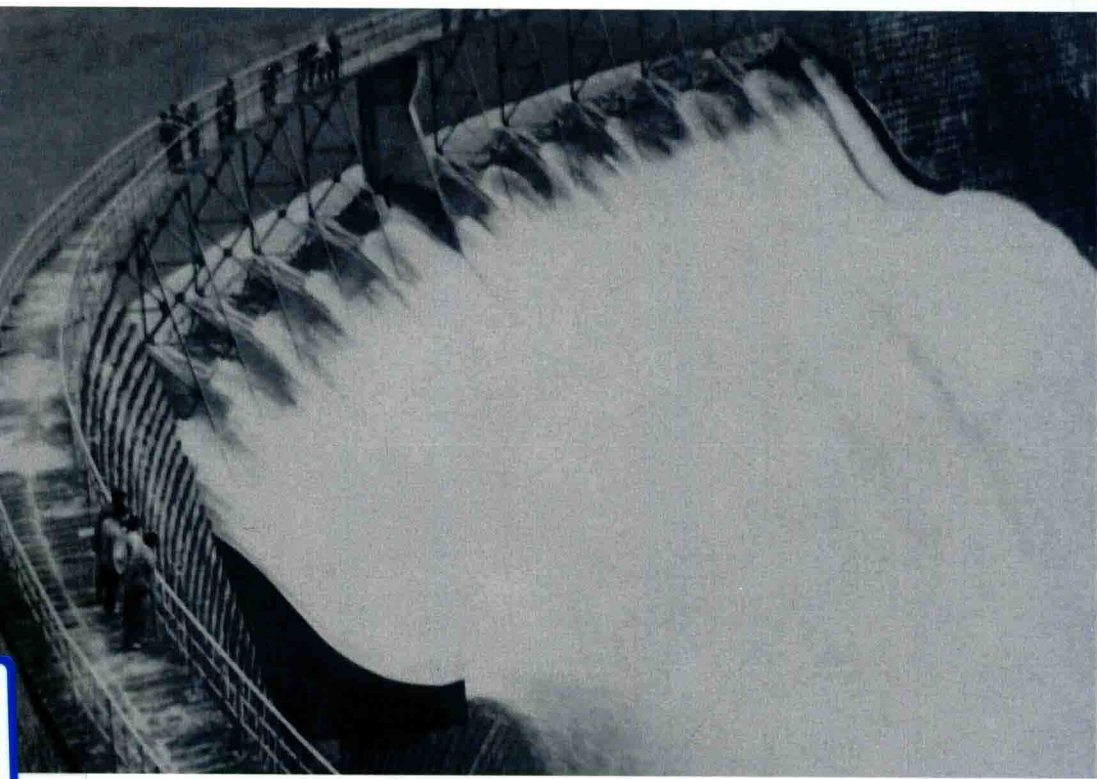


砌石拱坝裂缝研究

QISHI GONGBA LIEFENG YANJIU YU QIZHU GONGYI GAIJIN

与砌筑工艺改进

曾兼权◎著



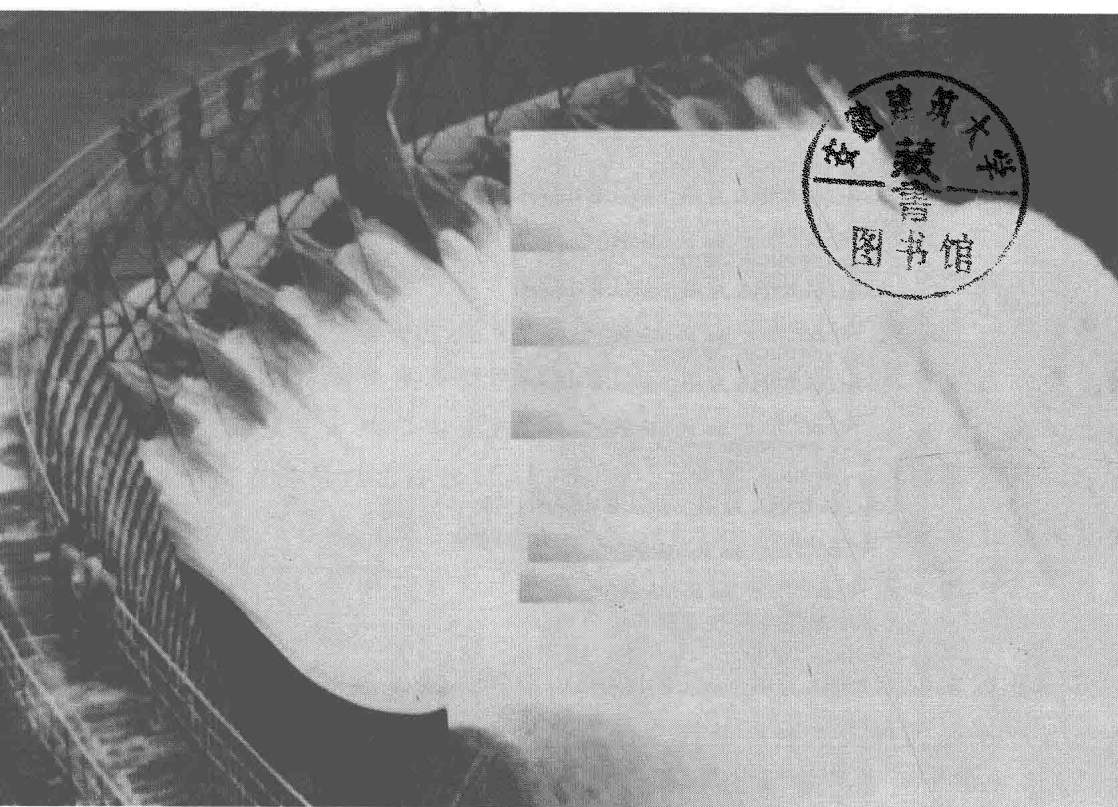
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

砌石拱坝裂缝研究

QISHI GONGBA LIEFENG YANJIU YU QIZHU GONGYI GAIJIN

与砌筑工艺改进

曾兼权◎著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

笔者以为：裂缝是局部应力超强的结果。裂缝的位置、形态和发展过程，都与坝体内部应力状态有关，故可以把砌石拱坝上的裂缝看成是反映坝内应力状况的一种信息，通过对它们进行分析研究，就可以确定各种裂缝对拱坝安全影响的程度。由此出发研究出一套定性的方法，用以界定不同裂缝对砌石拱坝安全的危害程度。

砌石拱坝在使用寿命和维护费用方面都优于散粒体坝，正确计入这种优越性和抗灾减灾上的效益，并采用机械化施工方法加大砌筑块体的尺寸，将有利于改善经济指标、减少裂缝，大幅度地提高其在坝型比选中的竞争力，为国家修建更多既安全、又经济的水利水电枢纽。

本书可供水利水电、地质、建筑工程以及建设管理等有关部门的规划、设计、施工、管理人员阅读参考。

图书在版编目（C I P）数据

砌石拱坝裂缝研究与砌筑工艺改进 / 曾兼权著. --
北京：中国水利水电出版社，2018.6
ISBN 978-7-5170-6549-4

I. ①砌… II. ①曾… III. ①砌石坝—拱坝—裂缝—
研究②砌石坝—拱坝—砌筑—研究 IV. ①TV641.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第138011号

书 名	砌石拱坝裂缝研究与砌筑工艺改进 QISHI GONGBA LIEFENG YANJIU YU QIZHU GONGYI GAIJIN
作 者	曾兼权 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、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12印张 285千字
版 次	2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷
定 价	58.00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

前 言

砌石拱坝具有极强的超载能力，能够抵御超标准洪水和地震，而且维护管理成本很低，特别适合山区、丘陵区的小型水利水电枢纽采用。这种坝型在我国曾经风靡一时，建成数量为世界之最，虽然它的缺点十分明显——裂缝太多（有十拱九裂之说），但根据国际大坝会议统计：拱坝（包括砌石拱坝）的失事概率极低，因此可以推断必然只有极少的带有裂缝的拱坝会失事。

国内外一些重要的高拱坝也曾出现过裂缝，这些高拱坝管理部门可以委托高水平的研究单位进行专题研究，以便找出开裂原因，并采取必要的应对措施。但带有裂缝的小型砌石拱坝数量极多，其管理单位没有足够的技术和经济实力对它们逐一地采取高科技方法进行研究，作出评价，并找到对策。当众多带有裂缝的砌石拱坝需要进行安全鉴定或加固设计时，往往因一时难以判定裂缝是否会影响拱坝的安全及其危害程度，一些业内人士（包括本人）往往选择保守的方案进而导致浪费。

水库安全必须保证，但是也需要尽可能地节约资金，因此需要科学地界定不同裂缝的危害程度，在危害性裂缝与基本无害裂缝之间划出界线，同时尽可能地找出划分各种裂缝危害程度的界限。

近年来，笔者因为年龄关系，渐渐地退出了工程实际，但对砌石拱坝裂缝问题的思考并未中断，为此学习了与此问题相关学科知识并收集了一些资料，逐步认识到：①拱坝特别是砌石拱坝是极容易开裂的，采用计算方法或者是构造方法来杜绝裂缝的设想是难以实现的；②绝大多数裂缝是基本无害的，相当多的拱坝（砌石拱坝）在开裂以后还能够正常挡水，甚至可承受超标荷载，那种认为“裂缝必然影响拱坝承载能力”的认识是没有根据的；③只有极少数裂缝可能发展为拱坝溃决的决口；④迫切需要及时界定砌石拱坝裂缝的性质，并对不同情况采取针对性的措施。

笔者认为：坝体开裂是局部应力超强的结果。裂缝形成以后产生新的应力边界，坝体应力重新分配，只要重新形成的应力场内部没有超过材料强度的应力产生，就不会产生新的裂缝，原来的裂缝也会中止发育。由此可见：裂缝的位置、形态和发展过程都与坝体内部的应力状态紧密相关。故可以把裂缝看成是坝内应

力状态的信息，通过对裂缝的位置、形态、产生条件和发展过程，并结合相关条件进行分析研究，就可以对拱坝内部的实际应力状态有一个大致的了解，并可由此推导出拱坝的实际安全状态。

在我把自己的一孔之见写成书稿之后，与有关业内人士交流，有人曾善意提醒我：当前砌石拱坝面临的危机已经不是裂缝严重招人诟病而是经济指标落后失去竞争力。

笔者以为：这个问题可以从砌筑方法革新和技术经济指标计算方法改进两个方面予以解决。

(1) 砌筑方法革新。现在的水利水电枢纽均采用机械化施工，而砌石拱坝却仍然采用人力砌筑，而且主要的材料仍然是以人力能够抬动的尺寸作为开采料石的标准，经济指标落后是必然的。因此采用机械化方法砌筑是唯一的出路。现在许多地方的施工队伍早已拥有汽车、挖掘机和吊车，并且已经在砌石拱坝施工中实际应用。如果采用较大的石块作为筑坝材料，用施工机械砌筑砌石拱坝，则不仅石料的开采加工、砌筑费用都可以大幅度减少，施工进度可以加快，还可大幅度地减少水泥用量，降低水化热温升并减少拱坝的温度裂缝，砌石拱坝的质量可进一步提高。

(2) 技术经济指标计算方法改进。在技术经济指标“益本比”计算时，不仅应当反映该坝型的建设费用，而且还应当客观地反映出不同坝型的使用年限，运行期维修费用和失事可能带来的损失，并且相信只要客观地反映了上述因素，砌石拱坝的经济指标必然会大有改善。

笔者自知学识浅薄，加之老迈昏庸，书中错误一定不少。除期望业内人士不吝赐教外，更希望有人能够继续研究，使得这样一种有利于抗灾减灾的坝型能够继续为水利水电工程服务。

作者
2018年5月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 砌石坝和砌石拱坝	1
1.1.1 砌石坝的历史悠久	1
1.1.2 砌石拱坝的优越性	2
1.2 我国砌石拱坝	3
1.2.1 砌石拱坝与中小型水库	3
1.2.2 砌石拱坝在我国风行一时	4
1.2.3 砌石拱坝便于维护管理	4
1.3 砌石拱坝发展中的问题	4
1.3.1 砌石拱坝开裂普遍	4
1.3.2 新建数量急剧减少	5
第 2 章 裂缝危害程度评估	6
2.1 砌石拱坝裂缝危害程度评估的定性方法	6
2.2 国内外对拱坝裂缝危害性的认识	7
2.2.1 美国工程师的研究	7
2.2.2 中国专家的见解	7
2.2.3 多数砌石拱坝可以带缝运行	8
2.3 界定砌石拱坝裂缝危害程度的定性方法	9
2.3.1 必要性	9
2.3.2 可能性	9
第 3 章 两座拱坝失事的启示	11
3.1 福建梅花砌石周边缝拱坝的溃决	11
3.1.1 拱坝概况及事故经过	11
3.1.2 事故原因分析	13
3.2 法国马尔巴赛 (Malpasset) 拱坝溃决	15

3.2.1	欧洲的拱坝热潮	15
3.2.2	马尔巴塞拱坝概况及失事经过	16
3.2.3	各方对事故的见解	17
3.3	两个拱坝溃决实例的启示	23
第4章	影响坝体开裂的因素	29
4.1	石块受力后的破坏形式	29
4.2	微裂隙与脆性断裂	29
4.2.1	脆性破坏与塑性破坏	29
4.2.2	微小裂隙的影响	30
4.3	砌缝是裂缝高发区域	32
4.3.1	砌缝区域的微裂隙与局部应力	32
4.3.2	砌缝内的空隙和裂隙	34
4.4	砌体的抗拉强度	34
第5章	裂缝的产生和演变	35
5.1	局部缺陷与外部荷载	35
5.1.1	局部缺陷往往是裂缝的起点	35
5.1.2	外部荷载是裂缝开展的动力	35
5.2	外荷与裂缝类型	35
5.2.1	裂缝产生的条件	36
5.2.2	裂缝方向偏转	37
5.3	裂缝断续延伸	38
5.4	裂面的承载能力	38
第6章	上部坝体竖直裂缝	40
6.1	导致上部坝体竖直裂缝的主要原因	40
6.1.1	温度变化	40
6.1.2	“温度应力”与“温度裂缝”	41
6.2	“温度裂缝”的一些特点	47
6.2.1	裂缝多从坝顶开始	47
6.2.2	上游面缝端止于库水面之上	49
6.2.3	竖直贯穿裂缝多呈半径方向	49
6.2.4	裂缝完全对称的情况不多	51

6.2.5	裂缝的“张开”“闭合”周期与水位气温变动周期相关	51
6.2.6	裂缝的“消失”	52
6.2.7	低部位出现温度裂缝的概率小	52
6.2.8	裂缝多在建成初期出现	53
6.3	与上部竖直裂缝相关的因素	53
6.3.1	砌筑速度过快	53
6.3.2	初次蓄水位	54
第7章	地质缺陷引起的竖直裂缝	57
7.1	上部拱座附近基岩的软弱带	57
7.2	拱座基岩岩层交界点与裂缝位置	58
7.3	岸坡坡率突变点	59
7.4	局部地基缺陷	60
7.5	拱座基岩软弱	61
7.5.1	不同基岩的应力—应变关系曲线	62
7.5.2	岩石反复加载—卸载曲线	63
7.5.3	四川大英县寸塘口砌石拱坝竖直裂缝	63
7.6	复杂的地质因素导致砌石拱坝巨大裂缝	68
7.6.1	筑坝建库蓄水引起地区性沉陷	68
7.6.2	相邻坝段地基位移规律不同导致开裂	70
7.6.3	四川仪陇思德砌石拱坝大裂缝	71
7.6.4	带缝拱坝承载能力分析评估	75
7.6.5	加固措施	78
7.7	局部地基岩块滑动牵连坝体开裂	78
第8章	水平裂缝	82
8.1	裂面水平的水平裂缝	82
8.2	裂面倾斜向下游的水平裂缝	84
8.3	地质地形突变处的水平裂缝	87
第9章	导致坝体复杂裂缝的地下因素	89
9.1	地下洞室掘进	89
9.2	地下水压力变化	93
第10章	砌石拱坝设计	96
10.1	设计方法的产生和完善	96

10.1.1	圆筒法	96
10.1.2	固端拱（纯拱）法	97
10.1.3	拱冠梁法	97
10.1.4	拱梁分载（试载）法	98
10.2	运用拱梁分载法的注意事项	100
10.2.1	基本假定	100
10.2.2	坝体的匀质弹性问题	100
10.2.3	非匀质地基的应力—应变特性	104
10.3	有限元方法的应用	105
10.4	中小型砌石拱坝设计方法比选	106
10.5	砌石拱坝设计的常见误差	106
10.5.1	原型观测与模型试验研究	107
10.5.2	常见的计算误差部位	107
10.5.3	计算应力控制值	108
10.6	影响拱冠梁法精度的因素	110
10.6.1	地形地质不对称	110
10.6.2	拱端嵌固程度差别	110
10.7	精确方法的误差较小	111
第 11 章	“边砌边封”方法对坝体应力的影响	112
11.1	不设横缝整体上升（边砌边封）方法	112
11.1.1	“泊松比”的影响	112
11.1.2	施工期“温度变化”的影响	113
11.2	温度变化产生的温度应力	113
11.2.1	温度荷载的经验公式	113
11.2.2	现行规范的温度荷载计算方法	113
11.2.3	两种计算方法结果对比	114
11.3	混凝土浇块的温度应力	115
11.3.1	混凝土温度变化三阶段	115
11.3.2	混凝土浇块的温度应力	116
11.4	砌石拱坝的温度控制	116
11.4.1	20 世纪 80 年代以前砌体的水泥用量及散热条件	116
11.4.2	20 世纪 80 年代后的水泥用量及散热条件	117

11.5 砌石拱坝的“温控”	118
11.5.1 混凝土坝的温控经验	118
11.5.2 混凝土坝温控经验的借鉴	119
第12章 其他不当的施工方法	120
12.1 “三边”方法	120
12.1.1 龄期不足的砌体承受荷载	120
12.1.2 荷载划分改变	121
12.1.3 回弹时产生裂缝	121
12.2 用料与施工未严格遵循规范	122
12.2.1 拱坝及裂缝基本情况	122
12.2.2 混凝土加固层施工期间开裂	124
12.2.3 加厚层的位置与施工时段选择	124
12.2.4 类似的实例	125
第13章 裂缝的象征意义	127
13.1 裂缝与结构调整	127
13.2 合理拱轴	127
13.3 裂缝增量的收敛与发散	128
13.4 裂缝的“开”与“合”	128
13.5 裂缝发展缓慢	129
第14章 裂缝对砌石拱坝危害程度的定性分析	130
14.1 “Ⅰ”级——基本无害级	130
14.1.1 表面裂缝	131
14.1.2 温度裂缝	131
14.1.3 处理建议	133
14.2 “Ⅱ”级——有害级	133
14.2.1 上部基岩缺陷引起的上部竖直裂缝	134
14.2.2 坝体不均匀沉陷引起的上部竖直裂缝	135
14.2.3 垂直于岸坡的裂缝	136
14.2.4 冻融产生的裂缝	136
14.2.5 过深的不对称表面裂缝	136
14.2.6 处理建议	136

14.3 “Ⅲ”级——危险级	137
14.3.1 裂面水平的水平裂缝	137
14.3.2 裂缝数量与规模持续发展	139
14.3.3 坝址局部沉陷导致巨大的竖直裂缝	139
14.3.4 处理建议	140
14.4 “Ⅳ”级——高危级	140
14.4.1 与拱坝周边接近于平行的“倒梯形”裂缝（组合）	140
14.4.2 不完全的“倒梯形”裂缝（组合）	142
14.4.3 裂面倾斜向下的水平裂缝	143
14.4.4 处理建议	144
14.5 “Ⅴ”级——超高危级	144
14.5.1 坝体超高危阶段的表现	145
14.5.2 处理建议	147
14.6 裂缝危害程度划分要点	147
14.7 小结	149
第15章 务实对待砌石拱坝面临的问题	150
15.1 杜绝砌石拱坝裂缝的各种努力	150
15.1.1 在优化体型过程中严格控制拉应力	151
15.1.2 采用构造措施	151
15.1.3 拉应力超强不是砌体开裂的唯一原因	152
15.2 容忍无害裂缝是智慧的	152
15.3 大幅减少砌石拱坝裂缝完全是可能的	153
第16章 水利枢纽方案的决策	155
16.1 决策过程的变迁	155
16.2 技术经济比较方法	156
16.2.1 成本与收益计算应充分考虑的因素	156
16.2.2 枢纽方案比选中的常见问题	159
16.2.3 工程实例	160
16.3 引入风险管理的决策模式	160
16.3.1 提高风险辨识的能力	161
16.3.2 采取减少风险造成损失的措施	161

第 17 章 砌石拱坝的工艺革新建议	163
17.1 砌石拱坝的传统工艺简述	163
17.1.1 石料开采及加工	164
17.1.2 石料运输及砌筑	165
17.2 砌石拱坝设计与施工工艺革新建议	165
17.2.1 砌石拱坝用料与工艺	165
17.2.2 双溪渡砌石拱坝的构造与施工	167
17.3 采用大块石方案	168
17.3.1 优越性	169
17.3.2 可行性	170
17.4 有关工序设想	170
17.4.1 石料开采及运输	170
17.4.2 石料安砌	171
17.5 大块石拱坝的设计和施工	171
17.5.1 设计	171
17.5.2 砌筑技术要求	171
17.5.3 建造试验坝	172
17.6 政策	172
17.6.1 问责与奖励	173
17.6.2 有待研究解决的其他问题	173
参考文献	175
后记	179

第 1 章 概 述

1.1 砌石坝和砌石拱坝

1.1.1 砌石坝的历史悠久

为了提高生产生活水平，人类在数千年以前便开始建坝蓄水。石料储量丰富而且坚固耐用，是最早被人类利用的筑坝材料之一，埃及尼罗河很早就出现了用石块砌筑成的挡水坝。我国在公元前 250 年利用石料修建了闻名于世的都江堰，公元前 214 年在灵渠上修建了砌石溢流堰^[2]，公元 833 年在浙江省大溪河上用石料修建了它山堰，高达 27m，长 140m，至今坝体尚在。由此可见只要石料抗风化能力足够强，其耐久性是非常突出的。

拱的秀美外形和出色的承载能力，早已为人类发现。最早是在桥梁、城门洞等处，采用竖直方向的塔来承受上部荷载。后来水利工作者发现在合适的地形地质条件下，把砌石筑成拱坝，不仅可以节约人力物力而且极为安全。于是这种坝型广为流传，经久不衰。法国早就建成高度达 12m 的包姆（Baume）砌石拱坝，伊朗早在 13 世纪就建成一座高度达到 60m 的库瑞特（Kurit）砌石拱坝。意大利 1537 年修建了波捷尔托砌石拱坝，经过两次加高，在 1887 年达到了 39.7m。那时既无以近代工程力学理论为基础的坝工设计方法，也没有工业化生产的水泥，所以建造的砌石拱坝数量和规模都较为有限。但就在这些有限的水利工程遗迹中，我们看到了古人的伟大智慧和创造精神。

中国的学者们从 20 世纪二三十年代开始，就对现代的拱坝理论和计算方法进行了传播和改进，并于 1928 年在福建厦门建成第一座砌石拱坝（上里拱坝，高 27.3m），至今运行正常。1932 年，为了改善航道，重庆北碚澄江镇在嘉陵江上建成澄江拱坝，高 19m，顶厚 3m，底厚 10.6m，可以溢流。同年，四川泸县龙溪河也建成了一批较低的拱坝和连拱坝，壅水发电。近百年的筑坝历史足以证明：采用砌石拱坝对于节约社会资源和保证水库和人民生命财产安全，都是明智之举。

1.1.2 砌石拱坝的优越性

1. 抗御超标洪水和地震

众所周知，洪水与地震是最为常见的自然灾害。许多的水坝因为洪水漫顶或强烈的地震而溃决。然而在同样狂暴的自然灾害面前，砌石拱坝却总是能够安然度过。上文中介绍的那些砌石坝，建成至今已有数百年乃至千年以上。这些大坝都经历过特大洪水和地震的考验，仍能够保存到今天，可见其抗御意外洪水和地震的能力已经毋庸置疑。20 世纪后修建的砌石拱坝所经历过的洪水和地震是有案可查的，事后人们复算出它们的超载能力之后，惊讶地发现拱坝的超载能力超出了人们的想象。

例如，河北邢台沙河市的峡沟砌石拱坝，高 71m，底部厚 15m，库容 450 万 m^3 。1958 年动工，1962 年 8 月建成验收时，认为这个砌石拱坝存在诸多缺陷，不具备承受设计荷载的能力，以至于不准蓄水。但这个“质量欠佳”的砌石拱坝在后来的两次特大自然灾害中的出色表现，大大超出了人们的预料。1963 年 8 月上中旬，当地的降雨总量达到正常年降雨量的两倍，该地区的中小型水库大多因洪水漫顶而溃决，溃决的水库不仅没有起到抗洪减灾作用，反而加重了灾情，成为“变水利为水害”的工程。但是峡沟砌石拱坝却经受住了洪水漫顶的考验，起到了抗洪减灾的作用，是当时当地少有的没有变“利”为“害”的水库之一。

后来在 1966 年 3 月 8 日 5 时 29 分，在邢台隆尧县东发生 6.8 级强震，震源深度为 10km，随后 22 日又在邢台的宁晋县东南发生 7.2 级地震，在 3 月 8 日以后的 21d 里，该地区共发生 6 级以上的地震 5 次，而位于强震区的这个曾经被认为是险坝的砌石拱坝却仍然屹立，在特大洪水和强震灾害面前一枝独秀，不仅减少了灾害损失，而且节约了恢复蓄水而重建的投资。

在全国各地都有一些砌石拱坝如峡沟拱坝这样成功地抗御了超标准洪水和地震，成为洪灾和震灾中的中流砥柱。如在四川的“81·7”洪水中，在建和已建成的中小型坝溃决了 59 座，其中没有一座是砌石坝（拱坝、重力坝），这样的优秀表现极大地增强了专业人士对砌石拱坝的信心，为 20 世纪 70 年代砌石拱坝在中国的大发展开辟了道路。

2. 体积小占库容少

我国山区农耕地较为分散，西部山区鸡爪地形很多，成库条件很差，较难找到理想的等高线呈葫芦形的地形。有些库区等高线呈喇叭形，小水库往往就建在

峡谷沟口上，坝轴线长度基本上就是水库的最大宽度。库容本来就小，如果采用上游边坡平缓的土坝，就会占去相当的库容（个别塘坝坝体占有效库容达到 1/4），而采用砌石坝，就基本上不占用水库容积，增加了极为可贵的水库容积。因此，在一些地形条件适合的地方，砌石拱坝（重力坝）是一种理想的选择。

3. 使用年限长又适合于粗放管理

用坚硬石块筑成的砌石坝，其寿命一般仅与石料的风化程度和胶结材料被溶蚀的程度有关，而保护石料和胶结材料的工程措施较为简易，无需每隔一段时间就委托专业机构对蚁害、兽穴进行检查处理，而且也无需顾忌细小颗粒流失而导致坝体老化，对大坝采取工程措施，所以维护保养所需的人力物力都较少。加之其坝坡也不适合种植，不会为了坝坡附近的土地与农户出现矛盾，也不会因处理坝坡杂草而耗费人力物力。可见砌石拱坝除裂缝之外少有其他“病害”，维护管理成本极低，大多数没有危害性裂缝的砌石拱坝可以放心大胆地运用。

1.2 我国砌石拱坝

1.2.1 砌石拱坝与中小型水库

根据权威统计^[3]，截至 2000 年年底，我国已经建成各类砌石坝 2683 座，其中砌石拱坝 1538 座。砌石拱坝主要用于中小型水利水电工程，详见表 1-1。

表 1-1 砌石拱坝按高度分类统计表

高度/m	数量/座	占百分比/%
≥100	2	0.13
70~100	18	1.17
50~70	92	5.98
30~50	392	25.49
15~30	1034	67.23

由表 1-1 可知，50m 以下高度的占 92.72%。

表 1-2 砌石拱坝按库容分类统计表

库容	数量/座	占百分比/%
大（2）型	3	0.19
中型	113	7.35

续表

库容	数量/座	占百分比/%
小（1）型	536	34.85
小（2）型	886	57.61

由表 1-2 可知，用于小（1）型、小（2）型的占 92.46%。

由此可见：这种坝型主要应用于小型水库和中低坝。

1.2.2 砌石拱坝在我国风行一时

20 世纪中国两次（1958 年以后和 20 世纪 70—80 年代）开展了兴修水利的群众运动，建成了大量的中小型水库。其中以砌石拱坝为挡水建筑物的水库占了相当比重，是世界各国中最多的^[33]。这是因为：①中国的山区及丘陵地区面积约占全国面积的 2/3。山区的石料极为丰富，具备了修建砌石拱坝的地质地形条件和材料来源；②当地人民有丰富的砌石工艺经验，民间工匠众多，施工所需的技工比较容易解决；③中国的工程技术人员和学者对拱坝知识热心传播，创造性地提出了简化拱坝设计的计算方法，并且在宣传拱坝的优越性方面做了很多工作；④当时我国农村实行人民公社制度，地方政府调用土地和劳动力可以不付报酬或只付很少的劳动报酬，人力成本很低。因此，这种坝型在相当长一段时间内成为时尚，一大批砌石拱坝应运而生。

1.2.3 砌石拱坝便于维护管理

中小型水库接近于它的服务对象，建设这种水库移民较少，对环境生态的影响也很小，因此符合“尊重自然，顺应自然，保护自然”的要求。水库是重要的服务社会的公共工程，建造它需要耗费较多的社会资源，大坝作为水库的重要组成部分，是水利枢纽的主要建筑物，一旦失事危害很大，所以需要精心维护确保其安全。但是，数量众多的中小型水库位于偏远的山区，管理力量相对薄弱，设计水库时必须考虑到既安全、又经济而且还要便于管理等多项要求，而砌石拱坝正好是能够满足以上各要求的恰当选项。

1.3 砌石拱坝发展中的问题

1.3.1 砌石拱坝开裂普遍

在 20 世纪两次“水利化”高潮中建成了许多的砌石拱坝，由于勘探、设计、

施工、管理工作均较为粗放，绝大多数砌石拱坝都带有一些裂缝，以至于招人诟病，被讥为“十拱九裂”。虽然国内外的一些专家^[2,4]早已指出：“多数裂缝是基本无害的”，但因个别拱坝失事的实例，使得业内人士对砌石拱坝的裂缝不敢大意。在 21 世纪之初，国家为了水利工程的安全而对病害水库进行了普遍整治。在此期间，普遍把带有裂缝的砌石拱坝评为“病坝”“险坝”而大修大补，因而耗费了大量人力物力。

笔者以为：在那个特殊年代修建的水利工程，或多或少都带有一些瑕疵，对存在的问题适当地进行处理也无可厚非。但是，为了争取国家资金而夸大拱坝裂缝的危害，或者因为对砌石拱坝裂缝的认识有所偏差导致浪费是不可取的。

1.3.2 新建数量急剧减少

近年来，砌石拱坝新建数量急剧减少，主要原因如下：

(1) 前期费用高。由于这种坝型对勘探要求高，地勘费用大且耗时长，按照现行体制，勘探费由业主垫支，而中小型水利水电工程的业主一般为基层单位，不希望垫支太多，因此往往心仪垫支较少的坝型，以至于砌石拱坝在一开始就处于不利地位。

(2) 人力成本高。改革开放以来，劳动力单价一路上涨，其他坝型的机械化程度逐步提高而砌石拱坝仍然依靠人力砌筑，所以人力成本越来越高，以至于在经济指标上处于不利位置。

(3) 技术经济指标计算方法对砌石拱坝不利。在坝型比选中，现行的经济指标计算方法对砌石拱坝等刚性材料坝，在寿命和维修方面的优势带来的经济效益没有充分体现。

针对这些不利因素，笔者认为砌石拱坝的出路在于：①勇敢地革新砌石拱坝的砌筑方法，充分利用机械设备，采用较大的石块（砌块）作为砌石拱坝的基本材料，使得石块的开采加工成本和砌筑成本降下来，同时少用水泥以减少砌石拱坝的温度裂缝，同时提高施工速度，使得砌石拱坝在成本、质量和建设速度等方面都得到显著提高；②适时地改进技术经济评价方法，在计算中计入坝型实际的寿命、维修成本和失事风险因素。那些使用寿命长、维修费用少而抗风险能力强的坝型就会有发挥其特长，为水利水电建设服务。