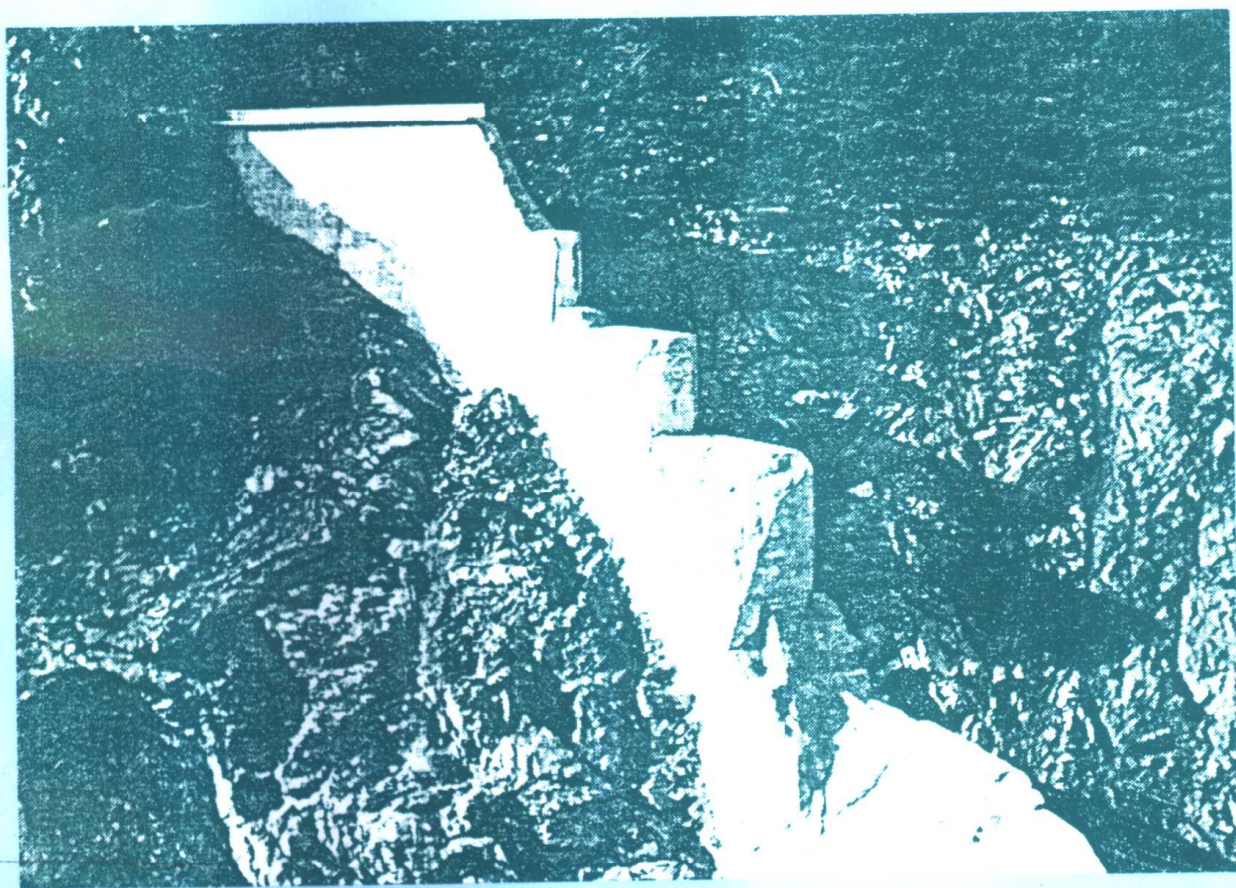


1001178

大坝事故与安全 • 拱坝

Arch Dams • Accident and Safety of Large Dams

汝乃华 姜忠胜 编著



中国水利水电出版社

11001178

大坝事故与安全·拱坝

黄文熙

汝乃华 姜忠胜 编著

中国水利水电出版社

图书在版编目(CIP)数据

大坝事故与安全·拱坝=Arch Dams·Accident and Safety of Large Dams/
汝乃华,姜忠胜编著. —北京:中国水利水电出版社,1995
ISBN 7-80124-045-6

I. 大… II. ①汝… ②姜… III. ①大坝·拱坝-水利工程事故-事故分析
②大坝·拱坝-水利工程-安全技术 IV. ①TV642.4 ②TV698.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 12471 号

书 名	大坝事故与安全·拱坝
作 者	汝乃华 姜忠胜 编著
出 版	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044)
经 售	全国各地新华书店
排 版	蓝天公司激光照排
印 刷	河北省怀来长城印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 22 印张 495 千字
版 次	1995 年 10 月第一版 1995 年 10 月北京第一次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	28.80 元

内 容 提 要

本书收集了近百年来国内外拱坝运行事故 50 多例,重点介绍和分析了其中近 30 起各有特色的实例,如 60 年代初震惊全球的法国马尔帕塞双曲薄拱坝的溃决;当时全球最高的意大利瓦依昂拱坝的报废;80 年代检查、加固近 10 年的奥地利 200m 高的科恩布赖拱坝的重大损坏等。分别叙述了这些坝的概况,事故发生的过程、原因调查和分析,以及善后措施。特别以整章篇幅对马尔帕塞坝的突发性破坏作了全面阐述,介绍了官方调查结论和非官方的世界著名专家们对事故原因的意见,最后以详细论据提出该坝是上滑失稳的新见解。指出拱坝自身(而不是坝座岩体)的滑动失稳,乃是拱坝这种坝型特有的最危险的破坏模式。并推导了控制这种失稳的安全判别式。

本书材料搜集丰富,文字流畅、生动,是一本耗时 10 年的力作,对水利水电工程技术人员,特别是坝工设计、施工、运行管理等部门的有关人员,以及大专工程院校师生有较高的参考价值。

序

近 20 年来,我国建成了几座高重力拱坝:如青海龙羊峡拱坝,坝高 178m;湖北隔河岩拱坝,坝高 151m;吉林白山拱坝,坝高 149.5m 等。并且继湖南东江高 157m 的双曲拱坝建成后,正在兴建的有四川二滩高达 240m 的双曲拱坝,以及将要建设的云南小湾高达 285m 的双曲拱坝。我国丰富的水能资源,有 $\frac{2}{3}$ 蕴藏在西南地区,水电开发的坝址都在深山峡谷,那里人烟稀少,交通不便,坝址条件复杂。从我国水利水电工程拱坝建设的发展看,将趋向于兴建更多更高的双曲拱坝。无疑的,《大坝事故与安全·拱坝》一书的出版,对我国当前及今后高薄拱坝的建设、运行和管理,会有许多方面的经验和教训可资借鉴。

本书作者汝乃华、姜忠胜两同志,多年从事于水利水电工程设计和建设,积累了丰富的国内外水利水电工程技术资料。多年来收集到本世纪内国内外大小拱坝发生事故及破坏的工程实例 50 余个,从中选择了有代表性的并且各有特色的拱坝发生事故的工程实例 20 多个,编撰成《大坝事故与安全·拱坝》一书。书中详细介绍了国内外一些拱坝发生的事故与破坏,以及事故发生后有关方面组织力量进行调查、分析、研究,探索事故发生的原因,采取的勘探、试验、计算的方法与手段,研究可行的处理、补强加固措施。可以说,这些都反映了当代的技术水平,都是很好的经验。研究和学习这些经验,对于我国从事拱坝建设、运行管理工作的人员,以及广大的水利水电工程技术人员,从事勘测、科研、试验、设计、施工、监理、运行、监测、管理等方面工作的同志,都有重要的参考价值。

作者研究了所收集到的有关拱坝发生事故与破坏的文献资料,并结合我国福建省梅花拱坝与法国马尔帕塞拱坝相似的突发性事故破坏的过程及后果,探索了拱坝失事机理和破坏模式,提出了新的见解,认为拱坝沿地基面滑动稳定安全问题,值得引起拱坝建设人员的重视。这个见解曾在国际拱坝学术交流会上,得到国内外坝工专家的赞同。在本书中,作者推导出拱坝抗滑稳定安全准则的判别式,这是从实践中来,理论联系实际成果。如果通过一些科研试验和计算分析,使广大的拱坝建设者对此能取得共识,则在今后的拱坝建设前期工作中,有可能减少若干勘探试验工作量,节省一些前期工作费用,并加快前期工作,其意义是非常大的。就这一方面而言,这也是本书的特色之一。

汝乃华同志曾在 60 年代编著了《水工建筑物的破坏及其原因分析》一书,介绍了国外水利水电工程各种水工建筑物的失事及破坏情况、原因分析,也介绍了几座拱坝的失事与破坏。但是内容较陈旧,限于当时的条件及所能收集到的有限的资料,缺少近 30 多年来国内外大小拱坝发生事故与破坏的实例。另外,国外对工程失事大多不予公布,报刊杂志也叙述不全。1968 年法国出版了 M. Mary: "Barrage routes, historique accidents et incidents", 较简略地论述拱坝失事的内容。1987 年美国出版了 G. A. Leonards: "Dam Failure", 仅叙述了法国马尔帕塞拱坝的失事与破坏和意大利瓦依昂水库因滑坡涌浪而导致拱坝报废的两个实例。可以说本书的问世,弥补了上述书刊的不足。

我国的坝工建设历史悠久,大坝建设的成就也位居前列。自从 70 年代中国大坝委员会

成为国际大坝委员会的成员以来,我国和世界各国的坝工建设交往日益增多。随着改革开放的逐步深化,坝工技术的国际交往频繁,信息沟通迅速。作者多次参加拱坝的国际性学术会议,接触到国内外坝工专家,搜集并积累了丰硕的坝工资料,萌发了撰写大坝的事故与安全方面的著作,计划就重力坝、拱坝、土石坝方面的内容,逐步进行编写。这个愿望和决心,深得同行们的赞赏和支持。乃与姜忠胜同志从拱坝方面着手,经过几年的辛勤努力,得以完成本书书稿。一本好书的问世,可以服务于当代,也可以流传后世。希望通过实践实现作者的心愿,也是同行们的期望。

令人感到遗憾的是,本书初稿甫成,姜忠胜同志因病不治,不幸于1994年8月逝世,不能亲睹本书问世。经各方面努力,时隔不到1年,《大坝事故与安全·拱坝》一书得以出版,堪以告慰。

蔡定一

1995年3月于北京

前 言

80年代初,在四川秀丽宁静的五通桥畔一次砌石坝技术会议上,我们相约尝试发掘和整理本世纪以来拱坝的失事和破坏、损伤事例,以期总结经验教训,供今后拱坝建设参考。不料这小小心愿付诸实施,前后竟花了近10年时间。

称之为“发掘”,是因为工程的失事或破坏实例搜集匪易。多数国家都有报喜不报忧的通病,少数国家如美国、奥地利虽比较开放,不论成功或失败事例,工程师们都愿意公开报导,但要将这些材料汇集到手,也相当费时费力。因为40年代以前的国外文献,大都湮没在故纸堆中,有关书刊国内只有北京、上海等图书馆收藏,而且都已存放在郊区分馆。借阅不仅要收费,而且每次限借两本,借阅复印往往需整天时间,往返一次能得到一份资料,已属丰收。有些资料国内没有还得向国外寻觅。例如法国马尔帕塞坝失事的官方调查报告,笔者在1987年去美国参加大坝安全研讨会时,通过美国水基金会谢克(J. Schaack)先生的帮助,才于一年后从美国垦务局图书馆得到全文。所以一文一图之得,用“发掘”二字形象地反映其中甘苦,似非夸张。这项工作主要由汝乃华承担。

其次是材料的整理。一个事例如果仅有一份材料,作为孤证,其内容往往并不全面或可靠。再则,有的文章是作者亲历其境的第一手材料,但有些却是转辗传抄,人云亦云,需要了解其来源,查考其写作背景,并对不同来源的资料进行对比分析,弃粗取精,去伪存真。对于一些重要事故的资料更须多方汇集,反复推敲,然后才能撰写成文。这项工作主要由姜忠胜担任。从1989~1991年,以整整3年时间写成初稿,共26个事例,近20万文字和100多幅图表。1993年又再次重写了其中部分文稿。

改革开放推动了水电事业蓬勃发展。四川省槽鱼滩水电股份有限公司,创业伊始,就十分关心坝工技术的发展。由于公司的赞助,本书得以顺利出版,笔者在此谨致诚挚的谢意。

我们分居在长江的首尾——四川省乐山市和上海市,平时凭藉邮路切磋琢磨,也几度在乐山、厦门等地会晤讨论。在这一年多时间里,分工写作,共同定稿。我们深感思想日益迟纯,效率每况愈下,既影响内容的前后连贯,也难作深入精辟的分析,只能效驽马十驾之劳,不分寒暑将全部时间投入。有时或整日凝注而头昏目眩,或长夜推敲而反侧难眠;开会出差,资料惯于车船研读;生病入院,稿件常在病床校阅。幸有一台微机为助,可以随意修改、储存、打印,不必再受爬格子之苦。终于在1994年5月31日完成了10年前在五通桥畔的初衷。

本书内容以介绍工程事故的实例为主,先讲清楚事实,然后尽可能作一定分析,并将笔者心得体会作为意见之一参与讨论。重点事故一般包括坝的设计施工概况、事故经过、原因调查、经验教训、善后措施及其效果等。其中,事故的经过和教训可以增加我们的间接经验;调查方法、分析思路、善后手段则值得注意借鉴。对于国内资料,尽管我们尽心搜集,但了解情况终究有限,因此热切期望国内熟悉情况的专家们披阅此书后,予以批评指正。

最近,蔡为武工程师在《大坝与安全》期刊1994年第1期上撰文指出:

“失败乃成功之母,现代坝工技术的进展主要原因之一,是大坝事故分析的公开讨论。这是事故处理的一个重要方面,是一种对人民负责、实事求是的科学态度。

由于种种原因,我国常常报喜不报忧,很少公开报导大坝事故实例和原因分析,重大事故常限于内部有关人员讨论,没有聘请专家作纯客观的讨论分析。结论笼统而无法供坝工界吸取教训。

这种做法使我国坝工界某些错误一犯再犯,有些某地已解决的问题在另一地又当作新问题进行低水平重复研究,为此,笔者认为必须突破一些陈旧的禁区,实行公开讨论,不同意见允许公开发表。”

在本书行将脱稿之际,拜读了这一高见,特作引录,愿与读者们取得共识,齐心向这个方向努力。

最后,要着重说明,本书所有取材依据已汇列于参考文献。然而国内素材,例如情报网刊物《拱坝技术》、《混凝土坝技术》和《砌石坝技术》以及国内拱坝统计等,都因系内部资料而未一一列入。此外,还要特别感谢北京勘测设计院的刘更新、陈正作,四川省的冯广宏、虞权方、杨其文,福建省的陈时声和贵州省的黎展眉等工程师们为本书提供实际资料,或慨允引用他们的研究成果。笔者也感谢美国垦务局的维瑟特(Chris. J. Vesaert)寄赠的一套国外事故图文资料,美国水基金会的谢克先生的帮助,葡萄牙的西拉非姆(L. J. Serafim)教授和瑞士的黑索格(M. Herzog)博士等惠赠的论文,法国无国界水利学会黄致中(Brice Wang)和迪福特(Pirre Duffaut)先生给予的帮助。法国大坝委员会(CFGB)曾在该会的通报《大坝与水库》(Barrages et Reservoirs)1994年第1期上,刊载了作者在1992年国际拱坝学术会议上对马尔帕塞坝失事机理解释的论文摘要,和3位法国专家龙德(P. Londe)、波斯特(G. Post)和卡雷尔(A. Carrere)的不同意见,展开了有益的学术讨论,笔者谨以本书第三章作为对他们质疑的答复。最后,笔者衷心感谢黄文熙教授为本书题写书名。蔡定一先生审定全书,指出了书稿中的一些疏误,并为本书撰写序言。此外,笔者还要感谢上海大坝科技咨询有限公司于本书撰稿过程中,在打印、描图、校对方面付出的辛勤劳动。

笔者

1994年5月

目 录

书名题字

序

前 言

第一章 拱坝的建设与安全	1
第一节 世界的拱坝建设	1
第二节 中国的拱坝建设	4
第三节 拱坝结构概念与形状的发展	8
第四节 拱坝的事故及其分类	19
第二章 拱坝的失事与报废事例	24
第一节 两座美国小拱坝的报废	24
第二节 两座美国小拱坝的破坏	36
第三节 两座中国砌石拱坝的破坏	39
第四节 南斯拉夫艾德巴拱坝的损坏	49
第五节 两座法国薄拱坝的报废	53
第六节 意大利瓦依昂拱坝的报废	64
第七节 中国梅花周边缝拱坝的失事	80
第三章 法国马尔帕塞拱坝的失事	90
第一节 坝的设计与施工	90
第二节 坝的运行与失事经过	96
第三节 失事后的调查	99
第四节 失事原因的官方解释	116
第五节 失事原因的非官方解释	123
第六节 拱坝的抗滑稳定	137
第七节 马尔帕塞冲击	147
第四章 近代欧洲高拱坝的破损事例	155
第一节 瑞士泽乌齐尔拱坝	155
第二节 奥地利科恩布赖拱坝	182
第三节 奥地利施莱盖斯拱坝	214
第四节 瑞士舍夫雷格拱坝	223
第五节 葡萄牙卡勃里耳拱坝	231
第六节 西班牙埃尔阿塔扎拱坝	237
第七节 俄罗斯萨扬舒申斯克拱坝	243

第五章 其他拱坝的损坏事例	248
第一节 帕卡伊玛拱坝的震害	248
第二节 拱坝与地震	255
第三节 梅山连拱坝右坝座的错动	268
第四节 弗雷尔拱坝的坝座坍塌	277
第五节 寸塘口和双河口砌石拱坝的开裂	281
第六节 四座中国混凝土拱坝的开裂	289
第六章 拱坝的开裂与安全	314
第一节 概述	314
第二节 30 年代美国的经验	314
第三节 裂缝对安全影响的定性分析	315
第四节 70 年代的理论研究与实践	317
第五节 80 年代的理论研究与实践	320
第六节 结语	326
附录 拱坝的事故统计	328
参考文献	335

Contents

Title handwritten by Prof. Huang Wenxi

Introduction by Mr. Cai Dingyi

Preface by the Authors

Chapter 1——Construction and Safety of Arch Dams

1. World's arch dam construction
2. China's arch dam construction
3. Historical development of structure concept and shape of arch dam
4. Incidents of arch dam and it's category

Chapter 2——Failure and Abandonment of Arch Dams

1. Abandonment of two American low arch dams
2. Failure of two American low arch dams
3. Failure of two Chinese masonry arch dams
4. Failure of Yugoslavia Idbar arch dam
5. Abandonment of two French thin arch dams
6. Abandonment of Italian Vajont high arch dam
7. Failure of Chinese Maihua arch dam with peripheral joint

Chapter 3——Failure of French Malpasset Arch Dam

1. Design and construction
2. Operation and discription of incident
3. Investigations after failure
4. Cause of failure —— by official committee
5. Cause of failure —— by non-offical experts
6. Sliding stability of arch dams
7. The Malpasset impact

Chapter 4——Accident and Deterioration of High Arch Dams in Europe

1. Zeuzier arch dam (Switzerland)
2. Kolnbrein arch dam (Austria)
3. Schlegeis arch dam (Austria)
4. Zervreila arch dam (Switzerland)
5. Cabril arch dam (Portugal)
6. El Atazar arch dam (Spain)
7. Sayan-Shushensk arch dam (Russia)

Chapter 5—— Accident and Deterioration of Arch Dams in Other Countries

1. Pacoima arch dam(America)——Earthquake damage
2. Earthquake influence on arch dams
3. Maishen multiple arch dam(China)——Abutment shift
4. Frayle arch dam (Peru)—— Abutment collapse
5. Cun Tangkou and Shuang Hekou masonry arch dams(China)——Cracking
6. Four concrete dams in China——Cracking

Chapter 6—— Effect of Crack Formation on Arch Dam Safety

1. General
2. American experience in 1930's
3. Qualitative analysis
4. Research and practice in 1970's
5. Research and practice in 1980's
6. Conclusion

Appendix Statistics of Incidents of Arch Dams

Bibliography

第一章 拱坝的建设与安全

第一节 世界的拱坝建设

一、地区分布

拱坝作为一种经济性和安全性均较优越的坝型,在中国和世界各国都被广泛采用。根据国际大坝委员会 1988 年出版的大坝注册簿统计,截止 1986 年底,全世界已建的拱坝高度 $h \geq 15\text{m}$ 的有 1608 座。其中 50 个会员国为 1592 座,10 个非会员国和地区为 16 座。拱坝占全世界大坝总数 36235 座的 4.4%,其主要分布的国家或地区见表 1-1。

从表 1-1 中可见,拱坝建设集中在三个国家和地区:

(1)中国是建造拱坝最多的国家,包括台湾省在内共 756 座,几乎占全部拱坝总数的一半,绝大多数是砌石拱坝,因而称中国为拱坝之乡并不过分。

(2)其次是欧洲,20 个国家合计 419 座,约占总数的 1/4 强。而阿尔卑斯山地区的法、意、瑞士三国,又占其中的一半以上。那里的拱坝体型优美,多姿多采。

(3)再次则为美国,共 165 座,约占 10%。虽然其数量不如中国、欧洲,却是拱坝技术发源地,那里拱坝建设的方针稳健慎重,保持着最好的安全记录。

二、高度分布

全世界已建的拱坝,虽然在 15m 高度以上的只占大坝总数的 4.4%,但随着坝高增加,这一百分率也不断升高。法国坝工专家龙德曾经形象地用图 1-1 内所示的曲线表示出这种趋势。表 1-2 内则列有各种坝型按不同高度统计的百分比。从表中可见:在坝高超过 100m 的高坝中,拱坝已超过重力坝的数量。而在坝高 150~200m 范围内,拱坝数量又超过了土石坝的数量。前者为 29 座而后者为 28 座,重力坝仅 9 座。已建成坝高超过 200m

的高坝共 26 座,其中土石坝 7 座占 27%,重力坝 4 座占 15%,连拱坝 1 座占 4%;拱坝 14 座

表 1-1 建造拱坝的主要国家和地区统计

国家或地区		建坝数量(座)	百分率(%)
亚 大 地 区	中 国	756	47.0
	日 本	48	3.0
	澳大利亚	44	2.8
	新 西 兰	18	1.1
	其 他	12	0.7
合 计		878	54.6
欧 洲	意 大 利	97	5.8
	法 国	85	5.3
	瑞 士	51	3.2
	西 班 牙	46	2.9
	挪 威	40	2.5
	南斯拉夫	19	1.2
	葡 萄 牙	17	1.1
	奥 地 利	17	1.1
	罗 马 尼 亚	17	1.1
	英 国	16	1.0
	其 他	14	0.9
合 计		419	26.1
美 洲	美 国	165	10.3
	阿 根 廷	12	0.7
	墨 西 哥	10	0.6
	其 他	22	1.4
合 计		209	13.0
非 洲	南 非	69	4.3
	其 他	33	2.0
合 计		102	6.3
全 世 界 总 计		1608	100

占 54%(其主要指标列于表 1-3),相当于土石坝的 2 倍,接近重力坝的 4 倍,占绝对优势。这种趋势表明:尽管土石坝在近 30 多年来由于机械化施工程度提高而得到迅速发展,但在超高坝领域内,仍无法与拱坝匹敌。世界坝工建设的宏观实践证明:坝越高,拱坝的经济性和安全性也越显著。

表 1-2 世界大坝按坝型和坝高统计 单位: %

坝 型	坝 高 (m)					
	15~30	30~60	60~100	100~150	150~200	>200
拱 坝	2.79	7.73	18.63	30.07	45	54
重力坝	7.99	23.37	32.97	23.55	12	15
土石坝	88.32	66.06	43.56	42.03	43	27
支墩坝	0.90	2.84	4.84	4.35	0	4
合 计	100	100	100	100	100	100

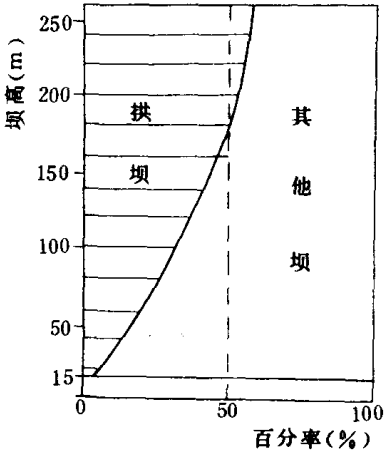


图 1-1 拱坝的百分率与坝高的关系曲线

表 1-3 全世界 200m 高度以上的拱坝(已建成和正在施工中)

坝 名	国 家	建设时间 (年)	坝 高 (m)	坝顶长 (m)	宽高比	混凝土 (万 m ³)	泄洪量 (m ³ /s)	库 容 (亿 m ³)
英古里(Ингури)	前苏联	1964~1980	272	680	0.19	396	2500	11.0
瓦依昂(Vajont)	意大利	1956~1961	262	190	0.08	35.1	284	1.69
萨扬舒申斯克(Саяно-шущенск)	前苏联	1969~1977	245	1066	0.49	907.5	13600	31.3
二 滩	中 国	1991~	240	779	0.232	426	20980	58.0
莫瓦桑(Mauvoisin)	瑞 士	1951~1957	237	520	0.23	203	100	1.81
埃尔卡洪(El Cajon)	洪都拉斯	1980~1984	234	382	0.10	160	8590	6.5
契尔盖(Чиркеи)	前苏联	1963~1975	233	333	0.14	135.8	2870	27.8
胡 佛(Hoover)	美 国	1933~1935	221	379	0.91	336.4	11300	348.5
康特拉(Contra)	瑞 士	1961~1965	220	380	0.11	66.0	1000	1.05
姆拉丁其(Mratinje)	南斯拉夫	1968~1976	220	268	0.13	74.2	1670	8.8
格伦峡(Glen Canyon)	美 国	1961~1964	216	475	0.42	374.7	7800	333.0
卢佐纳(Luzzone)	瑞 士	1958~1963	208	530	0.17	133.0		0.88
台 兹(Dez)	伊 朗	1958~1963	213	212	0.11	45.9	6000	33.4
阿尔门德拉(Almendra)	西班牙	1966~1970	202	567	0.14	218.6	3900	26.49
库杜尼(Кхидонэ)	前苏联	1990~	201	545		47.5		3.65
齐马潘(Zimapan)	墨西哥	1989~1994	200	90		28	2960	14.2
科恩布赖(Kolnbrein)	奥地利	1975~1977	200	626	0.205	158		2.05

三、时间分布

在上述三个拱坝的发展国家或地区中,美国是最早开发拱坝的国家,图 1-2 是美国大坝委员会在《美国坝工发展》一书中,由范却普(J. A. Veltrop)提供的本世纪各年代美国建造拱坝的统计曲线,261 座拱坝中包括了高度小于 15m 的小坝。从图 1-2 可见,美国的拱坝建设高潮是在本世纪 20 年代(1920~1930 年)。当时正值第一次世界大战结束,美国工业起飞初期。图中还用虚线示有美国加利福尼亚州内的拱坝建设统计,由二者对比可见,加州的拱坝建设主导着全国拱坝发展趋势,加州占有美国全部拱坝的 30%。建造这些拱坝对于开发干旱的、当时还很落后的加州起着重要作用。

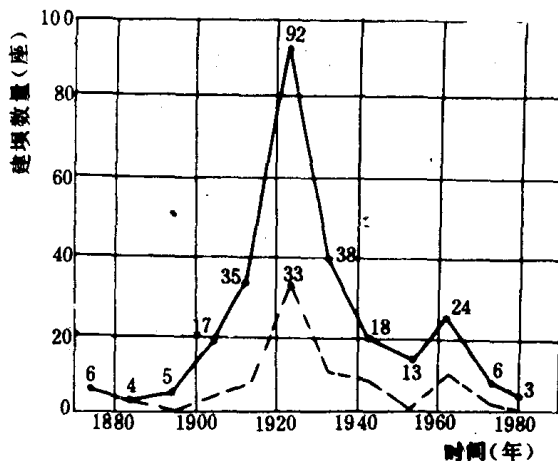


图 1-2 美国拱坝建造数量统计

欧洲,主要是阿尔卑斯山地区的意大利、法国和瑞士等国家,集中了欧洲 60% 的拱坝,是继美国之后第二位拱坝的发展中心。图 1-3 是施尼特尔(N. J. Schnitter)在《拱坝史》一文中提供的意大利、法国和瑞士三国的拱坝统计数字。由作者改制成各个年代建坝数量的统计曲线。从中可见这一地区的拱坝建设高潮是在本世纪 50 年代(1950~1960 年)。当时正值第二次世界大战结束,欧洲需要在民穷财尽的战争废墟上重振经济。拱坝建设又在当时材料缺乏而劳动力低廉的条件下,出现了世界上第二次建设高潮。这三个国家中的 62% 的拱坝都是在这 20 年内建造的。它们对战后西欧的工业复兴和经济起飞,同样起到了重要作用。

70 年代,正当瑞士坝工专家施尼特尔在他《拱坝的演进》一文的结语中,慨叹“拱坝建设到了现阶段,除了极高的坝之外,似乎已走到了尽头……”时,一个规模更大、数量成倍的拱坝建设高潮已在中国广大的山区兴起。图 1-4 是作者根据全国拱坝情报网委托东北勘测设计院编制的《国内拱坝统计》一书中 538 座坝高在 20m 以上的拱坝,按年代统计的建坝数量

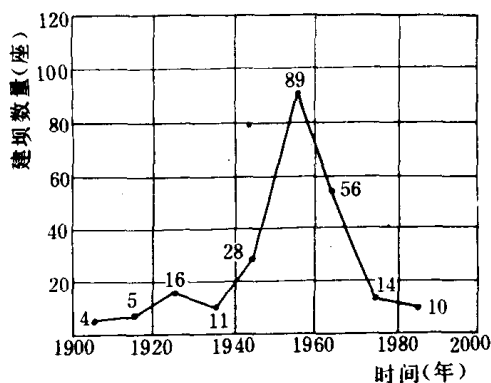


图 1-3 西欧意大利、法国、瑞士的拱坝建设数量统计

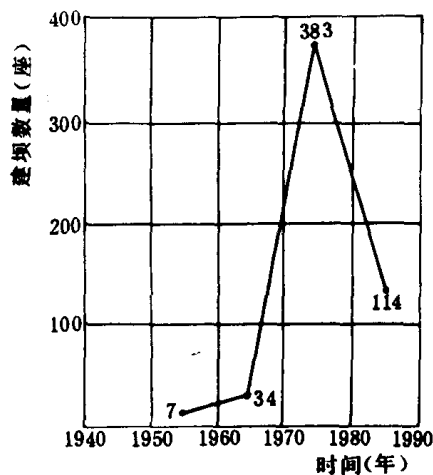


图 1-4 中国拱坝建造数量统计

曲线。从中可见,世界上第三次拱坝建设高潮是在本世纪 70 年代(1970~1980 年)。其主要特点是:在中国水力资源充沛而经济落后的待开发山区,包括西南地区的贵州、四川,中南地区的广西、湖南、江西,和华东地区的福建、浙江等省、自治区,由掌握现代筑坝技术的工程人员和当地传统的采石工匠、民工相结合,就地取材、因地制宜修建砌石拱坝。它们为开发山区、农村电气化和人民脱贫致富也起到了主要作用。

由此可见,拱坝这一经济而安全的坝型,曾在三个不同地区,三个不同时期,但在相同或类似的社会经济条件下,为同一个目的——使当地人民摆脱贫穷走向工业化,作出了很重要的贡献。

第二节 中国的拱坝建设

一、概况

1928 年在福建省厦门市建成第一座上里浆砌石拱坝,坝高 27.3m,至今运行正常。在 1950 年以前在四川省也建造了一批小型浆砌石拱坝。1950~1970 年,是中国修建拱坝的起步时期,建成坝高 20m 以上的拱坝约 80 座,其中中、小型砌石拱坝近 60 座。50 年代后期开始混凝土高拱坝的建设,1958 年在安徽省建成第一座响洪甸重力拱坝,坝高 88m;1959 年在广东省建成流溪河双曲拱坝,坝高 78m;1960 年在山西省建成恒山双曲拱坝,坝高 68.7m。在砌石高拱坝方面,1960 年在河北建成峡沟重力拱坝,坝高 78m;1970 年在河南建成柿园砌石重力拱坝,坝高 78.8m。建设这些拱坝所取得的勘测、设计和施工成就,提高了我国广大水利水电坝工人员的兴趣和信心,这些经验也为此后拱坝建设高速发展奠定了基础。

1971 年起,我国拱坝建设的发展进入了一个新的阶段。建坝的数量到 80 年代末已占世界总数的 1/2,居世界首位,尤其是砌石拱坝的数量众多,厚度渐趋减薄。在坝高为 50m 以上的拱坝中,重力拱坝和单曲拱坝数量下降,而双曲薄拱坝数量上升,坝体形状向多样化和优化发展。据近年统计,全国坝高 15m 以上的拱坝近 800 座,包括两部分:其一是中、小型砌石拱坝约 730 座,占总数 91%;其二是混凝土中、高拱坝近 70 座,占总数 9%。另据 1980 年全国拱坝情报网统计,拱坝坝高为 20~200m 的有 540 座(包括 7 座连拱坝),其按年代和型式分类情况见表 1-4。

表 1-4

国内坝高 20~200m 拱坝

单位:座

年 份	重力拱坝 高度 20~178m	拱 坝 高度 20~114m	双曲拱坝 高度 20~200m	连 拱 坝 高度 20~88m	合 计
1950~1960 年	6	7	3	2	18
1961~1970 年	12	33	12	1	58
1971~1980 年	43	194	98	3	338
1981~1988 年	13	80	32	1	126
合 计	74	314	145	7	540

二、混凝土高拱坝建设

按照中国坝工设计规范, 坝高 70m 以上者为高坝, 中国现已建成高拱坝 37 座(表 1-5), 其中砌石拱坝 11 座, 混凝土拱坝 26 座。坝型有重力拱坝、双曲拱坝和空腹拱坝等。坝高超过 100m 的有 10 座, 其中砌石拱坝仅 1 座, 其余均为混凝土拱坝。已建的高拱坝都保持着良好的安全记录, 并具有以下一些特色:

表 1-5 中国已建、在建和设计中的高拱坝特性表

坝 名	所在省(自治区)	坝高(m)	坝 型	厚高比	建成时间(年)
二 滩	四 川	240	双 曲	0.232	在建
德 基	台 湾	181	双 曲	0.11	1974
龙羊峡	青 海	178	重 力	0.45	1990
东 风	贵 州	168	双 曲	0.202	在建
乌江渡	贵 州	165	重 力	0.724	1983
李家峡	青 海	165	双 曲	0.273	在建
东 江	湖 南	157	双 曲	0.223	1988
隔河岩	湖 北	151	重 力	0.55	1994
白 山	吉 林	149.5	重 力	0.426	1986
翡 翠	台 湾	122.5	双 曲	0.20	1986
凤 滩	湖 南	112.5	空腹重力	0.54	1982
紧水滩	浙 江	102	双 曲	0.24	1988
群 英	河 南	100.5	砌石重力	0.52	1971
鳖 山	河 南	94.5	双 曲	0.116	1983
逍遥河	河 南	91	砌石重力		1978
石 门	陕 西	88	双 曲	0.31	1979
响洪甸	安 徽	87.5	重 力	0.45	1958
谷 关	台 湾	85.1	双 曲	0.12	1961
荣 华	台 湾	82.6	双 曲	0.22	1982
东石岭	河 北	81	砌石重力	0.51	1979
金 坑	浙 江	80.6	砌石双曲	0.248	1984
泉 水	广 东	80	双 曲	0.112	1979
施家峪	湖 南	80	砌石薄拱	0.075	1980
柿 园	河 南	78.8	砌石重力	0.404	1970
流溪河	广 东	78	双 曲	0.31	1959
峡 沟	河 北	78	砌石重力	0.436	1960
石城子	新 疆	78	砌石重力	0.41	1980
王屋山	河 南	77.3	双 曲	0.178	1975
陈 村	安 徽	76.3	重 力	0.7	1978
方 坑	浙 江	76	砌石双曲	0.147	1983
肖家沟	四 川	75.8	砌石双曲	0.22	1993
雅 溪	浙 江	75	双 曲	0.345	1977
里石门	浙 江	74.3	双 曲	0.208	1978
三郊口	河 南	73	砌石重力	0.795	1982
天堂山	广 东	72	双 曲	0.306	1993
大山口	新 疆	72	重 力	0.35	1991
古 城	北 京	70	双 曲	0.2	1979
小 湾	云 南	约 285	双 曲		设计中
拉西瓦	青 海	约 250	双 曲		设计中
构皮滩	贵 州	约 225	单 曲		设计中