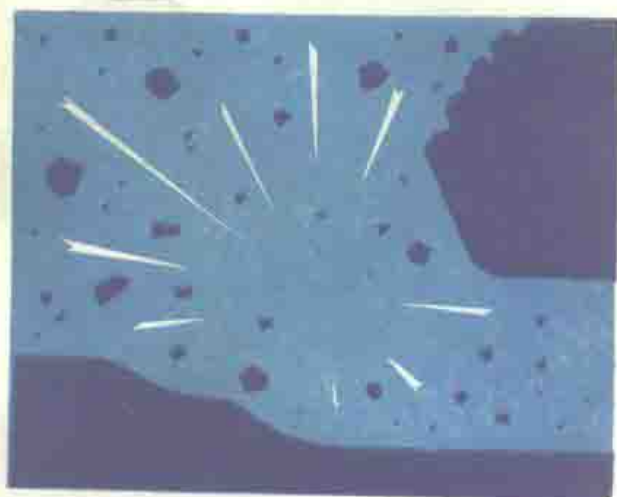


水利电力出版社

水下 岩塞爆破

水利电力部东北勘测设计院编著



895

社

水下岩塞爆破

水利电力部东北勘测设计院编

水利电力出版社

2134/5801

内 容 简 介

本书对水下岩塞爆破技术做了较全面的论述、较系统地阐述了水下岩塞爆破的基本原理及实用技术。对水下岩塞爆破的勘测、设计、施工、试验及观测等内容均做了较详尽的介绍。全书分为概论、测量与工程地质、爆破设计、爆破振动对水工建筑物的影响、施工、金属结构、水工模型试验、爆破观测等八章。对水下岩塞爆破在工程实践中所遇到的主要技术问题,结合典型工程做了重点的论述,本书是介绍水下岩塞爆破的一本专著。

本书可供从事水利、水电、给水、爆破等工程的勘测、设计、施工及科研人员阅读,也可供有关院校的师生参考。

水下岩塞爆破

水利电力部东北勘测设计院编著

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 10.125印张 225千字

1983年4月第一版 1983年4月北京第一次印刷

印数0001—2830册 定价1.05元

书号 15143·5092

前 言

《水下岩塞爆破》一书，总结了我国近年来一些大型的水下岩塞爆破工程的实践经验，并参考了一些国外的经验而编写成的。

我国自一九七一年开始采用这种新技术以来，已有一些水利水电工程成功地应用这种技术在深水中建成了进水口。实践证明水下岩塞爆破技术是在已建成的水库、天然湖泊中修建水下进水口的一种好方法，它具有施工速度快、造价低、能满足工程正常运行等特点，因而得到了越来越多的应用。

本书从工程实用出发，对水下岩塞爆破的勘测、设计、试验、施工及观测等做了较全面的介绍，并且对水下岩塞爆破技术在工程实践中需要解决的一些主要问题，如水下岩塞爆破方案的选择、药室布置与设计、爆破岩碴处理措施、爆破振动对水工建筑物的影响以及水下岩塞爆破中的金属结构、水工模型试验及爆破观测等问题均做了重点的阐述，同时还对我国几个大型水下岩塞爆破工程的主要经验及科研观测成果均做了介绍。

本书由水利电力部东北勘测设计院负责编写，参加编写的人员如下：第一章，管耀东；第二章，丁邦平、彭海成；第三章，贾学广、赵荫炳、邓温璁、王文斌；第四章，赵荫炳、邓温璁、岳峻亭、刘俊民、贾学广；第五章，赵荫炳；第六章，荣显彬；第七章，李裕中；第八章，刘汉丞、赵荫炳

(第八节)。本书由水利水电科学研究院霍永基、钱瑞伍同志审阅，并请大连工学院林皋教授审阅了“混凝土重力坝爆破振动计算”一节。此外，在编审过程中，许多同志提出了宝贵的意见，在此一并致谢。

由于编者水平所限，书中难免有错误和不当之处，诚恳地希望读者提出批评和指正。

编 者

1982年9月

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 水下岩塞爆破的特点及国内外应用本技术的情况	1
第二节 水下岩塞爆破分类和基本要求	13
第二章 测量与工程地质	18
第一节 地形测量	18
第二节 工程地质与岩塞爆破的关系	23
第三节 水下岩塞爆破的几个主要工程地质问题的分析	31
第四节 工程地质勘察	50
第三章 爆破设计	57
第一节 进水口布置	57
第二节 岩塞爆破方案选择	74
第三节 爆破参数的选择与计算	86
第四节 爆破材料及性能测定	98
第五节 电爆网路计算	127
第六节 水下岩塞爆破岩碴处理	137
第七节 洞内堵塞段设计	149
第四章 爆破振动对水工建筑物的影响	168
第一节 岩塞爆破地震的特点	168
第二节 爆破振动破坏判据	170
第三节 爆破震动对混凝土顶拱的影响	175
第四节 混凝土重力坝爆破振动计算	187
第五节 爆破对洞脸边坡的影响和高边墙稳定措施	214
第五章 施工	218
第一节 施工技术要求	218

第二节	施工中的几个问题	219
第六章	金属结构	229
第一节	岩塞爆破对金属结构设计的要求	229
第二节	拦污设备的布置	229
第三节	埋件设计	235
第四节	门型选择	241
第五节	爆破时闸门的防护	243
第六节	爆破时闸门的操作	249
第七章	水工模型试验	252
第一节	概述	252
第二节	模型设计与模型制作	255
第三节	模型试验的操作和测量	267
第八章	爆破观测	275
第一节	观测目的和内容	275
第二节	岩塞爆破的地震效应	275
第三节	水中冲击波	284
第四节	爆破作用下岩体和混凝土的应力与应变	293
第五节	空气冲击波	304
第六节	岩塞口水面鼓包运动	310
第七节	宏观观测	312
第八节	爆破效果检查	313
参考文献		317

第一章 概 论

第一节 水下岩塞爆破的特点及国内外应用本技术的情况

一、水下岩塞爆破的特点

为了取水、灌溉、发电、泄洪以及放空水库等目的，需要在天然湖泊或已建成的水库中修建引水洞或泄洪洞，而这些隧洞的进口常位于水面以下数十米深处。如按常规方法施工，需要在湖中修筑围堰，将要施工的进水口围起来，再把围堰内的水抽干，然后才能进行进水口开挖、衬砌等施工项目。如果水库或湖泊很深，则围堰也需要修筑的很高，这样的围堰修筑和清除都是十分困难的，有时甚至是不可能的。随着爆破技术的发展，已经找到了一个不用围堰修筑水下进水口的方法，这就是水下岩塞爆破。国内外工程实践已经证明，水下岩塞爆破是一个切实可行、经济而又迅速的施工方法。

当采用水下岩塞爆破技术修建水下进水口时，首先是按照常规的施工方法修建隧洞，而在靠近库底或湖底处，预留一定厚度的岩石（即岩塞），最后采用爆破的方法，一次炸除预留的岩塞形成进水口（图1-1）。

由于预裂爆破及毫秒迟发爆破等技术的采用，已能使一次爆破形成的进水口具有预期的形状，可以满足水力学方面对进水口的要求；也可以使爆破对周围岩石及附近建筑物的影响，减小到可以接受的程度。如我国丰满泄水洞进水口位于

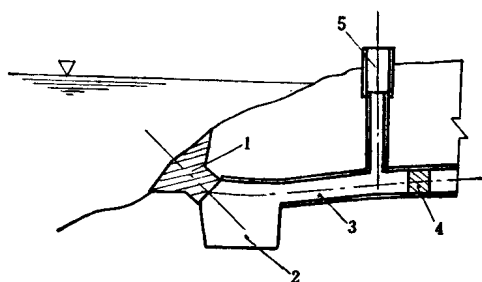


图 1-1 水下岩塞爆破示意图

1—岩塞；2—聚碴坑；3—引水洞；4—临时堵塞段；5—闸门井

已建成的丰满水库水面以下20余米，采用水下岩塞爆破技术建成了直径11米的水下进水口，泄水量可达1129秒立方米，岩塞口距大坝较近，爆破时保证了大坝的安全。

采用水下岩塞爆破技术，由于省去了工程量大的围堰工程，具有造价低、施工速度快的优点。以我国第一个水下岩塞爆破工程——辽宁清河引水隧洞水下岩塞爆破为例，该工程为在已建成的清河水库水面下24米处，修建引用8米³/秒流量的引水洞。进水口如采用围堰方案施工，则需在水库内修建高达30米的土石围堰，土石方量为15万立方米，工期需三年，造价300万元。而采用水下岩塞爆破方案，仅需挖石方3000立方米，造价为20万元，工期为一年。当然，水下岩塞爆破所形成的进水口不如常规施工方法那样平整，但可以满足工程使用的要求。除此以外还可以考虑采用其它方案，但均比较复杂。由于水下岩塞爆破具有明显的优点，在修建水下进水口工程中得到了越来越多的应用。

二、国外应用水下岩塞爆破技术简况

国外采用水下岩塞爆破技术较早，智利天然湖泊与水库

采用水下岩塞爆破的情况在1877年已经公布。挪威是采用水下岩塞爆破较多的国家。挪威天然湖泊很多，近七十年来广泛采用水下岩塞爆破方法开发利用天然湖泊，据粗略统计，这个国家已经完成了三百个水下岩塞爆破。

挪威阿斯卡拉工程为一地下水电站，进水口位于水下85米，采用水下岩塞爆破施工，于1970年爆通，它是位于水下最深的岩塞。

该工程岩塞断面尺寸虽然不大（岩塞口过水断面面积为5平米~6平米），但位于水下很深，为确保爆破成功，事先做了详细的勘测工作，并进行了室内水工模型试验。为了可靠，该工程设计了高低两个岩塞，低岩塞断面积为6平米，高岩塞断面积为5平米，两个岩塞水平距离约40米，高差10米，同时起爆。低、高两个岩塞分别装硝化甘油炸药250公斤与180公斤。

加拿大休德巴斯水电站的水下岩塞爆破是迄今为止规模最大的岩塞爆破工程。休德巴斯水电站装机74.6万千瓦，为了对下游进行调节，大坝早在1943年就已建成。要在很深的水库中修建普通的进水口是十分困难的，因而决定采用水下岩塞爆破。岩塞直径18米、厚21米，位于水下15米，总装药量为27000公斤，爆破石方10000立方米，于1960年爆破成功。

该工程另一个值得注意的特点是岩塞口距已建成的大坝仅200米。大坝为混凝土重力坝，最大坝高48米、长360米。爆破前进行了现场爆破试验，以确定水下岩塞爆破对坝体的影响。爆破时大坝进行了动力观测，测得坝顶的振动加速度为1.29、振动速度为10~15厘米/秒、振幅为0.2厘米。爆破后坝体仅出现了少量裂缝，检查廊道的石灰质附着物有

剥落。爆破前从钻孔取的岩心表明，混凝土与岩石结合良好，爆破后取的岩心表明，结合面没有破坏。

挪威还应用水下岩塞爆破进行湖泊沟通和修筑海底取水工程。1932年用水下岩塞爆破沟通了纳湖和哈格达尔斯湖。连接隧洞长500米，断面积10平方米，两端洞口各设一个岩塞，装药150公斤，同时爆通。爆破效果良好，两端洞口尺寸符合设计要求，没有做任何补充修筑工作。1935年用水下岩塞爆破修建了弗利埃尔海湾的海底取水工程。

美国雪湖工程用水下岩塞爆破方法，打通了位于水面下50米处的新建鱼道进口。法国、秘鲁、意大利等国也采用过水下岩塞爆破技术修建水下进水口。

国外工程都较重视水下岩塞爆破的勘测工作，也很注意选择合适的爆破方案，因而取得了满意的爆破效果。但也发生过因地质条件未查明，爆破方案选择不当而影响施工或进行多次爆破的实例。

挪威玛尔克湖的福尔丹尼引水发电工程，进水口采用水下岩塞爆破施工，在施工中遇到了强烈漏水问题。引水洞长1000米，洞断面为4平方米。闸门井布置在距湖岸110米处。自闸门井向湖底掘进84米后遇到一个强透水裂隙，涌水量很大，不能继续前进。采用水泥灌浆等措施，止水无效，后来向裂隙吹送压缩空气，通过气泡逸出点确定了裂隙的位置。该裂隙与隧洞成 45° 角，向东南方向逐渐尖灭（图1-2）。第一次将隧洞线拐5米后又遇到了该裂隙，第二次掘进22米后，使掌子面开挖到接近湖底4米的地方。开挖聚碴坑后，在岩塞内布置了35个炮孔，装药90公斤，顺利爆通过水。

挪威斯科尔格湖水下岩塞爆破是一项因湖底地质条件未查明，爆破方案选择不当而被迫进行多次爆破和大量潜水作

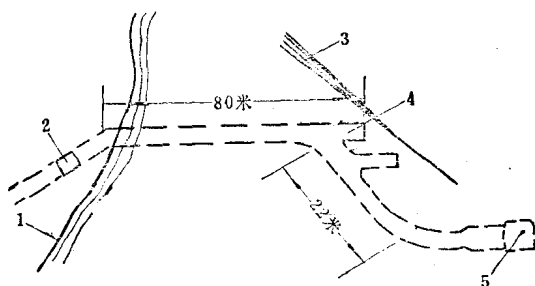


图 1-2 玛尔克湖引水隧洞位置变更图

1—湖岸线；2—闸门井；3—透水裂隙；4—原隧洞方向；5—最终爆破点

业的工程实例。

为满足某工厂的生产供水，从斯科尔格湖引用 $0.6 \text{米}^3/\text{秒}$ 的流量。引水隧洞长270米，断面积 1.5×1.7 米，岩塞位于水下30米（图1-3）。爆破前在冬季封冻后在湖面上完成了少量的勘探钻孔，根据钻孔资料认为岩塞处覆盖层厚仅0.5米，当隧洞掘进至原定岩面6米处，通过探孔发现掌子面前3.7米处有一强透水裂隙，无法继续前进。考虑到引水量不大，决定将洞口与该裂隙连通。开挖聚碴坑后，进行了一次药量93公斤的爆破。由于岩塞厚度较大，湖底有超过1米的大块堆积物，起爆后未能将进口爆开，进口处留下大小岩块组成的厚2米的顶盖，流入水量仅15公升/秒。以后又进行了七次爆破和大量潜水作业，历时两个月，方打开了进口使引水洞投入运行。

三、我国应用水下岩塞爆破技术情况

我国自七十年代开始采用水下岩塞爆破技术以来，已有几个工程成功地修建了水下进水口。

辽宁省清河热电厂供水隧洞进水口是我国第一个水下岩

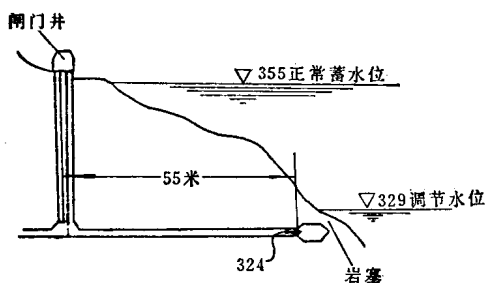


图 1-3 斯科尔格湖引水工程

塞爆破工程，于1971年7月18日爆破成功。该岩塞位于已建成的清水库水面以下24米深处，设计过水量8米³/秒。曾对围堰方案与水下岩塞爆破方案进行了比较，如前所述水下岩塞爆破方案具有造价低、工期短的明显优点。岩塞口处于半风化的前震旦纪变质岩中，节理裂隙及断层等地质构造发育，岩石透水性较强。岩塞设计直径为6米，岩塞厚度为7.5~8.5米，爆破土石方800立方米。采用聚碴坑容纳爆破下来的岩碴，并考虑利用爆后气浪和水流挟带岩碴的能力，将聚碴坑施工平硐适当扩大作为聚碴坑的延长部分，容碴50%。在碴坑后面设计了拦石坝和拦石坑，阻截被冲入隧洞的岩碴。为了避免闸门被冲击变形，爆破时不下闸门，在闸门后侧引水洞中浇筑厚2米的混凝土堵塞段挡水(图1-4)。

为了取得爆破成功，爆破前在现场做了多次爆破试验、岩塞厚度试验，并进行了室内水工模型试验，研究了聚碴坑的形状与聚碴效果。在施工中采取了恰当的措施处理了渗漏水，在药室开挖后用21小时完成了装药及堵塞工作，顺利合闸起爆。

为了解爆破对水工建筑物的影响，积累资料，爆破时进

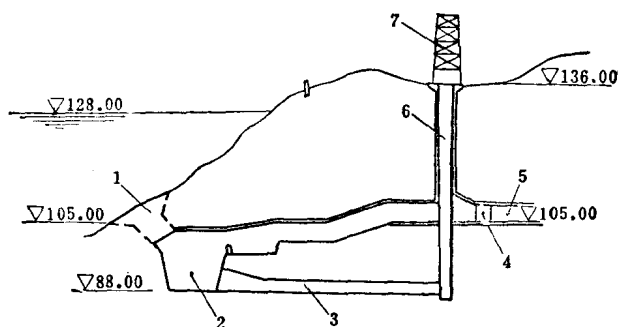


图 1-4 清河岩塞爆破进水口布置

1—岩塞；2—聚碴坑；3—聚碴平洞；4—临时堵塞段；5—引水洞；
6—闸门井；7—施工井架

行了爆破振动、水中压力波、岩石中应力波等项观测工作。仪器观测资料及宏观调查表明，爆破对大坝及其它水工建筑物没有产生破坏性影响。

爆破后经潜水检查，爆破口满足使用要求，但由于装药量偏多，致使岩塞实际开口尺寸比设计偏大（图1-5）。原设计爆破方量为590立方米，实测方量约800立方米。原设计过水断面积为13平方米，实测过水断面积约为24平方米。周边预裂孔因孔内没有装药，未收到预期效果。从开口剖面形状看，下破裂线下移。外口设计标高为105.0米，爆后实测标高为104.0米左右，对取水条件是有一定好处的。没有口外堆积，是本次爆破的明显优点。然而口内超控，加大了破坏作用，会影响洞口长期运行的稳定性。

在清河水下岩塞爆破之后，江西省玉山七一水库引水及泄洪洞、黑龙江省镜泊湖扩建水电站引水洞、河南省香山水库泄洪洞、吉林省丰满水库泄水洞、北京市密云水库泄水洞等工程相继采用水下岩塞爆破技术在深水下建成了进水口。

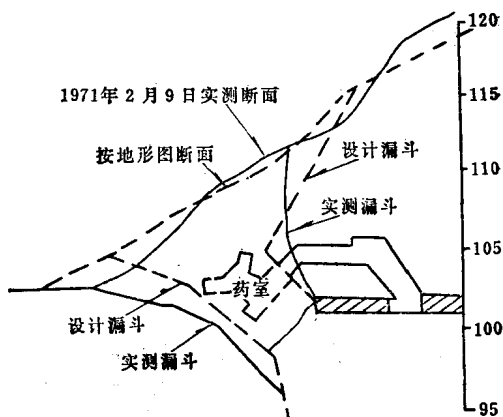


图 1-5 清河岩塞爆破开口图

江西省玉山县七一水库早在1960年建成，为扩大发电和防洪效益，在大坝右岸扩建一条长 556 米、内径 3.5 米的发电、灌溉兼放空水库的压力隧洞（图 1-6），进水口采用水下岩塞爆破。岩塞位于水下 18 米，岩塞直径 3.5 米，实用炸药 938 公斤。1972 年 11 月 8 日隧洞进水口爆通。但由于闸门及启闭设备没有安装，爆后无法控制水流，造成水库水位急

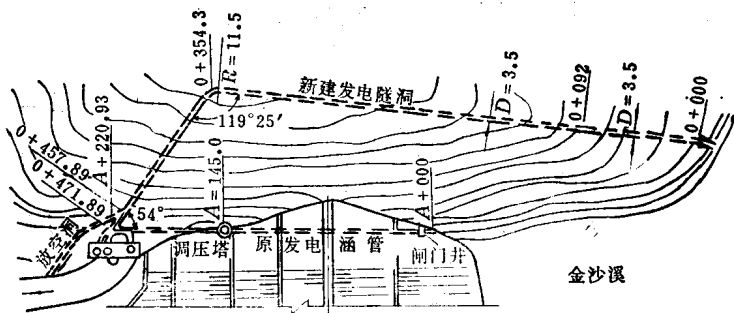


图 1-6 玉山工程平面布置

剧下降，使土坝于11月9日及24日发生两次较大滑坡。在放空水库后对滑坡进行了整治。

玉山七一水库水下岩塞爆破，是国内首先采用泄碴爆破的工程，为研究泄碴对隧洞结构及闸门埋件的磨损，提供了有益的经验。它的特点是不设聚碴坑，利用爆破后水流的力量将爆破岩碴经隧洞冲向下游河道。爆后检查发现隧洞底部混凝土磨损深约10厘米，局部钢筋外露。进口闸门预埋件未变形，闸门安装后启闭较顺利。玉山的经验表明，当采用泄碴方式时，需对隧洞结构采取一定的防护措施。而后在香山、密云水库均成功地采用了泄碴爆破方式。

河南省新县香山水库泄洪洞水下岩塞爆破于1979年1月7日爆通。岩塞口位于水下25米深处，距大坝（浆砌石重力拱坝，坝顶长214米，最大坝高68米）最近点为100米。岩塞设计直径为3.5米，共装药256公斤。密云水库潮河泄空洞进水口水下岩塞爆破于1980年7月4日爆通，岩塞口位于水面以下27.8米，距大坝（土坝，最大坝高56米）坡脚138米。岩塞设计直径5.5米，装药738公斤。上述两工程的共同特点是均采用炮孔装药和开门泄碴的爆破方式。

黑龙江省镜泊湖扩建电站进水口水下岩塞于1975年11月19日爆破成功。在23米水深处建成了可通过 $153.6 \text{ 米}^3/\text{秒}$ 流量的进水口。该岩塞跨度为8米、高9米的城门洞形，总装药量为1230公斤。

镜泊湖水下岩塞的厚度较薄，采用了单层药室装药方式。爆破指数选用小值，爆破每立方米岩石所用炸药量较少（镜泊湖为1.11公斤，清河为1.5公斤，休德巴斯为2.7公斤）。

该工程岩塞上部的山体中存在顺坡向节理和断层，为防止爆破或运行时山体塌滑，采用了大吨位预应力锚索加固

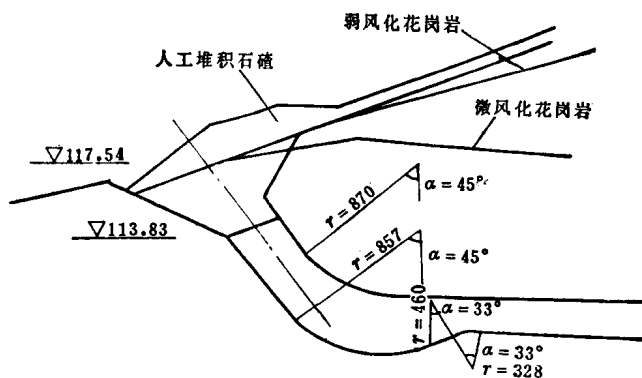


图 1-7 香山水库岩塞爆破进口布置

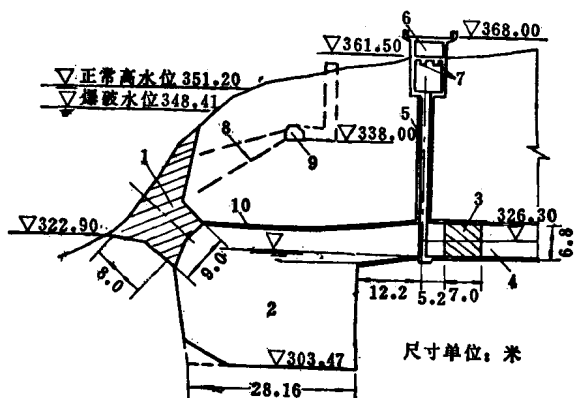


图 1-8 镜泊湖进水口布置图

- 1—岩塞；2—聚碴坑；3—后堵塞段；4—引水洞；5—闸门井；6—闸门室；7—闸门室大梁；8—预应力锚索；9—工作平洞；10—碴坑顶拱

进水口山坡岩体。

爆后潜水检查，爆破口成型良好。爆破时对振动、岩塞口附近岩石的动应力、预应力锚索动应变、水中冲击波等进行了观测。