



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

工程爆破

主 编 段宝福

赠送电子课件

- 传承爆破物质基础，传递工程爆破方法
- 穿越传统爆破理论，迈向现代爆破技术
- 带你品鉴形形色色爆破设计与工程实例
- 让你体会云卷云舒般的爆破安全新应用



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

工 程 爆 破

主 编 段宝福
副主编 高文乐 逢焕东 付天光
毕卫国 李媛媛



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书侧重于与爆破工程关系密切的基本概念、基本理论、基本设计以及施工方法,考虑到不同读者的需求,本书在内容上力求由浅入深、通俗易懂,理论公式推导避免过于深奥,计算实例和工程实例阐述尽量详尽。

按照循序渐进的原则,本书章节主要包括工程爆破概述、工业炸药、炸药爆炸基本理论、岩石爆破分级与凿岩机具、岩石爆破作用原理、起爆器材与起爆方法、毫秒延时爆破理论、露天爆破技术、掘进爆破技术、拆除爆破技术、爆破安全技术,共 11 章。

本书适合作为普通高等院校土木工程、矿井建设等专业的教材,也可作为相关专业方向研究生、教师、工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程爆破/段宝福主编. —北京:北京大学出版社, 2012. 9

(21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-21302-5

I. ①工… II. ①段… III. ①爆破技术—高等学校—教材 IV. ①TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 227462 号

书 名: 工程爆破

著作责任者: 段宝福 主编

策 划 编 辑: 姜晓楠 吴 迪

责 任 编 辑: 姜晓楠

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-21302-5/TU·0288

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 486 千字

2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 42.00 元



未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是“21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材”的重要组成部分，主要是作为普通高等院校土木工程专业的“工程爆破”课程的教材；同时也是为积极响应《国家中长期教育改革和发展规划纲要》，为适应新的高等教育改革而编写的教材。

本书内容侧重于与工程爆破相关的基本概念、基本原理以及常见的设计和施工方法，主要内容包括工业炸药、炸药爆炸基本理论、岩石爆破分级与凿岩机具、岩石爆破作用原理、起爆器材与起爆方法、露天爆破技术、掘进爆破技术等。本书的一个主要特点是将理论分析、实验研究和工程实践相结合，使整体更具完整性、科学性和实用性。各院校、各专业可结合自身情况合理选择，适当进行内容取舍。

本书的另一特点是章节的安排和内容的编排由浅入深，通俗易懂。各章节中都编排了“知识链接”等小模块，涉及相关知识的解释、最前沿的研究以及典型的工程实例，使读者能够较轻松地获取更多、更深的知识。每章后面的习题与研究生考试、从业资格考试等密切相关，具有极强的针对性。

本书内容编写分工如下：第 1～3 章由毕卫国和李媛媛编写；第 4～7 章由段宝福和付天光编写；第 8～9 章由高文乐编写；第 10～11 章由逢焕东编写，最后由段宝福负责全书的统稿和定稿。

在本书的编写过程中，山东科技大学工程爆破研究所给予了大力支持，张猛、李洪春、李磊、吴晖、翟成波、翁现合、朱应磊和吴圣智等人在校对与修改方面付出了大量的劳动。在此，对向本书编写提供帮助和支持的单位及个人表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限、时间仓促，本书在编写的系统性、完整性等方面出现疏漏在所难免，欢迎读者批评指正。

编者

2012 年 6 月

北京大学出版社土木建筑系列教材(已出版)

序号	书名	主编	定价	序号	书名	主编	定价
1	建筑设备(第2版)	刘源全 张国军	46.00	56	混凝土结构设计原理	邵永健	40.00
2	土木工程测量(第2版)	陈久强 刘文生	40.00	57	土木工程计量与计价	王翠琴 李春燕	35.00
3	土木工程材料(第2版)	柯国军	45.00	58	房地产开发与管理	刘 薇	38.00
4	土木工程计算机绘图	袁 果 张渝生	28.00	59	土力学	高向阳	32.00
5	工程地质(第2版)	何培玲 张 婷	26.00	60	建筑表现技法	冯 柯	42.00
6	建设工程监理概论(第2版)	巩天真 张泽平	30.00	61	工程招投标与合同管理	吴 芳 冯 宁	39.00
7	工程经济学(第2版)	冯为民 付晓灵	42.00	62	工程施工组织	周国恩	28.00
8	工程项目管理(第2版)	仲景冰 王红兵	45.00	63	建筑力学	邹建奇	34.00
9	工程造价管理	车春鹂 杜春艳	24.00	64	土力学学习指导与考题精解	高向阳	26.00
10	工程招标投标管理(第2版)	刘昌明	30.00	65	建筑概论	钱 坤	28.00
11	工程合同管理	方 俊 胡向真	23.00	66	岩石力学	高 玮	35.00
12	建筑工程施工组织与管理(第2版)	余群舟 宋会莲	31.00	67	交通工程学	李 杰 王 富	39.00
13	建设法规(第2版)	肖 铭 潘安平	32.00	68	房地产策划	王直民	42.00
14	建设项目评估	王 华	35.00	69	中国传统建筑构造	李合群	35.00
15	工程量清单的编制与投标报价	刘富勤 陈德方	25.00	70	房地产开发	石海均 王 宏	34.00
16	土木工程概预算与投标报价(第2版)	刘 薇 叶 良	37.00	71	室内设计原理	冯 柯	28.00
17	室内装饰工程预算	陈祖建	30.00	72	建筑结构优化及应用	朱杰江	30.00
18	力学与结构	徐吉恩 唐小弟	42.00	73	高层与大跨建筑结构施工	王绍君	45.00
19	理论力学(第2版)	张俊彦 赵荣国	40.00	74	工程造价管理	周国恩	42.00
20	材料力学	金康宁 谢群丹	27.00	75	土建工程制图	张黎骅	29.00
21	结构力学简明教程	张系斌	20.00	76	土建工程制图习题集	张黎骅	26.00
22	流体力学	刘建军 章宝华	20.00	77	材料力学	章宝华	36.00
23	弹性力学	薛 强	22.00	78	土力学教程	孟祥波	30.00
24	工程力学	罗迎社 喻小明	30.00	79	土力学	曹卫平	34.00
25	土力学	肖仁成 俞 晓	18.00	80	土木工程项目管理	郑文新	41.00
26	基础工程	王协群 章宝华	32.00	81	工程力学	王明斌 庞永平	37.00
27	有限单元法(第2版)	丁 科 殷水平	30.00	82	建筑工程造价	郑文新	38.00
28	土木工程施工	邓寿昌 李晓日	42.00	83	土力学(中英双语)	郎煜华	38.00
29	房屋建筑学(第2版)	聂洪达 鄢恩田	48.00	84	土木建筑 CAD 实用教程	王文达	30.00
30	混凝土结构设计原理	许成祥 何培玲	28.00	85	工程管理概论	郑文新 李献涛	26.00
31	混凝土结构设计	彭 刚 蔡江勇	28.00	86	景观设计	陈玲玲	49.00
32	钢结构设计原理	石建军 姜 袁	32.00	87	色彩景观基础教程	阮正仪	42.00
33	结构抗震设计	马成松 苏 原	25.00	88	工程力学	杨云芳	42.00
34	高层建筑施工	张厚先 陈德方	32.00	89	工程设计软件应用	孙香红	39.00
35	高层建筑结构设计	张仲先 王海波	23.00	90	城市轨道交通工程建设风险与保险	吴宏建 刘宽亮	75.00
36	工程事故分析与工程安全	谢征勋 罗 章	22.00	91	混凝土结构设计原理	熊丹安	32.00
37	砌体结构	何培玲	20.00	92	城市详细规划原理与设计方法	姜 云	36.00
38	荷载与结构设计方法(第2版)	许成祥 何培玲	30.00	93	工程经济学	都沁军	42.00
39	工程结构检测	周 详 刘益虹	20.00	94	结构力学	边亚东	42.00
40	土木工程课程设计指南	许 明 孟苗超	25.00	95	房地产估价	沈良峰	45.00
41	桥梁工程(第2版)	周先雁 王解军	37.00	96	土木工程结构试验	叶成杰	39.00
42	房屋建筑学(上:民用建筑)	钱 坤 王若竹	32.00	97	土木工程概论	邓友生	34.00
43	房屋建筑学(下:工业建筑)	钱 坤 吴 歌	26.00	98	工程项目管理	邓铁军 杨亚频	48.00
44	工程管理专业英语	王竹芳	24.00	99	误差理论与测量平差基础	胡圣武 肖本林	37.00
45	建筑结构 CAD 教程	崔钦淑	36.00	100	房地产估价理论与实务	李 龙	36.00
46	建设工程招投标与合同管理实务	崔东红	38.00	101	混凝土结构设计	熊丹安	37.00
47	工程地质	倪宏革 时向东	25.00	102	钢结构设计原理	胡习兵	30.00
48	工程经济学	张厚钧	36.00	103	土木工程材料	赵志曼	39.00
49	工程财务管理	张学英	38.00	104	工程项目投资控制	曲 娜 陈顺良	30.00
50	土木工程施工	石海均 马 哲	40.00	105	建设项目评估	黄明知 尚华艳	38.00
51	土木工程制图	张会平	34.00	106	结构力学实用教程	常伏德	47.00
52	土木工程制图习题集	张会平	22.00	107	道路勘测设计	刘文生	43.00
53	土木工程材料	王春阳 裴 锐	40.00	108	大跨桥梁	王解军 周先雁	30.00
54	结构抗震设计	祝英杰	30.00	109	工程爆破	段宝福	42.00
55	土木工程专业英语	霍俊芳 姜丽云	35.00				

请登陆 www.pup6.cn 免费下载本系列教材的电子书(PDF版)、电子课件和相关教学资源。

欢迎免费索取样书,并欢迎到北大出版社来出版您的大作,可在 www.pup6.cn 在线申请样书和进行选题登记,也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱,我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

联系方式: 010-62750667, donglu2004@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信咨询。

目 录

第1章 工程爆破概述	1	3.4.2 炸药的爆炸反应方程式及 爆轰产物	55
1.1 爆破器材的产生与发展	2	3.5 炸药的爆破性能	57
1.2 工程爆破的方法与技术	4	3.5.1 炸药的爆炸性能参数	57
1.2.1 爆破方法	4	3.5.2 炸药的爆破性能概述	64
1.2.2 爆破技术	5	本章小结	71
1.3 工程爆破技术应用现状	7	习题	71
1.3.1 现代爆破技术的 主要内容	7	第4章 岩石爆破分级与凿岩机具	73
1.3.2 现代爆破技术特点	8	4.1 岩石物理与力学性质	74
1.3.3 爆破技术的发展趋势	9	4.1.1 岩石的基本物理性质	74
本章小结	10	4.1.2 岩石的强度特性	77
习题	10	4.2 岩石坚固性分级	78
第2章 工业炸药	11	4.2.1 岩石坚固性概述	78
2.1 炸药的分类	12	4.2.2 岩石坚固性分级概述	79
2.2 工业常用炸药	14	4.2.3 煤系地层岩石坚固性 概况	81
2.3 硝酸类炸药	16	4.3 岩石可爆性分级	82
2.4 煤矿许用炸药	22	4.3.1 岩石可爆性分级概述	82
本章小结	24	4.3.2 可爆性单因素分级	83
习题	24	4.3.3 可爆性多因素分级	85
第3章 炸药爆炸基本理论	25	4.4 钻眼方法与破岩机理	88
3.1 爆炸和炸药的基本概念	26	4.4.1 钻眼方法分类	88
3.2 炸药的起爆和感度	29	4.4.2 冲击破岩机理	90
3.2.1 炸药的起爆机理	29	4.4.3 切削破岩机理	91
3.2.2 炸药的感度	32	4.4.4 滚压破碎岩石机理	93
3.3 炸药的传爆	39	4.4.5 金刚石钻头破碎机理	93
3.3.1 波的基本概念	39	4.5 常用凿岩机具	96
3.3.2 冲击波的基本知识	40	4.5.1 凿岩机及其分类	96
3.3.3 炸药的爆轰理论	44	4.5.2 风动凿岩机	96
3.4 炸药的氧平衡	51	4.5.3 其他动力凿岩机	109
3.4.1 炸药的氧平衡概述	51	4.5.4 煤电钻和岩石电钻	120
		4.5.5 凿岩台车	125
		本章小结	131

习题	131	6.2.2 电力起爆网路	174
第5章 岩石爆破作用原理	132	6.3 非电起爆法	178
5.1 岩石爆破破碎机理	133	6.3.1 导爆索起爆法	178
5.2 岩石中的爆炸应力波	134	6.3.2 导爆管起爆法	181
5.2.1 岩石中的爆炸冲击 荷载	135	6.4 其他起爆方法	186
5.2.2 岩石中的爆炸冲击波	136	6.4.1 气体起爆法	186
5.2.3 岩石中的爆炸应力波 概述	137	6.4.2 磁电起爆法	187
5.2.4 岩石中的爆炸地震波	139	6.4.3 无线电遥控起爆系统	188
5.3 药包的内部作用和外部作用	142	本章小结	188
5.3.1 爆破的内部作用	143	习题	188
5.3.2 爆破的外部作用	144	第7章 毫秒延时爆破理论	189
5.4 装药量计算原理	147	7.1 毫秒延时爆破原理	190
5.4.1 集中药包装药量计算	147	7.1.1 概述	190
5.4.2 延长药包装药量计算	148	7.1.2 毫秒延时爆破原理 概述	190
5.4.3 单位体积岩石的炸药 消耗量值的确定	148	7.1.3 毫秒延时爆破三大 假说	191
5.4.4 药包群爆破时装药量的 计算	149	7.2 毫秒延时爆破间隔时间的确定	192
5.5 影响爆破作用效果的因素	150	7.2.1 按应力波叠加原理确定 间隔时间	192
5.5.1 炸药性能的影响	150	7.2.2 按产生新自由面原理 确定间隔时间	193
5.5.2 装药结构的影响	151	7.2.3 按增强碰撞作用原理 确定间隔时间	193
5.5.3 爆破条件的影响	152	7.2.4 为改善爆破效果确定 间隔时间	194
5.5.4 起爆顺序及其延迟 时间的影响	153	7.3 毫秒延时爆破的减震作用	194
5.5.5 岩性及地质构造的 影响	154	7.3.1 爆破地震波的产生 机理	194
本章小结	154	7.3.2 毫秒延时爆破的减震 机理	195
习题	154	7.4 光面爆破和预裂爆破	196
第6章 起爆器材与起爆方法	156	7.4.1 光面爆破和预裂爆破的 概念	196
6.1 常用起爆器材	157	7.4.2 光面爆破和预裂爆破的 成缝机理	197
6.1.1 雷管	157	7.4.3 光面爆破参数设计	198
6.1.2 导爆索	165	7.4.4 预裂爆破参数设计	199
6.1.3 继爆管	167	本章小结	200
6.1.4 导爆管	169	习题	200
6.2 电力起爆法	171		
6.2.1 电力起爆器材	171		

第 8 章 露天爆破技术	201	9.1.3 混合掏槽	252
8.1 爆破工程地质	202	9.2 平巷掘进爆破	252
8.1.1 地形条件对爆破作用的 影响	202	9.2.1 爆破参数设计	252
8.1.2 地质条件对爆破作用的 影响	204	9.2.2 炮眼布置	256
8.1.3 爆破作用引起的工程 地质问题	207	9.2.3 装药结构	257
8.2 露天台阶爆破	208	9.2.4 炮眼填塞	259
8.2.1 露天浅孔爆破	208	9.2.5 起爆顺序及时差	259
8.2.2 露天深孔爆破	210	9.2.6 起爆网络	259
8.3 露天硐室爆破	217	9.2.7 爆破说明书和爆破 图表	260
8.3.1 硐室爆破的分类及其 适用条件	217	9.3 立井掘进爆破	263
8.3.2 爆破方案选定原则	218	9.3.1 掏槽方式	263
8.3.3 硐室爆破的设计	220	9.3.2 爆破参数设计概述	264
8.3.4 药包布置	222	9.3.3 装药结构概述	267
8.3.5 爆破参数的选择和 计算	224	9.3.4 起爆顺序与间隔时间	268
8.3.6 爆堆形态的计算	232	9.3.5 爆破网络	268
8.3.7 起爆系统的设计	233	9.3.6 爆破说明书和图标	269
8.3.8 施工技术	234	9.4 斜井掘进爆破	271
8.4 药壶法爆破	236	9.5 煤仓与溜煤眼爆破技术	273
8.4.1 应用条件	236	9.5.1 煤仓与溜煤眼爆破 技术概述	273
8.4.2 药壶法爆破施工	236	9.5.2 超深孔一次爆破成井 技术	273
8.5 边坡控制爆破	238	9.6 采煤工作面爆破技术	276
8.5.1 爆破对边坡的稳定性的 影响	238	9.6.1 浅孔崩落爆破	276
8.5.2 预裂爆破	238	9.6.2 深孔崩落爆破	277
8.5.3 光面爆破	242	9.6.3 VCR 法	280
8.5.4 缓冲爆破	243	9.6.4 炮采工作面延时爆破 技术	282
8.5.5 边坡设计中的稳定 问题	243	本章小结	285
本章小结	245	习题	285
习题	245	第 10 章 拆除爆破技术	286
第 9 章 掘进爆破技术	246	10.1 拆除爆破概述	287
9.1 掏槽爆破	248	10.2 拆除爆破基本原理	289
9.1.1 斜眼掏槽	248	10.3 拆除爆破方案设计	290
9.1.2 直眼掏槽	250	10.4 拆除爆破施工与安全防护	294
		10.4.1 拆除爆破的施工技术	294
		10.4.2 拆除爆破主要危害 分析	296

10.4.3	可靠有效的安全防护措施	298	11.2.3	一般规定	309
10.4.4	突发事件处理预案	298	11.2.4	爆破施工后的总结	312
10.4.5	拆除爆破安全管理	298	11.3	爆破安全距离计算	313
10.5	工程实例	301	11.3.1	地震效应确定的爆破安全距离	313
10.5.1	复杂环境下钢筋混凝土烟囱拆除爆破	301	11.3.2	爆破飞石	314
10.5.2	哈尔滨龙海大厦拆除爆破	303	11.3.3	空气冲击波	315
本章小结		305	11.4	煤矿爆破安全技术	315
习题		305	11.4.1	爆破事故的原因分析	316
第 11 章 爆破安全技术		306	11.4.2	预防措施	316
11.1	爆破事故预防与安全管理	307	11.5	爆破器材的安全管理	318
11.1.1	爆破事故的预防措施	307	11.5.1	爆破器材管理存在的问题	318
11.1.2	爆破器材的安全管理	309	11.5.2	加强爆炸器材管理的对策	319
11.2	爆破作业安全规定示例	309	本章小结		320
11.2.1	爆破施工依据	309	习题		321
11.2.2	适用范围	309	参考文献		322

第1章

工程爆破概述

随着经济建设的快速发展,工程爆破技术得到了广泛的应用,已经渗透到经济建设的众多领域,特别为中国的铁路建设、矿山开采、城市拆旧等做出了重要贡献。爆破是利用炸药在空气、水、土石介质或物体中爆炸所产生的压缩、松动、破坏、抛掷及杀伤作用,达到预期目的的一门专业性很强的科技技术。其研究范围包括:炸药、爆破器材的性质和使用方法,药包在各种介质中的爆炸作用,爆破效果与危害效应的控制,各类爆破作业的组织 and 实施。工程爆破作为石方开挖、矿山开采等领域的一道重要工序,随着国民经济的持续发展,基础建设工程日益增多,它将会引起人们更多的关注。

教学目标

- (1) 了解爆破器材的产生和发展历程。
- (2) 掌握工程爆破的常用方法和技术。
- (3) 熟悉工程爆破技术的应用现状。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
爆破器材的发展	了解	黑火药、硝化甘油、雷管的发展过程
爆破方法	掌握	炮孔法、药室法、裸露药包法等
爆破技术	掌握	延时爆破、光面爆破等各种爆破技术的原理
爆破技术应用现状	熟悉	爆破理论、爆破技术的特点与发展趋势



引例

天下第一爆——震惊世界的珠海炮台山大爆破

1992年12月28日13时50分,在我国珠海炮台山,我国军人进行了一次非核大爆破,如图1-1所示。相当于半颗广岛原子弹能量的1.1169万吨炸药,将炮台山轻轻托起,举向海面。1085.2万立方米土石在爆破声中,有51.83%(大约500万立方米)被抛入大海。硝烟散尽,炮台山增胖了、变矮了……移山填海的当代“精卫”们填补了人类历史上无灾难大爆破的空白,在我国爆破史上也树起了一块里程碑。

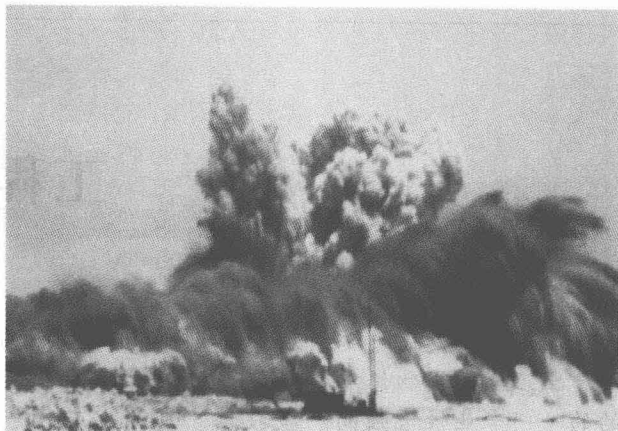


图 1-1 珠海炮台山大爆破照片

1.1 爆破器材的产生与发展

爆破器材是用于爆破的各种炸药、爆破装置、火具、起爆器等的统称，主要包括炸药、雷管、导火索、导爆索、导爆管、继爆管等。

黑火药作为中华民族的四大发明之一，为人类文明发展和进步起到了巨大的推动作用。早在公元 808 年以前，我国炼丹家就发明了以硫磺、硝石和木炭为原料配制的黑火药。10 世纪，我国开始将黑火药应用于军事，而且是世界上第一个发明爆炸性武器铁火炮的国家。大约在 13 世纪，黑火药经印度、阿拉伯国家传入欧洲。1627 年，匈牙利利用黑火药开采矿石，标志着中世纪的结束和工业革命的开始，从而揭开了工程爆破的历史。然而，工程爆破技术的快速发展和推广应用，却是在 19 世纪中末期随着许多新品种工业炸药的发明之后。



知识链接

诺贝尔与硝化甘油

阿尔弗雷德·诺贝尔(Alfred Bernhard Nobel)于 1833 年 10 月 21 日出生于瑞典首都斯德哥尔摩一个发明家的家庭里，只读过一年正规小学。1852 年开始，他在老诺贝尔的工厂里工作，渐渐在技术上崭露头角。意大利化学家索布雷罗 1847 年在报告他的研究成果时曾说，用硝酸和硫酸处理甘油，得到一种黄色的油状透明液体，即硝化甘油，“这种液体可因震动而爆炸，将来能做何用途，只有将来的实验能告诉我们。”西宁教授在圣彼得堡做锤击硝化甘油发生爆炸实验给诺贝尔看，并说，如能想出切实的办法使它爆炸，它将在军事上大有用处，这引起了年轻的诺贝尔的极大兴趣。从此以后，诺贝尔对此念念不忘，决心要完成这一发明。

诺贝尔经过长期思考和实践，认识到要使硝化甘油爆炸，必须把它加热到爆炸点(170~180℃)或以重力冲击，寻求一种安全的引爆装置正是诺贝尔为自己确定的课题。1862 年 5 月，随着一声巨响，水

沟水花四溅，地动山摇，他第一次发现了引爆硝化甘油的原理。用少量的一般火药导致硝化甘油猛烈爆炸就是诺贝尔发明的“引爆物”。为此，1863年他在瑞典获得了硝化甘油的引爆装置——雷管的专利权，完成了他的第一项重大发明。在当时，大批量生产硝化甘油充满了风险。诺贝尔着手改进生产工艺，力求做到安全生产。由于多次的爆炸事故，诺贝尔极为悲伤，特别是1864年9月3日在瑞典首都斯德哥尔摩诺贝尔家住宅附近实验室的硝化甘油爆炸事故，使从事实验的5个人全部死于非命，其中包括诺贝尔的弟弟卢得卫，他的父亲也受了重伤。然而诺贝尔仍勇往直前，决不畏缩。他发明了用冷水管散热生产硝化甘油的冷却法，并设计了相应的机器，初步扫除了大批量生产的障碍，并很快地得到普遍应用。

诺贝尔一生都很勤奋，有着无穷的创造力，他把自己的全部精力献给了科学事业，创造了巨大的物质财富，促进了人类文明。他在去世前一年(1895年)留下遗嘱，将价值瑞典币30余亿克朗的财产的一部分(共920万美元)作为基金，以利息(每年约20万美元)作为奖金，每年颁发给在物理、化学、生物、医学和文学方面有贡献的人，以及有效地促进国际亲善、废除或裁减常备军、对促进和平事业等方面有贡献的人。1968年又增设经济学奖，获奖人不受国籍限制。这就是举世闻名的诺贝尔奖。

1799年，英国人高尔瓦德制成了雷管；1831年美国人毕克福特(Bickford)发明了导火索；1863年10月，阿尔弗雷德·诺贝尔(Alfred Bernhard Nobel)获得发火件(雷管)的发明专利权；1867年，瑞典化学家诺贝尔用硅藻土吸收硝化甘油(NG)制成稳定的黄色炸药——代纳迈特(Dynamite)。此后，瑞典的化学家奥尔森(Olsson)和诺宾(Norrbein)于1867年首次研制成功了以硝酸铵和各种燃料制成的混合炸药(硝铵炸药)，从此使工程爆破应用的最基本爆破器材得以完善，同时，也奠定了硝铵类炸药和硝化甘油类炸药相互竞争发展的基础。

进入20世纪，随着科学技术的进步和理论研究成果的应用，爆破器材和爆破技术也有了长足的发展。1919年出现了以泰安为药芯的导爆索；1927年，在瞬发电雷管的基础上诞生了秒延时电雷管；1946年，科学家研制成功了毫秒电雷管；1950年以后，铵油炸药(ANFO)由于起爆安全性得到了推广应用；1956年，库克(Cook)发明了浆状炸药，开辟了硝铵炸药应用的新领域，解决了粒状硝铵炸药不适用于水孔爆破的难题，也就是硝铵炸药的防水问题；1967年，瑞典诺贝尔炸药公司(Nitro Nobel AB)取得导爆管专利；1977年，美国的阿特拉斯炸药公司(Atlas Power Co)生产出工业用小直径雷管敏感的乳化炸药。

电子雷管是一种可精确设定并准确实现延期发火时间的新型电雷管，具有雷管发火时能精确控制、延期时间可灵活设定两大技术特点。电子雷管技术的研究开发工作大约始于20世纪80年代初，到20世纪80年代中期，电子雷管产品开始进入起爆器材市场，但总体上还处于技术与产品研究开发和应用试验阶段。1993年前后，瑞典Dynamit Nobel公司、南非AEL公司分别公布了他们的第一代电子雷管技术和相应的电子延期起爆系统，商标分别为Dynatronic和ExEx 1000。在整个20世纪90年代，新型电子雷管及其起爆技术获得了较快发展，两家公司又分别于1996年、1998年公布了他们的第二代技术。1998年之后，两家公司先后开发生产了Daveytronic电子雷管系统、PBS电子雷管系统和Electrodet[®]的电子雷管起爆系统，与此同时，全球范围内相继出现了其他品牌的电子雷管系统，电子雷管技术逐渐趋于成熟和爆破工程实用化。

我国早在20世纪30年代的抗战时期，就发明和使用硝酸铵和液体可燃物组成的炸药(铵油炸药的雏形)；新中国成立后，随着国民经济的迅速发展建立了炸药厂，才真正有了自己的工业炸药。1953年，我国开始生产以硝酸铵为主要成分，含有梯恩梯(TNT)、

木粉等成分的粉状硝铵类炸药(简称粉状铵梯炸药)。1957年,长沙矿山研究院等单位对粉状铵油炸药进行了比较深入的研究,1963年以来,铵油炸药得到了全面的推广和应用。我国从1959年开始研制浆状炸药,20世纪60年代中期在矿山爆破工程中获得应用。20世纪70年代初期,我国浆状炸药发展十分迅速,浆状炸药装药车的出现,更好地满足了露天爆破作业的需要。我国从20世纪70年代后期开始研制乳化炸药,而且还独创了国外没有的乳化粉状炸药;不仅有了露天型乳化炸药混装车,而且利用水环减阻技术,发展了地下小孔径乳化装药车;乳化炸药生产技术和装药车不仅满足了国内的需要,而且出口到瑞典、蒙古、俄罗斯、越南、赞比亚等国家。乳化炸药与乳化粉状炸药的兴起和普及,使固体防水硝铵类炸药退出爆破市场。

在起爆器材方面,新中国成立初期我国只能生产导火索、火雷管和瞬发电雷管,随后便可以生产和应用毫秒、秒延期电雷管。到20世纪70年代初期,阜新矿务局十二厂生产了导爆索—继爆管毫秒延时起爆系统。20世纪70年代末期,我国自行研制、生产了塑料导爆管及其配套的非电毫秒、半秒、秒延期起爆雷管,该种起爆器材的优越性,使其在露天矿山爆破、部分地下矿山爆破、土石方爆破和城市拆除爆破等工程领域中得到了广泛的应用。20世纪80年代中期,根据电磁感应原理,我国研制生产了磁电雷管,该产品在油、气井爆破作业中获得了应用。为了便于爆破后的检查,20世纪90年代相继出现了变色塑料导爆管。近年来,高强度导爆管雷管的开发与应用,使逐孔起爆技术得以实现。

爆破器材与技术的发展关系表明:一方面,爆破器材的发展推动了爆破技术的进步;另一方面,爆破实践又对爆破器材的发展发明提出新要求。

1.2 工程爆破的方法与技术

爆破是利用炸药爆炸释放的能量对介质产生破坏作用,为实现不同工程目的所采取的各种药包布置和起爆方法的一种工程技术。这种技术涉及数学、力学、物理学、化学和材料动力学、工程地质学等多种学科。

1.2.1 爆破方法

爆破作业的步骤是向要爆破的介质钻出的炮孔或开挖的药室或在其表面敷设炸药,放入起爆雷管,然后引爆。所以按装药方式与装药空间形状,爆破方法主要分为三大类。

1. 炮孔法

在介质内部钻出各种孔径的炮孔,经装药、放入起爆雷管、堵塞孔口、连线等工序起爆的,统称炮孔法爆破。通常将孔径 $\Phi < 50\text{mm}$ 、孔深 $L < 3 \sim 5\text{m}$ 称为浅孔、孔径 $\Phi = 50 \sim 70\text{mm}$ 、孔深 $L < 5 \sim 15\text{m}$ 称为中深孔,孔径 $\Phi > 80\text{mm}$ 、孔深 $L > 15\text{m}$ 称为深孔。炮孔法是岩土爆破技术的基本形式。

2. 药室法

在山体内开挖坑道、药室,装入大量炸药的爆破方法有集中药室法和条形药室法。每个药室内可装入多达千吨以上的炸药,一次爆破土石方量几乎是不受限制的。药室法爆破

广泛应用于露天堑壕、基坑开挖、填港筑坝等工程，特别是在露天矿的剥离工程中，由于爆破规模大、效率高，不需要大型设备，且不受季节条件的限制，故能有效地缩短工期、降低成本。

小知识

我国四川攀枝花市狮子山大爆破(1971年)总装药量 10162.2t，爆破 1140 万立方米，是继白银厂露天矿大爆破、珠海机场大爆破之后，世界上最大规模的大爆破之一。

3. 裸露药包法

裸露药包法是一种不需钻孔，直接将炸药包贴放在被爆物体表面进行爆破的方法。在破碎孤石和对爆后大块岩石作二次爆破等方面具有独特作用，仍然是常用的有效方法。

1.2.2 爆破技术

在上述 3 种爆破方法的基础上，根据各种工程目的和要求，采取不同的药包布置形式和起爆方法，可以形成许多各具特色的现代爆破技术，主要有以下几种。

1. 毫秒延时爆破

毫秒延时爆破，是 20 世纪 40 年代出现的爆破新技术。这种爆破技术利用雷管内装入适当的缓燃剂，或连接在起爆网路上的延期装置，以实现延期的时间间隔。通过不同时差组成的爆破网路，一次起爆后，可以按设计要求顺序使各炮孔内的药包依次起爆，获得良好的爆破效果。

毫秒延时爆破的特点是各药包的起爆时间相差微小，被爆破的岩块在移动过程中互相撞击，形成极其复杂的能量再分配，使岩石破碎均匀，缩短抛掷距离，减弱地震波和空气冲击波的强度，既可改善爆破质量，又能减少爆破危害。长期以来，在国民经济建设中微差爆破广泛应用于矿山、道路、水利水电、建材、城乡建设和建筑拆除工程等，具有良好的技术经济效益。

2. 光面爆破和预裂爆破

20 世纪 50 年代末期，随着钻孔机械的发展，一种密集钻孔小装药量的爆破新技术出现了，其又称为密集钻孔爆破法、龟裂爆破法和缓冲爆破法等，光面爆破和预裂爆破是在此基础上发展起来的。采用光面爆破和预裂爆破，都可以沿设计轮廓线爆破出规整的断面轮廓，同时对周围岩体损伤很小，保护了岩体的完整性。这是由于两者的爆破作用机理相同。这种爆破技术是隧道和地下结构以及路堑和基坑开挖工程中常用的爆破技术。

在开挖区内炮孔爆破之前，首先起爆沿设计轮廓线布置的一排炮孔，爆破后将开挖区与保留区岩体切断，即在预裂炮孔之间形成一条有一定宽度的贯穿裂缝，以减弱开挖区内钻孔爆破时地震波向边坡岩体的传播并阻断向边坡外发展的裂缝，这种爆破法称为预裂爆破。

光面爆破与预裂爆破最根本的区别就在于，预裂爆破是在主爆区开挖前，在完整的岩体内预先爆破，使沿着开挖部分和不需要开挖的保留部分的边界线爆开一条裂缝，用以隔断爆破作用对保留岩体的破坏，并在工程完毕后露出这一断裂面。光面爆破则是当爆破接

近开挖边界线时,预留一圈保护层(又叫光面层),然后对此保护层进行密集钻孔和弱装药,通过同时或稍微延迟起爆各炮孔的爆破法,在孔间产生剪切作用形成光面,减少超挖,以求得到光滑平整的坡面或巷道壁面。光面爆破又称为轮廓爆破或周边爆破。

3. 定向爆破

定向爆破是利用最小抵抗线在爆破作用中的方向性这个特点,设计时利用天然地形或人工改造后的地形,使最小抵抗线指向需要填筑的目标。这种技术已广泛地应用在水利筑坝、矿山尾矿坝和填筑路堤等工程上。它的突出优点是在极短时期内,通过一次爆破完成土石方工程挖、装、运、填等多道工序,节约大量的机械和人力,费用省、工效高;缺点是后续工程难于跟上,而且受到某些地形条件的限制。

小知识

新中国成立初期,我国采用定向爆破技术,3年时间筑成了20多座水坝,技术上达到了国际先进水平。

4. 控制爆破

控制爆破不同于一般的工程爆破,多用于人口稠密的城乡和周围建筑物群集的地区拆除房屋、烟囱、水塔、桥梁以及厂房内部各种构筑物基座的爆破,对由爆破作用引起的各种危害效应有更加严格的要求,因此,又称拆除爆破或城市爆破。

控制爆破所要求控制的内容是:①控制爆破破坏的范围,只爆破建筑物需要拆除的部位,保留其余部分的完整性;②控制爆破后建筑物的倾倒方向和坍塌范围;③控制爆破所引起的地震动强度和对附近建筑物及其结构的震动影响,也称爆破地震效应;④控制爆破产生的碎块飞出距离、空气冲击波强度和噪声污染等。

5. 水下爆破

水下爆破是将炸药装填于海底或水下进行工程爆破的技术。如开挖港坞,疏通航道,炸除礁石,拆毁水下沉船、建筑物,以及海底排淤和码头堤坝的软基处理等类爆破,都属于水下爆破的范畴。

水下爆破方法亦类似露天爆破,也要采用裸露、钻孔和药室装药等方法实现爆破目的,一般由专业潜水员在水下进行钻孔和装药等作业,或者采用大型钻船进行水上作业。水下爆破工作范围既受水深限制,又受潮汐水流的影响,所以水下爆破施工作业比较复杂、困难。

6. 地下爆破

地下爆破不同于露天和水下爆破,通常是在一个相对狭窄的工作面上进行钻爆作业,其特点是:多打炮眼,少装药或使用低威力炸药,分散装药量,使爆破作用均匀分布其中,按设计断面有效破碎被爆岩石,最大限度地减少对围岩的破坏程度。因此,水下爆破在技术上要求比较严格。

地下爆破从技术上可分为两种:一是起掘进先导作用的掏槽爆破。其目的是在只有一个临空面的条件下,首先在工作面中央形成较小但有足够深度的槽腔,这个槽腔是整个断面掘进开挖施工中的先导。掏槽爆破的炮孔布置方法很多,必须根据地质构造、断面大小和施工机械等条件,确定良好的掏槽孔布置形式。二是起修边成形作用的周边爆破,也称刷帮爆破。除要求崩落岩块均匀、抛渣近、爆堆集中、便于清渣、不崩坏支撑等以外,还

应保证坑道开挖限界外的围岩受到最小的破坏,以减少超欠挖的数量。

地下工程的开发,需要开挖很多大空间地下结构工程,使地下爆破技术在传统矿山地下爆破的基础上迅速发展。光面、预裂爆破技术应用于地下工程,促进了锚喷网支护原理与技术的发展,爆破后的超欠挖量减少到了最低量,围岩的稳定性大为增加,使地下工程获得很大的经济效益。

1.3 工程爆破技术应用现状

现代工程爆破技术是一门发展迅速的跨学科的实用性专业技术,主要研究爆破理论及其岩石介质破碎、开挖和城市拆除工程等领域的应用。随着我国经济建设的发展,爆破技术在国民经济建设和国防工程中得到了广泛的应用。各种爆破新器材新技术层出不穷,极大地促进了爆破理论和技术实践的发展。

1.3.1 现代爆破技术的主要内容

现代爆破技术的主要内容有4大部分。炸药及爆炸的基本理论和岩石爆破机理是现代爆破技术发展的基本理论;工业炸药和安全实用的各种起爆器材,以及现代化施工机械,是现代爆破技术应用的物质条件;岩石爆破、建筑物拆除爆破和形形色色的特种爆破等,共同组成了现代爆破技术的丰富内容;而爆破危害监测与控制技术的进步是现代爆破技术推广应用的安全保障。

1. 爆破理论

爆破理论包括炸药及爆炸基本理论和岩石爆破机理等内容。炸药及爆炸作用的基本理论阐述了与爆破技术密切相关的炸药爆炸特性、感度及起爆传爆原理、氧平衡、爆炸功及其炸药的主要性能等。岩石爆破机理则通过研究爆破作用下岩石破坏过程、爆破漏斗形成和成组药包爆破作用等,推出装药量计算原理,并深入分析包括工程地质在内的影响爆破作用的诸因素。爆破理论模型研究成果也为爆破过程数值模拟奠定了基础。

2. 爆破的物质基础

爆破的物质基础包括爆破器材和施工机械等内容。常用工业炸药、起爆器材及其起爆系统装置,都是实施各种爆破方法的物质条件;工程爆破施工工序中,钻孔、装药、挖运及其破碎等设备机械化自动化程度的提高对改进施工条件、降低作业强度、提高工程效率和综合效益具有重要影响。

3. 爆破技术

爆破技术包括岩石爆破技术、拆除爆破技术和特种爆破技术等内容。岩石爆破技术以露天台阶爆破和地下掘进爆破为主,毫秒延时爆破、光面爆破和预裂爆破等技术是其研究的主要内容;拆除爆破技术应用日益广泛,包括各类高大高耸建(构)筑物拆除爆破、水压爆破和静态破碎等技术;异形药包爆破、爆炸加工与合成、高温高压爆破、油气井爆破、软基处理爆破等特种爆破技术,进一步拓宽了爆破技术的应用范围。

1) 掘进爆破

掘进爆破是地下矿山开拓、水电、交通和地下工程中岩石开挖的主要施工手段，是整个掘进工程的首要部分，爆破效果直接关系着工程质量和使用年限。

在单自由面条件下进行巷道掘进，岩石的夹制作用很大，掏槽爆破是关键。为了保护围岩，在推广新奥法施工中，光面爆破技术得到了广泛应用，实现沿着巷道轮廓线切断岩石，以求得到光滑平整的巷道壁面。

2) 台阶爆破

台阶爆破是现代爆破工程应用最广的爆破技术。露天矿山开采、铁路和公路路基工程、水电工程及基坑开挖等大规模岩石开挖工程都大量采用台阶爆破方法。台阶爆破与装运机械配合施工，机械化水平高，施工速度快、作业效率高、安全性好。随着深孔钻机等凿岩设备的不断改进和发展，深孔爆破技术越来越成熟。在边坡围岩控制技术上，毫秒延时爆破和预裂爆破等技术在台阶爆破中得到成功应用。

3) 拆除爆破

拆除爆破是最近 50 年来迅速发展起来的一种控制爆破技术。拆除爆破具有爆区附近的环境十分复杂、爆破拆除的对象及材质各不相同、爆破堆积范围受到限制、对爆破危害的控制要求更高等特点，因此，针对不同的拆除对象必须采用不同的爆破方式。

4) 水下爆破技术

水下爆破技术在水库岩塞爆破、挡水围堰拆除、港湾航道疏浚工程，以及淤泥与饱和沙土软地基爆炸处理等方面发展非常迅速，尤其是淤泥软基爆炸处理技术具有投资少、工效高和施工简便等优势，在沿海开发区建设中得到了广泛的应用。

5) 特种爆破技术

特种爆破是指爆破介质和对象、爆破方法及药包结构、爆破环境或爆破目的等不同于普通爆破的特殊爆破技术。近年来金属爆炸成形、爆炸焊接、爆炸复合和切割、爆炸合成新材料等技术的应用领域越来越广。

6) 爆破安全技术

爆破安全技术包括爆破施工作业中使用火工品的安全问题和爆破对周围建筑设施与环境安全影响两部分。一部分涉及爆破器材性能、适用条件、检验方法和起爆技术等问题，另一部分为爆破安全准则、爆破引起的公害及控制标准，以及防护技术和减灾技术等问题。

随着爆破技术的进步，爆破引起的包括地震、空气冲击波、飞石、噪声、毒气和粉尘等有害效应的控制技术措施，已经成为爆破设计和施工的必要部分；只要在爆破设计中采取有效的控制和防范措施，严格执行《爆破安全规程》，加强安全监测管理，即可使各种爆破有害效应降低到最低程度。

1.3.2 现代爆破技术特点

钻孔爆破法是现代爆破的基本方法，爆破工程的高风险性及其社会影响使得从业技术人员不仅应掌握一般的爆破方法进行爆破设计和施工，还应具备较强的安全意识、良好的心理素质和全面的管理能力。因此，现代爆破技术除具有应用涉及范围广、社会影响力大等特点外，还具有以下重要特点。