

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.05.043

基于现场检测参数反演的大坝渗流安全分析

张 军^{1,2}, 李宏冲^{1,2}, 李万里^{1,2}, 刘灏懿^{1,2}, 李 森^{1,2}, 刘 威^{1,2}

(1. 南阳市水利建筑勘测设计院, 河南 南阳 473000;

2. 河南灵捷水利勘测设计研究有限公司, 河南 南阳 473000)

摘 要: 水帘水库大坝为浆砌石重力坝, 水库自建成后出现两岸坝肩裂缝、坝内排水廊道底板渗水、挑流鼻坎两边挡水墙裂缝等问题, 一直处于带病运行状态。为掌握大坝安全状况, 根据水帘水库地质勘探和大坝安全鉴定现场检测资料, 通过参数反演, 对非溢流坝段和溢流坝段的典型断面进行二维渗流有限元法计算分析, 全面评价了水帘水库大坝的渗流安全状况。结果表明: 水帘水库上游防渗面板防渗效果下降, 坝踵建基面处渗透坡降较大; 在设计 and 校核工况下, 大坝坝基扬压力较大, 坝基排水孔处扬压力折减系数大于设计折减系数, 大坝渗透稳定性不满足规范要求。

关键词: 浆砌石坝; 现场检测; 参数反演; 渗流; 二维有限元

中图分类号: TV642

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2015)05-0218-05

Safety Analysis of Dam Seepage Flow Based on Field Test Parameter Inversion

ZHANG Jun^{1,2}, LI Hongchong^{1,2}, LI Wanli^{1,2}, LIU Haoyi^{1,2}, LI Sen^{1,2}, LIU Wei^{1,2}

(1. Nanyang Water Conservancy Survey and Design Institute, Nanyang, He'nan 473000, China;

2. He'nan Agile Water Survey and Design Research Co., Ltd., Nanyang, He'nan 473000, China)

Abstract: Shuilian reservoir dam is classified as masonry gravity dam, which now faces the problems of cracks on both sides of the abutment, seepage from the floor of the discharging channel within the dam and cracks on the retaining wall beside the flip bucket after the completion of the construction. This unhealthy operation state poses a great threat to the safety of this dam. In order to understand the status of the dam safety, according to the data of the geological survey and dam safety field tests, two-dimensional seepage finite element analysis of the typical cross sections in the overflow and non-overflow dam sections was conducted with the parameter inversion method. Based on the analysis, the safety status of the seepage flow in Shuilian reservoir dam was evaluated comprehensively. The evaluation results indicate that the function of the anti-seepage panel in the upstream of the dam is failing with a larger seepage slope gradient at the dam heel foundation; under the design and check conditions, the uplift pressure of the dam foundation is increased, the value of the uplift pressure reduction coefficient of the drainage holes at the dam foundation is smaller than the design value, which leads to the conclusion that the stability of the dam seepage can not meet the requirements of the codes.

Keywords: masonry dam; field test; parameter inversion; seepage; two-dimensional finite element

1 工程概况

水帘水库位于淮河源头支流西小河中游, 坝址距桐柏县城 4 km, 是一座以防洪为主, 兼有旅游、供水、养殖于一体的综合性水利枢纽工程^[1-2]。水库控制集水面积 6.98 km², 总库容 160 万 m³, 为小(1)型水库。考虑距离桐柏县城较近, 按照 III 等 3 级建

筑物设计。水库设计洪水位 217.60 m, 校核洪水位 218.30 m, 兴利水位 215.50 m。大坝为浆砌石重力坝, 坝顶全长 132.0 m, 坝顶高程 219.10 m, 最大坝高 34.1 m。水帘水库工程布置见图 1。

由于大坝上游防渗面板裂缝且坝体浆砌石填筑质量较差, 水库目前存在的主要问题是: 排水廊道底板开裂冒水; 坝肩贯穿性裂缝; 坝顶、廊道裂缝严重

等。鉴于水库存在的上述问题和缺乏观测数据资料等情况,根据其工程地质条件结合现场检查情况,对

大坝进行渗流安全性分析是必要的,以解决大坝及坝基的渗流安全及渗透稳定性问题。

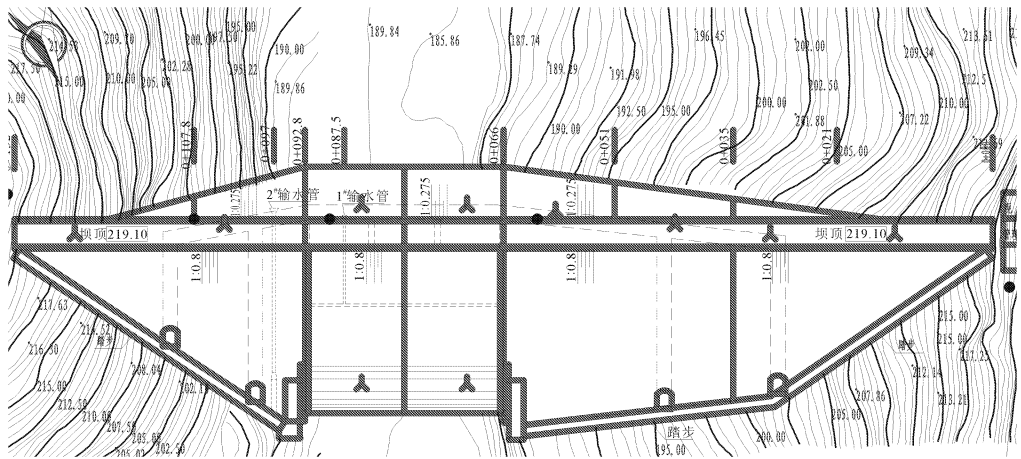


图1 水帘水库工程布置图

2 大坝现状

2.1 坝基工程地质条件

坝址区为低山区,两岸山脊走向近南北,与河流方向一致,高程 170 m ~ 320 m,左岸山体雄伟宽厚,山坡坡度 35° ~ 50°,冲沟不甚发育。右岸山体较单薄,山坡坡度 30° ~ 45°,大坝下游发育有一冲沟,沿东—东南方向切割右岸山体,冲沟深约 5.0 m。坝轴线方向 300°,河流方向 25°,河流与坝轴线交角 85°;河床宽约 20 m,高程 185 m 左右;河谷形态呈“V”型。河床基岩完整,坝基岩性为黑云二长花岗片麻岩,水库修建时清基至微风化状态^[3]。

坝址区及其附近发现 3 条断层,宽度和延伸长度都不大。F1 断层:位于右坝段,位置较高,长约 100 m,宽度 7.0 m ~ 8.0 m,胶结好,节理以倾向南东为主,属中高倾角,不透水,不起滑移控制作用。断层产状:走向 160°,倾向 70°,倾角 52°;F4 断层:位于左坝段,长约 50 m,宽 7.0 m ~ 8.0 m,倾向下游,基本与坝轴线垂直,属高倾角,充填有绿泥石,胶结好,根据原钻孔压水试验,为弱透水下带,断裂体呈透镜体状,不连续,有临空面,对坝体有影响。断层产状:走向 18°,倾向 108°,倾角 72°;F2 断层:位于大坝下游,长约 50 m,宽 4.0 m ~ 5.0 m,倾向下游,与坝轴线大体平行,距离大坝约 300 m,对大坝基本没有影响。断层产状:走向 265°,倾向 355°,倾角 55°。

坝址区主要有以下 3 组:(1) 走向 SW210° ~ 230°,倾向 NW300° ~ 320°,倾角 50° ~ 60°;(2) 走向 SE113° ~ 144°,倾向 NE23° ~ 54°,倾角 60° ~ 75°,该组为岩层层面裂隙;(3) 走向 SE144° ~ 172°,倾向

NE54° ~ 82°,倾角 60° ~ 70°。以上三组裂隙,第(2)组最发育,第(1)组次之,第(3)组则发育较少。经统计,范围为 1.0 m × 1.0 m 内。第(2)组发育有 10 条 ~ 22 条,第(1)组发育有 7 条 ~ 13 条,第(3)组发育有 3 条 ~ 5 条。其裂隙多数呈闭合状,无充填物,且延伸不远。其中,走向相同、倾向相反的第(1)组和第(3)组裂隙构成“X”型结构面,把岩体切割成“V”字型槽,而第(2)组与第(3)组裂隙则构成正方形或不规则的正方形结构面。

坝址区地下水按埋藏条件分为:第四系全新统松散层中的孔隙潜水,接受库水补给,储量较丰富。花岗片麻岩中的基岩裂隙水,右岸山体冲沟中有裂隙水渗出,常年不干,高出河床约 20 m,基岩裂隙水补给河水。

2.2 大坝结构情况

2.2.1 混凝土结构

坝顶、防浪墙及上游防渗面板为混凝土结构,其中上游防渗面板厚度为 0.5 m ~ 1.8 m,面板内配置纵、横向钢筋,钢筋直径为 8 mm,间距为 30 cm,面板与坝体之间采用直径 14 mm 的锚固筋连接,防渗面板竖筋插入基础底板 0.4 m,并与坝体基础的混凝土防渗垫层连成整体。

2.2.2 浆砌石结构

大坝除坝顶、防浪墙、上游防渗面板及溢流面板等以外为浆砌石结构,下游侧坝面在 216.00 m ~ 219.10 m 高程范围内为铅直段,在 216.00 m 高程以下为斜坡段,坡度为 1:0.8。下游侧浆砌石坝面存在砂浆脱落、砌石松动现象,致使坝面杂草丛生。根据原有资料,大坝在修建时采用水泥砂浆砌筑。根

据本次勘察所取得的地质资料^[3],坝体砌石多呈弱—微风化,少量为强风化,砌石之间有少量的砂浆充填,可见不规则的相互连通的空洞,砂浆中水泥含量很少,胶结差,砂浆呈松散的颗粒状。采用探坑称重及覆膜注水法测得坝体浆砌石的密度为 1.979 t/m³,小于设计值 2.2 t/m³,坝体填筑质量差。

2.3 渗漏情况

2.3.1 坝基渗漏情况(含绕坝渗漏)

坝址区河谷形态呈“埃顿北型”,河谷两侧基岩裸露。大坝坝基由左坝肩、河槽段及右坝肩组成,其地层岩性均为黑云二长花岗片麻岩,建坝时已清基至微风化状态,坝基岩体较完整,其中左坝肩坝基岩体裂隙较发育,岩石透水率 0.80 Lu ~ 2.70 Lu,微透水—弱透水下带;河槽及右坝肩坝基岩体裂隙不发育,岩石透水率 0.75 Lu 和 0.90 Lu ~ 2.10 Lu,微透水—

弱透水下带,坝基渗漏及绕坝渗漏轻微。

2.3.2 坝体渗漏情况

坝体填筑材料为浆砌石,对坝体进行了钻孔取样及 14 段压水试验,压力表均不起压,坝体透水率大于 100 Lu,属强透水,坝体渗漏情况严重。

综上,大坝渗漏以坝体渗漏为主,渗漏严重;坝基渗漏及绕坝渗漏轻微。

3 大坝渗流分析

由于现有地质资料不足和缺少渗流监测资料,无法建立三维数学计算模型,因此大坝渗流计算采用二维有限单元法^[4-15]。根据大坝的资料,分别选取非溢流坝段和溢流坝段最大断面作为典型断面进行有限元渗流分析。典型断面见图 2。

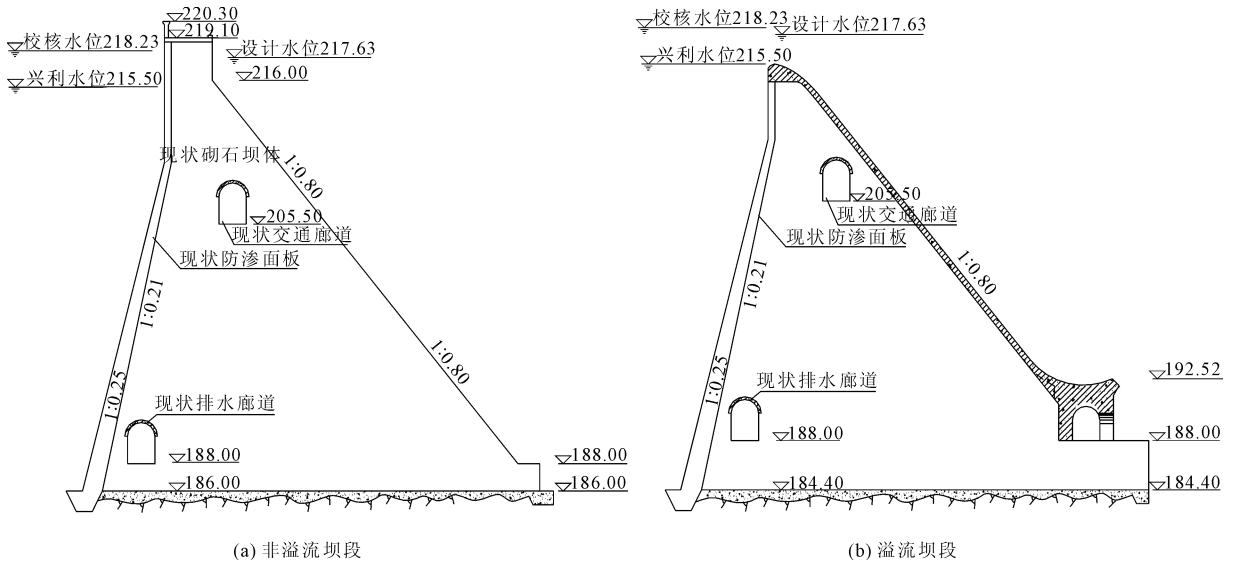


图 2 典型断面

3.1 计算模型、参数及工况

3.1.1 计算模型

根据大坝非溢流坝段和溢流坝段最大断面形状,建立渗流二维分析有限元模型如图 3 所示。模

型计算范围为: X 方向为顺河向,以坝轴线为原点,指向下游为正,上游坝踵以上和下游坝趾以下均截取约 2 倍坝高; Z 方向为垂直向,向上为正以高程为坐标。

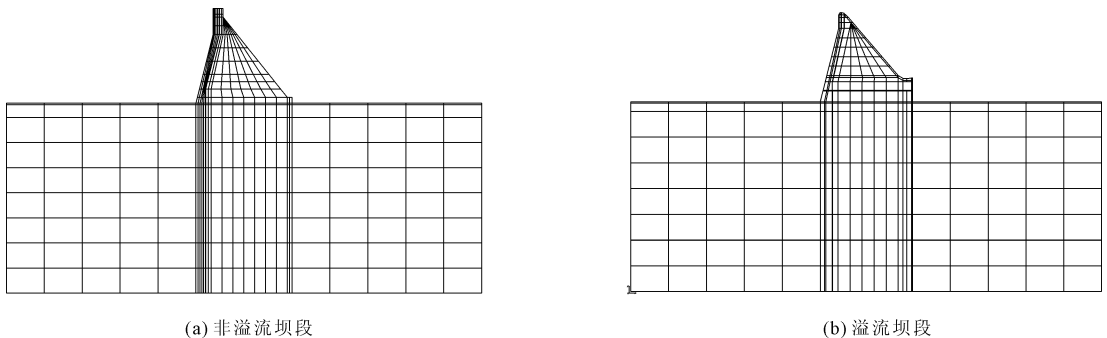


图 3 典型断面有限元网格图

3.1.2 计算参数

根据水库观测数据(库水位 214.00 m 时,背水坡渗流量 34 L/s)及现场检测情况对浆砌石坝各材料分区渗透参数进行反演,并参考相关文献及类似工程,最终渗流参数选取如表 1 所示。

表 1 大坝各材料分区渗透参数反演值

材料分区	混凝土面板	垫层	地基	浆砌石
渗透系数 / (cm·s ⁻¹)	1.6 × 10 ⁻⁶	1.6 × 10 ⁻⁶	1.2 × 10 ⁻⁴	6.1 × 10 ⁻³

3.1.3 计算工况

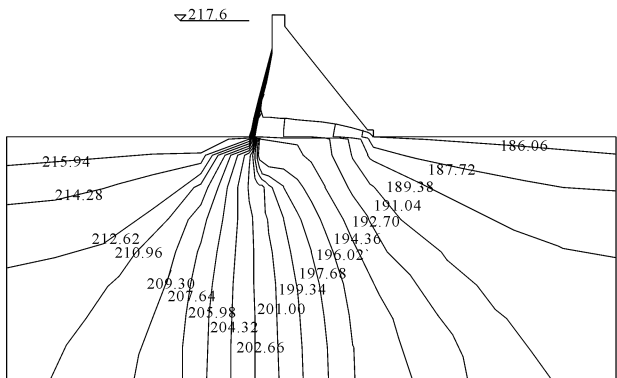
根据水库实际情况及大坝结构分析的需要,选取设计和校核两种工况对非溢流坝段坝体和坝基渗流性态及坝基扬压力进行计算分析:

(1) 设计工况:设计洪水位 217.60 m,下游河床相应水位 186.00 m,坝体形成稳定渗流。

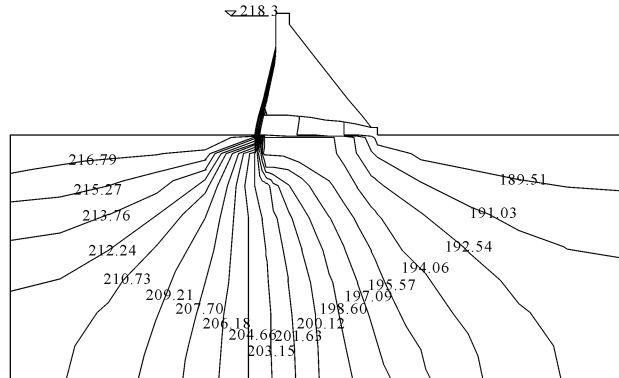
(2) 校核工况:校核洪水位 218.30 m,下游河床相应水位 188.00 m,坝体形成稳定渗流。

3.2 渗流计算成果分析

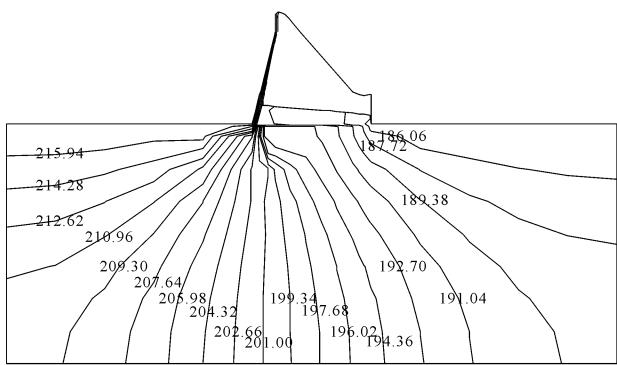
采用上述计算模型和渗透参数,计算得到非溢流坝段和溢流坝段最大断面在设计工况下坝体和坝基的渗流场,经分析整理,坝体和坝基的位势分布如图 4(a)~图 4(d)所示。



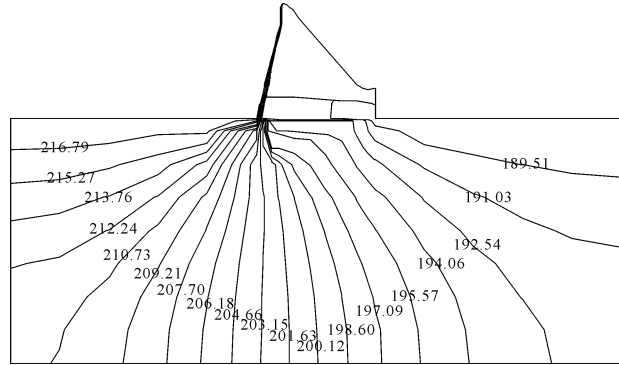
(a) 非溢流坝段断面设计工况



(b) 非溢流坝段断面校核工况



(c) 溢流坝段断面设计工况



(d) 溢流坝段断面校核工况

图 4 坝体和坝基位势分布图

根据坝体和坝基位势分布计算坝基面总扬压力,所得结果见表 2。

表 2 坝基面总扬压力及逸出点高程

坝型	计算工况	上游水位 /m	总扬压力 / (kN·m ⁻¹)	逸出点高程/m
非溢流坝段	设计洪水位	217.60	5301.85	186.00
	校核洪水位	218.30	5625.45	188.00
溢流坝段	设计洪水位	217.60	2631.50	185.81
	校核洪水位	218.30	3195.70	188.20

采用反演分析得到的坝体和坝基材料渗透参数计算坝体和坝基渗流场以及坝基扬压力,得到扬压力折减系数为 0.51,大于设计折减系数 0.38。在设计工况和校核工况下,坝基扬压力值均较大,且面板及坝踵部位建基面处的渗透坡降较大,结果见表 3。

现场安全检测发现,坝体浆砌石填筑不密实,坝体及排水廊道裂缝众多。由图 4 可知,坝基扬压力较大,设计工况和校核工况下非溢流坝段廊道位置坝体浸润线高程分别为 191.38 m 和 191.60 m,均高于坝体廊道高程 188.00 m;溢流坝段廊道位置坝体

浸润线高程则分别为 191.46 m 和 191.75 m, 也均高于坝体廊道高程 188.00 m。另外, 坝基未设置灌浆帷幕, 仅布置了间距为 3 m 的坝基排水孔。另外, 根据施工记录反映, 排水廊道附近存在新老层面接触问题, 易造成渗流通道。从渗流计算分析成果来看, 坝踵接触面的渗透坡降较大, 非溢流坝段最大渗透坡降为 6.64, 在高水位情况下, 会造成扬压力进一步增大, 危及大坝稳定; 溢流坝段最大渗透坡降为 7.92, 极有可能导致新老层面接触面发生渗透破坏, 引起坝基渗流量增大, 这与 0+068.2 处排水廊道底板开裂冒水的现象也是吻合的。

表 3 最大渗透坡降

坝型	部位	计算工况	最大渗透坡降
非溢流坝段	面板	设计洪水位	18.44
		校核洪水位	17.10
	坝踵建基面	设计洪水位	6.64
		校核洪水位	5.59
溢流坝段	面板	设计洪水位	20.75
		校核洪水位	19.00
	坝踵建基面	设计洪水位	7.71
		校核洪水位	7.92

4 结 论

根据大坝渗流有限元分析, 并结合现场检查检测情况对大坝渗流安全性评价如下:

(1) 本次现场安全检查和检测发现的大坝主要渗流问题有: 坝体排水廊道裂缝渗水明显, 0+068.2 处底板开裂严重, 向外冒水; 上游防渗面板普遍蜂窝、麻面、露筋, 防渗效果下降;

(2) 采用反演分析得到的坝体和坝基材料渗透参数进行大坝有限元渗流分析, 结果表明, 在设计和校核工况下, 大坝坝基扬压力较大; 坝基排水廊道位置坝体浸润线高于坝体廊道高程; 坝基排水孔处扬压力折减系数为 0.51, 大于设计折减系数 0.38;

(3) 坝基未设置灌浆帷幕, 仅布置了间距为 3 m 的坝基排水孔, 从渗流计算分析成果来看, 坝踵基岩的渗透坡降较大, 最大渗透坡降为 7.92, 再加上排水廊道附近存在新老层面接触问题, 极有可能导致

坝基接触面发生渗透破坏, 引起坝基渗流量增大, 这与排水廊道底板开裂冒水的现象也是吻合的。

综上, 大坝渗流安全等级评价为“C”级^[16]。建议尽快进行除险加固, 并完善大坝安全监测和管理设施。除险加固工程实施前, 应切实加强水库大坝的日常巡视, 确保工程安全。

参考文献:

- [1] 河南灵捷水利勘测设计研究有限公司. 河南省南阳市桐柏县水帘水库除险加固工程初步设计报告[R]. 南阳: 河南灵捷水利勘测设计研究有限公司, 2014.
- [2] 中华人民共和国水利部. SL25-2006 砌石坝设计规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [3] 河南灵捷水利勘测设计研究有限公司. 桐柏县水帘水库除险加固工程初步设计阶段工程地质勘察报告[R]. 南阳: 河南灵捷水利勘测设计研究有限公司, 2014.
- [4] 南京水利科学研究所. 河南省桐柏县水利水库安全评价报告[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2014.
- [5] 张 鹏. 竹仙洞水库大坝渗流安全分析[J]. 广东水利水电, 2014(11): 43-46.
- [6] 胡建平, 刘亚莲. 赤竹径水库大坝渗流安全分析与评价[J]. 甘肃水利水电技术, 2014, 50(5): 53-56.
- [7] 王海凌, 达 娃, 王海霞. 基于 Ansys 热分析模块的大坝渗流分析—以西藏满拉水利枢纽为例[J]. 西北水电, 2015(1): 77-80.
- [8] 寇华榕. 龙门滩水库大坝渗流安全评价[J]. 水利科技, 2014(2): 38-41.
- [9] 王 伟, 贾克梅. 青松水库大坝渗流稳定分析及处理措施[J]. 黑龙江水利科技, 2014, 42(2): 62-66.
- [10] 徐怀霞, 吴小林. 施庄水库大坝渗流及稳定性分析[J]. 科技论坛, 2015(5): 26-28.
- [11] 董春阳. 沙河集水库大坝渗流安全分析[J]. 工程与建设, 2014, 28(4): 439-441.
- [12] 孙伟伟, 陈永昌, 刘成栋, 等. 四明湖水库大坝渗流安全分析[J]. 大坝与安全, 2014(3): 36-42.
- [13] 徐继红. 肖克尔水库大坝渗流安全评价[J]. 水电与新能源, 2015(2): 70-72.
- [14] 李凯凯. 张峰水库初期蓄水大坝坝体渗流安全监测分析[J]. 山西水利科技, 2014(11): 55-57.
- [15] 孙 雷. 石佛寺水库大坝渗流监测系统建设和渗流性状分析[J]. 陕西水利, 2015(1): 141-142.
- [16] 中华人民共和国水利部. SL258-2000 水库大坝安全评价导则[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.