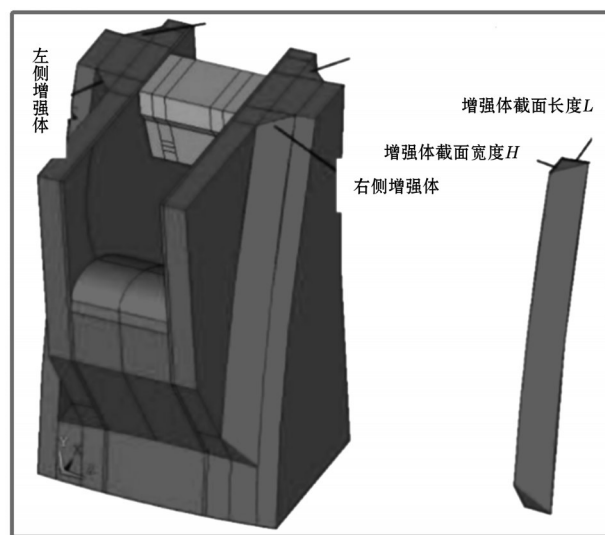


图1 闸室设计立面

计算模型,如图2所示,该模型包括有增强体与墩体,且增强体附着于墩体,经 Abaqus 四边形网格划分^[10-11],共获得微单元 92 658 个,节点数 78 922 个,闸顶与闸室结构均按照实际钢筋混凝土结构本构模型建立,服从弹塑性变形模型,墩体物理力学参数及设计尺寸按照实际设定。本模型中外荷载主要包括有结构自重、上游静水压力及泥沙上扬压力等,模型静力场影响范围设定为上、下游各 40 m,闸室底部土层影响深度为 20 m。所建立的杨庄闸室模型顶部为水平向变形约束,而闸室底部为零自由度体系,墩体增强体附近均为法向限制变形条件。为方便分析,本文设定计算模型的 X 、 Y 、 Z 正向分别为顺水流下游、闸体竖直向上及闸门右岸向。基于墩体局部增设放大体的加固设计方案,探讨该放大增强体截面尺寸参数对结构静力稳定性影响,进而确定最优设计方案。

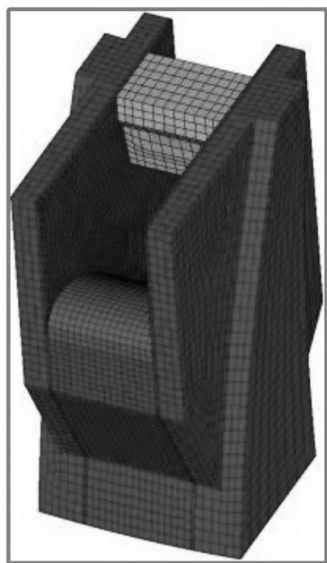


图2 节闸门整体模型

2 加固墩体型尺寸参数对结构应力影响

为研究墩体增设放大体后结构应力影响特征,根据放大增强体截面尺寸关系,按照墩体厚度 1 m 现状,统一设定截面宽度为 1 m,而截面长度按照宽度的 0.5 倍(0.5 m)、1 倍(1 m)、1.5 倍(1.5 m)、2 倍(2 m)、2.5 倍(2.5 m)及 3 倍(3 m)进行对比分析,典型设计方案如图 3 所示。基于不同加固墩增设体截面尺寸设计方案,研究结构拉、压应力与其截面宽度参数关系,并以杨庄闸体的 3 个特征部位作为重点分析对象,分别为加固墩体内、外侧面及连接梁

部位,所在位置如图 4 所示。

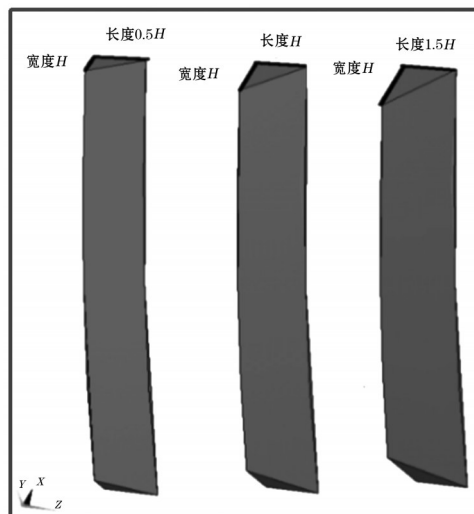


图3 增强体典型设计方案

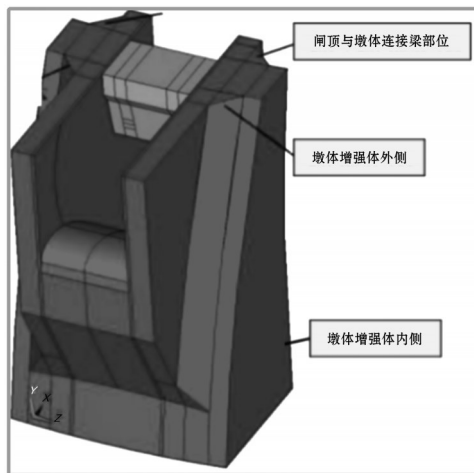


图4 闸体关键部位示意

2.1 拉应力特征

根据对不同设计方案的应力计算,获得放大增强体截面宽度参数与结构关键部位最大拉应力关系,如图 5 所示。从图中可知,杨庄闸体 3 个关键部位中拉应力最大乃是墩体内侧面,在增强体宽度为 0.5 m 时,墩体内侧面最大拉应力可达 4.79 MPa,而外侧面、连接梁两部位最大拉应力与之相比,减少了 22.4%、74.1%;从整体 6 个设计方案对比可知,墩体内侧面最大拉应力分布在 1.38~4.79 MPa,而外侧面、连接梁两部位与前者的差幅分别可达 19.4%~36%、30.4%~74.1%。由此可知,控制墩体内侧面拉应力乃是结构体系安全稳定的关键,重点针对墩体内侧面加强配筋布置及增强刚度,提升该部位处抗拉特性^[12-13]。

分析增强体截面宽度对结构最大拉应力影响

可知,墩体内、外侧面最大拉应力随截面宽度参数为先减后增变化,即墩体内、外侧面最大拉应力受宽度参数影响具有抑制区间与促进区间,在宽度 2 m 时墩体外侧面最大拉应力为 1.2 MPa,而宽度为 1.5 m、2.5 m、3 m 时,其最大拉应力较前者分别增大了 50.3%、70.9%、187.1%,即增强体截面宽度为 0.5~2 m 区间时,最大拉应力为减少态势,当宽度增长 0.5 m,平均可导致墩体内、外侧面最大拉应力分别减少 33.1%、33.3%,而宽度在 2~3 m 区间时,墩体内、外侧面最大拉应力平均分别增长 71.2%、69.4%;分析表明墩体内、外侧面最大拉应力受截面宽度参数影响,具有拉应力最低值,乃是宽度 2 m 方案。与前两关键部位不同的是,连接梁最大拉应力受截面宽度参数影响较小,6 个设计方案中其最大拉应力最大变幅仅为 15.8%,分布为 0.96~1.24 MPa,均未超过结构材料安全允许值,故选择宽度参数时优先考虑墩体内、外侧面所受影响。综合 3 个关键部位拉应力表现可知,当截面宽度未 2 m 时,结构体系设计最优。

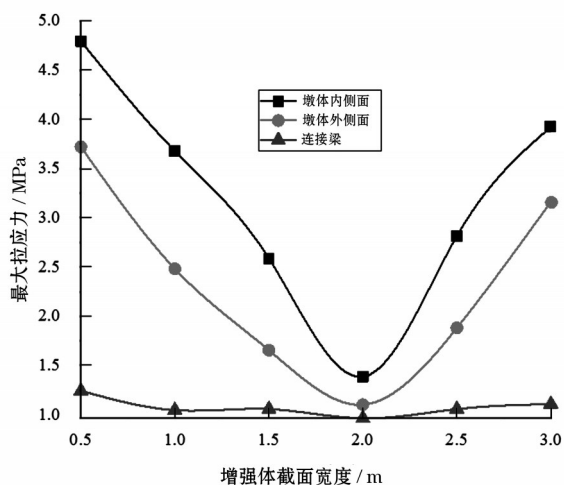


图5 关键部位最大拉应力与增强体截面参数关系

2.2 压应力特征

压应力也是反映结构体系安全稳定性的重要参数,根据仿真计算获得了增强体截面宽度参数与关键部位最大压应力变化关系,如图6所示。依据图中压应力特征可知,闸体上最大压应力位于连接梁部位,各设计方案中其值分布为 10.24~12.1 MPa,在宽度 0.5 m 时连接梁最大压应力为 11.68 MPa,而墩体内、外侧面最大压应力相比前者分别减少了 56.7%、44.1%,而从整体变幅亦可知,墩体内、外侧面与之差幅分别为 21.9%~56.7%、5.6%~44.1%,即

连接梁部位受预压效果较好,抗倾覆稳定性较佳。当增强体截面宽度参数增长时,墩体内、外侧面最大压应力变化特征与其拉应力特征呈相反态势,即先增后减变化,以宽度 2 m 设计方案为压应力最大。在宽度 2 m 时墩体内侧面最大压应力为 9.29 MPa,而宽度 0.5 m、1.5 m、3 m 时最大压应力较前者分别减少了 44.7%、13.1%、28%,当宽度位于 0.5~2 m 区间,墩体内、外侧面最大压应力随宽度参数递增,分别具有平均增幅 21.9%、19.3%,而宽度超过 2 m 后,最大压应力降低,又分别具有平均降幅 14.9%、13.8%,故应控制增强体截面宽度参数位于压应力增长区间。连接梁与之有所不同,其最大压应力在宽度为 2 m 前,基本保持不变,稳定在 11.8 MPa 左右,而增强体截面宽度超过 2 m 后,连接梁最大压应力随之稍有降幅,宽度 2.5 m、3 m 时最大压应力相比前一稳定区间压应力值分别降低了 5.8%、13.3%。综合压应力特征可知,当增强体截面宽度为 2 m 时,不仅满足墩体内、外侧面压应力递增区间要求,且连接梁压应力此时还处于稳定状态,结构体系抗滑移、抗倾覆效果均最优。

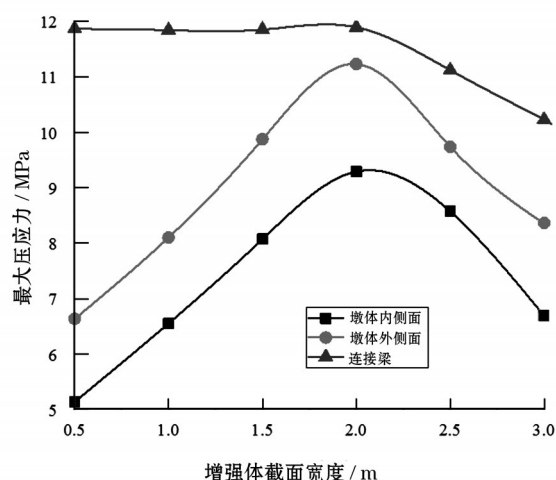


图6 关键部位最大压应力与增强体截面参数关系

3 加固墩体型尺寸参数对结构位移影响

3.1 位移影响特征

根据对各增强体截面尺寸参数设计方案位移计算,获得宽度参数影响下的墩体内、外侧面及连接梁上位移变化特征,如图7所示。从图中可知,内、外侧面Z向最大负位移随宽度参数均为递减,特别是在宽度参数 0.5~2 m 区间内,当宽度增大 0.5 m,

该区间内墩体内、外侧面最大负向位移平均降低15.9%、17.5%;而宽度参数超过2 m后,其负向位移降幅有所减小,宽度递增0.5 m,位移最大降幅仅为1.7%、2.3%。连接梁最大负向位移受宽度参数影响减小,各方案中最大负向位移变幅较小,各方案间负向位移最大变幅仅为3.2%,表明优化增强体截面宽度参数,重点在于评价其对墩体内、外侧面位移影响。

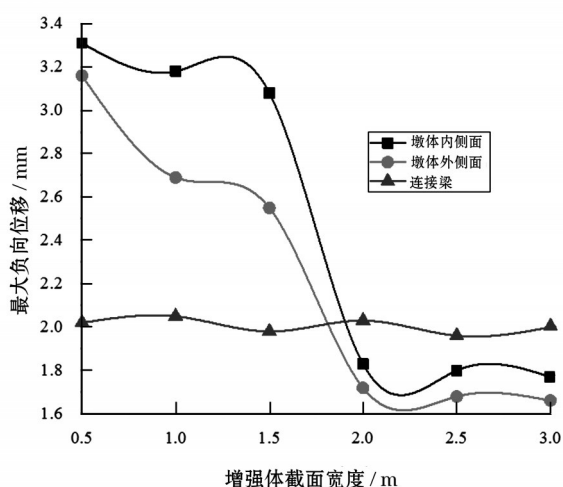


图7 关键部位负向位移与增强体截面参数关系

3.2 位移分布特征

为确定增强体截面宽度参数对结构位移影响,给出典型设计方案下墩体内侧面位移分布特征,如图8所示。由于墩体内侧面负向位移的产生根源来自结构体系中张拉应力,因而分析结构上负向位移分布演化特征^[14-15],对评价增强体截面设计最优方案具有重要意义。从图8中可知,各设计方案中负向位移均集中在墩顶处,位移分布面积在

3个方案中基本接近,但位移分布量值具有显著差异,在增强体截面宽度为0.5 m时,其负向位移分布区间集中在1.9~3.31 mm,而在宽度为1 m、1.5 m时,负向位移分布区间分别为1.79~3.18 mm、1.72~3.08 mm,表明增强体截面宽度参数对结构体系上负向位移分布无较大影响,但对分布量值具有显著影响。综合讨论认为,当增强体截面宽度2 m时,应力、位移特征均处于较安全状态,满足最优设计方案要求。

4 结 语

(1) 闸体关键部位中拉应力最大为墩体内侧面,外侧面、连接梁两部位与前者差幅分别可达19.4%~36%、30.4%~74.1%;墩体内、外侧面最大拉应力受宽度参数影响具有抑制区间与促进区间,分别为0.5~2 m与2~3 m区间,宽度2 m方案拉应力最低;连接梁最大拉应力受截面宽度参数影响较小。

(2) 闸体上最大压应力位于连接梁;墩体内、外侧面最大压应力以宽度2 m设计方案为最大,在宽度0.5~2 m区间墩体内、外侧面最大压应力分别具有平均增幅21.9%和19.3%,而在宽度2~3 m区间,分别具有平均降幅14.9%和13.8%;连接梁最大压应力在宽度参数2 m前均稳定在11.8 MPa左右,而超过2 m后为降低。

(3) 墩体内、外侧面Z向最大负位移随增强体截面宽度参数均为递减,但降幅在宽度2 m后减缓;连接梁负向位移受宽度参数影响较小;宽度参数对结构体系上负向位移分布无较大影响,主要影响负向位移分布量值。

(4) 综合应力、位移特征对比,认为增强体截面宽度参数2 m时为最优设计方案。

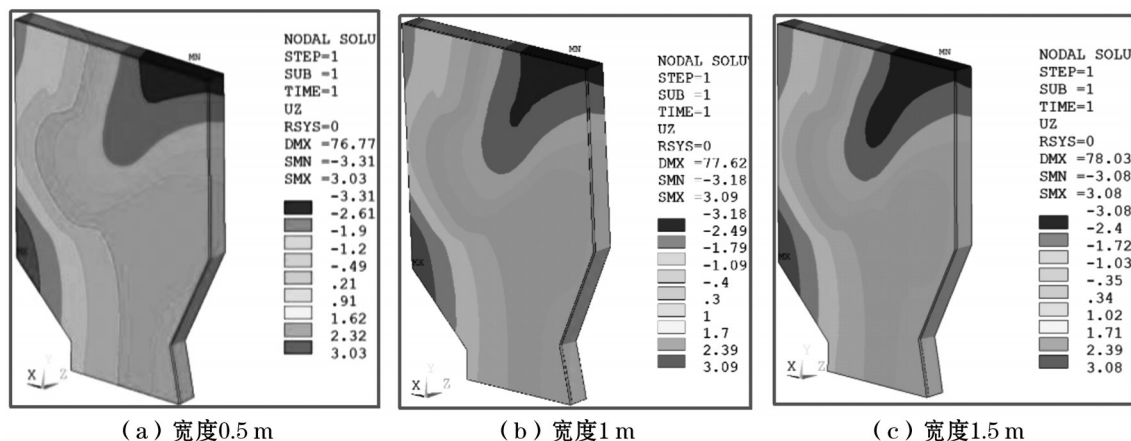


图8 墩体内侧面位移分布特征

(下转第36页)

应适当增加生态仓及附近水域种植挺水、沉水植物的种类,既能净化水体丰富景观,更能为水生动物提供繁衍的生境。

参考文献

- [1] 钟春欣,张玮.传统型护岸与生态型护岸[J].红水河,2006(4):136-139,143.
- [2] 胡大伟,程吉林.城市生态河堤建设的限制性因素分析[J].水利规划与设计,2009(2):14-16.
- [3] 刘厚昌,俞晓冬.传统护岸与生态护岸的比较与展望[J].现代交通技术,2011,8(增刊1):78-81.
- [4] 张东艳,宗永臣.高原城镇河道演变与生态护岸措施[J].水资源保护,2021,37(6):157-161.

- [5] 陈丹,杨文健,钟世雄,等.浅谈传统护岸向生态护岸之转变[J].科技资讯,2020,18(2):81-83.
- [6] 马克平,刘灿然,刘玉明.生物群落多样性的测度方法Ⅱβ多样性的测度方法[J].生物多样性,1995(1):38-43.
- [7] 陈宜瑜.中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷)[M].北京:科学出版社,1998.
- [8] 乐佩琦.中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(下卷)[M].北京:科学出版社,2000.
- [9] 郑葆珊,戴定远.中国动物志·硬骨鱼纲·鲇形目[M].北京:科学出版社,1999.
- [10] 倪勇,伍汉霖.江苏鱼类志[M].北京:中国农业出版社,2006.

(上接第20页)

参考文献:

- [1] 颜晓梅.高岭拦河闸重建工程泄流能力及消能防冲设计[J].广东水利水电,2021(8):55-58.
- [2] 张娅琴.两河口水电站泄水出口边坡开挖支护设计研究[J].水电站设计,2021,37(2):58-62,67.
- [3] 贾旺,黄桂兵,刁明军.高水头尾矿库场外排洪系统消力池体型研究[J].四川水利,2021,42(3):5-7.
- [4] 沈卫.基于水工模型试验的溢洪道优化布置[J].东北水利水电,2021,39(1):6-8.
- [5] 段淇元,胡海华.高含沙河流坝前冲刷漏斗物理模型试验研究[J].水电能源科学,2020,38(12):118-121.
- [6] 肖涛.基于主成分分析的水利工程质量可视化动态监测方法[J].水科学与工程,2021(4):54-57.
- [7] 宋志荣.某混凝土面板堆石坝数值模拟与监测分析[J].广东水利水电,2021(8):44-49.
- [8] 庞敏敏.基于Fluent-Abaqus的水利工程闸门结构设计分析[J].水电站机电技术,2020,43(9):50-54.

- [9] 邢磊磊.基于COMSOL计算优化下病险堤防工程心墙坝参数分析[J].水利技术监督,2021(8):144-148.
- [10] 沈志平.基于ABAQUS的闪溜电排站水工挡土墙结构设计优化[J].甘肃水利水电技术,2021,57(5):49-53.
- [11] 双学珍,李桢,张智涌.基于Abaqus的混凝土面板堆石坝建设运营期三维静力特征分析研究[J].四川水利,2020,41(4):14-19.
- [12] 叶柏阳,孙益松,周松松.某工程抽水泵站进水池塔墩体结构动力特性分析研究[J].广东水利水电,2020(8):54-60.
- [13] 张小飞,胡瑞昌,成曦,等.弧门型钢混凝土闸墩内型钢布置形式研究[J].水利水电技术,2017,48(7):35-42.
- [14] 孔信,罗永刚,鲁传银.大花水水电站拱坝中孔闸墩裂缝成因分析及处理措施研究[J].红水河,2021,40(4):70-74.
- [15] 王己海,费文平.预应力锚索的张拉次序对闸墩应力及变形的影响研究[J].中国农村水利水电,2021(7):132-138.