

白鹤滩水电站料场补充开采规划优选设计

丁晓唐¹,覃 牧¹,崔恩豪²

(1. 河海大学土木与交通学院,江苏 南京 210098;
2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司,浙江 杭州 311122)

摘要:为解决白鹤滩水电站料场有用料储量不足的问题,依据储量复核结果,重点考虑现场地质条件、开挖面貌、扩挖时机、施工条件、经济性等因素,对补充开采规划方案进行了优选设计,并提出了3个补充开采规划方案。依据有用料储量、扩挖时机、施工条件、经济性4项评价指标,运用线性加权和法对3个方案进行了对比分析。结果表明,方案3为最优的规划方案,其扩挖后能增加有用料380万m³,可确保大坝混凝土工程骨料的供应,保障白鹤滩水电站的顺利建设。

关键词:白鹤滩水电站;料场;有用料;开采规划;线性加权和法

中图分类号:TU521 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2018)05-0043-05

Design and optimization of supplementary mining plans for aggregate storage in Baihetan Hydropower Station// DING Xiaotang¹, QIN Mu¹, CUI Enhao²(1. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Power China Huadong Engineering Co., Ltd., Hangzhou 311122, China)

Abstract: To solve the shortage of useful materials in Baihetan Hydropower Station aggregate storage, taking the site geological conditions, excavation features and time, construction conditions, and economy into consideration, three supplementary mining scheduling programs are designed and optimized based on the re-examined results of the storage. With the help of linear weighted sum (LWS) method, the proposed three mining plans are analyzed for comparison based on four evaluation indexes, including the reserved useful materials, excavation time, construction conditions, and economy. The result shows that the third exploitation plan is the best that can increase 3.8 million cubic meters of useful materials after excavating. It ensures the supply of aggregate content for the dam concrete program and guarantees the construction of Baihetan Hydropower Station.

Key words: Baihetan Hydropower Station; aggregate storage; useful materials; exploitation plan; linear weighted sum (LWS) method

白鹤滩水电站是金沙江下游4个梯级水电站中的第二级电站,是国家“西电东送”战略中的骨干工程,电站总装机容量为16GW,多年平均发电量为624.43亿kW·h,电站建成后,将仅次于三峡水电站,成为世界第二大巨型水电站^[1]。

白鹤滩水电站旱谷地料场在开采施工过程中,发现料场地质条件与前期勘查结果不一致,原有的料场开挖设计方案的有用料储量复核计算后为1090万m³,而有用料的规划开采量根据DL/T 5397—2007《水电工程施工组织设计规范》规定复核计算后为1400万m³,按此计算,目前有用料储量存在缺口约310万m³,存在有用料储量不足的风险。为了解决这一工程问题,确保工程顺利建设,

本文根据料场复核勘查资料,结合现场开采面貌,拟进行补充开采规划方案的优选设计,并对补充开采规划方案采用线性加权和法进行多目标方案分析,最终综合多方面因素得出最优规划设计方案。

1 补充开采规划设计及多方案对比分析方法

1.1 补充开采规划设计要素

由于现场已按原开采方案进行了开挖,形成了100m高的开挖边坡,并且现场存在前期征地红线等边界条件限制,同时由于白鹤滩水电站大坝已开始浇筑,需保证在进行补充开采规划时不影响开采施工,确保骨料的不间断供应。因此,为了确保补充开采规划方案的科学合理,结合以往工程经验及本

作者简介:丁晓唐(1961—),女,副教授,博士,主要从事混凝土结构基本理论及近代计算方法研究。E-mail:xtding2000@sohu.com
通信作者:崔恩豪(1992—),男,硕士,主要从事混凝土结构基本理论及近代计算方法研究。E-mail:1019275935@qq.com

工程特点,对规划设计要素进行分析^[2-6]。

a. 料场南侧下挖的必要性。由于料场开采施工中发现了角砾状灰岩,分析判定为无用料,而现场开采揭露料场靠近大弯子沟侧角砾状灰岩分布面积大,因此对于该范围内进行料场开采的必要性需进行论证,为补充开采规划方案提供依据。

b. 料场各开采面开挖现状。补充开采规划设计需依据料场开挖现状、场地布置和征地条件进行,故需充分掌握料场各开采面的开挖现状,进而保证规划的可行性。

c. 扩挖方案施工条件及实施时机。在进行具体的补充开采规划设计时,需要依据开挖现状及施工通道进行布置,分析方案各扩挖区域的实施条件和实施时机,确保方案的可行性,该项分析需依据具体方案进行。

d. 方案的经济性指标。补充开采规划方案的经济性指标主要是指在满足工程建设需要的前提下,考虑扩挖成本、相关设施改造费用、工程建设风险等因素。

1.2 方案综合对比分析方法

对于多方案的对比分析,需考虑的因素往往很多,而目前解决多目标规划问题的一个基本途径就是把它转化为单目标规划问题,这种处理方式称之为目标规划问题的标量化处理^[7],主要方法包括评价函数法、目的规划法、分层序列法、交互规划法、隶属函数法等。其中评价函数法常见的处理方法是通过对构造一个实函数,使得原多目标规划问题变为一个线性或者非线性规划问题,目前常见的处理函数主要包括线性加权和法、参考目标方法、极大极小点法、范数理想点法等^[8]。

本文采用线性加权和法进行多目标方案分析^[9-10],该方法是通过构造评价函数来进行方案的对比分析,通过对不同评价指标进行分析计算而最终根据综合函数值得出最优方案。结合工程现场情况,主要考虑有用料储量、扩挖时机、扩挖条件和经济性4项指标,采取工程类比法^[11]对各因素的权重进行设置,然后计算得出各方案的综合分数,最终得出最优方案。最优方案应避免工程后期因骨料不足而延误工程施工进而影响工程质量、工程造价、工期等问题,保障白鹤滩水电站的顺利建设。

2 补充开采规划设计

2.1 料场南侧下挖的必要性

依据现场地质专业提供的地质平切面图,可知料场南侧区域有用料所占比例随着开挖高程的降低而逐步增大。以3条典型断层 F_5 、 F_6 、 F_{14} 为界分析

各高程平台的有用料所占比例,结果见图1,可见1510 m高程以下,有用料所占比例逐步递增,尤其是1425 m高程以下有用料所占比例较高。经统计,断层 F_5 南侧区域有用料占57.7%,整体而言,该处下挖仍是有必要的。

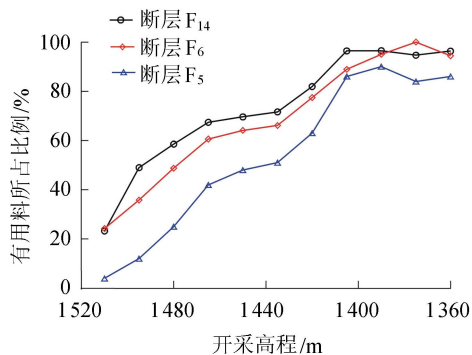


图1 1525 m 高程以下断层 F_{14} 、 F_6 、 F_5 以南有用料所占比例

2.2 料场各开采面开挖现状

旱谷地料场截至2017年7月10日,下挖至1525 m高程并形成大平台,将料场开挖边坡从东边逆时针依次标记为A~E面边坡,料场开挖区面貌如图2所示。

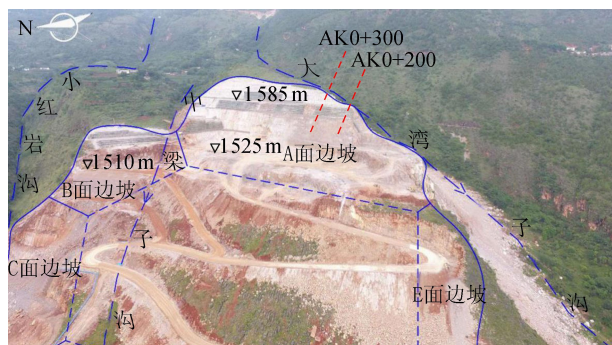


图2 旱谷地料场2017年7月10日开挖面貌

目前,A面边坡已大规模开挖并支护,1525 m高程桩号AK0+300 m以北角砾状灰岩基本无出露,且从1510 m高程以下角砾状灰岩面积占比逐渐变小,料源性质转好,A面边坡上游与居民点尚有一段距离,存在扩挖可行性。

B面边坡顶部局部已开挖并支护,外侧无用料剥离最低高程已经达到1480 m,1510~1530 m高程已大规模开挖,爆出料块度较大、强度较高、锈面较少、夹泥不明显,料源整体质量较好,为目前料场开挖实际出露最好的料源位置。经现场查勘,发现B面边坡区域上部位置可进行扩挖。

C面边坡通过地质补充勘察,补充勘察钻孔揭示该处风化溶蚀问题突出,岩体破碎,含泥量高,继续开采该部分利用率较低。此外,该处紧邻小红岩沟,沟壁外侧堆积崩坡积体、冲洪积体较厚,原开挖方案存在侧坡不稳定和小红岩沟侧向渗漏问题,C

面边坡临近小红岩沟无法扩挖。

D 面边坡尚未启动开挖支护,扩挖区域位于料场以西、砂石系统粗碎卸车平台以东的坡缓地带,现有原状地面高程为 1405~1430 m 左右,扩挖条件较好。

E 面边坡临近大湾子沟,边坡外侧为陡崖,不存在扩挖可行性。

2.3 补充开采规划方案 1

鉴于现场开挖揭露的 A、B 面边坡夹角位置料源品质最好,本规划方案主要针对 A、B 面边坡交界部位进行补充开采设计,扩挖规划设计内容主要包括:①A 面边坡桩号 AK0+200 m 以北的 1480~1495 m 高程边坡开挖坡比由 1:0.5 调整为 1:0.4,1480 m 高程以下边坡开挖坡比由 1:0.3 调整为 1:0.2;②B 面边坡开挖底边线整体平行外扩 49 m,并将 B 面边坡走向按逆时针方向偏转 25°;③将 C 面边坡原设计边坡底边线回退 40 m;④D 面边坡底边线外扩 100 m。整体补充开采规划方案如图 3 所示。

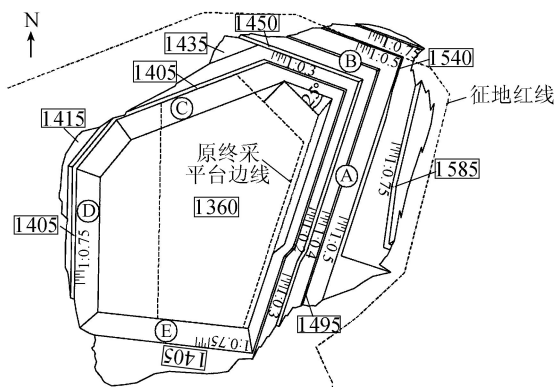


图 3 方案 1 整体扩挖规划示意图(单位:m)

通过对 A、B、D 面边坡扩挖并考虑 C 面边坡回退后,可增加有用料储量约 262 万 m³(表 1),总的有用料储量为 1352 万 m³,有用料扩大系数为 1.45。该方案优点是 B 面边坡有用料开挖量较大,该部分目前出露的料源质量相对较好,开采获得有用料的保证性较好。缺点是 B 坡面扩挖超出征地红线,按管理部提供的信息,解决征地最少需要 4 个月以上,且通往扩挖区的道路将随 A 面边坡开采而被挖除,B 面边坡二次边坡开挖道路布置困难,开挖设备及材料运输存在问题。

表 1 方案 1 储量增量

扩挖位置	总开挖量/万 m ³	有用料/万 m ³	无用料/万 m ³
A 面边坡	53.92	42.17	11.74
B 面边坡	200.45	143.57	56.88
C 面边坡	-43.94	-33.47	-10.47
D 面边坡	186.73	110.47	76.25
总计	397.16	262.75	134.41

2.4 补充开采规划方案 2

本方案规划设计时有有用料充分开采为设计目

标,针对方案 1 中有用料储量略显不足进行设计,将 A 面边坡进一步扩挖,对 A 面边坡桩号 AK0+300 m 以北边坡走向进行整体顺时针偏转 15°调整,以不影响周围居民区为限制,充分开挖该位置料源,其余的 B、C、D、E 面边坡同方案 1。方案 2 的整体扩挖规划见图 4。

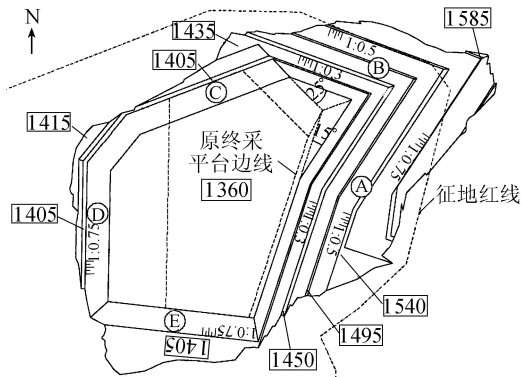


图 4 方案 2 整体扩挖规划示意图(单位:m)

通过 A、B、D 面边坡扩挖并考虑 C 面边坡回退后,可增加有用料储量约 383 万 m³(表 2),有用料扩大系数为 1.58。该方案优点是开挖至 1360 m 高程的有用料开挖量最大,规划后的终采面积最大,对骨料料源保障性高。缺点是:①A 面边坡需要二次开挖,因边坡已开挖了近 100 m,而目前出露的有用料主要在临近开挖边坡侧,二次开挖将影响下方有用料区的开采,影响时间至少 5 个月,可能影响成品料供应;②A、B 面边坡超出征地红线,解决征地最少需要 4 个月以上,且 A 面边坡扩挖后离居民点较近,爆破影响较大;③二次边坡开挖道路布置困难,开挖设备及材料运输存在问题。

表 2 方案 2 储量增量

扩挖位置	总开挖量/万 m ³	有用料/万 m ³	无用料/万 m ³
A 面边坡	153.11	113.84	39.27
B 面边坡	265.44	192.53	72.91
C 面边坡	-43.94	-33.47	-10.47
D 面边坡	186.73	110.47	76.25
总计	561.34	383.37	177.96

2.5 补充开采规划方案 3

本方案为了避免方案 1 中重新征地的问题,将 B 面边坡的扩挖距离进行了调整,B 面边坡开挖底边线整体外扩 30 m,并将 B 面边坡走向按逆时针方向偏转 20°,方案无须新征地。同时为了保证有用料规划开采量储备满足要求,将料场开采底高程降低至 1340 m,其余扩挖设计同方案 1。其中 A 面边坡、B 面边坡在 1360 m 高程留 30 m 宽马道,C、D、E 面边坡在 1360 m 高程留 3 m 宽马道,下挖坡比 1:0.75。方案 3 的整体扩挖规划见图 5。

通过 A、B、D 面边坡扩挖,1360 m 平台向下扩

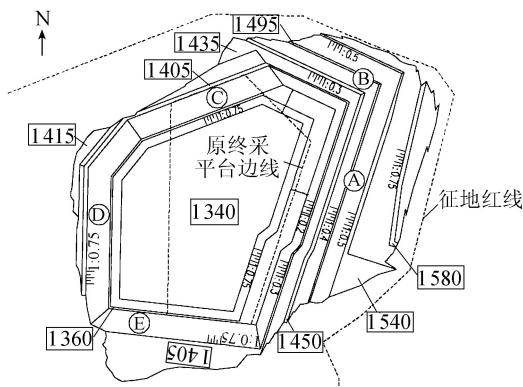


图5 方案3整体扩挖规划示意图(单位:m)

挖,并考虑C面边坡回退后,可增加有用料储量约380万 m^3 (表3),保证有用料扩大系数为1.57。该方案优点是无需新征地即可实施,可利用现有道路通往B面边坡扩挖位置,不存在时间上的滞后导致道路中断,A面边坡扩挖只涉及1495m高程以下边坡坡比的调整,不影响现有工作面施工及出料。缺点是规划后的终采面积最小,终采至1360m高程时有用料增加储量小于设计需要量的1.5倍,开采至1360m高程的有用料储量保证性低于前两种方案,整体挖至1340m后料场总有用料量满足设计需要量的1.5倍要求。

表3 方案3储量增量

扩挖位置	总开挖量/万 m^3	有用料/万 m^3	无用料/万 m^3
A面边坡	52.12	41.11	11.00
B面边坡	153.72	114.33	39.39
C面边坡	-43.94	-33.47	-10.47
D面边坡	186.73	110.47	76.25
整体下挖至1340m高程	168.80	147.85	20.95
总计	517.42	380.29	137.13

3 设计方案对比分析

3.1 方案分项对比

a. 扩挖储量。方案1可增加有用料约263万 m^3 ,有用料扩大系数为1.45,方案2可增加有用料约383万 m^3 ,有用料扩大系数为1.58,方案3可增加有用料约380万 m^3 ,有用料扩大系数为1.57,以1.5倍有用料扩大系数为基准,方案2略优于方案3,方案3优于方案1。

b. 扩挖条件及扩挖时机。方案1调整后B面边坡开口线超出征地红线约45m,需新增征地约1.33 hm^2 ,方案2调整后A面边坡超出征地红线约100m,B面边坡开口线超出征地红线约45m,两面边坡合计新增征地约2.8 hm^2 ,方案3基本不需要重新征地,方案3优于方案1,方案1优于方案2。

c. 经济性指标。方案1和方案2均需要进行

征地,该部分成本较高,方案3不需要进行征地,扩挖成本相对较低;相关设施改造费用中方案2对于A面边坡的扩挖改造面积较大,费用较高,方案1和方案3相关设施改造成本类似,相对较低。因此方案3优于方案1,方案1优于方案2。

3.2 方案综合对比分析

对3个补充开采规划方案采用线性加权和法进行多目标方案分析,该方法是通过构造评价函数(式(1))来进行方案的对比分析,通过对不同评价指标进行分析计算而最终根据综合评价值得出最优方案。

$$u = \sum_{i=1}^m w_i f_i \quad (1)$$

其中 $w_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, m)$ $\sum_{i=1}^m w_i = 1$

式中: u 为综合评价值; f_i 为第*i*个指标的评价值; w_i 为第*i*个评价指标的权重; m 为评价指标个数。

对于本次补充开采规划设计方案,本文结合工程实际主要考虑有用料储量指标、扩挖时机指标、施工条件指标和经济性指标,各评价指标的权重的设置根据工程类比法,参照蔡小辉等^[12]基于层次分析法并结合各评价指标相对重要性得出。因为有用料储量必须满足规范要求 and 工程建设需要,且白鹤滩水电站工程为了确保工程顺利建设高度重视料源充足的问题,相对重要,故有用料储量指标按照0.3的权重考虑;考虑到大坝混凝土工程已开始浇筑,需确保混凝土浇筑的连续性,因此补充开采期间不能影响料场的出料施工,而方案的扩挖时机对于方案的可行性影响较大,扩挖时机指标同样按照0.3的权重进行考虑;由于目前施工队伍施工经验丰富,施工设备齐全,且白鹤滩水电站工程资金相对充足,故施工条件及经济性指标对于保障白鹤滩工程顺利建设相对可按照0.2的权重进行考虑。对于各方案,按照4个评价指标进行打分评价(1~5分),其中具体评价值根据3.1节各分项方案对比得出的结果进行考虑,然后按照各评价指标的权重进行计算得出各方案的综合评价值,计算结果见表4。

表4 补充开采方案综合评价值计算结果

评价指标	权重	方案1		方案2		方案3	
		评价值	得分	评价值	得分	评价值	得分
有用料储量	0.3	2	0.6	5	1.5	4	1.2
扩挖时机	0.3	2	0.6	2	0.6	4	1.2
施工条件	0.2	3	0.6	1	0.2	3	0.6
经济性	0.2	2	0.4	1	0.2	3	0.6
综合评价值			2.2		2.5		3.6

由表4计算结果可知,方案3的综合评价值最高,方案2次之,方案1的综合评价值最低,因此依

据最优方案求解方法可知,方案3为设计方案中的最优方案,因此,推荐按照补充开采规划方案3进行补充开采施工。

4 结论

a. 白鹤滩水电站工程实际情况分析表明:进行料场补充开采规划设计需考虑料场地质条件、开采施工现状、扩挖时机、施工条件、经济性指标等问题,以确保规划方案科学合理。依据地质勘查结果,针对不同目标提出了3个补充开采规划设计方案。

b. 依据有用料储量、扩挖时机、施工条件和经济性4项评价指标,运用线性加权和法将提出的3个补充开采规划设计方案进行了综合对比分析,得出方案3是本次规划设计中的最优方案。通过方案3的扩挖,可增加有用料380万 m^3 ,有用料储量扩大系数可达1.57,可确保大坝混凝土工程骨料的供应,保障白鹤滩水电站的顺利建设。

参考文献:

[1] 张为民,徐建强,计金华.金沙江白鹤滩水电站工程建设时机的选择[J].水力发电,2003,29(6):1-4. (ZHANG Weimin, XU Jianqiang, JI Jinhua. Baihetan Hydropower Project on Jinshajiang River and timing of project construction[J]. Water Power,2003,29(6):1-4. (in Chinese))

[2] 王彪.施甸县红谷田水库石料场开采规划与实施[J].大坝与安全,2017(6):88-91. (WANG Biao. Planning and implementation of quarrying for Honggutian reservoir in Shidian County[J]. Dam and Safety,2017(6):88-91. (in Chinese))

[3] 胡志根,肖焕雄.砂石料料场规划模型研究[J].水电站设计,1995,11(2):16-21. (HU Zhigen, XIAO Huanxiong. Model research of aggregate borrow area planning[J]. Design of Hydroelectric Power Station, 1995,11(2):16-21. (in Chinese))

[4] 何四平.小湾水电站开挖有用料规划设计[J].云南水力发电,2007,23(3):57-60. (HE Siping. Planning and design of useful materials for excavation of Xiaowan Hydropower Station[J]. Yunnan Water Power, 2007, 23(3):57-60. (in Chinese))

[5] 刚永才.毛尔盖大坝堆石料料源规划及开采[J].水力发电,2018,44(2):95-97. (GANG Yongcai. Source planning and mining of rockfill material for Maoergai Dam [J]. Water Power,2018,44(2):95-97. (in Chinese))

[6] 汤华勇,董庆煊.小湾水电站孔雀沟砂石系统的规划设计与管理[J].水力发电,2009,35(9):46-48. (TANG Huayong, DONG Qingxuan. Planning, design and management of kongquegou aggregate system of Xiaowan

Hydropower Station[J]. Water Power,2009,35(9):46-48. (in Chinese))

[7] 胡毓达.实用多目标最优化[M].上海:上海科学技术出版社,1990.

[8] 徐玖平,李军.多目标决策的理论与方法[M].北京:清华大学出版社,2005.

[9] 孙玮玮,李雷.基于线性加权和法的大坝风险后果综合评价模型[J].中国农村水利水电,2011(7):88-90. (SUN Weiwei, LI Lei. The comprehensive hazard assessment model for the consequences caused by the dam failure based on the linear weighted Method[J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(7):88-90. (in Chinese))

[10] 邹进,袁晓辉,李承军,等.基于模糊控制原理的多目标决策方法[J].水利水电科技进展,2003,23(3):28-30. (ZOU Jin, YUAN Xiaohui, LI Chengjun, et al. Multi-objective decision-making method based on fuzzy control principle[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2003,23(3):28-30. (in Chinese))

[11] 薛守义.论岩土工程类比设计原理[J].岩土工程学报,2010,32(8):1279-1283. (XUE Shouyi. On analogical design of geotechnical engineering[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(8):1279-1283. (in Chinese))

[12] 蔡小辉,张瀚,伍仪保.基于改进层次分析法的卡基娃电站面板堆石坝料场优化前后的风险评价[J].陕西水利,2011(4):63-65.

(收稿日期:2018-04-25 编辑:雷燕)

(上接第21页)

[10] 顾冲时,郑东健,乔吉庆,等.黄河李家峡水电站右岸6号坝段坝基扬压力偏高成因分析报告[R].尖扎:黄河上游水电开发有限责任公司李家峡发电分公司,2008.

[11] 陈洪天,傅金筑,陶凤鸣,等.黄河李家峡水电站坝后背管原观分析报告[R].尖扎:黄河上游水电开发公司李家峡发电分公司,2007.

[12] 宋汉周,李季,乔吉庆,等.李家峡水电站坝基及两岸渗流水质分析报告[R].尖扎:黄河上游水电开发有限责任公司李家峡发电分公司,2007.

[13] 张俊才,李季,顾冲时,等.李家峡大坝原型观测试验和提高水库非汛期运行水位研究报告[R].尖扎:黄河上游水电开发有限责任公司,2011.

[14] 陈洪天,傅金筑,陶凤鸣,等.黄河李家峡水电站拱坝左坝肩和河床坝基安全性态评价分析报告[R].尖扎:黄河上游水电开发公司李家峡发电分公司,2007.

[15] 周维垣,杨若琼,林鹏,等.黄河李家峡水电站李家峡大坝坝肩整体稳定反分析报告[R].尖扎:黄河上游水电开发公司李家峡发电分公司,2007.

(收稿日期:2018-05-01 编辑:郑孝宇)