

学科行业发展与科技进步学术报告

文集

贵州省科学技术协会

1999年8月

前 言

为纪念贵州省科协成立 40 周年,贵州省科协组织部分省级学会开展了回顾 20 世纪我省学科、行业发展与科技进步所取得的成就,展望预测 21 世纪我省学科、行业发展前景,为促进贵州科技进步,行业发展出谋献策为主要内容的系列学术报告活动。这项活动得到学会和广大科技工作者的大力支持,26 个学会邀请省内外专家、学者从 3 月中旬至 6 月下旬,历时 3 个多月,共作学术报告 35 场次,听报告人数达 4400 多人次。这些学术报告涉及的学科多、层次高、内容新,给人耳目一新的感觉。《学科、行业发展与科技进步》报告文集共收集了 28 篇文章,内容包括理、工、农、医、交叉学科的许多领域。作者联系我国和贵州实际,就 21 世纪植物药研究与开发,贵州地质矿产特征及其地球科学意义、知识与市场经济时代的地理学、自动化新技术、可视通信系统、电信新技术应用,面坝堆石坝的发展及工程应用、因特网国内外发展趋势、21 世纪的战斗机及其发展动向,地空导弹的发展趋势及其对策、世纪之交的老龄居住环境等多学科领域,从不同角度反映了我省学科发展的水平并对促进科技与经济结合,实施科教兴黔战略和可持续发展战略,迎接知识经济时代挑战,振兴我省经济与科技事业提出了许多建议。《学科、行业发展与科技进步》一书出版,有助于政府有关部门策和科技工作者了解我省学科、行业发展与科技进步的一些情况和问题,为领导决策提供一定的帮助。

编入《学科、行业发展与科技进步》一书的文章,均由有关学会推荐,并按作者原稿进行编排,(其中有几篇文稿只是策提供纲或作者没时间重新整理未收入文集)由于时间紧,在编校中错误和不妥之处在所难免,敬请读者指正。对参与系列报告活动和支持本书出版的学会和科技工作者,在此表示衷心地感谢。

编者

1999 年 8 月

目 录

前言

混凝土面板堆石坝进展概况	蒋国澄(1)
利用遥感技术分析喀斯特地区生态环境与水土流失现状的初步研究	安裕伦(40)
世纪之交的老龄居住环境	罗德启(44)
遥感在贵州	杨柏林(52)
21 世纪的战斗机及其发展	吴炳麟(58)
CCD 图像传感及其应用	王长伦(65)
自动化科学技术综述	张希周(71)
CCD 用于可视电话和监视系统中的光学系统	林树繁(76)
企业信息化面临的挑战和机遇	王武全(80)
几种地图的功能及作用介绍	肖进原 杨晓英(84)
贵州喀斯特区植被恢复的理论和实践	朱守谦 祝小科 喻理飞(90)
贵州暴雨洪水计算综述	王继辉(96)
《贵州省防汛抗旱指挥系统》简介	黄法苏 李容华(106)
天气预报发展动态及展望	李文彬(117)
贵州喀斯特地区生态环境问题及其对策	屠王麟(130)
贵州脆弱喀斯特环境与可持续发展(要点)	杨明德(138)
知识经济与市场经济时代的现代地理学	熊康宁(140)
贵州省地质矿产特征及其地球科学意义	王砚耕(145)
中外快速高效记忆研究概述	卿素兰 王洪礼(151)
人文——社会跨学科心理主题的学术语境	刘兆永(155)
新病毒和新病毒病	左 丽(158)
蛋白质结构与功能研究——21 世纪生命科学的重要课题	钱民章(166)
略论高新技术与现代医药产业的发展	冉懋雄(170)
抗癌药物紫杉醇研究近况	王用平(177)
DNA 指纹技术的发展及在真菌上的应用	刘作易(180)
支气管哮喘诊治进展	闻心培(189)
建立社区卫生服务,发展社区医学,保障人民健康	龚廉坚(194)
微量元素与肿瘤	魏赞道 韦 艳(200)

混凝土面板堆石坝进展概述

蒋国澄

(中国水利水电科学研究院)

一、概述

混凝土面板堆石坝(以下简称 CFRD)是以堆石为主体材料、以混凝土面板作为防渗体的一种土石坝型。一般认为堆石坝是在 1870 年发源于美国,用的是抛填堆石,以木面板、钢面板等防渗,到 1900 年 CFRD 已成为一种典型的堆石坝。1931 年建成的美国盐泉(Salt Spring),高 100m,以及当时较高的迪克斯河(Dix River)坝,都出现了因变形过大使面板破坏和大量渗漏的事故,因而在 40 年代至 50 年代出现了一个停滞时期,基本上没有再修建较大的 CFRD 坝。

1958 年英国的库契(Quoich)坝首次引入振动碾压实坝体堆石,层厚 0.6m,先用 10t 平碾压平,再用 3.5t 振动碾压实,38m 高的坝只沉降了 1.9cm。从而开始了由抛填堆石向碾压堆石的过渡。1966 年完成的美国新国库(New Exchequer)坝,高 150m,是用薄层碾压和厚层抛填混合建成的,还是因大量变形而导致大量渗漏,这是过渡时期的最后一座高坝。到 1965 年实质上已完成了向碾压堆石的过渡,标志着 CFRD 坝开始进入现代阶段。1971 年建成的澳大利亚的塞沙那(Cethana)坝,高 110m,就奠定了现代 CFRD 坝的技术基础。经过 1980 年建成的巴西阿里亚(Fozdo Areia)坝,高 160m,1985 年建成的哥伦比亚萨尔瓦兴娜(Salvajina)坝,高 148m,到 1993 年建成的墨西哥阿瓜米尔巴(Aguamilpa)坝,高 187m,设计和施工技术日益成熟,坝高和工程规模也日益增大,发展成为一种富有竞争力的新坝型。

到 1998 年的不完全统计,1966 年以后建成和在建的碾压式 CFRD 坝,全世界约有 180 座,其中高于 100m 的约有 30 余座。国外 100m 以上高 CFRD 坝情况见表 1。

中国最早的堆石坝是 1957 年建成的四川狮子滩工程,为混凝土重力墙式的抛填堆石坝,坝高 52m;最早的混凝土面板堆石坝是 1966 年建成的贵州百花水电站大坝,高 48.7m,系抛填堆石,坝轴线上游有一干砌石垫层,上游坡 1:0.6,设有钢筋混凝土面板,支撑在混凝土基座上。这种坝型以后没有得到发展。

中国以现代技术建设混凝土面板堆石坝,始于 1985 年。第一座开工建设的是湖北西北口水库大坝,高 95m;而第一座完工的是辽宁关门山水库大坝,高 58.5m。

与国外相比,起步虽晚、但起点高、发展快,10 余年来已在全国推广应用。到 1998 年底,全国不完全统计,已建成 39 座,最高的是 1998 年建成的白云水电站大坝;在 建的 35 座,最高的是天生桥一 级水电站大坝,高 178m;已审定 为 CFRD 坝型而目前待建的坝高 大于 100m 的工程还有约 20 座, 最高的是水布垭水电站大坝,高 232m。中国 CFRD 坝的发展情 况及在全国的分布见图 1 及图 2。已建成、在建和待建 100m 以 上 CFRD 坝的特性指标见表 2 至 表 4。

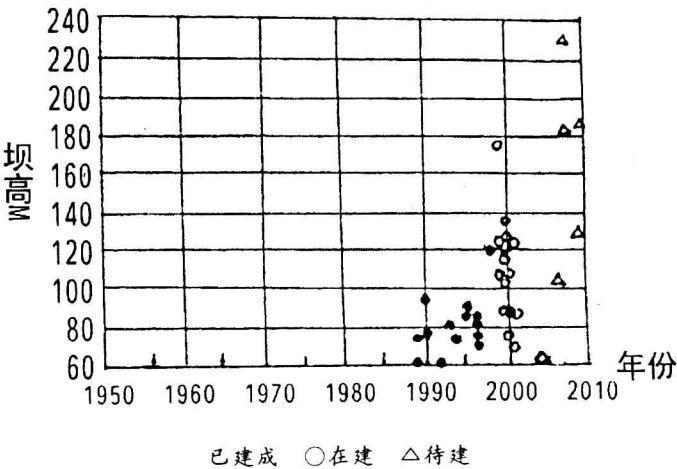


图 1 中国 CFRD 坝发展趋势示意图(坝高 770m)

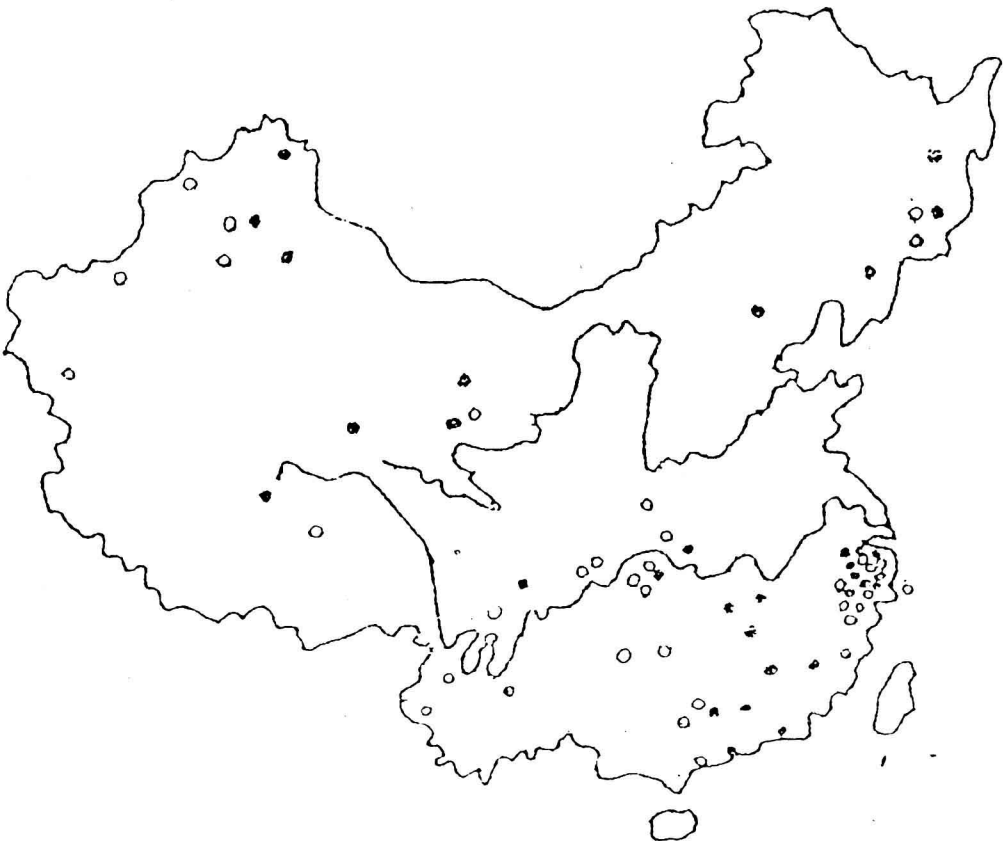


图 2 中国 CFRD 坝分布图(南海诸岛未示)

表 1 国外已建成和在建 100m 以上混凝土面板堆石坝

序号	坝名	国家	坝高 m	坝顶长 m	坝体积 10 ⁶ m ³	坝坡		坝料		面板 面积 m ²	库容 10 ⁶ m ³	泄洪 流量 m ³ /s	装机 容量 mw	完成 年份	备 注
						上游	下游	施工方法	岩性						
1	阿瓜密尔巴	墨西哥	187		13.0	1.5	1.4	CG/CR	砂砾石/石渣	130000		14900	960	1994	
2	雅肯布	委内瑞拉	160.5	150	3.0	1.5	1.7	CG	砂砾石	6000	436			在建	
3	阿里亚	巴西	160	828	14.0	1.4	1.4	CR	玄武岩	139000	5800	11000	2511	1980	
4	新国库	美国	150	427	4.1	1.4	1.4	DR/CR	变质安山岩		1260		80	1966	老坝加高
5	米苏可拉	希腊	150		1.4	1.4	1.4	CR	灰岩	50000				在建	
6	萨尔瓦兴娜	哥伦比亚	148	362	3.9	1.5	1.4	CG/GR	砂砾石/硬砂岩	50000	906	3300	270	1985	
7	塞格雷多	巴西	145	705	7.3	1.3	1.3	CR	玄武岩	87000	3000	15800	1260	1992	
8	安奇卡亚	哥伦比亚	140	280	2.5	1.4	1.4	CR	角闪岩	22300	45	4600	340	1974	
9	辛戈	巴西	140	850	12.7	1.4	1.4	CR	花岗片麻岩	120000	3800	33000	5000	1994	
10	柯曼	阿尔巴尼亚	133											1986	
11	考兰	泰国	130	1000	8.0	1.4	1.4	CR	灰岩	140000	9500	3200	300	1984	
12	谢罗罗	尼日利亚	130	560	3.9	1.3	1.3	CR	黄岗石	50000	7000		600	1984	
13	格里拉斯	哥伦比亚	127	110	1.3	1.6	1.6	CG	砂砾石	14300	252	300		1982	
14	希拉塔	印度尼西亚	125	453	3.8	1.5	1.5	CR	角砾石/安山岩		2160	2600	1000	1987	
15	伊塔	巴西	125		9.3	1.3	1.3	CR	玄武岩		5100			在建	
16	利斯	澳大利亚	122	360	2.7	1.3	1.3~1.5	CR	辉绿岩	37800	641	4742		1986	
17	杜米利奎	委内瑞拉	115			1.4	1.5	CR	灰岩	53000				1984	
18	帕尔台拉	葡萄牙	112	540	2.7	1.3	1.3	DR	花岗岩	55000				1955	
19	塞沙娜	澳大利亚	110	213	1.4	1.8	1.3	CR	石英岩	23700		2000		1971	
20	尤柳艾	马来西亚	110			1.3	1.4	CR	砂岩	48000				1989	
21	拉巴	南斯拉夫	110			1.3	1.3	CR						1967	
22	圣塔扬娜	智利	106	390	2.7	1.5	1.6	CG	砂砾石	27000	160	1075		在建	
23	福蒂纳	巴拿马	105			1.2	1.4	CR	安山岩					1987	老坝加高
24	皮星奈可	罗马尼亚	105		2.4	1.7	1.7	CR	云母片麻岩	30000				1986	
25	盐泉	美国	100	395	2.3	1.1~1.4	1.4	DR	花岗石	10900				1931	

表 2 中国已建成混凝土面板堆石坝

序号	坝名	地点	河流	坝高 m	坝长 m	体积 10 ⁶ m ³	坝坡		坝料	面积 m ²	厚度 m	含铝率 %	趾板宽度 m	库容 10 ⁶ m ³	泄洪 流量 m ³ /s	装机容量 MW	完成 年份
							上游	下游									
1	柯柯亚	新疆鄯善	柯柯亚河	41.5	120	0.44	20.275	1.5	CG	砂砾石	12000	0	防渗墙	12		3.75	1986
2	关门山	辽宁本溪	小汤河	58.5	184	0.44	1.4	1.3	CR	安山岩	8200	0.3—0.5	3.45	81		1.2	1988
3	成屏一级	浙江遂昌	松阴溪	74.6	232	0.80	1.3	1.3	CR	凝灰岩	15850	0.3—0.5	3.5—12.5	52		8	1989
4	沟后	青海共和	沟后河	70	260	0.89	1.6	1.5	CG	砂砾石	22000	0.3—0.6	3.5	3	209		1989
5	西北口	湖北宜昌	黄柏河	95	222	1.62	1.4	1.4	CR	灰岩	29521	0.3—0.6	5—6	210	6060	16	1990
6	株树桥	湖南浏阳	小溪河	78	245	0.82	1.4	1.7	CR	灰岩/风化板岩	23320	0.3+0.00289H	3.5—5.1	278	2880	24	1990
7	龙溪	浙江天台	黄水溪	58.9	141	0.30	1.3	1.3	CR	熔凝灰岩	7070	0.4	4.5	26		16	1990
8	罗村	浙江建德	乾潭溪	57.5	209	0.64	1.2	1.2、1.4	DR	砂岩	12150	0.4—0.5	5—6	21		1	1990
9	小平沟	青海格尔木	格尔木河	55	104	0.24	1.55	1.6	CG	砂砾石	5180	0.56	4.5	10		32	1990
10	横山加高	浙江奉化	县江	70	382	1.09	1.420	1.3	CR	熔凝灰岩	10350	0.4	防渗墙	112		5	1992
11	广蓄上库	广东丛化	召大水	68	314	0.9	1.4	1.4	CR	花岗岩	19000	0.3+0.003H	3.4、5	17	259	1200	1992
12	铜街子副坝	四川乐山	大渡河	48	409	0.7	1.75	1.7	CG/CR	砂砾石/玄武岩	16000	0.3	防渗墙	200		600	1992
13	渡浪沟	湖北建始	黄柏河	35	135	0.1			CR	灰岩	6500			3.5			192
14	花山	广东广宁	甘水河	80.8	160	0.7	1.4	1.4	CR	花岗岩	13030	0.3+0.003H		63	2836	24	1993
15	十三陵上库	北京昌平	上寺河	75	550	2.7	1.5	1.7	CR	安山岩	32000	0.5	连接板	4	0	800	1994
16	小海沙	广东深圳	小梅沙河	49.1	188	0.22	1.4	1.4	CR	花岗岩	10800	0.35	3.4	1.5			1994
17	白杨河	新疆本垒	白杨河	37	473	0.37	1.7	1.5	CG	砂砾石	20960	0.3+0.003H		4.5			1994
18	舍网	浙江奉化	象山港	35.5	165	0.12	1.3	1.3	CR	熔凝灰岩	6600	0.15	4	2.55			1994
19	万安溪	福建龙岩	万安溪	93.5	212	1.29	1.4	1.3	CR	花岗岩	19300	0.3+0.00345H	5—6	228	3236	45	1995
20	东津	江西修水	东津水	88.5	315	1.76	1.4	1.3	CR	砂岩	21190	0.3+0.0023H	4—8	800	3365	60	1995

续表

序号	坝名	地点	河流	坝高 m	坝长 m	体积 10^6m^3	坝坡		坝料		面积 m^2	厚度 m	含钢率 %	趾板宽度 m	库容 10^6m^3	泄洪 流量 m^3/s	装机容量 MW	完成 年份
							上游	下游	类型	岩性								
21	斗晏	江西寻乌	寻乌水	53	205	0.52	1.4	1.45	CR	花岗岩	18700	0.3	V0.52, H0.34	4.5	98	740	37.5	1995
22	查龙	西藏那曲	那曲河	38.6	192	0.37	1.8	1.8	CG	砂砾石	9000	0.4	0.45	3—4	138	436	10.8	1995
23	槽鱼滩	四川洪雅	青衣江	16.1	477		1.6	1.5	CG	砂砾石	12200	0.3	V0.35, H0.3	防渗墙	27.2	16800	130	1995
24	南车	江西泰和	六八河	60	184	0.46	1.4	1.4	CR	砂岩	13500	0.3—0.45	0.425	3.5—4.5	153	138	12.8	1996
25	海潮坝	甘肃民乐	海潮河	56	197	0.48	1.45	1.4	CR	花岗岩	12800	0.3	V0.5, H0.1	4—6	74	284		1996
26	山口	新疆阿尔泰	哈巴河	40.5	545	0.65	1.4	1.4	CR	凝灰岩	9000	0.3	0.4	3	46	1635	25.2	1996
27	溪口上库	浙江奉化	横坑溪	48.5	151	0.14	1.4	1.3	CR	砾岩	6000	0.3	0.426	4	1	19.7	80	1996
28	天荒坪下库	浙江安吉	溪头溪	87.2	230	1.42	1.4	1.3	CR	溶凝灰岩	20778	0.3+0.002H	0.4	4—6	8.8	1280	1800	1997
29	小山	吉林抚松	松江河	86.3	295	1.43	1.4	1.3	CR	安山岩	36000	0.3—0.5	V0.4—0.5, H0.3	3.5—5.5	97	4498	160	1997
30	莲花	黑龙江海林	牡丹江	71.8	902	4.23	1.4	1.4	CR	花岗岩	75400	0.3+0.003H	V0.5, H0.4	4.5.6.	4180	18570	550	1997
31	梅溪	浙江鄞县	梅溪	40	650	1.2	1.4	1.3	CR	溶凝灰岩	37000	0.35	0.4	防渗墙	26.5	1138	10.8	1997
32	溪口下库	浙江奉化	莼山溪	44.2	314	0.44	1.4	1.5, 1.6	CR	凝灰岩	11080	0.3	0.563	4	0.19	14.4	80	1997
33	泽雅	浙江温州	成浦江	78.8	308	1.42	1.3	1.3	CR	溶凝灰岩		0.4	0.4	3.5—6.0	57		4	1997
34	八都	浙江义乌	八都溪	57.5	324	0.85			CR	溶凝灰岩	6000				32.1	439	1	1997
35	梁辉	浙江余姚	龙坑溪	35.4	385	0.68	1.4	1.4	CG	砂砾石	21786	0.35	0.8	防渗墙	31	86	5	1997
36	白云	湖南城步	巫水	120	200	1.70	1.4	1.4	CR	灰岩砂岩	14500	0.3+0.002H	V0.4, H0.35	最大 10m	360	2150	54	1998
37	平潭	浙江宁波		55		0.39	1.3	1.3	CR			0.35			11			1998
38	两岔河	贵州黄平	舞阳河	43	320	0.51	1.5	1.6	CG	砂砾石		0.3	0.3	5—4	63	1300	2	1998
39	岑港	浙江舟山	无名溪	27.6	287	0.29			CR	溶凝灰岩	11500			防渗墙	6.3			1998

表 3 中国在建的混凝土面板堆石坝

序号	坝名	地点	河流	坝高 m	坝长 m	体积 10 ⁶ m ³	坝坡		坝料		面积 m ²	厚度 m	含钢率 %	趾板宽度 m	库容 10 ⁶ m ³	泄洪流量 m ³ /s	装机容量 MW
							上游	下游	类型	岩性							
1	天生桥一级	广西贵州	南盘江	178	1137	17.69	1.4	1.25	CR	灰岩	180000	0.3—0.9	V0.4, H0.4, 0.3	10260	21750	1200	
2	乌鲁瓦提	新疆和田	喀拉喀什河	138	486	6.80	1.6	1.5	CG/CR	砂砾石/石英片岩	72200	0.3+0.003H	V0.5, H0.5, 0.4	340	1890	60	
3	珊瑚溪	浙江文成	飞云江	130.8	418	5.00	1.6	1.5	CR/CG	流纹岩/砂岩/砂砾石	61000	0.3+0.003H	0.4	1922	8429	200	
4	黑泉	青海大通	宝库河	123.5	433	5.50	1.55	1.4	CG/CR	砂砾石/花岗岩片岩	79000	0.3+0.0035H	V0.4, H0.3	182	389	12	
5	白溪	浙江宁海	白溪	123.5	416	3.70	1.4	1.4	CR	熔凝灰岩	36200	0.3+0.003H	0.4	164		18	
6	芹山	福建周宁	穆阳溪	122	286	3.10	1.4	1.35	CR	凝灰岩	42000	0.3+0.003H	0.5	265	3315	70	
7	古洞山	湖北兴山	古夫河	120	194	1.90	1.5	1.5	CG/CG	砂砾石/灰岩		0.3+0.003H	V0.5, H0.4	138	4785	36	
8	高塘	广东怀集	白水河	110.7	288	1.95			CR	花岗岩	26400			96		36	
9	茄子山	云南龙陵	苏帕河	104.5	258	1.40	1.4	1.4	CR	二云花岗岩		0.3+0.003H	V0.3—0.4, H0.3	121	730	16	
10	柴石滩	云南宜良	南盘江	103	316	2.17	1.4	1.4	CR	白云岩	38200	0.3—0.6		437	3336	60	
11	大桥	四川冕宁	安宁河	91	300	2.09	1.5	1.7、1.5	CR	混染岩	30000	0.3—0.5	0.3	658	285	90	
12	大岗	江西上饶	石溪水	90	408	1.45	1.4	1.4	CR	砂岩	25800	0.3—0.6		278		40	
13	三插溪	浙江泰顺	三插溪	88.8	188	0.77			CR		13800			47	3760		
14	陡岭	湖北郎西	夹河	88.5	333	2.24	1.4	1.2	CR	灰岩/千枚岩	32300			485		60	
15	松山	吉林抚松	漫江	78	234	1.42	1.4	1.4	CR	安山岩	23600	0.3+0.003H	0.5	123			
16	鱼背山	四川万县	磨马溪	72	214	0.89		CR		38000				860	3650	17	
17	港口弯	安徽宁国		70	270	1.02	1.4	1.4	CR	石英细砂岩	18300			958			
18	小溪口	湖北建始	马水河	68	235.5	1.11	1.3	1.4	CG	灰岩	20000	0.4	6	66.4	30		
19	大河	广东阳春	西山河	68	240	0.90	1.5	1.4	CR	砂岩/板岩		0.4	3—5	332	2094	30	

续表

序号	坝名	地点	河流	坝高 m	坝长 m	体积 10^6 m^3	坝坡		面积 m^2	厚度 m	含钢率 %	趾板宽度 m	库容 10^6 m^3	泄洪流量 m^3/s	装机容量 MW	完成年份
							上游	下游								
20	沙铺岩	浙江云和	梧桐坑溪	64.7	180	0.45	1.3	1.3	6500	0.4		4.5	8.5	601	25	
21	三锅桩	云南鹤庆	金王河	62.8	290	0.80			2051				15.4			
22	锁金山	湖北五峰	湾潭河	62	227	0.60							100	320	45	
23	弹子台	四川丰都	包鸾河	61.8	245	0.63	1.35	1.35	35800	0.4	0.4	4	11.5		0.5	
24	卡浪古尔	新疆塔城	卡浪古尔河	61.5	565	1.2	1.3	1.4	35500	0.3	V0.45-0.65, H0.37-0.44	5.6	39	365	5.8	
25	两江	吉林安图	二道桦花江	55	273	1.10			20600				210		60	
26	红珠河加高	湖北建始	东龙河	52	160	0.22							5.88			
27	白眉	福建福州	白眉溪	51	302	0.50	1.35	1.35	15000	0.35	0.35	3	18	792		
28	蛇洞	四川攀枝花		50									8			
29	塔斯特	新疆吉木乃	塔斯特河	43	180	0.45	1.6	1.6			0	防渗墙	12	570	25	
30	楚松	西藏白朗		40	312		1.8	1.3		0.3	0.4	防渗墙	14.6			
31	丰宁	河北丰宁	滦河	39	282	0.57	2.0	1.7					72	1020	20	
32	汤浦西坝	浙江上虞	小舜江	37.2	281	0.40	1.4	1.4	9280	0.4	V0.4, H0.3	3.5	235	5606		
33	莫拖拉	新疆		36												
34	伯依布谢	新疆裕民	伯依布谢河	35	210	0.2							4		20	
35	汤浦东坝	浙江上虞	小舜江	29.6	350	0.51	1.4	1.4	12400	0.4	V0.4, H0.3	3.5	235	5606		

表 4 中国拟建高混凝土面板堆石坝(坝高 > 100m)

序号	坝名	地点	河流	坝高 m	坝顶长 m	坝体积 万 m ³	坝 坡		坝基处理	泄水建筑物			库容 亿 m ³	装机容量 MW	完成 年份	备注
							上游	下游		型 式		最大泄量 m ³ /s				
1	水布垭	湖北巴东	清江	233	584	1566	1.4	1.4	防渗体至基岩	溢洪道泄洪洞		18249	45.8	1600		
2	三板溪	贵州锦屏	清水江	185.5	424	994	1.4	1.4	基岩	溢洪道泄洪洞		16411	40.9	1000		
3	洪家渡	贵州黔西	六冲河	182.3	465	1007	1.4	1.4	基岩	洞式溢洪洞		6996	45.9	540		
4	姚家坪	湖北恩施	清江	180												
5	滩坑	浙江	小溪	161	506	1000	1.4	1.4	基岩				35.3	600		
6	紫坪铺	四川	岷江	159	638	1167	1.4	1.5	基岩	溢洪道		7088	10.8	697		
7	大柳树	宁夏	黄河	156	770	1450	1.6	1.4~1.7	基岩	溢洪道		8650	98.6	1740		
8	响水洞	安徽		153	516	257	1.4	1.4	基岩				0.17	1000		
9	吉林台	新疆尼勒克	喀什河	152	392	920	1.5	1.5	基岩			1753	24.4	460		
10	磧口	山西	黄河	140	1150	2395	1.4	1.4	基岩				125			
11	瓦屋山	四川洪雅	周公河	140									5.5	240		
12	公伯峡	青海循化	黄河	130	423	455	1.4	1.4	基岩			6592	5.5	1500		
13	街面	福建	尤溪	126	478	342							10.85	300		
14	潘口	湖北竹山	堵河	123	322	346	1.4	1.5	基岩				24.6	500		
15	鱼跳	重庆南川	大溪河	110	220	163							0.95	48		
16	淳天河加高	湖南	淳天河	110	261	250							16.0	150		
17	双沟	吉林抚松	松江河	109.7	312	258	1.4	1.4	基岩				3.9	280		
18	洮水	湖南茶陵	洮水	102.5	313	172							0.52	88		
19	盘石头	河南鹤壁	洪河	100.8	588	529	1.4	1.3	基岩	溢洪道			6.2	8		
20	积石峡	青海循化	黄河	100	348	288	1.4	1.3					26.4	1000		

在中国建设 CFRD 坝的过程中,积累了丰富的实践经验,并且开展了大量和系统的科学研究工作,对一些关键技术问题取得了有益的成果,促进了 CFRD 坝的建设。在 1993 年颁发了《混凝土面板堆石坝设计导则》,1994 年颁发了《混凝土面板堆石坝施工规范》,并在 1999 年对这两个规范分别进行了修订和重新颁发。中国水利学会和中国发电工程学会分别成立了混凝土面板堆石坝专业委员会,做了许多学术交流和推广工作。目前中国的 CFRD 坝,无论在工程数量和规模上,还是在技术水平上,都处于世界前列。

二、坝址选择及枢纽布置

CFRD 坝也是土石坝的一种类型,其坝址选择和枢纽布置与其他土石坝有许多共同之处,需根据当地的地形地质、水文气象、建筑材料等因素,经多方案的技术经济比较后择优选定。此处仅以 CFRD 坝的特点,对其个性作一些简要讨论。

1. 地形地质条件

CFRD 坝对地形地质条件的适应性是很强的。图 3 是国外一些高 CFRD 坝的纵断面图,可见其河谷形态差异很大,有宽河谷的,如阿里亚坝,坝顶长 828m;也有狭窄河谷,如哥伦比亚格里拉斯(Gallilas)坝,坝高 127m,而坝顶长度仅 110m,宽高比 0.87,岸坡陡达 1:0.1~1:0.2。而

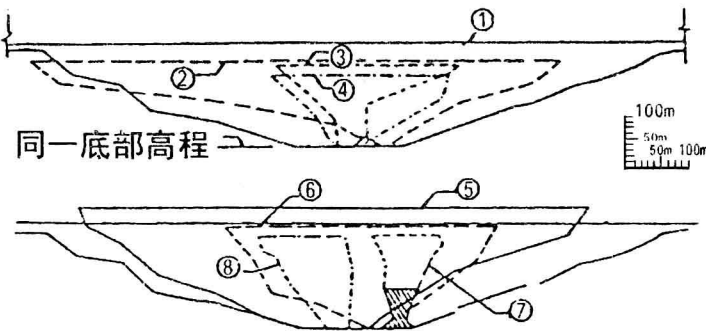


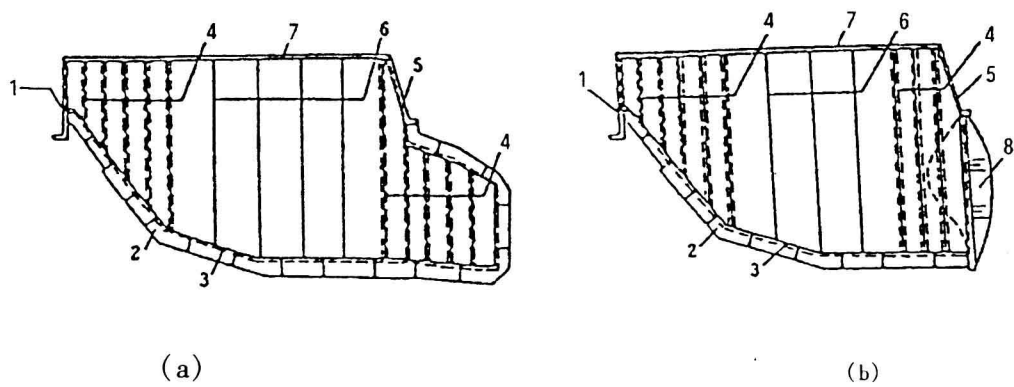
图 3 国外一些已建 CFRD 坝的纵断面图

且 CFRD 坝也可适用于低而长的坝,如委内瑞拉的马卡圭(Macague)坝,高 20m,而坝顶长 2800m,由于心墙坝地基处理和反滤料用量大,造价比 CFRD 更高。中国的情况也大体如此,天生桥一级坝的坝顶长达 1137m,也有岸坡陡到 1:0.3 的工程。

CFRD 坝址地质条件主要是选择合适的趾板线位置。以往都要求建基于坚硬,非冲蚀性和可灌的基岩上。但近期的实践已突破这些要求,而利用风化岩石、残积土、砂砾石冲积层等作为趾板地基。由于堆石坝是一种重力式结构,其地基强度是易于满足的,其变形模量值能与堆石体相当即可,主要是用各种手段进行渗流控制,达到安全和正常运行。

对于不利的地形地质条件,也可加以人工改造,而予利用。对这种坝址不要轻易放弃,做一定研究后再令取舍。如青海小干沟 CFRD 坝,处于反 S 形河弯地段,右岸地形有缺陷,趾板线需向上游延伸,开挖量大,对面板应力条件不利,上游围堰与导流洞进口有干扰,左右岸基岩高程也不够。设计上采取一系列混凝土档墙将

上游不利地形条件切掉,并将左右岸基岩面接高,使面板与挡相连接,如图 4 所示,1990 年完工蓄水以来,运行正常。新疆卡浪古尔坝,高 61.5m,坝顶长 565.4m,左岸 100m 内地质条件不适合于 CFRD 坝,因而在桩号 0+100 处设混凝土挡墙,高 17.8m,以左接土质心墙堆石坝,以右则采用 CFRD 坝,防渗心墙及面板分别与挡墙连接,此坝正在施工中。



(a)原设计 (b)修改方案
图 4 小干沟坝高趾墙布置图

2. 趾板选线及布置

现代 CFRD 坝一般采用薄型趾板,视为地基防渗结构与混凝土面板间的连接构件,只起防渗作用,而不是受力结构,可以不进行稳定及应力计算。

前面提到趾板建基面的要求已经大大拓宽,经过专门设计和一定工程措施,强风化岩石,甚至残积土,以及砂砾石冲积层都可用作趾板地基。对于基岩上的趾板,其宽度是按照容许水力梯度确定的,中国现行规范规定,对新鲜、微风化下部基岩 ≥ 20 ,微风化、弱风化为 10~20m,强风化 5~10m,全风化 3~5m,并容许按水头大小采用不同宽度,考虑灌浆需要不宜小于 3m。如趾板地地质条件较差,按此选取的趾板宽度太大,不易实施时,可以采取工程措施,主要有三类:

- (1)延长渗径;
- (2)在地形地质条件突变处加设伸缩缝;
- (3)下游用反滤料保护。

延长渗径的方法有:垂直截水墙、连接板、上游防渗板、下游防渗板等。中国 1990 年完成的株树桥 CFRD 坝,趾板线遇到强风化板岩层,两岸坝头也是很深的风化板岩。设计中河床部分趾板置于风化板岩上,而以混凝土截水墙切断强风化板岩层,并延长渗径;两坝头将趾板线沿冲沟底的坚硬岩层延伸,而将冲沟下游侧壁的强风化板岩层削成与坝坡相同的坡度,浇筑一贴坡混凝土连接板,将面板与趾板连接起来,作为防参与护岸的构件,见图 5。哥伦比亚的萨尔瓦兴娜坝曾用连接板处理趾板的残积土地基,中国的乌鲁瓦提坝曾用连接板处理右岸古河道沉积的砂

砾石层,柴石滩水库 CFRD 坝的趾板线在左岸上部遇深厚强风化层也曾使用垂直混凝土截水墙、连接板、下游防渗板等措施。

澳大利亚的利斯(Reece)坝,高 122m,整个左岸为全强风化的闪长岩及片岩,深达 30~40m,张开节理中充填易冲蚀的粉质粘土。为防止趾板地基发生管涌,除常规的趾板外,在其下游设一加筋的喷混凝土板以延长渗径,使水力梯度降到 2~3,并在这下游防渗板上及其下游铺设反滤层保护,见图 6。这种设计曾为一些工程所借鉴,如中国

的小溪口、柴石滩等 CFRD 坝。最近 J.B.库克(J.B.Cooke)建议采用 3m 或 4m 的标准宽度,而在基岩需要更大不透水长度时,可以在下游侧设一少量配筋的常规混凝土或喷混凝土板至所需长度,其上用反滤料覆盖一定长度,并称已为巴巴冈(Babagon)及依塔(Ita)等工程所采用。

在下游用反滤料覆盖可能发生冲蚀的断层破碎带和夹泥层,是渗流控制的有效措施。柴石滩水库坝基有一条断层穿过趾板,破碎夹泥较严重,一直延伸到坝下游河床,不可能用开挖回填等方式处理,就在其面上铺反滤层保护,直至下游坝坡脚以外,防止细颗粒被冲蚀。

在河床砂砾石冲积层上修建 CFRD 坝,以前都是沿趾板线开挖至基岩,将趾板建基于基岩上,而如砂砾石层中没有粘土、粉细砂等软弱夹层,则可留下作为坝体的地基。现在有许多工程已有将趾板置于砂砾石层上,以混凝土防渗墙进行地基处理,用趾板和连接板将混凝土防渗墙与混凝土面板连接起来。智利 1995 年建成的圣塔扬娜(Santa Juana)坝,高 106m,河床砂砾石层深 30m,就是用这种方案建设的一座高 CFRD 坝。智利另一座这种型式的坝是普卡罗(Puc Laro)坝,坝高 80m,砂砾石层深达 100m 以上,由于混凝土防渗墙工作量太大,仅做不完全防渗帷幕,切断表面强透水层,而允许有一定的渗流量。圣塔扬娜坝的断面及上游坝脚区的布置见图 7。这两个工程都是用连接板将混凝土防渗墙与趾板相连接,使混凝土防渗

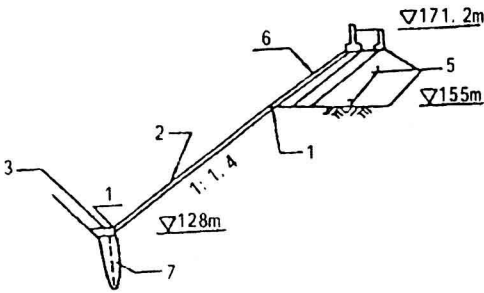


图 5 株树桥坝边接板布置图

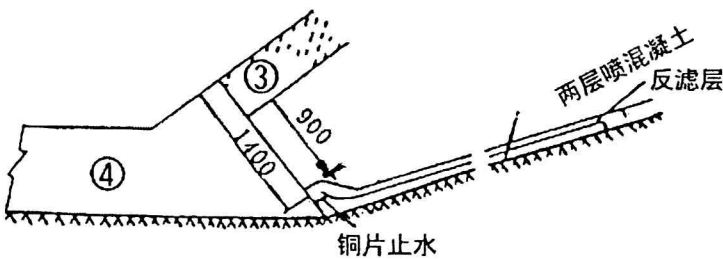


图 6 利斯坝趾板渗流控制设计

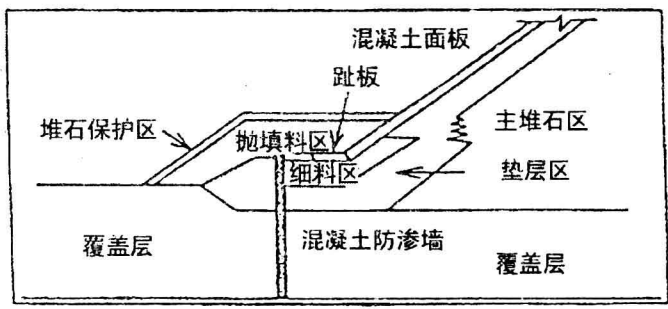
- ①堆石区 ②过渡区 ③混凝土面板 ④趾板 ⑤喷混凝土铺盖
⑥细反滤层 ⑦粗反滤层

墙与坝体可以同时施工,互不干扰,同时可以多一条伸缩缝,以更好适应不均匀变形。

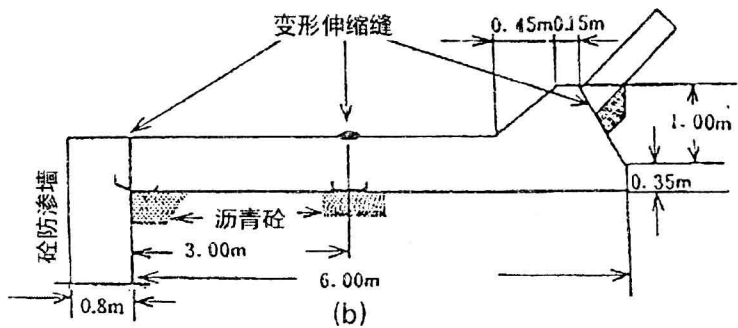
中国已建成趾板置于砂砾石层上的 CFRD 坝 7 座,在建的 2 座,坝高最大为 70.5m,砂砾石层最深 73m,混凝土防渗墙最深为 72m。1986 年建成的柯柯亚坝,高 41.5m,砂砾石层深 37.05m,以混凝土防渗墙作防渗处理,用拱形连接板将其与混凝土面板连接,其剖面见图 8。以后建设的这种坝型基本上都是这种形式,但有的中低坝常不设连接板,将防渗墙直接与趾板相接,其接缝均按周边缝处理。铜街子水电站左岸副坝为 CFRD 坝型,最大坝高 48m,需跨越一砂砾石深槽,深达 30

~73.5。由于该段 CFRD 坝的上游坝脚需设高趾墙兼做导流明渠边墙,因而地基需用承重式混凝土防渗墙处理,即两道宽 1.0m 的墙,最大墙深 61m,间距 16m,且每隔 15m 设一横格墙,形成框格式结构,墙顶与高趾墙接触面设铜止水片及焦油塑料胶泥的柔性垫层,以适应两者的变形差。自 1992 年 4 月开始挡水以来,运行情况正常。其断面见图 9。

横山水库扩建加高工程,原粘土心墙砂砾石坝,高 48.6m,用 CFRD 坝从下游面加高到 70.2m,考虑到老坝防渗设施有缺陷,而在老坝心墙中加设混凝土防渗墙,穿过河床覆盖层直达基岩,最大深度 72.3m。加高的 CFRD 坝的趾板置于老坝



(a)



(b)

图 7 圣塔扬娜坝断面及连接示意图

(a)上游坝脚区 (b)连接板及接缝

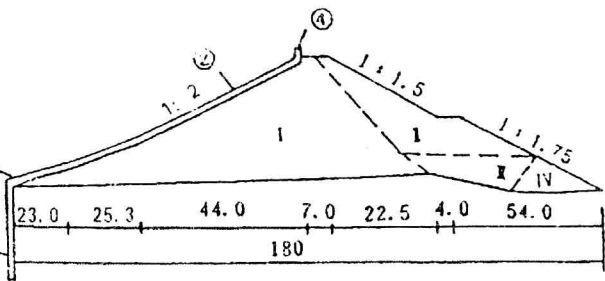
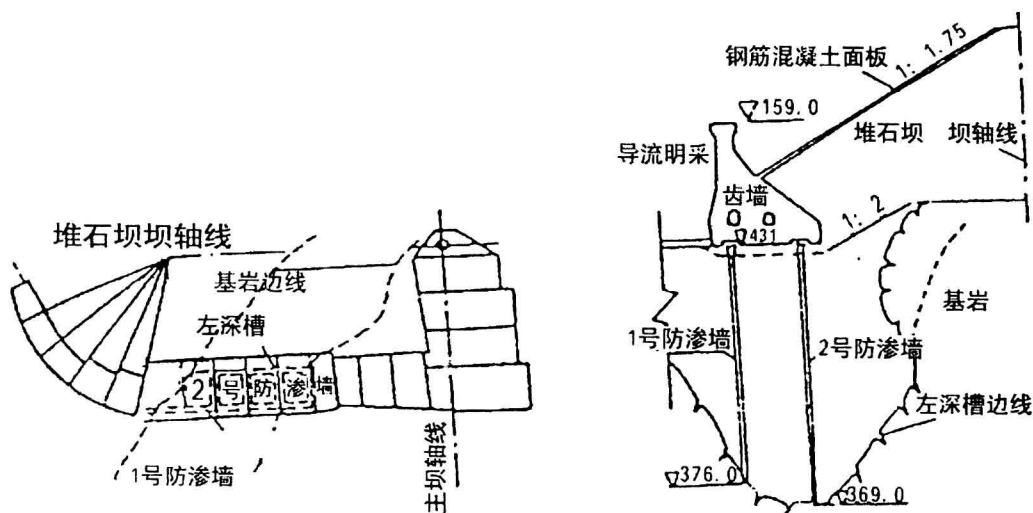


图 8 柯柯亚坝剖面图(单位:m)

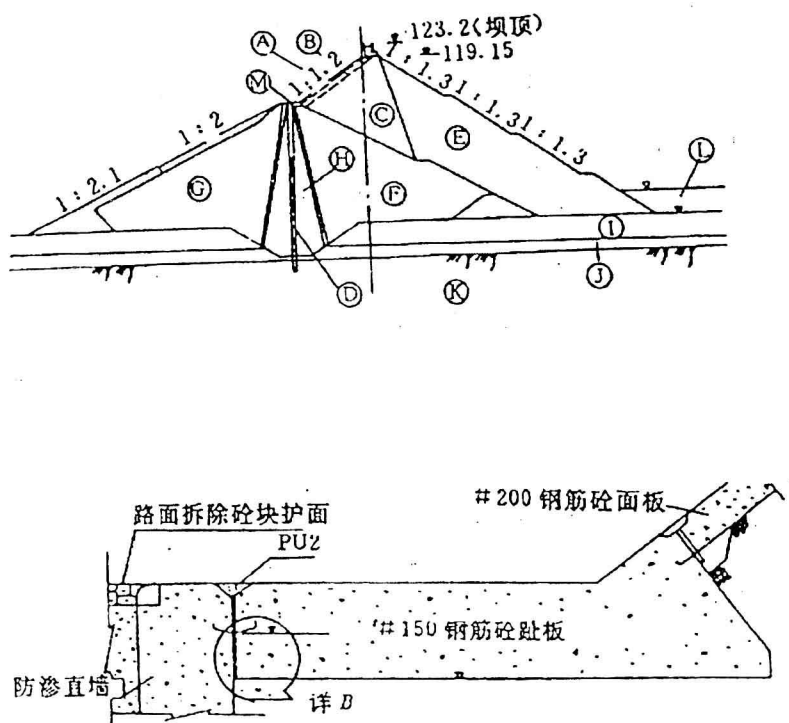


(a)平面布置图

(b)典型剖面

图9 铜街子左副坝深槽段平面及断面图

顶上,分别与防渗墙及面板连接,其断面及连接部位布置见图10。



(a)断面 (b)连接部位布置

图10 横山水库大坝扩建加高布置图

3. 枢纽布置

与其他类型土石坝一样,选定溢洪道位置及型式枢纽布置中的关键所在。由于土石坝不容许水流漫顶,故以往常规定土石坝应该配置开敞式的岸边溢洪道,取其运行可靠、超泄能力大,使土石坝防洪安全更有保证。现代的工程由于科技进步,使泄洪隧洞及金属结构的可靠性大为增强,因此也允许采用隧洞作为土石坝的泄水建筑。

中国的白云水电站 CFRD 坝,高 120m,1998 年完工,在枢纽布置中就用隧洞作为唯一的泄水建筑物。白云工程总库容 3.6 亿 m^3 ,按 100 年一遇洪水设计,2000 年一遇洪水校核。隧洞系利用导流洞改建成龙抬头形式的无压泄洪洞,断面尺寸 $7.5 \times 9.2\text{m}$,长 468m,最大泄量 $1473\text{m}^3/\text{s}$,设两扇进口闸门。左岸引水发电洞尾部分为两条叉洞,一条用作发电,另一条用于放空水库。工程现已蓄水运行。其枢纽布置见图 11。

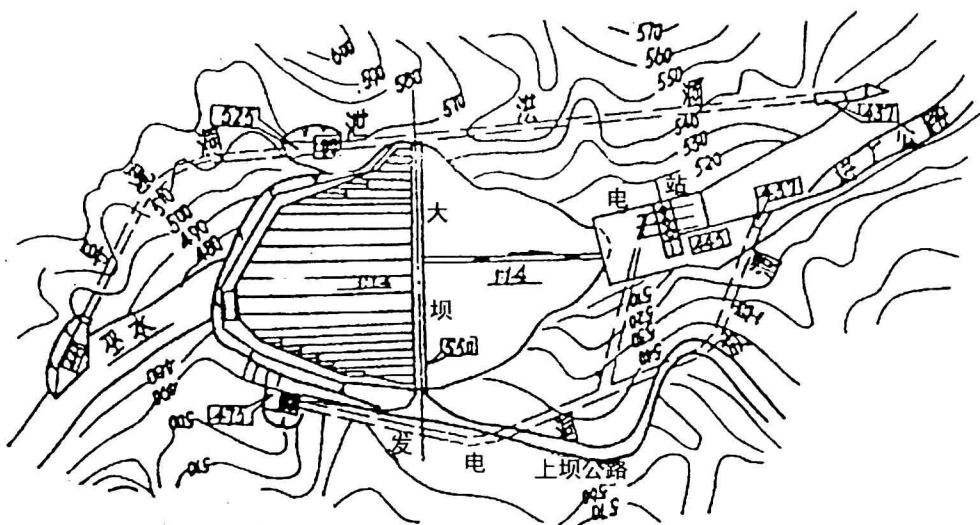


图 11 白云 CFRD 坝枢纽布置

拟建的乌江洪家渡水电站 CFRD 坝,高 182.3m,总库容 45.9 亿 m^3 ,用左岸洞式溢洪道作为泄水建筑物,最大泄量 $5356\text{m}^3/\text{s}$,进水口为开敞式,设 2 扇闸门,下游合并进入无压隧洞,洞宽 16m,高度由进口的 21.65m 降至出口的 14.52m,系圆拱直墙式断面。另外用龙抬头形式改建一条导流洞为泄洪放空洞,最大泄量 $1640\text{m}^3/\text{s}$ 。

CFRD 坝的特点之一是可以大量利用枢纽建筑物的有效挖方填筑于坝体不同部位,因而枢纽布置中挖方量最小有时并不是最经济的,有可能利用大开挖且做好挖填平衡的枢纽布置方案才是最经济的选择。

马西的阿里亚、塞格雷多(Segrado)、辛戈(Xingo)三座大型 CFRD 坝,枢纽布置极为紧凑简洁,溢洪道和尾水渠开挖量都很大。阿里亚和塞格雷多坝的枢纽布置