

工程爆破设计

黄绍钧 编著

兵器工业出版社

工 程 爆 破 设 计

黄绍钧 编著

兵器工业出版社

内容简介

本书主要介绍了工程地质和炸药、梯段深孔爆破(含混凝土面板堆石坝坝料开采爆破新技术)、峒室爆破(含定向爆破筑坝坝工安全问题)、预裂爆破和光面爆破、起爆系统等的设计问题。其内容丰富、资料翔实、附有众多图表和工程爆破实例,有普遍的实用性。本书是作者根据几十年的爆破实践,参考国内外有关设计研究成果,并考虑到今后工程建设的需要而编著的,它对我国水利水电、建筑、铁道、交通、冶金及其他工业部门的工程技术人员、工人和有关专业师生均有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

工程爆破设计/黄绍钧编著. —北京:兵器工业出版社, 1996
ISBN 7-80132-004-2

I. 工… II. 黄… III. 工程-爆破-设计 IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 04707 号

兵器工业出版社出版发行
(北京市海淀区车道沟 10 号)
各地新华书店经销
国营五三一印刷厂印装
(河南 济源)



开本: 850×1168 1/32 印张: 11.25 字数: 294 千字

1996 年 8 月第 1 版 1996 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—1500 定价: 16.80 元

作者介绍

黄绍钧系中国水利水电科学研究院教授级高级工程师，现任中国民爆学会委员会委员。

该同志 1955 年大学毕业后参加过水利渠系和坝工设计。自 50 年代末至今，一直从事爆破设计、施工和试验研究工作。它包括开挖爆破、控制爆破、石料开采爆破、水下爆破、定向爆破筑坝、拆除爆破以及大量的混凝土和钢筋混凝土爆破等方面内容，共计 20 多个工程。其中有两项爆破工程与有关单位合作，获全国科技大会奖和全国科技进步一等奖。几十年来的工程实践与研究，使他积累了丰富的经验和适应各种场合解决工程实际问题的能力。他曾公开发表了论文“三门峡水利枢纽改建施工中的混凝土开挖控制爆破”、“西北口混凝土面板堆石坝石料开采控制爆破技术的试验研究”、“评水利电力建设中的水下爆破”、“对定向爆破筑坝几个问题的探讨”等近 30 篇。并于 1977 年和 1993 年与同行合著了《电力起爆技术》和《水下岩塞爆破技术》两书。《工程爆破设计》一书的出版，将为工程爆破设计、施工以及试验研究等方面增添新内容，起到新的应有的作用。

前 言

在我国的工业生产、铁道交通、水利水电、冶金矿山等部门都广泛应用爆破方法施工。用炸药来破碎岩石是水利水电工程开挖、采石和坝工建设不可缺少的手段。

根据不同的对象，为了实现不同的目的和要求，将采用不同的爆破方法，其中包括浅孔爆破法、深孔爆破法、峒室爆破法以及少用的药壶爆破法和裸露药包爆破法。

将炸药埋置接近地面的岩体内部爆破，可能产生多种不同现象：（1）将岩石破碎并抛掷至一定距离；（2）药包附近一定范围内的岩石被破碎成不同尺寸的岩块。或者在地表处根本不显露，仅将内部部分岩石碎裂。就是说，每一起爆破工程，不论规模大小，应有各自具体的要求。围绕着工程要求，进行爆破方法的选择、设计与施工。

由该项工作的特点所决定的，在任何情况下，爆破设计必须分析环境和有关条件，体现安全和达到预想的效果而进行精心设计。也可能由于认识上的原因，在进行大规模的生产性的爆破之前，需要安排一定的试验和考虑必要的摸索过程。

本书的特点，基本上是从坝工、施工要求出发，结合作者的设计、施工与试验研究的经历，有重点地开展对若干方面问题的论述。内容丰富、系统，附有较多的图表和工程实例，实用性强。作者的宗旨是清楚的，愿它在未来的工程建设中，直接指导生产和产生经济效益。

首先介绍的是爆破的对象——岩石和开挖爆破的能源炸药。岩石有三大类组，基于岩性和风化作用，使岩石强度和爆破性有差异。而它们又是被裂隙切割的，这就体现了工程爆破的“特殊”条件。目前，我国自己生产的工业炸药品种诸多，有胶质、硝酸铵、水胶和称颂后起新秀的乳化炸药。生产实践使人们理解和体

会到，应该如何选择和使用它们。

梯段深孔爆破是工程上应用最多的一种方法，机械化程度高，效率也高。水工混凝土坝基础、宽深溢洪道以及大型地下厂房的下扩等具有巨大工程量的项目，大多采用梯段深孔爆破。手持式风钻孔爆破是适应不了施工强度要求的，只能是辅助措施。例如，龙羊峡、安康、东江、东风……等大型水电站的坝址开挖都是利用这种方法施工的。我国山区石料丰富，用爆破法开挖工程弃料上坝，为高速而经济的举措。在“六五”计划期间，我们结合鲁布革溢洪道开挖取料上坝，进行了爆岩破碎度的技术研究。80年代，随着混凝土面板堆石坝的再蓬勃兴起，为广泛应用控制爆破技术开采石料，提供了良好的条件和开辟了广阔的前景。“七五”期间，我们结合西北口工程对爆岩块度问题进行了技术攻关。继后，作者又在福建万安溪、四川大桥、黑龙江莲花和湖南白云水电站主持了此项研究工作，取得了较好的成果。10年来，已建与在建的混凝土面板坝有10多座，列入方案研究和正在设计的坝高在60m以上的有40多座，估计其总开采坝料石方量在1.8亿 m^3 以上。因而，发表前一时期的试验研究成果和实施经验，颇有重要意义。梯段深孔爆破采料还应用在河工和制作混凝土骨料等方面。

洞室爆破是爆破大量土石方的重要方法之一。60年代曾应用此法开挖水电站导流明渠、非常溢洪道以及渡汛拆除堤坝等，都取得了预计的效果。目前，有的工程用它来降低标高，开拓路面或工程采石，起到了应有的作用。我国利用定向爆破法筑坝，是继前苏联之后于1950年末开始的。此项技术的应用必须适应和最大限度地满足坝工和运行安全的要求。在今天来说，为使该坝型和筑坝方法有竞争力或者说在方案比较上有现实的可能性，必须进一步揭示和分析这种方法筑坝所存在的某些弱点，并采取对策和措施。几十年来，通过若干工程的设计、施工与运行，使问题进一步明朗化。作者本着“爆破是方法，设计必须立足于坝工”的思想原则，研究了几个方面的重要问题；同时，提出了一些过去

没有重视的问题，期望能对继续研究、发展和应用起到阶梯作用。

控制工程开挖轮廓，保障界外岩体的安全，是控制爆破的现实任务。为此目的，它可有多种方案和做法。按近代爆破的概念划分主要是预裂（同期超前起爆或先期）和光面（同期滞后起爆或后期）爆破两项技术。据美国杜邦公司的解释，预裂爆破是两邻炮孔装药同时起爆，冲击波碰击产生拉伸应力形成剪切破碎带。70年代，从葛洲坝工程坝基开挖进行试验开始以来，在水利水电工程上得到了广泛的应用。实践总是先于理论，至今该项技术仍处于经验性的应用阶段。有关理论公式与实际仍有差异，需继续研讨。光面爆破技术的应用洞挖多于明挖，故在本书上举了洞挖的例子。从现实出发，作者主要为生产提供预裂和光面爆破有关参考数据（包括国外国内经验），并希结合当地工程地质条件灵活掌握和有效地参考与应用。

关于起爆方法，过去文献常述及火花、电力和导爆索起爆法三种。火花起爆是人工点燃导火索后利用导火索火焰起爆雷管而激发炸药爆炸的，难以适应大量爆破的需求，另加其他方面原因，本处不予叙述。一种新型的起爆器材即导爆管的出现和导爆管起爆法的应用，在起爆方法上增加了新内容，在工程实践中显示了它的特色。目前，它与电力起爆法一样，广泛应用于各项爆破作业中。分析电力、导爆管与导爆索等三种起爆方法以及它们之间的有效组合设计，当为此方面论述的重要内容。毫无疑问，当设计方案合理和起爆方法可靠时，才能达到期待的爆破效果。因此，它就成为本书不可缺漏的重要部分。

为药量计算方便，提供了2个药包量计算表的附录。并列出了主要参考文献。

在此需要说明的是，考虑到各国爆破方法的应用现状与发展，以及国内目前的使用情况和习惯，在不同章节中表示同一种量的符号有些不同，还有的用同一符号表示不同的量，对此都分别作了注释。

在编写本书过程中，方淑秀女士、黄毓先先生做了许多电算

工作。初稿完成后，杨杰昌先生对地质部分，刘宏梅先生、费骥鸣先生对第二章部分提了有益的意见。谢剑华女士也给予了热情的协助。在此，对他们表示衷心的感谢。

由于资料、时间和水平限制，遗漏和错误之处，恳请读者批评指正。

编著者

1995年5月于北京

目 录

前言	(1)
第一章 工程地质和破碎岩体的常规能源——炸药	(1)
第一节 工程地质和爆破	(1)
一、岩石类别	(1)
二、岩石特征	(4)
三、岩体风化和结构型式	(5)
四、工程地质条件和爆破的关系	(9)
五、关于岩石的碎胀性	(16)
第二节 炸药——开挖和爆破的常规能源	(17)
一、炸药品种、组分及其技术性能	(17)
二、两种炸药的破碎效果对比试验	(28)
三、开挖边界上实施控制爆破可利用的炸药	(30)
四、工业炸药威力及其换算方法	(31)
第二章 梯段深孔爆破设计	(34)
第一节 钻爆设计参数	(36)
一、炮孔直径和装药密度	(36)
二、抵抗线 最大抵抗线 底盘抵抗线	(39)
三、炮孔间距	(46)
四、梯段高度和钻孔深度	(49)
五、单位体积药量和孔内装药量	(51)
六、钻孔超深及其影响因素	(57)
七、炮孔堵塞设计和岩体补充破碎措施	(62)
第二节 梯段穿孔方式、优缺点及其使用条件	(67)
一、梯段钻孔和装药的基本要素	(67)
二、梯段钻孔方式、取用原则和经验	(69)

三、钻孔平面布置问题	(71)
第三节 微差爆破间隔时间的确定	(72)
一、微差爆破的特点	(72)
二、微差爆破间隔时间计算	(73)
三、微差雷管作用时间的测试和选择	(76)
第四节 布孔及其起爆方式组构方案的特点和选用	(82)
一、单排钻孔布置和起爆顺序	(82)
二、多排钻孔布置及其起爆方式的设计	(85)
三、关于布孔及起爆方式实施方案的合理性	(88)
四、微差挤压爆破概述	(89)
第五节 装药结构设计	(91)
一、药包在钻孔内的分布	(91)
二、药包分布的基本原则和要求	(92)
三、一次多岩性、构造发育的工程爆破装药 结构设计	(94)
四、关于改善岩石破碎的均匀性问题	(97)
五、结束语	(100)
第六节 爆岩块度分布设计和预报问题	(100)
一、工程破岩设计根据和原则	(100)
二、按机械设备的工作能力控制爆岩块径	(101)
三、爆岩破碎的基本条件和规律	(102)
四、梯段深孔爆破爆岩破碎特性的研究	(104)
五、块度分布设计模型及其应用	(105)
第七节 岩体结构特征和爆破效果	(110)
一、岩体结构和爆炸能量的利用	(110)
二、地质结构面、爆破作用方向和漏斗的形成	(111)
三、地质因素和设计钻爆参数的关系	(112)
四、地质结构面与爆破作用方向对块度分布 的影响	(116)
五、沉积岩中爆破破碎规律的研究	(116)

六、补充论述特殊条件下的爆破·····	(121)
第八节 爆岩破碎度及其级配的试验研究·····	(121)
一、爆岩破碎度指标表示法·····	(122)
二、主要参数与装药对爆岩破碎度的影响·····	(122)
三、梯段深孔爆破 P_5 与 $P_{0.1}$ 值大小的论述·····	(127)
四、爆岩颗粒级配和碾压效果关系·····	(130)
第九节 爆岩抛掷兼论个别岩块的飞散·····	(133)
一、抛距和抵抗线大小·····	(133)
二、抛距和炸药用量·····	(134)
三、微差和瞬时爆破的差异·····	(135)
四、穿孔方式对爆岩抛距的影响·····	(135)
五、钻孔布置与起爆方式对抛距的影响·····	(137)
第十节 关于水工建筑物基础开挖的质量控制问题·····	(141)
一、钻爆破坏影响问题·····	(142)
二、梯段爆破破坏影响范围·····	(144)
三、保护层的开挖问题·····	(145)
四、基础开挖起爆药量限制问题·····	(146)
五、问题和建议·····	(146)
第十一节 坑道扇形深孔爆破和梯段深孔爆破 设计方案·····	(147)
一、工程建设要求和爆破设计方案·····	(148)
二、扇形爆破孔设计参数·····	(149)
三、扇形布孔和工程地质条件关系·····	(151)
第十二节 关于严格按设计施工的提示·····	(152)
第三章 峒室爆破设计和定向爆破筑坝的研究·····	(154)
第一节 峒室爆破设计·····	(155)
一、药包布置方案·····	(155)
二、设计参数及药包量的计算·····	(160)
三、地形条件和爆堆分布·····	(170)
四、爆破及其效果示例·····	(174)

第二节 定向爆破筑坝设计	(178)
一、勘测工作和坝址选择	(178)
二、爆破规划和药包布置	(181)
三、药量计算式和参数选用	(187)
四、爆破时水工隧洞的安全校算	(190)
五、岩石抛掷堆积计算	(197)
六、枢纽工程布置和坝工结构设计特点	(207)
七、定向爆破筑坝若干基本问题的初步研究	(218)
八、定向爆破筑坝各设计阶段基本任务和 工作要求(初稿)	(249)
第三节 峒室爆破若干施工设计和具体实施问题	(252)
一、施工准备工作	(252)
二、导洞和药室的布置设计	(253)
三、装药和堵塞	(258)
第四章 控制爆破技术	(261)
第一节 轮廓控制爆破类别	(261)
一、线状钻孔法	(261)
二、缓冲爆破法	(262)
三、光面爆破法	(262)
四、预裂爆破法	(264)
五、若干控制爆破法在特殊场合下的组合应用	(264)
第二节 预裂爆破技术	(265)
一、预裂爆破成缝机理的某些见解	(265)
二、预裂爆破的质量控制和有关问题说明	(266)
三、预裂爆破的减震效果	(268)
四、预裂爆破主要设计参数	(269)
第三节 光面爆破技术	(281)
第四节 工程轮廓控制爆破设计应注意的几点	(284)
第五章 起爆系统设计	(285)
第一节 电力起爆法	(286)

一、金属桥丝炽热式电雷管发火理论·····	(286)
二、恒定直流电作用下的动力参数和串联准爆 条件·····	(289)
三、交流电性质、相位关系和串联准爆条件·····	(293)
四、常用网路型式及其设计计算方法·····	(300)
五、电容式起爆器起爆的网路设计和准爆问题·····	(312)
第二节 导爆管起爆法·····	(322)
一、塑料导爆管的结构和有关性能·····	(322)
二、关于导爆管的侧向起爆论述·····	(324)
三、微差爆破和网路·····	(326)
四、网路联结型式和起爆顺序·····	(330)
五、对未来网路设计和实施的提示·····	(332)
第三节 导爆索起爆法·····	(334)
一、导爆索结构及其基本特性·····	(334)
二、工业导爆索的起爆和传爆性能·····	(334)
三、导爆索网路设计·····	(336)
四、导爆索的重要功能·····	(336)
附录 A 深孔或浅孔爆破单位长度药包量计算表·····	(339)
附录 B 峒室爆破鲍氏公式 $Q=KW^3(0.4+0.6n^3)$ 药包量计算表 ($K=1.0\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) ·····	(341)
主要参考文献·····	(343)

第一章 工程地质和破碎岩体的常规 能源——炸药

第一节 工程地质和爆破

一、岩石类别

按照岩石的成因，分为三大类。第一类是：由熔融岩浆喷出地面或侵入地壳之内冷凝而成的，称为火成岩，又叫岩浆岩。火成岩的侵位深度和冷却速度有关，于是便影响结晶粒度。喷出的冷却快形成细晶、隐晶或非结晶体，深部的冷却缓慢而形成粗粒结晶体。第二类以水为主动力，风与冰川等次之，由岩石、贝壳或其他有机物积聚，也可能因化学反应沉淀物的沉积作用而成的，称为水成岩或叫沉积岩。正因为它们连续分层和有一定的组织方向，故性能具有定向差异性。第三类是由以上两类岩石，在高温、高压等作用下，使岩质重行组织或改变成分，形成一种新的特异的岩石，称为变质岩。如砂岩可以变成石英岩，此仅组织结构起变化，而矿物成分无影响；辉绿岩可以变为普通角闪片岩，则矿物成分、结构皆起变化。三大类岩石再分类，见表 1.1、表 1.2 和表 1.3^[1]

表 1.1 主要岩浆岩的分类及其鉴定特征

岩浆岩的成分分类		酸性 岩浆岩	中性岩浆岩		基性 岩浆岩	超基性 岩浆岩
矿物 特征	SiO ₂ 的含量×100	>65	65~52		52~40	<40
	颜 色	浅色（浅红—灰色）		深色（深灰—绿黑）		
	有色矿物的含量×100	深色矿物， 以黑云母 为主 10~15	角闪石 为主 15~25	角闪石 为主 25~35	辉石为主 35~55	橄榄石 为主 >55

续表

岩浆岩的成分分类			酸性 岩浆岩	中 性 岩 浆 岩	基 性 岩浆岩	超基性 岩浆岩	
矿 物 特 征	含石英的情况		有	含少量或不含石英		无	
	含橄榄石的情况		无	不含或含很少量橄榄石		有	
	含长石情况		含正长石为主		含斜长石为主		不含或含 少量长石
成因 构造 结构	含主要的矿物成分		石英、正 长石黑云 母、角闪 石	正长石黑 云母、角 闪石、辉 石	斜长石角 闪石、黑 云母、辉 石	斜长石辉 石、角闪 石、黑云 母	橄榄石、 辉石、角 闪石
	块状	主要为晶质结构 少数为斑状结构	花岗岩	正长岩	闪长岩	辉长岩	橄橄榄岩
浅 成	块状	细粒显晶质结构 斑状或似斑状结 构少数隐晶质结 构	花岗斑岩	正长斑岩	闪长斑岩 玢岩	煌斑岩 辉绿岩	苦橄斑岩
喷 出	流放状 气孔状 杏仁状	斑状结构 隐晶质结构	流纹岩	粗面岩	安山岩	辉绿岩 玄武岩	苦橄岩
		玻璃质结构	珍珠岩、黑曜岩、浮石等				少见

表 1.2 沉积岩分类表

岩类	碎屑岩类			粘土岩类	化学岩及生物化学岩类	
结 构	碎屑结构			泥质结构	化学结构 或 生物化学结构	
	砾质结构 ＞2mm	砂质结构 2~0.05 mm	粉砂质结构 0.05~0.005 mm	＜0.005 mm		
亚类	砾岩	砂岩	粉砂岩	粘土岩	碳酸盐	岩盐等
主要岩石种类 (根据矿物成分)	砾岩	石英砂岩 石英长石砂岩	粉砂岩	页岩 泥岩	石灰岩 白云岩	岩盐 石膏
	角砾岩	铁质砂岩 钙质砂岩			泥灰岩	煤炭等

表 1.3 主要变质岩的分类及其鉴定特征

岩类	构造		亚类	岩石名称	主要矿物成分	结构和其它特征
片状岩类	具片状构造	片状构造	片岩	云母片岩	云母、石英	黑云母多时，色深，叫黑云母片岩。白云母多时，色浅，叫白云母片岩，石英含量虽多，但颗粒很小，肉眼较难看出。可剥离成薄片
				绿泥石片岩	绿泥石	深绿色，矿物呈鳞片状或叫片状，硬度小于3
				滑石片岩	滑石，绢云母	为白、灰白或带浅绿的色调，具滑感，硬度小于3
				角闪石片岩	角闪石、石英	深绿或黑色、片理不明显，较坚硬
	具有片理	千枚状构造	千枚岩		绢云母、粘土矿物、石英	紫红色或褐色，具典型的千枚状构造，丝绢光泽，片理发育
		板状构造	板岩		石英、绢云母、粘土矿物	能剥离成板状，非常致密，击之音清脆，有时具有丝绢光泽
		片麻状构造	片麻岩	花岗岩麻岩	长石、石英、云母、角闪石	浅色粒状的石英或长石，与片状的云母或长柱状的角闪石呈定向交错排列，颜色大多与各种花岗岩相似，云母含量越多，片理越发育
	角闪石片麻岩			角闪石、云母、长石		
	黑云母片麻岩			黑云母、长石、石英		

岩类	构、造	亚类	岩石名称	主要矿物成分	结构和其它特征
块状岩类	块状构造	大理岩	方解石（白云石）及各种杂质	颜色变化很大、有红、橙、黄、绿白、灰等色，及各种花纹，结晶粒状。有时遇盐酸能起泡	
		石英岩	石英	多为细粒结晶致密，白或灰色、油脂光泽，极坚硬	

二、岩石特征

岩石是矿物颗粒的聚集体。岩石各向异性是岩石结构性的反映。岩石有两种结构性：（1）微观结构性，即岩石内部的结构性，它是以矿物结晶程度、颗粒大小与形状以及胶结方式为特征的；（2）宏观结构性，即岩体的结构性，它是以岩体存在的各种不连续界面为特征的。岩体包括结构面和结构体。结构面是岩体中各种地质界面（包括原生和次生的），结构体是由不同产状结构面相互切割而成的。结构面产状的要素是：走向（结构面与水平面的交线为走向线，走向线的方位角叫走向）、倾向和倾角，见图 1.1

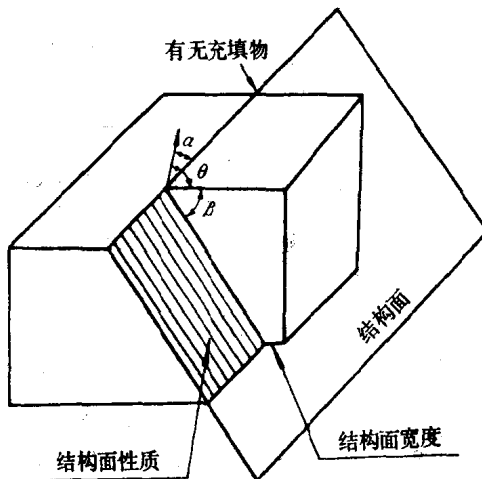


图 1.1 结构面产状与特征

α . 走向； θ . 倾向 ($\theta = \alpha + 90^\circ$)； β . 倾角