

高等学校教材

水利水电工程施工技术

第二版

武汉水利电力大学 杨康宁 主编



高等学校教材

水利水电工程施工技术

(第二版)

武汉水利电力大学 杨康宁 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书共八章,包括爆破工程、地基开挖与处理、灌浆工程施工、土石坝施工、地下建筑物施工、混凝土坝施工、大坝混凝土施工温度控制、水电站厂房施工等。

本书除可作高等学校水利水电工程施工专业的教材外,还可作其它水利水电工程专业的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

水利水电工程施工技术/杨康宁主编. —北京:中国水利水电出版社,1996
高等学校教材

ISBN 7-80124-261-0

I. 水… II. 杨… III. 水利工程-工程施工-技术措施-高等学校-教材 IV.
TV52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 17789 号

书 名	高等学校教材 水利水电工程施工技术 (第二版)
作 者	武汉水利电力大学 杨康宁 主编
出 版	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京市金剑照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 427 千字
版 次	1985 年 12 月第一版 1997 年 6 月第二版 1999 年 10 月北京第六次印刷
印 数	13191—15190 册
定 价	18.30 元

第一版前言

本书是为水利水电工程施工专业编写的教科书。全书除绪论外共分八章,即:爆破工程施工;地基开挖与处理;灌浆工程施工;土石坝施工;地下建筑物施工;大坝混凝土施工;大坝混凝土施工的温度控制和水电站厂房施工等。其中的四章为水工水电站建筑物施工;另四章为建筑物施工中的一些专门问题。

为了保持书中内容一定的系统性,而又能兼顾到某些问题有作较深入阐述的余地,所以采取了建筑物施工和专门问题相结合的编写方式。

本书是由武汉水利电力学院水利水电工程施工教研室组织室内人员编写的。在近年来一些同志的教学实践和自编内部教材使用的基础上,同时参考了1980年出版的《水利工程施工》(武汉水利电力学院、成都科学技术大学编,水利出版社出版)的部分内容,由下列同志分工执笔编写而成:

绪论——吴国栋

第一章 爆破工程施工——董振华

第二章 地基开挖与处理——聂天慧

第三章 灌浆工程施工——聂天慧

第四章 土石坝施工——梁润

第五章 地下建筑物施工——李卷志

第六章 大坝混凝土施工——吴国栋 陈锦桂

第七章 大坝混凝土施工的温度控制——梁润 杨康宁

第八章 水电站厂房施工——冯立生

本书由武汉水利电力学院水利水电工程施工教研室梁润同志主编、陕西机械学院水利系孙振天同志主审。

主审人所提宝贵意见,出版社的同志和一些参加抄写、描图的同志付出的辛勤劳动,对本书能与读者见面起了很大作用,我们敬致谢忱!

由于水平所限,缺点或错误,恐在所难免,望能得到指正。

编者

1984年6月

第二版前言

1985年出版的《施工技术》(武汉水利电力学院梁润主编),作为水利水电工程施工专业的教科书已有十年时间。吸取十年来使用该教材的经验,重新修定改写成这本《水利水电工程施工技术》。在修定中着重注意了以下几个问题:

(1)篇幅与学时数要求相适应;

(2)内容与本专业《施工机械与施工机械化》(武汉水利电力学院余恒睦主编,1987年出版)的内容尽量避免重复;

(3)反映施工技术方面的新进展;

(4)增加了思考题并列出了主要参考文献,以利于学习。

本书由武汉水利电力大学赖世骧教授(第一章)、冯立生副教授(第三、四、八章)、谢兴保副教授(第二、五章)、杨康宁教授(绪论、第六、七章)共同编写。全书由杨康宁主编,西安理工大学孙振天教授主审。

主审所提宝贵意见、《施工技术》编者们的成果、出版社同志们付出的辛勤劳动等,对本书的编写、出版起了很大作用,对此,我们表示衷心感谢!

编者

1994年10月

目 录

第二版前言

第一版前言

绪 论	1
第一章 爆破工程	3
第一节 炸药	3
第二节 起爆材料与起爆方法	8
第三节 工程爆破基础	13
第四节 钻孔爆破	18
第五节 洞室爆破	26
第六节 爆破公害及预防	33
思考题	38
第二章 地基开挖与处理	39
第一节 岩基开挖与处理	39
第二节 软基开挖与处理	52
思考题	67
第三章 灌浆工程施工	68
第一节 岩基灌浆	68
第二节 砂砾石地基灌浆	79
第三节 混凝土坝接缝灌浆	83
第四节 化学灌浆	92
思考题	96
第四章 土石坝施工	98
第一节 料场规划	98
第二节 土石料开挖运输	99
第三节 土料压实	101
第四节 坝体填筑	112
第五节 混凝土面板堆石坝垫层与面板的施工	120
第六节 质量检查控制及事故处理	122
第七节 雨季和冬季施工	126
思考题	128
第五章 地下建筑物施工	130
第一节 钻爆开挖	130
第二节 隧洞钻孔爆破	137
第三节 掘进机开挖	141
第四节 装渣与运输	143

第五节	现浇混凝土衬砌	146
第六节	新奥法与喷锚支护	153
第七节	施工安全与辅助工作	171
思考题	172
第六章	混凝土坝施工	174
第一节	混凝土骨料制备	174
第二节	模板作业	182
第三节	坝体施工的分缝分块	188
第四节	混凝土制备	190
第五节	混凝土运输	194
第六节	混凝土浇筑与养护	200
第七节	混凝土施工质量控制	204
第八节	碾压混凝土坝施工	208
思考题	212
第七章	大坝混凝土施工温度控制	213
第一节	热传导及混凝土热性能	214
第二节	混凝土浇筑温度及水泥水化热	218
第三节	坝体稳定温度场解算	220
第四节	坝体不稳定温度场解算	223
第五节	坝块的温度应力	235
第六节	温度控制标准与温度控制措施	240
第七节	混凝土冬季施工	264
思考题	265
第八章	水电站厂房施工	266
第一节	厂房施工特点	266
第二节	混凝土分缝分块及温度控制	268
第三节	施工布置与施工程序	271
第四节	尾水管模板	275
第五节	二期混凝土施工	278
思考题	284
主要参考文献		286

绪 论

水利水电工程建设大致分为规划、设计和施工三个阶段。施工，是把改造江河的蓝图变为现实的重要阶段。施工阶段的主要任务是：充分发挥施工人员的能动性和创造性，把包括能源、原材料和设备在内的各种物资进行科学的组织、筹划和管理，用最少的人力、物力、财力和最短的时间，把设计付诸实施。在工程施工中要做到安全、优质、快速和经济。这就要求对施工技术、施工机械化和施工组织管理三个方面，不断进行研究和总结。正因为如此，水利水电工程施工这门学科又可分为水利水电工程施工技术、水利水电工程施工机械化和水利水电工程施工组织与管理三个分支学科。对水利水电工程快速经济施工来说，三者相辅相成、缺一不可。

施工技术的采用必须结合水利水电工程施工特点，特别是大型水利水电工程的施工特点。这些特点主要有以下几方面。

(1) 水利水电工程施工是在江河上进行的，受地形、地质、水文地质、水文和气象条件的限制比较大。

(2) 大型水利水电工程一般是多目标开发的综合性工程，有巨大的经济效益和社会效益。其施工过程对社会、政治、经济和生活环境的影响很大，因而受这些因素的制约也很大。

(3) 大型水利水电工程施工所需材料、设备和生活资料的数量巨大，而往往又地处高山峡谷、交通不便，因而合理解决场内外的交通运输问题对于整个工程快速经济施工具有关键性的影响。

(4) 大型水利水电工程一般在上游形成相当大的库容，其挡水建筑物一旦失事会给下游一定范围内带来毁灭性的灾难。因此，在施工中应当高度重视工程质量问题，并采取切实的措施确保工程质量。

(5) 大型水利水电工程通常包括许多单位工程，各个单位工程又由若干分部分项工程组成。在各个单位工程之间、在各个分部分项工程之间，存在着某种必然关系。施工人员对这种关系要有正确而充分的认识，方能最大限度地减少其相互干扰，进行连续、均衡、有节奏和高效率的施工。

水利水电工程施工技术，作为一门技术科学，其主要研究任务是：从水利水电工程施工的需要和特点出发，探讨和发展有关工程安全、优质、快速和经济施工的技术。

随着我国社会主义建设事业的发展，随着改革开放的不断深入，我国水利水电工程施工技术得到了长足的进步。改革开放以来，在以下一些方面成绩显著：碾压混凝土坝与钢筋混凝土面板堆石坝两种新坝型的配套施工技术；地下厂房大断面开挖和支护的成套技术；隧洞快速掘进、滑模、钢模及组合大模板；混凝土预冷技术；新的钻爆技术；大吨位锚束；防渗墙快速造墙技术等等。

展望未来，我国水利水电建设的前景灿烂辉煌。我国可开发的水力资源居世界之冠，可

装机 3.78 亿 kW，迄今才开发了约 10%。从充分发挥水力资源优势、减少环境污染、缓解煤炭生产运输压力和优化能源结构出发，大力发展水电事业势在必行。到本世纪末，水电装机容量要在 80 年代末的基础上翻一番，达到 8000 万 kW。要建设一批大型和超大型的水利水电工程，其中有举世瞩目的三峡工程(装机 1820 万 kW)、二滩双曲拱坝(高 240m、装机 330 万 kW)、小湾堆石坝(高 286m、装机 420 万 kW)、龙滩碾压混凝土重力坝(高 192m、装机 420 万 kW)、天生桥一级钢筋混凝土面板堆石坝(高 180m、装机 120 万 kW)等等。

我国水力资源集中在西南和西北地区。今后要建设的工程规模越来越大，交通越来越不便，自然条件越来越复杂。有许多复杂的技术问题需要去解决。例如高混凝土坝的温控防裂问题、深厚覆盖层上的筑坝问题(小浪底和瀑布沟坝基覆盖层深达 70 余 m)，强地震区和复杂地质条件下的筑坝问题，深埋置特长隧洞的开挖与支护问题(锦屏二级电站隧洞埋深 2500m、长 18~20km)。为了解决这些技术难题，必须学习和引进国外的先进经验、学习和借鉴其它领域的施工技术，组织力量对专门技术问题进行攻关并结合工程应用不断总结、修改和完善。我们相信，上述大型和特大型工程胜利建成之日将是我国水利水电建设(包括其施工技术)进入世界前列之时。

本课程是一门专业课，本教材围绕水利水电工程几个典型建筑物的施工和一些专门问题，着重阐明水利水电施工技术的基本原理、施工程序、施工特点、施工方法及主要机械设备的选型，同时适当介绍国内外当前的水平和发展趋势。学习本课程时要运用先修课程的有关知识和工地实习获得的感性认识，掌握本课程的基本原理、基本概念和基本方法，培养分析和解决实际施工问题的能力。注意国内外新技术的发展、扩大视野、启发思路，也是不可缺少的。

第一章 爆破工程

爆破是利用炸药的爆炸能量对炸药周围的介质(土、岩石及混凝土等)进行破坏。水利水电工程施工中,建筑物的地基开挖和处理、建筑物的空间开拓、料场开采、定向爆破筑坝、建筑物拆除和质量事故处理等均广泛运用爆破工程技术。

本章将从工程应用的角度介绍爆破工程中最基本的内容:炸药、起爆材料与起爆方法、基本的爆破方法及爆破公害与预防。

第一节 炸 药

炸药与起爆材料均属爆破材料。炸药是破坏介质的能源,而起爆材料则使炸药能够安全、有效地释放能量。

一、炸药与爆炸的基本知识

物质内能的高速释放过程,即为爆炸。爆炸时,物质内能转变为爆炸功,对周围介质产生破坏效应,即为爆破。

炸药爆炸属化学爆炸。一般说来,凡能产生化学爆炸的物质均可称为炸药。但从安全和经济上考虑,并非所有能产生化学爆炸的物质均能作为工程爆破中的炸药使用。

(一)炸药化学变化的三形态

根据不同的外界环境,炸药有三种不同的化学反应形态:分解、燃烧和爆炸。

(1)分解 分解是指在常温下炸药自行缓慢进行的化学分解反应。当温度较高时,炸药分解均为放热反应,若放出的热量不能及时散失,则炸药温度就会不断升高,促使分解加速并放出更多的热量。如此循环,炸药就会由缓慢分解转化为燃烧,乃至爆炸。

在贮存、使用炸药过程中,应防止过高的环境温度,并消除由分解转为燃烧,甚至爆炸的外界条件。

(2)燃烧 炸药燃烧一般由局部开始,以焰面形式传播。焰面传播速度叫做燃烧速度。炸药的燃烧速度一般为每秒数毫米至数米,特殊情况下可达数百米(爆燃),均小于音速。

炸药燃烧的反应热,一部分传递给焰面前方的炸药,使之继续燃烧;另一部分散失于四周。当反应热与保持炸药继续燃烧所需之热量及散失之热量平衡时,炸药将稳定燃烧。若反应热过大,或热量无法散失,就会使燃烧区压力增大,燃速提高,放出更多的热量,如此循环,最终导致燃烧转为爆炸。如反应热过小,或热量散失过大,就会使燃烧速度衰减,导致燃烧熄灭。

稳定燃烧和由燃烧迅速转为爆炸是起爆药所需具备的特性。

(3)爆炸 在工程爆破中,一般用雷管产生的冲击波激发炸药爆炸。图 1-1 所示为一柱状装药的爆炸过程。炸药爆炸自左向右进行,Ⅰ为炸药未扰动区,Ⅱ为反应区,Ⅲ为爆轰产物区。冲击波是波阵面状态参数(压力、密度和温度)突跃且传播速度大于音速的强压缩

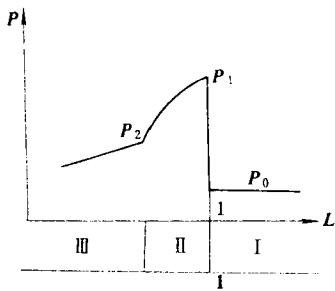


图 1-1 爆炸过程示意
L—药卷轴向坐标；P—压力

波。图中，冲击波波阵面正传播至 1-1 断面。在此，炸药由初始压力 P_0 跃升为冲击波波阵面压力 P_1 ，密度及温度也作相应跃升。在冲击波作用下，紧接波阵面后的反应区炸药进行着比燃烧激烈得多的化学反应，放出的能量一部分维持波阵面参数的稳定，使冲击波稳定地沿炸药传播；另一部分保留于爆轰产物区。如果反应区放出的能量不足以维持波阵面状态参数的稳定，冲击波将衰减。在炸药中稳定传播的冲击波又叫爆轰波。因此，爆炸可分为稳定爆炸与不稳定爆炸。稳定爆炸是由爆轰波传递的，故又称爆轰。

(二) 爆炸反应的必要条件

物质在化学反应过程中，必须同时满足以下三条件才能形成爆炸。

(1) 反应生成物中有足够数量的气体 气体具有高压缩性和膨胀性，炸药爆炸放出的能量首先转变为气体的压缩能，而后在气体膨胀过程中转变为机械功。因此，气体是炸药爆炸做功的媒质，没有足够的气体产物就不可能具有爆炸性。

(2) 放出足够的热量 反应热是炸药爆炸做功的能源，是炸药进行爆轰的必要条件。

(3) 反应过程的高速度 炸药爆炸反应区内炸药变成爆炸产物的时间只需数微秒，甚至不到 1 微秒，爆炸传播速度高达每秒数千米。由于反应的高速度，故产生极大的功率和极高的能量密度，呈现出爆炸性。

二、炸药的主要性能

(一) 炸药的物理化学性能

1. 炸药的安定性

炸药在贮存过程中，保持其原有物理、化学性质不变的能力，称为炸药的安定性。

(1) 物理安定性 物理安定性取决于炸药的物理性质，主要有吸湿、结块、挥发、渗油、老化、冻结、耐水等性能。固态硝酸铵类炸药易吸湿变潮，从而降低爆炸威力，严重时产生拒爆。含水硝酸铵类炸药易产生析晶、逸气、渗油和冻结等现象，从而降低爆炸威力乃至拒爆。

(2) 化学安定性 化学安定性取决于炸药的化学性质，特别是热分解作用。

炸药有效期取决于安定性。贮存环境温度、湿度及通风条件等对炸药实际有效期影响巨大。

2. 炸药的敏感度

炸药是一种相对稳定的物质，仅当获得足够强度的某种形式的起始能量时，才会产生爆轰。炸药在外界能量作用下激起爆轰的过程，称为炸药的起爆。炸药起爆所需的外界能量，称为起爆冲能。炸药起爆的难易程度，称为炸药的敏感度。

有不同的起爆冲能，相应地炸药也就有不同的敏感度，如热感度、火焰感度、冲击感度、摩擦感度、冲击波感度和爆轰感度等。炸药感度指标通过规定条件下的试验确定，该值对于指导炸药的安全生产、运输、贮存和使用具有重大作用。

不同的炸药，具有不同的感度。同一种炸药，对于不同的外能，其感度可能出现较大差异。

对工业炸药，常用雷管以爆轰波作为起爆冲能，故要求其爆轰感和冲击波感度不应过低。为了安全生产，又要求工业炸药冲击和摩擦感度不能过高。

装填雷管的起爆药，具有较高的火焰感和冲击波感度，生产中更应注意安全使用。

3. 炸药的氧平衡

炸药爆炸的化学过程首先是物质分解为碳、氢、氧、氮等4种主要元素，而后是可燃元素进行氧化放热反应，形成新的稳定爆生产物： CO_2 、 H_2O 、 CO 、 N_2 、 O_2 、 H_2 、 C 、 NO 和 CH_4 等。产物种类、数量及热效应与炸药所含助燃元素和可燃元素的数量有着密切的关系。

炸药的氧平衡是指炸药所含氧量能将炸药中的其它元素氧化的程度。

在爆炸化学反应中，若炸药内的氧元素正好将炸药中的碳、氢完全氧化为 CO_2 、 H_2O ，而氮呈游离态 N_2 ，则称为零氧平衡。零氧平衡是最理想的炸药配方；氧、碳、氢元素均得到充分利用，放出的热量最多，而且不会产生有毒气体。氧含量过多为正氧平衡；氧过少为负氧平衡。正氧和负氧平衡均会使炸药中的某些元素得不到充分利用，导致反应热降低和产生有毒气体。

工业炸药应力求零氧平衡或微量正氧平衡，避免负氧平衡。

(二) 炸药威力的理论指标

炸药威力即是炸药作功能力。图1-2所示为炸药爆轰作功状态变化过程。一定质量的炸药，若初始体积为 V_0 ，温度为 T_0 ，压力为 P_0 ，由于爆轰过程的高速度，可视爆轰为一定容绝热过程。爆轰结束时，反应热全部放出，体积仍为 V_0 ，但压力上升为 P ，温度上升为 T 。随后，爆生气体绝热膨胀，压力由 P 降至 P_0 ，温度由 T 降至 T_0 ，体积由 V_0 膨胀至 V 。

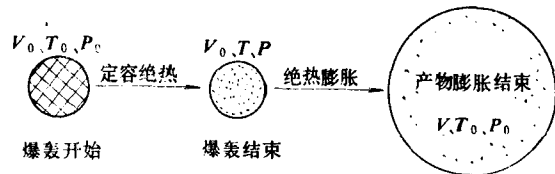


图 1-2 炸药爆轰作功状态变化过程

炸药爆轰作功过程的两种状态，对应着周围介质承受两种力的作用。在定容绝热阶段，爆轰波对周围介质产生冲击波，形成动态作用，使介质在一定范围内破裂。在爆生气体绝热膨胀阶段，压力作用时间相对较长，变化较缓慢，可视为静态作用。在静态作用过程中，介质中的裂缝进一步扩展，介质破碎成块体，并获得抛掷能量。

在理论研究上，以下五个指标综合地反映了炸药的威力，即动态作用与静态作用的大小。

(1) 爆热 1kg 或 1mol 炸药在定容条件下爆炸时放出的热量叫做爆热 Q_v (J/kg 或 J/mol)。

(2) 爆温 爆轰结束瞬间，爆轰产物在炸药初始体积内达到热平衡后的温度叫做爆温 T (C 或 K)。

(3) 爆容 1kg 炸药爆轰生成气体产物在标准状态 ($1.013 \times 10^5 \text{Pa}$, 273K) 下所具有的体积叫做爆容 V (L/kg)。

(4) 爆压 爆轰结束瞬间，爆轰产物在炸药初始体积内达到热平衡后的压力叫做爆压 P (MPa)。

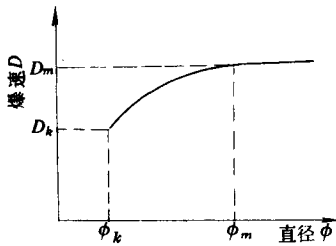


图 1-3 装药直径与爆速关系

(5)爆速 爆轰波传播速度叫做爆速 $D(\text{m/s})$ 。爆速与装药密度及药柱直径有关，因而，在提出爆速值时，应指明相应的装药密度和药柱直径。化合炸药爆速随密度增大而提高。混合炸药则存在最佳密度。例如，药柱直径为 32mm 的固态硝铵类炸药的最佳密度为 $0.95\sim 1.05\text{g/cm}^3$ ，密度过大或过小，爆速均下降。

爆速与药柱直径的关系如图 1-3 所示。药柱自临界直径 ϕ_k 增至极限直径 ϕ_m 时，爆速则自临界爆速 D_k 增至极限爆速 D_m 。当药柱直径小于 ϕ_k 时，药柱不能传爆，当药柱直径等于

或大于 ϕ_m 时，则保持极限爆速不变。

(三)炸药威力的实用指标

在炸药威力的理论指标中，爆速可用较简单的方法准确测定，其余指标则不然。因此，在生产实践中，为比较各种炸药的威力，常采用爆力、猛度与殉爆距离等相对比较的实验指标。

(1)爆力 图 1-4 所示为爆力试验的铅柱扩孔法。直径与高度均为 200mm 的铅铸圆柱体，中心留有直径为 25mm，深 125mm 的圆柱形孔。将受试炸药 10g 用锡箔纸作外壳制成直径为 24mm 的药柱，插入 8 号雷管后一并置于圆柱形孔底，将通过 144 孔/ cm^2 筛的石英砂填满圆孔。炸药爆炸后，圆孔体积的增值叫做受试炸药的爆力 (mL)。试验要求的标准环境温度为 15°C ，否则应对实测值进行温度修正。

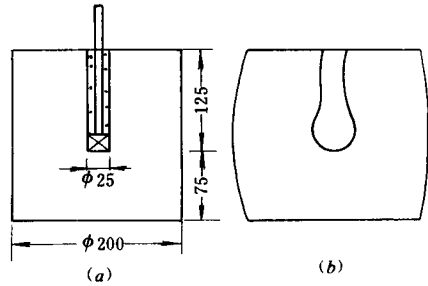


图 1-4 爆力试验(单位: mm)
(a)爆前; (b)爆后

从试验方法可以看出，爆力反映炸药破坏介质体积的数量。爆力愈大，炸除介质的体积愈多。从爆炸的化学、物理过程看，爆力反映了爆生气体产物膨胀做功的能力，即反映了炸药爆轰过程的静态作用，主要与爆热、爆容和爆压有关。

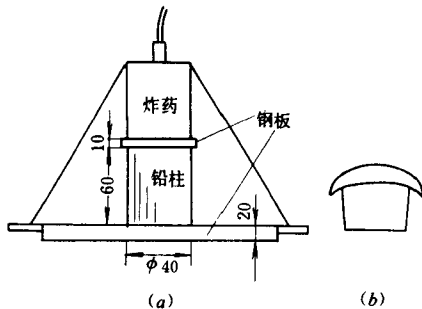


图 1-5 猛度试验(单位: mm)
(a)爆前; (b)爆后

(2)猛度 图 1-5 所示为猛度试验的铅柱压缩法。在厚度为 20mm 的底部钢板中央，放置直径为 40mm，高 60mm 的铅柱，其上再放直径为 41mm、厚 10mm 的钢板一块。受试炸药置于上层钢板上，四周用细绳稳定。受试炸药以牛皮纸作外筒，直径 40mm，药量 50g，控制密度为 1g/cm^3 ，药面放一中心带孔纸板，8 号雷管通过纸板孔插入药内 15mm 深。

爆后铅柱呈蘑菇状。爆炸前后的铅柱高差称为受试炸药的猛度 (mm)。

猛度试验中的受试炸药并不象爆力试验那样封闭于孔内。猛度反映了炸药的动态作用，表征爆炸冲击波和应力波强度，即爆轰波头参数的大小。这些参数的集中代表就是爆速。爆

速愈高，猛度愈大。就爆破效果而言，猛度反映炸药对介质破碎的程度。猛度愈高，爆后块度愈小。

比较梯恩梯与2号岩石铵梯炸药的爆炸性能指标，可进一步了解爆力与猛度的关系。从表1-1知，梯恩梯爆热比2号岩石铵梯炸药大，但爆力却小，关键在于梯恩梯爆容小，其爆热用于静态作用的效率较低。梯恩梯爆速比2号岩石铵梯炸药大得多，故其动态作用强，猛度较高。

表 1-1 两种炸药爆炸性能指标比较

炸 药	密 度 (kg/m ³)	爆 热 (kJ/kg)	爆 容 (L/kg)	爆 速 (m/s)	爆 力 (mL)	猛 度 (mm)
梯 恩 梯	1000	4190	701	5010	285	16
2号岩石铵梯	1000	3690	924	3600	320	12

(3)殉爆距离 殉爆距离的测试方法如图1-6。用直径与受试药卷直径(一般为32mm)相同的木棒在松砂土地上压出一条半圆地槽。沿地槽放置两卷受试药包，其中一卷主动药包，端头插入8号雷管，药卷聚能穴正对另一药卷(被动药包)平头端部，净间距为 D 。主动药包起爆后，若引起被动药包爆炸，则称后者为“殉爆”，能引起殉爆的最大间距称为殉爆距离。

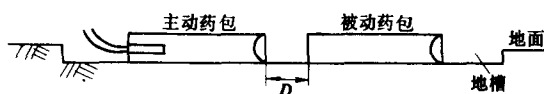


图 1-6 殉爆试验

被动药包殉爆，是因为主动药包产生的冲击波所致。殉爆距离反映了炸药的动态作用，也反映了炸药的敏感度。

三、炸药分类及常用工业炸药

(一)炸药分类

炸药按组成分类有化合炸药和混合炸药；按爆炸特性分类有起爆药、猛炸药和火药；按使用部门分类有工业炸药和军用炸药。

在工程爆破中，用来直接爆破介质的炸药(猛炸药)几乎都是混合炸药，这是因为混合炸药可按工程的不同需要配制。它们具有一定的威力，较钝感，一般需用8号雷管起爆。

混合炸药主要有三大类别：

(1)固态硝酸铵类炸药 这类炸药以粉状硝酸铵为主要成分，根据不同的附加成分又可分为铵梯炸药、铵油炸药、铵沥蜡炸药、铵松蜡炸药和高威力的铵梯黑炸药等。

(2)硝酸含水类炸药 这是以硝酸铵水溶液为主体的抗水型炸药。按出现的时间顺序，有浆状炸药、水胶炸药和乳化炸药。

(3)硝化甘油类炸药 这类炸药有胶质与粉状之分。胶质硝化甘油类炸药较之硝酸铵类炸药威力大、抗水、可塑，但安全性差，成本高，随着硝酸含水类炸药出现，已趋淘汰。

粉状硝化甘油炸药仍以硝酸铵为主体，硝化甘油仅作敏化剂。较之铵梯类炸药，它传爆性能好，临界直径小，主要用于光面爆破和预裂爆破。

(二)常用工业炸药

我国水利水电工程爆破中，常用的工业炸药为铵梯炸药、铵油炸药和乳化炸药。

1. 铵梯炸药

铵梯炸药以粉状硝酸铵为氧化剂，梯恩梯为敏化剂，木粉为可燃剂和疏松剂配制而成。其爆速为 3000~4000m/s，属中等威力炸药。

硝酸铵是铵梯炸药的主要成分，其性能对炸药影响较大。铵梯炸药的摩擦、撞击感度较低，故较安全。在大气中薄层堆放的铵梯炸药一般不会因燃烧而转变为爆炸，但若处于散热不良之密闭状态，则易由燃烧转为爆炸。

铵梯炸药容易吸湿与结块，导致威力下降，严重时拒爆。

国产铵梯炸药有以下主要品种：

(1)露天铵梯炸药 露天铵梯较之岩石铵梯的梯恩梯含量少，木粉含量多，故感度及威力稍低，但成本也较低。露天铵梯爆生气体中含有一定量的毒气，故只能用于露天爆破。

(2)岩石铵梯炸药 岩石铵梯炸药适用于无瓦斯、无矿尘爆炸危险、中硬岩石的地下及露天爆破。这类炸药按零氧平衡配方，对爆生气体毒气含量有严格限制。

在工程爆破中，2号岩石铵梯炸药得到广泛应用，并作为计算药量的标准炸药。它的爆力为 320mL，猛度为 12mm，殉爆距离为 5cm。其临界直径为 18~20mm，直径 32~35mm 处于最佳密度的药卷爆速约 3600m/s，贮存有效期为 6 个月。

(3)煤矿铵梯炸药 专用于有瓦斯矿尘爆炸危险的地下安全型炸药。

2. 铵油炸药

铵油炸药主要成分是硝酸铵与柴油。为减少结块，可加入木粉。理论与实践表明，硝酸铵、柴油、木粉的配比以 92:4:4 最佳；当无木粉时，含油率以 6% 较好。

较之铵梯炸药，铵油炸药成本低、使用安全、易于制造，但威力及感度较低。热加工拌和均匀的细粉状铵油炸药，可用 8 号雷管起爆；冷加工颗粒较粗、拌和较差的粗粉状铵油炸药须用中继药包始能起爆。

铵油炸药有效贮存期仅为 7~15 天，一般是在工地配药即用。

3. 乳化炸药

乳化炸药是 70 年代出现的第三代含水硝酸铵类炸药。它是以氧化剂(主要是硝酸铵)水溶液与油类经乳化而成的油包水型乳胶体作爆炸性基质，再加以敏化剂、稳定剂等添加剂，而成为一种乳脂状炸药。

目前生产的乳化炸药有多种系列，性能不尽相同。药卷直径为 32~35mm 的乳化炸药，密度为 1~1.25g/cm³，爆速为 3500~5000m/s，殉爆距离 5~10cm，猛度 15~20mm，爆力 280~310mL，临界直径 12~20mm。有效贮存期为 4~6 个月。

乳化炸药与铵梯炸药比较，其突出优点是抗水。两者成本接近，但乳化炸药猛度较高，临界直径较小，仅爆力略低。因此，乳化炸药是一种很有发展前途的炸药。

第二节 起爆材料与起爆方法

炸药的基本起爆方法有 4 种：火花起爆、电力起爆、导爆管起爆和导爆索起爆。不同的起爆方法，要求不同的起爆材料。

为达到最优的技术经济效果和爆破安全，对于一次爆破的群药包，通常采用一次赋能

激发的起爆方式。这就要求用起爆材料将各个药包联接成一个可以统一赋能起爆的网络,即起爆网路。

一、火花起爆

火花起爆是用导火索和火雷管起爆炸药。它是一种最早使用的起爆方法。

(一)火雷管

火雷管构造如图 1-7 所示。火雷管外壳为纸、铝或铜制作的圆筒,内径为 6.2mm,我国常用的 8 号雷管的管长为 45mm 或 50mm。火雷管前端的插索腔用以与导火索连接。起爆时,导火索的火焰透过加强帽上的传火孔引起正装药(即起爆药,我国多用二硝基重氮酚)燃烧并迅速转为爆轰,继而引起威力更高的副装药(多用黑索金)爆轰。雷管爆轰导致药包爆轰。

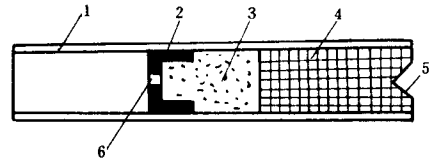


图 1-7 火雷管构造

- 1—管壳; 2—加强帽;
3—正起爆药; 4—副起爆药;
5—聚能穴; 6—传火孔

(二)导火索

导火索用来激发火雷管。索芯为黑火药,外壳用棉线、纸条和防潮材料等缠绕和涂抹。按使用场合不同,导火索有普通型、防水型和安全型三种。使用最多的是燃时为 100~125s/m 的普通导火索。

(三)起爆方法

将剪裁好的导火索插入火雷管插索腔内,制成起爆雷管,再将其放入药卷内成为起爆药卷,而后将起爆药卷放入药包内。导火索一般可用点火线、点火棒或自制导火索段点火。导火索长度应保证点火人员安全,且不得短于 1.2m。

二、电力起爆

电力起爆是电源通过电线输送电能激发电雷管,继而起爆炸药的方法。

(一)电雷管

电雷管按起爆延时分为即发电雷管,秒延期电雷管和毫秒延期电雷管。

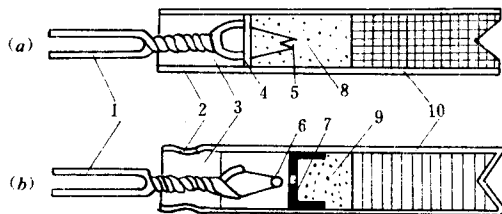


图 1-8 即发电雷管

(a)直插式; (b)引火头式

- 1—脚线; 2—管壳; 3—密封塞; 4—纸垫;
5—桥丝; 6—引火头; 7—加强帽;
8—二硝基重氮酚; 9、10—正、副起爆药

(1)即发电雷管 即发电雷管是通电后“立即”爆炸(实际的起爆延期为 4~13ms)的电雷管。它的构造如图 1-8 所示。即发电雷管是在火雷管基础上加入电点火装置:电流经脚线加热镍铬或康铜桥丝,导致引火头发火而起爆雷管装药(引火头式),或者由桥丝直接引发雷管起爆药(直插式)。

(2)秒延期电雷管 秒延期电雷管构造如图 1-9 所示。其构造是在火雷管与电点火装置间加添一段精制导火索,索长由延时确定。

(3)毫秒延期电雷管 如图 1-10,毫秒延期电雷管的构造是在火雷管与电点火装置间增设毫秒延期药。国产毫秒延期电雷管有五个系列产品。其中二系列被广泛采用(共计 20 段,最大段延时为 2000ms)。

(二)电线

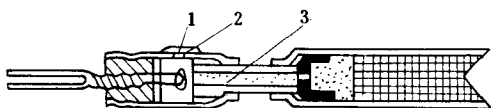


图 1-9 秒延期电雷管

1—排气孔；2—蜡纸；3—精制导火索

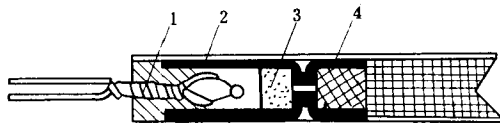


图 1-10 毫秒延期电雷管

1—塑料塞；2—延期内管；3—延期药；4—加强帽

从药室至电源，通常将爆破网路中的电线按其部位分为以下几种：

(1)端线 与脚线相连的、沿药室及炮孔敷设的导线叫端线。端线在装药和堵塞时，常受摩擦和弯折，宜用铜芯细软线。

(2)联接线 孔口间或药室导洞口间的连线叫联接线。

(3)区域线 当各药包区间采用并联网路时，则联接线至并联点间的导线叫区域线。

(4)主线 电源至并联点，或至联接线端头的导线叫主线。

并非任何一个电爆网路都同时存在以上四种导线，有时也难区分其类别。愈近电源的导线，要求过流能力愈强，导线截面应愈大。

(三)起爆电源

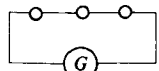
专用的电容式起爆器以及照明与动力线路，只要能满足功率和电流强度要求，均可作起爆电源。置有电源的起爆站设置在爆破安全区。为确保安全，电源处应设置专用开关。

(四)电力起爆网路设计

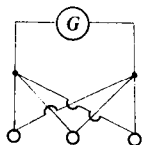
1. 电力起爆网路的基本型式

(1)串联 如图 1-11(a)，串联网路施工操作简便，节省电线，要求的总电流小。串联网路对雷管发火感度的一致性有较高的要求，若网路上存在一个感度很高的雷管，则易导致其它雷管拒爆。当雷管数量不太多，电源容量能满足要求时，往往采用这种网路。

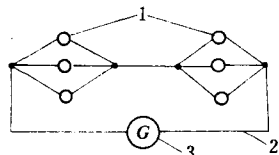
(2)并联 如图 1-11(b)，并联网路中各雷管自成回路(并联支路)，一条支路上的故障不会影响到其它支路，这是并联网路的最大优点。缺点是要求有较大的网路总电流，导线消耗多，网路导通性检查较困难，故在工程爆破中很少采用单纯的并联网路。



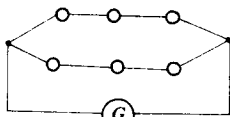
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-11 电爆网路基本型式

(a)串联；(b)并联；(c)并串联；(d)串并联

1—电雷管；2—导线；3—电源

(3)混合联 工程实践上多采用混合联接网路，它可通过对并、串支组数的调整，获取既满足准爆条件又不超过电源容量的网路。混合联网路的基本型式是并串联(图 1-11(c))和串并联(图 1-11(d))。

2. 网路准爆的基本条件

网路准爆是指网路中的所有雷管均能按要求的延时爆炸。为保证准爆，在网路设计中，应满足以下基本条件：

1)同一网路中的电雷管应是同厂同型号(即具有相同的电发火感度)产品，康铜桥丝雷管电阻差不得超过 0.3Ω ，镍铬桥丝