

文章编号:0559-9342(2005)05-0026-02

糯扎渡水电站枢纽区主要工程地质问题研究

魏植生, 何伟

(中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院, 云南 昆明 650051)

关键词: 工程地质问题; 坝址选择; 地下洞室群; 溢洪道; 糯扎渡水电站**摘要:** 糯扎渡水电站工程规模巨大、枢纽区工程地质条件复杂, 坝址右岸分布有构造软弱岩带等。在对枢纽区进行大量勘探、试验和对主要工程地质问题进行深入分析研究的基础上, 选择了较适合枢纽区地形地质条件的水工建筑物布置格局, 并对各主要建筑物提出了评价意见。

Study on the main engineering geological problems of Nuozhadu Hydropower Project

Wei Zhi-sheng, He Wei

(Kunming Hydroelectric Investigation, Design and Research Institute, China Hydropower Engineering Consulting Group Co., Kunming Yunnan 650051)

Key Words: engineering geological problem; selection of dam site; underground tunnels; spillway; Nuozhadu Hydropower Station**Abstract:** The Nuozhadu Hydropower Station is huge in project scale and complex in engineering geological conditions and has weak tectonic zones on the right bank of its dam site. Based on a lot of surveys, tests and deep analysis on the major engineering geological issues, a proper hydraulic structures layout that adapt to the geological and topographical conditions has been selected. This paper also evaluates the major structures.**中图分类号:** TU452; TU457; TV741(274)**文献标识码:** B

糯扎渡水电站枢纽区分布的基岩主要为华力西晚期-印支期侵入的花岗岩体($\gamma_4^3 \sim \gamma_5^1$)。其岩性较单一, 岩块强度高; 但由于断层发育, 坝址右岸岩体风化、卸荷及蚀变作用强烈, 工程地质条件较为复杂。为此, 可行性研究阶段在电站枢纽区开展了大量的地质、勘探和试验工作; 并对存在的主要工程地质问题, 与相关大专院校和科研单位合作进行较深入的研究; 最后根据地质、勘探、试验和科研成果及水工建筑物布置的需要, 选择了适应于枢纽区地形地质条件的坝型和各主要建筑物布置方案, 并对枢纽区存在的主要工程地质问题进行了正确的评价。这些为水工建筑物设计打下了坚实的基础。

1 工程地质条件

糯扎渡水电站水工建筑物布置于勘界河(左岸上游)与火烧寨沟(右岸下游)之间, 两河口相距 1.4 km。由于受地形限制, 坝址移动余地小。坝址部位江水流向 $S35^\circ E$, 枯期水面宽 70~100 m, 河谷两岸呈不对称的“V”形, 右岸平均坡度约为 40° ; 左岸在 850 m 以下平均坡度约 45° , 在 850 m 左右为长、宽各约 700 m 的平缓侵蚀台地, 该台地有利于布置开敞式溢洪道。

枢纽区分布的基岩主要有: 花岗岩体($\gamma_4^3 \sim \gamma_5^1$), 分布于右岸及左岸 650~810 m 高程以下; 三叠系中统忙怀组下段(T_{2m}^1) 砂泥岩, 分布于左岸 650~810 m 高程以上; 花岗斑岩, 呈脉状

分布于右岸的花岗岩体中; 第四系分布于河床及两岸山坡表部。

枢纽区无 I 级结构面, II 级结构面有 F_1, F_2, F_3, F_{35} 断层 4 条, III 级结构面有 41 条(对枢纽区工程地质条件影响较大的有 $F_5, F_9, F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14}, F_{15}, F_{20}, F_{21}, F_{22}, F_{23}$ 等)、IV 级结构面约 700 余条(f, G, g 等)。II、III、IV 级结构面按产状主要为以下两组: ① $N10^\circ \sim 30^\circ E, NW \angle 60^\circ \sim 80^\circ$; ② $N10^\circ \sim 40^\circ W, SW \angle 50^\circ \sim 70^\circ$ 。 F_1, F_3, F_{35} 3 条 II 级结构面沿坝址下游左岸糯扎支沟分布, 溢洪道泄槽需要通过这 3 条断层带。

枢纽区右岸顺河向断层发育, 且在 F_{12} 与 F_{13} 断层之间。由于岩体受构造、风化、蚀变等因素的综合影响, 形成了与岸坡走向近于平行延伸、陡倾山里的构造软弱岩带。其总体产状为 $N35^\circ \sim 39^\circ W, SW \angle 61^\circ \sim 65^\circ$, 延伸长度大于 650 m、水平宽度 30~100 m。构造软弱岩带主要由断层破碎带、影响带以及断层之间的破碎蚀变花岗岩体组成, 带内岩体物理力学指标显著降低, 岩石湿抗压强度一般小于 12~18 MPa, 岩体变形模量为 1~2 GPa。

枢纽区花岗岩体风化复杂, 在河床及左岸全、强风化层厚度一般小于 20 m; 右岸随高程变化很大: 在 650 m 高程以下

收稿日期: 2005-04-25

作者简介: 魏植生(1956—), 男, 福建连江人, 教授级高工, 地质分院副院长, 从事水利水电工程地质专业工作。

全、强风化层厚度一般小于5~20 m;在650~750 m高程之间为20~70 m;在750 m高程以上达40~110 m。左岸高处的红色沉积岩层风化较弱,全、强风化深度一般小于10 m。

枢纽区两岸岩体的卸荷深度较大(除左岸花岗岩分布区卸荷深度为10~30 m外),在沉积岩分布区可达89 m。右岸较为复杂,大致以高程680 m为界,以上部位局部强烈,深度大,可达30~65 m,最深达74 m;以下部位,一般卸荷深18~28 m,最深49 m。由于受构造软弱岩带、岩体风化和卸荷等因素影响,导致右岸工程地质条件十分复杂,成为本工程的主要工程地质问题之一。

2 枢纽区主要工程地质问题研究

2.1 右岸构造软弱岩带及其对坝型选择的影响

糯扎渡水电站预可行性研究阶段拟定的代表性坝型为混凝土重力坝,由于坝址右岸工程地质条件复杂,故可行性研究阶段在进行了大量的勘探、试验工作的基础上,又分析、研究了构造软弱岩带的成因及右岸坝基对混凝土重力坝的适应性;查明了右岸构造软弱岩带的成因、工程地质特性,并对混凝土重力坝布置方案和心墙堆石坝布置方案的适应性进行了评价。

混凝土重力坝除左岸沿 F_{15} 断层存在深层抗滑稳定问题、下水垫塘及雾化区存在高边坡(最大坡高达275 m)问题外,右岸坝基构造软弱岩带宽度较大,且产状与 F_{12} 、 F_{13} 断层一致陡倾山里,带内岩块与岩体强度低、抗滑和变形稳定问题突出。该方案右岸最大水平开挖深度达120 m,最大临时开挖边坡高500多m,高边坡稳定问题十分突出。并据二维有限元计算成果,在坝基开挖后,沿该边坡分布的构造软弱岩带及强风化岩体仍将产生大面积的塑性破坏区,其高差达200多m,厚度为20~40 m,工程处理难度很大。

心墙堆石坝方案在坝基右岸虽然也存在不良工程地质问题,但是此坝型对坝基要求相对较低,对工程地质条件的适应性强,加上左岸有一良好的布置溢洪道的侵蚀平台地形,因此推荐了心墙堆石坝方案。

2.2 坝基不均匀变形

由于在坝址左岸、河床及右岸高程650 m以下岩体风化较浅,完整性较好,力学强度高,抗变形性能强;而在右岸高程650 m以上,除分布有构造软弱岩带外,还存在深风化、强卸荷问题,与左岸、河床及右岸高程650 m以下相比,存在不均匀变形问题。因此,针对心墙堆石坝方案在可行性研究阶段除了进行上述分析研究外,对构造软弱岩带及强风化岩体还进行了固结灌浆试验,以研究改善岩体强度的可能性及需采取的工程处理措施。

(1)分析研究成果表明:构造软弱岩带,尤其是在较大断层及其交汇带部位的坝基为V类岩体存在较大的变形。需将其挖除并回填混凝土处理;同时应加强心墙基础下岩体的固结灌浆,以提高基岩的完整性。固结灌浆试验成果显示,强风化岩体通过灌浆,基岩的变形模量和弹性模量均得到明显提高,灌浆后变形模量提高约30%,弹性模量提高约50%;对构造软弱岩带,利用灌浆对提高基岩变形模量效果虽不太明

显,但均一性稍有提高效果更好些(采用超细水泥灌浆效果更好些),声波(V_p)值较灌浆前提高了10%以上。故,应加强心墙基础下强风化岩体和软弱岩带的固结灌浆工作,初拟固结灌浆深度为10 m,并将帷幕前后的两排加深到30 m,灌浆孔、排距均为2 m。

(2)心墙基础混凝土垫在软弱岩带内加厚,同时将心墙基础内断层按一定宽度和深度开挖后回填混凝土,心墙上、下游靠堆石体附近混凝土垫做成齿槽形式,以利于混凝土垫的受力与传力。同时,应加强心墙靠基础附近一定范围的反滤保护,以避免不均匀变形后心墙及混凝土垫出现裂缝而发生渗透破坏。

2.3 左岸地下洞室群及溢洪道

心墙堆石坝方案厂房布置于左岸地下,由主、副厂房(长418 m、宽29 m、高77.77 m)、主变室(长348 m、宽19 m、高22.6 m)、3个尾水调压室(直径38 m、高94 m)和尾水闸门室组成;开敞式溢洪道布置于左岸侵蚀平台靠山里侧,由引渠、溢流堰、平流段、泄槽段以及挑流鼻坎和消力塘组成。其进口宽度151.5 m,消力塘出口宽178.62 m。由于地下洞室群及溢洪道规模巨大,且主要布置于左岸由澜沧江、勐界河和 F_1 所围限的三角形块体中,地形地质条件较为复杂。故可行性研究阶段在勘探、试验工作的基础上,进行了如下的分析、研究工作:①研究坝区左岸岩体的建造和构造改造历史,重点是构造的形成演化历史及其对结构面工程地质性状的影响;②制定了一套适合本工程的结构面分类及描述体系,并对勘探揭露的II、III级结构面进行了详细的基础地质、工程地质性状调查描述;③根据结构面性状及其与工程的关系,提出了影响厂房区围岩稳定性的结构面、可能控制性结构面及非控制性结构面;④采用多种方法对岩体质量进行评价;⑤对地下厂房围岩可移动几何块体进行了分析,初步确定了块体的几何参数,并对潜在不稳定块体进行稳定性评价;⑥分别对单机组(含引水、发电及尾水)三维模型、三大洞室群(主厂房、主变室和尾调室)三维模型的围岩稳定性进行了三维弹塑性有限单元法分析和三维FLAC分析;⑦进行了总体稳定性的三维有限单元法分析和三维FLAC分析,并进行了工程地质评价。

2.3.1 大型地下洞室群稳定性评价

分析研究成果表明,地下厂房区洞室群位于左岸山体内,主要洞室多为新鲜花岗岩,岩性均一,岩石强度高,岩体完整,以II、III类围岩为主,且已避开了II级结构面 F_1 和 F_3 断层的影响,地下洞室群围岩整体稳定性较好,可满足建大型地下洞室群的要求。局部沿III级断层(F_{20} 、 F_{22} 、 F_{23} 等3条)产生塑性破坏,这些部位需及时支护,并加大衬砌厚度。顶拱及边墙部位亦存在少量不稳定块体,但规模较小,可通过及时喷锚支护加以处理。

2.3.2 溢洪道高边坡稳定性评价

(1)溢洪道部位地形地质条件较为复杂,沿轴线地形起伏大,先后通过糯扎支沟、糯扎沟和两个山梁,分布的岩性为红色沉积碎屑岩和花岗岩。但从整体上看,工程地质条件较好,可满足工程要求。

(下转第49页)

3个独立的圆筒式调压井,3条尾水支洞进1个调压井,后接1条尾水隧洞。电站左岸建筑物布置集中,尾水洞布置空间狭小,除了需布置3条洞径为18m的尾水隧洞外,还有2条导流隧洞和1条泄洪隧洞,出口平面布置困难。为了减少洞室数量,解决出口布置的问题,节省部分工程量,采用1条尾水隧洞和1条导流隧洞相结合的方案。

1.2 地下厂房洞室群布置

地下厂房洞室群包括主副厂房、主变室、尾水调压室、尾水闸门室、尾水隧洞,以及进厂交通、通排风等辅助洞室,整个厂区洞室纵横交错,规模宏大。各主要洞室呈平行布置。主厂房与主变室之间由9条母线洞联通,与尾水调压室之间由9条尾水支洞联通。对外交通由主厂房运输洞和尾闸运输洞解决。厂区地下洞室群位置已尽可能地避开了大断层 F_1 、 F_3 的影响,洞室完全布置于岩体质量较好的微新花岗岩体内。主厂房与主变室间的净间距为44.75m,主变室与尾水闸门室的净间距为28.5m,尾水闸门室与圆筒式调压室的净间距为19.5m。

主厂房断面上部顶拱开挖跨度为31m,下部边墙开挖跨度为29m,开挖高度为77.77m,长度为396.0m。地下副厂房布置在主安装场侧,开挖跨度29m,开挖高度43.1m,长度22.0m。主变室开挖跨度19m,开挖高度22.6m,长度348.0m。尾闸室上部开挖跨度11m,下部开挖跨度9m,开挖高度34.5m,长度314.0m。尾水调压室为3个圆筒竖井,开挖直径为38m,开挖高度为94m。

2 厂区主要洞室支护设计

参照糯扎渡水电站地下洞室围岩分类表中的 Q 值及地质描述,进行参数选择计算,根据巴顿 Q 系统分类支护措施表确定支护分类,得出系统支护形式,综合比较按巴顿 Q 系统法选择的支护参数,类比其他工程的支护设计,以及围岩稳定分析计算成果,拟定主厂房、主变洞、尾水调压室顶拱及边墙的支护参数。

(上接第27页)

(2)溢洪道通过的 F_3 、 F_{35} 、 F_1 断层带部位的岩体强度低,地基承载力不能满足基础要求,需采取加大开挖深度并回填混凝土处理措施;对边坡应适当放缓开挖坡度,并采取必要的护坡和排水措施。

(3)消力塘左侧开挖边坡最高达235m,根据结构面组合分析,在开挖边坡处没有形成不稳定块体,边坡的稳定性较好。但该处边坡仍应注意:①上部沉积岩内的泥岩及其他软弱夹层易遇水软化,在局部应力集中作用下容易产生软弱岩体(夹层)的压缩变形,导致NW向的陡倾角节理拉裂张开,而导致倾倒破坏;②下部花岗岩边坡稳定性主要受中陡倾坡外的顺坡结构面控制,因此开挖边坡必须缓于该组结构面倾角;③据有限元分析成果,消力塘开挖后边坡顶部存在较小的塑性变形区,但量值不大,对边坡稳定性影响较小。鉴于边坡高度高,开挖影响大,虽边坡总体稳定性较好,仍建议对开挖边坡

3 厂区主要洞室围岩稳定分析

为了研究验证洞室群布置的合理性,了解主要洞室在施工作业过程中围岩的应力变化、洞周位移及塑性区的分布情况,采用三维非线性弹塑性损伤有限元方法对地下洞室群进行了围岩稳定计算分析。支护前后洞室洞周位移计算结果见表1。

表1 有、无支护情况下各大洞室洞周位移 cm

洞室	顶拱位移		上游边墙位移		下游边墙位移		底板位移	
	无支护	有支护	无支护	有支护	无支护	有支护	无支护	有支护
主厂房	3.89	2.22	5.20	2.98	2.45	2.33	4.61	2.10
主变室	2.60	2.36	1.96	1.91	2.31	1.71	4.12	4.20
调压室	1.34	1.37	3.38	3.18	3.00	2.94	2.28	2.02

各洞室塑性区开裂特征如下:主厂房在支护前,其上游边墙塑性区深度为32m,开裂区深度为8.5m,下游边墙塑性区深度为25m,开裂区深度为4m,支护后塑性区深度减小,上游边墙开裂区深度为2~6m,下游边墙开裂区深度为1.5m;主变室在支护前,其上游边墙塑性区深度为7.5m,下游边墙塑性区深度为4m;主变室在支护前,其上游边墙塑性区深度为7.5m,下游边墙塑性区深度为4m,与母洞交叉处开裂深度为5m,支护后上、下游边墙塑性区深度均为2m,与母洞交叉处开裂区深度和范围均明显减少;调压室在支护前其顶拱及边墙局部开裂区深度为2m,支护后调压井上部的塑性开裂区回弹,与尾水支洞、尾水洞交叉部位的塑性开裂区分布明显改善。

洞室围岩稳定分析计算中,除个别应力集中处的锚杆应力较大外,大部分锚杆、锚索的应力约为设计强度的60%,留有安全余地。

洞室围岩稳定分析计算成果表明,洞室的围岩稳定性总体较好,洞室群的总体布置和开挖顺序基本合理,支护后洞室塑性区、开裂区深度及洞室洞周位移明显减小,锚固支护参数适宜,洞室围岩稳定安全有保证。

采取疏、排水和加固处理措施。

3 结论

(1)可行性研究阶段,通过勘测、试验及地质研究工作,糯扎渡水电站的主要工程地质问题已经查明,并选择了较适合于枢纽区地形地质条件的坝型和枢纽布置格局,做到了最大限度地利用枢纽区有利的工程地质条件,尽量避开工程地质缺陷区。

(2)通过一系列专题研究工作,坝基右岸构造软弱岩带的空间分布、成因机制、工程特性已经查明,对其可能给工程带来的不利影响及需采取的工程措施有了较清楚的认识。

(3)虽然左岸地下洞室群及溢洪道规模巨大,且在溢洪道轴线部位地形地质条件较为复杂;但从整体上看,工程地质条件可满足各主要水工建筑物要求。