

老挝南湃水电站厂区枢纽布置优化设计

魏 兴 存， 刘 汉 斌， 屈 江 昆， 何 春 雨

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610072)

摘 要:南湃水电站厂区枢纽位于老挝南乐克河右岸,在施工单位进场后,设计与施工单位结合地质、施工、运行、经济等条件联合对厂房枢纽布置进行了多项设计优化,使厂区枢纽布置更加合理,不仅解决了施工期河水下渗威胁,缓解了右岸边坡的安全威胁,而且优化了厂区临建布置,缩短了施工运距,有效节约了工程成本。介绍了南湃水电站厂区枢纽布置优化设计情况。

关键词:厂区枢纽;设计优化;地面厂房;室外开关站;GIS室;南湃水电站

中图分类号:TV7;TV51;TV22

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)增 1-0104-05

1 工程概述

南湃水电站位于老挝万象省北部 Phoun 区,坝址位于南俄河(Nam Ngum)支流南湃河(Nam Phay),电站厂址位于首部以南约 9.5 km 直线距离的南俄 2 级水电站(Nam Ngum 2)库尾上游的南乐克河。工程设计为跨流域、长引水式电站,枢纽建筑物主要由混凝土面板堆石坝、溢洪洞、引水隧洞、发电厂房和尾水系统等组成,厂区枢纽由岸边式地面厂房、尾水渠、厂区室外工程等组成。电站额定水头 700 m,设计引用流量 14.03 m³/s,总装机容量 86 MW,工程规模为二等大(2)型工程。挡水建筑物级别为 2 级,引水及厂房建筑物级别为 3 级。

发电厂房工程为单体地面厂房,长 48 m,宽 14.3 m,高 33.3 m。主厂房、副厂房及 GIS 楼、安装间以及中控楼等呈“田”字形排列,主厂房上游靠山一侧布置副厂房,主厂房左侧布置安装间,副厂房左侧布置中控楼与副厂房。主厂房内安装两台型号为 SF43-12 的水轮发电机组,安装高程 405 m,发电机层高程 414.5 m,单机容量 43 MW,转轮直径 2.15 m,蜗壳进口直径 1.3 m。尾水建筑物由尾水池、尾水暗涵、尾水出水明渠组成,暗涵长度为 280 m,暗渠顺河布置。

厂区地质情况为:

(1)厂 房。厂房基坑位于南乐克河右岸,坑底高程 396.5 m,岩层以紫泥岩(T+a 紫泥岩)为主,主要分布于厂房基坑中间及右侧;黄泥岩

(T+a 黄泥岩)为辅,主要分布于厂房基坑左侧。厂房基坑 407 m 高程以下沿泥岩层间接触面有地下水外渗,渗出量约 3~15 m³/h,对边坡稳定性起到了恶化、降低的作用。因此,考虑到电站的长期安全稳定,在厂房混凝土结构外围增设了“排水棱体”,以拦截、引导坡体中的地下渗水进入棱体排水结构,沿预设通道流至尾水池,控制厂房外围地下水位高程,不致因地下水壅高对边坡形成不利影响。建基岩体为弱风化上段的泥岩。

(2)尾水渠。

①泥岩段。桩号 PR0+000~PR0+250,以黑色泥岩为主、间夹少量千枚状板岩,呈碎石土状~散体结构,强度很低,遇施工用水或地下渗水常引起基础软化或较长时间浸泡形成“橡皮泥”状基础,不适合作尾水明渠,故将泥岩段“尾水明渠”改为“尾水暗涵”。尾水暗涵基础采用 0.5 m 厚石渣置换。

②全~强风化的凝灰岩段。即为“尾水明渠段”,桩号为 PR0+250~PR0+643,明渠左侧坡地表 0~0.8 m 为碎石土层,下伏全~强风化的凝灰岩层,呈土黄色,表部卸荷明显;明渠右侧坡地表 0~0.8 m 为碎石土层,下伏全~强风化的凝灰岩层,呈土黄色,表部卸荷明显;明渠渠底以全~强风化的凝灰岩层为主,局部有凹坑。南乐克河从桩号 PR0+280 附近汇入尾水明渠。雨季洪水携带泥沙、漂石在汇合处沉积。

(3)厂房后边坡。厂房后边坡为泥岩边坡,由厂房基坑深挖、两侧渗水引起坡脚泥岩软化、压缩

收稿日期:2019-02-19

形成的倾倒拉裂变形,且大多数张开裂缝倾向岸里。由黄色、黑色、白色、紫色等四色泥岩组成的厂房后边坡对水具有很强的敏感性,遇水会出现坡体软化甚至泥化,导致其强度衰减而引起边坡稳定性大幅度降低。

2 招标及合同文件中的原设计方案

原设计方案中厂区包括主副厂房、开关站及尾水渠工程,开关站独立布置(图 1)。厂区工程均布置于南乐克河右岸台地,厂区场地高程为 414.35 m,均低于南乐克河原始河床高程;开关站和主副厂房为两座独立钢筋混凝土结构,尾水渠

段为城门洞暗涵结构。

厂区导流标准选用 10 a 一遇洪水标准,相应导流流量为 86.4 m³/s。厂房施工期采用预留岩坎作为厂房围堰,预留岩坎高程为 411.5 m,围堰的布置设有一道约长 450 m 的防洪挡墙,厂区侧边坡采用排水孔+浆砌石护面支护,河道疏浚长度超过 450 m,疏浚深度为 2.5 m。由于厂房紧临疏浚河道,厂房基础低于河床 20 m,因此在厂房基础施工时结合防洪墙设置了厂房施工围堰,围堰高喷灌浆防渗量达 1 368 m。

3 优化方案

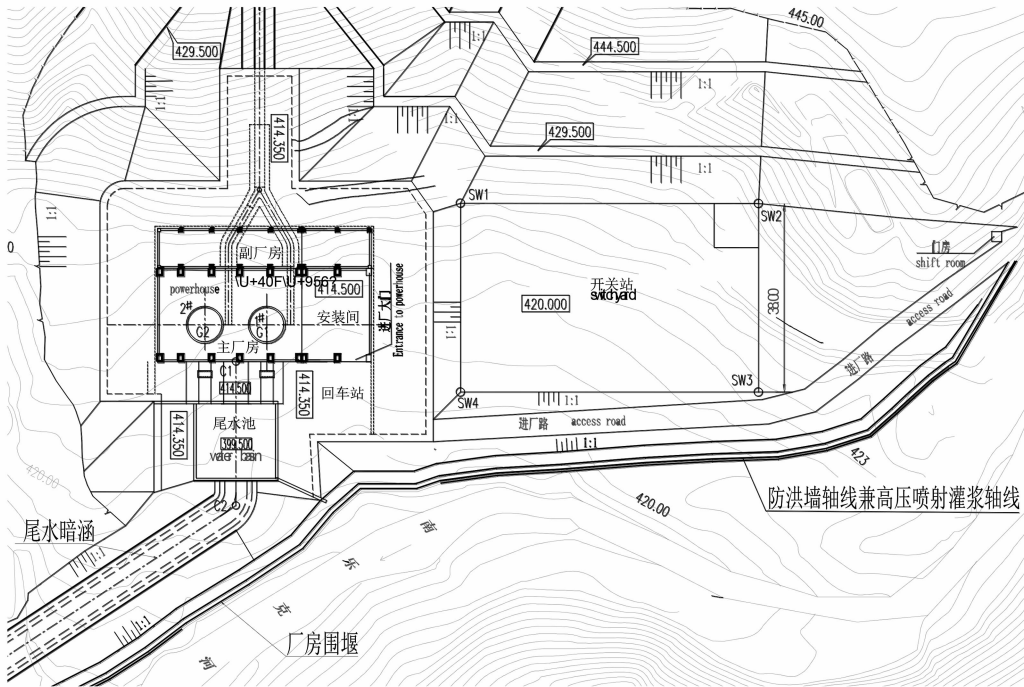


图 1 原设计方案中的厂区枢纽布置图

3.1 开关站与副厂房结合布置的优化

(1) 优化内容。

受厂区地形条件所限,主副厂房和开关站相距较近,遂将室外开关站优化为室内开关站, GIS 室布置在副厂房高程 420 m 层,整个厂房形成一座综合单体建筑,副厂房屋顶布置出线架,主变场布置于 GIS 楼上游侧,输电线沿厂房后边坡走向。

(2) 优化后的厂房整体承载力计算。

① 抗滑稳定计算。按混凝土与基础结合面为滑动面进行计算,分别采用抗剪强度公式 $K_1 = \frac{f \sum W}{\sum P}$ 和抗剪断强度公式 $K' = \frac{f' \sum W + C' A}{\sum P}$ 进行

计算。式中 K_1 为抗剪强度计算中的抗滑稳定安全系数; f 为地基面抗剪摩擦系数; $\sum W$ 为作用的所有垂直力的代数和,kN; $\sum P$ 为作用于坝段的所有水平力的代数和,kN; K' 为抗剪断强度计算中的抗滑稳定安全系数; f' 为地基面抗剪断摩擦系数; C' 为抗剪断凝聚力,kN/m²; A 为基础面投影面积,m²。

② 抗浮稳定计算。采用 $K_f = \frac{\sum W}{U}$ 进行计算。式中 K_f 为抗浮稳定安全系数; $\sum W$ 为全部重量,kN; U 为作用在结构上的场压力,kN。

③ 基底应力计算。按偏心受压公式 $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$

$=\frac{\sum W}{A}\pm\frac{\sum M}{W}$ 进行计算。式中 $\sigma_{\max}、\sigma_{\min}$ 为下游、上游地基面应力, kN/m^2 ; $\sum W$ 为所有作用于结构上的竖向力的代数和, kN ; $\sum M$ 为所有作用于结构上的力矩的代数和, $\text{kN}\cdot\text{m}$; W 为基础面抵

抗矩, m^3 ; A 为基础面投影面积, m^2 。

④计算成果。

计算考虑了基本和特殊两种组合、4 种工况, 其稳定计算成果见表 1, 基础面应力计算成果见表 2。

表 1 稳定计算成果表

荷载组合	计算工况	抗剪强度 $K_1(a/b)$		抗剪断强 $K'(a/b)$		抗浮稳定安全 K_f		状态判定
		计算值	标准值	计算值	标准值	计算值	标准值	
基本组合	正常运行	5.7/3.07	1.1	10.21/5.51	3	3.45	1.1	满足
	机组未安装	3.69/2.35	10.5	7.52/4.79	2.5	2.87	1.1	满足
特殊组合	机组检修	4.61/2.94	11.5	8.44/5.38	3.5	3.34	2.1	满足
	非常运行	3.09/6.41	12.5	5.53/11/47	4.5	3.46	3.1	满足

注:表中 a 为上下游侧计算结果, b 为左右侧计算结果。

表 2 基础面应力计算成果表

荷载组合	计算工况	基础面应力 /MPa				判定指标	状态判定
		无扬压力		有扬压力			
		上游	下游	上游	下游		
基本组合	正常运行	0.32	0.5	0.17	0.44	<0.8	满足
	机组未安装	0.22	0.48	0.07	0.42	<0.8	满足
特殊组合	机组检修	0.3	0.5	0.15	0.44	<0.8	满足
	非常运行	0.32	0.5	0.18	0.44	<0.8	满足

注:对于基础应力,压为正,拉为负。

根据计算结果得知,厂房稳定安全系数满足规范要求,地基应力满足规范要求并小于地基允许最大承载力。

(3)优化后取得的效益。

该项优化减少建筑占地面积 $2\,280\,\text{m}^2$, 为厂区绿化、临建和交通布置提供了较好的空间, 运行管理也更为便利。由于原设计方案中的开关站平台高程为 $420\,\text{m}$, 安装间及厂区地坪高程为 $414.35\,\text{m}$, 造成厂区防洪压力较大, 而将安装间及厂区抬高至高程 $420\,\text{m}$, 提高了厂区防洪能力, 有利于厂区维护和运行安全。

3.2 厂房主体结构外移优化

鉴于厂房右岸边坡为高边坡且存在一处自然冲沟, 结构右侧基础为冲沟冲积形成, 地质条件复杂且边坡威胁较大, 因此, 在进一步进行现场地形地貌实测并经参建各方讨论后认为: 由于开关站单独布置已取消, 厂房整体结构外移方案可行, 最终确定将厂房主体结构整体外移 $4.96\,\text{m}(X+3.368\,7, Y-3.644\,7)$, 压力钢管主、岔支管段经设计复核算算基本无影响, 可以进行微调, 尾水渠过流条件亦基本无变化(图 2、3)。

3.3 厂区导流、临建布置方案的优化

根据参建四方多次现场踏勘后决定, 在厂区上游左侧开挖导流明渠, 将南乐克河引入左侧的无名沟, 下游施工道路跨河处为漫水路路面, 埋设 3×7 根 $\phi 1\,\text{m}$ 的涵管(2015 年主汛期涵管上游淤堵严重, 洪水漫过箱涵局部冲毁后改为工字钢栈桥), 无名沟最终在尾水渠下游侧与南乐克河道交汇。

无名沟按照导流标准进行了局部扩挖疏浚, 厂区外侧与无名沟之间的山包进行了开挖削平, 回填了厂区外侧原南乐克河道, 形成平台作为厂区施工物资、设备修理停放厂以及厂区的一个钢筋加工厂, 将厂房营地布置在尾水渠下游河道左侧的岸坡, 在厂房营地下游设置渣场, 将厂房及尾水渠开挖弃渣后的平台作为后续金结加工厂。

通过厂区导流优化, 导流明渠(无名沟)与厂区距离拉大, 避免了原河床导流河水下渗及汛期导流对厂房基坑开挖和结构施工造成的威胁; 山包削平和原河道回填形成的临建平台既解决了厂区临建布置场地不足的问题, 又缩短了物资、设备到厂区现场的路程, 同时, 回填利用了相当数量的厂房开挖弃土, 缩短了弃土运距(图 4)。

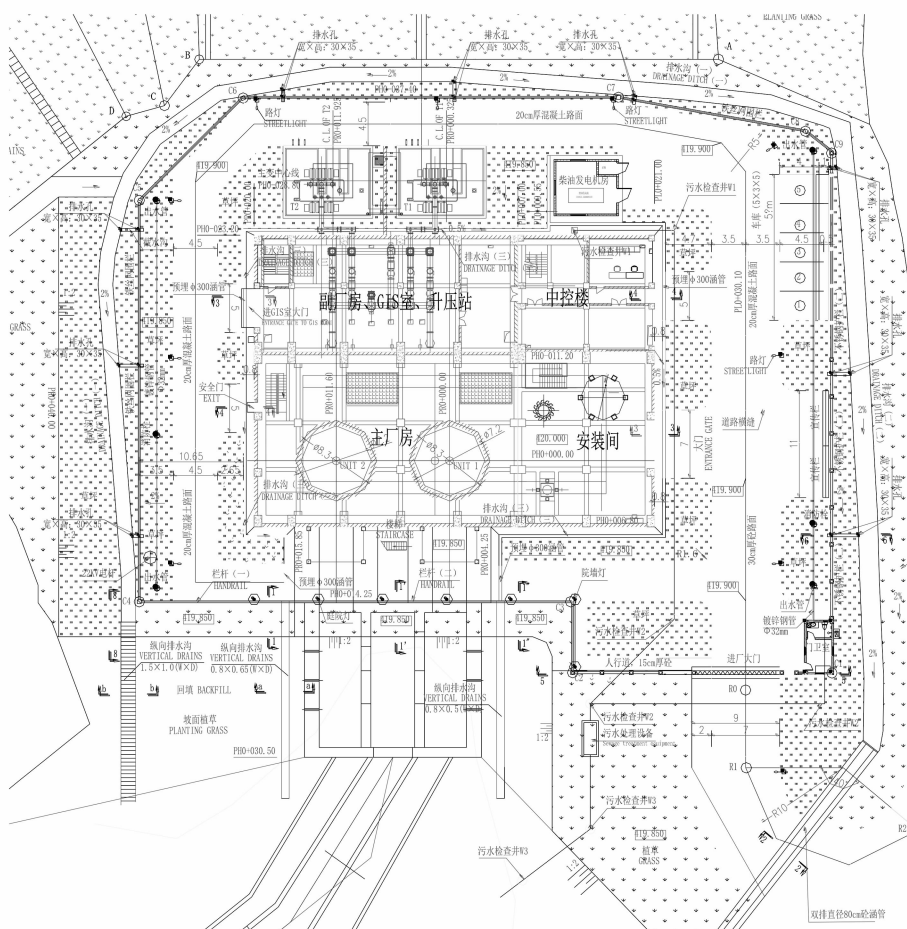


图 2 优化后的厂区枢纽布置图

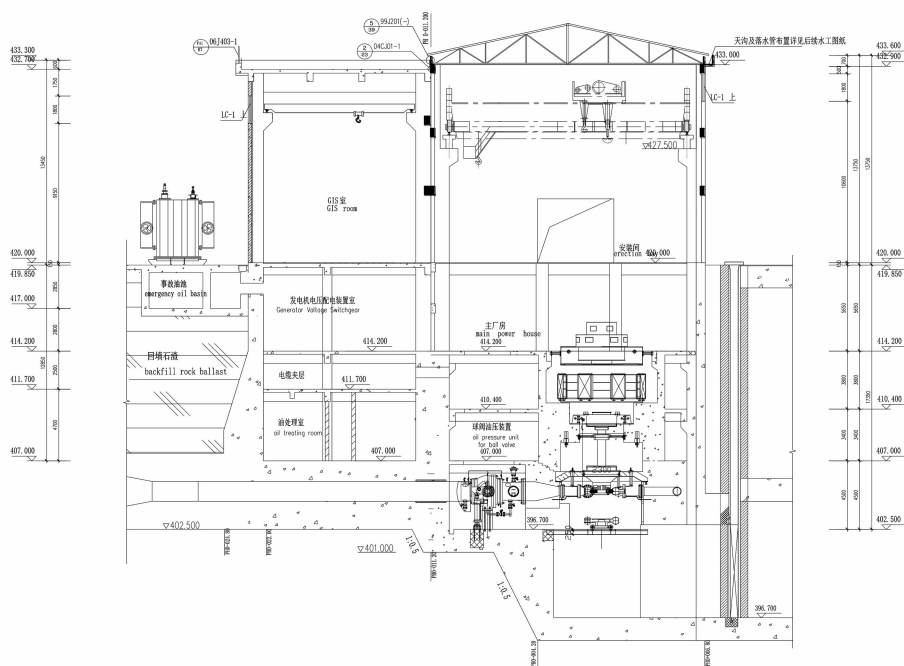


图3 优化后的厂房纵剖面图



图 4 厂区导流、临建优化布置图

3.4 尾水渠优化

尾水渠原设计长度为 400 m,布置在右岸台地上,全线为暗涵设计,开挖深度大,暗涵结构混凝土工程量大且右岸山体坡度很陡,覆盖层较厚。通过导流优化与河床改道,将尾水渠优化调整至沿原河床布置,降低了尾水渠基础的开挖深度。

结合厂区范围的实地地形情况,将尾水渠前段 280 m 采用矩形暗涵结构,后段优化为梯形明渠结构。尾水渠利用原河道并采用明暗结合其结构工程量大幅度减少,同时,暗涵长度的减少有利于今后的运行维护。经设计单位对水力计算(过水断面纵坡降*i*及渠道糙率*n*)进行演算校核,证明优化方案可行。

4 结 语

综合开关站与副厂房结合布置、厂房主体结构外移、导流及厂区临建布置、尾水渠优化四项设计优化,不仅解决了汛期导流、河水下渗对厂区基坑开挖和结构施工的威胁,缓解了右岸边坡对厂区安全的威胁,还优化了厂区临建布置,减少了物资、设备进场距离,缩短了部分弃土运距,大大节

约了工程成本。厂房枢纽工程于 2017 年 6 月 20 日施工完成,2017 年 6 月 29 日单位工程通过验收并移交,2017 年 6 月 28 日质保期满,2018 年 8 月先后通过枢纽专项安全鉴定和竣工安全鉴定。实际情况表明:厂区枢纽布置合理。电站投入运行以来,通过两年雨季、尤其是 2018 年汛期特大暴雨的考验,达到了安全运行生产要求。

参考文献:

[1] 水电站厂房设计规范,SL266—2014[S].
[2] 水利水电工程施工导流设计导则,DL T 5114—2000[S].
[3] 水利水电工程施工组织设计规范,SL303—2004[S].
[4] 袁俊森.水电站[M].郑州:黄河水利出版社,2010.

作者简介:

魏兴存(1987-),男,河北邯郸人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工
刘汉斌(1973-),男,四川屏山人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
屈江昆(1985-),男,陕西商洛人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
何春雨(1989-),男,四川绵阳人,助理工程师,从事水利水电工程造价与经营管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

五强溪水电站首次扩机工程开工

扩机容量 500 兆瓦,年均发电量增加 5.583 亿千瓦时,扩机后水量利用率提高至 89.38%。3 月 26 日,五强溪水电站建成运行 24 年来首次扩机工程开工。五强溪水电站位于沅陵县境内,处沅水干流中下游,目前总装机容量 1 200 兆瓦,年平均发电量 53.7 亿千瓦时,水量利用率 80.94%,也是湖南省最大的水电站,以发电为主,兼有防洪、航运的综合利用工程。1994 年,五强溪水电站首台机组发电,1996 年全部机组 5 台投产运营。本次扩机工程总投资 21.45 亿元,总建设工期 4 年,项目投产后每年可新增产值约 2.4 亿元,税收约 4 000 万元。

(湖南日报 李夏涛 瞿云 2019 年 3 月 28 日)