

《水利水电施工》  
丛书

# 爆破安全与防护

朱传统 梅锦煜



《水利水电施工》丛书

---

# 爆破安全与防护

朱传统 梅锦煜

水利电力出版社

《水利水电施工》

爆破安全与防护

朱传统 梅崇煜

水利电力出版社出版 发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 32开本 5.25印张 113千字  
1990年7月第一版 1990年7月北京第一次印刷

印数0001—1420册

ISBN 7-120-01215-0/TV·405

定价3.95元

## 序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利，开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书。包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

一九八四年七月

96/08

## 水利科普丛书编审委员会名单

主任委员 史梦熊

副主任委员 董其林

委 员 (以姓氏笔划为序)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 丁联臻 | 王万治 | 史梦熊 | 田 国 |
| 李文治 | 邴凤山 | 杨启声 | 张宏全 |
| 张林祥 | 沈埏卿 | 陈祖安 | 陈春槐 |
| 汪景琦 | 郑连第 | 郭之章 | 赵珂经 |
| 茹 智 | 陶芳轩 | 谈国良 | 徐曾衍 |
| 蒋元驹 | 曹述互 | 曹松润 | 董其林 |
| 颜振元 |     |     |     |

## 前 言

爆破技术在我国水利、铁道、冶金、交通、煤炭、建工、化工等许多部门都已获得了广泛的应用，使国民经济建设得到了巨大的经济效益。但是，各种工程爆破也带来了许多危害影响，对这些危害影响如不加以控制和防护，势必使国家财产和人民生命造成很大损失。因此，爆破安全与防护问题在工程爆破中占有十分重要的地位。有鉴于此，中国水利学会施工专业委员会委托我们编写了本书，以适应水利工程爆破安全工作的需要。其读者对象是从事水利工程设计和施工的技术人员、工人和领导干部。

本书主要内容包括两方面：一是对爆破自身的各种危害影响的控制与防护，包括爆破对基岩的破坏和爆破空气冲击波、地震波、飞石、有毒气体等产生的原因、危害作用、安全标准及测量方法，以及控制这些危害影响的方法和应该采取的防护措施；二是介绍了爆破工程安全技术，包括爆破施工中早爆、拒爆、迟爆的原因及其预防方法，以及爆破器材的安全管理。书中还列举并分析了爆破事故实例。

本书编写和审稿中，得到长江科学院张正宇、汤之琨同志的支持和帮助，并提出许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限，缺点错误难免，敬希读者批评指正。

作 者

1989年8月

## 内 容 提 要

本书简要地介绍了爆破的各种有害效应产生的原因、危害作用、安全标准及测量方法，提出了控制其危害影响的方法和防护措施，并简述了爆破工程安全技术，分析了爆破事故实例。可供从事水利工程和其它工程爆破设计和施工人员参考。

# 目 录

## 序

## 前言

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 第一章 | 爆破安全与防护的重要性      | 1  |
| 第一节 | 爆破与爆炸概述          | 1  |
| 第二节 | 爆破的危害影响          | 2  |
| 第三节 | 爆破安全与防护的重要性      | 5  |
| 第四节 | 爆破安全与防护工作的现状和展望  | 6  |
| 第二章 | 爆破对岩体的破坏及测量      | 11 |
| 第一节 | 爆破对岩体破坏的原因       | 11 |
| 第二节 | 岩体爆破破坏范围的测量      | 12 |
| 第三节 | 控制爆破对岩体破坏的方法和措施  | 27 |
| 第三章 | 爆破空气冲击波和噪音       | 33 |
| 第一节 | 空气冲击波的产生及传播特性    | 33 |
| 第二节 | 空气冲击波的破坏作用和安全距离  | 40 |
| 第三节 | 空气冲击波的测量         | 45 |
| 第四节 | 控制空气冲击波危害的安全防护措施 | 49 |
| 第五节 | 爆破噪音             | 52 |
| 第四章 | 爆破地震波            | 54 |
| 第一节 | 地震波的产生及传播特性      | 54 |
| 第二节 | 爆破地震效应           | 59 |
| 第三节 | 地震波的危害作用和安全距离    | 64 |
| 第四节 | 爆破地震效应的观测        | 76 |
| 第五节 | 控制爆破地震波危害的安全防护措施 | 81 |
| 第五章 | 爆破飞石             | 84 |



|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 第一节  | 飞石产生的原因 .....          | 84  |
| 第二节  | 飞石的安全距离估算 .....        | 84  |
| 第三节  | 控制飞石危害的安全防护措施 .....    | 87  |
| 第六章  | 爆破有毒气体 .....           | 91  |
| 第一节  | 有毒气体的产生和对人体的危害 .....   | 91  |
| 第二节  | 有毒气体的容许浓度和安全距离估算 ..... | 93  |
| 第三节  | 控制有毒气体危害的安全防护措施 .....  | 96  |
| 第七章  | 其它爆破的危害与防护 .....       | 99  |
| 第一节  | 水下爆破的危害与防护 .....       | 99  |
| 第二节  | 拆除爆破的安全防护 .....        | 118 |
| 第八章  | 爆破对大体积混凝土的影响 .....     | 122 |
| 第一节  | 爆破对混凝土的作用 .....        | 122 |
| 第二节  | 爆破对混凝土影响的控制标准 .....    | 123 |
| 第三节  | 控制爆破对混凝土影响的措施 .....    | 127 |
| 第九章  | 爆破工程安全技术 .....         | 129 |
| 第一节  | 早爆、拒爆、迟爆及其预防 .....     | 129 |
| 第二节  | 爆破器材的安全管理 .....        | 139 |
| 第十章  | 爆破事故实例分析 .....         | 146 |
| 参考文献 | .....                  | 157 |

# 第一章 爆破安全与防护的重要性

## 第一节 爆破与爆炸概述

水利水电工程施工中，一般都有大量土石方需要开挖，爆破则是完成土石方开挖最有效的方法。一些土石坝、堆石坝的筑坝材料及混凝土粗骨料，常由爆破开采取得。水电站基坑开挖中常需进行大量的爆破作业。在一些河流的峡谷地带筑坝，常采用定向爆破方法。某些水工建筑物进出口开挖、围堰拆除、引水通道疏导，码头基础开挖，炸除水下暗礁等，要进行水下爆破。地下厂房、输水隧洞需进行地下开挖爆破。建于高山峻岭之中的水电站，一般有数十米至百米以上的高边坡开挖爆破。另外，水工建筑物还有一些特殊的拆除爆破，如大坝上临时施工栈桥墩的拆除，大坝底孔混凝土的炸除，机组和其他结构物改建中的部分炸除等。总之，水利水电工程离不开爆破。

所谓爆破，就是指炸药爆轰瞬间产生的高温高压破碎物体及破碎块运动的过程。工程中的土岩爆破，各种建筑物拆除爆破等都属这一类。

爆破是与炸药紧密相连的。我国首先发明了黑火药，开始用来制造烟火。作为军事和生产使用的炸药，13世纪末才流传到中亚和欧洲。随着化学工业的发展，19世纪中叶，著名瑞典化学家诺贝尔先后制作及发明了安全的硝化甘油炸药、雷管和硝化棉炸药，从而使火工器材的品种、安全性能和经济指标发展到一个广阔的新领域。由于生产的发展，土

岩工程量激增，爆破施工的作用越来越大，炸药的品种和性能也得到不断改进和创新。

建国以来，我国许多部门进行了大量土石方爆破工程，爆破技术有很多重要突破，如微差爆破、定向爆破、预裂和光面爆破、城市控制爆破、水下爆破、挤压爆破处理软土地基等。在金属加工及医学等领域，也显示了爆破的巨大潜力和广阔发展前景。由于广大爆破工作者的努力，通过大量现场和室内试验研究，在爆破理论方面已有许多重要成果。

爆炸与爆破的含义不同。爆炸是指物体在极短时间内发生物理和化学变化而产生高温高压的一种现象，是物质内物理或化学潜能迅速释放而做功的过程。爆炸的一个重要特征是在爆炸点周围介质中发生急剧的压力突跃，这种压力突跃是爆炸破坏作用的直接原因。

爆炸分为物理、化学和核爆炸三种类型。物理爆炸是物质仅发生物态的急剧变化，而没有化学反应，如锅炉、高压放电、轮胎等的爆炸。化学爆炸指物态发生极迅速的放热化学反应，生成高温高压反应产物而激起的爆炸效应，如鞭炮、炸药、瓦斯等的爆炸。核爆炸则是某些物质的原子核发生裂变或聚变的连锁反应，如原子弹、氢弹的爆炸。可见，爆炸是个广义名词。

## 第二节 爆破的危害影响

在水利工程施工中，爆破可以使岩体（或土体）破碎，以便能将其挖除，从而获得水利水电工程需要的建基面，或满足其它工程项目的要求，同时又得到巨大经济效益。但是，爆破也会产生一系列的危害影响。爆破的危害影响，需

从爆破的作用效应进行分析。

爆破过程中，炸药爆炸能量可以使岩体产生压缩粉碎区、破坏区和振动区，如图1-1所示。压缩粉碎区内的岩体完全破碎，这是人们要求爆除的岩石。破坏区内的岩体中产生许多径向和环向裂缝，岩体的一些物理力学性质发生变化。振动区内的岩体，一般不会产生破坏。

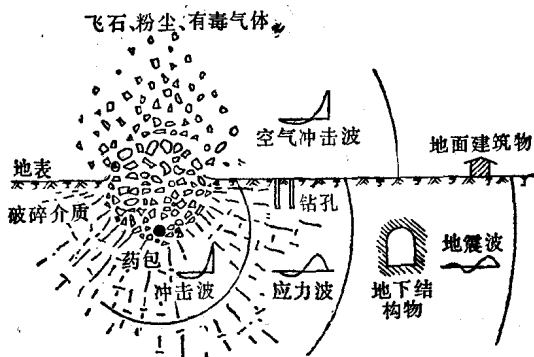


图 1-1 炸药爆破岩体的作用效应

如果炸药埋深不大，爆炸产物向大气中逸散，也会有一系列作用效应。破碎的岩石向外飞散形成飞石和粉尘；爆轰波向大气中传播形成空气冲击波，并发出声响形成噪音；炸药化学反应生成的有毒气体向外扩散。

上述就是炸药爆破岩体所产生的一系列效应。

处在上述各区内的岩体，地面和地下的建筑物或构筑物及设施，将会遭受不同程度的破坏。例如，如果水工建筑物建基面或边坡处于破坏区或振动区，由于岩体的严重损坏或强烈振动，将导致坝基渗漏加剧，影响大坝安全，或造成边坡滑动或崩塌。工程中处理破坏了的建基面和边坡，将增加

挖方和回填混凝土方量，以致增加额外投资。地震波强度如果很大，振动区内的房屋会损坏甚至倒塌，还会造成电厂开关跳闸、精密仪表受损、人员感到不适等危害影响。

空气冲击波和噪音、飞石和粉尘、有毒气体等，经常造成人、畜伤亡，也危及到建筑物的安全。

水利水电工程爆破造成的危害影响，大致可归纳为下述几方面：

1 ) 洞室或深孔爆破对地面和地下建筑物、构筑物、设备的危害影响；

2 ) 基坑开挖爆破对保留岩体的危害影响；

3 ) 爆破对其附近新浇混凝土和灌浆区的危害影响；

4 ) 高边坡地段开挖爆破对边坡稳定的危害影响；

5 ) 水下爆破对水工建筑物和船舶的危害影响；

6 ) 地下爆破对相邻隧洞的危害影响；

7 ) 高边坡地下厂房开挖爆破对围岩和边墙稳定及各种衬砌物的危害影响；

8 ) 厂房或高压变电站附近爆破，对水工机械、电器设备的危害影响；

9 ) 拆除部分水工建筑物对保留部分的危害影响。

由于爆破类型、对象和目的不同，爆破所产生的危害影响也不相同。爆破危害影响程度大小，与爆破技术、爆破参数、地质构造、岩体物理力学性能、施工工艺等因素有关。虽然诸因素之间相互作用使问题错综复杂，但通过对爆破技术的不断改进和完善，良好性能炸药的发明，爆破参数的合理选择，对岩体地质构造和物理力学性能的充分了解，施工工艺的改进等，使得在各种爆破中，人们已经初步掌握了影响爆破的各因素间的一些基本关系。在对各种爆破危害影响

范围的探测研究基础上，也基本掌握了爆破作用效应的一些规律，从而既能达到设计所要求的爆破效果，又可把爆破的危害影响降至最低限度，并制定出一些控制爆破危害影响的安全标准和应该采取的防护措施。

### 第三节 爆破安全与防护的重要性

确保爆破安全并进行有效防护的方法，称为**爆破安全技术**。

爆破安全技术有两方面内容：一是爆破工程安全，包括爆破器材的运输、贮存和保管等，以及爆破施工中的安全问题；二是对爆破本身危害影响的控制和防护，包括爆破对基岩的破坏，爆破空气冲击波、地震波、飞石、有毒气体等的测定，传播规律研究，进而确定相应的控制方法，制定有效的防护措施。

爆破工程安全在爆破中占有重要地位。因为爆破器材是危险品，在受热、光照、摩擦、撞击、超声振动、电磁幅射、静电放电等情况作用下，达到一定程度即能引起爆炸。如果对爆破器材的运输、贮存和保管不善，或因验收、发放、废品销毁制度不严格引起外流，都会造成意外爆炸事故。在爆破施工中，操作人员如果缺乏专业知识，不遵守操作规程，粗心大意，违章作业，或对新材料、新工艺认识不足，过分依赖经验，冒险操作等，将会造成施工中的爆破事故。

国内有关部门对爆破施工中的人身伤亡事故作了两次调查，如表1-1所示。其中1957~1961年统计了80例，1973~1981年是100例。从表1-1中可见，属于爆破施工事故引起的

表 1-1 爆破施工中各类原因产生事故的百分比

| 爆 破 事 故 原 因        | 1957~1961年<br>(%) | 1973~1981年<br>(%) |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| 炮烟中毒和爆破后过早进入工作面    | 28.3              | 26                |
| 导火索质量不好, 点火方法违章    | 19                | 34                |
| 盲炮处理不当, 打残眼造成的事故   | 17.5              | 13                |
| 警戒不严, 信号不明, 安全距离不够 | 10                | 10                |
| 电气爆破事故             | 10                | 1                 |
| 非爆破人员作业, 爆破工违反规程   | 9                 |                   |
| 处理炸药、雷管不当          | 6.2               | 4                 |
| 飞石事故               |                   | 4                 |
| 气体爆燃、爆炸事故          |                   | 3                 |
| 硫化矿爆燃、自爆事故         |                   | 2                 |
| 其它爆破事故             |                   | 2                 |

伤亡占很大比例。

对爆破本身危害影响的控制和防护, 在工程中亦非常重要。如前节所述, 爆破的危害影响是十分严重的, 表 1-1 也示出了诸如爆破有毒气体、飞石等造成的事故。可以想象, 如果不加以控制和防护, 将会给国家财产和人民生命造成巨大损失。

由于爆破事故以及爆破本身造成的危害影响很大, 爆破安全与防护的重要性也就显得格外突出。防止爆破事故的发生, 减轻爆破本身的危害影响, 保障工程建设质量和人民生命安全, 是每个爆破工作者义不容辞的责任。

#### 第四节 爆破安全与防护工作的现状和展望

随着爆破技术的发展, 我国各部门围绕爆破安全与防护问题开展了广泛的试验研究。如对杂散电流、静电、雷电、

射频电引起早爆的研究；对爆破破坏范围，爆破空气冲击波和噪音、地震波、水击波、飞石、毒气等有害效应的观测研究；对重大爆破事故的分析研究；安全监测仪表的研制等，都有很大成绩。这对了解爆破作用效应的一些基本规律，解决生产中一系列实际问题，建立爆破安全理论，都起到了重大作用。

爆破测试是爆破安全与防护必不可少的手段。我国的测试技术已达到一定的水平。从初期静态机械测试技术发展到现在电子、光学等各种动态测试技术，测量系统逐步配套，量测内容不断增加。从地表测量进入岩体内部自由场，从爆破远区、中区进入近区，包括直接在药室和炮孔中进行测量。测试规模越来越大，从单项测量发展到大规模综合测试，如60年代的金川大爆破，70年代初的渡口万吨药量松动大爆破，石泛峪定向爆破筑坝，70年代末的丰满水库岩塞爆破，80年代的密云水库岩塞爆破，葛洲坝工程大江围堰混凝土防渗心墙拆除爆破等。尤其是我国有关部门曾组织的大型洞库爆破试验，动员了全国20多个科研单位，采用了当前国内比较先进的量测手段，对爆破作用效应作了综合测量；其规模之大、内容之广，不仅在国内是首创，在国外也不多见，取得了十分丰富的观测资料。

我国水利水电部门从60年代初开始，已逐步建立了有相当规模的研究机构。目前，原水利电力部所属施工单位三分之二以上都配置了爆破振动和声波测试方面的仪器，对爆破施工中的安全与防护问题进行监测和研究。

爆破试验和监测对水利水电工程尤为重要。一些大型水利枢纽，如葛洲坝、东江、万安、沙溪口、西洱河、鲁布革、白山等工程，都作了较系统的爆破试验研究和监测，这



对保障建基面岩体质量和各种水工建筑物的安全起了重要作用。其试验规模和成就，不亚于一些发达国家的水平。

爆破安全与防护的理论研究也在不断深化。控制爆破、预裂和光面爆破、缓冲技术、工程防护等方面的研究成果已在工程中广泛应用，并开始把工程问题与力学结合起来考虑。全国性的和部级的工程爆破学术会议每年都有数起，爆破安全与防护方面的论文占有很大比例。

爆破器材也在不断改进和创新。价格合理、安全度高的硝铵类炸药发展很快，防水性能好的乳胶炸药受到水利水电工程施工单位的欢迎，已生产出多段毫秒雷管及等间隔毫秒雷管，无起爆药毫秒雷管的研制成功与应用，非电塑料导爆管的广泛应用，微差起爆器的研制成功等等，解决了爆破安全与防护中的很多问题。

爆破安全与防护领域同国外相比，我国生产的爆破器材已经接近世界先进水平。例如，安全和防水性能很好的乳胶炸药荣获国家二等发明奖，无起爆药雷管作为专利已经卖给瑞典。在安全的爆破技术方面，微差技术、定向爆破筑坝技术处于领先地位；控制爆破、预裂和光面爆破等技术正在迎头赶上。爆破测试仪器的数字化、组合化、宽频带、多通道记录设备，数据采集和处理装置，遥测技术等方面尚有差距，但有些项目正在研制或已经研制成功。

展望未来的爆破安全与防护工作，最重要的课题是充分提高炸药爆炸能量的利用率，控制能量的转化过程，使工程爆破在经济和安全两方面都具有最佳效果。它要求炸药本身潜在能量在爆轰过程中有效地释放，最大限度减少转化为有害效应的能量，并能控制破碎和抛掷岩石的能量。这需要研究不同爆破方法的破岩机理，认识能量传递过程及其效应的