



坝工丛书

华东水利学院 四川省水利电力局 广西大学 主编

砌石坝设计

水利电力出版社



◁ 坝 工 丛 书 ▷

砌 石 坝 设 计

华东水利学院 四川省水利电力局 广西大学 主编

水 利 电 力 出 版 社

内 容 提 要

本书是在总结全国砌石坝设计经验的基础上编写而成的。全书内容有：砌石坝概况及发展趋向、砌石重力坝设计、砌石拱坝设计、砌石支墩坝设计、地基处理、筑坝材料、施工技术、原型观测以及拱坝多拱多梁法三向调整电算通用程序的使用说明等九部分。此外还附有等截面圆拱在均布、温度、地震等作用下的应力、内力、变位等系数表，可供直接查用。

本书内容以中小型工程为主，正确阐述设计原则及设计方法，同时注意实用性及通俗性，并在主要的计算方法中附有详细算例。

本书主要供地、县水利水电技术人员设计之用，同时也可供有关水利水电工程技术人员及大专院校水利专业师生参考。本书对混凝土坝设计亦可参考使用。

2158/25

砌 石 坝 设 计

华东水利学院 四川省水利电力局

广西大学 主编

（根据水利出版社纸型重印）

*

水利电力出版社出版

（北京三里河路6号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 30.25印张 690千字

1980年6月第一版

1984年4月新一版 1984年4月北京第一次印刷

印数 0001—7040册 定价 3.10元

书号 15143·5399

前 言

在石料丰富的丘陵山区，砌石坝常是中小型水利水电建设工程中比较广泛采用的一种坝型。它不仅能够就地取材、节省投资、节约“三材”，具有明显的经济性。而且它与土坝相比，在枢纽布置上具有较大的灵活性；在施工及超载运行期间具有较大的安全性。同时在导流和溢洪方面，它的优越性又和混凝土坝类同。因此砌石坝已成为一种深受欢迎的、日益广为建造的好坝型。诚然，目前砌石坝机械化施工水平还不高，使用劳力较多，这些均有待不断改进与提高。

砌石坝的类型众多，全国各地都有独特的创造，在设计、科研、施工等实践中积累了丰富经验。编写本书的出发点就是为了及时地总结、介绍这些经验，并给予相应的提高，以进一步推动砌石坝的建设。

本书特点是取材广泛，内容较全面，叙述简要，实用性较大。全书重点放在设计原则及设计方法上，同时亦对施工的主要经验给予简要的介绍。书中附有较多的计算图表、试验数据和工程特性等资料，并有详细算例，可供设计时参考使用。

一九七九年三月在广西壮族自治区南宁市，对本书初稿进行了全面审查。参加审查的有全国水利系统有关设计、科研、施工及高等院校等22个单位的代表。他们对全书提出了许多宝贵意见，这对我们的修改工作帮助很大，在此谨致衷心的感谢。

由于我们水平有限，编写时间仓促，对于书中存在的缺点和错误，热忱欢迎读者给予批评和指正，以便再版时改进。

编 者

一九七九年十月

参加本书编写工作的有：

第一章 任德林（华东水利学院）；

第二章 陈国桢、沈家荫、林敦富（华东水利学院）；

第三章 罗孝昌、罗有庆、杨敦正、渠美英（四川省水利电力局勘测设计院）；

第四章 孙鉴明（广西大学土木系）；

第五章 黎展眉（贵州省水利局）；

第六章1~2节 谭抑愆（湖南省水利电力勘测设计院）；

3~5节 王复华（贵州省水利局）；

第七章 胡吉权（成都科技大学）；

附录 林秋菊（水利水电科学研究院）；

钱 璘（北京市水利科学研究所）。

参加本书全面校阅、修改及定稿工作的有：任德林、王复华、陈国桢、孙鉴明、罗有庆、杨敦正及赖蓉等同志。

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 砌石坝建设概况	1
第二节 砌石坝分类、特点及适用条件	1
第三节 水利水电枢纽及砌石坝的分等分级	3
第四节 砌石坝发展趋向	5
第五节 设计要求、设计内容及基本资料	8

参考文献

第二章 砌石重力坝	11
第一节 砌石重力坝的工作原理及作用荷载	11
第二节 岩基上砌石重力坝的稳定分析	25
第三节 砌石重力坝的应力计算	38
第四节 非溢流浆砌石重力坝的断面设计	53
第五节 溢流浆砌石实体重力坝	65
第六节 浆砌石重力坝的泄水孔	80
第七节 浆砌石重力坝的细部构造	85
第八节 浆砌石重力坝内小孔洞的应力分析	96
第九节 浆砌石空腹重力坝	106
第十节 干砌石溢流坝及其它型式的砌石坝	110

参考文献

第三章 砌石拱坝	122
第一节 砌石拱坝的结构及其特点	122
第二节 砌石拱坝布置	130
第三节 坝体应力分析	141
第四节 坝肩抗滑稳定分析和重力墩设计	262
第五节 砌石拱坝泄洪	272
第六节 坝体细部构造	289

参考文献

第四章 砌石支墩坝	293
第一节 砌石支墩坝的工作原理及特点	293
第二节 砌石支墩坝的主要型式	294
第三节 砌石连拱坝设计	301
第四节 砌石大头坝设计	336

参考文献

第五章 砌石坝地基处理	347
-------------------	-----

第一节	地基处理的目的和要求	347
第二节	地基设计	349
第三节	地基处理的主要措施	354
第四节	各类不良地基的处理	356
参考文献		
第六章	筑坝材料及施工	375
第一节	筑坝材料	375
第二节	浆砌石体的力学性能	388
第三节	坝体砌筑与质量控制	409
第四节	施工放样	414
第五节	改进施工技术和加快施工速度	422
参考文献		
第七章	原型观测	435
第一节	观测的作用、目的和内容	435
第二节	外部观测	436
第三节	内部观测	448
第四节	现场记录及观测资料整理	459
参考文献		
附 录	拱坝多拱多梁法应力计算通用程序使用说明	467

第一章 概 述

第一节 砌石坝建设概况

在人类筑坝历史上，很早以前就开始用石块修筑堰坝，第四世纪期间，西班牙用石料修建了阿尔曼察坝。在我国用石料筑坝的历史则更为悠久，远在公元前256年至前251年，就在著名的四川省灌县都江堰灌溉分洪工程中采用卵石砌筑分水堰；公元前214年，在湘江通往桂江的运河——广西灵渠上，使用大块石灰岩和大卵石砌筑溢流坝；公元833年，在浙江大溪河上修建了条石溢流坝——它上堰，高约27米，长140米；1927年，在福建省厦门市修建上里浆砌块石拱坝，高26.8米；随后于1932年在四川省嘉陵江支流修建了浆砌条石溢流坝，高约14米；后来又陆续在四川省龙溪河上游修建了几座条石连拱坝。以上这些工程对当地农业及航运等事业均起了积极作用，同时也体现了我国劳动人民的智慧。

新中国成立以来，全国人民在中国共产党领导下，自力更生，艰苦奋斗，进行了大规模的水利建设，经初步统计（台湾省未统计在内），至1978年为止，全国已建成坝高15米以上的砌石坝共550座，正在兴建的有343座（详见表1-1-1）。

表 1-1-1 全国砌石坝统计表（至1978年为止）

座数 建设情况	坝型	砌石重力坝	砌石拱坝	砌石支墩坝	总 计
已 建		250 (45%)	284 (52%)	16 (3%)	550 (100%)
正 建		55 (16%)	281 (82%)	7 (2%)	343 (100%)

注 1)坝高均大于15米；2)括号内均为百分数；3)台湾省砌石坝尚未统计在表内。

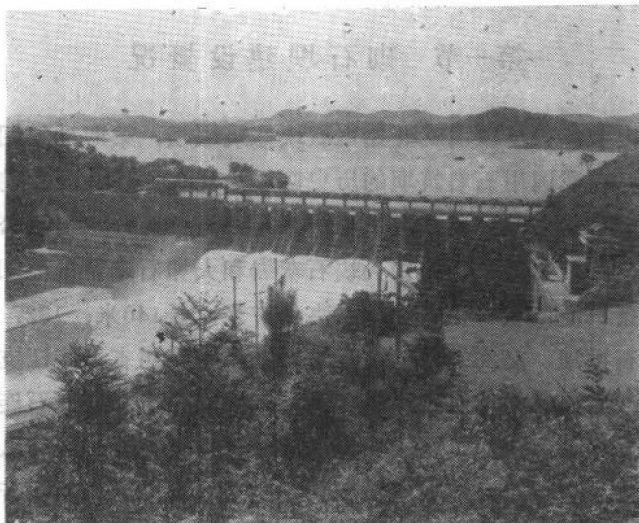
在我国目前已建成的砌石重力坝中，最高的是河南省辉县石门浆砌石重力坝，坝高90.2米。砌石拱坝中最高的是河南省焦作市群英浆砌石重力拱坝，坝高101.3米；拱坝中，厚高比 $\left(\frac{B}{H}\right)$ 最小的是浙江省天台县张板溪浆砌石拱坝，坝高 $H=20$ 米，底厚 $B=1$ 米， $\frac{B}{H}=0.05$ 。砌石支墩坝中最高的是河北省邢台县野沟门浆砌石连拱坝，坝高45米。

第二节 砌石坝分类、特点及适用条件

一、分 类

砌石坝常按坝型、泄水方式和坝高进行分类。

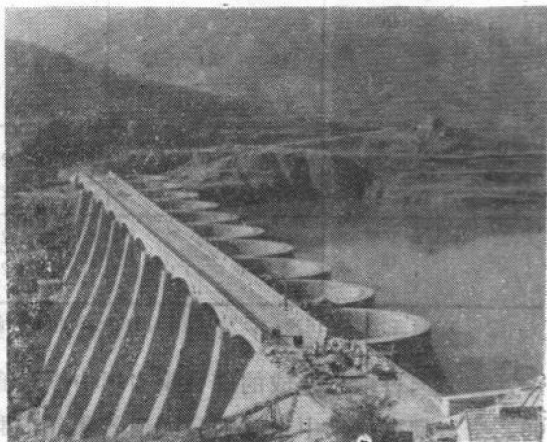
(1) 按坝体型式可分为砌石重力坝(照片1-2-1)、砌石拱坝(照片1-2-2)及砌石支墩坝(照片1-2-3)。砌石重力坝又可分为实体重力坝(包括浆砌石和干砌石两种实体重力坝)、空腹重力坝及宽缝填渣重力坝。砌石拱坝又可分为单曲拱坝及双曲拱坝,也可分为薄拱坝、拱坝及重力拱坝。砌石支墩坝又可分为连拱坝、大头坝及梯形坝。



照片 1-2-1 湖南省水府庙砌石重力坝



照片 1-2-2 四川省长沙砌石拱坝



照片 1-2-3 山东省滴水崖砌石连拱坝

(2) 按泄水方式可分为非溢流砌石坝及溢流砌石坝。

(3) 按坝体高度可分为高砌石坝(坝高 $H > 70$ 米)、中砌石坝($H = 30 \sim 70$ 米)及低砌石坝($H < 30$ 米)。

另外,在国际上习惯上还有大坝与小坝之区分,砌石坝也是一样,坝高大于15米的砌石坝属于大坝范围,坝高等于或小于15米的砌石坝属于小坝范围。

二、特 点

砌石坝主要有以下四个特点:

(1) 能就地取材, 从而节省三材(水泥、钢材及木材)、降低工程造价, 在土料特别缺乏的山区及丘陵地带更为有利。

(2) 坝顶可以泄流, 一般情况下可节省河岸溢洪道的费用, 在洪水量较大的河道上, 或没有布置河岸溢洪道的适当地形时, 其优越性更为突出。

(3) 在施工期间, 必要时可以允许坝体过水, 使渡汛和导流问题容易解决。一般在汛期和雨季仍可继续施工, 这对工期要求紧迫的工程非常重要。

(4) 施工技术易为群众掌握, 施工安排也较灵活, 有利于协调劳动力。但另一方面, 施工机械化较困难, 施工速度较慢, 使用劳动力较多, 坝愈高, 则困难愈大。

从以上特点可以看出, 砌石坝的优越性是明显的, 尤其表现在经济性和安全性两个方面。在特大洪水时非溢流砌石坝坝顶可以在一定程度上漫溢洪水, 不象土坝那样, 洪水漫过坝顶后很快就会溃坝成灾, 因此在大流量的窄谷中建造砌石坝更为适宜。

三、适 用 条 件

砌石坝适用范围较广, 从地形地质来说, 一般在中小型工程中, 凡是能建混凝土坝的地方都能建造同样类型(如重力坝、拱坝或支墩坝)的砌石坝; 从建筑材料来说, 凡是石料丰富的地区都有建造砌石坝的条件。具体地讲, 重力坝适用于河谷较宽、地质一般的河道上; 由于重力坝坝顶可以宣泄较大的单宽流量洪水, 因此还适宜建造在大流量的河道上。拱坝宜建在河谷较窄、坝基及两岸岩石坚硬完整或比较坚硬完整的河道上。支墩坝要求的地形条件与重力坝相同, 要求的地质条件则比重力坝高些, 但比拱坝低一些, 坝顶泄流条件不如重力坝好。

第三节 水利水电枢纽及砌石坝的分等分级

设计砌石坝, 与设计其它坝型一样, 需先确定砌石坝所在的枢纽等别和坝的级别。分等分级问题关系到枢纽中各工程的安全, 以及下游人民的生命财产及工农业生产, 也关系到工程造价及施工进度等方面, 因此, 这是设计中体现技术经济政策的一个重要环节, 必须全面分析, 慎重对待。

现把《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准(山区、丘陵区部分) SDJ12-78(试行)》中有关部分介绍如下:

水利水电枢纽工程, 系根据其工程规模、效益、在国民经济中的重要性划为五等, 如表 1-3-1 所示。综合利用的枢纽工程, 如分属几个不同的等别时, 应以其中最高等别为准。

枢纽中水工建筑物的级别, 根据其所属的工程等别, 以及其在工程中的作用和重要性划为五级, 如表 1-3-2 所示。综合利用枢纽工程中的水工建筑物级别需按下述原则确定:

表 1-3-1

水利水电枢纽工程的分等指标

工程等别	工程规模	分 等 指 标				
		水库库容 (亿立方米)	防 洪		灌溉面积 (万亩)	水电站装机容量 (万千瓦)
			保护城镇及工矿区	保护农田面积(万亩)		
一	大(1)型	>10	特别重要城市、工矿区	>500	>150	>75
二	大(2)型	10~1	重要城市、工矿区	500~100	150~50	75~25
三	中 型	1~0.1	中等城市、工矿区	100~30	50~5	25~2.5
四	小(1)型	0.1~0.01	一般城市、工矿区	<30	5~0.5	2.5~0.05
五	小(2)型	0.01~0.001			<0.5	<0.05

注 1.总库容系指校核洪水位以下的水库静库容。

2.分等指标中有关防洪、灌溉两项系指防洪或灌溉工程系统中的重要骨干工程。

3.灌溉面积系指设计灌溉面积。

表 1-3-2 水工建筑物的级别

工程等别	永久性建筑物级别		临时性建筑物级别
	主要建筑物	次要建筑物	
一	1	3	4
二	2	3	4
三	3	4	5
四	4	5	5
五	5	5	

注 1.永久性建筑物系指枢纽工程运行期间使用的建筑物,根据其重要性分为:

主要建筑物 指失事后将造成下游灾害或严重影响工程效益的建筑物。例如:坝、泄洪建筑物、输水建筑物及电站厂房等。

次要建筑物 指失事后不造成下游灾害或对工程效益影响不大并易于修复的建筑物。例如:失事后不影响主要建筑物和设备运行的挡土墙、导流墙、工作桥及护岸等。

2.临时性建筑物系指枢纽工程施工期间所使用的建筑物。例如:导流建筑物等。

(2) 当水工建筑物的工程地质条件特别复杂或采用实践经验较少的新坝型、新型结构时,可提高一级,但洪水标准不予提高。

(3) 综合利用的水利水电枢纽工程,如按库容和不同用途的分等指标,其中有两项接近同一等别的上限时,其共用的主要建筑物可提高一级。

以上系指主要建筑物提高级别的条件。对临时建筑物而言,在它失事后,如对下游城镇、工矿区或其他国民经济部门造成严重灾害或严重影响工程施工时,视其重要性或影响程度,应提高一级或两级。

在某些情况下,经过论证,也可降低水工建筑物级别,如对低水头或失事后损失不大的水利水电枢纽工程中的某些水工建筑物,可予以降级。

(1) 同时具有几种用途的水工建筑物,应根据其中所属最高的工程等别确定其级别。

(2) 仅有一种用途的水工建筑物,应根据该项用途所属的工程等别确定其级别。

在下列情况下对二至五等工程,经过论证,可提高其主要建筑物的级别:

(1) 水库的大坝,其坝高超过表1-3-3者,可提高一级,但洪水标准不予提高。

表 1-3-3 水库大坝提级的指标

坝 的 原 级 别		2	3	4	5
坝高(米)	干砌石坝	90	70	50	30
	浆砌石坝	130	100	70	40

第四节 砌石坝发展趋向

近些年来,我国砌石坝发展很快,在设计、施工或科学试验方面,都有较大的提高,其发展趋向可以归纳为下列四点:

(一) 砌石坝地形地质的限制条件有所放宽

砌石坝对地形的要求视各种坝型而有所不同,其中对地形要求较低的,主要是砌石重力坝,而对地形要求较高的,主要是砌石拱坝,现在着重分析砌石拱坝的地形条件。过去,一般认为河谷宽高比(顶拱弦长与最大坝高之比值,即 $\frac{L}{H}$)不超过3~3.5才适宜修建拱坝,而且要求河谷基本对称。由于拱坝形状的改进、计算方法的改善及施工水平的提高等原因,现已突破了这个限制。在 $\frac{L}{H} > 3.5$ 的河谷中已修建不少拱坝,如贵州省龙里县石板滩浆砌条石拱坝,坝高25.6米,宽高比达8.1;又如四川省乐至县反修浆砌条石拱坝,坝高26.8米,宽高比竟达8.7。当然,在修建拱坝时,还是希望 L/H 小些为好,但也可以适当放大些,最后通过方案比较加以确定。砌石拱坝宽高比较大的工程见表1-4-1,相应的坝高还不小,宽高比在4以上的砌石拱坝,坝高均在40米以下。拱坝河谷对称问题,现在多不作严格要求,而在设计上通过工程措施或计算方面加以解决,如采用重力墩、周界缝、深沟中回填混凝土或砌筑石料、调整拱圈圆心及半径等。也有个别工程没有进行特殊处理,竣工后运行正常,如河北省沙河县峡沟浆砌石重力拱坝,坝高78米,位于典型的“V”形河谷中,但两岸不对称,左岸1:0.2,右岸1:0.3,岸坡又有明显突变,该工程没有特殊处理,建成后经历了1963年特大洪水,坝顶漫水深度达2米,1966年又遇到邢台地区强烈地震,坝体仍安全无恙。

表 1-4-1

砌石拱坝宽高比较大的工程

坝 名	地 点	坝 型	坝 高 (米)	宽高比	厚高比	坝 址 地 质	砌 体 类 型
反 修	四川省乐至县	单 曲 拱 坝	26.8	8.7	0.37	砂 页 岩	浆 砌 条 石
石 板 滩	贵州省龙里县	重 力 拱 坝	25.6	8.1	0.45		浆 砌 块 石
彭 家 店	四川省安岳县	单 曲 拱 坝	16.8	7.5	0.21	泥 岩、砂 岩	浆 砌 条 石
鸭 子 塘	四川省安岳县	变截面单曲拱坝	25.9	7.4		砂 岩、泥 岩	浆 砌 条 石
石 屋 志	山东省泰安县	重 力 拱 坝	28.0	7.1	0.45	花 岗 石	浆 砌 块 石
丰 岩	贵州省印江县	单 曲 拱 坝	17.3	6.3	0.35	灰 岩	浆 砌 块 石
团 结	贵州省余庆县	重 力 拱 坝	38.0	6.1	0.54	泥质或钙质砾石	浆 砌 块 石

地质条件也有所放宽,现在有许多拱坝修建在一般岩基上,也有一些工程在软弱的岩基上或较复杂的地质条件下,经过慎重处理,采取必要的措施后修建了砌石拱坝,而且运用正常。如四川省红旗浆砌条石拱坝,坝高52米(已建48米),建筑在岩石破碎、松动及裂隙发育的灰岩、煤页岩、砂岩各三分之一的互层上,1967年建成,至今已蓄水十多年,坝顶四次过水,未发生不良现象。可以这样讲,只要地质情况查清,采取适当措施,一般

岩基上均可修建砌石拱坝。尽管如此，地基问题仍是砌石坝（尤其是砌石拱坝）安全的关键，必须持有慎重态度。

（二）坝高逐渐增加 轻型坝愈来愈多

任何类型的坝往往是从小型的低坝而开始出现，因当时对技术问题认识不深，施工条件也差。砌石坝也是如此，1949年至1958年，全国砌石坝（ $H > 15$ 米）只有10座，坝高均在40米以下，其中坝高在30米以下的占80%。近二十年来，科学水平大有提高，群众筑坝经验日益丰富，因而坝的高度也随之增加，至1978年为止，坝高在30~70米之间的占36%，坝高大于70米的占1.5%，而坝高小于30米的却由过去的80%下降到62.5%。各地已建成高的或较高的砌石坝如表1-4-2。

表 1-4-2 已建成高的或较高的砌石坝

坝 名	地 点	坝 型	坝 高 (米)	坝顶宽 (米)	坝底宽 (米)	库 容 (万立方米)	砌 体 类 型
群 英	河南省焦作市	重力拱坝	101.3	4.5	52.0	1650	浆砌块石
石 门	河南省辉县	重力坝	90.5	5.0	79.0	2470	浆砌块石
口 上	河北省武安县	重力坝	81.8	8.5	68.0	3315	浆砌块石
柿 园	河南省辉县	重力拱坝	78.8	4.0	32.0	860	浆砌块石
峡 沟	河北省沙河县	重力拱坝	78.0	7.0	34.0	570	浆砌块石
东 石 岭	河北省沙河县	重力拱坝	78.0	6.0	40.0	6810	浆砌块石
青 天 河	河南省博爱县	重力坝	72.0	6.0	67.0	1726	浆砌块石
蛟 口	浙江省鄞县	重力坝	66.0	5.0	57.6	10960	细骨料混凝土砌块石
香 山	河南省新县	重力坝	65.5	5.5	60	8350	浆砌块石
二 龙 山	陕西省商县	重力坝	63.7	7.0	50	7900	细骨料混凝土砌块石
马 鞍 石	河南省修武	单曲拱坝	60.2	5.0	22.0	1140	浆砌块石

坝高的增加是体现筑坝水平的一个重要标志，而坝型方面，从重力坝过渡到轻型坝（拱坝和支墩坝）又是另一个重要标志。1958年以前，以兴建砌石重力坝为主，1958年以后，轻型坝发展很快，尤其在轻型坝的地形地质条件放宽后，不少的重力坝逐渐被轻型坝代替。1958年以前，重力坝有9座，占90%，轻型坝只有1座，占10%；到1978年为止，重力坝有250座，占45%，轻型坝有300座，占55%。显然，轻型坝数量大为增多，所占比例值也大为增加。轻型坝与重力坝相比，节省工程量，缩短工期，尤其是拱坝，安全度很大，这是明显的优点，缺点是计算及施工均较复杂。克服这个缺点的途径是改进计算方法、利用电子计算机及提高施工水平等，在这方面，目前已取得相当成效。

（三）坝体型式日趋合理 坝体结构日益新颖

随着科学水平和筑坝技术的不断提高，各类砌石坝的坝体型式日趋合理。如重力坝突出的问题是扬压力大，材料强度未能充分利用，因而出现了空腹重力坝（图2-9-1及图2-9-2）、干砌石坝（图2-10-1）、框格填碴坝（图2-10-8）、宽缝填碴坝（图2-10-6）及支墩坝。这些坝体，既能大大地减少扬压力，又能较好地利用材料强度。其坝体工程量与实体浆砌石重力坝相比，约可节省20%或更多。

拱坝的坝体结构型式日益新颖，坝体断面形状日趋完善，从坝体垂直断面看，现已由

直立面（上游面或下游面）正在发展到拱形面，即由单曲拱坝向双曲拱坝发展。水平拱圈上也在开始改进，如已从等厚圆弧拱向变截面拱（图3-2-12）、多心拱（主要是三心拱，见图3-2-11）发展，这对改善坝体应力分布和加强坝肩稳定都有利，与等厚圆弧拱相比，工程量约可节省20~35%，存在的问题是应力计算和施工放样均较麻烦，但这些都可由简化的计算方法或电子计算机加以解决。大头拱坝（图3-2-13及图3-2-14）在四川省建造较多，并有较简便的计算方法。三心拱坝仅处于萌芽阶段，已建成的三心拱坝有四川省青云浆砌条石拱坝及贵州省红卫浆砌石拱坝。

坝体的新颖结构，还表现在拱坝中的铰拱坝和平底缝拱坝的兴建。铰拱坝即是在坝体与岩石地基接触面处设有周界缝，两岸设铰缝，河床部分设平底缝，而平底缝拱坝仅在河床部分设平底缝。设缝后可大大地减小周界上的坝体拉应力，从而使坝体工程量明显减小。例如安徽省歙县已在1972年建成我国第一座浆砌石铰拱坝——寨西铰拱坝（图3-1-6），坝高16.5米，底厚1.2米，梯形河谷，河床部分坝体底部接缝为水平面，称为平底缝，河岸部分拱座接缝为圆弧面，称为铰缝，该铰拱坝至今运行正常。浙江省设平底缝的有天台县光明拱坝和石门拱坝，设周界缝的有诸暨县东溪拱坝（正建）及余姚县茶山拱坝（正建）。其他省（如湖南及福建等）也正在开始兴建铰拱坝。

浆砌石支墩坝是砌石坝中较新的坝型，砌石连拱坝及砌石大头坝均有工程实例。如河北省邢台县野沟门连拱坝，坝高45米，1976年建成以来，运行正常；又如广西壮族自治区大新县那岸大头坝，坝高56米（图4-2-4），1974年建成以来，运行亦正常。此外，还出现了砌石梯形坝，如广西壮族自治区南宁市龙门坝（正建），坝高32.6米（图4-2-6）。

（四）砌石坝的科学研究工作正在日益开展

目前砌石坝设计主要采用混凝土坝设计理论，按均质弹性体考虑。由于砌石坝一般都设有防渗体，砌石体的种类也各有不同，如浆砌块石，浆砌条石及干砌石等，同时砌石体本身各向的弹性模量也不相同，实际上砌石体不是均质材料。现在采用混凝土坝设计理论，仅是近似借用。因此，必须研究砌石体本身的特性，建立砌石坝设计理论。

近几年来，四川、安徽、湖南及湖北等省均已对砌石坝进行科学研究。四川省威远县长沙浆砌条石拱坝及安徽省寨西浆砌石铰拱坝都作过结构模型试验，而且还进行了原型观测。根据长沙坝顶层应变计在坝体开裂时的实测值，反推坝体的极限抗拉强度约为2.2~4.2公斤/厘米²，平均为2.9公斤/厘米²，这与一般砂浆的极限抗拉强度值很接近。另外，又从长沙坝原型观测中得出坝体温度变化值的经验公式（式3-3-7）。武汉水利电力学院进行砌石拱坝模型试验，对砌石及混凝土分别采用不同的弹性模量并提出成层异弹模拱坝应力的换算简化方法，认为混凝土和砌石体交界处的应力比值同它们的弹性模量比值基本相同。

现在对砌体特性的室内试验、原型观测及理论研究已日益引起重视。如四川长沙坝、河北朱庄坝及四川葫芦口坝等均已在坝内埋设原型观测仪器，这是可喜的。只有从实践中认识客观事物本质，才能创造符合砌石坝特点的设计理论。

近几年来，在水利水电科研和大中型工程设计方面正在逐步推广应用电子计算机。拱坝应力的精确计算，繁复费时，若靠人力进行，远不能满足要求。现在不仅能利用电子计

算机进行径向变位一致的拱冠梁法应力计算，而且也能利用多拱多梁结构体系进行径向、切向和扭转的三向调整应力计算，精度较高。就后者而言，计算一个方案，一般仅需12~14分钟。拱坝施工放样的计算工作也是很繁琐的，现在也可用电算成果直接进行施工放样。重力坝及支墩坝的应力计算等工作均可借助电算解决。随着科学技术的不断发展，今后将会更广泛地利用电子计算机代替各种手工计算及绘图工作。

第五节 设计要求、设计内容及基本资料

（一）设计要求

砌石坝，和其它类型的坝一样，是水利水电枢纽中最重要的建筑物，坝体安全与否，影响极大。设计中一定要充分调查研究，尤其是库区和坝址的地质问题更为重要。在做好勘测工作的基础上才能搞好坝体的设计。砌石坝设计总的要求是：在满足工程效益、确保坝体正常运行的前提下，努力减少工程量，节省三材，降低造价，尽量做到施工方便，提高施工机械化程度，加快建设速度；另外，还须适当注意坝体外形美观。当然，设计工作还要严格按照基建程序办事，做到先勘测设计后施工。设计的具体要求如下：

1. 坝体必须有足够的安全性 坝体的安全性须从库区岸坡稳定性、地基（包括两岸）稳定性及坝体强度和稳定性等三方面进行综合考虑。为确保大坝安全，应使坝体满足应力及抗滑稳定的要求，防止变形过大及库水通过坝体长期侵蚀所造成的恶果。坝顶要有足够的超高，防止库水漫过非溢流坝，更重要的是溢洪道要有足够的过水能力。失事后对下游将造成较大灾害的大型水库、重要的中型水库以及特别重要的小型水库的浆砌石坝，要考虑可能最大洪水作为非常运用洪水的标准。坝顶还要有抵抗飘浮物和波浪冲击的能力。另外，还要强调保证施工质量，从而保证坝体的安全。库区地质包括浸水以后岸坡稳定问题，一定要勘测调查清楚，否则，庞大的岸坡坍滑体倾注水库，使库水位骤然上升，就有漫坝危险。坝基的稳定对坝体安全关系很大，尤其是砌石拱坝坝肩的稳定。过去混凝土拱坝失事，主要原因就是坝肩先丧失稳定性，然后垮坝。因此拱坝坝肩稳定问题一定要周密分析，务必要克服只重视坝体应力分析而轻视坝肩稳定分析的倾向。

2. 要尽量减少坝体工程量，节省三材，降低造价 首先要选择合理的坝型，有条件的，尽量采用轻型坝。轻型坝中也还有在一定程度上更为经济的坝型，虽然这些坝型在施工上稍微麻烦些，但要努力改进施工方法，提高施工技术，困难是可以克服的。重力坝中也有比较经济的坝型，如空腹重力坝等。坝体断面和砌石体胶结材料也直接关系到工程量、三材用量和工程造价，要合理设计选用。

3. 要使坝体施工方便，尽量采用机械施工 设计时不能单纯考虑经济，必须尽量减小施工困难，这也是确保工程质量和工程进度的一个重要条件。另外，砌石坝的施工速度问题很突出，如某座砌石坝用机械施工可一年完成，而用人力施工要两年完成，这样，水库就延迟一年投入运用，迟一年受益，其损失是很大的。所以速度问题实质上也是一个严肃的政治经济问题。应该尽量在砌石坝施工中逐步实现机械化，加速施工进度。

（二）设计内容

砌石坝设计内容与其他坝型基本相同，但是还有它的特殊性，综合起来讲，有如下十项：

1. 枢纽布置 包括坝体的平面布置以及坝体与枢纽中其他建筑物（如水电站厂房及船闸等）的相互位置的确定。砌石坝的平面布置直接牵涉到坝体结构应力、坝体工程量及地基开挖量等，应予以注意。

2. 坝型选择及坝体断面拟定 在进行砌石坝范围内大的类型（即重力坝、拱坝及支墩坝）比较后，即进一步对某一类砌石坝中的各种型式加以选择。如是重力坝，则指实体重力坝及空腹重力坝等坝型的选择；如是砌石拱坝，则指单曲拱坝、双曲拱坝及铰拱坝等坝型的选择；如是砌石支墩坝，则指连拱坝及大头坝等坝型的选择。确定坝型后即可对坝体断面的形状进行具体拟定及对各部分的尺寸进一步确定。

3. 坝体应力及稳定分析 在坝体断面拟定的基础上计算荷载后即可校核坝体应力和稳定，这两者均需满足有关规范或设计提出的要求。对于拱坝，更要注意校核坝肩的稳定。

4. 坝体泄水和放水结构的设计 坝体如兼作泄水或放水之用，则须对泄水或放水结构进行设计，包括孔口型式及尺寸的确定，泄水或放水的流量计算，应力分析及消能设计等。

5. 坝体材料及其分区设计 坝体材料系指筑坝石料及胶结材料。设计的基本原则是因地制宜，就地取材。采用何种石料（块石或条石）主要取决于岩石性质及人力加工条件等因素。至于砂浆或细骨料混凝土等胶结材料的选择则视石料种类、骨料来源、施工条件等而定。若条件许可，尽量采用细骨料混凝土，虽然在单位砌体中所用水泥量较多，但是砌体强度增加，坝体体积减小，整个坝体所用水泥量反而有所减少，砌体质量亦有所提高，这是有前途的胶结材料。材料分区系根据坝体各部位的应力、防渗、防冲及抗冻等要求决定，须分别提出各部位胶结材料的强度标号、抗渗标号等有关指标。

6. 坝体细部设计 坝体细部包括坝顶、防渗设施、廊道、对外交通、分缝及止水等。细部设计不能轻视，如果只重视坝体应力而对细部设计粗心大意，往往就在这方面发生问题，如引起坝体开裂甚至严重漏水等，这是值得十分注意的。

7. 坝体观测设备布置及设计 要根据需要与可能进行坝体外部及坝体内部的两种布置及设计。在中小型工程中，可先尽量设置一些外部观测设备，如位移、沉陷、坝体及坝基漏水量等项目。观测设备的设置不仅是为了科学研究的需要，重要的还有监督坝体安全和预报坝体病情的作用。

8. 地基处理 包括基础开挖和地质构造的处理。基础开挖的范围及深度要视工程规模及岩石风化程度等因素进行确定。地质构造中要特别注意断层、破碎带及软弱夹层的处理，岩溶地区更要特别注意贯穿下游的溶洞及地下河的处理。

9. 施工技术设计 包括导流方案、坝体砌筑方式、分层、分缝、温度控制、选择施工设备以及制定施工技术规程等。要尽量利用施工机械，减少劳力，加快施工速度。

10. 施工组织设计 包括施工场地布置、施工分期及导流、工程进度计划、概算及预算等。

(三) 基本资料

设计砌石坝须掌握足够的和正确的基本资料，这样才有考虑问题和分析计算的客观依据，才能使设计成果基于可靠的基础上。基本资料可分为以下六个方面：

1. 设计任务 设计砌石坝首先要了解该枢纽所担负的任务，如灌溉、防洪、发电等，并且要明确以何者为主，同时要满足通航、过木、过鱼等要求。对放空水库的要求（人防及检修用）也要给予重视，否则会造成很大的被动。

2. 地质 要掌握坝区的地质平面图和剖面图、坝轴线的地质剖面图。在这些资料中应说明基岩组成，走向及倾向，基岩的物理力学性质，断层、节理及裂隙等的分布范围及其深度，可利用的基岩等高线及水文地质资料等。以上地质资料，在重要的砌石坝设计中是不可缺少的，它直接决定着坝型、开挖深度、地基处理方式，是设计计算的基本依据；对一般的砌石坝，也应该尽量获得上述地质资料。应该充分认识到掌握第一手地质资料的重要性，切不可只看地层表面的好坏就主观地作出结论。库区的地质资料亦很重要，库区岸坡浸水后是否稳定，需作充分论证。

3. 地形 包括库区、坝址及施工场地等平面图，必要时还要坝轴线断面图。库区平面图用于计算库容及吹程。坝址平面图要测至建筑物轮廓尺寸以外数十至数百米，供枢纽布置及结构设计之用。施工场地平面图在绘制施工总平面图时使用。

4. 水文气象 包括河道的流量和水位资料、水位流量关系曲线及含砂率等，可从这些资料确定各种频率的泄洪流量、相应的上下游水位及水库淤积高程等；此外，还要搜集风的级别、风向、风速、气温及水温等资料，用以确定坝体浪压力、风压力、温度应力及坝顶高程等。

5. 建筑材料 一方面要调查当地建筑材料（如石料、砂料、卵石及粘土等）的性质、分布及储量；另一方面要了解水泥、钢材及木材等材料的来源、数量及规格。

6. 施工 包括施工设备（如搅拌机、震捣器、手推车、风钻及灌浆机等）的数量及规格，施工劳力，施工定额，各种单价等。

上述资料是基本的，但是还有其他资料，如材料试验资料、模型试验资料及地震资料等。基本资料和其他资料都应尽量获取，但还要对取得这些资料的可能性进行必要的估计，如在小型砌石坝工程中，对地质资料既不能有过高的要求，又不能放弃一切要求，有条件的情况下，应尽可能进行地质钻探，至少也要在坝址范围内进行槽探。设计人员在取得上述资料时要持慎重态度，既要调查研究，尽量掌握第一手资料，又要对别人间接提供的资料进行分析与核实。

参 考 文 献

- [1] 砌石坝 水利电力部水利调度研究所 水利电力出版社 1977年
- [2] 水利水电枢纽工程等级划分及设计标准（山区、丘陵区部分）SDJ12-78（试行） 中华人民共和国水利电力部 水利电力出版社 1979年