

抽水蓄能电站厂房开挖及支护施工技术分析

曲大威 陈 晶

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 陕西西安 710061

摘要: 文章结合福建云霄抽水蓄能电站主副厂房 I~III 层开挖支护施工, 探讨了开挖和支护施工中的相关技术要点和应用措施, 以期待为同类工程提供参考。

关键词: 抽水蓄能电站; 地下厂房; 开挖; 支护

Analysis on excavation and support construction technology of pumped storage power station

Dawei Qu Jing Chen

China Water Resources and Hydropower Construction Engineering Consulting Co., LTD., Xi 'an 710061, China

Abstract: The article combines the excavation and support construction of the main and auxiliary power plant buildings at the Yunxiao Pumped Storage Power Station in Fujian. It discusses the relevant technical points and application measures in excavation and support construction, aiming to provide references for similar projects.

Keywords: pumped storage power station; Underground plant; Excavation; support

引言

抽水蓄能电站地下厂房施工地质环境复杂, 施工难度和风险都相对较大。为了确保施工安全和施工质量, 在施工建设中必须围绕具体工程建设要求和地质情况合理选用开挖和支护技术, 制定出合理科学的开挖支护方案。

一、工程概况

本电站装机容量为 1800MW, 共安装 6 台单机容量为 300MW 的立轴单级混流可逆式水泵水轮发电机组, 额定水头为 455m。本工程为 I 等大 (1) 型工程, 电站枢纽建筑物主要由上水库、下水库、输水系统、厂房系统及永久交通道路等建筑物组成。其中主副厂房 I~III 层开挖尺寸 231m×25.5m×54.7m(长×宽×高, 下同)。主副厂房洞总长度 231m, 其中主机间长 161m, 安装 6 台单机容量 300MW 的立轴单级混流可逆式水泵水轮发电机组; 副厂房长 28m; 安装间长 42m。主厂房岩壁吊车梁以上开挖跨度为 27m, 岩壁吊车梁以下为 25.5m, 岩壁吊车梁分别设置在主机间、安装间上下游边墙高程 EL.59.4~56.65 处。

二、厂房开挖施工程序分析

地下厂房 I 层及风机室开挖支护先进行开挖中导洞, 中导洞开挖完后进行两侧边墙错开 30m 开挖跟进。I 层开挖支护完成后, 先进行 II 1 层中部拉槽施工, II 1 层中部拉槽开挖支护完成后进行 II 2 层全断面开挖施工, II 2 层开挖支护完成后进行 II 3 层中部拉槽施工, II 3 层中部拉槽开挖至 30m 后进行 II 4 层保护层开挖支护, II 4 层保护层开挖至后 60m

进行 II 5 层岩锚梁开挖支护。III 层开挖支护在岩壁吊车梁混凝土强度达到设计强度之后进行。其中 III~IV 边墙预裂在岩壁梁浇筑混凝土脚手架搭设前要预裂完成。III 层采用中部拉槽先行, 两侧预留保护层跟进方法开挖或者分左右半幅开挖错开跟进法开挖。

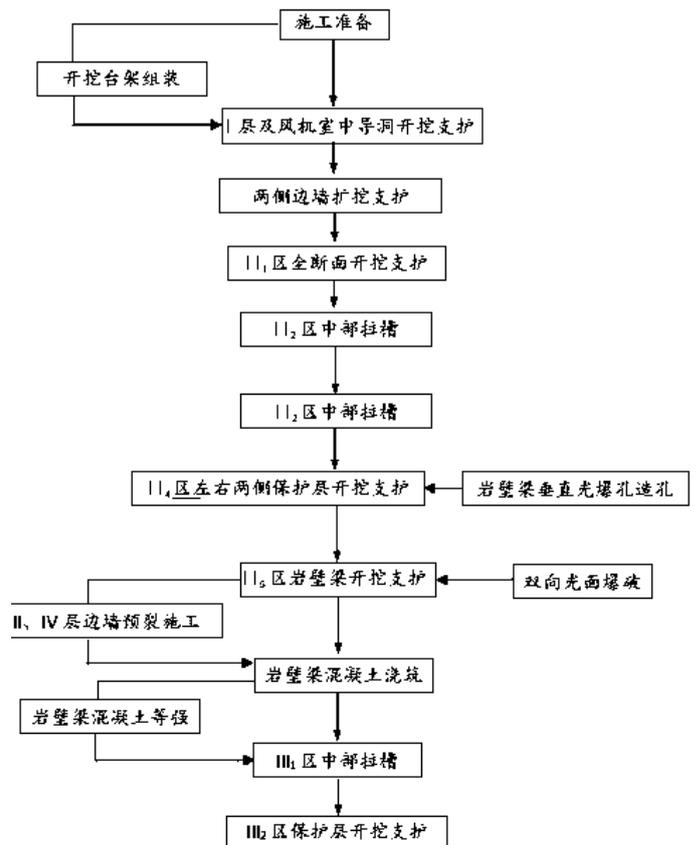


图 1 厂房开挖支护程序

三、厂房开挖作业主要工艺措施

3.1 开挖准备

洞内风、水、电就绪，施工人员、机具就位。

3.2 测量放线

通过全站仪和水准仪依据施工设计方案展开测量放线，在完成中心线/规格线和控制点等的测量放线后，需要结合爆破设计参数来进行各控制点、控制线的标记，通常采用红色油漆进行标记。

3.3 钻孔作业

中部拉槽、保护层及岩台三角体开挖采用手风钻钻孔，选择经验丰富、操作水平高的作业人员依据测量放线结果来展开钻孔作业。在作业过程中，技术人员需要做好旁站监管，对整个作业过程进行全方位的管控，及时找出现场作业中存在的问题，并解决处理，避免在施工中存在任何质量安全隐患。值班人员需要依据“平、直、齐”的检查标准，做好每排炮的详细检查，炮孔孔底需要严格按照爆破要求落在相同铅直断面上，同时为了避免超挖问题的出现，周边孔外偏角也必须尽可能地控制在施工能够实现的最小角度。光爆孔、预裂孔及掏槽孔在钻孔作业中的偏差需要控制在 5cm 以内，除了上述几种钻孔外，其他炮孔偏差则需要控制在 10 cm 以内。在完成钻孔检测完全符合技术标准后，才可以开展下一环节，但是在装药前仍需由质检人员进一步检查掌子面上的炮孔、光爆孔、预裂孔等是否都满足相关技术要求，比如偏角的角度、有无欠挖过挖情况等等，如果存在上述问题，需要及时进行修补，并且在修补完成后，仍需进一步检测确，定期完全合格后才可展开后续施工。

3.4 装药、连线、起爆

在装药开始前，需要通过高压风对各个炮孔钻孔进行清扫，确保其中不存在任何残渣废弃物，经检验无误后才可装药爆破。作业炮工不仅需要具备相应的资格证书，同时还需要通过技术考核，在各项技术能力，业务能力都达标后，才可进行爆破作业。在装药过程中，由炮工将小药卷捆绑在竹片上分别放入光爆孔、预裂孔内。对于高处的重要作业，需要借助平台车作为登高平台进行作业。在完成炸药的安装后，需要将导报所进行梳理，将同段内的数码电子雷管进行并联之后，再将不同段间的雷管进行串联，在经检测并联和串联都无问题后，再用粘土封堵炮孔，需要注意封堵的长度必须超过炸药的最短抵抗线。在上述作业完成后，还需要再由炮工和技术人员对各个作业分区的情况进行进一步的检查，确

保网络连接线的正确无误，之后再将人员，设备材料等撤退到安全位置，经检查具备爆破条件后再进行引爆。

3.5 通风散烟及除尘

通风散烟设备主要采用轴流风机及雾炮，施工过程中根据不同的部位采用正压通风或负压通风。在爆破完成后，需要及时通风散烟，本作业采用的是轴流风机通风。在整个开挖支护作业过程中需要切实保证洞内的通风良好，结合开挖断面的尺寸来进行通风量的计算和确定，与此同时，在完成初步的通风和除尘后。为了避免扎堆在转运过程中产生粉尘，必须适当对渣堆洒水。

3.6 安全处理

在上述环节完成后，为了避免围岩中的碎石在施工中脱落，确保施工安全必须提前做好围岩安全处理，由专职安全员全过程监控。对于施工中所产生的哑炮，

需要先通过高压水枪进行冲刷，又或者通过殉爆来对其进行处理。在掌子面以及围岩结构中存在的浮石或者碎石，需要提前进行评估，在确定其位置后，再由工作人员用钢钎将其撬掉和清除。在大断面开挖过程中，则可以通过 1.8m³反铲分区段展开清理在完成破碎中断的处理后，还需要通过喷射混凝土进行进一步的加固，喷射厚度为 5cm。在出渣结束后，需要进一步评估作业面的安全情况，在确认无误后，才可进行后续施工。与此同时，在施工作业期间也需要做好围岩稳定性的实时检测，及时清理围岩结构中的松散石块，并对其进行加固，以免出现安全事故。

3.7 出渣及清底

对开挖面进行安全处理之后，便开始进行出渣。出渣后，必须重新排查堆渣下掌子面、围岩等区域有无安全风险，清理干净上述区域中存在的 VR 或者松散石块。同时还需要展开进一步的测量控制，结合施工设计方案，对开挖段的开挖量进行测量，如果存在欠挖情况，则可以通过钻孔爆破清除，如果工程师有特殊规定，则可以不做处理。之后通过反铲清理干净底部稽查并对其整平，以便于为后续循环爆破奠定良好基础。同时，地质工程师对围岩情况进行素描，进行地质编录。

3.8 围岩支护

每排炮开挖结束后，要及时加强支护，确保安全。

四、厂房支护施工工艺分析

地下厂房洞及风机室开挖跨度大，顶拱及边墙的稳定问

题突出。在厂房开挖施工中,应严格按设计及监理工程师要求及时进行支护,形成流水工序施工。锚杆施工采用三臂凿岩台车钻孔,采用锚杆注浆机注浆,喷混凝土采用喷车。系统支护及时跟进,随机支护紧跟开挖面。厂房在开挖期间,如遇到岩层不稳定块体,立即采取临时随机支护。厂房 I~III 层及风机室支护施工主要包括砂浆锚杆、挂网及喷混凝土施工。

4.1 砂浆锚杆施工

厂房 I~III 层及风机室砂浆锚杆孔采用 YT-28 手风钻和三臂凿岩台车造孔,钻爆台车或平台车配合人工安插锚杆,注浆机注浆,锚杆注装平台车,人工安装锚杆。采用“先注浆后插锚杆”的工艺进行施工。锚杆施工程序如图 2:

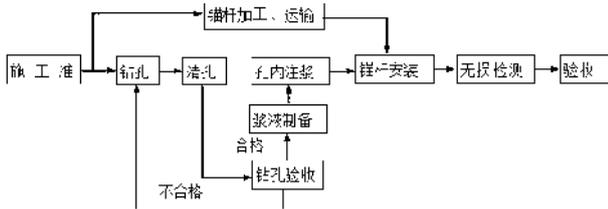


图 2 砂浆锚杆施工程序框图

4.2 锚杆施工主要工艺措施:

1) 材料选用: 锚杆材料按设计要求选用 III 级螺纹钢; 水泥选用 P.O42.5 标号的普通硅酸盐水泥, 砂采用粒径小于 2.5mm 的中细砂, 水泥砂浆强度等级不低于 M30。

2) 锚杆钻孔: 锚杆钻孔孔位、角度、深度、孔径严格按照设计要求进行, 控制孔位偏差不得大于 100mm, 孔深偏差值不得大于 50mm, 随机锚杆的孔向与可能滑动面的倾向相反, 其交角应大于 45°, 断层带布置加强锚杆须穿过断层不得小于 1.5m。

3) 锚杆的安装和注浆: 注浆前先将钻孔需冲洗干净, 并经监理工程师验收合格。水泥砂浆配合比: 水泥: 砂=1:1~1:2 (重量比), 水泥: 水=1:0.38~1:0.45, 最终的砂浆配合比须经监理工程师同意后用于施工。水泥砂浆用砂浆搅拌机拌制, 采用“先注浆后插锚杆”的施工工艺, 具体工艺流程如下:

a. 先将注浆管插到孔底, 然后退出 50mm~100mm, 开始注浆, 注浆管随砂浆的注入缓慢匀速拔出, 在钻孔内注满浆后立即插杆;

b. 锚杆插送速度要缓、均, 避免敲击安插。

c. 在浆液终凝前不得敲击、碰撞或施加任何其它荷载。注浆要求饱满、密实, 锚杆的安插采用平台车配合人工安装,

锚杆安装后, 孔口加木楔固定封严。锚杆砂浆到 3 天龄期后按设计及规范要求进行无损检测, 检查注浆密实度。每一个单元锚杆注浆均需通知检测单位及时取样。

4.3 挂网、喷混凝土施工

厂房 I~III 层支护: 挂 $\Phi 6.5@250\text{mm} \times 250\text{mm}$ 钢筋网, 挂网龙骨筋为 $C12@1500\text{mm} \times 1500\text{mm}$, 喷 C30 粗纤维混凝土厚 150mm 及挂 $\Phi 6.5@250\text{mm} \times 250\text{mm}$ 钢筋网, 挂网龙骨筋为 $C12@1500\text{mm} \times 1500\text{mm}$, 喷 C25 混凝土厚 150mm。风机室支护: 挂 $\Phi 6.5@250\text{mm} \times 250\text{mm}$ 钢筋网, 挂网龙骨筋为 $C12@1500\text{mm} \times 1500\text{mm}$, 喷 C25 粗纤维混凝土厚 100mm。喷混凝土采用喷混凝土台车或小型湿喷机采用湿喷工艺施工, 由混凝土拌合站拌制喷混凝土料, $6\text{m}^3 \sim 10\text{m}^3$ 搅拌车运至工作面后, 喷车分层施喷。具体施工工艺流程如下:

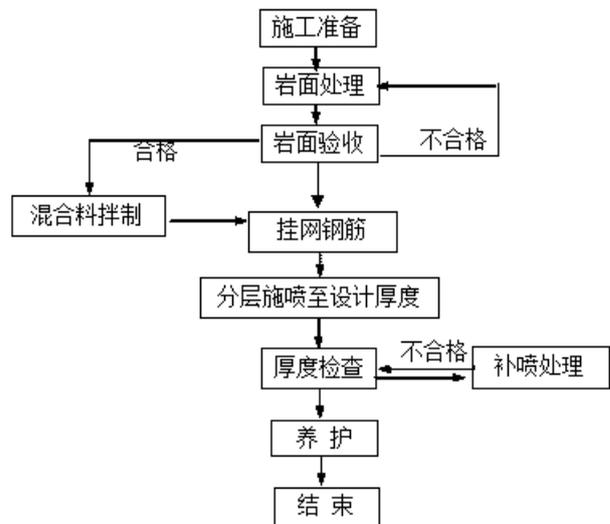


图 3 挂网喷砼施工工艺流程框图

挂网、喷砼施工主要工艺措施:

(1) 材料选用: 水泥强度等级不低于 PO.42.5, 细骨料应采用坚硬耐久的粗、中砂, 细度模数大于 2.5mm, 砂的含水率一般为 5%~7%, 石子的含水率 2%~3%; 粗骨料应采用耐久的卵石或碎石, 粒径不应大 15mm; 当采用外掺料时, 应与水泥的相容性试验。并报经监理工程师批准。

(2) 配合比: 喷射混凝土配合比, 通过室内试验和现场试验选定, 在保证喷层性能指标的前提下, 尽量减少水泥和水的用量。喷射混凝土的初凝和终凝时间, 应满足现场喷射工艺的要求, 湿法喷射混凝土水泥与砂、石重量比宜为 1:3.5~1:4; 水灰比为 0.42~0.50, 砂率宜为 50%~60%。配合比试验成果报送监理工程师, 经监理工程师批准后使用。

(3) 喷前准备: 在喷射前对喷射面进行检查, 清除开

挖面的浮石、墙脚的石渣和堆积物，对遇水易潮解的泥化岩层，采用高压风清扫岩面，埋设控制喷射混凝土厚度的标志，另外，作业区应具有良好的通风和充足的照明设施。并备好处理材料，联系好仓面取样准备。

(4) 挂网施工：钢筋网的规格尺寸满足施工图纸要求，主变洞顶拱挂网钢筋 A8@150mm，挂网龙骨筋 C12@1.5m×1.5m，其保护层厚度不应小于 20mm。钢筋网沿开挖面铺设，在岩面初喷一层混凝土后铺设。钢筋网与壁面距离 3~5cm。捆扎要牢固，对有凹陷较大部位，可加设膨胀螺杆拉紧钢筋网，钢筋的搭接符合规范要求。锚杆位置的连接需要采用焊接法。

(5) 拌和及运输：拌和配料严格按试验确定的配合比精确配制搅拌，砼拌制完成后要测定其坍落度，运输和存放时间应符合有关技术指标。

(6) 喷射砼：喷射施工采用喷车进行湿喷，砼搅拌车运输至现场，砼喷射作业分段、分片依次进行，根据设计厚度，一般分 2~3 层施喷，每层喷射厚度 50~100mm，在上一层混凝土中凝后，按照相应的分区分块，再进行下一层的喷射，如果未在上一层终凝后 1h 内喷射，需要先通过风水对施工面进行喷洗，喷射和开挖作业需要紧密连接，混凝土终凝至下一循环放炮时间不应小于 4h。喷头距施喷面约 0.6~1.2m 左右，并垂直于喷射面，喷砼要有序推进，尽量减少回弹，顶拱喷射混凝土回弹率不大于 25%，边墙不大于

15%。对喷射完成的砼进行喷厚检查，不满足厚度要求时，及时做复喷处理。喷砼时。喷车作业时严格执行喷车的操作规程，连续地向喷车供料，完成或因故中断喷射作业时，应将喷车和输料管内的积料清除干净。

(7) 喷粗纤维砼：粗纤维应采用耐酸碱性高、导热性低，无磁性、无毒、无刺激的纤维，粗纤维掺量一般 6~8kg/m³，具体由现场试验确定。在加入混合料（砂石、水泥等）时一起加入纤维搅拌，比普通混凝土延长搅拌时间 1min 左右。

(8) 养护：喷射砼终凝 2h 后，进行喷水养护，养护时间 7~14d，或根据洞室内的气候特点，由监理工程师确定是否进行养护，气温低于+5℃，不喷水养护。

五、结语

抽水蓄能电站地下厂房施工难度大，安全风险高。在施工建设中，需要全面围绕工程具体情况，合理进行开挖支护程序以及工艺技术的制定，切实保证施工质量和安全。

参考文献：

- [1] SL387-2007 水工建筑物地下开挖工程施工规范 [S].
- [2] GB 6722-2014 爆破安全规程 [S].
- [3] NB/T35079-2016 地下厂房岩壁吊车梁设计规范 [S].
- [4] DLT-5198-2015 水电水利工程岩壁梁施工规范 [S].