

21世纪

高职高专教育统编教材

水利水电工程施工技术

钟汉华 冷涛 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

前 言

本书作为 21 世纪高职高专教育统编教材是根据教育部《关于加强高职高专人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神，以及水利水电工程和农业水利技术两专业指导性教学计划及教学大纲组织编写的。

本书内容包括水利水电土建工程常见工种施工工艺及建筑物施工技术两大部分。在编写过程中，我们努力体现高等职业技术教育的教学特点，并结合我国水利水电工程及农业水利工程施工的实际，精选内容，以贯彻理论联系实际，注重实践能力的整体要求，突出针对性和实用性，便于学生学习。同时，我们还适当照顾了不同地区的特点和要求，力求反映国内外水利水电工程及农业水利工程施工的先进经验和技术成就。

参加本书编写的有湖北水利水电职业技术学院钟汉华（绪论、第三～六章、第八章、第十章）、冷涛（第一～二章、第七章、第九章、第十一章）。全书由钟汉华主编，武汉大学余成学主审。

本书大量引用了有关专业文献和资料，未在书中一一注明出处，在此对有关文献的作者表示感谢。由于编者水平有限，加之时间仓促，存在的错误和不足，希望读者批评指正。

编 者

2004 年 8 月

内 容 提 要

本书为高职高专和成人高校“水利水电工程”和“农业水利技术”专业教材。全书共分11章，包括爆破工程、砌筑工程、模板工程、钢筋工程、混凝土工程、灌浆工程、施工导流与水流控制、地基处理、土石建筑物施工、混凝土建筑物施工、隧洞施工等。

本书除作为教材使用外，还可供土木工程设计、施工技术人员，土木类各专业大、中专师生及其各类职业学校师生参考。



目 录

前言	
绪论	1
第一章 爆破工程	3
第一节 爆破的概念与分类	3
第二节 爆破材料及起爆方法	7
第三节 爆破施工	18
第四节 控制爆破	23
第五节 爆破施工安全技术	27
复习思考题	30
第二章 砌筑工程	32
第一节 砌筑材料与砌筑原则	32
第二节 砌石工程	34
第三节 砌砖工程	41
第四节 季节性施工及施工安全技术	47
复习思考题	49
第三章 模板工程	51
第一节 模板的要求及模板设计	51
第二节 模板构造	53
第三节 模板施工	60
第四节 脚手架	63
第五节 模板施工安全技术	67
复习思考题	68
第四章 钢筋工程	69
第一节 钢筋的验收与配料	69
第二节 钢筋内场加工	74
第三节 钢筋接头的连接	85
第四节 钢筋的冷拉	94
第五节 钢筋的绑扎与安装	95
第六节 预埋铁件	97
第七节 施工质量控制与安全技术	99

复习思考题	100
第五章 混凝土工程	103
第一节 普通混凝土施工	103
第二节 特殊混凝土施工	130
第三节 预制混凝土构件和预应力混凝土施工	139
第四节 混凝土冬季、夏季及雨季施工	142
第五节 混凝土施工质量控制与缺陷的防治	145
第六节 混凝土施工安全技术	149
复习思考题	152
第六章 灌浆工程	155
第一节 灌浆材料与灌注浆液	155
第二节 灌浆设备	157
第三节 灌浆施工	160
第四节 灌浆施工安全技术	176
复习思考题	178
第七章 施工导流与水流控制	180
第一节 施工导流	180
第二节 截流	187
第三节 施工排水	190
第四节 施工度汛及后期水流控制	194
复习思考题	195
第八章 地基处理	197
第一节 土基处理	197
第二节 岩石地基处理	214
复习思考题	216
第九章 土石建筑物施工	218
第一节 土的工程性质	218
第二节 土方工程量计算	218
第三节 土方工程施工工艺	219
第四节 土石坝施工	230
第五节 面板堆石坝施工	237
第六节 砌石坝施工	239
第七节 渠道施工	242
复习思考题	246
第十章 混凝土建筑物施工	248
第一节 砂石骨料生产	248

第二节 大体积混凝土温度控制	253
第三节 混凝土坝施工	256
第四节 水电站厂房施工	266
第五节 水闸施工	273
第六节 渠系建筑物施工	278
复习思考题	287
第十一章 隧洞施工	289
第一节 隧洞开挖	289
第二节 隧洞的衬砌与灌浆	300
第三节 喷锚支护技术	307
第四节 隧洞施工安全技术	313
复习思考题	316
参考文献	317

绪 论

《水利水电工程施工技术》是一门理论与实践紧密结合的专业课。它是在总结国内外水利水电工程建设经验的基础上,从施工技术、施工机械等方面,研究水利水电建设基本规律的一门学科。

一、我国水利水电工程施工的成就与发展

我国水利建设有着卓越的成就,积累了许多宝贵的施工经验。几千年来,修建了都江堰工程、黄河大堤、南北大运河以及其他许多施工技术难度大的水利工程。在抗洪斗争中,创造了平堵与立堵相结合的堵口方法,取得了草土围堰等施工经验。这些伟大的水利工程和独特的施工技术,至今仍发挥作用,有力地促进了我国水利水电建设的发展。

新中国成立后,我国水利建设事业取得了辉煌的成就。在水利建设中,江河干支流上加高加固并修建了大量的堤防,整治江河,提高了防洪能力。修建了官厅、佛子岭、大伙房、密云、岳城、潘家口、南山、观音阁、桃林口、江垭等大型水库,为防洪、蓄水服务;修建了三门峡、青铜峡、丹江口、满拉、乌鲁瓦提等水利枢纽,为防洪、蓄水、发电等综合利用服务。这些工程中有各种形式的高坝,我国坝工技术有飞跃的发展。在灌溉工程方面,修建了人民胜利渠,是黄河下游第一个引黄灌溉渠。还修建了淠史灌区、内蒙古引黄灌区、林县红旗渠、陕甘宁盐环定扬黄灌区、宁夏扬黄灌区等。在跨流域引水工程方面修建了东港供水、引滦入津、南水北调东线一期、引黄济青、万家寨引黄入晋等。我国取水、输水和灌溉技术达到了国际水平。

在防洪方面,修建和加高加固大江大河堤防 26 万 km,兴建水库 8.5 万座,总库容 4924 亿 m^3 ,初步控制了常遇洪水,保护了 4 亿多人口、470 座城市、5 亿亩耕地和大量交通道路、油田等基础设施。新中国成立后,战胜了历次大洪水和严重的干旱灾害,黄河年年安澜。1998 年大洪水,长江堤防保持安澜,松花江、嫩江流域主要城市和河段保证了安全。

在农田水利方面,灌溉面积发展到 8 亿亩,灌区生产的粮食产量占全国总产量的 75%,棉花和蔬菜产量占全国总产量的 90%,我国以占世界近 10% 的耕地面积,解决了占世界 22% 人口的粮食问题。

在供水水源方面,兴建了大量蓄水、引水、扬水工程,抽用地下水,农业灌溉和城市工业供水水源已经初具规模,乡镇供水发展迅速,水利工程年供水能力达 5800 亿 m^3 。修建各种农村饮水工程 315 万处,解决了 2 亿多人和 1.3 亿头牲畜的饮水问题。

在水资源调配方面,兴建了一批流域控制性工程及跨流域调水工程,初步解决了区域水资源分布和城乡工农业用水的矛盾,缓解了国民经济和社会发展用水的需要。三峡工程和小浪底工程建成后,此矛盾将得到进一步缓解。南水北调工程规模巨大,正在兴

建中。

在水电建设中,修建了狮子滩、新安江、刘家峡、新丰江、六郎洞、葛洲坝、白山、东江、龙羊峡、李家峡、鲁布革、天生桥、二滩等大型水电站,还修建了数以万计的中小型水电站。目前大中型水电站装机6400多万kW,年发电量约为2080亿kW·h。大型水电站供应了工业和城市用电,支持灌溉用水量。中小型水电站供应全国1/3的县、45%国土面积和70%贫困山区的用电。三峡工程建成后水电装机容量大幅度增加,并与全国联网,互相调剂。我国装机容量位居世界前列,在水电技术上达到国际水平,能修建各种类型、条件复杂的大型水电站。

施工技术也不断提高,采用了定向爆破、光面爆破、预裂爆破、岩塞爆破、喷锚支护、预应力锚索、滑模和碾压混凝土及混凝土防渗面板等新技术、新工艺。

施工机械装备能力迅速增长,使用了斗轮式挖掘机、大吨位的自卸汽车、全自动化混凝土搅拌楼、塔带机、隧洞掘进机和盾构机等。水利工程施工学科的发展,为水利水电建设事业展示了一片广阔的前景。

在取得巨大成就的同时,应认识到,我国施工水平与先进国家相比,尚有较大差距。如新技术新工艺的研究、推广、使用不够普遍;施工机械还比较落后,配套不齐、利用率不充分;施工组织管理水平不高等。这些和我国水电建设事业的发展是不相适应的,这就要求我们必须认真总结过去的经验和教训,努力学习和引进国外先进的技术和科学的管理方法,走出一条适合我国国情的水利水电工程建设新路。

二、水利水电工程施工技术的特点

(1) 水利工程施工多在河流上进行,因而需要采取导截流、基坑排水、施工度汛、施工期通航及下游供水等措施,以保证工程施工的顺利进行。

(2) 水利工程施工经常遇到复杂的地质条件,如渗漏、软弱地基、断层、破碎带及滑坡等。因而要进行相应的地基处理,以保证施工质量。

(3) 水利工程多为露天施工,需要采取适合的冬季、夏季、雨季等不同季节的施工措施,保证施工质量和进度。

(4) 水利工程一般都是挡水或过水建筑物,这些建筑物的安全往往关系到国计民生和下游千百万人民生命财产的安危。因此必须确保施工质量。

三、课程内容和学习方法

本课程将系统地阐述水利水电土建工程中各主要工种的施工工艺、主要水工建筑物的施工程序与方法等内容。通过学习,要求了解水利工程中施工常用的施工机械的主要组成部分、工作原理、主要性能及其选择;掌握主要工种的施工过程、施工方法、操作技术、质量控制检查、施工安全技术,以及主要水工建筑物的施工特点、施工程序和施工技术要求、施工方法与质量控制检查。

根据教材内容和课程实践性很强的特点,学习中应掌握基本概念、基本原理、基本方法,结合所学过的课程,循序渐进地进行。必须密切联系生产实际,配合生产实习、生产劳动、生产现场教学、电化教学、多媒体教学、课程作业、毕业设计等教学环节,运用所学的施工知识,有效地掌握本课程的内容。

第一章 爆破工程

第一节 爆破的概念与分类

一、爆破的概念

爆破是炸药爆炸作用于周围介质的结果。埋在介质内的炸药引爆后，在极短的时间内，由固态转变为气态，体积增加数百倍至几千倍，伴随产生极大的压力和冲击力，同时还产生很高的温度，使周围介质受到各种不同程度的破坏，称为爆破。

二、爆破的常用术语

(1) 爆破作用圈。当具有一定质量的球形药包在无限均质介质内部爆炸时，在爆炸的作用下，距离药包中心不同区域的介质，由于受到的作用力有所不同，因而产生不同程度的破坏或振动现象。整个被影响的范围就叫做爆破作用圈。这种现象随着与药包中心间的距离增大而逐渐消失，按对介质的作用不同可分为4个作用圈。

1) 压缩圈。图1-1中 R_1 表示压缩圈半径，在这个作用圈范围内，介质直接承受了药包爆炸而产生的极其巨大的作用力，因而如果介质是可塑性的土壤，便会遭到压缩形成孔隙；如果是坚硬的脆性岩石便会被粉碎。所以把 R_1 这个球形地带叫做压缩圈或破碎圈。

2) 抛掷圈。围绕在压缩圈范围以外至 R_2 的地带（图1-1），其受到的爆破作用力虽较压缩圈范围内小，但介质原有的结构受到破坏，分裂成为各种尺寸和形状的碎块，而且爆破作用力尚有余力足以使这些碎块获得能量。如果这个地带的某一部分处在临空的自由面条件下，破坏了的介质碎块便会产生抛掷现象，因而叫做抛掷圈。

3) 松动圈。松动圈又称破坏圈。在抛掷圈以外至 R_3 的地带（图1-1），爆破的作用力更弱，除了能使介质结构受到不同程度的破坏外，没有余力可以使破坏了的碎块产生抛掷运动，因而叫做破坏圈。工程上为了实用起见，一般还把这个地带被破碎成为独立碎块的一部分叫做松动圈，而把只是形成裂缝、互相间仍然连成整块的一部分叫做裂缝圈或破裂圈。

4) 震动圈。在破坏圈范围以外，微弱的爆破作用力甚至不能使介质产生破坏。这时介质只能在应力波的作用下，产生震动现象，这就是图1-1中 $R_4 - R_3$ 所包括的地带，通常叫做震动圈。震动圈以外爆破作用的能量就完全消失了。

(2) 爆破漏斗。在有限介质中爆破，当药包埋设较浅，爆破后将形成以药包中心为顶点的倒圆锥形爆破坑，称之为爆破漏斗。

爆破漏斗的形状多种多样，随着岩土性质、炸药的品种、性能和药包大小及药包埋置

深度等不同而变化。

(3) 最小抵抗线。由药包中心至自由面的最短距离，为最小抵抗线，如图 1-2 中的 W 。

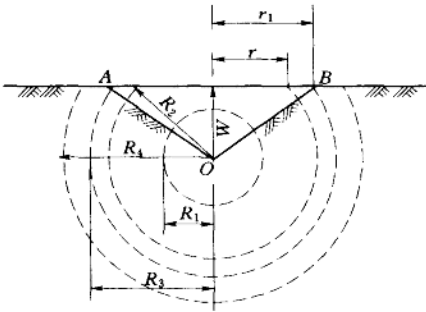


图 1-1 爆破影响范围示意图

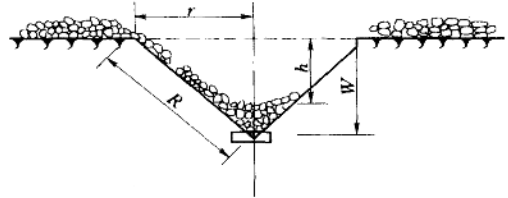


图 1-2 爆破漏斗
 r —爆破漏斗半径； R —爆破作用半径；
 W —最小抵抗线； h —漏斗可见深度

(4) 爆破漏斗半径。爆破漏斗半径即在介质自由面上的爆破漏斗半径，如图 1-2 中的 r 。

(5) 爆破作用指数。爆破作用指数指爆破漏斗半径 r 与最小抵抗线 W 的比值。即

$$n = \frac{r}{W} \quad (1-1)$$

爆破作用指数的大小可判断爆破作用性质及岩石抛掷的远近程度，也是计算药包量、决定漏斗大小和药包距离的重要参数。一般用 n 来区分不同的爆破漏斗，划分为以下的爆破类型：

- 1) 当 $n = 1.0$ 时，称为标准抛掷爆破。
- 2) 当 $n > 1.0$ 时，称为加强抛掷爆破。
- 3) 当 $0.75 < n < 1.0$ 时，称为减弱抛掷爆破。
- 4) 当 $0.33 < n \leq 0.75$ 时，称为松动爆破。
- 5) 当 $n \leq 0.33$ 时，称为裸露爆破或药壶爆破。

(6) 可见漏斗深度 h 。经过爆破后所形成的坑槽深度叫做可见漏斗深度，如图 1-2 中的 h ，它与爆破作用指数大小、炸药的性质、药包的排数、爆破介质的物理性质和地面坡度有关。

(7) 自由面。自由面又称临空面，指被爆破介质与空气或水的接触面。同等条件下，临空面越多，炸药用量越小，爆破效果越好。

(8) 二次爆破。二次爆破指大块岩石的二次破碎爆破。

(9) 破碎度。破碎度指爆破岩石的块度或块度分布。

(10) 单位耗药量。单位耗药量指爆破单位体积岩石的炸药消耗量。

(11) 炸药换算系数。炸药换算系数 e 指某炸药的爆炸力 F 与标准炸药爆炸力之比（目前以 2 号岩石铵梯炸药为标准炸药）。

三、药包及其装药量计算

(1) 药包。为了爆破某一物体而在其中放置一定数量的炸药，称为药包。药包的分类及使用见表 1-1、图 1-3。

表 1-1 药包的分类及使用

分类名称	药包形状	作用效果
集中药包	长边小于短边 4 倍	爆破效率高，省炸药和减少钻孔工作量，但破碎岩石块度不够均匀。多用于抛掷爆破
延长药包	长边超过短边 4 倍。延长药包又有连续药包和间隔药包两种形式	可均匀分布炸药，破碎岩石块度较均匀。一般用于松动爆破

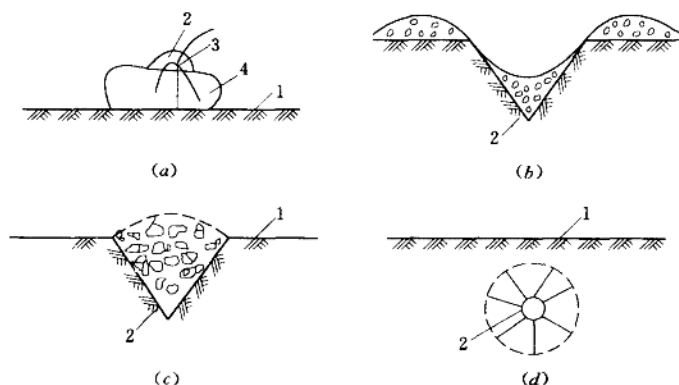


图 1-3 药包分类

(a) 裸露药包；(b) 抛掷药包；(c) 松动药包；(d) 内部作用药包
1—临空面；2—药包；3—覆盖物（砂或粘土）；4—被爆破的物体

(2) 装药量计算。爆破工程中的炸药用量计算，是一个十分复杂的问题，影响因素较多。实践证明，一般情况下，炸药的用量是与被破碎的介质体积成正比的。而被破碎的单位体积介质的炸药用量，其最基本的影响因素又是与介质的硬度有关。目前，由于还不能较精确地计算出各种复杂情况下的相应用药量，所以一般都是根据现场试验方法，大致得出爆破单位体积介质所需的用药量，然后再按照爆破漏斗体积，计算出每个药包的装药量。

药包装药量的基本计算公式为

$$Q = KV \quad (1-2)$$

式中：K 为爆破单位体积岩石的耗药量，简称单位耗药量， kg/m^3 ，需要注意的是，单位耗药量 K 值的确定，应考虑多方面的因素，经综合分析后定出，常见岩土的标准单位耗药量见表 1-2；V 为标准抛掷漏斗内的岩石体积， m^3 。

其中

$$V = \frac{\pi}{3} W^3 \approx W^3$$

故标准抛掷爆破药包药量计算公式 (1-2) 可以写为

$$Q = KW^3 \quad (1-3)$$

对于加强抛掷爆破 $Q = (0.4 + 0.6n^3)KW^3 \quad (1-4)$

对于减弱抛掷爆破 $Q = \left(\frac{4+3n}{7}\right)^3 kW^3 \quad (1-5)$

对于松动爆破 $Q = 0.33KW^3 \quad (1-6)$

式中: Q 为药包重量, kg; W 为最小抵抗线, m; n 为爆破作用指数。

表 1-2 单位耗药量 K 值

岩石种类	K (kg/m ³)	岩石种类	K (kg/m ³)
粘土	1.0~1.1	砾岩	1.4~1.8
坚实粘土、黄土	1.1~1.25	片麻岩	1.4~1.8
泥灰岩	1.2~1.4	花岗岩	1.4~2.0
页岩、板岩、凝灰岩	1.2~1.5	石英砂岩	1.5~1.8
石灰岩	1.2~1.7	闪长岩	1.5~2.1
石英斑岩	1.3~1.4	辉长岩	1.6~1.9
砂岩	1.3~1.6	安山岩、玄武岩	1.6~2.1
流纹岩	1.4~1.6	辉绿岩	1.7~1.9
白云岩	1.4~1.7	石英岩	1.7~2.0

注 1. 表中数据是以 2 号岩石铵梯炸药作为标准计算, 若采用其他炸药时, 应乘以炸药换算系数 e , 见表 1-3。

2. 表中数据, 是在炮眼堵塞良好的情况下确定出来的, 如果堵塞不良, 则应乘以 1~2 的堵塞系数。对于黄色炸药等烈性炸药, 其堵塞系数不宜大于 1.7。

3. 表中 K 值是指一个自由面的情况。如果自由面超过 1 个, 应按表 1-4 适当减少用药量。

表 1-3 炸药换算系数 e 值表

炸药名称	型号	换算系数 e	炸药名称	型号	换算系数 e
岩石铵梯	1号	0.91	煤矿铵梯	1号	1.1
岩石铵梯	2号	1.00	煤矿铵梯	2号	1.28
岩石铵梯	2号抗水	1.00	煤矿铵梯	3号	1.33
露天铵梯	1号	1.04	煤矿铵梯	1号抗水	1.10
露天铵梯	2号	1.28	梯恩梯	三硝基甲苯	0.86
露天铵梯	3号	1.39	62%硝化甘油	—	0.75
露天铵梯	1号抗水	1.04	黑火药	—	1.70

表 1-4 自由面与用药量的关系

自由面数	减少药量百分数 (%)	自由面数	减少药量百分数 (%)
2	20	4	40
3	30	5	50

注 表中自由面的数目是按方向(上、下、东、南、西、北)确定的, 不是按被爆破体的几何形体确定的。

四、爆破的分类

爆破可按爆破规模、凿岩情况、要求等的不同进行分类。

(1) 按爆破规模分。按爆破规模可分为小爆破、中爆破、大爆破。

(2) 按凿岩情况分。按凿岩情况可分为浅孔爆破、深孔爆破、药壶爆破、洞室爆破、二次爆破。

(3) 按爆破要求分。按爆破要求分为松动爆破 ($0.33 < n \leq 0.75$)、减弱抛掷爆破 ($0.75 < n < 1.0$)、标准抛掷爆破 ($n = 1.0$)、加强抛掷爆破及定向爆破 ($n > 1.0$)、光面爆破、预裂爆破、特殊物爆破 (冻土、冰块等)。

第二节 爆破材料及起爆方法

一、爆破材料

(一) 炸药

1. 炸药的基本性能

(1) 爆力。爆力是指炸药在介质内部爆炸时, 对其周围介质产生的整体压缩、破坏和抛移能力。它的大小与炸药爆炸时释放出的能量大小成正比, 炸药的爆热愈高, 生成气体量愈多, 爆力也就愈大。测定炸药爆力的方法常用铅铸扩孔法和爆破漏斗法。

(2) 猛度。炸药的猛度是指炸药在爆炸瞬间对与药包相邻的介质所产生的局部压缩、粉碎和击穿能力。炸药爆速愈高, 密度愈大, 其猛度愈大。测量炸药猛度的方法是铅柱压缩法。

(3) 爆速。爆速是指爆炸时爆炸波沿炸药内部传播的速度。爆速测定方法有导爆索法、电测法和高速摄影法。

(4) 殉爆。炸药爆炸时引起与它不相接触的邻近炸药爆炸的现象叫殉爆。殉爆反映了炸药对冲击波的感受。主发药包的爆炸引爆被发药包爆炸的最大距离称为殉爆距离。影响殉爆的因素有装药密度、药量和直径、药卷约束条件和药卷放置方向等。

(5) 感度。炸药在外能作用下起爆的难易程度称为该炸药的感度。不同的炸药在同一外能作用下起爆的难易程度是不同的, 起爆某炸药所需的外能小, 则该炸药的感度高; 起爆某炸药所需的外能大, 则该炸药的感度低。炸药的感度对于炸药的制造加工、运输、贮存、使用的安全十分重要。感度过高的炸药容易发生爆炸事故, 而感度过低的炸药又给起爆带来困难。工业上大量使用的炸药一般对热能、撞击和摩擦作用的感度都较低, 通常要靠起爆能来起爆。根据起爆能的不同, 炸药的感度可分为热感度、撞击感度、摩擦感度和爆炸冲能感度。

(6) 炸药的安定性。炸药的安定性指炸药在长期贮存中, 保持原有物理化学性质的能力。有物理安定性与化学安定性之分。物理安定性主要是指炸药的吸湿性、挥发性、可塑性、机械强度、结块、老化、冻结、收缩等一系列物理性质。物理安定性的大小, 取决于炸药的物理性质。如在保管使用硝化甘油类炸药时, 由于炸药易挥发收缩、渗油、老化和冻结等导致炸药变质, 严重影响保管和使用的安全性及爆炸性能。铵油炸药和矿岩石硝铵炸药易吸湿、结块, 导致炸药变质严重, 影响使用效果。炸药化学安定性的大小, 取决于

炸药的化学性质及常温下化学分解速度的大小，特别是取决于贮存温度的高低。有的炸药要求储存条件较高，如5号浆状炸药要求不会导致硝酸铵重结晶的库房温度是20~30℃，而且要求通风良好。

(7) 氧平衡。氧平衡是指炸药在爆炸分解时的氧化情况。如果炸药中的氧恰好等于其中可燃物完全氧化所需的氧量，即产生二氧化碳和水，没有剩余的氧成为零氧平衡；若含氧量不足，可燃物不能完全氧化且产生一氧化碳，此时称为负氧平衡；若含氧量过多，将炸药所放出的氮也氧化成有害气体一氧化氮，称为正氧平衡。

2. 工程炸药的种类、品种及性能

(1) 炸药的分类。按其作用特点和应用范围，一般工程爆破使用的炸药可分为三种类型，见表1-5。

表 1-5 工程爆破常用炸药分类

分 类	特 点	品 种	应 用 范 围
起爆药	感度高、加热、摩擦或撞击易引起爆炸	主要有二硝基重氮酚、雷汞、迭氮化铅等	用于制作起爆器材，如火雷管、电雷管
猛炸药（单质猛炸药和混合猛炸药）	爆炸威力大，破碎岩石效果好；同起爆药相比，猛炸药感度较低，使用时需用起爆药起爆	单质猛炸药有梯恩梯、黑索金、泰安、硝化甘油等；混合猛炸药有硝铵炸药、铵油炸药、铵沥蜡炸药、铵松蜡炸药、浆状炸药、水胶炸药、乳胶炸药、高威力炸药等	混合猛炸药是工业爆破工程中用量最大、最基本的一类炸药；单质猛炸药是制造某种品种混合猛炸药的主要成分；黑索金、泰安又常用作导爆索的药芯，黑索金也常用作雷管副起爆药
发射药	对火焰的感度极高，余火能迅速燃烧，在密闭条件下可转为爆炸	常用黑火药	用作导火索的药芯

(2) 常用炸药的性能。常用的炸药主要有梯恩梯、硝铵类炸药、胶质炸药、黑火药等，其主要性能和用途见表1-6。

国产岩石硝铵炸药和露天硝铵炸药的品种及性能见表1-7和表1-8。

表 1-6 常用炸药主要性能及用途表

名 称	主 要 性 能 及 特 性	用 途
TNT (三硝基甲苯)	淡黄色或黄褐色，味苦，有毒，爆烟也有毒。安定性好，对冲击和摩擦的敏感性不大。块状时不易受潮，威力大	1. 作雷管副起爆药； 2. 适于露天及水下爆破，不宜用于通风不良的隧洞爆破和地下爆破
硝铵类炸药	是以硝酸铵为主要成分的混合炸药，常用的有铵梯炸药（又分露天铵梯炸药、岩石铵梯炸药、煤矿安全铵梯炸药）、铵油炸药、铵沥蜡炸药、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药等。炸药有毒，但爆烟毒气少，对热和机械作用敏感度不大，撞击摩擦不爆炸，不易点燃。易受潮，受潮后威力降低或不爆炸，长期存放易结块，雷管插入药包不得超过一昼夜	应用较广。用于一般岩石爆破，也可用于地下工程爆破

续表

名称	主要性能及特性	用途
黑色火药	由硝石(75%)、硫磺(15%)、木炭(10%)混合而成。带深蓝黑色,颗粒坚硬明亮,对摩擦、火花、撞击均较敏感,爆速低,威力小,易受潮,但制作简便,起爆容易(不用雷管)	常用于小型水利工程中的小型岩石爆破,不能用于水下工程
胶质炸药 (硝化甘油)	由硝化棉吸收硝化甘油而制成,为淡黄色半透明体的胶状物,不溶于水,可在水中爆炸,威力大,敏感度高,有毒性。受撞击摩擦或折断药包均可引起爆炸,可点燃	主要用于水下爆破

表 1-7 岩石硝铵炸药的性能

性能	炸药名称					
	1号岩石硝铵炸药	2号岩石硝铵炸药	2号抗水岩石硝铵炸药	3号抗水岩石硝铵炸药	抗水岩石铵沥蜡炸药	4号抗水岩石硝铵炸药
水分(%)	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3
密度(g/cm ³)	0.95~1.10	0.95~1.10	0.95~1.10	0.95~1.10	0.95~1.10	0.95~1.10
猛度(mm)	≥13	≥12	≥12	≥10	≥9	≥14
爆力(cm ³)	≥350	≥320	≥320	≥280	≥260	≥360
殉爆(cm) 浸水前 ^①	≥6	≥5	≥5	≥4	≥3	≥8
殉爆(cm) 浸水后 ^①			≥3	≥2	≥2	≥4
爆速(m/s)		3600	3750		3182	
氧平衡(%)	0.52	3.38	0.37	0.71	0.74	0.43
比容(L/kg)	912	924	921	931	950	902
爆热(kcal/kg)	974	881	959	926	873	1007
爆温(°C)	2700	2514	2654	2560	2434	2788
爆压(MPa)		0.33	0.36		0.25	

① 浸水深 1m, 时间 1h。

表 1-8 露天硝铵炸药的性能

性能	炸药名称					
	1号岩石硝铵炸药	2号岩石硝铵炸药	2号抗水岩石硝铵炸药	3号抗水岩石硝铵炸药	抗水岩石铵沥蜡炸药	4号抗水岩石硝铵炸药
水分(%)	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.7
密度(g/cm ³)	0.85~1.10	0.85~1.10	0.85~1.10	0.85~1.10	0.85~1.10	0.80~0.90
猛度(mm)	≥11	≥8	≥5	≥11	≥8	≥8
爆力(cm ³)	≥300	≥250	≥230	≥300	≥250	≥240
殉爆(cm) 浸水前 ^①	≥6	≥3	≥2	≥4	≥3	≥2
殉爆(cm) 浸水后 ^①				≥2	≥2	
爆速(m/s)	3600	3525	3455	3000	3525	3143
氧平衡(%)	0.52	3.38	0.37	0.71	0.74	0.43

续表

性能	炸药名称					
	1号岩石硝酸铵炸药	2号岩石硝酸铵炸药	2号抗水岩石硝酸铵炸药	3号抗水岩石硝酸铵炸药	抗水岩石铵沥蜡炸药	4号抗水岩石硝酸铵炸药
比容 (L/kg)	912	924	921	931	950	902
爆热 (kcal/kg)	974	881	959	926	873	1007
爆温 (°C)	2700	2514	2654	2560	2434	2788
爆压 (MPa)		0.33	0.36		0.25	

① 浸水深 1m, 时间 1h。

(3) 常用静态破碎剂型号及技术性能。静态破碎剂只是一种新型的破碎材料, 它主要由氧化钙和无机化合物组成, 其中氧化钙为主要膨胀源, 它与水反应生成氢氧化钙固体, 体积增大而对炮孔壁施加压力, 从而达到破碎的作用。静态破碎剂使用方便, 破碎介质没有响声、飞石、振动、空气冲击波和毒气, 而且破裂方向可以控制, 块度能满足要求, 能有效地保护保留部分不受破坏。常用静态破碎剂型号及技术性能见表 1-9。

表 1-9 静态破碎剂型号及技术性能

牌 号	型 号	使用季节	使用温度 (°C)	膨胀压力 (MPa)	开裂时间 (h)	用 途
无声破碎剂	SCA-I	夏季	20~25	3~5	10~50	用于砖、石、混凝土和钢筋混凝土建筑物、构筑物的拆除; 破碎各种岩石; 切割花岗岩、大理石等
	SCA-II	春秋	10~25			
	SCA-III	冬季	5~15			
	SCA-IV	寒冬	-5~8			
静态破碎剂	JC-1-I	夏季	25	3~5	4~10	
	JC-1-II	春秋	10~25			
	JC-1-III	冬季	0~10			
	JC-1-IV	寒冬	0			
石灰静态破碎剂	YJ-I	冬季	-5~15	3~3.5	0.7~6	
	YJ-II	春秋	15~20			
	YJ-III	夏季	25~45			
静态破碎 (南京型)	I	春秋	10~25		3~8	
	II	冬季	5~15			
	III	寒冬	-5~10			
	IV	夏季	25~35			

注 1. SCA 为塑料袋封装, 每袋 5kg, 每箱 4 袋, 要求初凝不早于 0.5h, 终凝不迟于 4h。

2. 静态破碎剂有效使用期均为 6 个月。

(二) 起爆器材

起爆材料包括雷管、导火索和传爆线等。

1. 火雷管

火雷管由管壳、正副起爆药和加强帽三部分组成, 如图 1-4 所示。管壳材料有铜、

铝、纸、塑料等。上端开口，中段设加强帽，中有小孔，副起爆药压于管底，正起爆药压在上部。在管沟开口一端插入导火索，引爆后，火焰使正起爆药爆炸，最后引起副起爆药爆炸。

根据管内起爆药量的多少分 1~10 个号码，常用的为 6 号、8 号，其规格及主要性能见表 1-10。火雷管具有结构简单，生产效率，使用方便、灵活，价格便宜，不受

各种杂电、静电及感应电的干扰等优点。但由于导火索在传递火焰时，难以避免速燃、缓燃等致命弱点，在使用过程中爆破事故多，因此使用范围和使用量受到极大限制。

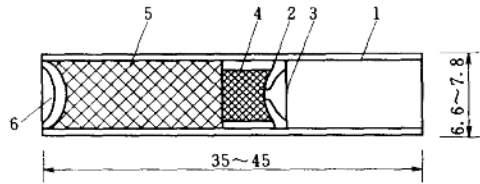


图 1-4 火雷管结构图 (单位: mm)
1—管壳; 2—加强帽; 3—帽孔; 4—正起爆药; 5—副起爆药; 6—聚能窝槽

表 1-10 火雷管的规格及主要性能

雷管号码	6号	6号	8号
雷管壳材料	铜铝铁	铜铝铁	纸
管壳(外径×全长)(mm)	6.6×35	6.6×40	7.8×45
加强帽(外径×全长)(mm)	6.16×6.5	6.16×6.5	6.25~6.32×6
特性	与撞击、摩擦、搔扒、按压、火花、热等影响会发生爆炸;受潮容易失效		
点燃方法	利用导火索		
试验方法	外观检查:有裂口、锈点、砂眼、受潮、起爆药浮出等不能使用;振动试验:振动 5min 不允许爆炸、洒药、加强帽移动;铅板穿孔:5mm 厚的铅板(6号用 4mm 厚),炸穿孔径不小于雷管外径		
适用范围	用于一般爆破工程,但有沼气及矿尘较多的坑道工程不宜使用		
包装方式	内包装为纸盒,每盒 100 袋;外包装为木箱,每箱 50 盒 5000 发		
有效保质期	2 年		

2. 电雷管

电雷管分瞬发电雷管和延期电雷管。延期电雷管分为秒或半秒延期电雷管与毫秒电雷管。

(1) 瞬发电雷管。瞬发电雷管是瞬发火引爆的雷管，实际上它是由火雷管和 1 个发火元件组成，其结构如图 1-5 所示。当接通电源后，电流通过桥丝发热，使引火药头发火，导致整个雷管爆轰。

瞬发电雷管的主要技术指标有：电阻、最高安全电流、最低准爆电流、铅板穿孔、进水时间等。

(2) 普通延期电雷管。普通延期电雷管是雷管通电后，间隔一定时间才起爆的电雷管。延期时间为半秒或秒；延期时间是用精致火索段或延期药来达到的。延期时间由其长度、药量和延期药配比来调节。采用精致导火索段的结构称为索式结构；采用延期体的结构称为装配式结构。