

钢筋格栅拱架在昌波水电站施工中的应用

高晶晶, 王 明

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘 要:昌波水电站引水隧洞施工支洞存在地质复杂、长度较长、设计规模大、难度大等问题,且施工支洞作为引水隧洞工程的关键,影响引水隧洞施工工期。结合昌波水电站的实际,考虑地质情况,介绍施工支洞钢筋格栅拱架的设计方案、支护要求及施工工艺,供后续同类工程参考。

关键词:钢筋格栅拱架;施工支洞;昌波水电站

中图分类号:TV332.14

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)04-0129-06

Application of Grid Rigid Frame in the Construction of Changbo Hydropower Project

GAO Jingjing, WANG Ming

(PowerChina Guiyang Engineering Corporation Limited, Guiyang Guizhou 550081)

Abstract: The adits of headrace tunnel of Changbo Hydropower Project have some problems, such as complicated geology, long length, large design scale and difficulty, and the adits are the key of headrace tunnel project, which affect the construction period of headrace tunnel. Based on the actual situation of Changbo Hydropower Project, considering the geological condition, this paper introduces the design scheme, support requirements and construction technology of reinforcement grid rigid frame for construction of adits, which can be used as reference for subsequent similar projects.

Keywords: Grid rigid frame; Adit; Changbo Hydropower Project

1 概 况

金沙江上游昌波水电站位于四川省与西藏自治区交界的金沙江上,工程区域河段左岸为四川省的巴塘县,右岸为西藏自治区芒康县。工程区沿河左岸有 G215 国道,右岸有 S201 省道。昌波水电站正常蓄水位 2 387.00 m,装机容量 826 MW,多年平均发电量 43.55 亿 kW·h (联合),工程为二等大(2)型工程。

2 施工支洞

(1)施工支洞布置。引水发电系统的 2 条引水隧洞平行布置,1 号引水隧洞长 10 683.17 m,纵坡 1.389‰,2 号引水隧洞长 10 612.95 m,纵坡 1.408‰。根据施工需要隧洞段设置 5 条施工支洞,引水隧洞及施工支洞平面布置情况见图 1。

引水 1 号施工支洞接场内 3 号公路至引水隧洞,交 1 号引水隧洞桩号:(引 1)0+337.49,交 2 号引水隧洞桩号:(引 2)0+337.49。引水 2

号施工支洞接场内 1 号公路至引水隧洞,交 1 号引水隧洞桩号:(引 1)2+074.65,交 2 号引水隧洞桩号:(引 2)2+015.18。桩号引 2 支 0+213.92 至引 2 支 0+294.80 及引 2 支 0+449.15 至引 2 支 0+553.18 经过苏洼龙~王大龙断裂带。引水 3 号施工支洞接原竹茨公路至引水隧洞,交 1 号引水隧洞桩号:(引 1)5+882.45,交 2 号引水隧洞桩号:(引 2)5+822.97。引水 4 号施工支洞接场内 10 号公路至引水隧洞,交 1 号引水隧洞桩号:(引 1)8+221.23,交 2 号引水隧洞桩号:(引 2)8+161.76。引水 5 号施工支洞接进厂交通洞至引水隧洞,交 1 号引水隧洞桩号:(引 1)11+020.66,交 2 号引水隧洞桩号:(引 2)10+950.44。引水隧洞施工支洞特性表见表 1^[1]。

(2)施工支洞地质条件。引水 1 号施工支洞进口边坡以崩坡积碎石土、砂卵砾石及堰塞堆积的粉土为主,基岩地层岩性为混合化片岩。岩层

收稿日期:2024-05-15



图1 引水隧洞及施工支洞平面布置示意图

表1 引水隧洞施工支洞特性表

项目	断面尺寸 /(m×m)	支洞口高程 /m	交1号主洞底板 开挖高程 /m	支洞长度 /m	平均纵坡
引1号施工支洞	8.0×7	2 378.00	2 354.56	408.40	0.5%~8.0%
引2号施工支洞	8.4×7	2 401.00	2 352.13	1 122.12	0.5%~8.0%
引3号施工支洞	8.4×7	2 340.00	2 346.82	1 962.53	0.5%~8.0%
引4号施工支洞	8.4×7	2 343.56	2 355.00	768.00	0.5%~8.0%
引5号施工支洞	8.0×7	2 329.68	2 339.65	316.12	3.47%

产状:N80°E/SE∠48°,裂隙较发育,斜~顺向边坡,稳定性较差。支洞进口岩体表现为强~弱风化,受岸坡卸荷影响,节理裂隙发育,岩体破碎,呈块(石)碎(石)状结构,岩体倾向洞外偏右臂,倾角约48°,桩号0+000~0+028.13段围岩为Ⅴ类,桩号0+028.13~0+049.29段围岩为Ⅳ类,稳定性差,开挖后可能产生一定规模的坍塌,建议开挖时对不稳定岩块及时支护处理。桩号0+049.29~0+413.20段洞顶岩体倾向洞外偏右臂,总体走向与洞轴线交角45°,倾角约48°,Ⅲ类占85%,Ⅳ类占10%,Ⅴ类占5%,其中桩号0+270.71~0+290.71局部薄层段、断层影响带,岩体较破碎,围岩稳定性差,为Ⅴ类围岩,需加强衬护,建议必要时进行超前支护。

引水2号施工支洞进口边坡以崩坡积碎石土、砂卵砾石及堰塞堆积的粉土为主,基岩地层岩性为细粒黑云母花岗岩。裂隙较发育,岩体破碎,边坡稳定性较差。上游岩性为印支期黑云花岗岩,为强风化~弱风化岩体,受风化、卸荷影响,岩体破碎,裂隙发育、呈块(石)碎(石)状结构,局部可能存在长大裂隙组成的不稳定

楔块,围岩稳定性差,以Ⅴ类为主,开挖可能产生大规模崩塌,建议进行超前支护。洞身中间段为印支期黑云花岗岩,为新鲜岩体,岩质坚硬,局部可能存在长大裂隙组成的不稳定楔块,围岩总体以Ⅲ类为主,建议开挖时对不稳定岩块加强衬护,为印支期黑云花岗岩,新鲜岩体,岩质坚硬,但受苏洼龙~王大龙区域性断裂影响,岩体破碎、裂隙发育、呈块(石)碎(石)状结构,围岩稳定性差。桩号0+204.81~0+308.84、0+440.05~0+544.08段为Ⅴ类围岩,桩号0+308.84~0+440.05段为Ⅳ类围岩,且断层影响洞段较长,洞段埋深大,开挖后可能产生较大规模的坍塌,建议边开挖边支护,以保证洞段开挖顺利推进。下游段为印支期黑云花岗岩,新鲜岩体,岩质坚硬,局部可能存在长大裂隙组成的不稳定楔块,围岩总体稳定,为Ⅲ类占85%,Ⅳ类占10%,Ⅴ类占5%围岩。

引水3号施工支洞口进口边坡地层岩性为绿帘片岩、角闪片岩,岩质较坚硬。岩层产状:N45°W/SW∠39°,裂隙较发育,顺向边坡,但无软弱夹层,呈中厚层状,岩体总体稳定,局部稳定性较差。

上游段为弱~微风化中厚层状绿帘片岩、角闪片岩,岩质较坚硬。受岸坡卸荷影响,岩体较破碎,呈块(石)碎(石)状结构,岩体倾向洞外偏右臂,倾角约 39°,围岩稳定性较差,开挖后可能产生一定规模的坍塌,建议加强支护。下游段为新鲜中厚层状夹薄层状绿帘片岩、角闪片岩,岩质较坚硬,节理发育,尤以陡倾角裂隙为主,裂隙多充填石英、岩屑。该段总体属层状结构,岩体倾向洞外偏右臂,总体走向与洞轴线大角度相交,倾角约 38°,以Ⅲ类围岩为主(占 70%);局部薄层段、裂隙密集发育带,岩体较破碎,围岩稳定性差,为Ⅳ类(占 25%),Ⅴ类(占 5%)围岩,需加强衬护。

引水 4 号施工支洞进口边坡地层岩性为绿帘片岩、角闪片岩,岩质较坚硬。岩层产状: N45°W/SW∠39°,裂隙较发育,顺向边坡,但无软弱夹层,呈中厚层状,岩体总体稳定,局部稳定性较差。上游段为弱~微风化中厚层状绿帘片岩、角闪片岩,岩质较坚硬。受岸坡卸荷影响,岩体较破碎,呈块(石)碎(石)状结构,岩体倾向洞外偏右臂,倾角约 39°,围岩稳定性较差,开挖后可能产生一定规模的坍塌,建议加强支护。下游段为新鲜中厚层状夹薄层状绿帘片岩、角闪片岩,岩质较坚硬,节理发育,尤以陡倾角裂隙为主,裂隙多充填石英、岩屑。该段总体属层状结构,岩体倾向洞外,

总体走向与洞轴线大角度相交,倾角约 38°,以Ⅲ类围岩为主(占 70%);局部薄层段、裂隙密集发育带,岩体较破碎,围岩稳定性差,为Ⅳ类(占 25%),Ⅴ(占 5%)围岩,需加强衬护。

引水 5 号施工支洞洞顶为新鲜中厚层状夹薄层状绿帘片岩、角闪片岩,岩质较坚硬。节理发育,尤以陡倾角裂隙为主,裂隙多充填石英、岩屑。该段总体属层状结构,岩体倾向洞内,总体走向与洞轴线大角度相交,倾角约 42°,以Ⅲ类围岩为主(占 90%);局部薄层段、裂隙密集发育带,岩体较破碎,围岩稳定性差,为Ⅳ类(占 10%)围岩,需加强衬护。

(3)施工支洞支护设计。施工时支洞挂口点可根据现场实际情况对挂口位置进行适当调整;进口处仰坡均为弱风化岩质边坡,整体稳定条件较好,局部稳定性差,开挖后需及时进行锚喷和锁口处理,开挖边坡采取挂网锚喷支护措施:喷 C20 混凝土,厚 10 cm;挂 φ8 钢筋网,间排距 20 cm;设 Φ25 砂浆锚杆,长 4.5 m,外露 0.1 m,间排距 1.5 m,梅花形布置;并设 φ50 排水孔,孔深 3 m,间排距 3 m,梅花形布置,仰角 10°^[1-2]。

该工程与水洛河固滴水电站相距较近,地质条件相似,根据工程经验并参考水洛河固滴水电站施工支洞支护情况确定该工程引水施工支洞的支护参数,围岩支护参数见表 2。

表 2 围岩支护参数表

围岩类别	一期支护	二期支护	备注
Ⅲ类	Φ25 砂浆锚杆 L=4.5 m@2×2 m	——	位于锁口段时按 Ⅴ类围岩开挖支护
	喷 C20 混凝土 10 cm 厚		
Ⅳ类	Φ25 砂浆锚杆 L=4.5 m@1.5×1.5 m	衬砌 40 cm 厚 C25 混凝土	位于锁口段时 按Ⅴ类围岩开挖支护
	钢筋格栅拱架,间距 1 m 喷 C20 混凝土 15 cm 厚 挂钢筋网 φ8@20×20 cm		
Ⅴ类	Φ25 砂浆锚杆 L=6 m@1.5×1.5 m	衬砌 60 cm 厚 C25 混凝土	——
	钢筋格栅拱架,间距 0.5 m 喷 C20 混凝土 15 cm 厚 挂钢筋网 φ8@20×20 cm		

注:支洞进口洞段与主洞相交洞段设置锁口段,加强支护措施,锁口段长度 15 m。

洞内排水采用边墙、“顶拱排水孔+底板两侧排水沟”的形式,倒坡洞段需承包人根据施工需要按合适的间隔在洞段内设置集水井,并将渗水抽排至洞外;洞外则是在进口开挖线以外设边坡截水沟,截排坡面径流并引入公路排水系统,倒坡支

洞进口处应略高于洞外路面,防止洞外水流倒灌洞内。洞口开挖范围外垂直山坡向设置 PPS—200/DB—A 被动防护网,网面高度 4 m,拦截上部滚落石块^[3]。

3 临时支护方案

支洞爆破开挖后,洞周围岩通过改变围岩应力分布来适应岩壁出现的临空面,在一定时间会产生趋向支洞内的变形位移。为了防止岩壁变形松动导致坍塌,增强支洞的稳定性,必须进行初期支护,保证安全^[4]。由于钢拱架支护能力强、承载力大,水利水电工程中,常使用钢拱架进行隧道初期支护。钢拱架可采用型钢、钢筋进行制作,分为钢筋格栅拱架和型钢拱架,两者制作及安装满足设计要求的情况下,均可保证短时间内增强围岩的支护能力。型钢拱架强度较高,能够短时间内承载较大的围岩压力,而钢筋格栅拱架短时间内不能充分发挥其支护的作用,在围岩变形较大的部位需喷混凝土增强其支护作用,但钢筋格栅拱架相比钢支撑具有柔性,可以很好地适应围岩变形。型钢拱架由于重量大,在支洞中架设安装难度大,且翼缘较宽导致背部产生较大空隙,对受力及控制沉降不利,在变形时,会和混凝土发生剥离,而钢筋格栅拱架只会在混凝土表面出现裂隙。型钢拱架的部位不易安装超前小导管,在型钢拱架上开孔会影响其强度,但钢筋格栅拱架不存在这个问题,且钢筋格栅拱架更易安装,经济性很好,比型钢拱架节省60%的劳动力及成本费^[5]。因此,该工程引水1~5号施工支洞(引水2号施工支洞过苏洼龙—王大龙断裂带段除外)Ⅳ类、Ⅴ类围岩均采用钢筋格栅拱架进行支护(图2~5)。

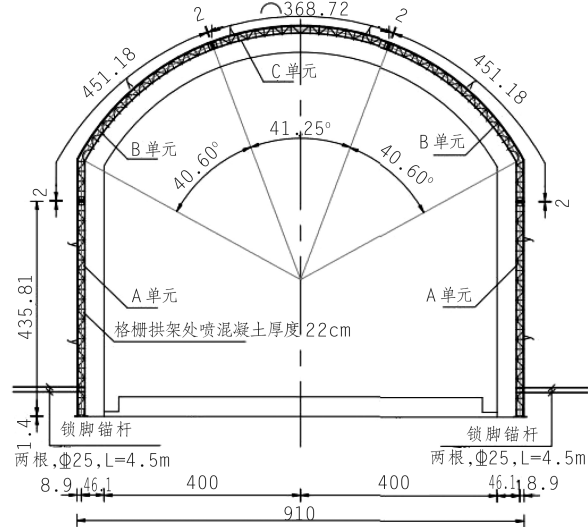


图 2 引水 1 号、5 号施工支洞Ⅳ类围岩钢筋格栅拱架安装设计图(单位:cm)

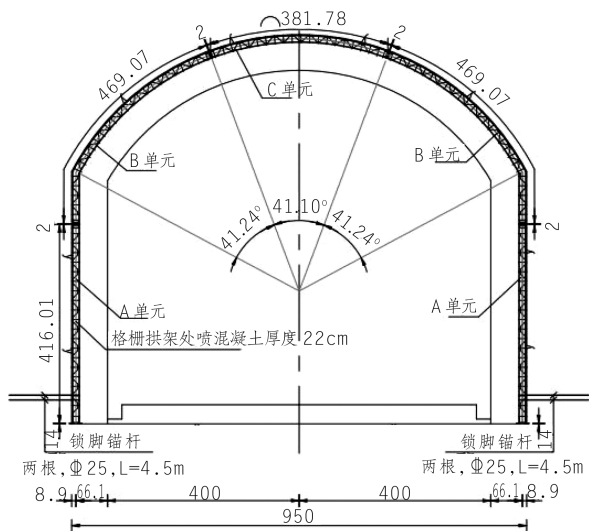


图3 引水1号、5号施工支洞V类围岩钢筋格栅拱架安装设计图(单位:cm)

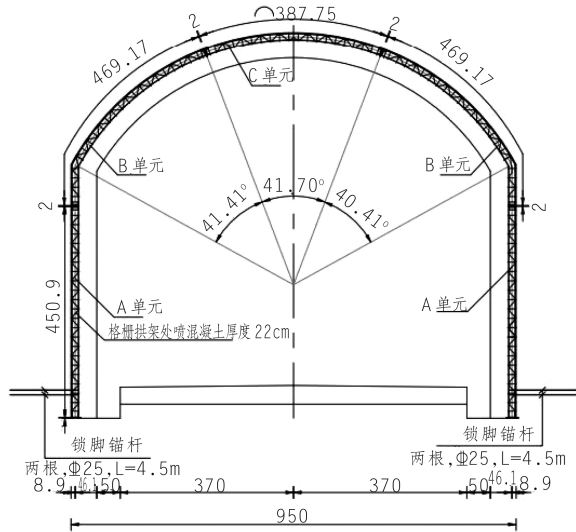


图 4 引水 2~4 号施工支洞Ⅳ类围岩钢筋格栅拱架安装设计图(单位:cm)

对于引水 2 号施工支洞过苏洼龙—王大龙断裂带段,隧洞成洞条件差,极不稳定,容易发生塌方等事故。因此,在开挖过程中应进行超前地质预报并制定事故应急处理措施预案。开挖时采用超前管棚、锚杆支护,及时进行“型钢拱架+锚喷支护”等综合处理措施(图 6)。视情况进行超前钻孔探明,根据隧洞不同性状采取不同的施工应对措施。如发生塌方事故,可采取反压回填核心土、封闭掌子面、小导管超前支护等措施,按照预留核心土,短进尺、支护及时跟进的原则进行后续塌方洞段的开挖支护。施工时加强一次喷锚支护,增设超前锚杆和型钢拱架。开挖后及时进行

二次钢筋混凝土支护,同时应加强施工过程中围岩变形监测及结构应力监测。

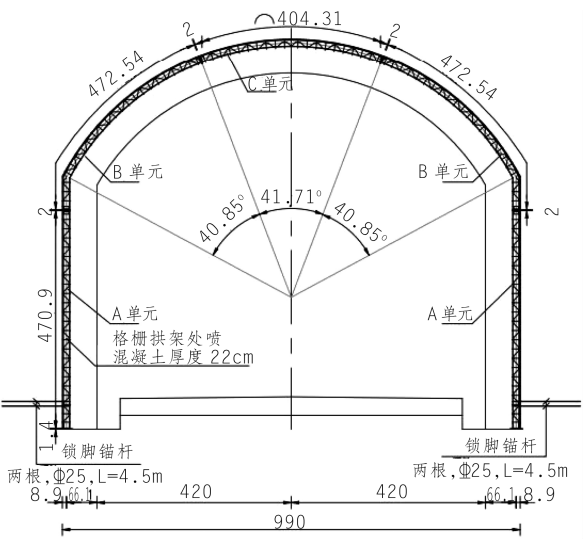


图 5 引水 2~4 号施工支洞 V 类围岩钢筋格栅拱架安装设计图(单位:cm)

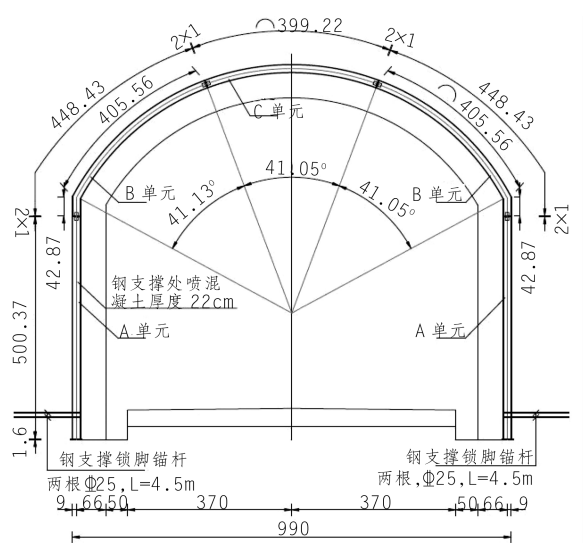


图 6 引水 2 号施工支洞过苏洼龙—王大龙断裂带段型钢拱架安装设计图(单位:cm)

4 钢筋格栅施工要求

(1)引水 1~5 号施工支洞 IV、V 类围岩衬砌段使用钢筋格栅拱架支护,1 号、5 号施工支洞洞室衬砌后净断面 8.0 m×7.0 m,2~4 号施工支洞洞室衬砌后净断面 8.4 m×7.0 m,A~C 单元为隧洞初期支护格栅拱架,每樘共 5 个单元。(2)现场施工过程中存在高空坠落、物体打击、机械伤害、有毒有害气体等安全风险,应采取相关的安全保护措施,确保施工安全。拱架立柱应支立于可靠的基础上,钢筋格栅拱架与岩面之间应楔紧,相

邻钢拱架之间应连接牢靠。(3)喷射混凝土作业应保证钢拱架与岩面之间的空隙充填密实。钢筋格栅拱架应被喷射混凝土覆盖。栅钢架加工时,确认无误后,再进行实地放样和加工,先加工一樘完整的格栅拱架现场拼装,检查其尺寸、焊接等,符合要求后再批量加工。(4)堆放和运送过程中,为使格栅钢架不变形,应轻搬轻放,不能乱扔或用重物敲打,注意保护钢筋种类;无特殊说明均采用 HRB400 和 HPB300。(5)格栅钢架端头焊接 $\angle 90\times 90\times 10$ 等边角钢,现场安装采用螺栓连接,焊缝高度 $h=9\text{ mm}$,格栅之间的连接质量直接影响结构安全,在连接时要做到上下单元螺栓孔位对齐,连接螺栓应拧紧到位,连接角钢之间不得留有空隙(图 7)。(6)安装拱架时结合系统锚杆对拱架进行固定,拱架架设完成并检查无误后,再焊接纵向连接钢筋,钢筋格栅拱架中心布置间距为 IV 类围岩 100 cm,V 类围岩 50 cm,采用 $\Phi 22$ 纵向钢筋连接,连接钢筋的环向间距为 1 m,连接钢筋应与拱架双面焊接牢固,现场焊接时内外层交错布置(图 8)。(7)钢筋格栅拱架在初喷混凝土之后及时架设,拱架架设完成后尽快复喷,使拱架与喷射混凝土共同受力。(8)断面开挖时每榀钢拱架至少应与 3~5 根锚杆相连接(图 9~10)。格栅钢架在衬砌混凝土施工前应作好保护措施,避免因撞击等产生变形或破坏。(9)N6、N7 架立钢筋应与主筋焊接牢靠,N5 箍筋应与 N1~N4 主筋牢固连接。格栅钢架端头与连接钢板和角钢焊接牢固,焊缝高度 $h=9\text{ mm}$;(10)钢筋格栅拱架的所有附件均采用钢板或型钢制成,附件包括钢挡板、钢棚架、钢枕、钢楔和钢柱鞋等。钢拱架附件安置就位后,与钢拱架焊牢,以防松动,浇筑混凝土时,可将钢筋格栅拱架及其附件留在其中,不允许使用木材制作的附件作为临时支撑。(11)钢筋格栅拱架之间采用钢筋网(或钢丝网)制成挡网,以防止岩石掉块,钢丝(筋)网挡网采用焊接或其他方式与钢拱架牢固连接。在混凝土衬砌施工前,按监理人的指示,拆除一定范围的上述钢筋网(或钢丝网),以保证混凝土衬砌尽量填满空隙。

5 施工工艺

(1)钢筋格栅拱架施工工艺。隧洞掘进需要采用钢筋格栅拱架时,根据指示安装钢筋格栅拱

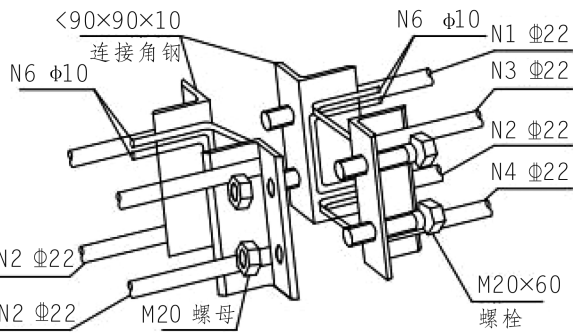


图7 钢筋格栅拱架连接轴测示意图(单位:mm)

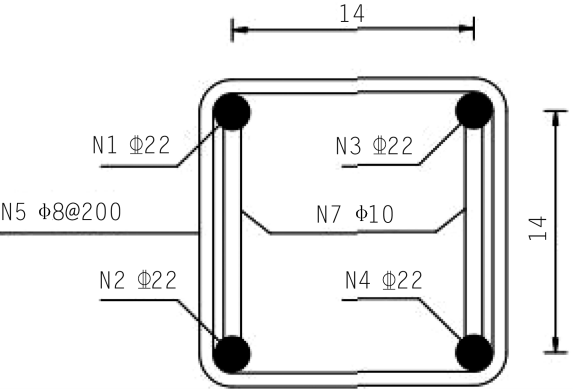


图8 钢筋格栅拱架剖面图(单位:cm)

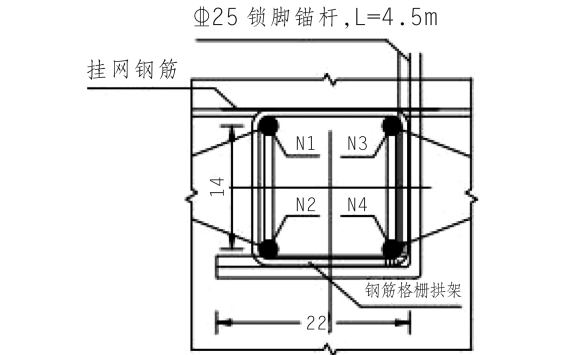


图9 锁脚锚杆横剖设计图(单位:cm)

架。钢筋格栅拱架施工工艺为:钢支撑制作试拼→施工准备→测量定位→现场准备→钢支撑安装打锁脚锚杆→安装连接筋→喷混凝土→下一循环开挖前复喷混凝土至设计厚度(图11)。

(2)软弱、破碎等稳定性差的围岩喷锚支护施工。

①不良地质条件下的地下洞室,应进行联合支护。②喷锚支护应紧跟开挖工作面进行。③此类围岩的施工操作程序:超前施工注浆管棚(或小导管)→开挖后立即喷一层3~5 cm厚混凝土→架设钢筋格栅拱架→设置系统锚杆→铺设钢筋网

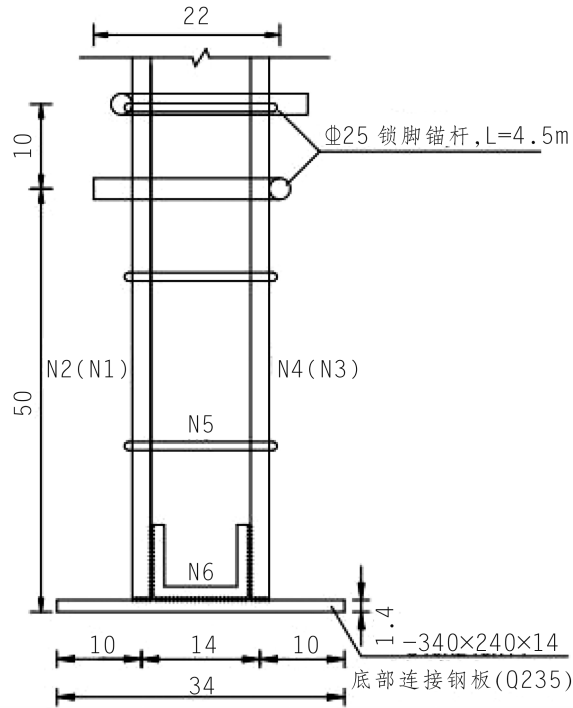


图10 锁脚锚杆连接大样图(单位:cm)

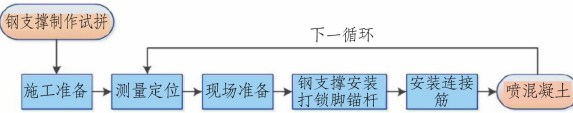


图11 钢筋格栅拱架施工工艺

→喷第二层5~7 cm厚混凝土→下一循环开挖前复喷混凝土至设计厚度。系统锚杆应与钢拱架焊接。④及时进行施工期现场监控量测,根据围岩变形情况,及时调整支护方案和支护参数。⑤必要时采取喷射混凝土封闭开挖面、超前锚固、底拱锚固或封闭仰拱等措施。⑥下一循环的爆破作业宜在喷射混凝土作业完成后4 h、砂浆锚杆安装后6 h、监测仪器埋设后1 h进行,并控制瞬时起爆药量。

(3)可能坍落或滑移的危石加固。

①拱顶危石处理程序:撬除浮石→素喷一层3~5 cm厚混凝土→架设钢筋格栅拱架→铺设钢筋网→打锚杆锁住危石→复喷混凝土。②对边墙或边坡上出露的大面积危石,根据危石的结构情况,采取“边挖边锚”或“先锚后挖”的原则,逐层施工,直至全部锚固为止。

6 结语

(1)昌波水电站引水1~5号施工支洞Ⅳ类、
(下转第152页)

的基础上,减少过程审查的中间环节,从而提高最终审查的时效,提高审查效率。在可研阶段,尽可能提高设计深度,加大现场资源投入,扎实做好项目地质勘探、复勘等设计工作,减少实施阶段的设计变更;进一步提高设计深度,对有条件的项目(路、桥、变电站等)做到施工图设计,并利用施工图招标,保障项目实施的准确性,有效控制工程建设投资,提高项目经济效益。

(2)在可研设计阶段,建设相关方应全面掌握、落实国家部委(如生态环境部、水利部等)对工程规划的最新要求,坚持生态优先理念,积极开展敏感因素调研(如渣场布置、生态红线、鱼类栖息地等)^[5],主动规避不利因素,保障设计工作合理、合规、合法。此外,建设相关方应与建设地地方政府及相关部门建立长期良好的沟通合作关系,积极汇报规划情况,提前考虑地方项目布置情况(如采砂规划、矿产开采规划、小型水电站等),尽可能减少规划冲突,保障项目效益。

(3)开展征地移民工作。昌波水电站所处的金沙江为川、藏界河,涉及两地政府及藏区,建设环境相对复杂。在征地移民工作中阻碍多、难度大,无论是前期阶段还是项目建设阶段,地方政府都是建设方联系地方老百姓的桥梁。针对移民工作,建设方应熟练掌握国家政策,加强与地方政府及相关部门沟通,了解地方诉求并积极获得政府的支持,以政府为主导,配合政府开展实物指标调

(上接第 134 页)

V 类围岩采用钢筋格栅拱架进行支护具有增强稳定性、适应围岩变形、易于安装、经济性好等优势,可供后续类似工程参考。

(2)引水 2 号施工支洞过苏洼龙—王大龙断裂带段,隧洞成洞条件差,极不稳定,容易发生塌方等事故。因此,开挖时采用超前管棚、锚杆支护,及时进行“型钢拱架+锚喷支护”等综合处理措施。

(3)昌波水电站中钢筋格栅的规格,适用于昌波水电站施工支洞,可以融入永久支护、增强安全性能,但仅凭经验确定,可能富裕值比较大,有待于增加理论方面的研究,确保安全的前提下节约成本。

查,维护地方稳定并促进地方经济发展,履行社会责任。

5 结 语

水电项目前期管理是项目建设管理和运行管理的起始阶段,一个项目的成功与否,与其存在着直接的联系。随着国家对生态文明建设的日益重视,对水电项目规划要求也不断加强,在保护中发展、在发展中保护已然成为日后水电项目开发的大趋势。在昌波水电站的前期管理实践中,重新梳理了新形势下项目核准的思路和要求,对进一步加强、改进前期管理工作进行了探讨和思考,为项目核准起到了积极作用,同时能为后续开发项目提供参考。

参考文献:

[1] 李俊华. 浅谈水电项目前期工作管理[J]. 价值工程, 2013 (21): 73-74.

[2] 水利水电工程可行性研究报告编制规程: SL 618-2013[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.

[3] 刘芸. 浅议水电项目前期工作管理[J]. 水力发电, 2006, 32 (6): 10-11.

[4] 水利水电工程施工组织设计规范: SL 303-2017[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017.

[5] 赵林涛. 以新发展理念推进昌波水电站前期管理工作[J]. 四川水利发电, 2022(3): 68-70.

作者简介:

李 昆(1993-),男,四川广安人,助理工程师,学士,从事水利水电项目建设管理工作.

(编辑:吴永红)

参考文献:

[1] 国家能源局. 水工隧洞设计规范: NB/T 10391-2020[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020.

[2] 水电水利规划设计总院. 水工设计手册(水电站建筑物)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.

[3] 李叶, 李志国. 黑龙江省某抽水蓄能电站施工支洞设计[J]. 东北水利水电, 2024(3): 1-3.

[4] 陈候. 格栅支护在导流洞出口段塌方处理中的应用[J]. 水利科技, 2011(1): 67-69.

[5] 毕武. 钢拱架与格栅钢架比较与分析[J]. 公路, 2014 (9): 187-189.

作者简介:

高晶晶(1997-),女,河南驻马店人,助理工程师,硕士,从事水工设计工作;

王 明(1979-),男,黑龙江七台河人,正高级工程师,学士,从事水工设计工作.

(编辑:吴永红)