

QI SHI GONG BA JIAN SHE

砌石拱坝建设

四川人民出版社

砌石拱坝建设

四川人民出版社

一九八〇年·成都

研
合
者
映

砌石拱坝建设

四川人民出版社出版 重庆印制第一厂印刷
四川省新华书店重庆发行所发行

开本787×1092毫米 1/16 印 张27 字 数645千
1980年9月第1版 1980年9月第1次印刷
印数：1—1,760 册

书号：15118·32

定价：2.93 元

内 容 提 要

砌石拱坝是一种先进坝型。近年在建设中的经验逐渐增多。本书以大量工程实例，综合阐述了砌石拱坝的设计和施工要点，并提供大量参考数据；在应力分析方面，专述作者近年研究的新算法，对稳定分析也作了系统介绍。内容较丰富，取材较新颖，基本反映了我国砌石拱坝建设的近代水平。

本书是专业技术读物，读者对象主要是专县水利技术人员，并可供大专院校师生参考。

本书由四川省水利电力局原规划七队冯广宏、郎重鸣编写，制图曾忠荣。

前 言

砌石拱坝是水利工程中比较优良的坝型之一。近年来得到全国各地的广泛采用。它具有就地取材，便于群众施工，比较安全经济的特点。随着坝工建设的发展，砌石拱坝在设计方法、计算技巧、建坝技术、管理措施等方面，不断积累了较多的先进经验。在向“四化”进军的新长征中，认真总结这些经验，继续攀登新的高峰，对促进水利工程建设，就显得非常必要了。

为此，四川省水利电力局勘测设计院原规划七队冯广宏、郎重鸣同志，根据多年工作的体会，继编写《拱坝简捷计算》一书之后，在总结和学习各地经验的基础上，通过分析研究，又编写成《砌石拱坝建设》一书。全书共分十章，以中小型工程为主，对查勘、设计、计算、施工、观测、维修等方面的技术，作了较全面的介绍。本书特点是以大量工程实例，综合阐述砌石拱坝的设计和施工要点，并提供了很多参考数据，而应力分析则专述笔者近年来研究的一些新的计算方法，对稳定分析也有较系统的探讨。编写中尽量作到条理清楚，叙述简明。书中列有大量实例供借鉴，大量附表供查用，大量数据供选择，大量图件供参照，基本上反映了我国砌石拱坝建设的近代水平。

本书是一本专业技术读物，读者对象主要是专县水利技术人员，也可供大、中专院校师生参考。

本书初稿曾蒙原成都工学院水利系、重庆建筑工程学院水港系审阅且提出宝贵意见。又曾邀请成都科技大学、水电部成都勘测设计院、内江地区水电学校、乐山、万县、涪陵、江津地区水电局和自贡、垫江、中江、内江、乐至、安岳、资中、威远等县市水电局，对书稿进行全面审查修改。改写过程中，曾向全国127个县市水电部门发函核对材料，承湖南、福建、浙江、贵州、广东、河北、河南、山西、新疆、广西、山东、江西、安徽、四川等省有关单位复核和补充了原始数据，有些还提供了图纸、照片和资料，给予我们很大的支持和帮助。在此，谨致以衷心的感谢。

砌石拱坝建设技术中，还存在不少未知的领域，无论在理论上或实践上都有待进一步的探讨和研究。希望广大水利工程技术人员通过实践，不断地充实和提高。限于笔者水平，编写内容中无论从广度或深度上，缺点错误都在所难免，引用省内外工程资料也可能还有不符实际之处。深盼广大读者批评指正。

四川省水利电力局

一九七九年五月

目 录

符号说明	(1)
常用术语说明	(3)
第一章 概 述	(4)
第一节 我国砌石拱坝建设的发展	(4)
第二节 砌石拱坝的特点	(8)
第三节 拱坝建设条件	(10)
第四节 拱坝类型	(12)
第二章 设计前期工作	(14)
第一节 砌石拱坝建设步骤	(14)
第二节 勘测试验工作要求	(15)
第三节 设计标准与基本数据	(23)
第四节 荷载组合与计算	(31)
第三章 砌石拱坝设计	(47)
第一节 坝址选择与查勘	(47)
第二节 拱坝形状参数初选	(53)
第三节 拱坝平面布置	(92)
第四节 拱圈形状参数计算	(106)
第五节 坝顶布置和坝体设缝	(109)
第六节 坝体孔洞布置	(111)
第七节 防渗处理设计	(113)
第八节 基础处理设计	(118)
第四章 坝体溢流设计	(127)
第一节 坝顶溢流形式	(127)
第二节 坝顶溢流设计	(128)
第三节 坝顶溢流水力计算	(137)
第四节 坝体溢流孔口布置	(140)
第五章 拱坝应力分析	(145)
第一节 允许应力	(145)
第二节 拱冠梁法分析应力的原理	(150)
第三节 地基变位计算	(154)
第四节 拱梁变位计算	(161)
第五节 拱梁分载的导数解法 (径向变位一致)	(170)
第六节 拱梁分载的连续梁解法 (径向变位一致)	(178)
第七节 拱梁分载的双联解法 (径向及扭转变位一致)	(190)
第八节 拱梁分载的转角平衡法 (径向及扭转变位一致)	(195)
第九节 拱梁分载的转换参数法 (径向及扭转变位一致)	(211)
第十节 拱梁分载的差分解法 (径向及扭转变位一致)	(220)
第十一节 分载计算中电子计算机的应用	(229)

第十二节 拱梁应力计算.....	(234)
第六章 拱坝稳定分析.....	(242)
第一节 稳定分析的基本原理.....	(242)
第二节 地质资料不足时的稳定估算.....	(247)
第三节 坝肩基岩局部稳定计算.....	(252)
第四节 坝肩基岩整体稳定计算.....	(259)
第五节 坝体与基岩整体稳定分析.....	(265)
第六节 边墩稳定计算.....	(270)
第七章 砌石拱坝施工.....	(273)
第一节 施工组织设计.....	(273)
第二节 施工导流.....	(281)
第三节 施工放样.....	(283)
第四节 坝基开挖.....	(288)
第五节 坝基灌浆.....	(290)
第六节 石料与胶结材料.....	(293)
第七节 坝体安砌.....	(298)
第八节 机械化施工经验.....	(306)
第八章 砌石拱坝的管理和观测.....	(309)
第一节 砌石拱坝的管理.....	(309)
第二节 拱坝外部观测.....	(310)
第三节 拱坝内部观测.....	(316)
第四节 观测资料的分析.....	(319)
第九章 砌石拱坝的病害防治.....	(322)
第一节 砌石拱坝裂缝的预防.....	(322)
第二节 砌石拱坝裂缝的处理.....	(332)
第三节 砌石拱坝渗漏防治.....	(335)
第四节 砌石拱坝的改建.....	(336)
第十章 砌石拱坝研究.....	(339)
第一节 世界拱坝建设的回顾与展望.....	(339)
第二节 拱坝应力计算方法的发展.....	(341)
第三节 拱坝新形式.....	(344)
第四节 砌石拱坝建设的研究任务.....	(348)
参考文献索引.....	(351)
附录一 固端等厚圆拱内力系数表.....	(354)
附录二 固端等厚圆拱应力系数表 (均布径向荷载)	(360)
附录三 固端等厚圆拱应力系数增值表.....	(364)
附录四 固端等厚圆拱应力系数表 (温度荷载)	(371)
附录五 固端正矢型变厚圆拱应力系数表 (均布径向荷载)	(375)
附录六 拱冠径向位移因子表.....	(399)
附录七 拱冠梁变位因子详表.....	(404)
附录八 拱冠扭转角因子表.....	(424)
笔者后记.....	(425)

符 号 说 明

一、与形状有关的符号

T ——沿拱轴半径方向的拱圈厚度
 T_o ——拱冠处厚度
 T_a ——拱端处厚度
 T_c ——坝顶拱圈厚度；平均拱厚
 T_b ——坝底拱圈厚度
 r ——拱圈轴线半径
 R ——拱圈外弧（上游弧）半径
 r_d ——拱圈内弧（下游弧）半径
 r_e ——三心圆拱边段轴线半径
 r_a ——坝顶拱圈轴线半径
 r_b ——溢流反弧半径
 ρ ——以圆心为极点的动径
 s ——弧长；坝顶轴线弧长；延伸段高度或长度
 l ——弦长；溢流鼻坎末端至冲刷坑中心点处的水平距离；轴线上两点间距
 L ——坝顶弦长；顶部河谷跨度；
 B ——河谷底宽；孔口宽度
 e ——孔口高度；偏心距
 c ——坝体周界总长；外弧圆心至拱轴圆心之距；坝体延伸系数
 d ——内弧圆心至拱轴圆心之距；冲刷坑深度
 b ——溢流坝段弧长
 f ——拱圈矢高
 H ——坝高；最大坝高
 h ——拱冠梁单元分段高度；溢流水深；孔口中心水头
 A ——截面面积
 J ——截面惯性矩
 I ——平均截面惯性矩
 v ——体积

φ ——拱冠线起算的等厚拱拱弧点中心角
 Φ ——拱冠线起算的大头拱中心角
 φ_a ——半个拱圈的中心角；大头拱变厚段所对中心角；
 Φ_d ——大头拱等厚段所对中心角
 Φ_s ——大头拱的半中心角
 α_s ——以外弧圆心为极的半拱中心角
 β_s ——以内弧圆心为极的半拱中心角
 ψ ——滑动面与铅直面的交角；推力线与岸边等高线的交角；河谷岸坡与铅垂线的交角
 θ ——滑动面与水平面的交角；层面倾角；拱弧点切线偏角；鼻坎挑射角
 α ——走向线的交角
 ξ, η ——滑动面交角
 τ ——坝底厚度与坝高之比
 λ ——坝顶宽度与坝高之比；单元梁高与平均拱厚之比的立方
 N ——变厚拱任意处拱厚与拱冠厚之比
 N_a ——拱端与拱冠厚度之比
 μ ——大头拱拱轴线上任意点动径与等厚段轴线半径之比

二、与力有关的符号

p ——均布径向荷载强度；水平荷载；总荷载
 p^a ——分配至拱系的荷载
 p^c ——分配至梁系的荷载
 p^k ——协调扭转作用的水平荷载
 p_w, P_w ——静水压强和压力
 p_b ——波浪压强
 p_s, P_s ——淤沙压强和压力

p_t ——温度荷载
 p_d, p_e ——地震惯性力和水体激荡力
 压强
 p_r ——动水压强
 p_f ——风压强
 P_u ——浮托力
 P_v ——渗透压力
 U ——扬压力
 P_c, P_c ——静冰与动冰压力
 G, g ——坝体重和梁段重
 W ——坝面水重
 γ_w ——水的容重
 γ_s ——淤沙浮容重
 γ_c ——坝体容重
 γ_r ——基岩容重
 G_c ——边梁自重
 G_r ——岩块重
 M_a, H_a, V_a ——拱圈内力：弯矩、轴
 力、剪力
 M_c, N_c, Q_c ——拱冠梁内力：弯矩、
 轴力、剪力
 M_s ——竖向荷载引起的弯矩
 V_c ——梁底剪力
 M_o, H_o, V_o ——拱圈中拱冠截面内力
 M_a, H_a, V_a ——拱圈中拱端截面内力
 M^k ——截面上的扭矩
 m^k ——绕轴线的扭力矩；扭转荷载
 m_{ij}, q_{ij} ——单位三角形荷载作用于 j
 点时，在 i 点产生的力矩
 和剪力
 M ——支座反力矩；超静定力矩；流
 量系数
 N ——支座反力；滑动面上反力；轴
 向力
 Q ——滑动力；剪力；流量
 S ——滑动面上的抗剪力；引起单位
 转角所需的力矩；上下游水
 头差
 c, f ——抗剪指标；粘结力和摩擦系
 数

ϕ ——摩擦角；流速系数
 E ——坝体弹性模量
 E_b ——基岩弹性模量
 E_a, E_c ——拱系和梁系弹性模量
 G ——剪切模量
 σ ——正应力
 σ^a, σ^c ——拱系和梁系应力
 τ ——剪应力；温度梯度
 (σ) ——允许应力
 h_w ——计算点水深；水头
 H_w ——最大水深；总水头
 h_d ——下游水深
 h_b, L_b ——波高和波长之半
 h_o ——波浪中线超高
 h_s ——淤沙面以下深度
 H_s ——淤沙总深度
 ϕ_s ——淤沙内摩擦角
 t ——年内温度均匀变幅
 g ——重力加速度
 q ——溢流时单宽流量

三、与变位有关的符号

u, v, w ——竖向、切向、径向位移
 θ_b, u_b, w_b ——地基转角、压缩变位、
 径向变位
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ——单位弯矩、轴力、剪力、
 扭矩引起的转角、切向
 位移、径向位移、扭角
 δ^a, θ^a ——单位拱荷引起的拱冠径向
 位移和扭转角
 k, λ ——拱冠径向位移因子和扭角因
 子
 Δ —— k 因子与轴半径 r 之积
 δ_{ij}, θ_{ij} ——梁上 j 点作用单位三角形
 荷载时 i 点引起的径向位
 移和转角
 α, β ——梁位移和转角因子
 ϕ_i —— i 点作用单位力矩引起 i 点的转
 角
 Φ_{ip} ——荷载作用引起的梁上 i 点转角

f 、 ψ ——单位力引起的水平位移和转角

四、有关系数

α ——线膨胀系数；渗压折减系数

μ ——泊桑比；流量系数；力矩分配

系数；曲率影响修正系数

K ——地基变位系数；刚度系数；抗冲系数；温度折减系数

k ——地震系数；安全因子

K_c ——抗滑稳定安全系数

常用术语说明

拱圈——拱坝的水平切片，常取单位高度。

拱厚——半径方向的坝体厚度。

拱轴线——拱厚中点的联线。

拱冠线——拱圈的中央对称线。

拱冠——拱轴线上的中心点。

拱端——拱轴线的端点。泛指拱端的截面。

拱座——嵌入基岩中与拱圈端部连接的部分。

大头——拱端附近膨大的拱圈部分。

坝高——河谷最深点以上坝体的高度。

基础——埋入基岩中的坝体部分。

垫座——填补基岩不足，与坝体连接的部分。

地基——与坝体接触的基岩。

坝基——坝底的地基。

岸坡——河谷两岸的地基。

迎水面——上游坝面。

背水面——下游坝面。

厚高比——坝底拱厚与坝高之比。

宽高比——坝顶河谷宽度与坝高之比。

厚径比——拱厚与拱轴半径之比。

柔度比——厚径比的倒数。

拱冠梁——各层拱圈以拱冠为中心竖

向切出的单宽坝体。

单元梁段——截取一定高度的拱冠梁部分。

结点——拱冠梁与水平拱圈的交叉点。

延伸段——拱圈两端或拱冠梁底向地基延伸的虚拟部分。

形状参数——坝体各部尺寸及其间比例系数的总称。

中心角——拱圈左右拱端之间沿半径方向的夹角。

半中心角——半个拱圈的中心角。

双曲——在水平和铅直两个方向都是弧形。

倒悬——上部坝体竖向没有下层坝体支承、悬在空中的现象。

拱系——水平拱圈的集合。或几层代表性拱圈。

梁系——竖直悬臂梁的集合。

拱荷——外部荷载中分给拱系的部分。

梁荷——外部荷载中分给梁系的部分。

扭荷——外部荷载中协调扭转作用的部分。

分载值——外部荷载给某一系统的分配值。

第一章 概 述

第一节 我国砌石拱坝建设的发展

水利是农业的命脉。兴修水利，的确是保证农业增产的大事。为了战胜旱涝灾害，我国古代劳动人民，在长期的生产斗争中，修建过很多卓有成效的水利工程。利用天然

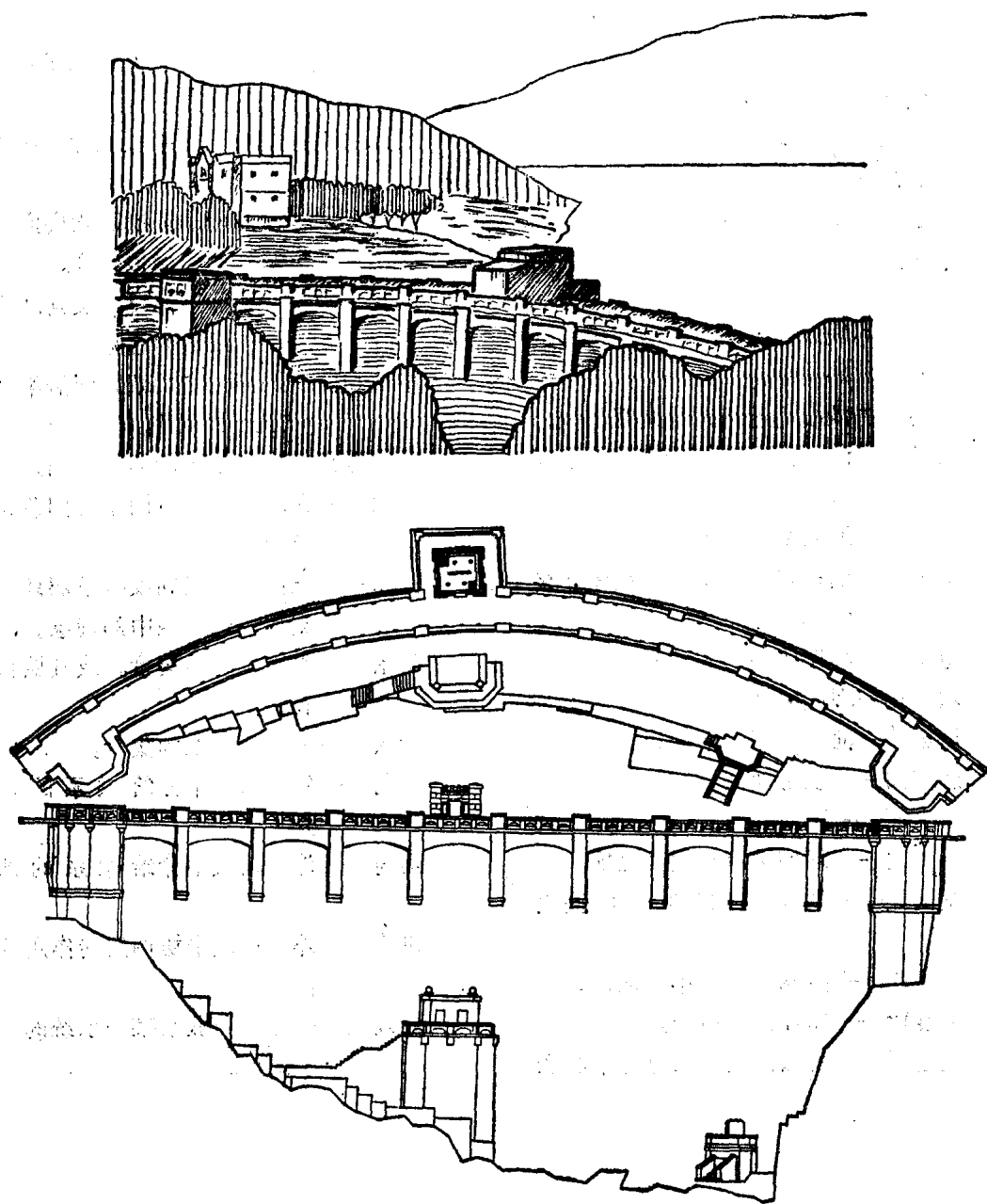


图1-1 上里拱坝

石料筑坝蓄水的历史，可以追溯到公元前二世纪的都江堰和灵渠上的溢流坝。不过，具有标准形状的砌石拱坝，还仅仅是本世纪才出现的。

现有记载中时代最早的砌石拱坝，是福建厦门的上里拱坝，它是一座浆砌块石的定圆心等半径拱坝，高28.3米，坝顶厚3.4米，坝底厚8米，建于1927年。浆砌条石拱坝，时代最早的是在四川省。为了改善航道，1932年曾在重庆北碚嘉陵江支流上修起一座澄江拱坝，坝顶可以溢流，高19米，坝顶厚3米，坝底厚10.6米。同年，泸县龙溪河上也建成了一批较低的拱坝和连拱坝，壅高水头，引水发电。可是，在长夜难明的旧社会，砌石拱坝建设不可能得到发展，全国砌石拱坝的数量，是屈指可数的。

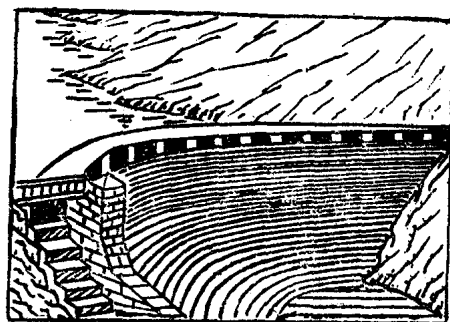


图1—2 澄江拱坝

新中国诞生后，党和人民政府十分重视水利事业，砌石拱坝和其它水利工程一样，发展很快，七十年代尤其突出。据四川、贵州等十四省部分拱坝统计，情况如下^[2]：

坝 高 (米)	>50	30~50	10~30	合 计
七十年代所建占总数的百分比	88%	65%	54%	62%

上表不但表明了近年建坝数量的增长，还表明建坝技术的提高，许多高于50米的工程，都出现在七十年代。据一九七八年初统计（仍然是不完全的）^[2]，全国十七个省兴建坝高15米以上的砌石拱坝计475座，其中241座已建成，占51%；其中高于80米的有6座，50到80米的57座。四川、贵州、湖南、浙江、福建等省，发展速度较快。

通过新近的调查资料，可以看出，我国砌石拱坝建设的发展，具有下面这些特征：

一、群众建坝日益广泛

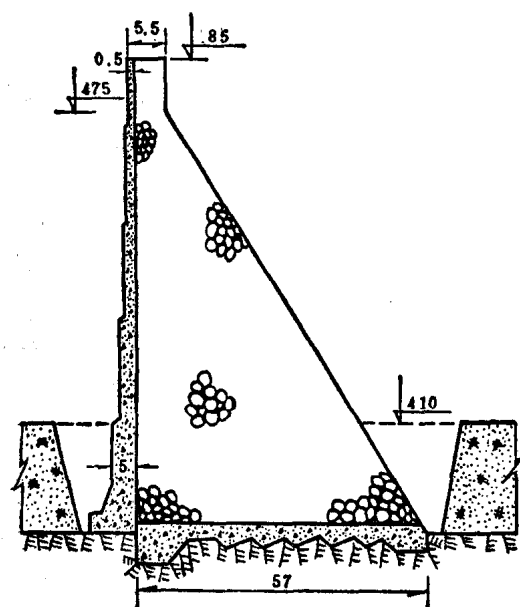
人民公社成立以来，群众建坝连年掀起高潮，砌石拱坝修建技术虽较复杂，近年也逐渐为群众所掌握，并积累了不少宝贵经验。十七省坝高在50米以下的砌石拱坝计412座，占总数的87%^[2]。这些工程，大都是县、社甚至大队自己筹建的。群众建坝，充分利用当地材料，能与治山、改土、造林等基本建设结合起来，资金省，速度快，效果好。随着机械化水平的提高，拱坝施工还会有更大进步。

二、拱坝高度日益增加

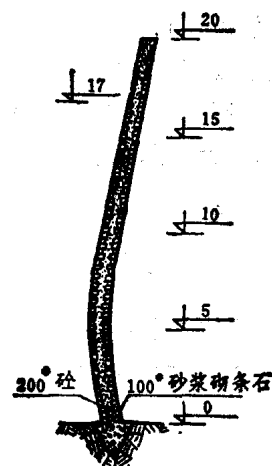
水利建设的群众路线，造就了一支宏大的建坝技术队伍，近年拱坝修建技术提高很快，突破了许多过去的禁区。目前，我国建成的最高砌石拱坝，是河南修武的群英拱坝。这是一座浆砌块石重力拱坝，包括基础在内最大坝高为105.3米，基础以上坝高95米，一九七一年七月建成（见图1—3）。坝高在80米以上的有湖南的索溪、大江口、施家峪，山东的东风，浙江的金坑等。由此可见，现在砌石拱坝建设，有着明显的向高坝发展的趋势。

三、拱坝结构日益轻巧

圪工结构，断面多倾向厚重，但在砌石拱坝修建中，这种概念渐被打破。近年薄拱坝日趋增多，厚高比（底部坝厚与坝高之比）日趋减小。据十七省统计，厚高比在0.3以下的砌石拱坝计314座，占总数的66%。其中厚高比小于0.2的几占半数^[2]。目前最薄的砌石拱坝，是浙江天台的长板溪拱坝，这是一座浆砌条石双曲拱坝，坝高20米，坝顶厚0.8米，坝底厚仅1米，厚高比为0.05，一九七七年四月建成（见图1—3）。



(a) 群英拱坝



(b) 长板溪拱坝

图1—3

四、拱坝体型日益多样

双曲拱坝性能较优，近年砌石拱坝渐由单曲过渡到双曲。十七省63座高于50米的拱坝中，单曲只有29座，还不到半数^[2]。薄而高的双曲拱坝，有山东崂山的东风条石拱坝，高83米，厚高比0.164；浙江武义的方坑块石拱坝（细石混凝土砌），高75米，厚高比0.133。采用坝顶溢流方式的拱坝也越来越普遍，十七省计有333座，占总数的70%；贵州80%的砌石拱坝都作成坝顶溢流，共有126座^[2]。不少溢流拱坝经洪水考验，运行正常。突出的一例是高43米的贵州正安的良好拱坝，设计单宽流量为72立米/秒，校核单宽流量为104立米/秒。分缝砌筑的拱坝，有高62米的河南洛宁的大沟口溢流拱坝，用混凝土面板防渗。底部设缝的拱坝也日渐出现。安徽歙县的寨西铰拱坝，高15.9米，建于一九七二年；类似结构还有建于一九七五年高22.5米的浙江诸暨的东溪，建于一九七七年高21.5米的河南淅池的高崖等。河南辉县的红色娘子拱坝，采用砌石双拱的独特形式，坝高23米，下部作拱桥跨越河床深坑，桥上建重力单拱坝，桥下建双曲拱坝嵌入地基防渗，于一九七四年建成。四川安岳的鱼鳞碑拱坝，高36.9米，因底部地基破碎，采用厚2.5米、跨度8米的砌石拱桥跨越，以支承坝体，于一九七一年建成。此外，还出现了三心圆弧拱等新的拱型。

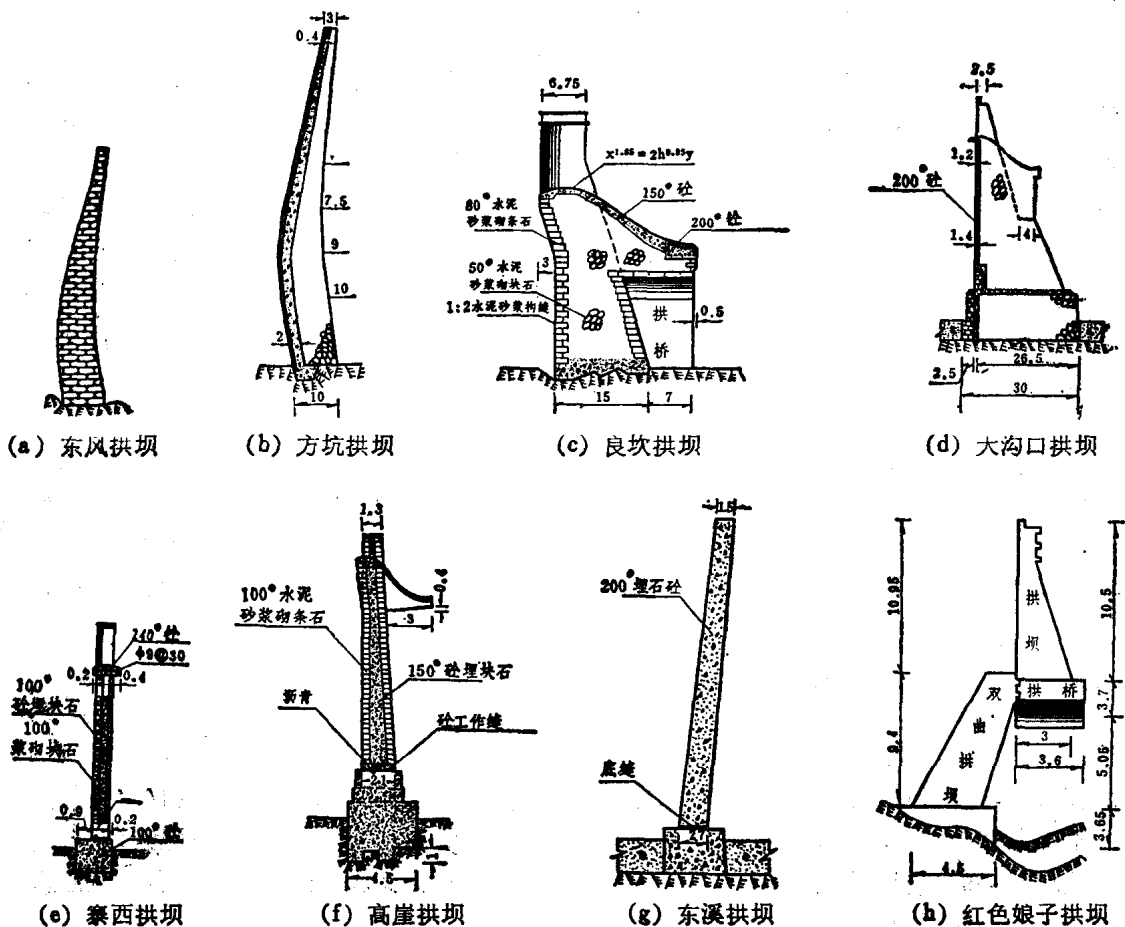


图 1-4

五、建坝条件日益放宽

过去认为：拱坝应修在狭窄河谷中，宽高比（坝顶跨度与坝高之比）在 3.5 以下。在砌石拱坝实践中，这一条件已被突破。宽谷建坝的实例，如山东莱芜的龙尾拱坝，高 21 米，宽高比为 8.75；正建的贵州龙里的石板滩拱坝，高 25.6 米，宽高比为 8.1；贵州大方的对江拱坝，高 9 米，宽高比竟达 9.3。与之相反的极端一例，是湖南慈利的施家峪拱坝，高 80 米，坝顶长仅 6 米，宽高比只有 0.075；湖南凤凰的三江寨拱坝，高 48 米，坝顶长 16 米，宽高比 0.313。在地形方面，拱坝还要求河谷对称。但近年不对称河谷中建成的砌石拱坝，却连续出现。贵州黔西的干河沟拱坝，高 39.5 米，河谷显著不对称，采用左右不同半径的圆弧组成；四川威远的云连薄拱坝，高 10.8 米，左右岸坡角相差约 15°。随着地基处理技术的提高，各地还因地制宜，采取简单易行的措施，在不良地基上建成砌石拱坝。四川的安岳、乐至、内江等县，在页岩或砂泥岩互层中建坝；贵州各地在岩溶、断裂构造发育的地层上建坝，而且还经历坝顶溢流的考验；福建、浙江、河南、河北等省，也有很多拱坝建于复杂地基中。河北沙河的峡沟拱坝，高 78 米，修在不对称河谷中，未作特殊处理，不但经受住一九六三年洪水溢顶的考验，还遭遇一九六六年邢台强烈地震的波及，坝体尚无损伤。

六、筑坝技术日益提高

在建坝进程中,设计施工技术也在不断完善,对于封拱温度的控制、地基处理与防渗处理、施工机械化等方面,都取得了很大进展。砌石拱坝一般是整体逐层砌升,多不设缝,但近年也出现了分缝的拱坝;防渗方式则有面板、心墙、截流、铺盖多种形式;四川还总结了软弱岩基上建坝的经验。在砌筑方式上也有不少改进,如作到各向错缝,留孔便于震捣等。建坝材料可称多样化,除水泥砂浆砌条块石外,还有采用细石混凝土、小石砂浆砌石等。小型拱坝更有用水泥石灰混合砂浆,或掺以烧粘土作胶结材料的,如湖南的马家坪、太和,贵州的兰光拱坝等。虽然砌石拱坝目前多用人工砌筑,施工速度仍在不断加快,一般中型砌石拱坝安砌工期在一年左右,月平均上升速度已达3米。随着机械化的推广,建坝效率更将有显著的进步。

总之,我国砌石拱坝,正朝着双曲、轻型、高坝、结构合理化方向发展;在溢流、防渗、地基处理等方面,措施更趋有效;在施工方面,逐渐采用新材料、新工艺,向机械化迈进。近来结构模型试验更加普遍,原型观测工作逐步展开,应力控制值有所放宽,计算方法不断改进,设计理论正在着手研究。在不远的将来,必将取得新的成绩。

第二节 砌石拱坝的特点

在平面上,拱坝是一种拱形推力结构。它的两端,支承在河谷的岸坡上,当受到水压荷载时,能将外荷传到两岸基岩,让雄厚的山体帮助它维持稳定。拱坝的稳定条件,并不控制坝身体积。坝的厚度,主要决定于拱内应力和材料抗压强度,因而能够充分发挥建坝材料的性能。如果客观条件适宜,坝体可以设计得比较单薄,于是扬压力的影响,就成为次要的因素。

在空间上,拱坝是一种三维壳体,属高度超静定结构,主要承受压力,而且分布比较均匀,不但最适于发挥材料的抗压性能,即使在局部受力过大时,也能自行调整,不致影响整体安全。人们的评价是:拱坝的安全度,就蕴藏在这超静定结构本身之中^[1]。拱坝越是薄,刚度越小,就越富有弹性,因此对寒冻、振动、超载等意外情况有一定的适应性。由于拱坝存在着这些优越条件,与各类坝型相比,在安全和经济两方面,都居于领先地位。

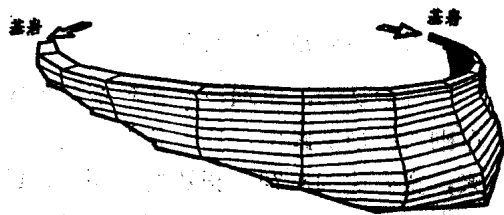


图 1—5

据一九七三年国际大坝会议统计,发生事故的坝型,以拱坝为最少。西班牙一九四四年以前建坝 308 起事故纪录中,拱坝只占 9 起。日本一九六九年普查出的 126 座病害工程中,拱坝只有 6 座。由此可见,拱坝的安全性是足以信赖的。

利用当地材料修建的砌石拱坝,仍然具有这些优点。同时,在经济上还更合理。有人作过统计,厚高比在 0.3 以下的砌石拱坝,工程量为相同规模重力坝的 30~60%,为土坝、土石混合坝的 7~15%,劳力与资金的对比,也与此相当^[2]。据四川省的经验,小型条石拱坝与同样高度的土坝工程量相比,有时差至 2~10 倍^[16]。

只要建坝条件适合，当地土少石多，砌石拱坝往往是优先考虑的坝型。这个观点，已越来越为人们所公认了。

砌石拱坝除了它的安全经济性外，还存在着以下特点：

一、因地制宜，就地取材，便于群众性施工

由于石料来源比较丰富，就地开采，运输方便，加之我国砌石工程历史悠久，因此修建砌石拱坝，适合群众习惯，能充分发扬传统技艺。在沉积岩地区，可建条石拱坝；火成岩地区，可建块石或埋石混凝土拱坝，前景也很广阔。

二、初期工程量小，便于改善劳动条件

拱坝底厚较其它坝型为薄，大大减少了水下清基和排水的工程量，一个冬春枯水季抢出水面，并不困难，这在中小工程中很有现实意义。尽快结束水下作业，可以改善劳动条件，加快施工进度。高95米的群英砌石拱坝，与砌石重力坝方案相比，清基方量少67%；贵州的新坝、民丰两座砌石拱坝，与土坝清基方量相比，减少5倍以上^[2]。

三、允许坝身过水，便于导流和渡汛

与土坝及堆石坝相比，砌石拱坝防汛抢险的负担较少。前述贵州两处工程，都是公社筹建的，如用土坝方案，抢修到溢洪道高程，需整个公社劳力工作10个月以上，这根本不能办到，而拱坝方案则顺利克服了困难。砌石拱坝施工期间，允许坝面短期过水，汛期不致停工。群英拱坝建至55米高时，中部曾留梯形槽过水；插花墩拱坝修至14米高时，坝面过水深达4米。在枯期河中流量较小的山区，往往可取简便的底孔导流方式，直径一般0.5~0.8米，河南新乡地区常用此法导流渡汛。

四、砌坝劳力不多，便于遍地开花，常年施工

砌石拱坝坝体较薄，工作面可以少开，需要上坝的技工较少，不占过多技术力量，便于常年施工。如安排得当，几处工程还可同时进行。四川河口拱坝，上坝劳力一般不超过100人；肖家河口拱坝采取分块安砌的方法，每班上坝才50~60人。

五、可省去专门溢洪道，便于坝顶溢流

砌石拱坝往往无需考虑设专门溢洪道，直接用坝顶溢流这种简单而经济的泄洪方式，可节约相当大的工程量。贵州156座砌石拱坝，坝顶溢流的即有126座，都收到多快好省之效。

然而，事物总是一分为二的。拱坝虽是一种先进坝型，也并非无懈可击。砌石拱坝对地基条件要求较高，需细致处理后方能兴建；施工质量更需严格控制，稍不注意，就可能产生裂缝、渗漏。超静定结构对外界温度变化、地基变形都较敏感，对坝体应力影响，也比其它坝型更大；同时，砌石拱坝应力分析较为复杂，而且计算结果不易与实际相符；设计一座拱坝，计算量常比其它坝型更大。从建设历史上看，我国砌石拱坝开始修建，迄今不过五十年，在各类坝型中比较年轻，不够成熟，许多规律尚未被人们所掌握。这些，都应引起设计者在选择坝型时注意持慎重态度。

七十年代以来的砌石拱坝建设，从理论到实践，从设计到施工，都取得可喜的进

展,不少技术指标,突破了过去的老框框。结构造型、设计方法、计算技巧、建筑工艺等方面,都出现不少新创。随着向现代化进军的步伐,可以预料,砌石拱坝在自然条件、修建措施等方面的适应性,将会越来越强;不足的一面,也会日益缩小。这一坝型,必然在水利建设战线上,发挥越来越重要的作用。

第三节 拱 坝 建 设 条 件

修建拱坝的自然条件,概括说来,就是要求河谷狭窄对称、基岩坚实完整、当地石料丰富等。

一、地形条件

拱坝是一种空间结构。如果沿水平方向一层层地剖开,它就是许多弧形拱圈的堆积,如果沿铅直方向一根根地切开,它就是许多扇形断面的直立悬臂梁;所以可把拱坝看成是“拱”和“梁”的交织体。拱圈将水压力沿拱弧传至两岸,压应力是主要的;而石砌体的特点,就是善于抗压而不善于抗拉,正好适应要求。但悬臂梁却不然,水压力作用在梁上,迎水坝面承受竖向拉应力,坝脚处拉应力最大,而背水坝面则承受压应力,也在坝脚处达到最大。这和重力坝的工作条件相似。要使拉应力控制在一定范围内,就要求坝体有相当的厚度;但单纯从抗压要求,并不需要那样厚,因此材料强度就没有充分发挥作用。在设计拱坝时,总希望拱的作用大一些,才能节约建坝材料。如果坝址处河谷狭窄,那么水平剖出的拱圈就短而宽,刚度就大;纵向切开的梁就长而细,刚度就小;于是拱的作用显著,梁居次要地位,就能充分利用拱形结构的优越性。湖南施家峪拱坝,高80米,河谷跨度仅6米,坝可以修得较薄,底部厚度才6米。相反,倘若河谷开阔,梁的作用变成主要的,坝体厚度必然大增,有时不够经济。通常认为:宽高比小于3.5,最为适宜。但实际上,这一数值早被突破。贵州大方的对江拱坝,高9米,宽高比为9.3,是极端的一例。宽高比大于5的砌石拱坝,还有下表所列^[1];

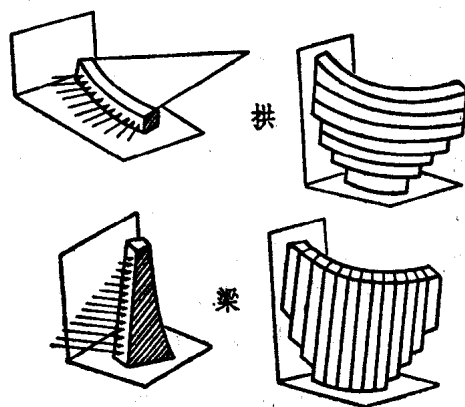


图1—6



图1—7

要与其它坝型作方案比较。

拱坝主要是横向传力结构,自上而下都应左右对称,内力才能均匀传送,否则会产生