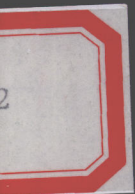
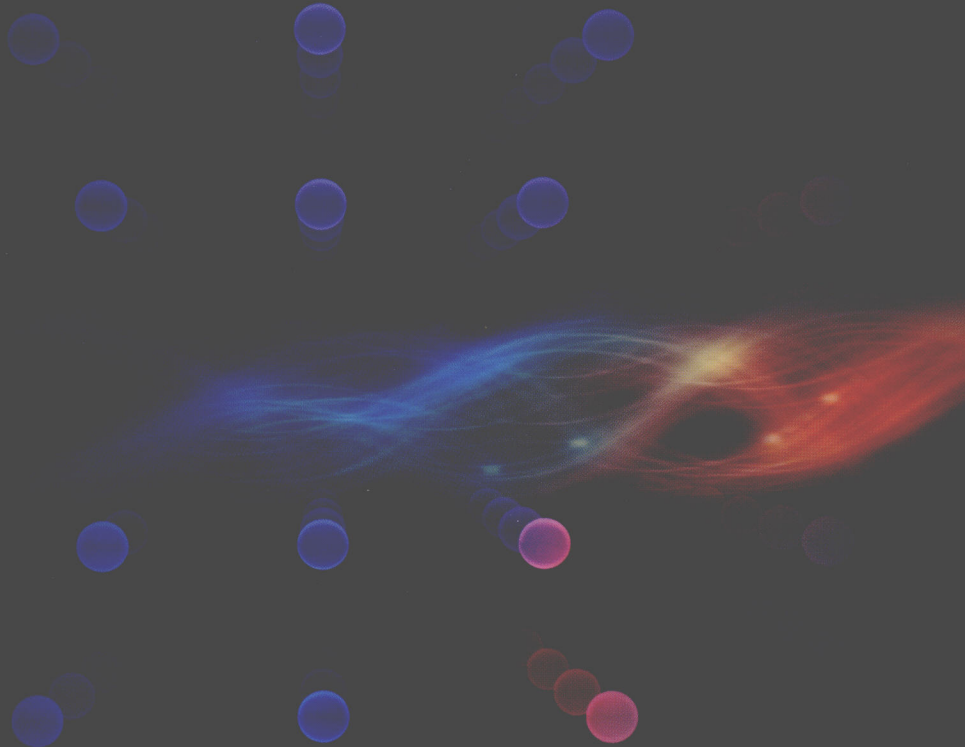


【现代工程爆破前沿技术丛书】

水工围堰拆除爆破

赵 根 吴新霞 刘美山 陈敦科 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



【现代工程爆破前沿技术丛书】

48

水工围堰拆除爆破

赵 根 吴新霞 刘美山 陈敦科 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统总结了围堰拆除爆破理论与实践, 主要内容包括: 绪论、围堰拆除水下爆破理论、围堰拆除爆破器材、围堰拆除爆破起爆网路、混凝土围堰拆除爆破、碾压混凝土围堰拆除爆破、水工岩坎围堰拆除爆破、土石围堰拆除爆破、导流洞即时过流围堰拆除爆破、围堰定向倾倒拆除爆破、船坞岩坎围堰拆除爆破、围堰拆除爆破有害效应安全控制与监测。

本书注重理论联系实际, 在分析各类围堰拆除爆破特点、设计方法、施工工艺的基础上, 收集了大量的工程实例, 可供工程爆破的科研、设计、施工、监理及管理的技术人员使用, 也可供高等院校有关爆破专业的师生参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

水工围堰拆除爆破 / 赵根等编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2009. 12
(现代工程爆破前沿技术丛书)
ISBN 978-7-5084-7127-3

I. ①水… II. ①赵… III. ①围堰—爆破拆除 IV. ①TV542

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第243734号

书 名	现代工程爆破前沿技术丛书 水工围堰拆除爆破
作 者	赵根 吴新霞 刘美山 陈敦科 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)
经 售	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
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中科印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.5印张 320千字
版 次	2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	48.00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

序

水工围堰拆除是水电建设中一道重要的工序。

水工围堰的岩坎、混凝土或土石围堰中的心墙等常采用爆破拆除。爆破拆除是一种风险大且具高科技含量的爆破工程。其特点和难度表现为：大多数围堰要求一次爆除；围堰爆渣要便于冲带或挖除；要确保邻近围堰各种建筑物及结构物的安全，等等。

长江水利委员会长江科学院在围堰爆破拆除方面做了许多开创性的工作。1984~1985年我与同仁张文煊、王胜洪、倪锦初、洪维元等完成了导爆管接力网路起爆的开发及研究工作，并将其应用于深孔台阶与保护层的开挖中；之后又与张文煊、吴新霞对导爆管接力网路的可靠度与延时特性进行研究开发，提出孔内用高段位雷管，接力用低段位雷管，以及联网操作规程等设计与操作原则，使导爆管接力起爆系统的理论与实践更趋于安全可靠。1986年，在葛洲坝工程大江混凝土心墙与郑州铝厂黄河提水泵站的土埂爆破拆除工程中均使用了该起爆系统，随后导爆管接力起爆系统被广泛地应用于围堰爆破拆除中，并解决了前述围堰爆破拆除的技术难题。通过东风水电站导流洞进出口围堰爆破拆除等工程的实践，又提出围堰爆破拆除应采用“高单耗，低单段”，采用冲渣方案时，必须炸出最低缺口等爆破设计原则，使围堰爆破工作得以更顺利进行。2006年，长江科学院和长江规划勘测设计院设计完成的三峡工程三期碾压混凝土围堰采用硐室爆破定向倾倒，获得圆满成功。这一创新的成果，标志着我国围堰爆破拆除和水下爆破技术又提升到一个新的平台。20多年来，与张文煊、吴新霞带领长江科学院爆破团队的主要成员赵根、刘美山、李世洪、王胜洪、吴从清等成功完成了60余座不同种类的围堰拆除，无一失误。目前我国爆破拆除的水工围堰及船坞岩坎已超过百座。以上叙述仅表明围堰爆破拆除技术是一项团队合作的结果，也是本书的基本源泉。

围堰拆除爆破的实践性强，不仅需要爆破理论、爆破技术的支持，更需要丰富的工程经验来指导实践。因此，从成功的围堰拆除爆破中吸取有益的经验显得尤为重要。本书的作者均是年轻的同志，他们在总结前述团队围堰拆除理论技术和经验的基础上，结合他们自己的工作对围堰拆除理论和实践

进行了研究总结，展示了一些围堰拆除的最新研究成果，并介绍了国内外爆破拆除的典型工程案例，是一部理论与实践相结合的围堰拆除爆破专著，可供工程爆破的科研、设计、施工、监理及管理技术人员借鉴。

张正宇

2009年12月8日

前 言

围堰是水工建筑物修建时的挡水安全保护屏障，在水工建筑物修建完成后，围堰就需按时拆除。由于围堰拆除是导流洞过流或船坞建成的标志性工序，关系到截流的难易程度，关系到船坞能否安全顺利地投入运行。因此，围堰拆除爆破只能成功，不能失败，否则进行二次处理极为困难，后果不堪设想。

围堰的结构形式多样、地形地质条件复杂，拆除方法也各不相同；围堰离永久建筑物近、爆破安全控制严、爆破效果要求高、施工难度大，是围堰拆除有别于其他拆除爆破的一大特点，也是围堰拆除爆破的一大亮点。

根据围堰拆除爆破的特点及技术要求，长江科学院张正宇教授提出了以“高单耗、低单段”为核心、“塑料导爆管接力起爆技术”为手段的围堰拆除爆破技术，已成为围堰拆除爆破的设计准则，在围堰拆除爆破中得到广泛应用，并经工程实践检验是行之有效的。

在众多的围堰拆除爆破技术中，“超深缓倾孔围堰拆除爆破技术”、“导流洞即时过流围堰拆除爆破技术”已广泛应用于工程实践中。三峡工程三期 RCC 围堰采用“建拆结合、预置药室、定向倾倒”拆除技术，为围堰拆除爆破树立了新的范例。

随着爆破器材的进步，高精度导爆管雷管起爆网路已成为围堰拆除爆破设计起爆网路的首选；数码电子雷管在三峡工程三期 RCC 围堰拆除爆破中的首次应用，标志着围堰拆除起爆网路数字化、精确化的发展方向。

本书对围堰拆除爆破理论进行了总结，同时为方便广大爆破工作者有针对性地阅读、参考，将围堰分为：混凝土围堰、碾压混凝土围堰、水工岩坎围堰、土石围堰（混凝土心墙以及土石与混凝土混合围堰）等，并分别介绍了各自的拆除爆破特点、设计方法、施工工艺等；针对导流洞围堰爆破后即时过流的要求、定向倾倒围堰拆除爆破以及船坞岩坎围堰拆除爆破的特殊性，也将其进行了分章编写，并分门别类地收集了大量典型工程实例。

在本书的编写过程中，参考了有关专著、论文的有关内容，对引用的工程实例均做了标注，在此，谨向文献资料的作者表示诚挚的谢意！长江科学

院的研究生陈律、谭用星、王爱兴、肖望等做了大量的编务工作，在此一并表示谢意！

本书得到了水利重点科技专著出版项目的资助，得到了中国长江三峡集团公司的支持，在此表示衷心的感谢！

由于水平有限，书中错误之处在所难免，敬请读者指正、赐教。

作者

2009年11月30日

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 围堰拆除爆破设计原则	1
1.3 围堰拆除爆破技术	2
1.3.1 围堰拆除总体方案	2
1.3.2 钻孔形式	4
1.3.3 爆破参数	4
1.3.4 起爆网路	5
1.4 围堰拆除爆破技术的发展趋势	5
第2章 围堰拆除水下爆破理论	7
2.1 引言	7
2.2 围堰拆除水下爆破作用机理	7
2.2.1 陆地岩石爆破的作用机理	8
2.2.2 水中爆破的物理现象	9
2.2.3 水下岩石爆破的作用机理	10
2.2.4 围堰拆除爆破作用机理	10
2.3 水对围堰拆除爆破效果的影响	10
2.3.1 水下、陆地固体介质工程爆破的主要差异	10
2.3.2 水体对爆炸腔的影响	11
2.3.3 水体对破裂半径的影响	11
2.3.4 水体对抛掷距离的影响	11
2.4 水下爆破块度预测研究	13
2.4.1 陆地爆破块度预报模型	13
2.4.2 Kuz-Ram 模型及其修正	14
2.4.3 水下爆破块度预测模型	16
2.5 围堰拆除水下爆破炸药单耗	17

第3章 围堰拆除爆破器材	20
3.1 概述	20
3.2 围堰拆除用炸药	20
3.2.1 乳化炸药	20
3.2.2 铵梯炸药	24
3.3 导爆管雷管	26
3.3.1 导爆管雷管分类	26
3.3.2 普通型导爆管雷管	27
3.3.3 高精度导爆管雷管	29
3.3.4 高强度导爆管雷管	32
第4章 围堰拆除爆破起爆网路	35
4.1 导爆管起爆网路	35
4.1.1 围堰拆除爆破起爆网路设计准则	35
4.1.2 围堰拆除中常用的导爆管起爆网路形式	36
4.1.3 围堰拆除中导爆管起爆网路雷管段别的选择	36
4.1.4 起爆网路可靠度	37
4.2 数码雷管起爆系统	39
4.2.1 数码雷管时间设定	39
4.2.2 数码雷管单组起爆网路的检测	40
4.2.3 数码雷管整体起爆网路的检测	40
第5章 混凝土围堰拆除爆破	41
5.1 混凝土围堰及拆除爆破技术	41
5.1.1 混凝土围堰简介	41
5.1.2 混凝土围堰拆除爆破特点	41
5.1.3 混凝土围堰拆除爆破设计	41
5.2 混凝土围堰拆除爆破工程实例	42
5.2.1 沙溪口水电站混凝土围堰拆除爆破	42
5.2.2 漠武水电站混凝土围堰拆除爆破	46
5.2.3 高滩水电站混凝土围堰拆除爆破	47
5.2.4 云南田坝电站尾水闸前水下混凝土围堰拆除爆破	49
5.2.5 湘江大源渡河纵向混凝土围堰拆除爆破	51
5.2.6 未中水电站混凝土上游纵向围堰拆除爆破	55
5.2.7 凤滩电站导流洞出口围堰拆除爆破	57
第6章 碾压混凝土围堰拆除爆破	60
6.1 碾压混凝土围堰及拆除爆破技术	60
6.1.1 碾压混凝土围堰简介	60

6.1.2	碾压混凝土围堰拆除爆破特点	60
6.1.3	碾压混凝土围堰拆除爆破技术	61
6.2	碾压混凝土围堰拆除爆破工程实例	61
6.2.1	岩滩水电站碾压混凝土围堰拆除爆破	61
6.2.2	高坝洲电站碾压混凝土纵向围堰拆除爆破	65
6.2.3	乐滩水电站碾压混凝土围堰拆除爆破	68
6.2.4	土卡河水电站导墙碾压混凝土围堰拆除爆破	71
6.2.5	构皮滩水电站碾压混凝土保护性拆除爆破	72
第7章	水工岩坎围堰拆除爆破	77
7.1	水工岩坎围堰及拆除爆破技术	77
7.1.1	水工岩坎围堰简介	77
7.1.2	水工岩坎围堰的拆除爆破特点	77
7.1.3	水工岩坎围堰拆除爆破技术	78
7.2	水工岩坎围堰拆除爆破工程实例	79
7.2.1	山西禹门口提水泵站进口岩坎拆除爆破	79
7.2.2	缅甸邦朗电站导流洞出口岩坎拆除爆破	82
7.2.3	漳水库电站挡水岩坎拆除爆破	84
7.2.4	洪家渡水电站2号导流洞进口岩坎拆除爆破	86
7.2.5	乌江渡扩建工程尾水出口预留岩坎拆除爆破	89
7.2.6	彭水电站导流洞出口岩坎拆除爆破	92
7.2.7	金安桥水电站导流洞进口围堰拆除爆破	96
7.2.8	瑞丽江水电站导流洞进出口围堰拆除爆破	100
7.2.9	大峡水电站导流明渠进口岩坎拆除爆破	105
7.2.10	李家峡水电站导流洞岩坎拆除爆破	109
第8章	土石围堰拆除爆破	113
8.1	土石围堰及拆除技术	113
8.1.1	土石围堰简介	113
8.1.2	土石围堰拆除特点	114
8.1.3	土石围堰拆除方法	114
8.1.4	土石围堰爆破技术	115
8.2	土石围堰拆除爆破工程实例	115
8.2.1	葛洲坝水利枢纽大江土石围堰混凝土心墙拆除爆破	115
8.2.2	二滩水电站导流洞围堰拆除爆破	118
8.2.3	乌金峡水电站下游围堰防渗墙拆除爆破	120
8.2.4	三峡工程二期上游围堰防渗墙拆除爆破	122
8.2.5	三峡二期下游围堰混凝土防渗墙拆除爆破	124
8.2.6	三峡三期下游土石围堰防渗墙拆除爆破	127

第9章 导流洞即时过流围堰拆除爆破	129
9.1 引言	129
9.2 爆渣块度水力学研究	129
9.2.1 最大爆渣块度与起动流速的关系	129
9.2.2 冲渣块度与起动速度模型试验	130
9.2.3 围堰爆破即时过流水力学参数	131
9.2.4 最大允许爆渣块度与流速关系分析	132
9.3 导流洞即时过流围堰拆除爆破技术	132
9.4 导流洞即时过流围堰拆除爆破工程实例	133
9.4.1 小湾导流洞进出口围堰拆除爆破	133
9.4.2 大朝山水电站导流洞进口岩坎拆除爆破	139
9.4.3 乌江构皮滩导流洞进口围堰拆除爆破	140
9.4.4 深溪沟水电站导流洞预应力围堰拆除爆破	143
第10章 围堰定向倾倒拆除爆破	148
10.1 引言	148
10.2 三峡三期 RCC 围堰拆除爆破工程特点	148
10.3 三峡工程三期 RCC 围堰拆除爆破方案研究	150
10.3.1 倾倒空间	150
10.3.2 倾倒堰体的重心位置	150
10.3.3 倾倒支点的确定	150
10.3.4 预置药室的布置	151
10.3.5 水位条件	152
10.3.6 倾倒可靠性分析	152
10.4 围堰爆破倾倒试验研究	153
10.4.1 1:100 围堰模型倾倒试验	153
10.4.2 1:10 围堰模型爆破倾倒试验	154
10.5 倾倒爆破设计与实施	156
10.5.1 预置药室爆破参数设计	156
10.5.2 切割孔爆破参数设计	157
10.5.3 断裂孔爆破参数设计	157
10.6 倾倒爆破起爆网路设计与实施	157
10.6.1 雷管选择	157
10.6.2 爆破延时	158
10.6.3 爆破网路连接	158
10.6.4 数码雷管的延期时间的设置与校核	158
10.6.5 数码雷管起爆	158
10.7 爆破效果	158

第 11 章 船坞岩坎围堰拆除爆破	160
11.1 船坞岩坎围堰及拆除爆破技术	160
11.1.1 船坞岩坎围堰简介	160
11.1.2 船坞岩坎围堰拆除爆破的特点	160
11.1.3 船坞岩坎围堰拆除爆破技术	160
11.2 船坞岩坎拆除爆破工程实例	161
11.2.1 青岛万吨级船坞坞口岩坎拆除爆破	161
11.2.2 “2458 工程” 坞口岩坎拆除爆破	166
11.2.3 福建某船厂船坞岩坎拆除爆破	171
11.2.4 舟山马峙岛船坞围堰拆除爆破	173
11.2.5 南洋船厂船坞围堰拆除爆破	178
11.2.6 舟山诚达船厂船坞围堰拆除爆破	181
11.2.7 长涂金海湾船业 2 号船坞围堰拆除爆破	183
第 12 章 围堰拆除爆破有害效应安全控制与监测	186
12.1 围堰拆除爆破有害效应	186
12.2 爆破振动效应及安全控制	186
12.2.1 爆破振动效应	186
12.2.2 爆破振动安全允许标准	186
12.2.3 爆破振动安全控制措施	189
12.3 水击波、动水压力及安全控制	189
12.3.1 水击波、动水压力	189
12.3.2 水击波效应及其防护	191
12.4 水石流效应及其防护	192
12.4.1 水石流效应	192
12.4.2 水石流效应防护措施	193
12.5 涌浪及安全防护	193
12.6 空气冲击波、噪声及安全控制	194
12.6.1 空气冲击波、噪声	194
12.6.2 空气冲击波、噪声安全控制	194
12.7 爆破飞石及安全控制	195
12.8 爆破有毒有害气体及控制	195
12.9 围堰拆除爆破安全监测	195
12.9.1 爆破振动速度测试	195
12.9.2 水击波及动水压力测试	197
12.9.3 空气冲击波及噪声测试	199
12.9.4 爆破涌浪监测	199
12.9.5 爆破有害气体及水质监测	199
参考文献	200

第1章 绪 论

1.1

概 述

围堰是指在水利水电工程、船坞工程等建设中,在基坑周围修建的临时性挡水建筑物,防止水和土进入建筑物的修建位置,以便在围堰内排水,使基坑开挖、建筑物的修建能在干涸的条件下进行。

围堰一般根据地形、地质条件,因地制宜地进行修建,因此围堰的类型较多,结构也比较复杂。围堰按材料可分为土石围堰、混凝土围堰、岩坎围堰、钢板桩格形围堰、木笼围堰、竹笼围堰草土围堰等^[1];按围堰与水流方向的相对位置,可分为横向围堰、纵向围堰;按导流期间基坑是否允许淹没,可分为过水围堰、不过水围堰;按围堰和坎轴线的相对位置,可分为上游围堰和下游围堰。

围堰的工作特点属临时性挡水建筑物,除作为正式建筑物的一部分外,围堰一般在其挡水使命完成后需拆除。

根据围堰的结构特点、材料性质等,通常采用人工拆除法、机械拆除法、爆破拆除法中的一种或几种进行。对于竹、木笼围堰、草土围堰等,一般以人工拆除法为主;对于土石围堰(除混凝土心墙)、钢板桩格形围堰等,一般以机械拆除法为主;混凝土围堰、岩坎围堰、土石围堰中混凝土心墙等,一般以爆破拆除法为主。当然,这是对不同类型围堰拆除方法的简单分类,并不排除采用其他拆除方法。

围堰拆除爆破技术被广泛地应用在水电站的导流洞、导流明渠、尾水洞等进(出)水口围堰拆除以及船坞坞首围堰的拆除中。从公开发表的文献资料来看,拆除围堰的类型繁多、拆除方法、拆除技术也各有千秋。

1.2

围堰拆除爆破设计原则

围堰及岩坎爆破设计的核心是:在确保邻近爆区各种已建水工建筑物安全的条件下,必须确保一次爆破成功,满足爆破块度、堆积形状及过流条件等。因此,在进行爆破设计时,必须严格遵循如下原则^[2]。

(1) 设计时应充分论证爆破地震波、水击波、涌浪及动水压力、个别飞石等爆破效应邻近建筑物的影响程度,并针对不同类型的建筑物特性,制定恰当的爆破安全控制标准;采取一些必要措施,使爆破危害效应控制在允许范围以内。

(2) 设计时要因地制宜地合理制定爆破总体方案。诸如：在要满足过流要求而无需清渣的条件下，可以考虑采用整体倾倒爆破方案；当需要进行水下清渣时，则宜采用充分破碎、爆堆相对集中的爆破方案，此时设计中可考虑在围堰（或岩坎）内侧充水后再实施爆破；采用聚渣坑聚渣或水流冲渣施工方案时，设计中则应考虑围堰（或岩坎）内侧系无充水和低水位状态，同时要考虑水动力学与爆破块度之间的关系，以利爆破石渣能被水流充分带走。

(3) 设计时应确保爆破一次成功。设计中应考虑火工器材的抗水性、抗海水等的腐蚀性；雷管延时精度及可靠度；爆破施工过程的安全、可靠及简易性；起爆网路的安全可靠性；爆破参数设计时，一般宜采用高单耗、低单段药量设计方法。

1.3

围堰拆除爆破技术

围堰由于具有挡水作用，使得围堰体至少有一个面处于无水状态，如顶面、堰内非临水面等，围堰拆除爆破就充分利用其顶面、非临水面以及被爆体内部廊道等无水区进行钻爆作业，爆破时堰体除1~2个面处于无水状态外，其余位于水下，是一种特殊的水下爆破。围堰拆除爆破要求一次爆通成型，能满足泄水、进水等要求，同时，实施爆破时，首先要确保爆破区附近各种已建成的水工建筑物不受到损害。

围堰拆除爆破可分为炸碎法和定向倾倒法两大类，其中，炸碎法围堰拆除爆破技术是目前应用最多的一项拆除技术。围堰拆除爆破技术包括：围堰拆除总体方案、钻孔形式、爆破参数、起爆网路等的研究。

1.3.1 围堰拆除总体方案

围堰拆除爆破总体方案，从爆破是否分层（分区或分次），可以分为分层（分区或分次）爆破、一次爆破方案；从爆后清渣方式，可以分为爆后机械清渣、聚渣坑聚渣、水流冲渣等爆破方案；从围堰内侧充水与否，可以分为堰内不充水、堰内充水爆破方案；从装药形式不同，可以分为钻孔爆破、集中药室爆破方案。上述只是从某一个角度来进行分类，涉及到具体的工程，则是爆破方案的综合运用。

一般情况下，为减少水下爆破清渣的工作量、降低钻孔施工难度以及工程的实际需要，首先要考虑分层（分区或分次）爆破方案，大多数工程实际上也是这样实施的。

如沙溪口水电站上游二期重力式混凝土挡墙加钹石断面形式的围堰拆除^[1]，在考虑爆破拆除方案时，研究了多层多次爆破、垂直孔一次爆破、倾倒一次爆破等多种方案，但从施工工期、已建电厂的发电要求、爆破石渣流对闸门的影响以及爆破振动对周围建筑物安全影响等多方面因素综合考虑，选择了总体分两层、局部分小区的垂直深孔炸碎爆破方案，该方案在77m高程处将混凝土堰体分为上、下两层，上层拆除高度为9.2m（堰顶高程为86.2m），下层最大拆除高度为8.5m（最低拆除底高程为68.5m）。为了确保整个围堰下层拆除爆破的施工安全及爆破效果，在上层进行爆破拆除的同时，还在77m高程进行了水平预裂。上、下层拆除爆破时的库水位分别为76m和68m高程，混凝土拆除量为

1.98 万 m^3 。两次爆破约有 50% 以上的爆渣按设计要求抛入河床深槽中, 大大减少了清渣工作量。采用分层、分区爆破方案, 保证了枢纽建筑物的安全, 满足了施工进度要求, 降低了施工成本, 增加了已建电厂的发电量 (由于缩短了库水位的降低时间), 取得了明显经济效益。

水下清渣难度大、成本高, 少清渣, 甚至不清渣, 是在爆破方案研究中需重点考虑的一个研究内容, 如采用预先开挖聚渣坑、利用水流清渣等。

如大峡水电站导流明渠进口岩坎拆除, 要求在主河床截流合龙两天前将预留岩坎拆除, 没有时间进行水下清渣, 为此, 采用分区、分层拆除的方案, 逐步降低、减薄岩坎, 预拆除岩坎围堰爆破方量 0.97 万 m^3 , 减少了岩坎一次爆破拆除量, 形成的最终拆除岩坎体型为: 预留岩坎高 9.5m (顶高程 1453m, 拆除底高程 1443.5m), 岩坎顶长 70m, 岩坎底宽 25~35m, 拆除方量为 1.38 万 m^3 。采用以硐室双向抛掷爆破为主 (控制大量岩渣抛向上游河床, 少量岩渣抛入下游聚渣坑)、大块石进行预碎爆破和沿两设计边线进行预裂爆破等组成水下抛掷爆破方案, 聚渣坑布置在岩坎背水边坡的坡脚, 根据爆破抛掷距离等因素而确定的开挖尺寸为: 长 $\times$ 宽 $\times$ 深=50m $\times$ 40m $\times$ 5m。爆破达到了安全准爆、完全拆除挡水岩坎的预期效果, 实现了导流明渠及时分流。

又如, 2004 年 11 月 11 日拆除的构皮滩水电站左岸导流洞进出口围堰^[2], 即采用水流冲渣方案。乌江构皮滩电站 (位于贵州省余庆县构皮滩镇) 导流洞围堰分布在左右岸, 左岸围堰堰顶为 452m 高程, 顶宽 2m, 438~440m 高程以上为毛石混凝土, 其下为石灰岩岩坎, 拆除底高程为 434m, 拆除垂直高差 18m。为保证水流冲渣效果, 选择围堰两端同时开口, 爆渣向围堰两侧同时抛掷, 最后在中部形成最低缺口。炮孔布置采用由堰内向堰外的倾斜布置, 同时利用倾斜孔的前抛作用使爆渣大量向河心抛掷, 降低整个爆堆的平均高度。堰外基岩部位最靠外侧的两排炮孔增加单耗, 尽量做到抛掷和破碎堰外松渣中的大块石。左岸出口围堰先于进口围堰 1min 起爆, 起爆后, 进口围堰预计的爆破缺口和爆堆形状全部形成。爆破后不到 20s, 左岸导流洞开始过水, 爆堆石渣整体向洞内推移, 1min 以后进口石渣已经全部被水流带走, 3min 左右出口开始出水, 30min 后出口石渣基本被冲走, 只轻微看到有水流在出口形成“龙抬头”现象。

为防止爆破后高速石渣流对临近重要建筑物, 特别是闸门的影响, 一般堰内应采用充水爆破方案。如 2001 年 3 月 22 日拆除的云南大朝山水电站尾水隧洞围堰^[3], 该工程围堰平行布置在澜沧江右岸, 岩埂岩性主要为玄武岩, 1 号、2 号岩埂两侧与洞口混凝土翼墙紧邻, 岩埂底部与尾水洞出口混凝土仅相距 4~11m, 与检修闸门及其启闭机室的水平距离仅有 50m 左右。由于爆后不清渣, 为尽可能减少洞前的堆渣量, 岩埂的顶部混凝土及内侧岩石预先进行了爆破处理, 岩埂爆破时实际高程为 396.5~814m, 1 号、2 号混凝土围堰及岩埂的拆除方量约 6100 m^3 , 其中混凝土拆除方量约 300 m^3 。爆渣块度要求小于 30cm, 便于利用发电尾水冲渣; 确保尾水检修闸门、支洞口结构及周围建筑物 (大桥、启闭机室等) 的安全, 特别是尾水检修闸门的安全。因为如果闸门一旦发生意外, 水将直接进入正在进行设备安装的厂房, 后果不堪设想。经反复研讨, 认为从防止爆破石渣在高速水流作用下直接冲击检修闸门, 冲击波有可能使闸门抬起的角度来考虑, 围堰内充水方案较为有利, 该方案可以缩短爆渣在洞前的抛掷距离,

减少飞石,减缓飞石对洞脸及渐变段混凝土的损坏。经过方案利弊的综合权衡,选用了围堰内充水爆破方案。从摄影、摄像资料来看,1号、2号岩埂的起爆顺序完全符合设计意图,可见爆堆形状及爆渣块度与设计预期相符,在1号、2号检修闸门前实测水击波压力最大值、最小值分别为0.285MPa和0.250MPa,爆破后对闸门等建筑物进行了宏观调查,闸门未发现渗漏水等异常现象,爆破取得了成功。

在国外,对于土石围堰一般也采用机械法拆除,对于岩坎和混凝土围堰则采用爆破法予以拆除。越南华宾水利枢纽围堰拆除,采用线性药包抛掷爆破的方法进行拆除,前苏联列宁格勒防洪堤围堰拆除以及库列依斯克水电站导流渠下游围堰拆除,则采用硐室集中药包抛掷爆破方案进行拆除^[4]。

1.3.2 钻孔形式

根据围堰结构、爆破技术要求等,围堰拆除需采取不同的钻孔形式。常用的钻孔形式有:垂直孔、倾斜孔、水平孔及其相互组合。对于结构比较单一的围堰,钻孔形式也可能比较单一,对于结构比较复杂的围堰,钻孔形式则相应比较复杂。

1. 垂直孔方案

垂直孔方案是指以垂直孔为主的爆破方案,并不排除布置有少量倾斜孔、水平孔,垂直炮孔一般在围堰顶面、背水斜坡上面钻凿。如1986年1月17日拆除的葛洲坝水利枢纽大江混凝土心墙—土石围堰,即分别在二道混凝土防渗墙(混凝土防渗心墙中至中的间距3.5m,每道墙厚0.8~1.0m)中各布置一排垂直孔,炮孔孔距为0.8m,钻孔直径为80~100mm,水下最大拆除深度达23m。

2. 倾斜孔方案

倾斜孔方案是指以倾斜孔为主的爆破方案,并不排除布置有少量垂直孔、水平孔,倾斜炮孔一般在背水斜坡上面钻凿,也有在围堰顶面布置倾斜孔的情况。如乌江构皮滩水电站导流洞进口围堰拆除爆破,该电站导流洞围堰分左、右岸两个,约440m高程以上为C10毛石混凝土,以下为石灰岩,堰后基岩部分为1:2的斜坡,由于围堰顶宽只有2m,而围堰最大底宽达20m,只能从堰后钻凿倾斜孔(在堰顶布置少量的垂直孔),各排倾斜孔的倾斜度不同,倾斜角从 10° ~ 70° 不等,最大孔深达30m。

3. 水平孔方案

水平孔方案是指以水平孔为主的爆破方案,并不排除布置有少量其他形式的钻孔。从现有文献资料来看,单纯采用水平孔方案的实例不多,而以 10° 左右的缓倾角水平孔布置方案较多。倾斜炮孔一般在背水斜坡上面钻凿,也有在围堰顶面布置倾斜孔的情况。如“2458工程”船坞岩坎拆除爆破,坞口岩坎采用缓倾角(10°)深孔微差爆破方案予以一次爆除。钻孔孔排距 $3.0\text{m}\times 2.3\text{m}$,矩形布孔,钻孔直径为95mm。岩坎上共布置5排缓倾角超深孔,围堰上布置一排垂直孔,总钻孔数395个。

1.3.3 爆破参数

1. 钻孔爆破法爆破参数

钻孔爆破法围堰拆除爆破参数主要有:钻孔倾角与炮孔直径、超深与孔深、炸药单

耗、炮孔布置及孔排距、堵塞长度、单孔装药量及总药量等。

2. 硐室爆破法围堰拆除爆破参数

采用硐室爆破法进行围堰拆除的实例较少，主要爆破参数有：爆破作用指数、最小抵抗线、药包间排距、装药量等。

不同爆破方案的围堰拆除，其爆破参数也各不相同。

1.3.4 起爆网路

在围堰拆除爆破中，单段药量的控制需由起爆网路来实现，非电起爆网路、电起爆网路、电与非电联合起爆网路等均有应用实例。

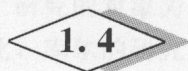
如葛洲坝大江围堰拆除采用由塑料导爆管毫秒雷管组成的双复式交叉并串联的起爆网路。

岩滩水电站下游碾压混凝土围堰拆除采用的是由塑料导爆管雷管与导爆索混合排间毫秒（50ms）复式接力起爆网路。

“2458 工程”岩坎爆破采用塑料导爆管接力起爆网路，分段间隔时间选取 25~50ms，所有炮孔内均采用 MS10 塑料导爆管雷管作为起爆雷管。

青岛灵山船厂船坞岩坎拆除爆破，孔内采用高强度塑料导爆管雷管，孔内起爆雷管选择 MS14，孔外传爆雷管选择 MS3、MS2 雷管连接，形成了左右两侧对称，左右两侧相邻段均间隔 50ms，而整个起爆网路的相邻段间隔 25ms 的微差接力起爆网路。

大峡水电站一期左岸明渠施工进口预留岩坎拆除爆破，采用以毫秒微差电力起爆为主，非电起爆为辅的联合起爆网路。



1.4 围堰拆除爆破技术的发展趋势

在围堰拆除爆破时，为严格控制爆破振动、水击波、爆破飞石等有害效应，一些安全技术措施（如毫秒微差起爆技术、气泡帷幕防护技术等）已成为围堰拆除爆破的常规技术。

随着围堰拆除爆破的一些新的技术要求，如导流洞围堰爆破后即需过流，且石渣不能对导流洞壁面造成太大的损伤，因此，爆破前需对爆破效果进行预测，包括有利于过流的爆堆形式、爆渣的块度分布等。同时通过水力学模型试验^[5]，对爆破的石渣块度提出新的要求，并进行反馈分析，优化爆破设计参数。

如小湾导流洞进出口围堰爆破，设计前就进行了模型试验和设计科研，通过爆破方案的优化，2 条进口围堰和 2 条出口围堰同时爆破，爆破后 15min 即达到导流洞过流的目的。

如东风水电站导流洞围堰拆除，爆破时正足枯水季节，流量不足 100m³/s，导流洞内流速很小，爆破的块度要求比原堆渣小，否则爆除的石渣难以冲走并叠加于原堆渣上，这又将影响爆破的后续工期。为使拆除围堰在爆破过程中形成 U 形槽的缺口，保证枯水期小流量时能具备过流条件，采用分段间隔时间为 50ms 的顺序爆破设计。并根据抵抗线、