



水利电力部水利水电建设总局

砌石坝施工

水利电力出版社



砌石坝施工

水利电力部水利水电建设总局

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是在总结我国砌石坝建设经验的基础上编写成的。全书较系统地叙述了砌石坝的施工技术和施工方法,主要包括:砌石坝施工的特点、原材料的技术要求、砂石料开采、胶结材料及其生产、施工总体布置与运输、施工导流、地基处理、施工放样、坝体砌筑、防渗体施工、砌体质量检查、观测设备的安设等部分。

本书的特点是面向生产实践,并尽可能地收集全国各地砌石坝施工实践中所积累起来的行之有效经验,力求对中小型砌石坝施工具有指导性,同时在文字叙述上注意简明、通俗。

本书主要供地、县水利水电施工技术人员阅读,也可供水利水电设计人员及有关院校水利专业师生参考。

31085/14

砌 石 坝 施 工

水利电力部水利水电建设总局

*

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 16印张 361千字

1984年5月第一版 1984年5月北京第一次印刷

印数 00001—10160册 定价 2.00元

书号 15143·5337

前 言

我国劳动人民自古以来在改造自然和发展生产的过程中就学会了采石筑堤砌坝的施工技术。新中国成立后，砌石坝建设得到了发展，特别在丘陵山区的中小型水利水电工程中，被广为采用，不仅数量多、而且坝型丰富多采，目前已建成的最高砌石坝达101.3米。砌石坝属于一种为人民群众所乐于接受的当地材料坝，这种坝型，在今后一定时期内仍将会继续发展。

为了促进砌石坝施工技术的进一步提高和发展，原水利部基建总局于一九八〇年四月组织九省（自治区）各自编写本省的《砌石坝施工技术总结》。一九八一年五月在桂林召开了砌石坝施工技术总结会议，各省所提供的“总结稿”内容较为丰富，能够反映我国当前砌石坝施工技术水平。会议决定在各省总结的基础上，采取分工编写，然后集中的方式编写《砌石坝施工技术总结》，建议出版《砌石坝施工》一书，并决定主要由孙鉴明、邱兴发、谭抑愆、肖济寰、杜伟贤、田文铎、黄付华、郑克诚、魏典昌、王复华、刘声攻、高宝善、张孙扬、阮孝钊、王泰和、严蕴辉、李云波等同志参加编写工作。

一九八一年九月原水利部基建总局在北京召开了《砌石坝施工》审稿会议。贵州、福建、湖南、浙江、河南、四川、山东以及广西大学等从事砌石坝施工、设计、科研的专家和工程技术人员参加了会议，对本书的初稿进行全面审查并提出了修改意见。一九八二年三月根据审稿会议纪要精神，原水利部基建总局委托广西大学孙鉴明、贵州省水利厅设计院王复华、浙江省水电工程局王泰和等三位同志负责对书稿进行校阅、修改和定稿。一九八二年原水利部和电力工业部两部合并后，书稿转由水利电力部水利水电建设总局作最后审定。

在本书编写过程中，得到了全国各地从事砌石坝建设的广大水利工作者的热忱支持，并提供了很多行之有效的施工经验。贵州省水利厅李家平总工程师、福建省水电工程局高宝善总工程师、浙江省水电工程局秦章隽总工程师对本书内容的修改提出了很多宝贵意见，广西大学土木系对本书编写工作给予多方支持，在此一并表示感谢。

由于主客观方面的一些原因，本书错误和不足之处在所难免，欢迎读者给予批评指正，以便再版时予以补充和修正。

水利电力部水利水电建设总局

一九八三年六月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 我国的砌石坝建设	1
第二节 砌石坝施工的特点	6
第三节 为提高砌石坝施工质量和加快施工速度而努力	7
第二章 原材料的技术要求	12
第一节 砂子、细石	12
第二节 石料	15
第三节 水泥	17
第四节 石灰、水	21
第三章 砂、石料开采	22
第一节 料场的选择与布置	22
第二节 砂砾料的开采	28
第三节 石料开采	35
第四章 胶结材料及其生产	45
第一节 胶结材料的种类	45
第二节 胶结材料的技术性质	48
第三节 胶结材料的配合比选择	54
第四节 胶结材料的生产	61
第五节 胶结材料的质量检验	69
第五章 施工总体布置与运输	73
第一节 施工总体布置	73
第二节 运输	91
第六章 施工导流	98
第一节 施工导流的一般原则	98
第二节 导流方式	101
第三节 围堰工程	107
第四节 基坑排水	113
第五节 渡汛措施	116
第七章 地基处理	118
第一节 基坑开挖	118
第二节 岩基的灌浆处理	122
第三节 不同地基处理方法	126
第八章 施工放样	144

第一节	放样测量基本工作	144
第二节	拱坝放样	148
第三节	溢流坝面及连拱坝放样	159
第九章	坝体砌筑	166
第一节	砌筑方法	166
第二节	操作工艺	178
第三节	砌体的温度控制	183
第四节	砌体养护	185
第五节	砌石坝混凝土溢流面的滑模施工	186
第十章	防渗体施工	195
第一节	混凝土防渗面板的施工	195
第二节	混凝土防渗心墙的施工	206
第三节	水泥砂浆深勾缝的施工	209
第四节	钢丝网喷浆防渗护面施工	210
第五节	其它型式的防渗体	212
第十一章	砌体质量检查与常见事故处理	217
第一节	砌体的质量检查	217
第二节	常见的质量事故处理	226
第十二章	观测设备的安设	231
第一节	外部观测设备的安设	231
第二节	内部观测仪器的埋设	240
第三节	坝面仪器的安装	245
参考文献		249

第一章 概 述

第一节 我国的砌石坝建设

我们伟大的祖国幅员辽阔，在约九百六十万平方公里的国土上，山地、丘陵约占全国总面积的三分之二。我国山地面积多、大小山脉和河流纵横全国的地形特点，使得自古以来我国劳动人民在改造江河、兴修水利、同大自然进行英勇斗争的过程中，很早就学会了开山采石、砌石筑坝的水利施工技术。

始建于公元前 256 年(秦昭王51年)，位于四川省岷江干流为灌溉成都平原万顷良田而兴修的都江堰取水枢纽工程，早就采用了干砌卵石的施工方法修筑分水堰。公元前 219~214年(秦始皇 28年~33 年)，以沟通湘、漓二水，运输军粮等物资为目的，在广西兴安县境修建了著名的灵渠工程，在该工程中曾使用大块石砌筑溢流分水堰。约从公元 630 年的唐代开始，在我国江浙沿海地区出现了砌石海塘工程。公元 833 年(唐太和 7 年)在浙江省大溪河上修建了用八十层条石叠砌、高约 27 米的条石溢流坝——它山坝。公元 1064 年(北宋治平元年)，在福建莆田县木兰溪上建造了木兰陂砌石滚水坝，灌溉了兴化湾平原近 20 万亩良田。上述这些水利工程，经历代劳动人民不断维修改建，至今仍在应用。它证明了我国砌石修堤筑坝已有悠久历史和古代水利施工技术的进步。

砌石坝作为一种古老的坝型，在人类的水工建筑史上，一直留有它的踪迹。但在我国，砌石坝建设事业真正大规模的发展，却是在新中国成立以后开始的。特别是在近廿年内，砌石坝的数量、坝型之多，规模之大，是前所未有的。而今我国所建造的砌石坝与古代砌石坝相比较，无论在坝体结构、坝身材料、还是施工工艺方面，都已不是简单的重复或是单纯数量的增加，它在很多方面已产生了质的变化。这个变化反映着我国现代砌石坝工程技术新的特点与水平。

截至 1980 年底，仅对我国砌石坝建造数量较多的川、黔、冀、湘、闽、浙、桂、豫、粤、鲁、晋、皖、鄂、赣、陕、辽、宁等 17 个省(自治区)进行不完全的调查统计，坝高在 15 米以上、已经完建的砌石坝总数达 1315 座，在建砌石坝约 383 座。低于 15 米的小坝则更多。

从表 1-1 可见：解放前的旧中国，15 米以上的砌石坝仅修建 6 座，约占总数的 0.46%；五十年代修建的有 44 座，约占总数的 3.35%；六十年代修建的为 226 座，约占总数的 17.20%；七十年代修建的有 969 座，约占总数的 73.74%。由此可见，我国的砌石坝主要是集中在六十年代和七十年代修建起来的，尤以七十年代建造的砌石坝为最多。进入八十年代以来，这个发展趋势仍在继续，仅 1980 年，又建成 70 座，新建和续建的工程达 380 余座。因此，在今后一个相当长的时期内，为中小水利水电工程服务的砌石坝将会继续得到发展。

我国砌石坝的结构型式，也有一个演变和发展的过程。五十年代和六十年代，还是以建造砌石重力坝为主。随着社会生产力的发展、坝工技术的日益进步和人们对砌石坝认识

表 1-1

砌石坝建设情况统计表 (单位: 座)

坝 型 类 别	建 造 年 代					已 完 建	正 在 建
	解 放 前	五 十 年 代	六 十 年 代	七 十 年 代	1980 年	工 程 数	工 程 数
砌石重力坝	2	30	95	267	17	411 (31.25%)	53 (13.84%)
砌石拱坝	2	7	90	603	44	746 (56.73%)	307 (80.16%)
砌石支墩坝			3	33	3	39 (2.97%)	5 (1.30%)
其他坝型	2	7	38	66	6	119 (9.05%)	18 (4.70%)
合 计 数	6 (0.46%)	44 (3.35%)	226 (17.20%)	969 (73.74%)	70 (5.25%)	1315 (100%)	383 (100%)

注 1) 本表为全国砌石坝建造较多的川、黔、冀、湘、闽、浙、桂、豫等17个省(自治区), 截至到1980年底的统计数字;

2) 坝高低于15米的工程未统计在内;

3) 括号内的数字为所占的百分数。

的加深, 进入七十年代以后, 特别是最近几年, 砌石拱坝似雨后春笋般地发展起来, 并成为我国今日砌石坝建设中的主流。其它由重力坝和拱坝派生出来的诸如宽缝砌石重力坝、

空腹砌石重力坝、砌石框格填碴坝、硬壳坝、砌石堆石重力坝、砌石大头坝、砌石梯形坝及砌石空腹拱坝、砌石铰拱坝、大头砌石拱坝、三心砌石拱坝、砌石连拱坝等各种坝型, 也都随之应运而生。

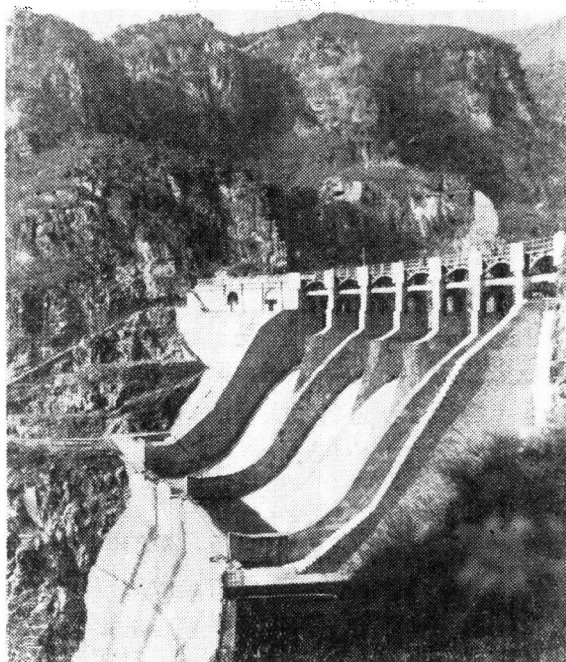


图 1-1 群英水库砌石重力拱坝

图 1-1 所展示的为河南焦作群英水库砌石重力拱坝。该坝最大坝高 101.3 米, 坝顶溢流。水库主要任务是灌溉、防洪、生活用水并结合发电。工程自 1968 年 11 月开工至 1971 年 7 月竣工, 历时两年零七个月, 完成坝体工程量 18.1 万米³。坝基挖深达 24 米, 共开挖砂卵石 6 万多米³。大坝主体采用 100 号水泥砂浆和小石子砂浆砌块石, 采用平缝铺浆、立缝挤浆的砌筑方法。大坝面石镶砌同一厚度条石, 砌缝宽不大于 2 厘米, 上下缝交错距离不小于 10 厘米。施工采用三班作业, 日砌筑强度约 500~600 米³, 坝体平均日升高为 0.2 米,

砌筑持续约一年半时间。

图 1-2 为福建仙游东溪水库砌石双曲拱坝。该坝最大坝高 57 米, 坝顶弧长 158.8 米, 弦长 137 米, 坝顶厚度 3 米, 底部厚度 18.96 米, 最大中心角 102°。坝的主体采用 100 号细石

混凝土砌条、块石，上下游面的坝壳部位用100号砂浆砌条石，并用水泥砂浆深勾缝防渗，坝的总工程量达5.24万米³。工程于1979年完建，质量良好。

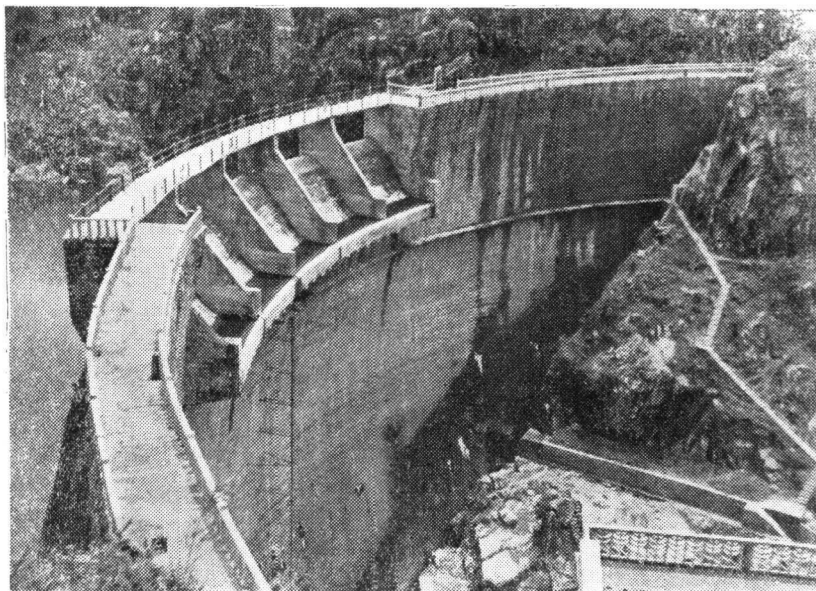


图 1-2 东溪水库砌石双曲拱坝

图1-3展示的是河南辉县石门水库的浆砌石重力坝。该坝最大坝高 90.5 米，坝顶长度 220 米，坝顶宽度 5 米，坝底最大宽度79米。水库总库容3000万米³，灌溉农田10万亩。坝体总工程量达38万米³，采用水泥砂浆砌石。工程于1974年建成，历时约四年。

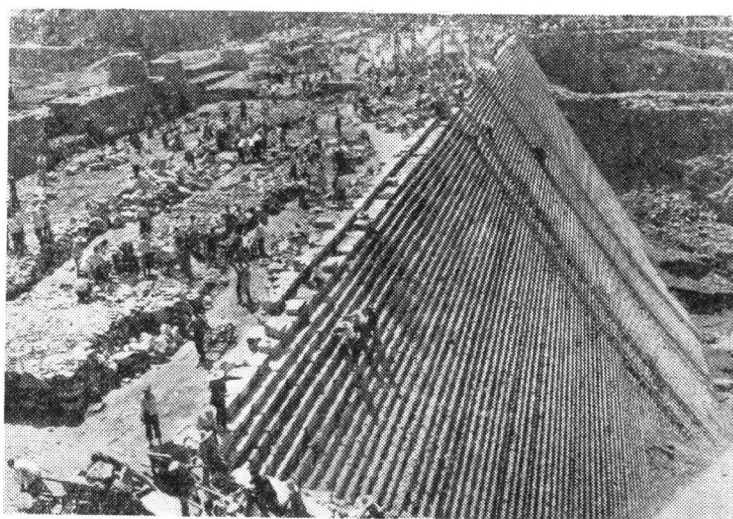


图 1-3 石门水库砌石重力坝

图1-4为 1971 年建成的山东栖霞县黄岩底水库砌石连拱坝。连拱坝共设有四跨，最大坝高30.5米，支墩中到中的间距为17米，净距10米。斜拱的迎水坡为1:0.7,采用等厚圆弧拱,顶厚1.5米，底厚3.5米,中心角180°，内半径保持不变。为方便施工期间的垂直运输，

采用了由两片厚度各为2.5米的垛墙和净宽2.0米的空腹所组成的双支墩。拱圈及支墩的外壳分别采用100号和80号水泥砂浆砌料石，内腹部分别用80号及50号水泥砂浆砌块石。

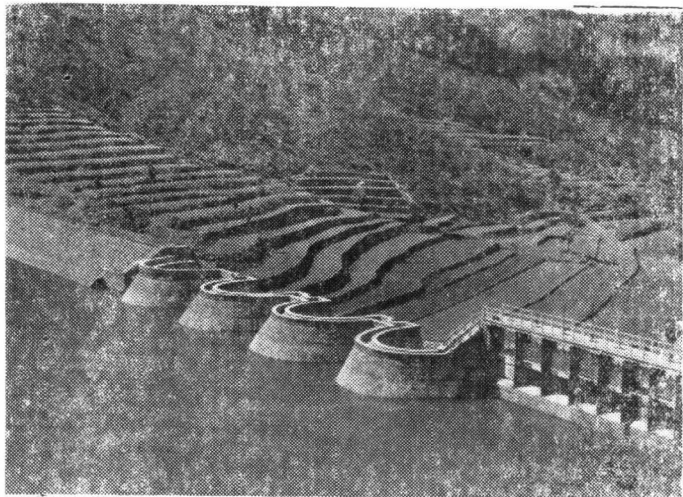


图 1-4 黄岩底水库砌石连拱坝

图 1-5 所展示的是广西壮族自治区南宁市龙门水库砌石梯形坝，因其坝体水平截面呈梯形而得名。它是近年才开始应用于坝工建设实践的一种新坝型。梯形坝共设有五跨，各坝段上游挡水面宽度均为 12 米，最大坝高为 32.6 米，上游坝坡 1:0.4，下游坝坡 1:0.6，坝顶宽度 4 米。

我国砌石坝坝型如此丰富多采，这在坝工史上，应该说是一个宝贵的贡献。这是正确贯彻扬长避短、因地制宜、自力更生、

大搞技术革命方针而必然结出的硕果，也是体现我国各族劳动人民智慧的结晶。

反映我国砌石坝工程技术水平的另一个重要标志是高坝的建设愈来愈多地出现。截至 1980 年底对全国主要省（自治区）进行调查表明，目前坝高在 30~70 米范围内的各类中等高度砌石坝已建成的达 406 座，正在施工中的有 169 座。坝高大于 70 米的高砌石坝已建成 14 座，正在建造的有 10 座。我国已建而又比较典型的各类型砌石坝见表 1-2。

砌石坝不仅在我国中小型水利水电工程中广为采用，而且全国已有计 9 座蓄水量在 1 亿米³以上的大型水库工程也采用了这种坝型，见表 1-3。

近些年来，我国砌石坝建设之所以发展这样快，原因是多方面的。尽管砌石坝本身所具备的优点起着重要作用，但最根本的，还是受当前我国的国情和水利建设新形势的制约。建国初期的五十年代，中小型水利枢纽工程多在平原、丘陵地区集中建设，那里交通、地形条件好，土料、劳力资源丰富，水利投资效果显著。土坝

成为这个时期中小水利枢纽工程广为采用的一种好坝型。随着我国水利建设规模的不断扩大，水利设施必然地向着山区、丘陵地区的纵深地带延伸，这就同时带来了水利建设的新特点：广大的山区丘陵区石多土薄；河谷狭窄，地形上难于寻觅合宜的溢洪道位置；河流源

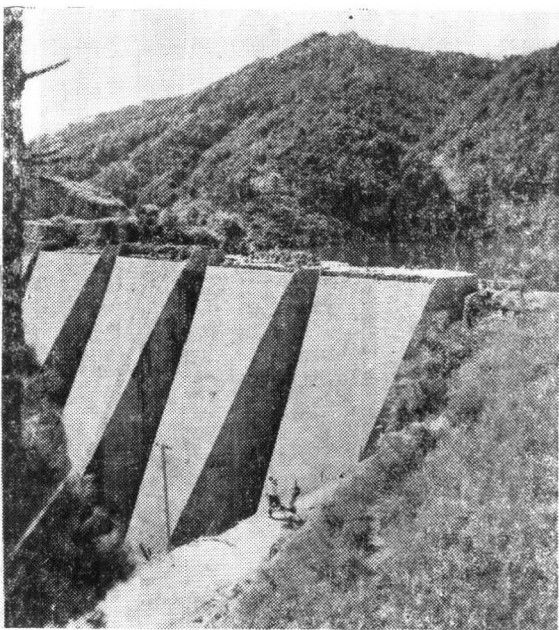


图 1-5 龙门水库砌石梯形坝

表 1-2 我国已建各类典型砌石坝技术特性表

坝 名	工程地点	坝 型	最 大 坝 高 (米)	总库容 (万米 ³)	坝 址 地 质	坝 体 材 料	防渗体型式	坝体工程量 (万米 ³)		开 工 日 期 (年、月)	竣 工 日 期 (年、月)
								浆砌石	混凝土		
朱 庄	河北邢台	重力坝	95.0	41600	石英砂岩	混凝土、浆砌块石混合坝	混凝土防渗面板	47.9	62.6	1971.10	1980
石 门	河南辉县	重力坝	90.5	3000	片麻岩	水泥砂浆砌块石	混凝土防渗面板	37.4	1.92	1970	1974
胡 芦 口	四川威远	重力坝	72.0	7850	砂 岩	水泥砂浆砌块石	混凝土防渗面板	19.8	7.1	1972	1979
皎 口	浙江鄞县	重力坝	66.0	10900	凝灰流纹凝岩	细石混凝土砌块石	混凝土防渗面板	31.0	16.5	1969.12	1973.12
仁 河	山东益都	重力坝	60.0	2920	灰岩、页岩互层	水泥砂浆砌块石	混凝土防渗心墙	25.2	3.2	1975.12	1979.12
群 英	河南焦作	重力拱坝	101.3	1900	石灰岩	水泥砂浆砌块石	混凝土防渗面板	16.4	1.7	1968.11	1971.1
东 石 岭	河北沙河	重力拱坝	81.0	7070	石英砂岩	水泥砂浆砌块石	混凝土防渗心墙	33.5	2.6	1969.12	1979
河 口	四川威远	大头拱坝	57.0	670	砂 岩	水泥砂浆砌块石	水泥砂浆勾缝	2.42	0.12	1970	1972
岩 鹰 山	贵州修文	单曲拱坝	56.0	930	云灰岩夹灰岩	细石混凝土砌块石	混凝土防渗心墙	4.30		1972.1	1972.9
东 溪	福建仙游	双曲拱坝	57.0	2282	流纹凝岩	浆砌条石坝壳、细石混凝土坝腹	水泥砂浆深勾缝	5.24		1975.8	1979.9
茅 溪	湖南大庸	双曲拱坝	57.0	5630	石灰岩	水泥砂浆、细石混凝土砌块石	混凝土心墙	7.54		1976	1979
官 舟	贵州沿河	双曲拱坝	44.0	1280	石灰岩	细石混凝土砌块石	水泥砂浆勾缝	3.58		1976.10	1980
白 云 江	广西灵川	双曲拱坝	35.1	157	砂 岩	细石混凝土砌块石	混凝土心墙	0.77		1966.11	1976.6
野 沟 门	河北邢台	连 拱	45.0	5000	花岗岩片麻岩	水泥砂浆砌块石	钢丝绳网喷浆	18.2	2.0	1973.2	1980
淌 水 崖	山东临朐	连 拱	35.0	548	花岗岩片麻岩	水泥砂浆砌块石	混凝土防渗墙	3.75	0.87	1970.1	1974.3
那 片	广西大新	混合型大头坝	56.0	1950	石灰岩	混凝土大头、浆砌块石支墩	混凝土大头防渗	9.2	3.8	1976.9	1978.5
岩 屋 潭	湖南沅陵	空腹重力坝	66.0	10300	冰 碛 岩	水泥砂浆砌块石	混凝土防渗面板	9.67		1977	1980
龙 门	广西南宁	梯形坝	32.6	414	石英砂岩	水泥砂浆砌块石	混凝土防渗心墙	2.30	0.2		1978.11
溪 源	福建长汀	宽缝填筑坝	48.5	1200	砂 砾 岩	水泥砂浆砌条、块石	混凝土防渗心墙	4.80			

表 1-3

大型水库中的砌石坝

坝 名	工程地点	坝 高 (米)	坝 型	坝 体 材 料	总库容 (亿米 ³)	坝 体 工 程 量 (万米 ³)	开 工 及 竣工日期 (年、月)
龟 石	广西钟山	42.7	重 力 坝	浆砌块石	5.90	浆砌石 16.70 混凝土 1.77	1958.10 1966.3
朱 庄	河北邢台	95.0	重 力 坝	浆砌块石混凝土	4.16	浆砌石 47.90 混凝土 62.60	1971.10 1980.12
水府庙	湖南湘乡	35.4	重 力 坝	浆砌块石	3.70	浆砌石 8.01 混凝土 1.39	1958.9 1959.10
黑龙滩	四川仁寿	55.2	重 力 坝	浆砌条石	3.30	28.60	1970.10 1972.1
鲁 班	四川三台	68.0	重 力 坝	干砌条石	2.78	干砌条石 43.20 浆砌石 6.00	1977 1980
长 沼	浙江新昌	64.0	重 力 坝	细石混凝土砌石	1.64	26.00	1976 1979
峰 头	福建云霄	61.6	重 力 坝	细石混凝土砌石	1.59	28.60	施 工 中
蛟 口	浙江鄞县	66.0	重 力 坝	细石混凝土砌石	1.09	48.20	1970 1974
岩屋潭	湖南沅陵	66.0	空 腹 重 力 坝	浆砌块石	1.03	浆砌石 9.67	1976.9 1978.5

短流急，洪水暴起暴落，施工导流与渡汛较为困难；山区劳力紧张，工期安排要求灵活；外来材料的交通运输较为不便；地方产的水泥有了一定程度的供应保证；当地人民一般具有采石砌石的传统习惯。上列特点说明单一的土坝坝型已不能适应这个新的要求，而兴建混凝土坝则投资大，三材用量、施工机械多，工艺要求高。因此，与我国社会生产力水平相适应的、为劳动人民乐于接受的、实践证明是一种富有生命力的当地材料坝——砌石坝，亦就当然地以它崭新的面貌，生机蓬勃地迅速发展起来了。

第二节 砌石坝施工的特点

砌石坝又称圬工坝，它是由一定规格要求的石料经浆砌或干砌而成的一种挡水建筑物。本书着重阐述浆砌石坝的施工技术。

砌石坝与土坝在取材方面同属于当地材料坝，但在工作特点上，砌石坝却又接近于混凝土坝，然而这三类坝型之间，在施工特点上的差异则相当大。砌石坝在施工方面的特点主要表现在如下几个方面：

(1) 我国广大的山区、丘陵区，蕴藏着极为丰富的优质天然石料，河谷地带砂砾料源的分布亦很广泛。因此，砌石坝施工用的原材料，大部可就地开采取用。这一特点对于节省钢材、木材及水泥用量，减轻对外运输压力，保证工程施工尽早付诸实施，具有很现实的意义。

(2) 砌石坝的施工导流和施工期间的渡汛问题与混凝土坝具有相同的优越性，它们较之土坝容易得到顺利解决。一般地说，措施简单，费用节省。如建于中小河流上的砌石

坝工程，当河谷狭窄且施工洪水不大时，其导流措施一般采用涵管或坝体预留底孔即可。当河谷较宽且来水较大时，则可采用分期围堰、底孔或互相结合的方式导流，均较简便。若施工期间遭遇超频率的洪水，可允许坝顶溢流，汛后即可恢复施工。

（3）砌石坝在雨季和汛期仍可继续施工，一年中较土坝的施工天数为多，而和混凝土坝大致相同。这一特点，对我国南方雨日较多的地区显得特别有利。由于砌石坝全年施工的有效工期长，这为加快施工进度、缩短工期创造了良好条件。

（4）砌石坝每米³砌体的水泥用量约在100~150公斤之间，若筑坝用的石料大小级配适宜（或用条、料石砌筑），砌筑技术熟练，则单位砌体的水泥用量还可进一步降低。

由于砌石坝每米³砌体中的水泥用量较混凝土坝为少，这既节省了水泥和投资，又减少了砌体的水化热，使得施工温度控制比较容易，因而毋需采取散热或骨料预冷等复杂的温控措施。同时，由于砌体的砌筑上升速度较慢，一般日平均升高只有0.1~0.3米，散热条件良好，故一般可考虑不分层分块砌筑。因而砌石坝与混凝土坝相比较，可增大坝段间距、减少伸缩缝数量、节省止水片和涂料填料、有些情况下还可避免封缝灌浆的麻烦。而且砌石坝还可以大量地减少木模板、脚手架等工作量，从而可相应减少施工干扰和施工困难。

（5）砌石坝的施工技术相对而言比较简单，只要对当地民工稍加培训即能掌握采料、加工、运输到制浆、铺砌、养护等一般性的操作技术。砌石坝对施工机械设备供应的要求也并不十分苛求，“能洋则洋，不能洋则土”，灵活性较大。这对目前我国人力资源丰富而施工机械化程度尚不高的情况尤为适应。

（6）一般认为，砌石坝的施工质量比较难以控制，这是由于当前的砌石坝多为地方群众性施工工程，施工队伍基本上是非专业性的、人员流动性大、施工机械少、操作以人工为主，再加上施工质量控制标准、施工定额管理制度等存在的一些问题，这就是造成某些地区有些工程仍出现工程质量参差不齐，渗水、漏水尚较普遍的主要原因。我国砌石坝施工的实践经验告诉我们：尽管存在砌石坝施工质量不易均一的事实，但只要切实地抓好科学的施工组织管理；建立起以工程质量为中心的生产责任制；每道工序都把施工质量关；关键性的工序和部位尽可能实现专业化、机械化操作，那么砌石坝的施工质量就能得到可靠的保证。总之，砌石坝良好的工程质量主要是通过施工过程中的各个具体环节来加以实现的，因此，重要的是在施工中千方百计地搞好质量。

（7）当前我国中小砌石坝施工中的诸多工序，主要的还是依靠手工操作来进行。因此费工多、速度慢、劳动生产率也较低。随着我国社会主义工业化的进展，研究如何逐步实现砌石坝施工的机械化与半机械化以减轻劳动强度、提高劳动生产率、加快施工进度应是今后砌石坝施工努力实现的目标。

第三节 为提高砌石坝施工质量和加快施工速度而努力

我国的砌石坝建设事业表明，现在我们不仅能够建造很高的砌石坝，而且也能够在各种复杂的、不良的地基上建造众多不同型式的砌石轻型坝。显示砌石坝施工技术水平的这

两个重要标志，着重说明了我们的砌石坝施工队伍，通过不断实践和总结，已开始掌握了一套砌石坝施工组织管理方法和砌石坝施工工艺技术，为今后高质量、高速度继续发展我国砌石坝建设事业打下了良好的基础。

我国砌石坝施工队伍，大致可分为这样两个部分。省属的大中型砌石坝工程（坝体砌筑工程量往往达数十万米³），其施工队伍一般是由专业施工人员配以受益地区部分民工和技工共同组成，并配备有必需的施工机械。除石料加工、坝面铺砌、坝上部分水平短距运输等工序仍多以人力操作外，其余工序基本上已经实现了机械化或半机械化施工。他们进行常年施工并具有自制轻型施工机具的能力，施工管理、施工技术力量均较强，施工质量好，施工进度快。例如浙江鄞县皎口水库细石混凝土砌石重力坝工程，机械化施工组织得较好，年平均完成砌筑量在12万米³以上。另一支队伍则承担着大部分中小砌石坝工程的施工任务。他们是由所在县及受益社队的民工及少数技工组成并由地方自行组织施工。这支队伍机动灵活，但工期一般拉得较长。由于缺乏施工机具，故仍以人力操作为主。一般地说，其施工技术力量较为薄弱，砌筑质量不够稳定，工效也不够高。

一、努力提高砌体施工质量

水利水电基建工程质量是关系到下游千百万人民生命财产安危的大事。确保工程质量是水利水电基本建设的百年大计。

我国砌石坝的工程质量总的来说是好的，直至目前为止极少因工程质量问题而有垮坝等重大的工程事故发生。河北省邢、邯地区建有的36座大小砌石坝，曾经受了一九六三年特大洪水和一九七六年强烈地震的严峻考验，结果无一垮坝，这不仅说明了质量优劣的问题，也同时证明了砌石坝具有很大的安全性。但在全国各地，由于各工程的自然条件和施工条件千差万别，工艺来源不一，施工技术水平不尽相同，少数工程单纯追求进度、忽视施工质量控制，因而亦确有为数不少的工程出现了程度不同的工程质量缺陷。较为普遍存在的问题是：坝身裂缝、漏水、析出白色游离钙等，大多是属于坝体砌筑质量上的问题。砌石坝普遍长期地漏水，不仅影响水库正常蓄水，使效益不能充分发挥，更严重的是会降低坝体强度，最终危及坝的安全。

提高砌石坝的工程质量，必须从树立起全面质量管理的观点入手，建立起一套科学的施工质量管理方法。从对原材料的选用、砂浆或混凝土的配制、石料铺砌、砌体养护等各施工环节均应实行质量控制，而其中特别重要的关键则是抓好坝体铺砌的密实。

目前在砌石坝施工中，对砌体质量的控制，主要是在强度和密实度两个方面。但由于我国的《砌石坝施工技术规范》正在制订中，对于砌体质量的评价，现在还没有一个统一的标准。现将前一时期全国大多数砌石坝工程，对砌体强度与密实度的控制方法、对砌体质量的评定标准，简述如下：

1. 关于砌体强度的控制 一般是通过施工现场取样，然后测定各类胶结材料（水泥砂浆、小石子水泥砂浆、各类混合砂浆或细石混凝土等）不同龄期的强度，代替对砌体强度的直接测定。确切地说，这实际上仅只是对胶结材料实行强度控制。诚然，胶结材料的强度与砌体的强度，它们二者之间可以近似地建立起某种定量的关系，从而间接地推算砌体

强度。但是欲把这二种强度的变换仅看作是纯数学的演算,那是不符合实际的,因为有些影响因素(如砌筑工艺等)难以确切地体现在这经验性的公式中,更何况胶结料与砌体在破坏机理上存在明显的差异。因此,当工地条件具备时,直接对砌体作强度测定较为适宜。对一般条件不具备的中小工地,采用控制砂浆强度的办法,也还是可行的。

至于强度的控制标准,一般地规定砂浆实测强度(砌体换算强度)或砌体实测强度均不得低于设计所提出的强度要求。

2.关于砌体密实度的控制 各地所采用的有定性与定量两类方法。属于定性的有敲击听声、抽样撬开、插钎灌水等检查手段。属于定量的有砌体容重(空隙率)测定与钻孔压水试验等检查方法。鉴定砌体密实度的标准也尚无统一的规定,一般多以实测砌体容重大于或等于设计容重,砌体的空隙率不大于 $2\sim 3\%$,砌体的单位吸水率不大于 $0.03\text{升/分}\cdot\text{米}\cdot\text{米}$,即认为砌体基本密实。

应该指出,用以判别砌体施工质量的强度、容重、空隙率、单位吸水率等项指标,它们之间有着一定的内在联系。因此,各个工程可根据自己的具体情况,抓住主要矛盾,择其中之 $1\sim 2$ 项能体现出砌体质量主要特性的指标作为质控标准。

砌石坝施工质量的好坏是关系到工程成败的重要问题,因此在整个施工过程中,必须始终强调质量的重要性,层层把好质量关,一定要把砌石坝的施工质量搞上去。施工质量是由参加施工的全体人员来加以保证的,所以要运用各种形式,经常对职工进行搞好工程质量的思想教育和有关工程质量基本知识的学习,做到人人自觉关心工程质量。在这同时,还应建立或健全有关质量管理的各项规章制度。在编制施工计划和施工措施的同时,必须编制保证工程质量的措施。在施工进行中,要切实执行质量检查制度、工程质量报告制度和质量事故处理制度。只要认真地落实质控措施,防患于未然,进一步提高砌石坝的施工质量,是完全可以做到的。

二、为加快砌石坝的施工速度而奋斗

存在于砌石坝施工中的另一个需要逐步加以解决的问题,是施工速度问题。一般地讲,砌石坝的施工主要还是依靠手工操作,因此随之而来的缺点就是施工速度较慢、工期拖得较长、综合工效也较低。现将反映目前我国砌石坝施工的几项技术经济指标,如工期、年平均砌筑强度、综合工效等统计资料分别列于表1-4和表1-5中,以资比较。

我国的砌石坝施工可分属为两类,一类是属于省建的较大工程,其工期一般为 $3\sim 5$ 年;年平均砌筑量可达 10万米^3 以上;综合工效(从采石直至所有用工都包括在内)约为 $0.1\text{米}^3/\text{工日}$ 。如浙江皎口水库砌石重力坝即属此例。另一类属于县、社兴建的中小型砌石重力坝工程,工期一般为 $2\sim 3$ 年;年平均砌筑量约为 3万米^3 左右;综合工效约为 $0.05\text{米}^3/\text{工日}$,如广西充粟水库浆砌石重力坝即属此例。一般浆砌石拱坝工程,由于大坝体形复杂、施工技术要求高、难度大、工作面小,对施工进度均有较大影响,因此年平均砌筑量稍低。但对同等坝高的工程,拱坝的工程量少于重力坝,所以就其工期来说,拱坝尚可领先。又从统计资料还可知,大多数砌石坝工程,如仅计及坝面铺砌一项,则砌筑平均工效可以达到 $2.6\sim 3.3\text{米}^3/\text{工日}$ 。这说明砂石料的开采与运输是占用了大量的劳力,因

表 1-4

砌石坝施工年平均强度统计表

序号	工程名称	工程地点	坝型	坝高 (米)	坝体砌筑材料	施 工 期 限		工 程 量 (万米 ³)		年 平 均 砌筑强度 (万米 ³ /年)
						开 工	竣 工	浆砌石	混凝土	
1	大白岸	浙江龙泉	重力坝	44.5	细石混凝土砌块石	1966年	1967年	10.1		10.0
2	南 江	浙江东阳	重力坝	34.0	细石混凝土砌块石	1969年	1971年	10.0		5.0
3	马蹄畚	浙江庆元	重力坝	30.0	细石混凝土砌块石	1966年	1967年	6.6		6.6
4	东 塘	浙江义乌	重力坝	35.3	细石混凝土砌块石	1969年	1971年	3.6		2.0
5	大 圳	湖南新宁	重力坝	79.3	浆砌块石	1973年	1979年	27.0	5.0	5.2
6	柿 竹	湖南衡阳	重力坝	30.2	浆砌块石	1958年2月	1959年6月	2.3	0.3	2.0
7	青天河	河南博爱	重力坝	76.0	浆砌块石	1966年9月	1972年12月	17.2	3.1	3.2
8	充 粟	广西博白	重力坝	48.2	浆砌块石	1972年8月	1975年3月	8.0		3.1
9	香 山	河南新县	拱 坝	68.0	浆砌块石	1969年9月	1972年8月	17.2	3.0	6.7
10	岩鹰山	贵州修文	拱 坝	56.0	浆砌块石	1972年1月	1972年9月	3.7	0.6	4.3
11	团 结	贵州余庆	拱 坝	37.0	浆砌块石	1975年	1978年	5.6		2.0
12	茅 溪	湖南大庸	拱 坝	57.0	浆砌块石	1975年8月	1979年	7.5		1.8
13	六 班	广西贵县	拱 坝	32.1	细石混凝土砌石	1972年1月	1972年12月	1.8		1.8
14	胜 利	四川西阳	拱 坝	55.0	细石混凝土砌条石	1974年	1978年	7.9		2.0
15	山虎关	四川武隆	拱 坝	45.0	细石混凝土砌条石	1974年	1977年	3.5		1.2
16	金 田	广西桂平	支墩坝	53.0	浆砌块石	1970年	1975年	17.6		3.5
17	合水口	福建建宁	重力坝	22.0	浆砌块石	1970年8月	1972年2月	3.95		2.7

表 1-5

砌石坝施工综合工效统计表

序号	工程名称	工程地点	坝 高 (米)	坝 型	坝 体 材 料	大坝工程量 (万米 ³)	总用工日 (万工日)	综合工效 (米 ³ /工日)
1	东 溪	福建仙游	57.0	双曲拱坝	细石混凝土砌块石	5.24	155.0	0.0338
2	七 里 街	福建建瓯	32.5	单曲拱坝	细石混凝土砌块石	1.16	20.0	0.0508
3	山 派	福建寿宁	31.0	单曲拱坝	细石混凝土砌块石	0.39	7.3	0.0538
4	水 埠	福建泰宁	50.7	双曲拱坝	水泥砂浆砌块石	3.04	46.7	0.0650
5	岩 鹰 山	贵州修文	56.0	单曲拱坝	水泥砂浆砌块石	4.30	65.0	0.0660
6	七 里 坝	贵州赤水	26.6	单曲拱坝	水泥砂浆砌块石	1.97	30.0	0.0656
7	木 蓑 衣	贵州金沙	30.0	单曲拱坝	水泥砂浆砌块石	1.72	28.0	0.0615
8	藤 基 坝	贵州赤水	28.0	单曲拱坝	水泥砂浆砌块石	1.23	14.6	0.0842
9	贵 央	贵州三穗	30.5	单曲拱坝	水泥砂浆砌块石	1.30	19.0	0.0684
10	长 沙 坝	四川威远	52.0	单曲拱坝	水泥砂浆砌条石	3.80	73.0	0.0520
11	红 旗	四川垫江	51.6	单曲拱坝	水泥砂浆砌条石	2.86	64.0	0.0447
12	寨 岭	浙江新昌	32.0	单曲拱坝	水泥砂浆砌块石	1.20	30.0	0.0400
13	石 门	浙江新昌	29.0	重 力 坝	细石混凝土砌石	1.65	17.0	0.0970
14	野 沟 门	河北邢台	45.0	连 拱 坝	水泥砂浆砌块石	20.2	569.0	0.0355

此,如能采用机械开采、改善运输条件,则综合工效就可大为提高。

为了减轻劳动强度、提高劳动生产率、缩短工期加快我国砌石坝的施工速度,摆在我们面前的迫切任务是需要研究如何实现砌石坝的机械化、半机械化施工。从砌石坝的整个施工过程来分析,它的诸多工序,如石料、砂料的开采、运输,胶结材料的配制,物、料的垂直吊升运输等等均与混凝土坝、堆石坝的施工具有类同的特点,其机械化施工的经验

完全可以为砌石坝施工所借鉴。

根据我国当前实际国情，走砌石坝施工机械化道路的第一步，应立足于贯彻自力更生、因地制宜的原则，在不断总结自己施工经验的基础上，将已证明行之有效的现有施工机具实现定型配套，形成生产能力。再一步是从外地引进较为先进的施工机械，逐步试制推广。根据砌石坝施工自身的特点，现时首先需要解决的重点是石料的制备、运输、石料和胶结料的垂直吊升运输、石料铺砌中的砂浆捣实等环节。在这方面，四川、福建、浙江等省所选用或研制成功的简易缆机、卷扬索道、井架式提升机、轻型塔式起重机、直径3厘米的小型振捣棒、钢板振动片等都已获得良好的实际效果，可以逐步推广应用。

在实现机械化施工的过程中，还存在一个极为重要的机械使用与维修管理问题。有些工程虽则有了一些施工机械，但由于管理、使用不善，维修跟不上，机械经常出故障，那么机械的利用效率就会很低，不能充分发挥机械的应有作用。

实现机械化施工是我国社会主义现代化建设的必然发展趋势，也是解决砌石坝施工速度问题的根本出路所在，我们应为之奋斗不息。