

全国水利水电高职教研会规划推荐教材 高职高专土建类专业系列教材

土木工程施工技术

(第二版)

主 编 钟汉华 黄泽钧 沈维明
副主编 付 平 高秀清 刘军号
主 审 张亚庆 鲁立中



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国水利水电高职教研会规划推荐教材 高职高专土建类专业系列教材

土木工程施工技术

(第二版)

主 编 钟汉华 黄泽钧 沈维明
副主编 付 平 高秀清 刘军号
主 审 张亚庆 鲁立中



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书按照高等职业教育土木施工类专业的教学要求,以国家现行建设工程标准、规范和规程为依据,根据编者多年工作经验和教学实践,在第一版教材的基础上修改、补充编纂而成。本书对土木工程施工工序、工艺、质量标准等做了详细的阐述,坚持以就业为导向,突出实用性、实践性;吸取了建筑施工的新技术、新工艺、新方法,内容的深度和难度按照高等职业教育的特点,重点讲授理论知识在工程实践中的应用,培养高职学生的实践能力;内容通俗易懂,叙述规范、简练,图文并茂。全书共分13个单元,包括爆破工程施工、土方工程施工、地基与基础工程施工、砌筑工程施工、钢筋混凝土结构工程施工、钢结构工程施工、防水工程施工、装饰工程施工、桥梁工程施工、道路工程施工、地下工程施工、给排水管网施工、水利水电工程施工等。

本书具有较强的针对性、实用性和通用性,既可作为高等职业院校工程监理、工程测量技术、工程造价等专业的教学用书,也可供建设单位经济管理工作、建筑安装施工企业工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程施工技术 / 钟汉华, 黄泽钧, 沈维明主编
— 2版. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016.1
全国水利水电高职教研会规划推荐教材 高职高专土
建类专业系列教材
ISBN 978-7-5170-4065-1

I. ①土… II. ①钟… ②黄… ③沈… III. ①土木工
程—工程施工—高等职业教育—教材 IV. ①TU7

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第022706号

书 名	全国水利水电高职教研会规划推荐教材 高职高专土建类专业系列教材 土木工程施工技术 (第二版)
作 者	主 编 钟汉华 黄泽钧 沈维明 副主编 付 平 高秀清 刘军号 主 审 张亚庆 鲁立中
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 25.25印张 630千字
版 次	2008年7月第1版 2008年7月第1次印刷 2016年1月第2版 2016年1月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	55.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

第二版前言

本书根据高等职业教育土建类各专业人才培养目标,遵循高等职业院校学生的认知规律,以专业知识和职业技能、自主学习能力及综合素质培养为课程目标,紧密结合职业资格证书中相关考核要求,在第一版使用的基础上确定本书的内容。本书按照爆破工程施工、土方工程施工、地基与基础工程施工、砌筑工程施工、钢筋混凝土工程施工、钢结构工程施工、防水工程施工、装饰工程施工、桥梁工程施工、道路工程施工、地下工程施工、管道工程施工、水利水电工程施工等进行内容安排。

土木工程施工技术是一门实践性很强的课程。为此,本书始终坚持“素质为本、能力为主、需要为准、够用为度”的原则进行编写。本书对爆破工程、土方工程、地基与基础工程、砌筑工程、钢筋混凝土结构工程、钢结构工程、防水工程、装饰工程、桥梁工程、道路工程、地下工程、给排水管网、水利水电工程等土木工程施工做了详细阐述。本书结合我国土木工程施工的实际精选内容,力求理论联系实际,注重实践能力的培养,突出针对性和实用性,以满足学生学习的需要。同时,本书还在一定程度上反映了国内外土木工程施工的先进经验和技术成就。本书建议安排 60~80 学时进行教学。

本书由钟汉华、黄泽钧、沈维明任主编,付平、高秀清、刘军号任副主编,武汉市城建工程有限公司张亚庆、湖北卓越工程监理有限责任公司鲁立中任主审。具体编写人员及分工如下:湖北水利水电职业技术学院钟汉华编写单元 1,黄泽钧编写单元 2,杨如华编写单元 10,余丹丹编写单元 11,郑玲编写单元 12,冷涛编写单元 13;北京市昌平区农村工作委员会沈维明编写单元 3;新疆新华布尔津河乔巴特水利水电开发有限公司付平编写单元 4;北京农业职业学院高秀清编写单元 5;安徽水利水电职业技术学院刘军号编写单元 6;湖北孝天水利水电建设有限公司周春新编写单元 7;湖北江利水利建筑工程有限公司谢鹏、罗欣编写单元 8,张克新、陈秋梅编写单元 9。

在本书编写过程中,湖北水利水电职业技术学院薛艳、余燕君、金芳、李翠华、张少坤、刘宏敏、欧阳钦、曲炳良等老师做了一些辅助性工作,在此对他们的辛勤工作表示感谢。

本书参考和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,难免存在错误和不足之处,诚恳地希望读者与同行批评指正。

编者

2015 年 5 月

第一版前言

本教材是根据教育部《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,根据土木工程类专业指导性教学计划及教学大纲组织编写的。

本教材内容包括土建工程常见工种施工工艺及各类建筑物施工技术两大部分。在编写过程中,主要体现高等职业技术教育教学特点,并结合我国土木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,还适当照顾了不同地区的特点和要求,力求反映国内外土木工程施工的先进经验和技術成就。

参加本教材编写的有中国水利水电第七工程局朱力(第 1 章)、湖北水利水电职业技术学院钟汉华(第 5 章)、董伟(第 3 章)、余丹丹(第 10 章)、徐燕丽(第 11 章)、徐宏广(第 12 章)、罗岚(第 13 章),山东水利职业学院刘宁(第 7 章、第 9 章)、刘昌礼(第 8 章),福建水利电力职业技术学院颜志敏(第 6 章),襄樊市住宅经营公司余辉(第 2 章),湖北水总水利水电建设股份有限公司聂红峡(第 4 章)。全书由钟汉华、刘宁任主编,颜志敏、王启亮任副主编,湖北卓越工程建设监理公司鲁立中主审。

本教材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,难免存在错误和不足之处,诚恳地希望读者批评指正。

编者

2008 年 5 月

第二版前言

第一版前言

单元 1	爆破工程施工	1
课题 1.1	爆破的基本知识	1
课题 1.2	爆破材料及起爆方法	4
课题 1.3	爆破施工	13
课题 1.4	控制爆破	18
单元小结		21
习题		21
单元 2	土方工程施工	22
课题 2.1	土方开挖	22
课题 2.2	土方的填筑与压实	26
课题 2.3	基坑支护与降排水	29
单元小结		49
习题		49
单元 3	地基与基础工程施工	51
课题 3.1	地基处理	51
课题 3.2	砌体工程基础施工	58
课题 3.3	钢筋混凝土基础施工	64
课题 3.4	桩基础施工	67
课题 3.5	地下连续墙施工	81
课题 3.6	箱形基础施工	85
单元小结		85
习题		86
单元 4	砌筑工程施工	87
课题 4.1	脚手架及垂直运输设备	87
课题 4.2	砂浆的制备和运输	95
课题 4.3	砌体施工	96
单元小结		104
习题		104

单元 5 钢筋混凝土结构工程施工	106
课题 5.1 模板施工	106
课题 5.2 钢筋施工	119
课题 5.3 混凝土施工	139
课题 5.4 预应力混凝土工程施工	156
课题 5.5 装配式钢筋混凝土工程施工	162
单元小结	171
习题	172
单元 6 钢结构工程施工	174
课题 6.1 钢结构的制作	174
课题 6.2 钢结构连接	179
课题 6.3 钢结构安装	181
课题 6.4 钢结构涂装	188
单元小结	190
习题	191
单元 7 防水工程施工	192
课题 7.1 地下工程防水施工	192
课题 7.2 室内防水工程施工	203
课题 7.3 外墙防水施工	210
课题 7.4 屋面工程施工	213
单元小结	236
习题	237
单元 8 装饰工程施工	238
课题 8.1 抹灰施工	238
课题 8.2 饰面板与饰面砖施工	242
课题 8.3 地面施工	248
课题 8.4 吊顶与轻质隔墙施工	254
课题 8.5 门窗施工	261
课题 8.6 涂饰施工	264
课题 8.7 裱糊施工	268
课题 8.8 幕墙施工	271
单元小结	272
习题	272
单元 9 桥梁工程施工	273
课题 9.1 桥梁基础与桥梁墩台施工	273
课题 9.2 桥梁上部结构施工	284
单元小结	293
习题	293

单元 10 道路工程施工	294
课题 10.1 路基施工	294
课题 10.2 路面施工	300
单元小结	313
习题	314
单元 11 地下工程施工	315
课题 11.1 地下工程开挖	315
课题 11.2 地下工程的衬砌与灌浆	325
课题 11.3 喷锚支护技术	330
课题 11.4 掘进机与盾构机施工	337
单元小结	346
习题	346
单元 12 供排水管网施工	348
课题 12.1 地下管道开槽施工	348
课题 12.2 地下管道不开槽施工	354
课题 12.3 管道附属设备及附属构筑物施工	366
单元小结	368
习题	369
单元 13 水利水电工程施工	370
课题 13.1 施工导流与水流控制	370
课题 13.2 土石建筑物施工	376
课题 13.3 混凝土建筑物施工	380
单元小结	394
习题	394
参考文献	395

单元1 爆破工程施工

教学目标：了解爆破的概念、分类方法，掌握装药量的计算方法；了解常用炸药、起爆器材的类型、适用场合，掌握正确选用炸药、起爆器材的方法；了解常用的起爆型式，熟悉常用的起爆方法；了解常用的爆破方法，能根据有关条件选用施工方案；掌握爆破施工各工序的要求、操作方法；了解预裂爆破、光面爆破、微差控制爆破等方法的适用场合。

课题 1.1 爆破的基本知识

1.1.1 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，体积增加数百倍至数千倍，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。

爆破的常用术语如下。

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。整个被影响的范围称为爆破作用圈。这种现象随着与药包中心间的距离增大而逐渐消失，按对介质作用不同可分为四个作用圈。

(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 这个球形地带称为压缩圈或破碎圈。

(2) 抛掷圈。图 1.1 围绕在压缩圈范围以外至 R_2 的地带，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，因而称为抛掷圈。

(3) 松动圈。松动圈又称破坏圈。图 1.1 中在抛掷圈以外至 R_3 的地带，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，因而称为破坏圈。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称为松动圈，而把只是形成裂缝、互相间仍然连成整块的一部分称为裂缝圈或破裂圈。

(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

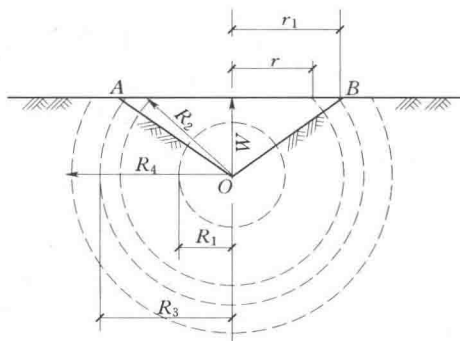


图 1.1 爆破影响范围示意图



质只能在应力波的作用下,产生振动现象,这就是图 1.1 中 R_4 所包括的地带,通常称为震动圈。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

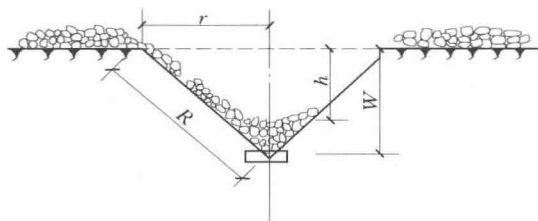


图 1.2 爆破漏斗

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

坑,称为爆破漏斗。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称为最小抵抗线,如图 1.2 中的 W 所示。

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 所示。若 $r=W$,则 r 为标准抛掷漏斗半径。

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 来区分不同爆破漏斗,划分不同爆破类型:当 $n=1$ 时,称为标准抛掷爆破漏斗;当 $n>1$ 时,称为加强抛掷爆破漏斗;当 $0.75<n<1$ 时,称为减弱抛掷爆破漏斗;当 $0.33<n\leq 0.75$ 时,称为松动爆破漏斗;当 $n\leq 0.33$ 时,称为裸露爆破漏斗。

6. 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。

7. 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。

1.1.2 药包及其装药量计算

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。药包的分类及使用可见表 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	长边大于短边 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

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,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

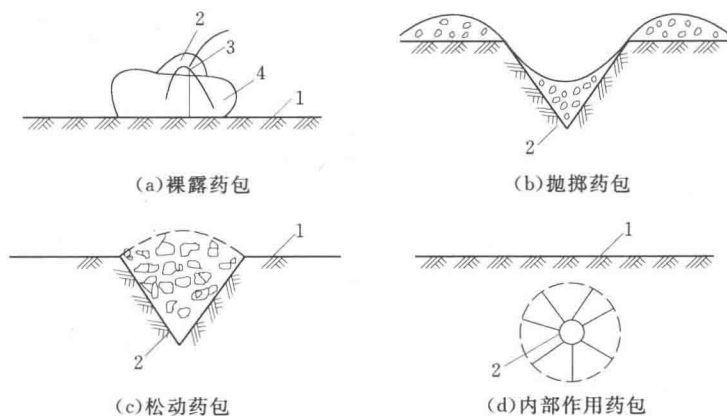


图 1.3 爆破作用分类

1—临空面；2—药包；3—覆盖物（砂或黏土）；4—被爆破的物体

影响因素又与介质的硬度有关。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。

药包药量的基本计算公式是

$$Q = KV \quad (1.2)$$

其中

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

式中 K ——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 ——标准抛掷漏斗内的岩石体积， m^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

$$Q = 0.33 KW^3 \quad (1.6)$$

式中 Q ——药包重量， kg ；

W ——最小抵抗线， m ；

n ——爆破作用指数。



表 1.2

单位耗药量 K 值单位: kg/m^3

岩石种类	K	岩石种类	K
黏土	1.0~1.1	砾岩	1.4~1.8
坚实黏土、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

1.1.3 爆破的分类

爆破可按爆破规模、凿岩情况、要求等不同进行分类。

(1) 按爆破规模分, 爆破可分为小爆破、中爆破、大爆破。

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

(3) 按爆破要求分。爆破可分为松动爆破、减弱抛掷爆破、标准抛掷爆破、加强抛掷爆破及定向爆破、光面爆破、预裂爆破、特殊物爆破(冻土、冰块等)。

课题 1.2 爆破材料及起爆方法

1.2.1 爆破材料

1.2.1.1 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, 炸药的爆热越高, 生成气体量越多, 爆力也就越大。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。炸药爆速越高, 密度越大, 其猛度越大。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称为殉爆。殉爆反映了炸药对冲击波的感度。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高, 则该炸药的感度低。炸药的感度对于炸药的制造加工、运输、储存、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储存中，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，特别是取决于储存温度的高低。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 1.3。

表 1.3 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混合猛炸药的主要成分；黑索紧、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 1.4。

表 1.4 常用炸药主要性能及用途表		
名称	主要性能及特性	用 途
梯恩梯 (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



续表

名称	主要性能及特性	用途
硝铵类炸药	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，适于一般岩石爆破，也可用于地下工程爆破
黑色火药	由硝石（75%）、硫黄（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

1.2.1.2 起爆器材

起爆器材包括雷管、导火索和传爆线等。

1. 火雷管

火雷管由管壳（材质为铜、铝、纸、塑料等）、起爆药（良好火感的、二硝基重氮酚）、猛炸药（感度略低但威力较大的黑索金、泰安）、加强帽（1.9~2.1mm 小孔金属罩，铜片制，加强起爆药爆轰的约束条件、密封作用，减少外界影响）组成（图 1.4）。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。

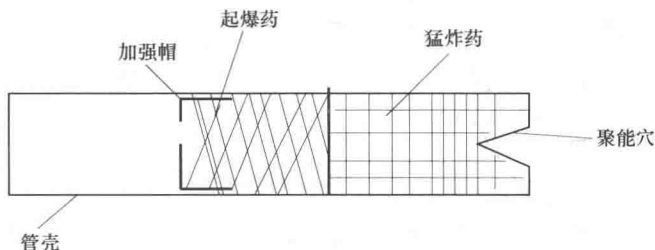


图 1.4 火雷管结构图

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。火雷管具有结构简单，生产效率高，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。

2. 电雷管

电雷管分瞬发电雷管和延期电雷管。延期电雷管分为普通延期电雷管（秒或半秒延期电雷管）与毫秒延期电雷管。

（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。电引火元件结构如图 1.6 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。

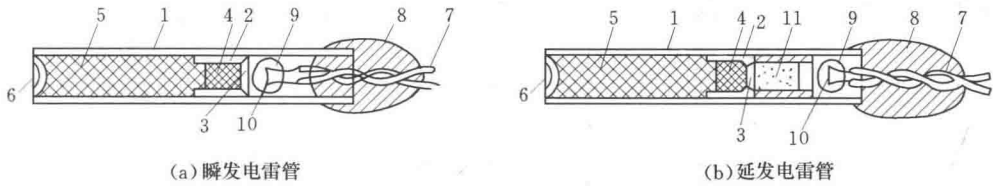


图 1.5 电雷管结构图

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；7—脚线；
8—绝缘涂胶；9—球形发火剂；10—电阻丝；11—缓燃剂

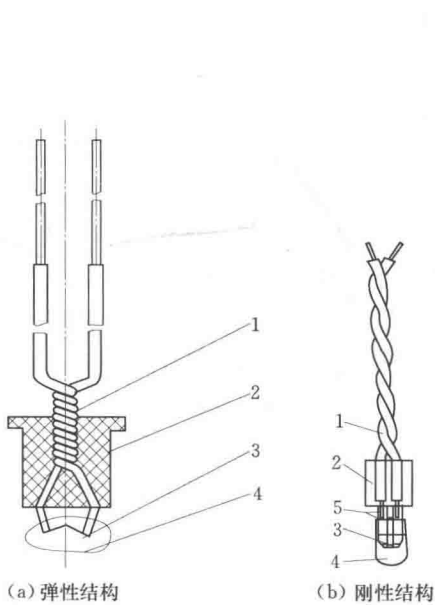


图 1.6 电引火元件结构示意图

1—脚线；2—塑料塞；3—桥丝；
4—引火药；5—金属脚

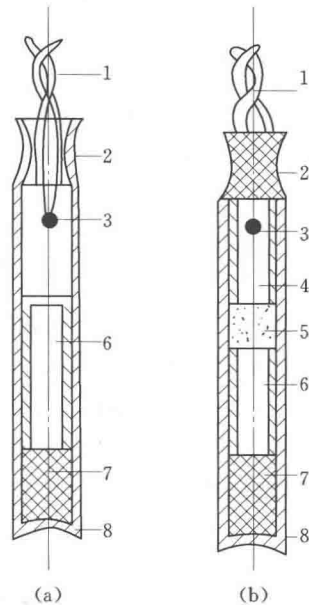


图 1.7 普通延期电雷管结构

1—脚线；2—塑料管；3—点火头；
4—延期管；5—延期药；6—起爆元件；
7—黑索金；8—管壳

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 0.5s 或 1s。延期时间是用精致火索段或延期药来达到的，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。

普通延期电雷管的结构如图 1.7 所示，该类雷管主要用于隧道掘进、采石、土方开挖等爆破作业中，在有瓦斯和煤尘爆炸危险的工作面不准使用延期电雷管。

(3) 毫秒延期电雷管。毫秒延期电雷管有等间隔和非等间隔之分，段与段之间的间隔时间相等的称为等间隔，反之为非等间隔。

毫秒延期电雷管在爆破中应用越来越多，可降低爆破地震波、保护边坡、控制飞石。毫



秒电雷管正在向高精度、多段数、多品种、多系列的方面发展，同时还要求它能抗静电、抗杂静电、耐高温、抗深水，以满足各种特殊要求的爆破需要。

1) 抗杂散电流毫秒电雷管。抗杂散电流毫秒电雷管，简称为抗杂电雷管，按其抗杂电原理可分为容抗式、无桥丝式、低阻桥丝式三种。

无桥丝式电雷管是利用导电药代替桥丝。导电药起导电、发热作用，其电阻与电压有特殊关系，外接电压低，电阻高；外接电压高，则电阻值低，电流可以起爆电雷管，这样就可满足工程爆破的抗杂散电流的要求。

低阻桥丝式抗杂电毫秒电雷管，是采取降低桥丝电阻来控制发热量，使药头不会发火引爆，从而使杂电的能量大部分消耗在脚线上。该总雷管结构简单，有较高的抗杂电能力，能满足国内大部分有杂电的矿山的爆破要求。但由于桥丝电阻小，对网络绝缘要求很高，难于达到要求时则易产生拒爆，使用受到限制。

2) 无起爆药毫秒电雷管。无起爆药雷管是目前最先进、最安全的雷管，由于取消雷管中正起爆药，实现整雷管只有单一猛炸药，并解决了无起爆药电雷管的群爆问题，其结构如图 1.7 所示。

无起爆药雷管电性能和爆炸威力与普通毫秒雷管相同，冲击感度低于普通电雷管，耐火性能比普通雷管要好。由于其结构简单，操作使用完全可与普通雷管同样对待。

3) 安全电雷管。安全电雷管分为瞬发与毫秒两种，适用于瓦斯较突出的地下工程，配合安全炸药，在瓦斯矿井进行爆破。它是通过在雷管的猛炸药中加入消焰剂并改底部为平底结构等方法来实现安全起爆的。安全毫秒电雷管的延期时间必须控制在 130ms 以内。

(4) 非电雷管。非电雷管是指专用于非电导爆管起爆系统的雷管，包括瞬发、秒差和毫秒雷管，产品已成系统化，可应用于各种工程爆破。

3. 导火索

导火索是用来起爆火雷管和黑火药的起爆材料。用于一般爆破工程，不宜用于有瓦斯或粉尘爆炸危险的作业面。它是用黑火药做芯药，用麻、棉纱和纸做包皮，外面涂有沥青、油脂等防潮剂。

导火索的燃烧速度有两种：正常燃烧速度为 $100\sim 120\text{s/m}$ ，缓燃速度为 $180\sim 210\text{s/m}$ 。喷火强度不低于 50mm 。国产导火索每盘长 250m ，耐水性一般不低于 2h ，直径 $5\sim 6\text{mm}$ 。

4. 导爆索

导爆索用强度大、爆速高的烈性黑索金作为药芯，以棉线、纸条为包缠物，并涂以防潮剂，表面涂以红色。索头涂以防潮剂。

导爆索不受电的干扰，使用安全，起爆准确可靠，并能同时起爆多个炮孔，同步性好，故在控制爆破中应用广泛；施工装药比较安全，网络敷设简单可靠；可在水孔或高温炮孔中使用。

5. 导爆管

导爆管是一种半透明的具有一定强度、韧性、耐温、不透水的塑料管起爆材料。在塑料软管内壁涂薄一层胶状高性能混合炸药（主要为黑索金或奥克托金），装药量为 $(16\pm 1.6)\text{g/m}$ 。

具有抗火、抗电、抗冲击、抗水以及导爆安全等特性。

导爆管主要用于无瓦斯、粉尘的露天、井下、深水、杂散电流大和一次起爆多数炮孔的



微差爆破作业中,或上述条件下的瞬发爆破或秒延期爆破。

1.2.2 起爆方法

按雷管的起爆方法不同,常用的起爆方法可分为电力起爆法、非电力起爆法和无线起爆法三类。非电力起爆法又包括火花起爆法、导爆索起爆法和导爆管起爆法。

1. 电力起爆法

电力起爆法就是利用电能引爆电雷管进而起爆炸药的起爆方法,它所需的起爆器材有电雷管、导线和起爆源等。本法可以同时起爆多个药包,可间隔延期起爆,安全可靠。但是操作较复杂,准备工作量大,需较多电线,需一定的检查仪表和电源设备。电力起爆法适用于大中型重要的爆破工程。

电力起爆网络主要由电源、电线、电雷管等组成。

(1) 起爆电源。电力起爆的电源,可用普通照明电源或动力电源,最好是使用专线。当缺乏电源而爆破规模又较小和起爆的雷管数量不多时,也可用于电池或蓄电池组合使用。另外还可以使用电容式起爆电源,即发爆器起爆。国产的发爆器有 10 发、30 发、50 发和 100 发几种型号,最大一次可起爆 100 个以内串联的电雷管,十分方便。但因其电流很小,故不能起爆并联雷管。常用的形式有 DF-100 型、FR81-25 型、FR81-50 型。

(2) 导线。电爆网络中的导线一般采用绝缘良好的铜线和铝线。在大型电爆网络中的常用导线按其位置和作用划分为端线、连接线、区域线和主线。端线用来加长电雷管脚线,使之能引出孔口或洞室之外。端线通常采用断面为 $0.2\sim 0.4\text{mm}^2$ 的铜芯塑料皮软线。连接线是用来连接相邻炮孔或药室的导线,通常采用断面为 $1\sim 4\text{mm}^2$ 的铜芯或铝芯线。主线是连接区域城与电源的导线,常用断面为 $16\sim 150\text{mm}^2$ 的铜芯或铝芯线。

(3) 电雷管的主要参数。电雷管主要参数有最高安全电流、最低准爆电流、电雷管电阻。

1) 最高安全电流。给电雷管通以恒定的直流电,在较长时间(5min)内不致使受发电雷管引火头发火的最大电流,称为电雷管最高安全电流。按规定,国产电雷管通 50mA 的电流,持续 5min 不爆的为合格产品;测量电雷管电爆网络的爆破仪表,其输出工作电流不得大于 30mA。

2) 最低准爆电流。给电雷管通一恒定的直流电。保证在 1min 内能使任何一发电雷管都能起爆的最小电流,称为最低准爆电流。国产电雷管的准爆电流不大于 0.7A。

3) 电雷管电阻:电雷管电阻是指桥丝电阻与脚线电阻之和,又称电雷管安全电阻。电雷管在使用前应测定每个电雷管的电阻值,在同一爆破网络中使用的电雷管应为同厂同型号产品。康铜桥丝雷管的电阻值差不得超过 0.3Ω ;镍铬桥丝雷管的电阻值差不得超过 0.8Ω 。电雷管的电阻值是进行电爆网络计算不可缺少的参数。

(4) 电爆网络的连接方式。当有多个药包联合起爆时,电爆网络的连接可以采用串联、并联、串并联、并串联等方式(图 1.8、图 1.9)。

1) 串联法。串联法是将电雷管的脚线一个接一个地连在一起,并将两端的两根脚线接至主线,并通向电源。该法线路简单,计算和检查线路较易,导线消耗较小,需准爆电流小,可用放炮器、干电池、蓄电池做起爆电源。但整个起爆电路可靠性差,如一个雷管发生故障,或敏感度有差别时,易发生拒爆现象。适用于爆破数量不多、炮孔分散、电源电流不大的小规模爆破。