

文章编号:1001-5485(2003)S1-0032-03

地下洞室开挖爆破综述

蒋 键,高必华

(中国水利水电第十四工程局,云南 昆明 650041)

摘要:综合介绍了水利水电地下工程洞室群开挖爆破技术取得的成就和发展水平,阐述了地下厂房洞室群的开挖方法和施工程序,以及光面爆破、预裂爆破在厂房洞室、吊车梁岩台、竖井和在交叉洞室开挖中的应用。同时还介绍了隧洞开挖快速光爆应注重的几个技术问题。

关键词:地下洞室;开挖;爆破

中图分类号:TV542

文献标识码:A

随着人类社会的发展,地下工程将越来越多地应用在国民经济基本建设各个领域,在水利水电、公路、铁路、油库等工程建设中,越来越多地采用了地下洞室。就水电站工程而言,目前在建的龙滩、小湾、构皮滩、水布垭、三板溪、周宁水电站、百色水利枢纽都是地下厂房。对于地下洞室群在开挖爆破施工中的安全、相邻洞室及交叉洞室的施工、厂房岩壁吊车梁基础的爆破施工工艺,以及如何实现快速光爆等,我局在几十年的地下工程施工中,探索和积累了一定的经验,取得一些成就,在此作一个简单的介绍。

1 光面爆破、预裂爆破在洞室群开挖中的普遍应用

20世纪60年代以前,地下工程开挖以手风钻造孔,自由爆破;80年代初期,在西洱河电站、渔子溪电站、白山电站的兴建中,采用了光面爆破;到1985年以后,在鲁布格电站引水隧洞开挖中,采用凿岩台车、非电毫秒雷管、全断面光面爆破,创平均月进尺231 m,最高月进尺373.5 m的纪录。相继在漫湾水电站、广州抽水蓄能电站等工程的隧洞开挖中推广,取得了较好的成绩,使我国地下工程施工达到了一个新的水平。

随着钻孔机具、爆破器材与钻爆技术,以及“新奥法”施工技术的发展,锚喷支护作为永久衬砌,地下厂房开挖采用梯段爆破,岩壁吊车梁基础开挖,光面爆破、预裂爆破、缓冲爆破技术在地下工程中得到了广泛的应用。在水电站建设中,已建成的地下工程,如鲁布格电站发电引水隧洞长9 382 m(开挖断

面 8.8 m);太平驿电站发电引水洞长10 482 m(开挖洞径 $9.6\sim 10.8\text{ m}$);天生桥二级电站3条引水隧洞平均每条长9 586 m(开挖直径为 $9.8\sim 10.8\text{ m}$)。最大的导流隧洞为二滩水电站2条导流洞,开挖断面为 $20.5\text{ m}\times 25.5\text{ m}$ (宽 \times 高),断面面积达 490 m^2 ;最大的地下厂房为二滩水电站地下厂房,尺寸为 $280.29\text{ m}\times 25.5\text{ m}\times 65.58\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高),断面面积 $1\,620\text{ m}^2$,地下开挖量 32.3万 m^3 ;小浪底工程左岸集中布置19条大断面隧洞,1座地下厂房系统共计106个洞室,地下开挖量达 266万 m^3 。目前在建的龙滩水电站地下厂房开挖尺寸 $398.9\text{ m}\times 30.7\text{ m}\times 77.3\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高),石方开挖量 $63\,637\text{ m}^3$;主变室开挖尺寸 $398.9\text{ m}\times 19.8\text{ m}\times 34.05\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高),石方开挖量 $181\,555\text{ m}^3$;尾水调压井(含井间连接洞)开挖尺寸 $345.324\text{ m}\times 25.15\text{ m}\times 84.21\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高),石方开挖量 $503\,097\text{ m}^3$ 。3洞室平行布置,主厂房与主变室相距 41.75 m ,有12条母线洞、连接洞、交通洞相联,主变室与调压井相距 26.60 m ,有9条连接洞相联,包括引水洞、尾水洞、通风洞、排风竖井、排水洞、施工支洞等,在不到 0.5 km^2 的山体内布置了113条洞室,这些洞室以平、斜、竖的形式相贯,形成庞大而复杂的地下洞室群,石方开挖量达 356万 m^3 ,居当今世界之最。

隧洞越打越大越长,地下洞室越打越大越复杂,其主要的手段就是钻孔爆破,最基本最普遍实用的就是光面爆破、预裂爆破以及缓冲爆破技术。由于光面爆破围岩壁面平整,断面成型好,对围岩破坏小,很少有危石和松动现象,有利于后续工作(如喷锚支护)的进行,大大提高了掘进速度,从而劳动生

收稿日期:2003-09-30

作者简介:蒋 键(1940-),男,云南大理人,中国水利水电第十四工程局教授级高级工程师,主要从事水利水电工程施工技术工作。

产率也大大提高。在近 50 年的地下工程施工中,特别是在 1985 年鲁布格电站实行对外开放以后,引进了成龙配套的地下工程开挖支护设备,随着施工机械化水平的提高,爆破技术也得到快速发展,隧洞开挖速度不断加快,开挖质量也不断提高,在广州抽水蓄能电站、小浪底水利枢纽等工程建设中,其地下工程规模巨大,地质情况复杂,施工难度大,施工技术水平及施工速度已达到世界水平。

2 厂房洞室群钻爆开挖

2.1 厂房开挖

地下厂房开挖施工的第一步是合理设置交通道。根据围岩的稳定条件,以及施工交通道的位置和施工机械性能等因素,自上而下分层施工。第一层为顶部,层高一般为 7~8.5 m。顶拱要求成型好,采用光面爆破,支护工作量大,而且需要布置观测仪器。这里,以广州抽水蓄能电站(I 期)地下厂房为例,简要介绍厂房洞室群的钻爆施工方法。

2.1.1 顶拱开挖

广州抽水蓄能电站(I 期)装机容量 1 200 MW,主厂房全长 146.5 m,开挖跨度为 21.0 m,开挖高度 44.54 m,总开挖量 10.6 万 m^3 。厂区洞室群为燕山三期中粗粒斑状黑云母花岗岩,顶拱开挖断面面积为 151.1 m^2 ,采用中导洞首先掘进,两边跟进扩大开挖方式。中导洞断面为 7 m \times 8.5 m(宽 \times 高),超前开挖 30 m。采用三臂凿岩台车打眼,平行直眼掏槽,非电毫秒雷管引爆,周边光面爆破,光爆孔间距 60 cm,线装药密度 200 g/m,用 5.4 m^3 装载机配 25 t 自卸汽车出碴。

中导洞超前开挖的优点,因断面较小,可以进一步查明顶拱的地质条件,以便采取相应的支护对策,确保施工安全。两侧扩挖推进一段距离后,利用埋设仪器时间安排喷锚支护平行作业。

2.1.2 第 II 层开挖

厂房第 II 层布置岩壁吊车梁。为方便岩壁梁施工,分层高度以 7.5 m 为宜。为保证岩壁梁基础开挖成型好,对围岩震动影响最小,预留 3.5 m 保护层。中间用 ROC-612 潜孔钻造孔进行梯段爆破,宽 \times 高为 14 m \times 7.5 m,炮孔间排距 2.0 m \times 1.5 m,炮孔直径和药卷直径分别为 64 mm 和 50 mm,采用“V”形起爆顺序,每次起爆 4 排炮。

中部开挖 50 m 后,两侧预留保护层开挖平行作业,用三臂液压台车钻水平孔,光面爆破。按设计要求,岩台开挖面不得欠挖,局部超挖值不得大于 15

cm,不允许产生爆破裂隙,残孔率应在 80% 以上。为保证岩台开挖质量,进行了专门的爆破设计与试验,根据试验结果,开挖规格线的炮孔布置较密,斜面上布置 4 个炮孔,并将下拐点处的炮孔往设计线内移 5 cm,以保证岩台斜角大于 20°的设计要求,炮孔间距为 50 cm,其余部份间距为 60 cm,装药密度分别为 167 g/m 和 208 g/m,炮孔深度 \leq 3.0 m,以控制超挖。

为减小 III 层开挖爆破对岩壁吊车梁的振动影响,加快 III 层开挖速度,在作保护层开挖时,同时进行第 III 层边墙的预裂爆破。

2.1.3 第 III 层开挖

第 III 层开挖从交通洞出碴,交通洞与主厂房下游墙垂直相交,进厂前做好锁口段喷锚支护,再顺洞轴线方向往厂房内用台车掘进 6 m,然后用潜孔钻打垂直孔,梯段爆破,每次起爆 4 排炮。

第 IV 层开挖以 4[#]支洞为出碴通道,层高 5.7 m,母线洞位于此层,副厂房到此层开挖结束。

第 V 层以下的开挖仍以台阶爆破为主,由于通道难以布置,一般都需要通过溜渣从尾水出渣。由于机坑体型复杂,开挖需采取不同钻爆方式。为控制边墙规格,采用潜孔钻钻孔预裂爆破,深孔台阶爆破开挖,或采用液压台车钻孔光面爆破,边角井坑采用手风钻钻孔光面爆破。

2.2 其它洞室开挖

厂房洞室群开挖的难点之一,就是相邻洞室及交叉洞室的爆破。地下厂房洞室群布置复杂,主厂房、主变室、尾水闸门室 3 大洞室多数平行布置,距离较近,主厂房上下游边墙及端部有大小不同的洞相交,特别是下游边墙,母线洞与尾水洞上下布置,主厂房与主变室之间的岩体整体性受到破坏,若该区内还有构造带通过或受节理裂隙切割形成的不同组合的结构面,对洞室开挖后稳定性有很大影响,对洞室安全施工威胁很大。因此,厂房洞室群施工必须采取工程措施谨慎地进行,尤其在爆破方面要严格控制爆破规模和采取必要的防震措施,做好施工程序设计,对不同的部位采取不同的爆破方法,如尽可能先开挖与主厂房相交的小洞室,靠近主厂房采取浅孔小炮多循环,控制周边孔装药量等;先挖主厂房后开挖交叉洞时,采取先导洞后扩大,先加固后开挖的方法。相邻洞室(1~2 倍洞径距离内)开挖掌子面的距离必须得到控制。

2.3 斜井开挖

厂房洞室群中开挖最难的是斜井。广州抽水蓄能电站高压斜井由上下两段组成,总长 753.66 m,

倾角 50° , 开挖直径 9.7 m , 钢筋砼衬砌直径 8.5 m , 施工难度极大。

斜井开挖采用先挖导井, 再自上而下进行扩挖, 通过导井出碴的施工方法。导井选在设计开挖断面底拱, 断面尺寸为 $2.4\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 。其优点是可以减轻扒碴劳动强度, 加快扩挖进度。缺点是测量放线精度要求较高, 扩挖时炮孔布置不均匀, 耗药量相对中导洞增大, 爆破效率减小。导井开挖由于受断面限制, 只能采取浅孔多循环的办法, 开孔位置和孔向都必须准确, 孔底基本落在同一平面内, 以提高爆破效率。

在我国导井开挖一般采用普通钻爆法, 一次钻孔分段起爆法、吊罐法、爬罐法和反井钻法, 前几种方法由于作业条件差, 钻孔偏差率大, 只能用于较浅的井。自 80 年代后, 竖井、斜井的开挖使用爬罐和反井钻机。广蓄电站高压斜井主要采用阿里马克爬罐开挖反导井, 此法用劳动力少, 适用性强, 开挖速度快, 上斜井下口平均循环进尺 1.99 m , 平均日进尺 2.6 m ; 下斜井下口平均循环进尺 1.61 m , 平均日进尺 2.0 m 。在鲁布格调压井和斜井开挖中, 采用爬罐开挖导井取得平均月进尺 67.5 m , 最高月进尺 180 m 的成绩。目前此法已成为导井开挖的主要方法。

导井贯通后, 便可自上而下进行扩大开挖。斜井扩挖通常有两种方法, 一是水平爆破开挖, 二是台阶爆破开挖。广水蓄能电站(I 期)采用第二种开挖方法。为安全、方便施工, 我们研制成专用的“大断面斜井扩挖平台车”, 这种作业台车相当于 3 层楼高, 加上底部岩面上作业层共 4 层。为了施工交通和风、水、电线路布置, 我们扩大开挖时在斜井一侧稍作超挖, 形成施工通道, 以后浇筑砼滑模上升时再逐段拆除。

斜井扩挖钻爆参数的选择主要是控制大块径, 经过多次试验采用 4 m 钻杆, 孔深 3.5 m , 排炮总装药量 315.4 kg/m^3 , 非电毫秒雷管微差挤压顺序起爆, 周边光面爆破, 单耗 1.52 kg/m^3 。上斜井扩挖历时 248 d , 平均月进尺 80.5 m 。安全、优质、高效攻克了被外国专家喻为“死亡之谷”的电站咽喉要道——高压斜井工程, 是集新技术、新工艺、新材料之大成的典型。

3 钻爆法开挖的几个技术问题

大量的研究和实践证明, 大型洞室(包括长隧洞、斜井、竖井、厂房洞室群)采用钻爆法开挖, 运用

光面爆破、预裂爆破和缓冲爆破技术取得了一系列较好的效果, 只要施工组织管理得当, 抓住以下几个技术因素, 采取相应的技术措施, 就可以达到安全、优质、快速掘进的目的。

3.1 正确选择掘进方案

正确选择掘进方案是资源配备的前提, 也是洞室开挖达到快速、安全、优质、高效、低耗的首要问题。由于每种方案对钻孔、装药、起爆、装渣、支护、通风等要求及循环时间不同, 必须根据工程特点、断面大小、岩石性质、施工机具、爆破器材、周边环境以及施工队伍的经验水平, 综合选择最优的钻爆方案。

在各种断面的长隧洞掘进中, 为加快施工进度, 应尽力创造条件, 提高技术水平, 实现中深孔至深孔一次性光爆成型, 都要采取毫秒雷管和平直工作面一次爆破法。在各种大断面洞室、变断面隧洞、隧洞与隧洞连接交叉处以及其它要求光面很好的工程中, 可选用预留光面层或预掘导洞分次爆破。值得一提的是, 水电十四局近几年在大型洞室开挖中, 采用超前导洞全断面一次爆破成型, 在中等以上的岩石开挖施工中, 简化了施工程序, 取得了安全、优质、快速掘进的效果。

3.2 正确选用爆破器材

选择与岩石声阻抗相匹配的炸药, 使药卷具备良好的初始性能和储存与抗水性能, 易于装填, 近几年来已经引起了工程技术人员的普遍重视。根据炸药和岩石的声波阻抗值理论, 炸药爆炸的波阻抗值与岩石的波阻抗值相等时, 爆炸波能量完全传入岩体内, 能量利用率最高, 从而达到最大限度地破碎岩石, 使爆破效率达到最佳。二滩水电站导流洞、地下厂房以及秦岭隧道硬岩开挖施工中, 与炸药生产厂家联合研制出适合玄武岩、花岗片麻岩的高爆速、少炮烟、低价格的新型炸药, 降低了钻孔比和炸药单耗, 提高了爆破效率。

在光面爆破施工中, 现在普遍做法是采用导爆索加小直径药卷间隔装药结构, 这样既费时又不经济, 选择一种低爆速、低猛度、低密度和传爆性能好的炸药, 实现连续装药结构, 可以大大节省劳动力, 加快装药速度, 实现分段起爆, 减少一次起爆药量。

3.3 合理布置炮孔

在洞室掘进施工中, 根据选定的掘进方案, 在开挖掌子面时分掏槽孔、崩落孔、周边孔在开挖断面上“分类布置”, 使每个炮孔都能起到应有的作用。对于隧洞掘进来说, 首先要合理布置掏槽孔, 这是每个循环进尺的前提。因为掏槽孔只能在仅有的一个垂

(下转第 37 页)

Controlled quarry blasting for dam-filling materials in spillway at Gongbo Gorge Hydropower Station

XU Yun-shan

(Gongbo Gorge Construction Bureau, China Third Hydroelectric Construction Bureau, Xian 710016, China)

Abstract: The geological condition of the spillway at Gongbo Gorge Hydropower Station was very complicated. During the excavation of the dam-filling materials, the adopted blasting parameters were based on field experiment. With skilled construction technology, foundation with good quality was excavated, the stability and smoothness of high slope were ensured, and at the same time, dam-filling with good grading was obtained. The whole process of blasting was under good control.

Key words: spillway; excavation of dam-filling materials; blasting experiment; site control

(上接第 34 页)

直自由面条件下起爆,所以它是整个循环进尺的关键,也是整个爆破的难点,应该根据围岩的性质和产状,优化选择空孔的尺寸和数量,第一段炮孔的装药量,以及微差起爆的时间间隔,以期达到最佳的爆破效果。

其次是周边孔,根据光面爆破质量标准的要求,周边孔中心都应布置在隧洞开挖断面轮廓线上,偏离轮廓线的误差不得大于 10 mm,孔底向外倾斜应小于 4°,即向轮廓线外倾斜不得大于 150 mm,尽可能地减少超挖量和接茬的台阶宽度。

优化掏槽布孔和合理选择周边孔、崩落孔的钻孔参数,用一句通俗的话讲叫做“抓两头,带中间”。要实现隧洞优质、快速掘进,就要在掏槽和周边两个环节上下功夫。

3.4 力求炮孔精度

洞室掘进快速光爆,特别是深孔光爆对钻孔精

度(主要指孔口位置、钻孔方向和钻孔直度)的要求并不亚于一般机械加工的精度。所谓对炮孔精度的要求,主要是为了保证各类炮孔从孔口到孔底都有合理的相对距离,周边孔能使其开挖断面符合设计要求,掏槽孔能获得较高的爆破效率。必须使有关人员深刻认识并乐于接受这一概念,使其在布孔造孔时高度重视炮孔的精度问题,并努力使造成的炮孔符合设计要求,以期达到理想的爆破效果。

参考文献:

- [1] 梅锦煜,党立本. 水利水电施工手册(第 2 卷)[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 谭靖夷. 中国水力发电工程(施工卷)[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [3] 马洪琪. 广州抽水蓄能电站地下厂房开挖及岩锚吊车梁施工[J]. 水利水电施工,1993,(4):17-22.

(编辑:刘运飞)

Summarization of underground chambers blasting excavation

JIANG Jian, GAO Bi-hua

(China 14th Hydroelectric Construction Bureau, Kunming 650041, China)

Abstract: This paper summarily introduces the achievement and development of underground engineering chambers blasting excavation technology, and describes excavation measures and construction order of underground plant chambers. Also, the paper introduces the application of smooth blasting and pre-split blasting in the excavation of plant chambers, crane beam rock desk, shaft and cross chambers, and describes some technology problems in the process of fast smooth blasting.

Key words: underground chambers; excavation; blasting