



土石坝机械化施工方法及设备

周业简 编著



土石坝机械化施工方法及设备

陈业清 编著

河南人民出版社

内 容 提 要

土石坝在我国有悠久的历史。在全国已建成的大坝中,土石坝占96%。在国际上,坝高超过300米的只有土石坝。但土石坝坝体大,还使用大量劳力。要加快建坝速度、减少人力、增加坝高,必须向施工机械化和现代化发展。

本书共分五章,包括概说、机械化施工方法、挖装机械、运输机械和压实机械。重点阐述国内外土石坝建设的发展趋势,土石坝机械化施工的特点、水平、方法、主要机械设备,并附有施工实例,还编列了一些国内外施工机械型号规格图表,可供从事土石坝施工和设计人员、水利工作者和水利院校师生参考。

土石坝机械化施工方法及设备

陈业清编著

河南人民出版社出版

河南第一新华印刷厂印刷

河南省新华书店发行

787×1092毫米16开 9印张 200千字

1980年4月第1版 1980年4月第1次印刷

印数1—2,000册

统一书号15105·26 定价0.80元

目 录

第一章 总说	(1)
一、概述.....	(1)
二、国外土石坝的发展趋势.....	(2)
三、我国土石坝发展情况.....	(3)
第二章 土石坝机械化施工方法	(6)
四、国外土石坝现代机械化施工的特点和实例.....	(6)
五、我国土石坝机械化施工的发展和实例.....	(9)
六、土石坝现代机械化施工国际水平.....	(15)
七、土石坝机械化施工方法.....	(18)
第三章 挖装施工机械	(25)
八、挖掘机械.....	(25)
九、单斗挖掘机.....	(25)
十、斗轮挖掘机.....	(44)
十一、装载机.....	(53)
十二、采沙船.....	(62)
第四章 运输施工机械	(64)
十三、运输方法.....	(64)
十四、自卸汽车(即倾卸车).....	(65)
十五、皮带机.....	(89)
十六、铲运机.....	(103)
十七、窄轨机车及车辆.....	(112)
第五章 压实施工机械	(117)
十八、压实机械与压实方法.....	(117)
十九、羊足碾.....	(118)
二十、气胎碾.....	(122)
二十一、振动碾.....	(125)
二十二、夯实机械.....	(135)
后 记	(140)

第一章 总 说

一、概 述

施工机械化是我国实现四个现代化的一个具体内容。水利水电工程的施工机械化，关系到农业发展和电力建设问题，具有十分重大的意义，是我们当前的重要任务。

土石坝在我国有悠久的历史，可就地取材，易于施工，对基础要求不高，是坝工建设中的主要坝型。据1972年统计，全国共建成高于15米的大坝12,517座（台湾省未统计在内），其中土石坝12,006座，占96%。据国外统计，土石坝占大坝总数亦达69%。但土石坝坝体庞大，如以人力为主施工，使用劳力极多，而且坝高受到限制。当前经济建设要持久地、按比例地、高速度发展，要使粮食生产和其他农副产品生产的发展同人口的增长和工业的发展互相适应，农业必须大干快上，这样，坝工建设中面临的加快速度和减少劳力问题，势将推动土石坝施工向机械化和现代化发展。因此，对于土石坝建设来说，发展适合我国国情的现代施工机械，提高机械化施工水平，从而提高劳动生产率和加速施工进度，是我国施工中必须重视的一个关键课题。

从国外来看，土石方施工使用机械，已有一百多年历史，但施工机械的迅速发展和广泛应用，还只是近五十多年的事。六十年代以后，土石方施工机械发展较快，重型通用建筑机械应用于水利工程建筑物施工，使土石坝成为比较经济的坝型，推动土石坝所占比重增大，高土石坝愈建愈多。现在世界上坝高超过300米的，只有土石坝。

从国内来看，建国以来，土石坝的施工：解放初期以人力为主，配合少部分施工机械；到1958年前后，有些重点大型水库开始以机械施工为主，配合人力施工；到七十年代如碧口、石头河土石坝开始以现代施工机械筑坝，土石坝坝高突破百米。总的来说，正在向机械化施工发展，逐步提高施工机械化水平。

就修建土坝较早的河南省来说，机械化施工发展不快，多年来施工水平，大体上还徘徊在五十年代后期的水平。例如河南省七十年代初修建的鲇鱼山水库与五十年代末辽宁省修建的清河水库相比（如表1-1），两者工期、使用劳力相仿，清河土坝每立方米成本略低，而工程量清河土坝比鲇鱼山土坝大2.7倍，这主要是施工机械化水平不同，劳动生产率因之不同所致。

若与六十年代用现代机械施工的希腊的克瑞马斯塔坝相比，其坝体方量为鲇鱼山土坝的2.6倍，而工期缩短14个月，劳力不到十分之一。若与六十年代用现代重型机械施工的美国渥洛维尔土石坝相比，该坝每年平均填筑量达1,500万立方米，鲇鱼山土坝每年平均填筑量为140万立方米，尚不足该坝平均年强度的十分之一，该坝仅用劳力500人，而鲇鱼山土坝使用劳力达4万人，其差距之大，可见一斑。

因此，土石坝施工，如何提高机械化水平，如何向中国式现代化施工前进，如何引进适合我国国情的先进技术，自力更生的发展施工机械生产制造，已成为当前迫切的问

题。

本文介绍土石坝的发展趋势，探讨国内外土石坝机械化施工水平、差距、配套成龙模式，重点介绍从挖掘、装载、运输到压实坝体等一系列工序的施工方法和设备，供施工、设计人员参考。

表 1-1 国内外土石坝机械化施工水平对比表

库 名	库容 (亿立方米)	坝 型	坝 高 (米)	坝 长 (米)	坝 体 方 量 (万立方米)	施 工 时 间			使用 劳 力 (人)	投 资 (万元)	土石坝 成 本 (元/立方米)	备注
						开 工	拦洪 或 竣工	大坝 工期 (月)				
我国河南省 鲇鱼山水库	8.5	心墙 沙壳坝	37.5	1,446	305	1970年 3月 8日	1972年 5月 13日	26	40,000	主坝 1,345	主 坝 4.4	人力机 械并用
我国辽宁省 清河水库	9.57	斜墙 沙壳坝	39.4	1,622	824	1958年 5月 3日	1960年 9月	28	40,450	大坝 3,494.8	4.25	简易机 械化施 工
希 腊 克瑞马斯塔水库	47.5	心墙 土石坝	160.3	456	813.1	1964年 5月	1965年 7月	实际 12	3,000	全工程 3,050 万美元		由美国 公司承 包，现 代机械 化施工
美 国 瑟洛维尔水电站	42.9	斜心墙 土石坝	224	2,070	5,900	1963年 10月	1967年 10月	48	500	全工程 21,800 大坝 11,400 万美元	1.93 美元/立米	用正型 现代机 械施工

二、国外土石坝的发展趋势

六十年代以来，国外高土石坝愈建愈多。

根据国际大坝会议《世界坝登记》1976年的资料，国外所建100米以上高坝，1950年前共有42座，至1974年增至283座，连同1975年后建成和正在施工的（不完全统计）共达371座，土石坝占45%，重力坝占22%，拱坝占33%。从发展的趋向看，高土石坝（包括土坝、堆石坝、土石混合坝）在全部100米以上高坝中所占的比重：1960年前为31%，1975年后增至62%，超过了拱坝和重力坝合计的数量（表1-2），国际上高坝采用坝型的趋向，土石坝比重日见增加，高土石坝愈建愈多（注一）。

高土石坝愈建愈多的原因，主要是：（1）土石坝较能适应比较差的地质条件。有些国家对地质条件较好的坝址，已经开发，剩下的地质条件较差，修建土石坝比较合适。（2）近来对土石坝设计技术有发展，土壤力学的理论和实验有进步，对土石坝上坝材料，要求放宽，可尽量就地取材，根据材料情况设计。（3）土石坝可节省大量水泥。（4）特别是六十年代以来，土石坝施工机械的发展，大斗容、高效率、重型、大能量机械配套成龙，广泛采用液压技术，轮胎式自行机械和振动碾等能增大上坝强度、缩短工

〔注一〕水电部科技情报所编：《国外高坝采用坝型的趋向》载《国外水利电力消息》1977年16期。

期、降低造价，使修建土石坝成为比较经济的坝型。

表 1-2 世界上坝高在 100 米以上的各种坝型统计

建 成 时 期	土 石 坝		重 力 坝		拱 坝		共 计 (座)
	座	%	座	%	座	%	
1950年前	13	31	16	38	13	31	42
1951—1960	22	31	21	30	28	39	71
1961—1968	42	38	24	22	44	40	110
1969—1974	34	56	7	12	19	32	60
1975后	55	62	14	16	19	22	88
总 计	166	45	82	22	123	33	371
亚非拉发展中国家占	46	57	15	19	19	24	80

坝的高度，在三十年代，重力坝已达 221 米（美国的鲍尔德坝），拱坝 127 米，土石坝 121 米。到六十年代初重力坝达到 285 米（瑞士大狄克逊坝），拱坝 262 米（意大利瓦依昂坝），土石坝 155 米，土石坝当时比重力坝和拱坝都低。六十年代以来，正如前述，由于土石方施工机械迅速发展，高土石坝工程量虽大，工期并不比砼坝长，造价亦不比砼坝高，土石坝发展因之较快，在 1968—1975 年内，即已建成 200 米以上高土石坝 4 座（美国渥洛维尔坝，高 224 米；加拿大买加坝，高 244 米；土耳其凯班坝，高 207 米；哥伦比亚契伏坝，高 237 米）。当前坝高超过 300 米的只有土石坝。苏联努列克土石坝高 317 米，1977 年建成；罗贡土石坝，高 325 米，仍在施工中。美国渥洛维尔土石坝，高 224 米，坝体方量 5,900 万立方米，专门设计了大型施工机械，仅用 500 工人，在 4 年内完成大坝填筑。希腊的克瑞玛斯塔土石坝，高 160.3 米，坝体方量 813.1 万立方米，用 3,000 工人，坝体填筑工期实际仅 12 个月，月最大填筑强度达到 100 万立方米（注二）。

三、我国土石坝发展情况

我国解放以来，土石坝，特别是土坝，是建设最多的一种坝型。

旧中国长期在封建主义、帝国主义和官僚资本主义的统治下，人民群众饱受剥削和压迫，社会生产力很低，水利建设极少。就坝工建设而言，国民党反动统治时期，全国稍大的水坝不到 10 座。1949 年新中国成立后，在党中央领导下，遵照毛主席“水利是农业的命脉”的指示，自力更生，勤俭建国，依靠群众，大办水利。据初步统计：1949 年到 1972 年间，全国共建成高于 15 米的大坝共 12,517 座（台湾省未统计在内）。平均每年建坝超过 500 座（注三）。全国已建成 15 米以上的各类大坝，统计如表 1-3，以土石坝建的最多，占我国大坝总数的 96%。这主要是由于这种坝型可以就地取材，施工简易，大

〔注二〕水电部科技情报所编：《希腊、南斯拉夫两国部分水电工程情况》1976 年 3 月。

〔注三〕张光斗等著：《中国水利事业中的坝工建设》1973 年 4 月。

搞群众运动。但由于施工机械的发展速度不快，土石坝建的不高，坝高在15—30米的占91.3%，坝高超过60米的仅19座，占土石坝总数千分之一点五。

表 1-3甲

我国1949年至1972年坝工建设分类统计表

分	类	大 坝 座 数	备 注
总 数		12,517	台湾省未统计在内
按坝型分	土 坝	11,877	未包括坝高低于15米的大 中小型水库
	堆 石 坝	129	
	砌 石 坝	438	
	砼 坝	73	
按坝高分	15—30米	11,321	
	30—60米	1,150	
	>60米	46	
按库容分	大型(>1亿立方米)	254	
	中型(0.1—1亿立方米)	1,307	
	小型(<0.1亿立方米)	10,956	

表 1-3乙

我国各种类型土坝的数量统计表

数 量 (座) 坝 高 (米)	均质坝	心墙坝	斜墙坝	其 他	合 计
15—30	7,164	2,785	118	796	10,863
30—60	542	322	37	97	998
>60	7	5	4	—	16
总 数	7,713	3,112	159	893	11,877
百 分 数	65%	26.2%	1.3%	7.5%	100%

表 1-3丙

我国各种类型堆石坝的数量统计表

数 量 (座) 坝 高 (米)	心 墙 坝	斜 墙 坝	照谷社型坝 (注四)	合 计
15—30	43	30	19	92
30—60	9	25	—	34
>60	—	3	—	3
总 计	52	58	19	129
百 分 数	40.3%	45%	14.7%	100%

〔注四〕浙江省温岭县人民群众，根据当地河谷狭窄，土料不足，溢洪道开挖量大等特点，在岩基上兴建了许多坝顶可以溢流的堆石坝（坝顶水头>1米）称照谷社型坝。

五十年代，我国砼坝坝高已超过 100 米。重力坝如三门峡坝高 106 米，新安江坝高 105 米，大头坝如新丰江坝高 105 米。而土石坝则由于受施工设备的条件限制，坝高工程量，施工渡汛和建设工期均有一定问题，因而未建高坝。当时中小型土坝一般多在 30 米上下；大型水库重要的如官厅（坝高 45 米）、岳城（坝高 51.5 米）、大伙房（坝高 48 米）、南湾（坝高 35 米）、陆浑（坝高 52 米）、鸭河口（坝高 32.5 米）、汾河（坝高 60 米）等坝亦不高，五十年代建成的最高的土坝为广东海南松涛土坝，高 76 米（注五）。

七十年代以来，我国开始用现代化土工施工机械修坝，如已建成发电的甘肃碧口土石坝，坝高 101 米，正施工的石头河水库土石坝，坝高 105 米，土石坝高度开始突破 100 米。

我国土石坝施工，五十年代以人力为主，配合少部分施工机械，筑坝时使用劳力甚多，大型水库如密云土坝上劳力 20.5 万人、南湾土坝上劳力 8.3 万人、陆浑土坝上劳力 8.1 万人、鸭河口土坝上劳力 9.87 万人。六十年代初建成，用简易机械化施工的清河水坝土坝，上劳力还超过 4 万人。七十年代以来，大量动员农业劳力筑坝，已有实际困难，施工机械化已摆在议事日程。甘肃碧口水电站土石坝首先试用现代施工机械，最高劳力减到 3 万人，石头河水库土石坝，施工中进一步配套成龙，劳力减到 0.8 万人。显然，用现代施工机械修建土石坝，势在必行。

〔注五〕水电部编：《全国大型水利水电工程卡片》1960 年 1 月。

第二章 土石坝机械化施工方法

四、国外土石坝现代机械化施工的特点和实例

近年来,国外大型通用建筑机械的发展有两大、两高的特点,如表2-1, 2-2, 即向功率大、容量大、效率高和起重高度高发展,以美国、日本和西德较为突出;同时,发展轮胎自行式机械和采用液压技术(注六)。

土石坝施工机械亦如此,其发展的特点和趋势为(注七):

1. 大斗容、高效率:国外许多大中型通用机械多用于水工建筑物工程施工,例如:生产率为2,300立米/时斗轮挖掘机,在美国圣路易斯和渥洛维尔土石坝应用;斗容10—11.5立米挖掘机,在巴基斯坦塔尔巴拉堆石坝和美国卡斯泰克土石坝应用;功率为385马力推土机,在加拿大波太基山堆石坝,日本长野堆石坝应用;载重量为100—110吨自卸汽车,在美国渥洛维尔土石坝和加拿大波太基山堆石坝等工程应用;容积57.5立米铲运机,在美国新浓和新顿彼德土石坝应用;重9—13.5吨振动碾广泛用于瑞典、美国、日本、西德等国家。

苏联也在试制8—12.5立米的挖掘机,25—40立米的自行式铲运机和75吨自卸汽车等大型施工机械。

但是,目前国外绝大多数水电工地仍以采用中型施工机械为主力。例如挖掘机斗容以4—6立米为主;自卸汽车的载重量以32—65吨为主;铲运机容积以16—24.5立米为主等。据称,采用中型机械设备可提高每台机械的总产量。

2. 配套成龙:国外各工地注意各工序所用机械的配套成龙,使它们的斗容和效能相互配合。例如:在使用10—11.5立米挖掘机时,用385马力推土机和100—110吨自卸汽车配合,以充分发挥各工序所用机械设备的效率,从而提高生产率。

3. 用长皮带机运料:近年来,国外有些高土石坝用长皮带系统运送土石料。例如表2-3美国渥洛维尔土石坝,高224米,坝体方量5,900万立米,用宽1.37米、长19.7公里的皮带机运输(运料5,700吨/时)、用100吨自卸汽车上坝,最大日上坝强度9.4万立米。加拿大波太基山堆石坝,高183米,坝体方量4,370万立米,用20台385马力推土机在取土场进料,长6.4公里皮带机运输(运土12,000吨/时),一年运转六个半月,共运料1,500万立米。巴基斯坦塔尔巴拉土石坝,高141米,坝体方量13,700万立米,用11.5立米挖掘机和110吨自卸汽车采运卵石料,用两条4.8公里皮带机运土料(运土分别为12,000和2,400吨/时)最大月上坝强度达207万立米。

使用皮带机运输的优点是:连续作业、生产率高、适用于地形高差大的工程、所用

〔注六〕国家建委建筑科学研究院编:《国外建筑技术发展动向》1973年12月。

〔注七〕水电部科技情报室编:《国外水工建筑机械》1973年7月。

表 2-1 日本大型施工机械的发展

机 械 名 称	1950年	1953年	1957年	1961年	1964年	1968年	1972年
履带式推土机	重量(吨) 马力 型 号 15.0 95 小松 D80	20.5 150 小松 D120	23.0 200 小松 D120	32.8 300 三菱 B133-T 小松 WD140	35.0 272 小松 D250-15	35.1 310 小松 D250 A-15	41.9 410 小松 D355 A-1
轮胎式推土机	重量(吨) 马力 型 号		16.0 180 三菱 WH	17.0 190 小松 WD140			19.2 200 车洋推土机 220
铲 运 机	容积(立米) 型 号	6 金钢C30 日开FA8	9.9 日开 FA12	14.0 小松 RS12	14.2 三井 FA14	26.7 日本国土开发 275A	27.2 田中制作 ST27CM
自行铲运机	容积(立米) 马力 型 号		6.0 170 三菱 WTS	11.0 240 三菱 MS10	11.0 215 三菱 MS10	30.6 441×2 神钢 562	25.2 458 神钢 480C
挖掘机(机械式)	容积(立米) 千瓦/吨 型 号	4.0 225/ 神钢 200K	2.3 230/82.0 石川 1255	2.3 265/92.5 日立 U23	3.4 265/121.0 神钢 1400	4.6 450/225.0 神钢 1600	11.5 550/408.0 神钢 2100B
挖掘机(液压式)	容积(立米) 千瓦/吨 型 号				0.5 92/162 三菱 Y100	0.5 92/17.0 三菱 Y100	2.8 165/40.0 日钢 RH15
履带式装载机	容积(立米) 千瓦/吨 型 号		1.5 88/12.0	1.8 115/13.0	2.0 140/20.5	1.8 132/18.9	2.0 175/19.25
轮胎式装载机	容积(立米) 千瓦/吨 型 号		1.5 57/6.0 日轮ニ子エ	1.5 105/10.0 三菱 WS-I	1.7 102/10.3 125A	1.9 140/11.86 川崎 KLD7	5.0 318/29.4 375 A
平 土 机	板宽(米) 马力/吨 型 号	3.6 65/10.5 日开 HA56	3.7 100/10.0 三菱 LG1	3.71 118/11.75 小松 GD37-4	3.71 118/11.6 小松 GD37-4	3.71 118/11.7 小松 GD-37-4	3.97 165/14.5 小松 GD40HT-2

资料来源:水电部科技情报室编:《国外大坝建设》1973年5月

表 2-2

美国大型施工机械的发展

机 械 名 称		1950年	1960年	1965年	1970年
履带式拖拉机	重量(吨) 马 力 型 号	26.2 365 Euclid TC-12	27.3 335 Cat D9 FS	31 425 Euclid TC-12	45.8 524 Allis-Chalmers HD-41
	重量(吨) 马 力 型 号			65.3 552 Hough D-500	65.3 552 Hough D-500
履带式装载机	容量(立方米) 马 力/吨 型 号		3.1 /30 Allis-HD-21G	3.1 298/33.8 Allis-HD-21G	3.4 275/31 Cat 983
轮胎式装载机	容量(立方米) 马 力/吨 型 号		4.6 335/28.9 Michigan 375A	7.65 421/55 Hough H400	11.5 709/68 Dart D600
铲 运 机	容量(立方米) 型 号	31.4 Woold-Ridge OS-300	42.0 Le Tourneau 250H/WB	49.7 M-R-S 250HC	21.4 Cat 463F
自行铲运机	容量(立方米) 马 力/吨 型 号	19.9 275/28.5 Woold-Ridge T4-200	42.0 690/50.1 M-R-S 250B	65.3 475/74.1 Le Tourneau LTC-75	44.4 635/67.2 M-R-C 250D
平 土 机	板宽(米) 马 力/吨 型 号	3.97 195/13.5 Huber Warco 5D190	4.27 220/17.9 Galion T700	4.27 250/18.1 Galion T700	6.1 635/46.8 Raygd Giant

资料来源：永电部科技情报室编《国外大坝建设》1973年5月

动力小、操作管理人员少。其缺点是：一旦发生故障，全线停运，而且同时只能运送一种坝料。

4. 加强现场维修保养：国外很注意施工机械的现场维修工作，以提高施工机械的运转率。维修厂在现场的维修用工约占维修总用工数的90%。

例如美国在修筑卡斯泰克土石坝工程时，为了预防机械故障和及时进行检修，在工地设有机械检修厂，在施工现场设有五个机械检修站（共有职工百人）及设在拖车上的日保养流动快速服务站，随时修理、清洗机械。

又如派莱斯坝工地的加油站，同时也是检修站，经常进行预检修，使机械每天可以运行18.5小时，并延长使用年限。

再如娄斯特溪土石坝，靠皮带机运送土石，在休息日有专职人员进行检查，另有40人的修配车间，对各种施工机械经常进行维修。

铁门枢纽在南斯拉夫一侧，基坑附近设有自动化设备的检修场，供各种施工机械的清洗、检修，其生产率为昼夜80台施工机械。

国外土石坝工地，很注意场内外交通道路的修建与维护。如美国新顿彼德勒堆石坝工地，设专门洒水装置维护道路。卡特堆石坝（高138.4米，1969年建成）围堰堆石，用30—35吨尾卸汽车从山上采石场向河谷运料，采用单向环形线，不用长度较短的往返双车线。用平土机经常在运输道路上巡逻，使碎石路面保持良好状态（注八、注九）。日本《坝工设计规范》在土石坝施工部分，专列几条，对交通道路、机械维修、配件储备和供应，提出要求和设计中应考虑的内容。

五、我国土石坝机械化施工的发展和实例

我国土石坝施工，解放以来，从以人力为主逐渐向机械化施工发展。就国家举办的大型水库为例，大体上可以划分为3个发展阶段：

1. 人力为主配合少部分施工机械阶段：五十年代初期，国内大型水库如官厅、南湾、薄山等土坝的修建，主要依靠人力。以河南省南湾水库为例，心墙土坝工程量为340.2万立方米，坝高35米，顶长743米，1952年12月18日开工，1955年3月17日基础处理完成，4月24日截流，7月4日土坝筑达安全拦洪高程，到1955年11月5日土坝全部竣工。其施工方法：挖装用人力，运输用轻便铁轨，人力推斗车和机车牵引斗车（斗容0.6立方米）并用；上坝、铺料用人力，碾压用拖拉机牵引11—13吨羊足碾（压土）或12吨汽胎碾（压沙）。动员劳力最高达83,086人。土坝投资共3,036万元，平均成本8.9元/立方米。日最大填筑强度34,244立方米，月最大填筑强度52.6万立方米（注十）。

2. 施工机械简易配套阶段：1958年前后，土石坝施工向机械化发展，土洋结合，配套成龙。以辽宁省清河水库为例（注十一），斜墙土坝工程量，基础开挖101万

〔注八〕水电部科技情报所：《国外加速水电施工的一些技术措施》载《国外水利电力消息》1975年25期。

〔注九〕参阅《用选择性爆破分选堆石坝料》载美国《施工方法及设备》杂志1965年2月号。

〔注十〕南湾水库工程指挥部：《南湾水库工程技术总结》第二册土坝工程1957年3月。

〔注十一〕辽宁省水利电力厅：《清河水库土坝工程机械化施工总结》。

表 2-3

国 外 土 石 坝 机

序号	国 家	坝 名	坝 型	坝 高 (米)	坝 体 积 (万立方米)	施 工 工 期		填 筑 强 度		施 工 最高人数
						准 备 导 流 工 期	填筑工期	日 强 度 (万立方米/日)	月 强 度 (万立方米/月)	
1	加 拿 大	波太基山 Portage Mountain	斜心墙 堆石坝	183	4,370	1961—1963	1963—1967.9	最 大 12.7	最 大 290	2,500
2	美 国	霍洛维尔 Oroville	斜心墙 土石坝	224	5,900	1957 开始准备	1963.10— 1967.10	最 大 9.4		500
3	美 国	圣路易斯 SanLuis	心墙 土石坝	117	6,000	1963.2— 导流	1966.12— 完工	平 均 9.23	213	
4	日 本	长 野 Nagano	斜心墙 堆石坝	128	630	1965.4— 开工	1968.10 完工	平 均 1.85 最 大 2.08	平 均 31.9 最 大 36.4	
5	日 本	喜 撰 山	心墙 堆石坝	95	230	1967.3— 1967.9	1967.9— 1969.7	最 大 1.15	最 大 24.3	
6	苏 联	努 列 克 Hypek	心墙 堆石坝	317	坝体5,600	1964—1967	基础开挖 1971完成 1971—1979		50	22,000
7	希 腊	克瑞马斯塔	心墙 土石坝	160.3	813.1	1961 开工	1964.5— 1965.7		最 大 100	3,000
8	印 度	皮 阿 斯 Beas	心墙 土石坝	134	开挖2,430 砼 112 3,230	1963.3— 1969.9	1969.10— 1972.6			

械 化 施 工 实 例

主要施工机械使用情况	总工程造价 (亿美元)	装 机 (万千瓦)	备 考
385HP 推土机20台(取土场)6.4公里长 皮带机(速度335米/分,运土1.2万吨/时, 一年运转6.5个月)送料1,500万立方米 100吨自卸汽车运料	5.6	113.5	坝顶长 2,040米 总库容 700亿立方米
斗轮挖掘机1台(开采了3,900万立方米土 石料)1.37米宽,19.7公里长皮带机(送料 5,700吨/时) 100吨自卸卡车上坝	2.18 其中大坝1.14	64.4	坝顶长2,070米,顶宽24.5 库容42.9亿立方米
高10米,重750吨斗轮挖掘机(2,300立 米/时)大型电铲(765立米/时) 91吨自卸汽车(每车运42立米,时速56公 里)	0.859	38	
4.5立米电铲3台,2立米电铲6台 4.6立米装载机1台,385HP推土机3台 270HP18台,30吨自卸汽车25台 22吨自卸卡车20台		22	坝顶长355米 机械运转率70—89%
1.7—2立米挖掘机6台 自卸汽车38台,推土机7台,44吨轮胎辗 1台,羊足辗1台,振动辗1台		46.6	坝顶长267米 蓄能电厂上坝
4.6—5.6立米挖掘机13台 27吨自卸汽车100台(72年增加60吨自卸 卡车) 50—75吨汽胎辗	9.6	270	坝顶长700米,顶宽20米 总库容104亿立方米
心墙用32吨自卸汽车运送坝上,推土机走 两遍压平,羊足辗压实;河床沙卵石用铲形 装载机,皮带机上车(三套,1,800立米/时, 上坝4万立米/昼夜)2台50T汽胎辗压实, 14台25立米底卸汽车,18台18立米底卸汽 车,39台14立米尾卸汽车,6台装载机,18 台推土机,3台拖拉机,4台铲斗,2台水 车,3台流动式装载机,9台钻机,8台运 砂汽车,2台汽胎辗,2台羊足辗,13台起 重机,62台各种汽车	0.305	43.7	坝顶长456米 有效库容33亿立方米 由美国公司承包施工
1.15—5.3立米挖土机23台,5.3—32立米 运土机械100台,推土机71台,铲运机4台, 平土机9台,羊足辗17台,4—5吨振动辗19 台,洒水车3台	16.98亿卢比 (其中大坝2.53 亿美元)	36	坝顶长1,950米 有效库容68.8亿立方米

续 表

	国 家	坝 名	坝 型	坝 高 (米)	坝体积 (万立方米)	施 工 工 期		填 筑 强 度		施 工 最高人数
						准 备 导 流 工 期	填筑工期	日 强 度 (万立方米/日)	月 强 度 (万立方米/月)	
9	巴 基 斯 坦	塔尔巴拉 Tarbela	斜心墙 土石坝	141	13,700	1968.5— 1970.1	1970.10— 1975.6	9.5	207 砗18.4	14,000
10	泰 国	锡里基特 (帕松)	土石坝	103	1,100	开工1968 导流1970	完成1972			1,700
11	墨 西 哥	西朔赞	心 墙 土石坝	245	1,200	1974—1975 旱季截流	正施工。 计划1978年 10月第一台 机组发电。			
12	加 拿 大	买 加 Mica Creek	心 墙 土石坝	244	3,200	1964—1968.5	1969—1973			地下开挖 1,500 大坝 1,620

资料来源：水电部科技情报室编：《国外大坝建设》1973。5；《希腊、南斯拉夫两国部分1976年9期《加拿大水电建设概况和特点》，《加拿大买加水电站》

立米，坝体填筑723万立米。坝高39.4米，顶长1,622米。1958年5月3日开工，1959年4月15日截流，汛期小断面拦洪，到1960年9月竣工。其施工方法：坝壳沙料用采沙船或0.5—1立米挖掘机采沙，18吨机车牵引3.5立米矿车运输，700—1,000毫米宽皮带机上坝，推土机散沙，挖土机带2—2.5吨夯板压实，仅用少量劳力配合辅助生产，初步计算机械化施工程度约96%。防渗体土料用机车运输，皮带机上坝，13.5吨羊足碾，18及27吨两种汽胎碾压实，其他工序如挖土、装车、坝面散土则为人工操作，机械化程度为70%。

动员劳力最高40,450人（不包括技工），用974万工日，平均每工完成0.85立米。土坝投资3,494.8万元，平均成本斜墙防渗体13.98元/立米，沙壳2.7元/立米，总平均4.25元/立米。日上坝强度：沙壳最高45,358立米，一般28,000—30,000立米；粘土斜墙最高11,200立米，一般7,759立米。

清河土坝共用大小机械2,199台，合计动力19,961马力，施工供电总设备容量5,946千瓦。各种主要施工机械的综合利用率从20.3%到61%，平均42.2%（表2-4）。

这种施工方法在国家举办的大型土石坝工地，在整个六十年代以及七十年代仍然使用。有些因限于设备，用架子车人力运输，爬坡机上坝，特别是中小型水库的土坝施工，人力操作的比重更多。

主要施工机械使用情况	总工程造价 (亿美元)	装 机 (万千瓦)	备 考
11.5立方米电铲, 110吨底卸汽车采运卵石, 铲运机挖运粉沙至主加工厂, 分级再行配比, 调整含水量后, 用2条4.8公里皮带机运到坝址(运输量为12,000及2,400吨/小时), 用底卸汽车分料上坝	6.23	100	坝顶长2,700米, 另有两座副坝 初始有效库容114.8亿立方米 总库容137亿立方米
4.2立方米装载机6台, 3.4立方米装载机1台, 35吨自卸汽车30台 用40吨气胎碾碾压	建 坝 费 0.284	52.8	坝顶长730米
1.4米皮带机(5,000吨/小时)运堆石; 1米宽皮带机(1,500吨/小时)运心墙土料 反滤料和沙卵石过渡料; 15吨振动碾压实堆石(层厚50厘米, 洒水)		240	坝顶长600米 库容16.6亿立方米
装料用斗容10.7立方米的前向装载机8台; 送料用120吨底卸汽车73台; 碾压心墙用75吨气胎碾, 铺土厚25厘米, 压四遍。沙砾石料用10吨振动碾, 铺厚15—60厘米, 压2—8遍	大坝1.36	261	坝轴线向上游弯曲, 半径305米, 顶长792米, 总库容246亿立方米

水电工程情况》1976. 3; 国外水利水电消息1976年7期; 《墨西哥正在建设的三座高土石坝》

表 2-4

清河土坝主要施工机械利用率

机械名称	规 格	台班利用率(%)	台时利用率(%)	综合利用率(%)
拖拉机	C—80(80—93马力)	53.8	37.3	20.3
推土机	C—80(80—93马力)	66.5	68.4	45.5
挖土机	Э—505(0.5立方米斗容)	54.3	54.7	29.7
打夯机	Э—505(夯板重2吨)	56.0	45.5	25.5
采沙船	120梯斗式(705立方米/台班)	73.7	57.4	42.3
机 车	762轴距蒸汽机车(运土)	91.3	66.8	61
机 车	762轴距蒸汽机车(运沙)	85.2	69.1	58.9
皮带机	宽0.7米(运土)	92.7	62.8	58.2
皮带机	宽0.7米(运沙)	85.2	48.2	38.6
平均利用率		72.5	56.6	42.2

3. 开始大型施工机械筑坝阶段: 七十年代开始用大型施工机械筑坝, 土石坝坝高突破百米。例如已竣工的碧口水电站, 控制白龙江流域面积2.6万平方公里, 总库容5.21亿立方米, 装机容量30万千瓦, 年利用小时4,880小时。最大坝高101米, 顶长297米, 最大坝底宽532米(注十二)。

〔注十二〕水电部第五工程局: 《白龙江碧口水电站技施设计书》1975年9月及《碧口水电站土石坝机械化施工》载《水利电力消息》1977年第9期。