

两河口水电站地下厂房纵轴线方位选择研究

杨英, 廖成刚, 江波

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 结合两河口水电站枢纽布置特点和右岸地形地质条件,对3个地下厂房轴线方案进行了全面比较,最终按运行便利和围岩稳定兼顾的原则,将地下厂房的纵轴线确定为N3°E。

关键词: 地下厂房纵轴线;结构面;主应力;水头损失;两河口水电站

中图分类号: TV554;TV7;TV222

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2012)02-0158-06

1 概述

两河口水电站位于四川省甘孜州雅江县境内的雅砻江干流上。坝址位于雅砻江干流与支流鲜水河的汇合口下游约2 km处。电站枢纽建筑物由砾石土心墙堆石坝、左岸泄洪放空建筑物、右岸地下式引水发电建筑物组成。电站装机容量3 000 MW,多年平均年发电量102.745亿kW·h。

在可研设计阶段,结合坝址区的地形地质条件,经全面分析比较,将主要泄洪建筑物布置在左岸,将引水发电和导流隧洞等建筑物布置在右岸。其中,右岸地下厂房洞室群主要由主厂房(宽28.4 m×高65.3 m)、主变室(宽18.8 m×高25 m)、尾水调压室(宽19.5 m×高63.8 m)三大洞室组成。引水建筑物采用“单机单洞”布置。尾水建筑物下游部位与两条导流洞结合布置。

右岸地下厂房区为高地应力地区,砂板岩层面裂隙及小断层发育。厂区水平埋深约350 m,垂直埋深400~450 m。厂区砂板岩岩石坚硬,岩体呈微风化~新鲜状,其饱和抗压强度大于60 MPa,岩体声波波速一般大于5 000 m/s。围岩类别以Ⅲ1类为主、Ⅲ2类为次。

厂区小断层主要发育有f9、f10两组。f9断层的产状为NW65°~70°/SW∠65°~70°,f10断层的产状为NW70°/SW∠60°,其走向均与地层产状一致。裂隙优势方向共有4组:J1. NW60°~70°/SW∠60°~70°,J2. NW0°~30°/SE∠10°~30°,J3. NE0°~30°/SE∠40°~60°,J4. NE0°~30°/SE(NW)∠70°~90°。裂隙发育方向以J1、J2两组发育为主,同一部位一般发育2~3组,裂

隙间距0.2~0.6 m,延伸长2~3 m,裂面新鲜,多起伏粗糙,闭合无充填。

厂区地下水位较低,岩体含水不丰,透水性微弱。

右岸山体实测最大主应力 $\sigma_1 = 18.09 \sim 30.44$ MPa,平均为21.5 MPa,最大主应力方向区间为NE20.3°~57.7°,平均NE41.9°,倾向坡外,略缓于岸坡,属构造与重力叠加的高地应力区。

综上所述,右岸地质条件对地下厂房的纵轴线选择有一定的限制要求,需要结合岩层的走向、地应力的方向、水头损失大小、与枢纽布置格局的协调等因素,在对主厂房的纵轴线方位进行全面分析比较后,最终从满足围岩稳定、运行效益最优出发,选择出最合理的厂房纵轴线方案。

2 地下厂房位置和纵轴线选择

2.1 厂房纵轴线方位布置原则及方案拟定

结合本工程的特点和国内大型地下厂房的布置经验,厂房纵轴线的方位选择应满足枢纽建筑物之间相互协调并使水流顺畅,应使厂房纵轴线与初始地应力的最大主应力方向呈较小夹角,还应与主要结构面走向呈较大夹角,以满足围岩稳定要求。

根据上述布置原则,右岸地下厂房拟定了以下三个方案进行比较:

方案一:地下厂房纵轴线NE3°。

方案二:地下厂房纵轴线N25°。

方案三:地下厂房纵轴线N23°。

三个纵轴线方案对应的引水发电系统布置情况分别见图1~3。

收稿日期:2012-02-07

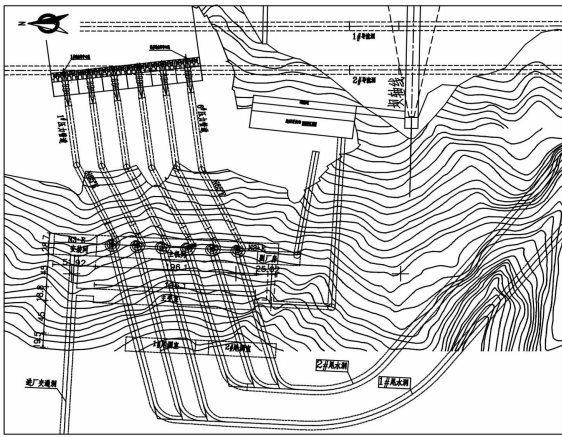


图 1 轴线方案一(NE3°)对应的引水发电系统平面布置图

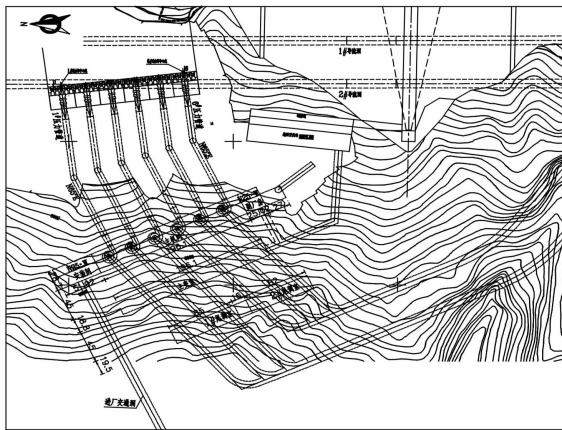


图 2 轴线方案二(NW25°)对应的引水发电系统平面布置图

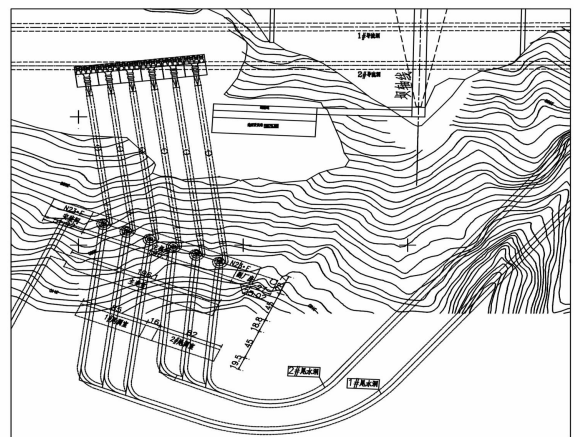


图 3 轴线方案三(NE23°)对应的引水发电系统平面布置图

2.2 三个方案对应的水力条件比较

选择较长的引水尾水管道计算水头损失。压力管道内径为 7.5 m,单机设计引用流量为 248.6 m³/s;尾水洞断面 12 m × 15 m。

三个方案 6#压力管道-2#调压室-2#尾水洞水头损失计算成果见表 1。

从表 1 可见,由于方案三引水和尾水线路最长,其水头损失最大;方案二水头损失最小;方案一水头损失大小居中。

2.3 与初始地应力及结构面夹角进行比较

三个方案厂房纵轴线方位与最大主应力方向以及与厂区主要结构面的夹角关系见表 2。

表 1 各纵轴线方案引水、尾水系统水头损失计算成果表

方 案	量 值	水头损失						总水头 损失
		电站进水口		压力管道		尾水系统		
		局部损失	沿程损失	局部损失	沿程损失	局部损失	沿程损失	
方案一(NE3°)	最小值	0.95	0.071	0.667	0.689	1.424	0.734	4.535
	最大值	0.95	0.127	0.667	1.14	1.424	1.304	5.612
方案二(NW25°)	最小值	0.95	0.071	0.667	0.548	1.424	0.654	4.314
	最大值	0.95	0.127	0.667	0.903	1.424	1.162	5.233
方案三(NE23°)	最小值	0.95	0.071	0.667	0.773	1.424	0.809	4.694
	最大值	0.95	0.127	0.667	1.257	1.424	1.439	5.864

注:表中最大值表示糙率取最大值;最小值表示糙率取最小值。

表 2 厂房纵轴线与厂区主要结构面及最大主应力夹角关系表

项 目	方 案		
	方案一/NE3°方案	方案二/NW25°方案	方案三/NE23°方案
与实测初始地应力 σ_1 夹角(NE20.3°~57.7°,平均为 NE41.9°)	17.3°~54.7°,平均 38.9°	45.3°~82.7°平均 66.9	2.7°~34.7°平均 18.9°
与 I9 断层夹角(NW65°~70°/SW∠65°~70°)	68°~73°	40°~45°	88°~90°
与 I10 断层夹角(NW70°/SW∠60°)	73°	45°	90°
与优势裂隙 J1 夹角(NW60°~70°/SW∠60°~70°)	63°~73°	35°~45°	83°~90°
与优势裂隙 J2 夹角(NE0°~30°/SE∠10°~30°)	0°~27°	25°~55°	0°~23°
与优势裂隙 J3 夹角(NE0°~30°/SE∠40°~60°)	0°~27°	25°~55°	0°~23°
与优势裂隙 J4 夹角(N0°~30°E/SE(NW)∠70°~90°)	0°~27°	25°~55°	0°~23°

表3为我国几个在建、已建大型地下厂房的厂房纵轴线方位与最大主应力方向以及厂区主要结构面的夹角关系。通过工程类比,方案一的厂

房纵轴线方位与最大主应力方向及主要结构面走向的夹角在同规模工程中居中。

2.4 围岩稳定性比较

表3 国内部分地下厂房纵轴线与厂区主要结构面及最大主应力夹角关系表

工程名称	项 目			统计资料所属设计阶段
	初始地应力值	厂房纵轴线与实测初始地应力 σ_1 夹角	厂房纵轴线与主要结构面夹角	
二滩	20 ~ 35 MPa	平均 29°	34° ~ 84°	已建
溪洛渡	14.78 ~ 19.55 MPa	左岸:36° ~ 46° 右岸:0° ~ 10°	左岸:54° ~ 74° 右岸:50° ~ 80°	在建
官地	25 ~ 35.17 MPa	平均 40.4°	25°	在建
拉西瓦	14.6 ~ 29.7 MPa	16° ~ 47°	9° ~ 85°	已建
锦屏一级	16.13 ~ 40.4 MPa	6° ~ 36.5°, 平均 17.6°	45° ~ 65°	在建
两河口	21.57 ~ 30.44 MPa	17.3° ~ 54.7°, 平均 38.9°	63° ~ 73°/0° ~ 27°	可研

2.4.1 不同纵轴线方位角围岩稳定敏感性分析

拟定了 NE23°、NE13°、NE3°、NW7°、NW25°、NW40° 六个厂房纵轴线方位,对不同轴线方位角与地应力释放、岩体塑性破坏体积、高边墙位移等指标的变化趋势进行了分析研究。计算采用二维弹塑性有限元法,选取 5#和 6#机组段之间的剖面进行计算分析。

的角度来讲,厂房纵轴线应该是 NE23°对围岩稳定更为有利。

表4 实测点 PD6 在不同轴线方位角的应力分量表

洞轴线方位角	水平向 σ_x	垂直向 σ_y	τ_{xy}
NE23°	11.769	10.147	-3.214
NE13°	13.47	10.147	-3.515
NE3°	15.621	10.147	-3.71
NW7°	17.962	10.147	-3.792
NW25°	21.76	10.147	-3.65
NW40°	23.637	10.147	-3.257

从表4及图4可以看出,纵轴线方位角在 NE23°至 NW40°范围内变化时,厂房洞壁的释放应力是逐渐增加的。因此,单纯从洞壁释放应力

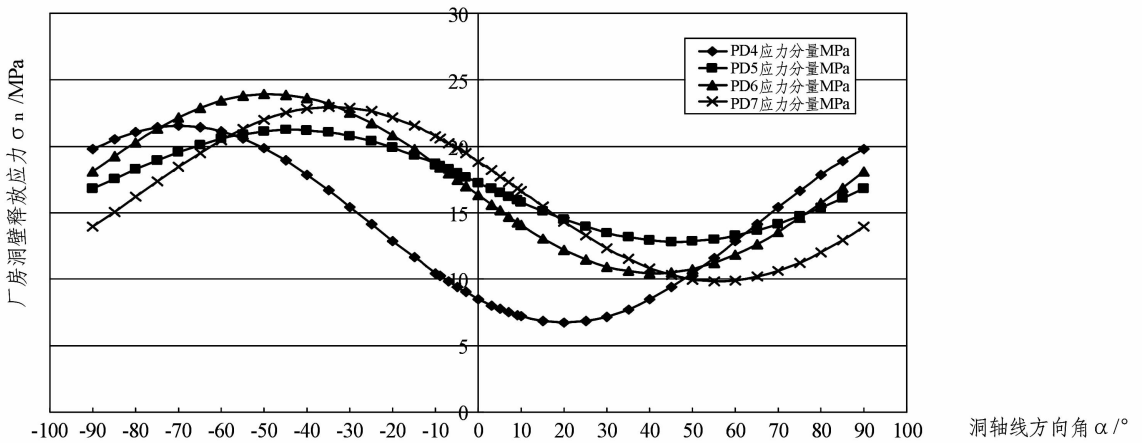


图4 地下厂房洞轴线方位角 α 与厂房洞壁释放应力 σ_n 关系图

开挖完成后,不同纵轴线方位角的围岩塑性破坏体积见表5和图5。从图中可以看出,围岩单宽塑性破坏体积随方位角由 NE23°向 NW40°变化而逐渐增大。

表5 围岩单宽塑性体积随纵轴线方位角的变化规律表

洞轴线方位角 α	塑性破坏体积 / m^3	与 N3°E 相比增加的百分比
NE23°	5 200.9	-11.80%
NE13°	5 505.1	-6.64%
NE3°	5 896.6	0
NW7°	6 878.4	16.65%
NW25°	8 661.2	46.88%
NW40°	7 945.7	34.75%

不同轴线方位角的边墙位移随方位角的变化规律见表6、图6。可见,洞室高边墙位移也符合随方位角由东向西变化而逐渐增大的规律。

2.4.2 分期开挖支护条件下不同纵轴线方案围

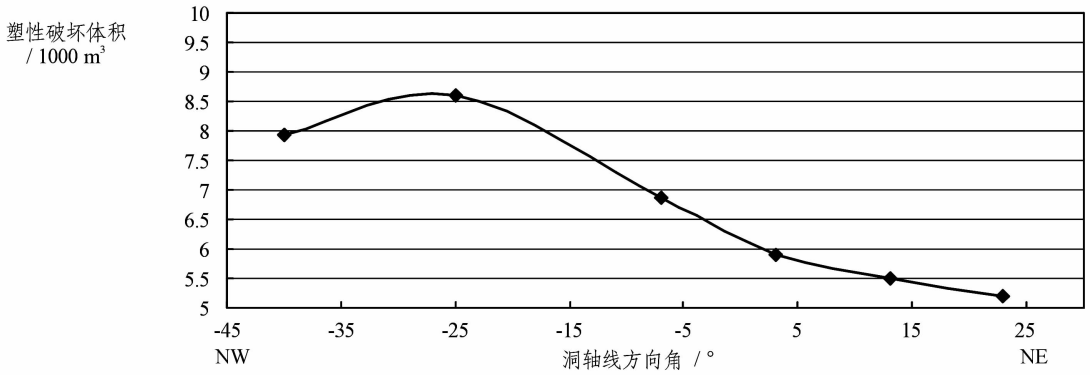


图5 围岩单宽塑性破坏体积随厂房纵轴线方位角的变化规律图

岩稳定性研究

根据上述分析计算成果,NE23°方案围岩稳定性较优,但引水、尾水布置不顺畅,故在可研设计阶段,重点选择纵轴线方位分别为NE3°、NW25°两个方案进行围岩稳定性研究。选取1#~3#机组段,采用弹塑性损伤有限元法进行分期开挖、分期支护条件下的围岩稳定性的计算分析。

两个纵轴线方案厂房洞室群分期开挖、分期支护完毕,各期围岩破坏指标见表7。轴线方案

表6 洞室边墙位移随纵轴线方位角的变化规律表

洞轴线方位角 α	主厂房上游墙吊车梁部位	主厂房上游墙中部	主厂房下游墙吊车梁部位	主厂房下游墙下部
NE23°	3.42	4.02	-3.97	-4.4
NE13°	4.13	4.86	-4.3	-5.05
NE3°	4.87	5.77	-5.06	-6.13
NW7°	5.9	6.96	-5.61	-6.72
NW25°	7.45	8.62	-6.57	-7.9
NW40°	7.83	9.17	-7.22	-8.55

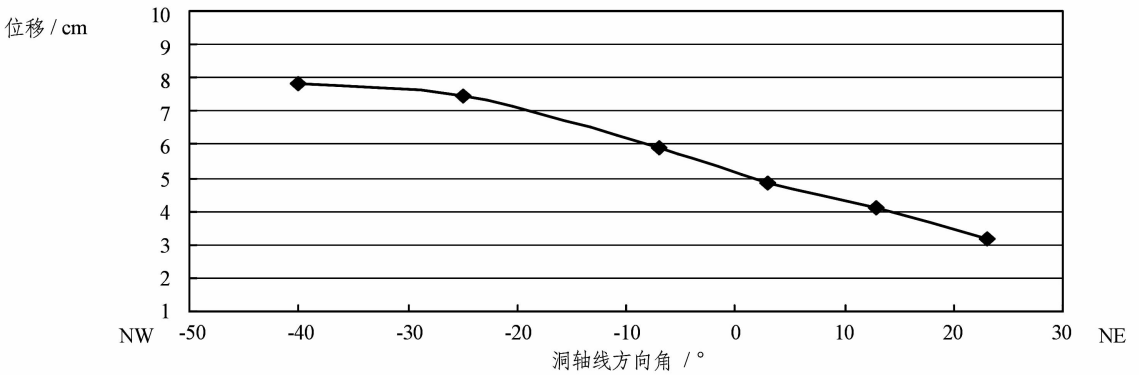


图6 主厂房上游边墙吊车梁部位位移随厂房纵轴线方位角的变化规律图

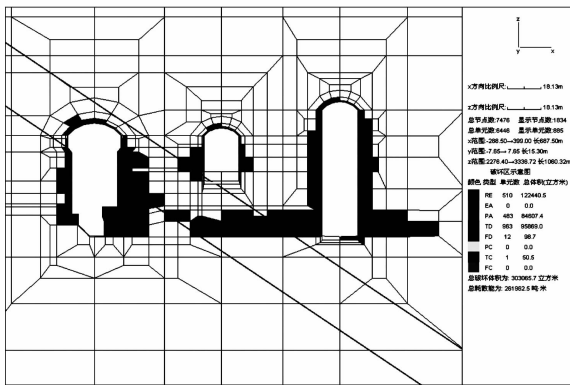


图7 轴线方案一开挖完成后1#机组段破坏区分布图

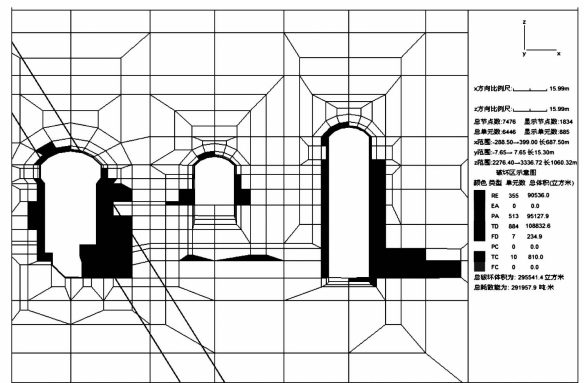


图8 轴线方案二开挖完成后1#机组段破坏区分布图

一和方案二开挖完成后,1#机组段破坏区分布图分别见图7和图8。从比较可以看出,开挖完成后,方案二的开裂区达10.88万m³,比方案一的开裂区9.6万m³大13.3%。

至开挖完成,轴线方案二的耗散能为29.2万

t·m,比方案一的26.2万t·m增大了11.5%。可见,扭转轴线后,厂房被断层结构进一步切割,第一主应力与厂房轴线夹角增大,使得应力释放增加,造成开裂区增大,边墙围岩的应力扰动加大导致耗散能也增加。

表7 两个纵轴线方案洞周围岩塑性、开裂破坏特征指标对比表

开挖分期	轴线方案一(NE3°)					轴线方案二(NW25°)				
	塑性体积 /万 m ³	开裂体积 /万 m ³	回弹体积 /万 m ³	总破坏量 /万 m ³	耗散能量 /万 t·m	塑性体积 /万 m ³	开裂体积 /万 m ³	回弹体积 /万 m ³	总破坏量 /万 m ³	耗散能量 /万 t·m
上部开挖完成	4.39	1.56	0.63	6.58	1.5	3	1.58	0.44	5.02	1.49
中部开挖完成	8.77	4.02	7.51	20.3	14.5	7.44	3.57	4.33	15.4	11.85
全部开挖完成	8.46	9.6	12.2	30.3	26.2	9.51	10.88	9.05	29.55	29.2

表8 两种轴线方案分期开挖支护下洞周位移变化值 /cm

开挖分期	轴线方案	主厂房			主变室			尾调室		
		顶拱	上游墙	下游墙	顶拱	上游墙	下游墙	顶拱	上游墙	下游墙
上部开挖完成	轴线方案一(NE3°)	1.86	0.51	0.54				1.59	2.68	2.62
	轴线方案二(NW25°)	1.5	0.66	0.46				1.46	3.63	3.49
中部开挖完成	轴线方案一(NE3°)	0.93	3.63	3.09	1	4.31	3.36	0.47	6.95	8.94
	轴线方案二(NW25°)	0.73	4.38	3.43	1.1	4.51	3.92	0.55	8.18	9.78
全部开挖完成	轴线方案一(NE3°)	0.54	8.81	6.95	0.9	4.46	3.65	0.47	7.13	10.6
	轴线方案二(NW25°)	0.93	10.96	8.55	1.09	4.66	4.35	0.74	8.42	11.5

两种轴线方案分期开挖支护的洞周位移变化情况见表8。变位数据表明两个轴线方案的三大洞室顶拱位移差别不大。在开挖过程中,顶拱位移变化规律也大致相同。在不同轴线方案下,三大洞室边墙的位移有所差异,轴线方案二边墙围岩向内变形的径向荷载加大,使得边墙位移有较为明显的增大,洞周围岩的稳定性变差。

两个轴线方案分期开挖、分期支护完成后的洞周应力变化情况见表9。

在各期开挖末,轴线方案二的洞室顶拱第一

主应力都比方案一要大一些,表明方案二的布置方案不利于洞室顶拱应力的均匀分布。方案二各洞室边墙部位承受的径向荷载更大,从而使边墙进一步向内变形,在沿开挖面的径向产生了更大的张拉效应,增加了洞周的张拉破坏。

两轴线方案的洞周应力矢量分布规律基本相同,都是在厂房的拱座和洞室交口处出现应力集中,说明两个轴线方案分期开挖锚固支护的应力分布规律没有质的区别,只是量值有差异,应力集中的程度有所不同。

表9 两个轴线方案分期开挖支护下洞周应力变化表 /MPa

部	位		开挖分期					
			上部开挖完成		中部开挖完成		全部开挖完成	
			σ ₁	σ ₃	σ ₁	σ ₃	σ ₁	σ ₃
主	顶拱	轴线方案一(NE3°)	-32.17	0.68	-34.67	0.55	-31.03	1.35
		轴线方案(NW25°)	35.52	0.49	34.9	0.12	34.07	0.4
厂	上游墙	轴线方案一(NE3°)	-62.51	-16.6	-20.59	-0.18	-24.54	0.06
		轴线方案(NW25°)	-61.3	-18	-18.65	0.12	-20.51	0.4
房	下游墙	轴线方案一(NE3°)	-67.57	-15.41	-44.06	1.27	-27.79	0.06
		轴线方案(NW25°)	-68.67	-18	-41.4	0.82	-25.03	-0.4

表10 两个轴线方案分期开挖支护下洞周锚杆和锚索应力值表 /MPa

分	期	中部开挖完成				全部开挖完成			
		轴线方案一(NE3°)		轴线方案二(NW25°)		轴线方案一(NE3°)		轴线方案二(NW25°)	
		锚杆	锚索	锚杆	锚索	锚杆	锚索	锚杆	锚索
主	顶拱	37~73		49~109		40~85		51~116	
厂	上游墙	27~74	1 038~1 113	42~242	1 050~1 156	67~270	1 061~1 213	112~305	1 017~1 314
房	下游墙	33~237	1 033~1 117	57~310	1 041~1 236	78~309	1 048~1 281	157~310	1 056~1 345

同时,计算还表明,轴线方案二的三大洞室各部位锚杆、锚索应力增幅明显,说明方案二的边墙部位锚杆受力增大明显且部分已达到屈服,若采用轴线方案二,锚固支护的强度需要进一步加强。

另外,对轴线方案二在增加支护强度下的围岩稳定性也进行了分析研究,其结果表明,在原支护的基础上,轴线方案二增强支护后,锚索增加约370根,总锚固量虽然增加了约181.63万t·m,但其塑性耗散能和围岩变形仍大于轴线方案一,增加锚索所起作用不明显。可见,轴线方案二第一主应力与洞室纵轴线的夹角较大,即使加强支护,但从围岩稳定角度分析,轴线方案一仍明显优于方案二。

2.5 厂房纵轴线选择

由上述分析比较可以看出:

从厂房与整个枢纽的协调性进行比较,方案一和方案二明显优于方案三。

从发电水头损失大小进行比较,方案二比方案一平均多利用水头0.3m,显示了相对较优越的电量效益。

从工程量进行比较,由于方案二对应引水、尾水建筑物长度比方案一短83m和148m,其洞室开挖量、混凝土衬砌量分别比方案一减少3.89万m³和1.02万m³。但由于方案二轴线与初始地

应力方向的夹角较大(平均66.9°),造成锚索支护量比方案一多370根。因此,方案一和方案二对应的工程投资基本持平。

从围岩稳定条件分析,方案一明显优于方案二。

综合考虑各种因素,两河口水电站地下厂房轴线方位应选择NE3°。

3 结 语

两河口水电站地下厂房在规模上是整个雅砻江流域的第四大厂房,也是国内规模位居前列的大型地下厂房。经过可研设计阶段近五年的大量分析比较工作,目前,设计所确定的厂房轴线方位已经通过了国家组织的专项审查。下一步将在已有工作的基础上,根据开挖所揭露的实际地质条件和监测分析成果,不断完善支护设计参数,为工程早日建成发电提供技术保障。

作者简介:

杨 英(1965-),女,陕西西安人,高级工程师,学士,从事水电站厂房设计工作;

廖成刚(1965-),女,四川广安人,教授级高工,学士,从事水电站厂房设计工作;

江 波(1981-),男,湖北十堰人,高级工程师,从事水电站厂房设计工作。

(责任编辑:李燕辉)

2012 能源中国行第一站——西南水电行暨 2012

(西南)水电发展论坛在蓉隆重举行

2012年4月25日,能源中国行第一站——西南水电行暨2012(西南)水电发展论坛在四川成都国电大渡河流域水电开发有限公司隆重举行。论坛主办方——能源杂志周岳轩社长首先致欢迎辞,介绍了论坛举办的意义及目的,感谢大渡河公司以及出席论坛的各有关单位领导的支持与帮助。中国国电集团公司总经理助理、大渡河公司董事长刘金焕;大渡河公司总经理付兴友代表论坛承办方先后在会上发表了热情洋溢的讲话。论坛主办方——中国水力发电工程学会常务副秘书长吴义航在论坛上致欢迎辞并做了题为“积极发展水电,促进经济社会可持续发展”的发言。中国水力发电工程学会张博庭副秘书长主持了论坛的开幕式及论坛主题发言。在主题发言中,国际大坝委员会主席、中国大坝协会副主席贾金生;国电大渡河流域水电开发公司副总经理王春云;二滩水电开发有限责任公司副总经理吴世勇;国电四川发电有限公司副经理高建;四川省水电学会副理事长兼秘书长马怀新分别就大家感兴趣的议题进行了阐述,涉及水电开发、环保、移民以及中国电力改革等方面,受到与会代表的热烈欢迎。在论坛专题讨论中,中国水力发电工程学会副秘书长张博庭、中电投云南国际电力投资有限公司总工程师黄启平、长江水利委员会长江设计公司副总工程师王小毛先后在会上就缅甸密松水电工程开发问题进行了阐述,介绍了相关情况及背景。在会议进行的互动讨论中,议题涉及到有关水电开发的方方面面,诸如:国际河流、跨区域开发、水电与水利的关系、环保与水电问题、中国电力建设集团与水电开发业主之间出现的新问题以及民间团体的话语权和为水电企业代言等。来自有关方面的专家、中国大坝协会、四川省水电学会、水电企业及清华能源班的学员及老师与媒体的代表近60人出席了会议。部分代表还实地考察了大渡河在建的猴子岩水电工程。

杨家湾电站获四川省发改委核准

2011年12月20日,中国水电四川公司收到四川省发改委关于核准阿坝州抚边河杨家湾水电站项目的批复,同意阿坝州抚边河杨家湾水电站开工建设。杨家湾水电站为四川省阿坝州小金川支流抚边河水电梯级规划中的第4级电站。电站总库容96.1万立方米,具有日调节性能。总装机容量6万千瓦,年发电量2.59亿千瓦时。电站的开发建设将为推进四川公司“148”发展战略第二阶段目标奠定坚实的基础。