



国家出版基金项目

# 水利水电工程 爆破手册

Blasting Manual of Water Conservancy  
and Hydropower Project

主 编 吴新霞

副主编 赵 根 卢文波 刘美山



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

微信号: Waterpub-Pro



唯一官方微信服务平台

销售分类: 水利水电

ISBN 978-7-5226-0530-2



9 787522 605302 >

定价: 260.00元



国家出版基金项目

# 水利水电工程 爆破手册

主 编 吴新霞

副主编 赵 根 卢文波 刘美山



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本手册是国家出版基金项目,由长江水利委员会长江科学院和中国水利学会工程爆破专业委员会组织国内水利水电工程爆破界的专家、学者和工程技术人员编撰的一部大型专业工具书,采用通俗易懂的语言,全面、系统、与时俱进地总结、提炼、概括、升华了水利水电工程爆破行业取得的实践经验和科技成果。经过编审人员推敲、讨论,最终确定为14章,主要内容包括绪论、爆破基础理论、爆破器材与起爆技术、边坡及地基开挖爆破、地下工程开挖爆破、水下爆破、水下岩塞爆破、围堰拆除爆破、水工建(构)筑物拆除爆破、级配料开采爆破、爆破安全控制、爆破安全监测、抢险救灾爆破、二氧化碳致裂爆破等。本手册力求既全面系统,又突出重点,强调“实用性、指导性、科学性、新颖性”,是水利水电工程爆破行业献给我国爆破事业的一份珍贵礼物。

本手册概念清晰、系统完整,囊括了水利水电工程爆破领域的方方面面,不仅对从事爆破理论研究的科研技术人员有很大帮助,而且对从事工程爆破设计、施工、管理和指挥的技术人员有很大的指导意义,同时本手册还可供港口、军工、人防、城市地铁、铁道交通、矿山能源、应急抢险等有关工程爆破的技术人员及高等院校的相关师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程爆破手册 / 吴新霞主编. — 北京 :  
中国水利水电出版社, 2022. 2  
ISBN 978-7-5226-0530-2

I. ①水… II. ①吴… III. ①水利水电工程—爆破施  
工—手册 IV. ①TV542-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第042220号

书 名	水利水电工程爆破手册
作 者	SHUILI SHUIDIAN GONGCHENG BAPO SHOUCHE 主 编 吴新霞 副主编 赵 根 卢文波 刘美山
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@mwr.gov.cn 电话: (010) 68545888 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售有限公司 电话: (010) 68545874、63202643 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	北京印匠彩色印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 42印张 1022千字
版 次	2022年2月第1版 2022年2月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	260.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 《水利水电工程爆破手册》

## 编委会名单

主 编：吴新霞

副 主 编：赵 根 卢文波 刘美山

编写人员（按姓氏笔画排序）：

王文辉 王秀杰 朱 莅 朱学贤 严 鹏 李 鹏  
李必红 杨招伟 张文煊 陈 云 陈 明 周先平  
周桂松 胡英国 饶 宇 倪锦初 路 东 黎卫超

# 序



自 20 世纪 90 年代以来，随着西电东送和西部大开发战略的实施，我国开始了三峡、小湾、锦屏、溪洛渡、向家坝、乌东德、白鹤滩以及南水北调等一大批国家乃至世界瞩目的重大水利水电工程建设，水利水电工程爆破技术在岩石高边坡及基础开挖、地下洞室群开挖、堆石坝级配料开采、水工围堰爆破拆除以及大型引调水工程水下岩塞爆破等方面取得了显著进展，攻克了 700m 级水电站坝肩高边坡开挖爆破质量安全控制、300m 级高拱坝建基面岩体开挖爆破成型与保护、高地应力巨型水工地下洞室群爆破开挖控制、特高堆石坝级配料爆破开采、复杂环境下水工围堰爆破拆除以及大直径深水岩塞爆破等系列关键技术瓶颈，完成了水利水电工程领域从常规爆破到精细控制爆破的时代跨越。

新时期工程爆破技术面临更高的要求和挑战，实现爆炸能量高效利用和爆破有害效应的有效控制是响应国家建设节能环保型社会、经济可持续发展的必然要求。当前，我国水利水电工程建设重心逐渐转向西部高寒、高海拔地区，施工环境更加严酷，爆破作业的绿色化和智能化要求更加迫切。在智慧建造对我国水利水电工程建设发展发挥重要引领作用的时代背景下，爆破作为重要的工程建设手段，唯有从技术原理、设计方法、技术措施与决策方式等全方位加快智慧改造，才能满足工程建设高质量发展的时代需求。

长江水利委员会长江科学院和中国水利学会工程爆破专业委员会围绕水利水电工程建设的新形势、新使命和新要求，组织编撰了《水利水电工程爆破手册》，全面、系统、科学地总结和提炼了水利水电工程爆破领域的理论与技术等成果。手册具有较高的学术和工程应用价值，可为我国水利水电工程爆破领域的技术发展和进步提供成熟的理论支持与技术借鉴。参与编撰手册的作者为高质量完成编撰工作，投入了大量时间和精力，他们在内容上反复打磨，力求精益求精，手册得以出版，实属不易，难能可贵。

本人非常愿意向广大爆破从业者推荐这本《水利水电工程爆破手册》。手

册的出版正逢其时，意义重大，希望能为进一步攻克水利水电工程爆破难题，更好地为未来我国水利水电工程爆破实践提供技术支撑和保障。

中国工程院院士



2022年2月1日

# 前言



改革开放 40 余年来，我国水利水电工程建设事业取得了举世瞩目的成就，水电装机容量和发电量均居世界第一。在这波澜壮阔的建设过程中，工程爆破技术作出了重大贡献，也取得了巨大成就。进入 21 世纪后，中国开始由基建大国向基建强国昂首阔步迈进，爆破作为一项重要的工程建设技术，必将在 21 世纪我国持续快速发展的国民经济建设中继续发挥不可替代的作用。正所谓“真正的大国重器，一定要掌握在自己手里。核心技术、关键技术，化缘是化不来的，要靠自己拼搏”，展望未来，水利水电行业必将有更多的工程爆破任务和爆破新技术应用领域，期待我们广大爆破工作者去开拓完成。在这种形势下，编撰出版一部《水利水电工程爆破手册》既是对水利水电行业多年爆破技术成果总结的需要，亦是未来中国水利水电工程爆破事业发展的需要。长江水利委员会长江科学院和中国水利学会工程爆破专业委员会秉承这种需求和夙愿，经过长达数年的调研、酝酿与安排，于 2017 年开始组织业内数十名专家及工程技术人员着手《水利水电工程爆破手册》的编撰工作。

《水利水电工程爆破手册》是一部大型专业工具书，内容丰富，实用性强，成熟度较高，涵盖理论、设计、施工、测试与管理，并要有一定的前瞻性。全书立足保持全面性、新颖性、科学性、指导性、实用性，使其适用于爆破设计、研究、施工和测试的工程技术人员和中、高等相关专业院校师生以及爆破施工管理与行业管理人员。毋庸置疑，组织编撰这样一部大型专业工具书，对我国水利水电事业发展具有重要意义，是中国水利水电爆破行业从业人员理应承担的一项光荣而艰巨的任务，长江水利委员会长江科学院和中国水利学会工程爆破专业委员会始终以高度负责和极其认真的态度来组织和落实这项工作。在《水利水电工程爆破手册》编委会的统一指导下，将编写者分成“爆破基础理论”“爆破器材与起爆技术”“边坡及地基开挖爆破”“地下工程开挖爆破”“水下爆破”“水下岩塞爆破”“围堰拆除爆破”“水工建（构）筑物拆除爆破”“级配料开采爆破”“爆破安全控制”“爆破安全监测”“抢险救灾爆破”“二氧化碳致裂爆破”等 13 个编写组。在编写过程中，编写组成员建立了工作群，实时展开讨论，并多次在武汉召开《水利水电工程爆破手册》编写研讨会。与会人员经过认真、激烈的讨论交流，充分发表意见、建议，拟定了编写提纲，明确了编写目标，确定了编写内容分工。为了保证

编写质量和编写进度等各项预期目标的顺利实现，确定了各编写组负责人及编写进度计划，还制定了中间成果的检查计划和最终成果的审查计划。本手册的第1章和第2章由李鹏、严鹏负责，第3章由黎卫超、周桂松负责，第4章由胡英国负责，第5章由朱学贤负责，第6章由赵根负责，第7章由黎卫超负责，第8章由朱莅负责，第9章由王秀杰负责，第10章由胡英国负责，第11章和第12章由饶宇、王文辉负责，第13章由刘美山、吴新霞负责，第14章由杨招伟负责。主编吴新霞、副主编赵根、卢文波、刘美山对手册进行了后期审定工作。

为了将《水利水电工程爆破手册》打造成精品，在编写过程中召开了两次审稿会，全部编写人员参加，另外邀请部分非参编人员对编写成果提出宝贵意见。此外，还邀请了涵盖水利水电工程爆破领域各个专业的知名老专家、中青年学者、管理人员和相关部门领导座谈讨论，广泛听取他们的意见和建议，以使手册内容更客观、更全面。通过上述工作，确保了手册文字叙述简洁、数据图表齐全、形式和格式符合工具书的出版要求；内容上达到全面、系统与新颖的要求，并按照现行的国家标准《爆破安全规程》（GB 6722）及水利水电行业相关爆破规范进行统一，使其既能适应现代爆破设计、研究、施工、测试及相应管理工作的需要，又能与国际接轨，同时体现中国特色。各编写人员按照手册的定位、内容、范围和要求，进行了经常性的沟通和协调。《水利水电工程爆破手册》从谋篇布局、章节安排到执笔撰写、修改定稿都要求字斟句酌、精雕细刻、反复推敲，最终铸就精品，可以说本手册是我国水利水电工程爆破行业集体智慧的结晶。

本手册编撰过程中参阅引用了大量文献资料，在此对文献作者表示衷心的感谢！每章后列出了主要参考文献，对于需要进一步了解某些问题的读者，可能有所裨益。

特别要感谢中国水利水电出版社，为本手册成功申报了国家出版基金资助，在编写过程中相关编辑多次与手册编写组成员进行交流，也为手册的部分章节做了配套多媒体，使手册内容更加生动。

编撰手册既是一项功在社会、利在千秋的公益性事业，也是一件艰辛而又令人敬畏的工作。尽管我们做了很大的努力，争取将本手册打造成精品，但由于编者的学识所限，手册中错误之处在所难免，敬请各位专家和读者指正。

最后，对于支持和帮助完成本手册的领导和国内外专家谨致以衷心的感谢！

编委会

2022年2月

# 目录

序	
前言	
第1章 绪论	1
1.1 发展历程	1
1.1.1 爆破理论	1
1.1.2 水利水电工程爆破	4
1.2 应用现状	5
1.2.1 主要爆破技术	5
1.2.2 水利水电工程精细爆破	11
1.2.3 典型工程实例	14
1.3 技术展望	17
1.3.1 传统爆破	18
1.3.2 智能爆破的发展与展望	20
参考文献	23
第2章 爆破基础理论	25
2.1 爆破作用原理	25
2.1.1 岩石爆破	25
2.1.2 爆破漏斗理论	27
2.1.3 爆破装药量计算	29
2.1.4 爆破块度及抛掷堆积计算	32
2.1.5 水下爆破	34
2.2 爆破振动理论	39
2.2.1 爆炸冲击波、应力波与地震波	39
2.2.2 爆破振动衰减规律	44
2.2.3 爆破振动叠加效应	45
2.2.4 爆破振动的影响因素	52
2.2.5 爆破振动效应分析方法	56
2.3 相似理论及其在爆破工程中的应用	57
2.3.1 相似三定理	58
2.3.2 量纲分析	59

2.3.3	爆破量纲分析实例	61
2.3.4	爆破模型试验	64
2.4	爆破数值模拟	68
2.4.1	数值模拟方法	68
2.4.2	常用爆破数值模拟软件	68
2.4.3	典型爆破数值模拟案例	71
	参考文献	77
<b>第3章</b>	<b>爆破器材与起爆技术</b>	<b>80</b>
3.1	爆破器材	80
3.1.1	工业炸药	80
3.1.2	工业雷管	97
3.1.3	导爆索	103
3.2	起爆网路	105
3.2.1	电起爆网路	106
3.2.2	非电起爆网路	108
3.2.3	电-非电复合起爆网路	117
3.3	爆破器材试验及起爆网路试验	118
3.3.1	工业炸药性能试验	118
3.3.2	雷管准爆性及延期时间检验	124
3.3.3	导爆索传爆性能及爆速检验	126
3.3.4	起爆网路试验	127
3.4	现场混装炸药技术	128
3.4.1	现场混装炸药技术发展概况	128
3.4.2	现场混装炸药生产系统组成	129
3.4.3	现场混装爆破技术应用典型案例	143
3.4.4	现场混装炸药技术发展展望	146
	参考文献	147
<b>第4章</b>	<b>边坡及地基开挖爆破</b>	<b>149</b>
4.1	深孔台阶爆破	149
4.1.1	基本概念	149
4.1.2	深孔台阶爆破设计	149
4.1.3	装药结构	155
4.1.4	钻孔与装药技术	155
4.1.5	起爆网路	157
4.1.6	设计程序	160
4.1.7	工程实例	160
4.1.8	缓冲孔爆破	164

4.2	浅孔台阶爆破	165
4.2.1	炮孔布置	165
4.2.2	爆破参数	165
4.2.3	起爆顺序	166
4.2.4	质量保证措施	166
4.3	预裂爆破与光面爆破	167
4.3.1	基本概念	167
4.3.2	预裂爆破设计	168
4.3.3	光面爆破设计	171
4.3.4	预裂和光面爆破的使用条件	172
4.3.5	预裂爆破与光面爆破的施工	172
4.3.6	质量评价	173
4.3.7	工程实例	174
4.3.8	聚能预裂爆破技术	179
4.4	基础保护层爆破	180
4.4.1	保护层厚度的确定	181
4.4.2	保护层分层开挖法	182
4.4.3	孔底设柔性垫层的保护层一次爆除法	182
4.4.4	保护层一次爆除的水平光面爆破法	183
4.4.5	水平预裂取消保护层法	185
4.4.6	消能-聚能联合控制爆破技术	186
4.5	水工岩石高边坡开挖爆破控制技术	188
4.5.1	基本概念	188
4.5.2	高边坡爆破特点	189
4.5.3	高边坡爆破控制技术	190
4.5.4	工程实例	196
	参考文献	204
<b>第5章</b>	<b>地下工程开挖爆破</b>	<b>206</b>
5.1	隧洞开挖爆破设计	206
5.1.1	基本概念	206
5.1.2	围岩分级和围岩稳定性	206
5.1.3	地下洞室规模及类型划分	208
5.1.4	炮孔分类	209
5.1.5	隧洞爆破开挖参数设计	222
5.1.6	隧洞开挖爆破施工	225
5.2	隧洞开挖爆破	226
5.2.1	隧洞开挖施工方法	226

5.2.2	炮孔布置和爆破参数	229
5.2.3	起爆网路	231
5.2.4	隧洞中、下层开挖时常用的爆破方法	232
5.2.5	工程实例	232
5.3	竖井与斜井开挖爆破	235
5.3.1	竖井开挖方法	235
5.3.2	斜井开挖方法	235
5.3.3	炮孔布置和爆破参数	236
5.3.4	工程实例	240
5.4	地下厂房开挖爆破	241
5.4.1	总体施工方案	243
5.4.2	施工通道布置	244
5.4.3	洞室顶层的开挖爆破	245
5.4.4	岩壁梁层开挖爆破	246
5.4.5	临近岩壁梁层开挖爆破	248
5.4.6	直立边墙区开挖爆破	249
5.4.7	底层区开挖爆破	250
5.4.8	圆筒式调压室开挖爆破	251
5.4.9	竖井、斜井开挖	254
5.4.10	引水洞、尾水洞、母线洞、交通洞等平洞开挖爆破	254
5.4.11	交岔洞口的开挖	255
5.4.12	爆破振动速度控制	257
5.4.13	工程实例	257
5.5	洞室特殊部位爆破	262
5.5.1	洞口段钻爆开挖	262
5.5.2	洞室交叉部位钻爆开挖	263
5.5.3	小净距隧洞钻爆开挖	263
5.6	不良地质洞段爆破	264
5.6.1	软岩隧洞钻爆开挖	264
5.6.2	浅埋隧洞爆破	265
5.6.3	瓦斯洞段施工	265
	参考文献	266
<b>第6章 水下爆破</b>		267
6.1	概述	267
6.2	水下爆破作用机理	267
6.2.1	水中爆破作用机理	267
6.2.2	水下固体介质爆破作用机理	267

6.3	水下裸露爆破 .....	268
6.3.1	方法特点 .....	268
6.3.2	应用范围 .....	268
6.3.3	爆破参数 .....	268
6.3.4	施工工艺 .....	269
6.3.5	施工质量与安全 .....	271
6.4	水下钻孔爆破 .....	271
6.4.1	方法特点 .....	271
6.4.2	应用范围 .....	272
6.4.3	钻孔作业平台(船) .....	272
6.4.4	爆破器材 .....	274
6.4.5	爆破参数 .....	274
6.4.6	水下钻孔爆破起爆网路 .....	278
6.4.7	施工工艺 .....	278
6.4.8	典型工程实例 .....	281
6.5	软基处理水下爆破 .....	288
6.5.1	爆炸挤淤填石法 .....	288
6.5.2	爆炸夯实 .....	291
6.5.3	软土地基水下爆破典型实例 .....	292
	参考文献 .....	296
<b>第7章</b>	<b>水下岩塞爆破</b> .....	<b>297</b>
7.1	水下岩塞爆破概述 .....	297
7.1.1	基本概念 .....	297
7.1.2	水下岩塞爆破分类 .....	297
7.1.3	水下岩塞爆破基本技术要求 .....	299
7.1.4	水下岩塞爆破地形测量和地质勘察要求 .....	300
7.1.5	国内外部分水下岩塞爆破工程简况 .....	300
7.2	水下岩塞爆破器材 .....	302
7.2.1	爆破器材基本要求 .....	302
7.2.2	爆破器材试验 .....	302
7.3	水下岩塞爆破设计 .....	303
7.3.1	设计基本要点 .....	303
7.3.2	岩塞位置与体型 .....	303
7.3.3	方案选择 .....	305
7.3.4	稳定性分析 .....	307
7.3.5	水下岩塞爆破试验 .....	309
7.3.6	安全防护设计 .....	312

7.3.7	岩塞爆破动态监测	312
7.4	水下岩塞爆破施工	313
7.4.1	爆破安全保障措施	313
7.4.2	钻孔施工特殊情况处理	313
7.4.3	爆破效果检查	314
7.5	工程实例	314
7.5.1	清河“211”取水工程水下岩塞爆破	314
7.5.2	丰满水电站泄洪洞水下岩塞爆破	316
7.5.3	某水电站改造工程水下岩塞爆破	318
7.5.4	刘家峡洮河口排沙洞水下岩塞爆破	322
7.5.5	某输水工程取水口水下岩塞爆破	323
	参考文献	333
<b>第8章 围堰拆除爆破</b>		<b>334</b>
8.1	基本概念	334
8.2	围堰拆除爆破方法	335
8.2.1	总体方案	335
8.2.2	钻孔形式	336
8.2.3	爆破参数	336
8.2.4	起爆技术	336
8.2.5	抛掷或倾倒方向	336
8.2.6	清渣方式	336
8.2.7	安全校核	336
8.3	混凝土围堰拆除爆破	337
8.3.1	工程特点	337
8.3.2	爆破设计	338
8.3.3	工程案例	339
8.4	导流洞进出口围堰拆除爆破	353
8.4.1	工程特点	353
8.4.2	爆破设计	353
8.4.3	工程案例	357
8.5	引水洞进出口围堰拆除爆破	367
8.5.1	工程特点	367
8.5.2	爆破技术	368
8.5.3	工程案例	369
8.6	土石围堰防渗墙拆除爆破	378
8.6.1	工程特点	378
8.6.2	拆除方法	378

8.6.3	爆破技术 .....	379
8.6.4	工程案例 .....	379
	参考文献 .....	382
<b>第9章</b>	<b>水工建(构)筑物拆除爆破</b> .....	<b>383</b>
9.1	概述 .....	383
9.1.1	基本概念 .....	383
9.1.2	基本原理 .....	384
9.1.3	技术要求及分类 .....	385
9.2	拆除爆破设计 .....	386
9.2.1	总体方案设计 .....	386
9.2.2	技术设计 .....	386
9.2.3	施工组织设计 .....	395
9.3	基础类建(构)筑物拆除爆破 .....	395
9.3.1	工程特点 .....	395
9.3.2	爆破设计 .....	396
9.3.3	工程案例——鱼塘水电站溢洪道钢筋混凝土底板拆除爆破 .....	397
9.4	高耸建(构)筑物拆除爆破 .....	400
9.4.1	工程特点 .....	400
9.4.2	爆破设计 .....	401
9.4.3	工程案例 .....	404
9.5	坝体改扩建拆除爆破 .....	410
9.5.1	工程特点 .....	411
9.5.2	爆破设计 .....	411
9.5.3	工程案例 .....	411
9.6	水工钢结构拆除爆破 .....	416
9.6.1	工程特点 .....	416
9.6.2	工程案例——坪江水电站导流洞可爆堵头爆破 .....	418
	参考文献 .....	421
<b>第10章</b>	<b>级配料开采爆破</b> .....	<b>422</b>
10.1	概述 .....	422
10.1.1	基本概念 .....	422
10.1.2	级配料开采要求 .....	423
10.1.3	级配料开采研究现状 .....	425
10.1.4	堆石坝爆破级配智能设计系统 .....	428
10.2	级配料爆破设计 .....	429
10.2.1	设计原则 .....	429
10.2.2	设计流程 .....	429

10.2.3	主要设计参数	430
10.2.4	装药结构	432
10.2.5	爆破网路	432
10.3	级配料爆破试验	433
10.3.1	试验目的	433
10.3.2	试验目标	433
10.3.3	试验内容	434
10.3.4	试验案例	434
10.4	爆破块度测量方法	436
10.4.1	传统的测量方法	436
10.4.2	计算机图像处理技术	437
10.4.3	基于三维图像扫描的测量方法	438
10.4.4	无人机拍摄测量方法	438
10.5	爆破级配料的主要影响因素	438
10.5.1	地质因素	438
10.5.2	爆破参数因素	440
10.5.3	其他不确定性因素	444
10.6	级配料爆破优化	444
10.6.1	爆破优化的目标函数	444
10.6.2	爆破优化的约束条件	445
10.6.3	级配参数与爆破参数的关系分析	446
10.6.4	修正的 Kuz - Ram 模型	448
10.6.5	优化实例	450
10.7	堆石坝爆破级配料块度的预测	451
10.7.1	基于天然块度的爆破块度预测方法	451
10.7.2	基于神经网络的爆破块度预测方法	454
10.7.3	基于爆破振动的爆破块度预测方法	454
10.8	工程案例	455
10.8.1	长河坝水电站大坝级配料开采	457
10.8.2	两河口水电站大坝级配料开采爆破智能设计	458
10.8.3	阿尔塔什水利枢纽大坝工程	462
10.8.4	猴子岩水电站大坝工程	464
10.8.5	老挝 Nam Khan2 (南坎 2) 水电站大坝工程	466
	参考文献	469
<b>第 11 章</b>	<b>爆破安全控制</b>	<b>472</b>
11.1	概述	472
11.2	安全控制标准	472