

某水电站拱坝拱座抗滑稳定复核分析

马 腾

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610061)

摘要:采用刚体极限平衡法对某水电站拱坝拱座抗滑稳定进行复核计算,并针对结构面力学参数和扬压力折减系数进行敏感性分析。计算结果表明:拱坝拱座抗滑稳定安全性满足规范要求,且有较大的安全裕度,可为该水电站大坝安全运行管理提供参考。

关键词:拱座抗滑稳定;刚体极限平衡法;结构面;扬压力

中图分类号:TV222

文献标志码:A

文章编号:1001-2184(2023)增 2-0106-05

Review Analysis of Anti-sliding Stability of Arch Dam Abutment in a Hydropower Station

MA Teng

(Yalong River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610061)

Abstract: The rigid body limit equilibrium method is used to review and calculate the anti-sliding stability of arch dam abutment of a hydropower station, and a sensitivity analysis is carried out for the mechanical parameters of structural plane and the reduction coefficient of uplift pressure. The calculation results show that the anti-sliding stability and safety of arch dam abutment meet the specification requirements, and there is a large safety margin, which can provide reference for the safe operation and management of the hydropower station dam.

Key words: Anti-sliding stability of abutment; Rigid body limit equilibrium method; Structural plane; Uplift pressure

1 工程概况

某水电站为一等大(1)型工程,枢纽主要建筑物由挡水建筑物、泄洪消能建筑物及引水发电系统等组成。挡水建筑物采用混凝土双曲拱坝,最大坝高 155 m。拱冠梁顶厚 9 m、底厚 32 m,厚高比 0.206;最大拱端厚度 34.96 m,最大中心角 87.01°。坝顶中心线弧长 362.17 m,弧高比 2.34。

水电站坝址两岸岸坡陡峻,呈“V”型峡谷;坝基岩性为花岗闪长岩,岩质坚硬,岩体较完整,风化卸荷较弱,岩体质量较好;两岸岩体结构面规模均较小,且以中陡倾角为主,拱座抗滑稳定条件较好,具备修建拱坝较优的地形地质条件^[1]。笔者采用刚体极限平衡法对拱坝拱座抗滑稳定进行复核计算^[2],并针对主要影响因素进行了敏感性分析。

2 影响拱座稳定的地形地质条件

该水电站坝址两岸主要为陡坡地形,两岸地

形较完整。坝址区出露地层主要为燕山期花岗闪长岩,构造作用下以脆性断裂变形为主。两岸坝肩岩体无较大规模的结构面发育,仅发育以Ⅲ、Ⅳ级结构面为主的小规模断层及节理。Ⅲ类结构面走向以 SN 向、近 EW 向及 NWW 向为主,多为中陡倾角,缓倾角较少发育。Ⅳ级结构面走向以 NNE 向、近 EW 向、NWW 向及 NE 向为主,以中陡倾角为主。其中左坝肩及抗力体范围内主要发育有 f_{1-1} 、 f_{1-3} 、 f_{19-3} 、 f_{19-10} 、 f_{71} 、 L_2 、 f_{104} 、 F_2 、 f_{24} 、 f_{19-13} 等断层,以及 NNW—NNE 向的岩体裂隙。右坝肩及抗力体范围内主要发育有 f_{2-2} 、 f_{2-4} 、 f_{22-5} 、 f_{38-3} 、 f_{33} 、 f_{6-4} 、 f_{11} 、 f_{48} 、 f_{62} 等断层,以及近 EW 向的岩体裂隙。

影响左、右岸坝肩抗滑稳定的主要地质结构面见表 1、2。

3 滑坡块体组合分析

根据地质勘探成果结合施工过程资料分析,左坝肩发育的 f_{1-1} 、 f_{1-3} 、 f_{71} 、 f_{19-3} 、 f_{19-10} 、 f_{104} 、 L_2 等缓倾断层是构成滑块底滑面的主要结构面。左

表 1 影响左岸坝肩抗滑稳定的主要结构面

编号	总体产状	结构面类型	连通率 /%	出露高程 /m
f_{1-1}	N60°W/NE \angle 35°	岩块岩屑	60~100	2 025~2 060
f_{1-3}	EW/N \angle 40°	岩块岩屑	50~100	2 030~2 075
f_{19-3}	N30-45°E/SE \angle 25°	岩块岩屑	100	2 055~2 085
f_{19-10}	N45°E/SE \angle 25-35°	岩块岩屑	100	2 065~2 105
f_{71}	N65-90°E/SE \angle 20-30°	岩块岩屑	40~60	1 990~2 040
L_2	N55-60°E/SE \angle 35-40°	岩块岩屑	60~80	1 985~2 035
f_{104}	N82.3°W/NE \angle 22.9°	岩块岩屑	35~60	—
F_2	N10-25°E/SE \angle 65-75°	岩块岩屑	100	1 985~2 175
f_{24}	N20-30°E/SE \angle 70°	岩块岩屑	100	2 015~2 155
f_{19-13}	N0-10°E/NW \angle 80-90°	岩块岩屑	100	2 060~2 110
			57	2 060~2 100
优势节理	NNW-NNE 向	无充填	55	2 000~2 060
			52	1 940~2 000

表 2 影响右岸坝肩抗滑稳定的主要结构面

编号	总体产状	类型	连通率 /%	出露高程 /m
f_{2-2}	N55°W/NE \angle 30°	岩块岩屑	100	1 995~2 020
f_{2-4}	N80°W/NE \angle 40°	岩屑夹泥	100	1 985~2 020
f_{22-5}	N70°W/SW \angle 40°	岩块岩屑	100	2 040~2 135
f_{38-3}	N55°E/SE \angle 35-40°	岩块岩屑	100	1 990~2 080
f_{33}	N65°W/SW \angle 60°	岩块岩屑	100	1 985~2 055
f_{6-4}	EW/N(S) \angle 85-90°	岩块岩屑	100	1 985~2 155
f_{11}	N85°W/NE \angle 80°	岩块岩屑	100	1 985~2 200
f_{48}	N70-75°E/NW \angle 85°	岩块岩屑	100	1 985~2 300
f_{62}	N75°E/NW \angle 65°	岩块岩屑	90	1 985~2 085
			65	2 060~2 100
优势节理	近 EW 向	无充填	65	2 000~2 060
			52	1 940~2 000

坝肩侧滑面的不利方向为 NNW~NNE 向,存在 F_2 、 f_{24} 、 f_{19-13} 等断层,这三条断层切穿左坝肩抗力体,并在下游切出地表,是影响左坝肩抗滑稳定的主要侧滑面。此外,左坝肩岩体内的 NNW-NNE 向的基体裂隙较为发育,优势方位的裂隙也能构成坝肩抗力体的侧滑边界。

右坝肩亦发育了少量缓倾断层,其中 f_{2-2} 、 f_{2-4} 、 f_{22-5} 、 f_{38-3} 等断层是构成滑块底滑面的主要结构面。右岸坝肩侧滑面的不利方向为 N65°W-N75°E 向,存在 f_{33} 、 f_{6-4} 、 f_{11} 、 f_{48} 、 f_{62} 等断层,这几条断层切穿右坝肩抗力体,并在下游切出地表,是影响右坝肩抗滑稳定的主要侧滑面。此

外,右坝肩岩体内的近 EW 向的基体裂隙较为发育,优势方位的裂隙也能构成坝肩抗力体的侧滑边界。

综上所述,左、右岸滑动块体组合、滑移面计算产状及结构面抗剪强度参数见表 3。

4 刚体极限平衡法抗滑稳定分析

4.1 计算荷载及工况

根据《混凝土拱坝设计规范》(NB/T 10870-2021)^[3],作用于滑动块体上的主要荷载有拱端推力、滑动块体自重、扬压力等。拱端推力采用相应荷载组合工况下,拱梁分载法计算得出的拱端推力^[4]。滑动块体自重按容重取天然容重 26.5

kN/m^3 计算。上游拉裂面扬压力取全水头,侧滑面和底滑面的渗径长度取为 3 倍拱端宽度,扬压力折减系数取 0.35^[5]。具体计算工况如下:

基本组合 1:正常蓄水位温降工况的拱端推力+滑动块体自重+扬压力。

基本组合 2:正常蓄水位温升工况的拱端推力+滑动块体自重+扬压力。

基本组合 3:设计洪水水位温升工况的拱端推力+滑动块体自重+扬压力。

偶然组合:校核洪水水位温升工况的拱端推力+滑动块体自重+扬压力。

4.2 计算成果分析

左、右岸坝肩滑动块体抗滑稳定计算成果见表 4。

表 3 左、右岸可能滑动块体组合、滑移面计算产状及其结构面抗剪强度参数

滑块 编号	底滑面				侧滑面			
	编号	计算产状	f_1'	C_1'/MPa	编号	计算产状	f_2'	C_2'/MPa
左滑①	f_{19-3}	N30-45°E/SE∠25°	0.55	0.12	F_2	N10-25°E/SE∠65-75°	0.55	0.12
左滑②	f_{19-10}	N45°E/SE∠25-35°	0.55	0.12	Jx	N10°E/NW∠75°	0.85	0.57
左滑③	f_{31-4}	N50°E/SE∠20°	0.55	0.12	f_{24}	N20-30°E/SE∠70°	0.55	0.12
左滑④	f_{71}	N65-90°E/SE∠20-30°	0.88	0.64	F_2	N10~25°E/E∠70°	0.55	0.12
左滑⑤	f_{71}	N65-90°E/SE∠20-30°	0.55	0.12	Jx	N10°E/NW∠75°	0.85	0.57
左滑⑥	L_2	N60°E/SE∠35°	0.55	0.12	f_{24}	N20-30°E/SE∠70°	0.55	0.12
左滑⑦	L_2	N60°E/SE∠35°	0.55	0.12	Jx	N25°E/NW∠75°	0.85	0.57
左滑⑧	Jx	N80°W/SW∠10°	0.91	0.67	f_{24}	N20-30°E/SE∠70°	0.55	0.12
右滑①	f_{2-2}	N55°W/NE∠30°	0.68	0.33	f_{6-4}	EW/N(S)∠85-90°	0.55	0.12
右滑②	f_{2-2}	N55°W/NE∠30°	0.68	0.33	Jx	N85°W/NE∠90°	0.82	0.52
右滑③	f_{2-4}	N80°W/NE∠40°	0.54	0.29	f_{6-4}	EW/N(S)∠85-90°	0.55	0.12
右滑④	f_{2-4}	N80°W/NE∠40°	0.54	0.29	Jx	N85°W/NE∠90°	0.82	0.52

表 4 左、右岸坝肩滑动块体抗滑稳定计算成果

滑块 编号	荷载组合			
	基本组合 1	基本组合 2	基本组合 3	偶然组合
左滑①	1.41	1.51	1.47	1.67
左滑②	3.01	3.41	3.40	4.01
左滑③	1.40	1.42	1.40	1.60
左滑④	1.83	1.88	1.85	2.14
左滑⑤	1.31	1.40	1.40	1.65
左滑⑥	1.40	1.42	1.40	1.62
左滑⑦	1.91	1.94	1.77	2.24
左滑⑧	1.40	1.41	1.39	1.61
右滑①	1.97	2.40	2.35	2.74
右滑②	2.85	3.66	3.54	4.09
右滑③	4.33	9.93	13.24	59.61
右滑④	17.33	超稳	超稳	超稳

从计算成果来看,左岸坝肩基本组合控制块体为左滑⑤,在基本组合工况下最小安全系数为 1.31,大于拱座稳定计算控制标准 1.0,满足规范要求;偶然组合控制块体为左滑⑤,安全系数为

1.65,大于拱座稳定计算控制标准 1.0,满足规范要求。右岸坝肩基本组合控制块体为右滑①,在基本组合工况下最小安全系数为 1.97,大于拱座稳定计算控制标准 1.0,满足规范要求;偶然组合

控制块体为右滑①,安全系数为 2.74,大于拱座稳定计算控制标准 1.0,满足规范要求。

5 敏感性分析

考虑到结构面力学参数、扬压力的取值对坝肩滑块稳定分析影响较大,针对结构面力学参数和扬压力折减系数进行敏感性分析。结合上述计算成果对左右岸非超稳滑块进行滑动面强度指标和扬压力折减系数的敏感性分析。

5.1 结构面产状变化敏感性分析

结合地质勘探成果及施工揭露资料,构成滑块边界的部分结构面产状有一定变化范围,下文对稳定安全系数小于 2.0 的左、右岸典型滑块的侧滑面、底滑面的走向及倾角在产状变化范围内进行敏感性分析。相关滑块结构面产状变化后的稳定计算成果见表 5。

从计算成果来看,结构面产状在可能范围内

表 5 相关滑块结构面产状变化后的稳定计算成果

滑块编号	结构面产状变化				抗滑稳定安全系数		
					基本组合 1	基本组合 2	基本组合 3
左滑①	f_{19-3}	N45°E/SE∠25°	F_2	N10°E/SE∠70°	1.41	1.51	1.47
	f_{19-3}	N45°E/SE∠25°	F_2	N10°E/SE∠65°	1.38	1.47	1.43
左滑③	f_{31-4}	N50°E/SE∠20°	f_{24}	N25°E/SE∠70°	1.40	1.42	1.40
	f_{31-4}	N50°E/SE∠20°	f_{24}	N20°E/SE∠70°	1.10	1.11	1.10
左滑④	f_{71}	N90°E/S∠25°	F_2	N10°E/SE∠70°	1.83	1.88	1.85
	f_{71}	N90°E/S∠25°	F_2	N10°E/SE∠65°	1.79	1.84	1.81
	f_{71}	N90°E/S∠30°	F_2	N10°E/SE∠65°	1.37	1.40	1.38
左滑⑤	f_{71}	N90°E/S∠25°	Jx	N10°E/NW∠75°	1.31	1.40	1.40
	f_{71}	N90°E/S∠20°	Jx	N10°E/NW∠75°	1.62	1.75	1.74
左滑⑥	L_2	N60°E/SE∠35°	f_{24}	N25°E/SE∠70°	1.40	1.42	1.40
	L_2	N60°E/SE∠35°	f_{24}	N20°E/SE∠70°	1.09	1.11	1.09
左滑⑧	Jx	N80°WSW∠10°	f_{24}	N25°E/SE∠70°	1.40	1.41	1.39
	Jx	N80°WSW∠10°	f_{24}	N20°E/SE∠70°	1.23	1.24	1.22
右滑①	f_{2-2}	N55°W/NE∠30°	f_{6-4}	EWN∠85°	1.97	2.40	2.35
	f_{2-2}	N55°W/NE∠30°	f_{6-4}	EWN∠90°	1.99	2.45	2.40

注:每一滑块第一行为地质建议值,第二行为产状变化敏感性分析值。

变化时,可能滑动块体的抗滑稳定性均有所影响,特别是 F_2 、 f_{24} 的产状变化对滑块的安全系数影响较大,但抗滑稳定安全系数基本都大于 1.09,满足设计要求。

5.2 结构面强度参数敏感性分析

侧滑面和底滑面的抗剪强度指标按地质建议下限取值,滑动块体组合及调整后结构面抗剪参数见表 6,抗剪强度指标下降计算成果比较见表 7。

从计算成果来看,结构面强度参数按下限取值后,两岸坝肩可能滑块稳定性均有所降低,但抗滑稳定安全系数均大于拱座稳定计算控制标准,满足规范要求。

5.3 扬压力折减系数敏感性分析

前述坝肩抗滑稳定计算中,坝基帷幕处扬压

力按照经验方法取渗压折减系数为 0.35,绕坝渗流作用范围依据类似工程经验取 3 倍拱端厚度。考虑到坝肩渗流场的复杂性和多变性,需考虑坝基排水帷幕部分失效的情况,同时考虑全渗径长度,滑动块体上游拉裂面渗压取全水头,侧滑面和底滑面上的扬压力折减系数取 0.5,下游出露点渗压取为 0(当出露点高于下游水位时),上下游之间的渗压假定为线性变化。排水幕正常和部分失效工况下计算成果对比见表 8。

从计算成果来看,坝基排水幕部分失效时,滑块抗滑稳定性有所降低,但抗滑稳定安全系数仍均大于拱座稳定计算控制标准,满足规范要求。

6 结语

在规定的效应组合下,某水电站拱坝拱座抗滑稳定安全性满足规范要求,且有较大的安

表 6 滑动块体组合及调整后结构面抗剪参数

滑块 编号	底滑面				侧滑面			
	编号	计算产状	f_1''	C_1'' /MPa	编号	计算产状	f_2''	C_2'' /MPa
左滑①	f_{19-3}	N30-45°E/SE∠25°	0.50	0.10	F_2	N10-25°E/SE∠65-75°	0.50	0.10
左滑②	f_{19-10}	N45°E/SE∠25-35°	0.50	0.10	Jx	N10°E/NW∠75°	0.80	0.49
左滑③	f_{31-4}	N50°E/SE∠20°	0.50	0.10	f_{24}	N20-30°E/SE∠70°	0.50	0.10
左滑④	f_{71}	N65-90°E/SE∠20-30°	0.80	0.55	F_2	N10~25°E/E∠70°	0.50	0.10
左滑⑤	f_{71}	N65-90°E/SE∠20-30°	0.50	0.10	Jx	N10°E/NW∠75°	0.80	0.49
左滑⑥	L_2	N60°E/SE∠35°	0.50	0.10	f_{24}	N20-30°E/SE∠70°	0.50	0.10
左滑⑦	L_2	N60°E/SE∠35°	0.50	0.10	Jx	N25°E/NW∠75°	0.80	0.49
左滑⑧	Jx	N80°W/SW∠10°	0.85	0.58	f_{24}	N20-30°E/SE∠70°	0.50	0.10
右滑①	f_{2-2}	N55°W/NE∠30°	0.62	0.28	f_{6-4}	EW/N(S)∠85-90°	0.50	0.10
右滑②	f_{2-2}	N55°W/NE∠30°	0.62	0.28	Jx	N85°W/NE∠90°	0.78	0.45
右滑③	f_{2-4}	N80°W/NE∠40°	0.50	0.24	f_{6-4}	EW/N(S)∠85-90°	0.50	0.10
右滑④	f_{2-4}	N80°W/NE∠40°	0.50	0.24	Jx	N85°W/NE∠90°	0.78	0.45

表 7 抗剪强度指标下降计算成果比较表

滑块 编号	抗滑稳定安全系数					
	基本组合 1		基本组合 2		基本组合 3	
	设计值	下限值	设计值	下限值	设计值	下限值
左滑①	1.41	1.25	1.51	1.34	1.47	1.30
左滑②	3.01	2.67	3.41	3.03	3.40	3.02
左滑③	1.40	1.25	1.42	1.27	1.40	1.25
左滑④	1.83	1.59	1.88	1.63	1.85	1.61
左滑⑤	1.31	1.16	1.40	1.25	1.40	1.24
左滑⑥	1.40	1.22	1.42	1.24	1.40	1.22
左滑⑦	1.91	1.71	1.94	1.74	1.77	1.58
左滑⑧	1.40	1.27	1.41	1.28	1.39	1.26
右滑①	1.97	1.74	2.40	2.12	2.35	2.08
右滑②	2.85	2.53	3.66	3.25	3.54	3.14
右滑③	4.33	3.74	9.93	8.59	13.24	11.46
右滑④	17.33	14.98	超稳	超稳	超稳	超稳

表 8 排水幕正常和部分失效工况下计算成果对比

滑块 编号	抗滑稳定安全系数					
	基本组合 1		基本组合 2		基本组合 3	
	帷幕正常	部分失效	帷幕正常	部分失效	帷幕正常	部分失效
左滑①	1.41	1.35	1.51	1.45	1.47	1.40
左滑②	3.01	2.99	3.41	3.38	3.40	3.36
左滑③	1.40	1.27	1.42	1.28	1.40	1.26
左滑④	1.83	1.78	1.88	1.83	1.85	1.80
左滑⑤	1.31	1.26	1.40	1.35	1.40	1.34
左滑⑥	1.40	1.34	1.42	1.36	1.40	1.33
左滑⑦	1.91	1.78	1.94	1.80	1.77	1.63
左滑⑧	1.40	1.29	1.41	1.30	1.39	1.28
右滑①	1.97	1.90	2.40	2.33	2.35	2.27
右滑②	2.85	2.75	3.66	3.54	3.54	3.41
右滑③	4.33	3.80	9.93	7.80	13.24	9.49
右滑④	17.33	10.74	超稳	超稳	超稳	超稳

(下转第 149 页)

理,最终引导其自然恢复进程。

参考文献:

[1] 张东亚. 水利水电工程对鱼类的影响及保护措施. 水资源保护[J]. 2011, 27(5): 75-77.

[2] 陈明千, 脱友才, 李嘉, 等. 鱼类产卵场水力生境指标体系初步研究[J]. 水利学报, 2013, 44(11): 1303-1308.

[3] 陈永祥, 罗泉笙. 四川裂腹鱼繁殖生态生物学研究一 V、繁殖群体和繁殖习性[J]. 毕节师专学报, 1997, 1(1): 1-5.

[4] 宋旭燕, 吉小盼, 杨玖贤. 基于栖息地模拟的重口裂腹鱼繁殖期适宜生态流量分析[J]. 四川环境, 2014, 33(6): 27-31.

[5] 王玉蓉, 李嘉, 李克锋, 等. 水电站减水河段鱼类生境需求的水力参数[J]. 水利学报, 2007, 38(1): 107-111.

[6] 何学福. 铜鱼 *Coreius heterodon* (Bleeker) 的生物学研究[J]. 西南师范学院学报(自然科学版), 1980, 1(2): 60-76.

[7] 王玉蓉, 谭燕平. 裂腹鱼自然生境水力学特征的初步分析[J]. 四川水力, 2010, 1(6): 55-59.

[8] 刘建康. 《中国淡水鱼类养殖学》[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

(上接第 101 页)

5 结 语

通过梳理该水电站水厂中转水池水位异常下降相关缺陷,并对缺陷原因进行统计分析,找出水厂中转水池水位异常下降缺陷的主要原因;确定主要原因后,又对水厂 A、B、C 组净水器所有液控排泥电磁阀进行分解检查和分析,确定水厂中转水池水位异常下降缺陷的根本原因。从实现设备本质安全的角度出发^[4],持续优化和改进处理方法,最终彻底解决水电站水厂净水器液控排泥电磁阀不能正常关闭的问题,持续提高了电站水厂设备的运行可靠性,同时运行人员应当掌握设备的基本原理和操作规程,才能快速解决突发故障^[5]。所涉及的相关分析方法、处理过程及处理成果,对设置类似设备或存在类似问题的厂站具有一定的借鉴意义。

参考文献:

(上接第 110 页)

全裕度。考虑结构面强度降低或坝基排水帷幕部分失效的情况下,拱座抗滑稳定安全性仍能够满足规范要求。为保障大坝长期安全稳定运行,两岸坝肩均采取工程措施进行了系统处理,目前该水电站已投产发电,监测数据表明,大坝运行状况良好。

参考文献:

[1] 马腾, 杨田, 郑世伟. 杨房沟拱坝三维线弹性有限元分析[J]. 水电能源科学, 2017, 35(12): 62-65.

[2] 庞明亮, 胡筱, 尤林, 等. 雅砻江孟底沟水电站拱坝拱座抗滑

[9] 蒋红霞, 黄晓荣, 李文华. 基于物理栖息地模拟的减水河段鱼类生态需水量研究. 水利发电学报, 2012[J]. 31(5): 141-147. 丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.

[10] 丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.

作者简介:

李园顺(1994-),男,河南巩义人,工程师,学士,从事生态环保相关工作;

程南宁(1980-),男,安徽舒城人,正高级工程师,硕士,主要从事河湖水环境治理、湿地/栖息地生态修复等领域工作;

成必新(1982-),男,江苏盐城人,高级工程师,硕士,从事环境保护及水生态修复工作;

叶智峰(1990-),男,安徽南陵人,工程师,硕士,从事水工结构设计。

(责任编辑:廖益斌)

[1] 雅砻江锦屏一级水电站工程[J]. 城乡建设, 2018(23): 70-71.

[2] 邢宏宇. 计算机监控系统改造在水库电厂的应用[J]. 黑龙江科技信息, 2017(9): 164.

[3] 高吉升. 山东某市新建一体化水厂工程实践研究[D]. 山东建筑大学, 2019.

[4] 暴增辉. 推行 QHSE 管理体系 实现企业本质安全[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012(8): 215.

[5] 刘大功. 龙潭水电站生产水厂运行管理[J]. 水利技术监督, 2014, 22(3): 38-40.

作者简介:

李 林(1993-),男,四川绵阳人,助理工程师,学士,从事水电站运行值班相关工作;

陈 旭(1995-),男,四川成都人,助理工程师,学士,从事水电站运行值班相关工作;

周帅帅(1992-),男,陕西西安人,助理工程师,学士,从事水电站运行值班相关工作;

彭兴东(1988-),男,四川凉山州人,工程师,学士,从事水电站运行值班相关工作;

贾 鳌(1989-),男,四川成都人,工程师,学士,从事水电站运行值班相关工作。

(责任编辑:吴永红)

稳定研究[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(6): 1678-1687.

[3] NB/T 10870-2021, 混凝土拱坝设计规范[S].

[4] 梁万金, 王飞, 曲兴辉. 拱坝拱梁分载法与位移协调耦合合法的应用[J]. 水电能源科学, 2009, 27(5): 119-121.

[5] 胡嫣然, 陈静. 刚体极限平衡法在坝基深层抗滑稳定计算中的应用[J]. 安徽建筑大学学报, 2019, 27(1): 36-41.

作者简介:

马 腾(1990-),男,河南夏邑人,硕士,从事电力生产水工技术管理。

(责任编辑:吴永红)