

大型病险水库 除险加固控制爆破技术

刘治峰 张戈平 赵炳海 吕兴波 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大型病险水库 除险加固控制爆破技术

刘治峰 张戈平 赵炳海 吕兴波 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书基于作者多年的实践经验和研究成果,全面系统地介绍了石方开挖爆破块度预报系统、高边坡安全稳定动力影响分析、水工建(构)筑物快速安全拆除技术、临近土坝和新浇混凝土的控制爆破技术、小直径低爆速炸药隧洞开挖技术和岩坎爆破技术,其成果已在河北省病险水库加固工程中获得了推广应用,取得了非常显著的经济效益和社会效益。

本书可供从事水利水电、交通、矿山等工程爆破方面的设计、施工和管理人员以及大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

大型病险水库除险加固控制爆破技术 / 刘治峰等编
著. — 北京:中国水利水电出版社, 2011.5
ISBN 978-7-5084-8660-4

I. ①大… II. ①刘… III. ①大型水库:病险水库—加固②大型水库:病险水库—爆破拆除—爆破技术 IV.
①TV697.3②TV542

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第102207号

书 名	大型病险水库除险加固控制爆破技术
作 者	刘治峰 张戈平 赵炳海 吕兴波 等 编著
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 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	140mm×203mm 32开本 7印张 188千字
版 次	2011年5月第1版 2011年5月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	29.00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

《大型病險水库除險加固控制爆破技术》

编写人员名单

主 编 刘治峰

副主编 张戈平 赵炳海 吕兴波

参编人员 高文平 迟利梅 史文红 张江然

于秀萍 娄素丽 陈智勇 王志波

单旭辉 尹玉荣 邢彦波 聂欣岩

刘喜安



序

随着我国科学技术的迅猛发展，工程爆破在水利水电、航空航天、交通、矿山等国民经济建设中已得到广泛应用并发挥了巨大作用，取得了举世瞩目的成就。三峡工程、西气东输、南水北调等重点工程建设中，爆破已成为不可缺少的开山斧钺，这些工程实践都为爆破理论与技术的发展创造了条件，并且建立了一套全面、完整、系统的科学体系。

近年来，随着爆炸力学、岩石动力学、工程力学等基础理论研究的深化和“四新”技术的不断发展，特别是计算机技术的广泛应用，为精细爆破理念的提出奠定了基础，并为爆破工程精细化提供了强有力的技术支撑。高质量的工程要求和更严格的环境保护，将进一步促使完成更多更好的精细爆破工程实例。

大型病险水库除险加固中的爆破工程，具有库区周边环境十分复杂，水库兼有供水、养殖、发电和度汛等特点，因此，对爆破机理、设计和施工等都是个值得深入研究的新课题。河北省水利工程局的同志们在大型病险水库的除险加固工程实践中，按照质量要求、根据工程特点、制定科学方案、付诸工程实践，在探索中总结，在总结中创新。围绕定量设计、精心施工、实时监

控和科学管理的精细爆破理念，采取了基于爆破影响范围的控制技术，并辅助以爆破振动效应跟踪监测与信息快速反馈系统，实现了溢洪道闸室快速安全拆除，爆破危害得到了有效控制，岩体及边坡开挖成型达到了预期效果。在此基础上，提出了爆破对土坝和新浇混凝土的影响判据和控制标准，形成了具有水利水电行业特色的“精细爆破”技术体系。

该课题是一项开创性的工作，技术难度大，具有创新性、综合性、系统性、实用性，取得了非常显著的经济效益和社会效益。

目前，经过作者们的共同努力，已对该控制爆破技术进行了全面系统的总结并撰写成书。本书内容新颖、语言简练，具有重要的学术价值和工程实践指导作用，必将对我国爆破技术发展起到较大的推动作用，故乐于为之序。

中国工程爆破协会理事长
中国工程院院士



2011年4月18日

前言

水是生命之源、生产之要、生态之基。兴水利、除水害，事关人类生存、经济发展、社会进步，历来是治国安邦的大事。我国河流众多，地形变化复杂，年降水量时空分布不均，更需要修建水利基础设施优化水资源配置，缓解水资源供求矛盾。我国已建成各类水库 8.7 万余座，是世界上水库最多的国家。这些水库在防洪、灌溉、供水、发电等方面，特别是改善生产生活条件和促进经济持续稳定发展方面发挥了重要作用。但我国水库绝大多数兴建于 20 世纪 50~70 年代，限于当时的经济技术条件，水库建设先天不足，大部分工程都是“三边”（边勘测、边设计、边施工）工程，给水库留下了很多隐患，诸如防洪标准偏低、大坝质量差、坝基渗漏、抗震不达标、泄洪设施不健全等病患，经过多年运行，病险问题更加突出，严重影响防洪安全。

根据党中央、国务院安排，自 2008 年起，用 3 年时间完成 7356 座大中型和重点小型病险水库除险加固任务，其中河北省共有 200 座病险水库需要加固处理。治理项目包括溢洪道拓宽重建工程、主坝与副坝的加高培厚、砌石护坡、灌浆防渗、隧洞开挖、水工建（构）筑物拆除、高边坡开挖等工程。具体涉及以下几项内容：

(1) 原有构筑物安全而快速拆除，或部分拆除，部分保留。因水利工程的度汛时间与工期限制，且水利机构构筑物结构复杂，材料强度高，对爆破拆除技术提出了很高的要求。

(2) 在溢洪道扩挖时，必须保证高边坡的施工安全与运行安全，需对爆破振动进行严格的控制，寻求合理的工程判据与控制标准。

(3) 爆破施工过程中需开挖的部分经常紧邻被保护构筑物，零距离接触，必须正确选择爆破方案和爆破参数及工程防护措施，确保周围坝体的安全，不能产生任何渗漏与裂缝，满足蓄水要求。

(4) 在爆破施工中，岩体的爆破开挖块度必须保证一定尺寸与大小，还要满足一定的级配与比例，使开挖后石料全部有效的填筑坝体，提高石碴利用率，降低工程成本。

(5) 施工过程中应保证新浇混凝土的强度安全，不影响其后期强度，不降低其抗剪指标。

(6) 在隧洞开挖中如何减少爆破对围岩的影响，保证开挖稳定，增强开挖洞壁的平整度，还要满足工期要求。

(7) 在不放空水库、上游蓄水的情况下，如何完成排砂洞（或放水洞）的进口开挖，既不影响水库正常运行，又满足工程需要。

上述一系列除险加固工程对爆破提出了极高的技术要求，必须采用控制爆破技术，正确地进行爆破方案设计，合理选择爆破参数，精心施工工艺控制，严格施工过程管理，科学的监测与评估，将爆破作业全过程进行系统管理与控制。本书以河北省水利工程局近几年完成

的病險水库加固工程为例，重点介绍了爆破施工的应用技术，其中包括王快、西大洋、黄壁庄、岗南、庙宫等水库除險加固工程。这些工程的除險加固措施均已顺利完成，目前已正常蓄水，正常运行，持续稳定的向北京提供用水，为南水北调应急供水工程保障北京奥运会用水作出了积极贡献，而且作为长期向北京供水的水源地，保障了北京市经济建设和人民正常生活。同时也为今后病險水库的安全治理积累了丰富经验，并已在朱庄水库等后续病險水库治理中得到推广应用。

本书在编写过程中参考和引用了许多专业论述，同时也得到了有关专家的支持，尤其是汪旭光院士和张永哲教授对本书的出版倾注了大量心血，在此编者向有关人员致以崇高的谢意！因编者水平有限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2011年3月1日

目 录

序

前言

第 1 章 王快水库除险加固工程	1
1 王快水库工程概况及除险加固内容	1
1.1 工程概况	1
1.2 除险加固内容	1
2 王快水库溢洪道开挖块度与级配控制	1
2.1 地质状况	1
2.2 开挖与填筑要求	2
2.3 爆破块度分布预报系统的建立	2
2.4 块度级配控制和降低大块率的工程措施	10
2.5 采用的工程爆破参数	13
2.6 利用爆破块度分布预报系统调整爆破参数	13
2.7 堆石爆破块度分布预报系统应用分析	16
2.8 堆石填筑的碾压试验结果	16
2.9 结论	23
3 王快水库溢洪道高边坡开挖的安全控制	24
3.1 高边坡开挖技术要求与施工方法	24
3.2 深孔控制爆破参数选择	25
3.3 深孔控制爆破施工	27
3.4 预裂爆破参数设计	29
3.5 爆破对环境影响的控制	31
3.6 开挖爆破对高边坡的动力稳定影响分析	33
4 王快水库溢洪道原闸室爆破拆除	43

4.1	工程概况	43
4.2	拆除工程的特点和要求	43
4.3	预处理工程	45
4.4	拆除工作	49
4.5	安全防护	53
4.6	爆破效果	53
5	渠首引水隧洞混凝土堵塞体岩塞爆破技术	54
5.1	工程概况	54
5.2	混凝土堵塞体的爆破设计	55
5.3	爆破泄殖设计	63
5.4	混凝土堵塞体爆破施工组织	66
5.5	有关爆破安全问题的论证	70
5.6	爆破前后需进行的必要工作	76
第2章	西大洋水库除险加固工程	80
1	临近土坝的控制爆破技术	80
1.1	工程概况	80
1.2	地质现状	80
1.3	除险加固工程要求及工程难点	81
2	建基面保护层一次开挖爆破技术	95
2.1	工程概况	95
2.2	爆破试验目的	95
2.3	试验地点与布置	95
2.4	保护层一次开挖试验过程	96
2.5	效果检测	97
2.6	试验结论	97
第3章	黄壁庄水库除险加固工程	99
1	溢洪道堰面爆破拆除	99
1.1	工程简介	99
1.2	施工中关注的几个问题	99

1.3	爆破试验参数	100
1.4	安全防护措施	102
1.5	安全控制标准	102
1.6	测试结果与分析	103
1.7	结论	104
2	溢洪道开挖爆破振动影响	105
2.1	爆破试验方案	105
2.2	测点布置与观测系统	105
2.3	振动观测结果与初步分析	105
2.4	爆破振动的安全判据与控制标准	108
2.5	结论	109
3	非常溢洪道桥头堡定向爆破技术	109
3.1	工程概况	109
3.2	爆破方案的选择	110
3.3	爆破技术设计	110
3.4	爆破效果及安全监测	113
第4章 岗南水库除险加固工程		115
1	概述	115
1.1	研究问题的提出	115
1.2	问题分析	115
2	试验布置	116
2.1	应变测量	116
2.2	振动测量	116
2.3	声波测量	117
2.4	混凝土的强度测验	117
3	观测成果与分析	118
3.1	爆破振动	118
3.2	新浇混凝土的变形规律	121
3.3	混凝土试块的应变	122

3.4	声波测量	124
3.5	混凝土强度	126
3.6	宏观调查	127
4	评定混凝土安全的准则	127
4.1	用质点振动速度作为衡量尺度的可能性	127
4.2	新浇混凝土的应变	128
4.3	新浇混凝土的应力	128
4.4	新浇混凝土的声波测量	131
5	结论	131
6	岗南水库工程加固实践	132
6.1	工程概况	132
6.2	抗滑桩受力和观测方法	135
6.3	模拟试验	136
6.4	采取的工程防护措施	144
6.5	爆破施工的科研监测	145
6.6	观测结果与数据分析	146
6.7	结论	159
第5章	庙宫水库除险加固工程	161
1	概述	161
1.1	研究背景	161
1.2	工程概况	161
2	排沙洞洞身开挖技术	162
2.1	上部开挖	162
2.2	下部开挖	165
2.3	结论	166
3	排沙洞进口岩坎爆破	166
3.1	岩坎开挖方案	166
3.2	岩坎爆破设计	167
3.3	结论	170

4	竖井开挖	171
4.1	反导井开挖	171
4.2	竖井扩挖	172
4.3	爆破参数	173
4.4	结论	175
第 6 章	大桑园水电站引水隧洞	176
1	工程概况	176
1.1	地质条件	176
1.2	隧洞结构尺寸及爆破要求	176
2	小直径、低爆速炸药的应用	177
2.1	孔内爆炸对岩体的作用	177
2.2	多个炮孔的共同作用	178
2.3	光面爆破的临空面条件	179
3	开挖爆破方案选择	181
3.1	开挖方案选择	181
3.2	装药结构的选择	183
4	不同地质条件下的光爆试验	184
4.1	进水口光面爆破试验	184
4.2	桩号 0+275~0+294 段光爆试验	187
4.3	1 号洞光面爆破试验 (桩号 1+920~1+800)	187
4.4	2 号洞光面爆破试验 (桩号 2+845~3+095)	188
4.5	3 号洞光面爆破试验 (桩号 4+149.7~4+028.7)	189
5	成本与效益分析	189
5.1	减小钢筋混凝土衬砌工作量	189
5.2	缩短施工工期	190
5.3	保证施工安全减少钢支撑用量	190
5.4	成本分析	190
6	主要经验与建议	191
6.1	周边孔使用小直径低爆速炸药	191

6.2	反台阶施工法与超前导洞施工法	191
6.3	周边孔的爆破参数	192
第7章	东石岭水库溢洪道堰面爆破拆除的振动控制	193
1	概述	193
1.1	工程概况	193
1.2	除险加固内容	193
1.3	拆除的设计要求与特点	193
2	安全判据和控制标准	195
2.1	坝体振动控制标准	195
2.2	帷幕灌浆控制标准	195
3	采用的爆破参数和减振措施	196
3.1	爆破参数	196
3.2	装药结构	196
3.3	网路设计	196
3.4	安全与减振措施	197
4	振动测试结果与安全分析	197
4.1	振动观测结果	197
4.2	坝体的安全性分析	199
4.3	爆破振动对帷幕与固结灌浆影响的安全分析	200
5	结论	201
第8章	结论	202
1	创新点	202
2	推广应用前景	204
	参考文献	205

第 1 章 王快水库除险加固工程

1 王快水库工程概况及除险加固内容

1.1 工程概况

王快水库位于河北省保定市曲阳县境内大清河南支沙河上游,控制流域面积 3770km^2 ,水库总库容 13.89 亿 m^3 ,是以防洪为主,结合灌溉、发电的大(1)型水利枢纽工程。

1.2 除险加固内容

王快水库初建于 1958 年,1969 年冬至 1972 年 9 月对水库进行了续建,标准为 100 年一遇洪水设计,1000 年一遇洪水校核,大坝加高了 7.5m。但是因拦河坝稳定安全系数及防洪标准偏低,经水利部安全鉴定,王快水库大坝被定为三类坝,需要对王快水库进行除险加固,主要工程项目有:改扩建溢洪道、增大溢洪道泄洪规模、大坝加高培厚,因此需要进行溢洪道土石方开挖、原溢洪道闸室拆除、拦河坝加高培厚堆石填筑。原坝顶高程 215m,坝顶宽度 5m,加固后坝顶高程 215m,坝顶宽度 7m。下游坝坡加固要求采用石碴培厚并放缓坝坡,解决下游坝坡不稳定问题,最大堆石填筑宽度 32m,填筑石料取自溢洪道扩挖的弱风化岩石,将工程开挖与石料开采相结合,充分利用爆破开挖石料一次直接上坝,避免二次倒运,节约生产成本,加快工程进度,有利于自然环境保护。

2 王快水库溢洪道开挖块度与级配控制

2.1 地质状况

溢洪道出露的地层为太古界阜平群结晶变质岩系,岩性为黑

云母斜长片麻岩，呈浅黄色，片麻节理产状走向 EW，倾向 S，倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。主要矿物成分为长石、石英、黑云母及少量角闪石，呈中粗粒变晶结构。由于混合岩化、微晶岩化程度不同和成分不同，多有云母富集形成很厚的条带夹层。全、强风化厚度一般在 10m 左右。岩体干密度为 $2.76\text{g}/\text{cm}^3$ ，含水率 0.09%，饱和吸水率 0.27%，干抗压强度为 126MPa，饱和抗压强度为 91.8MPa，软化系数为 0.73。

2.2 开挖与填筑要求

溢洪道土石方开挖工程量 132.6 万 m^3 ，弱风化以下岩体 92.5 万 m^3 ，大坝堆石填筑工程量 92.88 万 m^3 。

溢洪道开挖总长 1266m，最大开挖深度 71m，平均 42m，施工作业面狭窄，施工强度高。溢洪道两岸边坡各设 3 条水平马道，高程分别为 200、215、230m，马道宽 1.5m，为防止滚石及施工期排水方便，岩面处设一条宽 1.5m 的马道。

大坝下游坡堆石填筑全长 1281m，填筑最大宽度 32.0m，堆石采用溢洪道弱风化及以下岩体爆破石碴，全、强风化石料不允许上坝。石料级配是保证坝体质量的关键因素，级配合理使堆石体密实稳定，保持堆石体自由排水特性，故上坝石碴应有较好的级配，最大块径不大于 0.8m，土、石粉等粒径小于 0.1mm 的颗粒含量不超过 5%。填筑体碾压后堆石孔隙率小于 25%，干容重应不小于 $20\text{kN}/\text{m}^3$ 。按土粒的判别标准不均匀系数大于 5，曲率系数为 1~3，才能保证级配良好。石碴应有连续级配，以利于振动压实，减小后期沉降量。爆破开挖规模和开挖量应与坝体填筑强度相适应。

溢洪道开挖时还要减小振动影响，保证土坝、心墙、发电隧洞的安全及边坡稳定。因此必须优化爆破参数，控制超径块石，加强施工管理，规范施工工艺。

2.3 爆破块度分布预报系统的建立

2.3.1 爆破块度分布模型的选取

堆石料开采常采用深孔梯段爆破，为合理控制石料开采爆破

