

中国的坝工建设

①
89.19(5)
2-6

许百立

TV64

(水利部水利水电规划设计总院 北京 100011)

摘要 中国根据不同河流的特点、水库的用途、地形地质条件、当地筑坝材料等情况,因地制宜地选择坝址,建设大坝,目前已建成83600多座水库,形成水库的大坝在数量上居世界各国之首。本文概述中国50年坝工建设的主要技术成就,展望今后中国高坝大库的建设。文章附有中国不同类型高坝的建设地点、建设年份、坝高、库容和坝体工程量等资料(不包括台湾省的大坝)。

关键词 大坝; 土石坝; 重力坝; 拱坝; 高坝; 中国

1 前言

1.1 水资源概况

中国的河流众多,流域面积在 100 km^2 以上的河流有50000多条,流域面积在 1000 km^2 以上河流有1500多条。全国多年平均径流量为 $2711.5 \times 10^9\text{ m}^3$ 。据中国第五次水力资源普查结果,全国水力资源蕴藏量为676 GW,年发电量5920 TW·h,其中可开发量为378 GW,年发电量1920 TW·h,居世界首位。规模巨大、数量众多的水利水电工程的建设,促进了中国水库和大坝建设的发展。50年来,共建成水库83600多座,形成水库的大坝在数量上居世界各国之首。

1.2 建设水库的目的

建设水库主要是为了防洪、灌溉、供水、发电和航运。在防洪方面,众多大中型水库结合河道堤防工程,保护耕地 $32 \times 10^6\text{ hm}^2$,初步控制了洪水灾害;在灌溉方面,建成 700 hm^2 以上的灌区5500处,灌溉面积约 $50 \times 10^6\text{ hm}^2$;在水力发电方面,水电站装机容量近70 GW,年发电量250 TW·h。水库建设为促进中国经济的发展发挥着巨大的效益。

1.3 水资源规划

中国河流水资源利用和水利水电工程的建设,由专门机构进行规划和设计,经政府部门审查批准后实施。按照“全面规划、综合利用、协调发展、讲求实效”的原则,中国已完成主要河流的规划。七大江河(长江、黄河、珠江、淮河、海河、辽河、松花江)的流域规划报告,已经国家批准。中国根据不同河流的特

点,水库的用途、坝址的地形地质条件、当地筑坝材料等情况,因地制宜地选择坝址,建设水库。通常条件下,水库位置的选择考虑两个主要因素:一是尽量减少水库淹没耕地和移民,减少对生态环境的不利影响;二是选择一个具有良好地形地质条件的坝址,使工程技术上安全可靠,经济上合理。中国已建高坝中,有各种形式的坝,主要有土石坝、混凝土重力坝和拱坝。

2 已建和正在建设中的大坝

2.1 土石坝

土石坝是最广泛采用的坝型,主要原因是可以就地取材,节约水泥,适应各种地质条件,并且施工简单。1990年以前,中国土石坝虽然在数量上最多,但大都是中、低坝,90 m以上的坝高仅有3座,都是土质防渗墙堆石坝。1990年以来,土石坝发展有两个特点:一是高土石坝有较大发展;二是混凝土面板堆石坝(以下称面板坝)被广泛采用。

正在建设的小浪底水利枢纽工程采用粘土斜心墙堆石坝,坝高154 m,坝顶长1667 m,坝体填筑量 $48 \times 10^6\text{ m}^3$;天生桥一级水电站,大坝为混凝土面板堆石坝,坝高178 m,坝顶长1168 m,坝体填筑量 $17.7 \times 10^6\text{ m}^3$,达到世界先进水平。面板坝由于比土质防渗墙堆石坝坝体断面小,坝体浸润线低,施工不受雨季影响,导流渡汛简单,工期较短,投资较省,因而愈来愈被广泛采用。已建和在建的面板坝据不完全统计已达68座。中国已建和在建坝高90 m以上的土石

作者简介:许百立,男,教授级高级工程师,曾任水利部水利水电规划设计总院副院长兼总工程师,现任中国江河水利水电咨询中心总工程师,从事水利水电工程设计与研究工作。

坝 20 座,其中 17 座为面板坝,见表 1.

表 1 已建和在建坝高 90 m 以上的土石坝

序号	工程名称	建设地点	坝型	坝高 /m	库容 /10 ⁶ m ³	坝体工程量/10 ⁶ m ³	建设年代
1	天生桥一级	贵州、广西	面板坝	178	10257	17.7	1990~1999
2	小浪底	河南	粘土斜心墙堆石坝	154	12600	48	1993~2000
3	乌鲁瓦提	新疆	面板坝	135	340	6.8	1995~1999
4	珊溪	浙江	面板坝	128.4	1922	5	1997~2000
5	白溪	浙江	面板坝	124.4	164	3.7	1998~2001
6	黑泉	青海	面板坝	123.5	182	5.4	1996~2000
7	芹山	福建	面板坝	122	265	3.1	1998~2001
8	白云	湖南	面板坝	120	360	1.7	1991~1996
9	古洞口	湖北	面板坝	120	138	1.9	1993~1998
10	高塘	广东	面板坝	110.7	96	1.95	1996~1999
11	石头河	陕西	面板坝	105	147	8.35	1976~1982
12	茄子山	云南	面板坝	104.5	121	1.4	1997~1999
13	鲁布革	云南、贵州	心墙堆石坝	103.8	142.5	1.85	1983~1988
14	碧口	甘肃	心墙土石坝	101.8	521	4	1969~1976
15	柴石滩	云南	面板坝	101.8	437	2.17	1996~2000
16	西北口	湖北	面板坝	95	210	1.62	1988~1990
17	天荒坪	浙江	面板坝	95	8.8	1.42	1994~1997
18	万安溪	福建	面板坝	93.5	228	1.29	1991~1994
19	大桥	四川	面板坝	91	658	2.09	1995~1998
20	大垌	江西	面板坝	90	278	1.45	1996~1999

2.2 混凝土重力坝

混凝土重力坝是中国高坝建设中的主要坝型.重力坝的特点是枢纽布置紧凑,便于统筹兼顾泄洪、发电、航运、过木、排沙等要求,对基础地质条件要求比拱坝、支墩坝低.1985 年以前,中国的重力坝大多采用实体重力坝、宽缝重力坝.1985 年以来,碾压混凝土重力坝有较快发展,已逐渐替代常规混凝土重力坝.中国最早采用宽缝重力坝的是 50 年代建设的新安江、古田重力坝,其优点是利于坝体散热,减少坝基扬压力,比实体重力坝节省混凝土,新安江大坝高 105 m,宽缝占坝段宽的 40%.70 年代修建的枫树坝和牛路岭坝是中国第一批空腹重力坝,坝高分别为 95.5 m 和 93.3 m.

中国最大的水利枢纽工程,长江三峡工程的大坝,为实体混凝土重力坝,最大坝高 181 m,已于 1993 年开工建设.

中国已建和在建的碾压混凝土重力坝近 40 座,将计划兴建的有 20 多座.已建的最高的坝为江垭大坝,坝高 128 m;将建的龙滩大坝,坝高 192 m,为目前设计最高的碾压混凝土重力坝.

中国已建和在建坝高 90 m 以上的重力坝 27 座,见表 2.

2.3 拱坝

拱坝是最复杂的壳体超静定结构,坝体厚度较

小,利用拱作用能充分发挥坝体的材料强度,节省工程量.拱坝具有较大超载能力,但对地形地质条件要求较高.中国已建成 300 多座高度在 30 m 以上的拱坝,成为世界上修建拱坝最多的国家之一.

表 2 已建和在建坝高 90 m 以上的混凝土重力坝

序号	工程名称	建设地点	坝型	坝高 /m	库容 /10 ⁶ m ³	坝体工程量/10 ⁶ m ³	建设年代
1	三峡	湖北	重力坝	181	39300	16	1993~2003
2	刘家峡	甘肃	重力坝	147	6090	0.76	1964~1974
3	漫湾	云南	重力坝	132	1110	1.53	1986~1993
4	宝珠寺	四川	重力坝	132	2550	2	1985~1995
5	湖南镇	浙江	梯形重力坝	129	1170	1.45	1970~1977
6	安康	陕西	重力坝	128	3200	2.1	1976~1992
7	江垭	湖南	碾压混凝土重力坝	128	1740	1.35	1995~1999
8	故县	河南	重力坝	125	1200	1.72	1978~1990
9	大朝山	云南	碾压混凝土重力坝	118	890	1.5	1997~2001
10	云峰	吉林	宽缝重力坝	113.8	3856	2.74	1958~1967
11	棉花滩	福建	碾压混凝土重力坝	111	200	0.55	1997~2001
12	岩滩	广西	碾压混凝土重力坝	110	2430	1.72	1984~1992
13	潘家口	河北	宽缝重力坝	107.5	2930	2.62	1975~1983
14	水丰	辽宁	重力坝	107	14660	3.4	1937~1943
15	黄龙滩	湖北	重力坝	106	1170	0.98	1969~1975
16	三门峡	河南	重力坝	106	16200	1.63	1957~1973
17	新安江	浙江	宽缝重力坝	105	21626	1.38	1957~1960
18	新丰江	广东	支墩坝	105	14000	1.06	1956~1960
19	柘溪	湖南	支墩坝	104	35600	0.86	1956~1962
20	水口	福建	宽缝重力坝	101	2600	1.81	1985~1993
21	丹江口	湖北	宽缝重力坝	97	20886	2.93	1964~1974
22	枫树坝	广东	空腹重力坝	95.5	1940	0.76	1970~1975
23	朱庄	河北	浆砌石重力坝	95	430	1.04	~1985
24	牛路岭	海南	空腹重力坝	93.3	685	0.39	1976~1982
25	安砂	福建	宽缝重力坝	92	740	0.47	1970~1975
26	丰满	吉林	重力坝	90.5	10780	1.94	1937~1954
27	万家寨	山西、内蒙	重力坝	90	890	1.84	1994~1999

80 年代以来,中国陆续建设一批高度大于 100 m 的拱坝.已建成的最高的双曲拱坝为二滩拱坝,坝高 240 m;最高的重力拱坝为龙羊峡坝,坝高 178 m;最高的空腹重力拱坝为凤滩坝,坝高 112.5 m;最高的浆砌石拱坝为群英坝,坝高 100.5 m.二滩双曲拱坝,为世界第三高拱坝.

中国碾压混凝土拱坝的历史只有 10 年,但发展很快,已建成 3 座,其中普定拱坝坝高 75 m,为现今世界最高碾压混凝土拱坝,正在建设的沙牌碾压混凝土拱坝坝高达 132 m.

中国已建和在建坝高 90 m 以上的拱坝 14 座,

见表 3。

表 3 已建和在建坝高 90 m 以上的拱坝

序号	工程名称	建设地点	坝型	坝高 /m	库容 /10 ⁶ m ³	坝体工程量 /10 ⁴ m ³	建设年代
1	二滩	四川	双曲拱坝	240	6170	4.25	1988~1998
2	龙羊峡	青海	重力拱坝	178	27630	1.57	1976~1987
3	东凤	贵州	双曲拱坝	173	1025	0.44	1986~1995
4	李家峡	青海	双曲拱坝	165	1728	1.15	1988~1998
5	乌江渡	贵州	重力拱坝	165	2140	1.88	1974~1979
6	东江	湖南	双曲拱坝	157	9530	0.9	1978~1986
7	隔河岩	湖北	重力拱坝	151	3770	2.17	1986~1993
8	白山	吉林	重力拱坝	149.5	5997	1.63	1976~1983
9	沙牌	四川	碾压混凝土拱坝	132	78	0.42	1997~2001
10	凤滩	湖南	空腹重力拱坝	112.5	1715	1.17	1970~1978
11	紧水滩	浙江	双曲拱坝	102	1393	0.3	1980~1987
12	群英	河南	浆砌石拱坝	100.5	20	0.18	~1971
13	鳖山	河南	双曲拱坝	94.5	1	0.07	~1983
14	逍遙河	河南	浆砌石重力拱坝	91	12.4	0.22	~1978

3 中国大坝建设的主要技术成就

3.1 地质勘探技术

大坝基础地质勘探广泛采用新技术、新设备和新工艺。在区域地质调查和工程地质图测绘时,采用遥感技术,运用物探、钻探和洞探等综合勘探方法查明基岩埋深、岩体风化、隐伏地质构造和地下水、调查历史地震资料、断层构造发育情况和近期地震观测成果进行坝址地震危险性分析。采用 SM 植物胶固化冲积覆盖层获取原状砂砾石。采用彩色钻孔电视摄像编录钻孔岩芯地质构造、裂隙产状和软弱夹层状况。通过大量工程地质勘探实践,中国已能在各种复杂的地质包括碳酸盐岩岩溶地质条件下,对水库渗漏、边坡稳定和高坝地基作出科学的工程地质评价,并为工程设计提出重要依据和地质参数。

3.2 计算机和物理模型试验在坝工领域的应用技术

在大坝建设科技领域中,有关材料、结构、水力学、泥沙、岩土力学等学科的基础理论和应用科学随着大规模水利水电工程建设的发展而迅速提高。从事水利水电行业的勘测设计院、科学研究院和大学都普遍使用计算机,编制有大量计算机应用程序和计算机辅助设计软件。在工程设计中,已编制有可供使用的重力坝、拱坝、水电站厂房、隧洞、压力管道、钢岔管、弧型闸门等数十项计算机辅助设计(CAD)软件,水工建筑物图纸基本上用计算机作图。在材料、结构、水工、泥沙、岩土、抗震等方面的试验技术、原型测试技术等具有较高水平,完全能承担大型水利水电工程中各种复杂问题的物理模型试验。所有这些成就都为我国坝工建设提供了可靠的技术保证。

3.3 土石坝建设的技术成就

中国在土石坝筑坝材料、坝体分区、坝体稳定、渗流、沉降及应力应变分析、基础处理、填筑标准、施工机具等一系列关键技术问题具有丰富的经验。

a. 用砾质土或风化料作为高坝的防渗土料。将建的瀑布沟心墙堆石坝,高 186 m,心墙土料采用筛除 80 mm 以上粒径砾石的天然砾质土;已建成的鲁布革心墙堆石坝,采用全风化砂页岩作心墙料获得成功。砾质土和风化料具有抗剪强度高、渗透系数小、压缩模量大,其物理力学性能较好地满足堆石坝防渗体的要求。

b. 成功地建成了多种形式的面板坝。修建在深覆盖层上的面板坝,地基采用混凝土防渗墙处理,趾板与防渗墙连接采用柔性接缝结构,以适应地基变形、粘土防渗墙土石坝与混凝土面板相结合,这种形式的坝可用在下部为已建的土石坝,上部需要加高而采用的面板坝。用喷混凝土作成的薄面板堆石坝,这种形式的面板坝目前使用的坝高度不大。溢流式面板坝,当河谷狭窄且无合适地形布置岸边溢洪道、泄洪流量不大时可以采用这种坝型。

正在设计的水布垭面板坝为世界最高面板坝之一,坝高 233 m,坝坡 1:1.4,坝体堆石体按垫层、过渡层、主堆石区和次堆石区进行分区,趾板建在灰岩岩基上,趾板下设帷幕灌浆,周边缝设可靠止水。

正在建设的以砂砾石为主要筑坝材料的面板坝有 5 座,坝高都在 120 m 以上。砂砾石料具有压缩性低、抗剪强度和变形模量高、施工易压实、工程单价低等优点,但由于砂砾石抗渗流冲蚀能力低,易发生渗透变形破坏,故需强调做好面板周边缝止水,并在坝体分区上设堆石排水体和反滤层。

c. 在强地震区和活断层上建土石坝必须查清含砂地基液化性能和坝体填筑料的动力特性。中国对地震作用下坝基和坝体二维、三维动力分析有深入研究,并能进行振动台物理模型和离心机模型试验。土石坝抗震常采用加宽坝顶、放缓坝坡、加强反滤排水结构,以抗剪强度高的堆石料压坡和必要时坝内加筋等措施,实践证明这些措施是有效的。

d. 深厚覆盖层地基上的土石坝,常采用混凝土防渗墙或高压喷射灌浆幕作防渗处理。目前中国混凝土防渗墙的最大深度达 82 m,防渗墙的渗透系数小于 10^{-8} cm/s,强度 40 MPa;高压旋喷灌浆压力 40 MPa 以上,防渗幕的渗透系数 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/s,强度 2~3 MPa。

e. 坝体材料特性试验可进行全级配料大型三轴试验、渗流试验和压缩试验。对坝体坝基稳定、渗流、沉降、应力和应变计算编制有各种非线性二维、

三维有限元程序,可供工程实际应用。

3.4 重力坝建设的技术成就

中国重力坝建设已达到国际先进水平,其主要技术成就有以下几方面:

a. 多种型式重力坝,包括实体重力坝、宽缝重力坝、空腹重力坝、浆砌石重力坝以及近十多年来发展很快的碾压混凝土重力坝。

b. 重力坝设计理论有新的发展。坝体设计除采用材料力学法进行结构分析外,还采用有限元分析,将有限元分析得出的拉应力区的宽度不大于坝底宽的 $1/5$ 作为坝体断面设计的控制标准。用概率理论进行可靠度分析。用数学规划方法对坝体断面优化。考虑坝体分层施工和分期蓄水进行坝体应力仿真计算。用断裂力学分析坝体裂缝的产生及其扩展。这些新的理论和方法已被普遍应用于高重力坝设计。

c. 碾压混凝土重力坝已被广泛采用。碾压混凝土坝的设计力求做到体型简单,以方便施工,缩短工期;碾压混凝土配合比采用低水泥用量,高掺粉煤灰,粉煤灰掺量 $50\% \sim 70\%$;采用富胶材料以提高碾压混凝土自身抗渗性能,胶凝材料一般不小于 150 kg/m^3 ;采用高效复合外加剂,使碾压混凝土缓凝、减水,并有良好和易性;碾压混凝土常采用薄层连续通仓浇筑,以加快施工进度。

d. 重力坝坝身泄洪过去常采用单一的挑流、底流、面流或屏流消能,现在经多项工程实践和水工模型试验验证,创造出中国特有的宽尾墩联合消能工型式。这种消能型式的特点是将溢流坝闸墩的尾部放宽,并与挑流、底流、面流或屏流等消能型式相结合,使消能效果大为提高。宽尾墩可使水流通过溢流坝面产生多股收缩壅高水流,再在反弧段下落坦化、交汇和混合,极大地加强水流内部的紊动、剪切、掺混和碰撞,改变平尾墩二元水流为完全的三元水流,使水流获得更大的消能效果,以达到缩短消能建筑物长度,减轻对下游河床的冲刷。

e. 复杂岩基上混凝土重力坝的地基处理,采用高压水泥灌浆,丙凝、环氧或聚氨脂化学灌浆,磨细水泥灌浆,高压喷射冲洗灌浆和稳定性浆液灌浆,提高了灌浆效果,使基岩的防渗性能、强度和弹性模量有较大的提高。

f. 三峡工程重力坝为世界最宏伟的重力坝。坝身泄洪流量大,泄洪建筑物结构复杂。巨大的洪水全部集中在坝身宣泄,最大泄洪流量达 $102500 \text{ m}^3/\text{s}$ 。坝身分层布置泄洪孔口,上部为表孔、中部为深孔,孔口尺寸大,孔数多,流速大于 35 m/s ,孔口最大拉应力达 4 MPa 以上,孔口周围布设多排钢筋。三峡工程采用坝后式厂房,厂房机组 26 台,单机容量

700 MW,总装机容量 18200 MW,通过坝身的压力钢管直径 12.4 m ,钢管以浅埋槽方式布置在坝后,采用钢衬钢筋混凝土联合受力结构。三峡工程总混凝土工程量 $26 \times 10^6 \text{ m}^3$,其中重力坝工程量 $16 \times 10^6 \text{ m}^3$,总工期 16 a,最大年混凝土浇筑强度 $4100 \times 10^3 \text{ m}^3$,最高月浇筑强度 $460 \times 10^3 \text{ m}^3$,采用先进施工方法,在筑坝史上规模空前,居世界领先地位。

3.5 拱坝建设的技术成就

中国拱坝建设将攀登世界技术高峰,其特点是,坝高愈来愈高,坝身泄洪流量和水头愈来愈大。

a. 拱坝枢纽布置。拱坝多建于峡谷河床,对于泄洪流量大,电站装机规模大的高拱坝,枢纽布置增加了困难。必须根据地形地质条件、泄洪流量大小、电站装机规模因地制宜合理布置。中国以拱坝为坝型的枢纽布置创造了多种型式:厂房布置在拱坝腹腔内,坝顶泄洪;厂房布置在坝后,坝顶和厂房顶泄洪;厂房布置在坝后,两岸坝身浅孔、中孔滑雪道式泄洪;厂房布置在地下,坝身和岸边隧洞泄洪。因地制宜多种型式枢纽布置都通过水工模型试验论证,做到泄洪、发电安全可靠,经济合理。

b. 拱坝体型优化。拱坝体型参数选择直接影响坝体应力和工程量的大小,拱坝体型优化是利用数学规划方法在给定的约束条件下,寻求拱坝应力条件最好,工程量最小的方法。中国拱坝优化已编制有计算机程序,可考虑静力和地震动力作用体型优化,控制坝踵开裂体型优化,也可考虑稳定安全系数约束优化。可以对一个工程分别以双心圆、三心圆、抛物线、椭圆曲线、双曲线和对数螺旋曲线 6 种体型进行优化和比选,选出最佳体型及相应参数。据 30 多个实际工程统计,经过优化可减少 20% 坝体混凝土工程量,节省投资 $15\% \sim 35\%$ 。

c. 拱坝拱座稳定。拱座稳定是确保拱坝安全的前提,在充分考虑坝体应力条件下,高拱坝趋向扁平拱型,限制拱圈中心角,使拱应力与岸坡有较大夹角,以利拱座稳定。拱座稳定除应控制变形外,主要是拱座岩体抗滑稳定,而拱座抗滑稳定主要受控于岩体结构面的滑动失稳。目前通常用刚体极限平衡法、有限元法和地质力学模型进行静力、动力分析,以判断拱座的稳定性。为了确保拱座安全,需对拱座软弱岩体结构面进行基础处理,以改善其力学性能,提高坝肩拱座的稳定性。

d. 拱坝应力三维非线性仿真计算。拱坝应力分析常用拱梁分载法和有限元法。拱坝在水荷载作用下是以压应力为主的超静定结构,在温度荷载作用下出现拉应力。对于高拱坝,应力应变呈非线性状态,以研究混凝土本构模型为基础,用断裂损伤力学和弹塑

性理论,研制了一整套三维非线性多拱梁法和有限元程序,该程序可考虑分期施工、分期灌浆封拱和分期蓄水全过程仿真,这在一定程度上发展了拱坝计算理论,代表了拱坝坝体应力分析的近代技术水平。

e. 拱坝泄洪消能。近年来中国设计的高拱坝,如拉西瓦、构皮滩、小湾、溪洛渡和已建设的二滩高拱坝,泄洪流量 $3 \sim 5 \text{ 万 m}^3/\text{s}$,泄洪落差 200 m 以上,泄洪功率 $30\,000 \sim 70\,000 \text{ MW}$,代表了在峡谷河床中大流量高水头的泄洪消能,其特点是泄洪功率大,能量集中。泄洪消能方式,采用坝身表孔、中孔和岸坡隧洞联合泄洪,选择合适的表孔、中孔体型、鼻坎高程、挑角和布置,使多股水流在空中碰撞后分散落点。在坝后设两道坝形成水垫塘,控制水流对底板的冲击力,利用岸边泄洪洞挑流分散在水垫塘以外消能,经水弹性模型试验验证在水荷载和泄洪消能冲击荷载作用下,坝体及坝基的振动、变形和应力是能够满足安全要求的。

f. 碾压混凝土拱坝。中国碾压混凝土拱坝的建设吸取了碾压混凝土重力坝的经验,同时又考虑了拱坝的特点,主要的经验有:采用全断面碾压混凝土,不采用常态混凝土外包,仅在溢流坝面、闸墩及孔洞周围采用部分常态混凝土;坝体设若干条横缝或诱导缝,不分柱状块浇筑,采用全断面薄层连续浇筑,横缝或诱导缝内埋灌浆设施,待坝体温度下降后灌浆;碾压混凝土采用高掺粉煤灰、低水泥用量和富胶凝材料;依靠碾压混凝土的高质量自身防渗,在每一填筑层间铺洒水泥粉煤灰净浆或水泥沙浆,以提高抗渗能力;避免夏季高温季节浇筑,简化温控措施,做好防止气温骤降的影响,采用保温措施,并加强养护。

4 展 望

中国水利水电工程建设将有一个大的发展,目前政府已把水利作为国民经济的基础产业,将在资金上加大投入。中国水力资源居世界第一,目前开发量不到 20% ,中国将重点治理开发长江、黄河等大江大河,防止洪涝灾害,积极发展节水灌溉,建立大型灌区和重点水电基地。大规模的水利水电工程建设使坝工建设提高到一个新的水平。表 4 列出了目前正在设计的坝高 150 m 以上的部分大坝的主要指标,在 21 座高坝中土石坝 12 座,重力坝 5 座,拱坝 4 座。

今后中国水利水电工程建设将面临更大的挑战,自然条件更为复杂,技术难度更高。21 世纪中国将在西南地区澜沧江、金沙江等大江大河上兴建一批高坝、大库、大型水电站。计划 21 世纪初兴建的小湾、溪洛渡大坝为双曲拱坝,分别高 292 m , 285 m ,其规模、坝高、坝身泄洪流量都具有世界最高水平。溪

表 4 正在设计的坝高 150 m 以上的部分大坝

序号	工程名称	建设地点	河流	坝 型	坝高/m
1	锦屏一级	四川	雅砻江	土石坝	320
2	小 湾	云南	澜沧江	双曲拱坝	292
3	溪洛渡	四川、云南	金沙江	双曲拱坝	285
4	糯扎渡	云南	澜沧江	碾压混凝土重力坝	254
5	拉西瓦	青海	黄 河	双曲拱坝	250
6	水布垭	湖北	清 江	面板坝	233
7	构皮滩	贵州	乌 江	双曲拱坝	225
8	龙 门	陕西、山西	黄 河	土石坝	212
9	龙 滩	广西	红水河	碾压混凝土重力坝	192
10	瀑布沟	四川	大渡河	粘土心墙堆石坝	186
11	三板溪	贵州	清水江	面板坝	185.5
12	姚家坪	湖北	清 江	面板坝	184.5
13	洪家渡	贵州	乌 江	面板坝	183.5
14	光 照	贵州	北盘江	碾压混凝土重力坝	178
15	大岗山	四川	大渡河	碾压混凝土重力坝	175
16	滩 坑	浙江	甌 江	面板坝	161
17	九甸峡	甘肃	洮 河	碾压混凝土重力坝	158.6
18	紫坪铺	四川	混 江	面板坝	158
19	大柳树	宁夏	黄 河	面板坝	155.5
20	响水洞	安徽	响水洞	面板坝	153
21	吉林台	新疆	喀什河	面板坝	152

洛渡水电站装机规模超过 $10\,000 \text{ MW}$,是世界上最大的地下厂房。正在规划设计的从长江上游通天河、雅砻江、大渡河调水至黄河上游的长距离南水北调西线工程,需修建数座高 $100 \sim 200 \text{ m}$ 的高坝,通过大型泵站,深埋长隧洞,进行调水。南水北调西线水源工程大坝将修建在海拔 $4\,000 \text{ m}$ 左右的高原地区,高寒、低气压、缺氧、强地震、深覆盖、大滑坡等十分恶劣的气候条件和地质条件,加上交通运输的困难,都是世界水利工程史上前所未有的复杂难题。中国科技人员和大坝建设者们将在 21 世纪依靠科技进步,建设世界一流水平的大坝,创造坝工建设史上更加灿烂辉煌的成就。

(注:本文原载内部资料《大坝与安全》,现征得作者同意,由作者对原文略作修改后在本刊发表。)

(收稿日期:1999-07-19 编辑:马敏峰)

《河海大学常州分校学报》公开发行

《河海大学常州分校学报》(季刊)由河海大学常州分校主办。最近经国家科学技术部批准为国家正式期刊,将从 1999 年第 4 期起向国内外公开发行,刊号为 ISSN 1009-1132, CN 32-5102/TB。该刊创刊于 1987 年 3 月,至今共出刊 13 卷 51 期,13 年来发表学术论文 1 000 余篇,在国内产生了较大的影响。其中有数篇论文曾获省、部级科技奖。

《河海大学常州分校学报》的办刊宗旨是:为发展水利电力建设事业服务,促进机械工程、信息与通信工程、动力工程、经济学及管理学科有关学科的繁荣,推动河海大学常州分校科研与教学及师资队伍建设。主要栏目有:学术论文、科研简报、学科发展综述及教学研究。热诚欢迎广大作者赐稿。

(郑 慧供稿)