

电力工业学校重点教材

水工工艺基础

葛洲坝水利水电学校 顾志刚 主编

中国电力出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水工工艺基础/顾志刚主编. —北京: 中国电力出版社, 2002

电力工业学校重点教材

ISBN 7-5083-0463-2

I. 水… II. 顾… III. 水利工程-工程施工-专业学校-教材 IV. TV5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 58339 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

通天印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 3 月第一版 2002 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 26.75 印张 603 千字

印数 0001—2000 册 定价 39.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序

近年来,电力职业技术教育在结构改革过程中,创建了将中专和技校融为一体的新型办学模式——形成统一的电力工业学校,与此同时,进行了专业设置、教学计划、课程体系等一系列教学改革。教材作为教与学双边活动过程中不可或缺的信息载体,其改革和建设必然是教学改革的重要组成部分。为了巩固教育、教学改革已经取得的成果,推动改革持续深入发展,满足电力工业学校教学工作的急需,并促进教学质量不断提高,从1996年底开始,便着手组织力量进行教材改革的研究、探索和教材建设的安排部署,先后成立了电力工业学校教材建设研究课题组、制订了《关于电力工业学校教材建设的若干意见》和《电力工业学校教材出版、推荐、评优暂行办法》,组建了电力工业学校教材编审委员会,并于1997年末在电力职业技术教育委员会各教学研究会和网、省电力公司教育部门推荐的基础上,经过审议、遴选确定了电力工业学校第一批(23种)重点教材编审出版计划。

为了加快教材建设步伐,繁荣教材创作局面,电力工业学校教材建设采取点面结合、统分结合的方法,以重点教材带动一般教材。重点教材的建设旨在对教材改革起重点研究、典型引路、以点带面的龙头作用。这批重点教材力求根据职业技术教育的特点和培养应用型人才的教育目标,突出教材的定向性或针对性,以电力行业工作岗位需要的综合职业能力和素质要求,作为界定教材内容的依据,不片面追求学科体系的完整性,而强调贴近生产实际和工作实际,使理论同实践紧密结合,传授知识同培训技能紧密结合;精选教材内容,删繁就简,返璞归真,充实技术性、工艺性、实用性的内容,而且体现先进性和科学性的原则;注重定性分析,阐明物理意义和应用方法,简化某些论证,减少不必要的数学推导;在内容的编排、组合上,一是最大限度地做到模块化,增强教材使用的灵活性,便于不同教学阶段、不同专业采用,二是使理论阐述同实践指导有机结合,便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线,采用以实际训练为轴心的把讲授、实验、实习融于一体的教学方式;适应各校功能延伸的新要求,兼顾各种职业培训对教材的需要。

这批教材的出版只是整个教材改革和建设的阶段性成果,仍需再接再厉,继续深化教材改革,推进教材建设。预期经过几年的努力,会形成一套具有电力职业技术教育特色、以职业能力培养为主线、门类比较齐全、形式比较多样,并能与其他教育相衔接、兼顾职工培训需要的教材体系。

中国电力企业联合会教育培训部

电力工业学校教材编审委员会

1998年9月

前 言

《水工工艺基础》是电力工业学校水电工程建筑与施工专业（三、四年制）的一门主干专业课，是按照中国电力企业联合会教育培训部 1998 年 9 月颁发的教学计划（试行）和水电类专业教研会组织审定的教学大纲为依据编写的。

本教材是电力工业学校教材编审委员会确定的重点教材，遵照电力职业技术教育课程改革的原则和基本思路，力求贯彻以能力为本位的思想。

全书由爆破工艺基础、模板工艺基础、钢筋工艺基础、混凝土工艺基础和钻灌工艺基础等 5 个教学模块组成；每个教学模块以章为单位划分为 4 个教学单元，全书共划分为 20 章。各模块的教学内容之间既有相对的独立性又存在一定的联系；每章则相当于一个完整的教学单元，体现了模块式教材的特点。教材力求反映近年来在水电工程建设中出现的新技术、新工艺、新设备、新材料，尽量避免与专业培养目标不相适应的偏深、偏难的内容。在每章开始增加了一段提示，主要起导学的作用；在小结后增加的实训课题，是为了强化实践能力的训练；而在每章后面增加的读一读，则是从更新更广介绍水电工程施工工艺的有关信息。本教材既可作为电力工业学校水电类专业的教材和新高职水工专业选修课教材，也可作为水电行业相关工种的工人培训教材。

本书由葛洲坝水利水电学校顾志刚主编，并编写了第 17~20 章和第 1 章、第 7 章、第 9 章、第 15 章中的部分内容，以及各章的读一读。仲峰编写了第 1~4 章，罗红卫编写了第 5~8 章，颜静平编写了第 9~12 章，胡俐萍编写了第 13~16 章。胡杏兰、白雪梅、应东良、沈蓓蓓、陈红梅参加了教材的修改工作。全书最后由顾志刚对各章内容进行了修改，补充和统稿，同时对各章的结构型式进行了完善。本教材由葛洲坝集团三峡指挥部的赵国瑞主审。

在本书编写过程中，得到了中国电力企业联合会教育培训部，全国水利水电施工技术信息网，葛洲坝集团三峡指挥部、科技管理部等单位的指导和支持，吴建平同志对教材的编写做了大量辅助性工作，在此一并表示谢意。

对本书尚存在的缺点和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2001 年 2 月

目 录

序
前言

模块I 爆破工艺基础

第一章 爆破的基本原理	1
1.1 概述	1
1.2 爆破作用原理	2
1.3 地质地形条件对爆破作用的影响	5
小结	7
实训课题	8
练习题	8
读一读	8
第二章 爆破材料和起爆方法	10
2.1 炸药	10
2.2 起爆材料	15
2.3 电起爆法	19
2.4 非电起爆法	24
小结	27
实训课题	28
练习题	28
读一读	29
第三章 爆破方法	30
3.1 深孔梯段爆破	30
3.2 露天浅孔爆破	35
3.3 隧洞开挖爆破	37
3.4 洞室爆破	42
3.5 水下爆破	46
3.6 预裂爆破	49
3.7 光面爆破	52
小结	53
实训课题	54
练习题	55
读一读	55

第四章 爆破安全技术	57
4.1 外来电流的危害及预防	57
4.2 爆破地震效应	60
4.3 爆炸冲击波及水下爆破的影响	61
4.4 爆破飞石的距离	62
4.5 爆破有毒气体的影响及防护	63
4.6 盲炮产生的原因及处理	64
4.7 爆破材料的运输、存放和销毁	64
小结	67
实训课题	67
练习题	68
读一读	68
参考文献	70

模块Ⅱ 模板工艺基础

第五章 木模板	71
5.1 木材的基本知识	71
5.2 木工工具和木工机械	75
5.3 木模板制作及质量标准	81
5.4 尾水管模板	85
小结	90
实训课题	90
练习题	91
读一读	91
第六章 钢模板	93
6.1 组合钢模板及支模工具	93
6.2 钢模板安装	99
6.3 专用模板	108
6.4 模板拆除与维修	111
6.5 模板安装要求及安全技术	112
小结	115
实训课题	115
练习题	116
读一读	116
第七章 滑动模板	118
7.1 概述	118
7.2 垂直滑模	119
7.3 斜面滑模	125
7.4 斜井滑模	131

7.5 滑动模板施工安全技术	134
小结	135
实训课题	135
练习题	136
读一读	136
第八章 特种模板和新型模板	138
8.1 预制混凝土模板	138
8.2 隧洞模板	144
8.3 多卡模板	150
8.4 竹胶悬臂模板	155
小结	158
实训课题	158
练习题	159
读一读	159
参考文献	161

模块Ⅲ 钢筋工艺基础

第九章 钢筋的基本知识	162
9.1 钢筋混凝土的概念	162
9.2 钢筋的分类	163
9.3 钢筋的性能	167
9.4 钢筋图的识读	170
9.5 钢筋配料与代换	176
小结	181
实训课题	182
练习题	182
读一读	183
第十章 钢筋加工	184
10.1 钢筋除锈	184
10.2 钢筋调直	185
10.3 钢筋切断	187
10.4 钢筋弯曲成型	189
10.5 钢筋冷拉	195
10.6 钢筋冷拔	199
小结	201
实训课题	201
练习题	202
读一读	202
第十一章 钢筋焊接	204

11.1 闪光对焊	204
11.2 电阻点焊	209
11.3 电弧焊	212
11.4 电渣压力焊	219
小结	223
实训课题	224
练习题	224
读一读	225
第十二章 钢筋的绑扎、机械连接与安装	226
12.1 钢筋绑扎连接的规定和绑扎安装的准备工作	226
12.2 钢筋网、骨架的现场绑扎安装	227
12.3 水工建筑物典型部位钢筋的安装	230
12.4 钢筋安装质量要求及安全技术	237
12.5 带肋钢筋冷挤压连接	238
12.6 钢筋锥螺纹连接	243
12.7 钢筋直螺纹连接	247
小结	248
实训课题	248
练习题	249
读一读	249
参考文献	251

模块Ⅳ 混凝土工艺基础

第十三章 混凝土的基本知识	252
13.1 混凝土的分类	252
13.2 水工混凝土	253
13.3 混凝土的组成材料	255
13.4 混凝土的主要技术性质	259
13.5 混凝土配合比设计	264
小结	268
实训课题	268
练习题	268
读一读	269
第十四章 混凝土施工工艺	271
14.1 砂石骨料的生产	271
14.2 混凝土的生产	275
14.3 混凝土的运输	279
14.4 混凝土的浇筑	285
14.5 混凝土的养护与缺陷修补	290

14.6 混凝土的冬季与夏季施工	291
小结	293
实训课题	294
练习题	295
读一读	295
第十五章 碾压混凝土施工工艺	297
15.1 概述	297
15.2 碾压混凝土的组成材料及性质	298
15.3 碾压混凝土的拌和	303
15.4 碾压混凝土的运输	304
15.5 碾压混凝土的卸料、平仓和碾压	308
15.6 碾压混凝土缝面处理	310
15.7 碾压混凝土防渗结构施工	311
小结	312
实训课题	313
练习题	313
读一读	314
第十六章 混凝土特殊施工工艺	315
16.1 泵送混凝土施工	315
16.2 喷射混凝土	319
16.3 水下混凝土施工	321
小结	325
实训课题	325
练习题	326
读一读	326
参考文献	328

模块V 钻孔灌浆工艺基础

第十七章 钻孔灌浆基本知识	329
17.1 概述	329
17.2 钻孔灌浆机械设备	331
17.3 钻孔灌浆器材及工具	339
17.4 岩石的物理机械性质及可钻性	341
小结	343
实训课题	343
练习题	344
读一读	344
第十八章 钻进工艺	346
18.1 钻孔机械的布置和安装	346

18.2	金刚石钻进	348
18.3	硬质合金钻进	352
18.4	钢粒钻进	357
18.5	取芯钻进技术	359
18.6	钻孔弯曲	364
18.7	钻孔事故	368
	小结	370
	实训课题	370
	练习题	371
	读一读	371
第十九章 冲洗和压水试验		373
19.1	冲洗	373
19.2	压水试验	376
	小结	379
	实训课题	380
	练习题	380
	读一读	381
第二十章 灌浆工艺		382
20.1	灌浆材料	382
20.2	灌浆浆液的配制	385
20.3	帷幕灌浆	388
20.4	固结灌浆	394
20.5	回填灌浆	398
20.6	接缝灌浆	399
20.7	灌浆过程中特殊情况的预防和处理	401
20.8	化学灌浆	403
20.9	高压喷射灌浆	407
	小结	412
	实训课题	413
	练习题	413
	读一读	414
	参考文献	416

模块 I 爆破工艺基础

第一章 爆破的基本原理

提示：在水利水电工程建设中，通常需要开挖或填筑大量土石方，而爆破则是最为有效的施工方法之一。要掌握爆破施工技术，首先应了解爆破的基本概念和水利水电工程爆破施工的特点，熟悉爆破作用原理及地质地形条件对爆破作用的影响。

1.1 概 述

1.1.1 爆炸与爆破的基本概念

在现实生活中，有时会发生这样一些现象，如：自行车或汽车轮胎“放炮”、保温瓶胆破裂、锅炉爆炸、燃放鞭炮、瓦斯爆炸等等。这些现象的共同特点，就是在极短时间内，产生高温、高压作用，并伴有声、光等效应。人们把这种物质在瞬间变化过程中的能量释放现象叫做爆炸。根据爆炸产生的原因和特征，可分为以下三类：

1. 物理爆炸

其特点是爆炸前后，爆炸物质的性质及化学成分没有改变，仅发生压力增大等物理现象。如轮胎、保温瓶胆、锅炉等的爆炸均属物理爆炸。

2. 化学爆炸

其特点是爆炸前后，爆炸物质的性质及化学成分发生了改变，在物态变化过程中发生极迅速的放热化学反应，并生成高温、高压的反应物。如鞭炮、瓦斯、炸药等的爆炸均属化学爆炸。

3. 核爆炸

其特点是爆炸时，爆炸物质的原子核发生裂变或聚变的连锁反应，瞬间释放出巨大的能量。如原子弹、氢弹等的爆炸。

而爆破则是指物质在介质中爆炸，释放出能量，从而对周围介质做功的现象。人们在工程实践中，就是利用炸药在爆炸过程中迅速释放出来的巨大能量来进行开矿采矿、开挖和破碎岩石、破坏构筑物或完成其它生产目的。

1.1.2 水利水电工程爆破的特点

水利水电工程爆破的项目主要包括：水工建筑物岩基开挖爆破、地下洞室开挖爆破、筑坝石料开采爆破、构筑物拆除爆破等。水电工程的爆破施工主要有以下特点：

1. 爆破工程量大、工期紧

水利水电工程的爆破工程量十分巨大，通常一个大型工程的土石方开挖可达到数百万，

甚至数千万立方米。三峡水利枢纽工程仅一期工程的土石方开挖量就达到 1.3 亿 m^3 。此外，土石方开挖作为水电工程施工的前期工程，对整个工程的施工进度有很大影响，因此工期要求紧。

2. 质量要求严格

爆破一般是在未来水工建筑物的基岩上或已建成的建筑物附近进行，为保护拟建基面岩石或建筑物不受破坏，对爆破施工有严格的防震要求。另外，对爆破破碎岩石的块度及超挖、欠挖现象也有严格的控制。

3. 施工条件复杂、安全问题突出

在施工现场经常面临多个工种交叉作业，人员和机械设备多，施工干扰大，安全问题也不易控制。

1.1.3 我国水利水电工程爆破的发展成就

自新中国成立以来，我国的水电建设事业步入了快速发展的轨道，爆破施工技术也取得举世瞩目的成就。在定向爆破筑坝技术方面，我国已成功进行了 50 多次定向爆破筑坝的实践，积累了丰富的经验。在预裂爆破技术方面，葛洲坝水利枢纽、东江水电站的预裂爆破取得成功，带动了该技术在我国水电建设中的推广应用，隔河岩、漫湾、三峡工程的预裂爆破技术都已达到国际或国内先进水平。在地下工程爆破技术方面，广蓄、二滩、小浪底等工程的地下洞室开挖，极大地推动了地下工程爆破施工技术的发展。在基岩保护层一次开挖爆破及无保护层开挖爆破技术方面，继万安工程成功运用保护层开挖一次爆破技术后，该技术及无保护层开挖爆破技术在包括三峡在内的多个水电工程中得到了推广应用。在拆除爆破技术方面，葛洲坝大江围堰、沙溪口混凝土围堰、岩滩碾压混凝土围堰拆除爆破的成功，均显示了较高的技术水平。在水下岩塞爆破技术方面，丰满水电站、密云水库等应用该技术都取得了成功。

1.2 爆 破 作 用 原 理

炸药对岩石的爆破作用就是炸药在受到冲击、摩擦或热能等外界作用时发生激烈的化学反应，并在瞬间释放出巨大的能量，从而对周围岩土产生破坏作用。通常将爆破作用分为内部作用和外部作用两类。

1.2.1 爆破的内部作用

当埋置在距地面很深处的药包爆炸时，药包的爆破作用只局限在地面以下，在地面没有显现出爆破作用，这种情况叫做爆破的内部作用。

如果药包形状为球形或接近球形，岩石又是均质的，则药包爆炸时，由于在极短的时间内固体或液体的炸药立即转化为气体，体积增大几百倍，压力上升到几万兆帕，温度达 3000°C 以上，从而使药包周围的岩石遭受不同程度的损坏。距药包最近的岩石遭受的破坏最厉害，距药包越远，受到的破坏就越小。通常，按岩石破坏的特征，可将爆破作用范围内的岩石划分为三个圈，如图 1-1 所示。

1. 压缩圈

指直接与药包接触的一圈岩石。由于这部分岩石直接受到药包爆炸的巨大压力和高温作用，如果岩石是塑性的，就会受到压缩而形成空腔，如果岩石是脆性的，就会被粉碎。在此圈内，由于岩石遭受到压缩或粉碎性破坏，能量消耗很大，爆破作用力急剧减小。所以，压缩粉碎圈的范围很小，其半径一般不超过药包半径的 2~3 倍。

2. 破裂圈

指围绕在压缩圈以外的一圈岩石。这部分岩石受到的爆破作用力虽然较压缩圈中的岩石小得多，但仍受到结构性破坏，生成纵横交错的裂隙，即径向裂隙和环向裂隙，岩体被割裂成块。破裂圈的范围大约为药包半径的 8~10 倍。

3. 震动圈

指在破裂圈以外的一定范围内，爆破作用力已衰减到不能使岩石的结构产生破坏，但又能引起岩石产生弹性振动的这一圈岩石。震动圈的范围较压缩圈和破裂圈大得多。在震动圈以外，爆破作用力完全消失。

1.2.2 爆破的外部作用

当药包埋置深度不大，接近地表时，药包爆破除了使岩石破裂和震动外，被破裂的岩块由于碎胀而在地表隆起，或被抛离地表并形成一个爆破坑——爆破漏斗，爆破作用已显现在地表，这种情况叫做爆破的外部作用。绝大多数工程爆破都是属于这种爆破作用。有关爆破外部作用的术语有如下四个。

1. 自由面

自由面又叫临空面，通常是指被爆岩石与空气的交界面，也是对爆破作用能发生影响并能使爆后岩石发生移动的那个岩面。从此意出发，岩石与水或松散岩石的交界面都可构成爆破的自由面。但是，如果对爆破不产生直接影响，则不能称为爆破的自由面。

自由面的存在是工程爆破破碎岩石所必须具备的条件，没有自由面就谈不上破碎岩石的效果。但自由面条件不同时，对爆破的作用及效果也将不一样。自由面的数目、大小、与炮孔的夹角，以及其相对位置等，都会对爆破作用产生不同程度的影响。一般来讲，自由面数目越多，爆破岩石就越容易，爆破效果也越好。而随着自由面面积的增大，被爆岩石的夹制作用将减小，也越有利于岩石的爆破。当其他条件不变时，炮孔与自由面的夹角越小，爆破效果越好。

2. 最小抵抗线

最小抵抗线是指爆破时岩石产生抵抗力（阻力）最小的方向。工程爆破中，通常将药包中心或重心到最近自由面的最短距离，称为最小抵抗线，常用 w 表示。各类爆破条件下的最小抵抗线如图 1-2 所示。

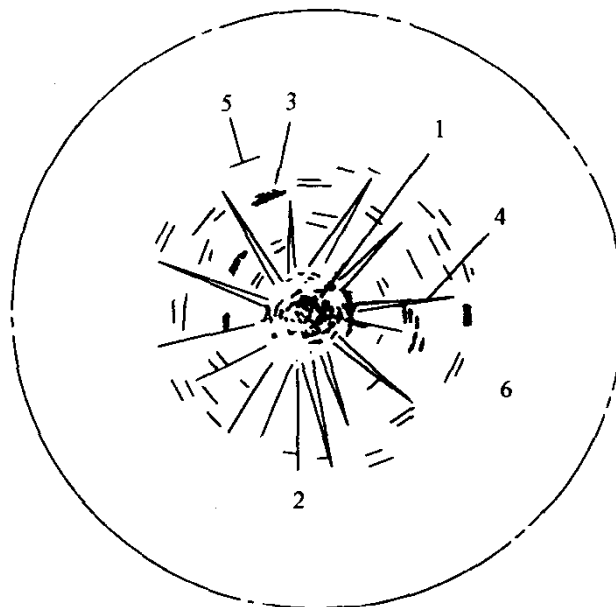


图 1-1 爆破的内部作用示意图

1—药包；2—压缩圈；3—破裂圈；4—径向裂隙；5—环向裂隙；6—震动圈

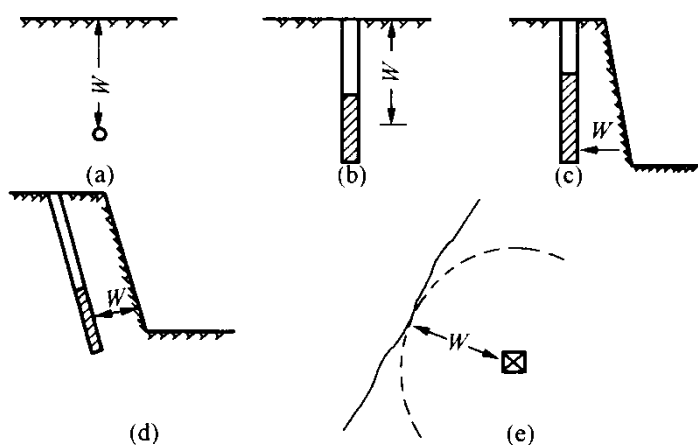


图 1-2 各类爆破条件下的最小抵抗线
(a)平地球形药包爆破;(b)平地垂直炮孔爆破;
(c)台阶垂直爆破;(d)台阶平行孔爆破;
(e)山坡药室爆破;
W—最小抵抗线

爆破漏斗由下列要素构成:

(1) 爆破漏斗半径 r

表示爆破造成自由面上破坏范围的大小。

(2) 最小抵抗线 W

在自由面为水平的情况下, 实际上就是药包的埋置深度。

(3) 漏斗破裂半径 R

爆破漏斗的侧边长度, 表示爆破作用在自由面以下的破坏范围。

(4) 漏斗可见深度 P

药包爆破后, 一部分岩块被抛掷到漏斗以外, 一部分又回落到漏斗内, 形成一个可见漏斗。从自由面到漏斗内岩块堆积表面的最大深度, 就叫做漏斗可见深度。

(5) 漏斗张开角 θ

即爆破漏斗的锥角, 它表示漏斗的张开角度。

4. 爆破作用指数 n

如果岩石性质和爆破条件一定, 当装药量不变而改变药包的埋置深度, 或药包的埋置深度不变而改变装药量时, 都可发现爆破漏斗的尺寸和爆破作用性质发生变化。这种变化可用爆破漏斗半径 r 与最小抵抗线 W 的比值来表示, 称为爆破作用指数, 常用 n 表示。即:

$$n = r/W \quad (1-1)$$

当 n 值发生变化时, 爆破作用的性质, 爆破漏斗的大小, 岩块的抛掷量和抛掷距离都将发生变化。

最小抵抗线是工程爆破中的一个重要参数, 对它选取得是否合理, 将影响到爆破的多项重要指标。由于它代表了爆破时岩石阻力最小的方向, 所以在此方向上岩石的运动速度最高, 爆破作用最集中。因此, 最小抵抗线是爆破作用的主导方向, 也是抛掷作用的主导方向。

3. 爆破漏斗

将球形药包埋置在一个水平自由面下的岩石中爆破时, 如果埋置深度合适, 则爆破后将会在岩石中由药包中心到自由面形成一个倒圆锥体的爆破坑, 这个坑叫作爆破漏斗, 如图 1-3 所示。

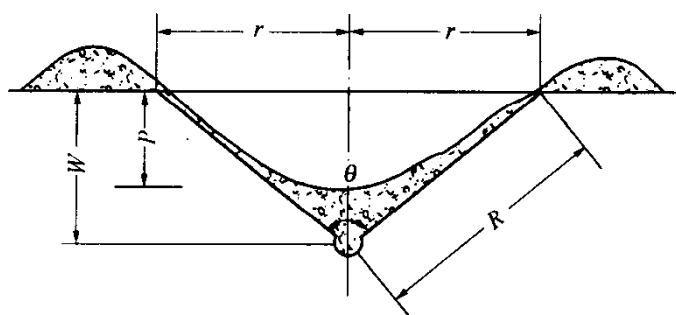


图 1-3 爆破漏斗及其构成要素
 r —爆破漏斗半径; W —最小抵抗线; R —漏斗破裂半径;
 P —漏斗可见深度; θ —漏斗张开角

根据 n 值的不同, 可将爆破漏斗和爆破作用划分为以下几种类型:

1) 当 $n = 1$ 时, $r = W$, 为标准抛掷爆破漏斗, 如图 1-4 (a) 所示; 相应的爆破作用为标准抛掷爆破。

2) 当 $1 < n < 3$ 时, $r > W$, 为加强抛掷爆破漏斗, 如图 1-4 (b) 所示; 相应的爆破作用为加强抛掷爆破。

3) 当 $0.75 < n < 1$ 时, $r < W$, 为减弱抛掷爆破漏斗, 如图 1-4 (c) 所示; 相应的爆破作用为减弱抛掷爆破。

4) 当 $1/3 < n < 0.75$ 时, 为松动爆破漏斗, 如图 1-4 (d) 所示; 相应的爆破作用为松动爆破作用。

在水利水电工程爆破施工中, 可根据工程的要求及岩石的特性, 选择适宜的 n 值, 以达到预期的爆破目的。

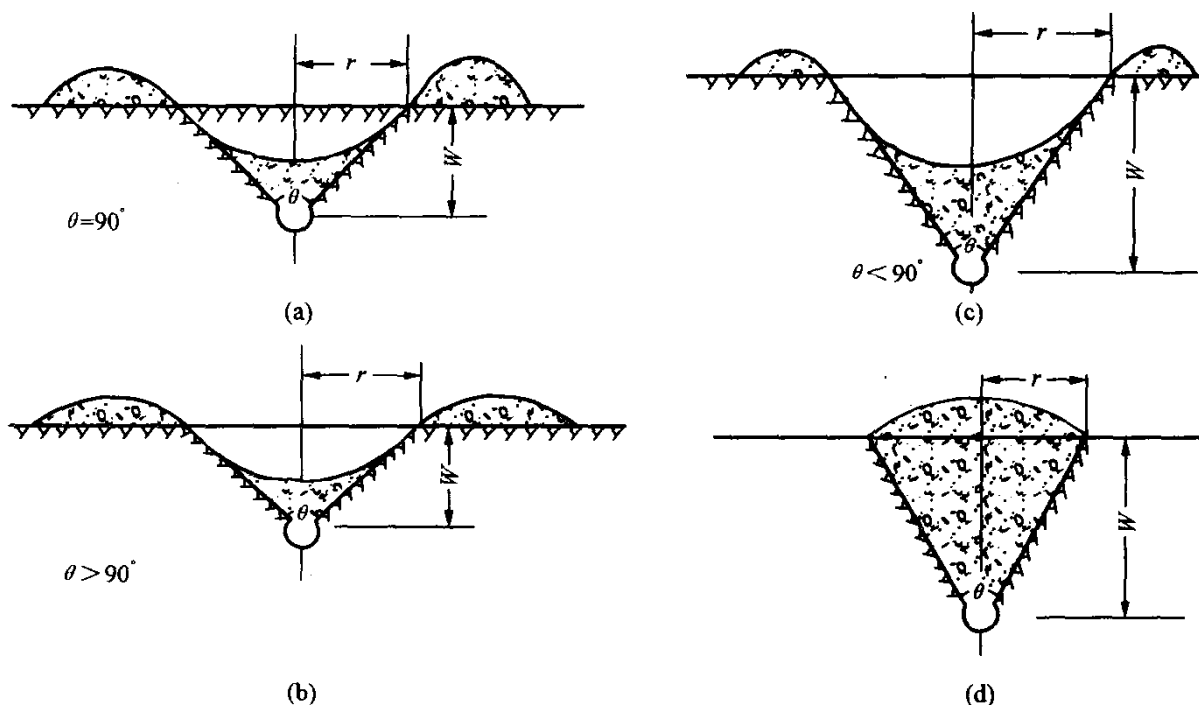


图 1-4 各种爆破漏斗

(a) 标准抛掷爆破漏斗; (b) 加强抛掷爆破漏斗; (c) 减弱抛掷爆破漏斗; (d) 松动爆破漏斗

1.3 地质地形条件对爆破作用的影响

工程爆破的主要对象是岩石, 爆破能否成功与地质地形条件关系密切。影响爆破作用的地质地形条件主要有以下几个方面。

1.3.1 岩石的性质

对爆破作用影响最大的是岩石的坚固性, 也就是岩石的坚硬性。不同的岩石, 其坚硬程度一般也不同; 同一种岩石, 常常由于风化程度的不同, 其坚硬程度也存在差异。一般来说, 岩石越坚硬, 就越不容易被破碎。在工程爆破实践中, 普遍采用岩石坚固系数 f 来表示岩石的坚固性, 其计算公式如下:

$$f = \sigma / 9.8 \text{①} \quad (1-2)$$

式中 σ ——岩石的极限抗压强度，MPa；

9.8——换算系数，MPa。

f 值还可通过查普氏岩石分级表获得，见表 1-1。

表 1-1 普氏岩石分级表

等级	坚硬程度	岩 石 名 称	坚固系数 f
I	最坚硬的岩石	最坚固、致密、强韧的石英岩及玄武岩，非常坚固的其他岩石	20
II	很坚硬的岩石	很坚固的花岗岩类石英斑岩，很坚固的花岗岩、硅质页岩、石英岩，最坚固的砂岩、石灰岩	15
III	坚硬岩石	致密的花岗岩或花岗岩类，很坚固的砂岩和石灰岩、石英质矿脉，坚固的砾岩，很坚固的铁矿	10
III ₁	坚硬岩石	坚固的石灰岩，不坚实的花岗岩，坚固的砂岩、大理岩、白云岩和黄铁矿	8
IV	尚坚硬的岩石	普通砂岩、铁矿	6
IV ₁	尚坚硬的岩石	砂质页岩、页岩质砂岩	5
V	中等坚硬岩石	坚固的黏土质岩石、不坚固的砂岩和石灰岩	4
V ₁	中等坚固岩石	各种不坚固的页岩、致密的泥灰岩	3
VI	较软的岩石	软质页岩、极软石灰岩、白垩岩、岩盐石膏、冻土、无烟煤、普通石灰岩、破碎砂岩、胶结砾岩、石质土壤	2
VI ₁	软弱岩石	碎石土壤、破碎页岩、胶结成块的砾岩和砾石，坚固的煤、硬化的黏土	1.5
VI ₂	软弱岩石	致密黏土、软弱烟煤、坚硬的冲积层、黏土质土壤	1.0
VI ₃	软弱岩石	轻质土壤、黄土、砾石	0.8
VII	土质岩石	腐殖土、泥煤、轻砂质土壤、湿砂	0.6
IX	松散性岩石	砂、山麓堆积、细砾石、松土	0.5
X	流砂性岩石	流砂、沼泽土、含水黄土及其他含水土壤	0.3

从表中可知， f 值越大，则岩石越坚硬。

岩石的其他性质，如容重、含水率、孔隙率等也对爆破作用有较大的影响。一般来说，容重大的岩石抛掷性能好；在塑性大的岩土内爆破，易形成致密的空腔，而在脆性的岩石中爆破，岩石易被粉碎。

1.3.2 地质结构面

对爆破作用有较大影响的地质结构面有：断层、层理、褶曲、节理裂隙、软弱夹层等。这些地质结构面对爆破作用的影响主要表现在：改变爆破漏斗的形状，减少或增加爆破岩石的方量，改变最小抵抗线的方向，造成基岩面的超挖或欠挖，降低爆破威力，引起

① 原公式为 $f = \sigma / 100$ ，其中 σ 及系数 100 的单位为 kgf/cm^2 。此单位为已停止使用的非法定计量单位，需换算成 MPa，为保证换算后坚固系数 f 值不变，系数 100 需变为 9.8。