

土坝安全与加固

牛运光
编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

土坝安全与加固

牛运光 编著

中国水利水电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土坝安全与加固/牛运光编著. —北京: 中国水利水电出版社,
1998. 10

ISBN 7-80124-803-1

I. 土… II. 牛… III. 土坝-加固 N. TV698.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 19826 号

书 名	土坝安全与加固
作 者	牛运光 编著
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010)63202266(总机)、68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 32 开本 11.25 印张 250 千字
版 次	1998 年 11 月第一版 1998 年 11 月北京第一次印刷
印 数	0001—5100 册
定 价	16.80 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序 言

我国是世界上洪水危害严重的国家之一,从公元前 206 年到 1949 年的 2155 年中,发生较大的洪水灾害 1029 次,平均每两年就发生一次。在这漫长的岁月中,我国劳动人民为防御洪水,减轻灾害,进行了艰苦的斗争,付出了大量的劳役,但是仍然难以幸免洪水灾难。因此,洪水灾害一直被认为是我国人民心腹之患。

新中国建立后,党和政府非常重视江河防洪工程,依靠群众,开展了大规模的江河整治工作,修建了大量的水库工程,截止 1996 年底统计,我国已建各类水库 8.4 万余座,其中库容 1 亿 m^3 以上的大型水库 394 座;库容 1000 万~1 亿 m^3 的中型水库 2618 座,库容 10 万~1000 万 m^3 的小型水库 8.1 万余座。这些水库星罗棋布,遍及全国山丘区,在防洪、灌溉、发电、航运、城乡供水和水产养殖等方面都发挥了巨大的经济效益,对促进国民经济的发展、保证人民生命财产的安全和人民生活水平的提高,起到了重要作用。但是,由于历史原因,很多水库,特别是大量的小型水库是在缺少水文、地质等基础资料情况下修建的。不少水库防洪标准低,工程质量差,隐患多,加上长期以来,管理不善,技术力量不足,水平低,致使不少水库安全存在问题,也曾发生过不少垮坝事故。

1975 年 8 月河南省洪汝河发生特大洪水,板桥、石漫滩两座大型水库溃坝失事,都造成了严重损失,引起各级领导的重视。随后对各类病险水库进行了加固处理,积累了丰富的经

验,取得了可喜的成果,大坝安全状况也有了较大的改善,但因病险水库数量较多,资金投入受到了一定限制,至今许多水库的土坝安全问题仍未解决。

水库土坝一旦失事,不仅工程损毁,失去效益,而且对下游地区的经济建设和人民生命财产造成毁灭性的灾害。因此,加强病险水库的土坝加固和消除险情工作,确保工程安全运行,充分发挥效益,实属当务之急。为了适应这一工作的需要,水利部水利管理司牛运光高级工程师(教授级),在多年精心调查研究的基础上,广泛搜集了大量的资料,总结实践经验,编写了这本《土坝安全与加固》,我相信该书的出版发行,对指导土坝安全加固,提高设计、施工和管理人员的技术水平,充分发挥水库的综合效益,更好地为国民经济建设和人民生活服务,将能发挥重要作用。



1996年5月10日

编 者 的 话

编者长期从事水工建筑物技术管理工作,特别是经常接触病险水库的安全加固,对新建工程投入运行后,暴露出来的设计、施工和管理中的问题,了解较多。目前对病险水库虽然进行了大量的除险加固,但是由于资金投入有限,大中型水库仍然还有 1/4 左右,小型水库约有 2/5 存在着安全问题,急待处理,而这些病险水库又 90% 以上是土坝。为了加强水库土坝除险加固,确保工程安全运行,充分发挥其综合效益,提高设计、施工和管理人员的技术水平,编者在多年调查研究、广泛搜集资料和总结经验的基础上,编写了这本《土坝安全与加固》一书。

本书共分六章二十九节,除介绍大坝安全与管理、工程安全监测与隐患探测以及土坝事故分析与安全加固外,着重阐述土坝防渗加固的新方法、新工艺、新材料、新设备,同时也介绍了与土坝安全有密切关系的输、泄水建筑物的问题与加固以及大量的中小型水库普遍存在的问题和对策,内容较全面,可供各地水工设计、施工和管理技术人员参考。

在编写过程中,尽管个人做出了多方面的努力,但调查研究工作仍然做得不够,再加上编者知识水平有限,书中内容还不能充分反映当前各地的丰富经验,对于书中存在的缺点和错误,敬请读者提出意见,以便今后进一步修订、充实和提高。

编 者

1996 年 2 月 18 日

目 录

序 言

编者的话

第一章 大坝安全与管理	1
第一节 大坝建设	1
第二节 大坝安全	6
第三节 大坝安全管理	12
第四节 《水库大坝安全管理条例》浅析	18
第二章 大坝安全监测与土坝隐患探测	36
第一节 大坝安全监测	36
第二节 土坝隐患探测	44
第三章 土坝事故分析与加固	63
第一节 提高防洪标准措施	63
第二节 土坝工程质量事故分析及其加固	67
第三节 土坝渗流破坏事故中的经验教训	119
第四节 土坝护坡破坏原因及其加固	134
第四章 土坝防渗加固措施	143
第一节 土坝渗透变形控制措施	143
第二节 混凝土防渗墙防渗	154
第三节 劈裂灌浆防渗	163
第四节 高压喷射灌浆防渗	178
第五节 倒挂井混凝土防渗墙防渗	190
第六节 冲抓套井回填粘土防渗墙防渗	206

第七节	射水法建造混凝土防渗墙防渗	219
第八节	土工合成材料防渗与导渗	233
第九节	振动水冲法加固	252
第十节	板桩灌注防渗墙防渗	265
第十一节	泥浆槽防渗墙防渗	269
第十二节	自凝灰浆防渗墙防渗	272
第十三节	水平防渗与排水减压设施	276
第五章	土坝输水洞(管)和溢洪道问题及其对策	288
第一节	输水洞(管)破坏原因及其加固	288
第二节	坝下埋管的顶管施工方法	301
第三节	溢洪道存在的问题及对策	310
第六章	中小型水库问题与对策	319
第一节	中小型水库土坝存在的问题及其对策	319
第二节	小型水库设计洪水标准	323
第三节	沟后水库溃坝情况及其教训	328
附录	水库大坝安全管理条例	345
参考文献		351

第一章 大坝安全与管理

第一节 大 坝 建 设

一、解放前水库建设情况

我国历史上提出的“陂塘蓄水”。主要是利用低坝拦截洼地形成平原水库。如安徽省寿县的安丰塘（芍陂）、凤阳县的鹿塘、霍邱县的水门塘以及浙江省绍兴市的镜湖等，其中安丰塘蓄水容量最大，曾于1958年扩建，库容达6400万 m^3 。

抗日战争时期在甘肃酒泉市修建的鸳鸯池水库，库容约达1.0亿 m^3 ，日本侵占我国东北时期，修建了6座大型水库，如丰满、水丰、镜泊湖、闹德海、二龙山、太平湖等以及一些中型水库。

二、建国后水库建设的发展

1949年新中国成立后，在毛主席“水利是农业的命脉”的号召下，党和政府组织领导全国人民掀起了修建水利工程的热潮。第一个五年计划期间（1953~1957年），在海河流域的永定河上修建了官厅水库，在淮河流域河南省修建了石漫滩、白沙、南湾、板桥、薄山等水库，均为土坝。在安徽省修建了佛子岭水库、梅山水库（混凝土连拱坝）、磨子潭水库（混凝土肋墩坝）、响洪甸水库（混凝土重力拱坝）。水力发电方面，在四川修建了狮子滩水电站（堆石坝），在福建修建了古田一级水电站（混凝土宽缝重力坝），在江西修建上犹江水电站（混凝土重力坝），在广东修建了流溪河水电站（混凝土拱坝）。这期间的勘测、设计、施工质量较好，工期较短，造价

低，效益显著。同时，也培养了许多水利技术和管理人才以及大批的技术工人。

第二个五年计划（1958～1962年），正值大跃进时期，形成水库建设高潮，大、中、小型水库建设风起云涌，大型水库约占50%，中小型更有一大部分是在此期间建成的。这些工程都是在“三边”（边勘测、边设计、边施工）工作方式下进行的，特别是小型水库，“四不清”（来水量、流域面积、库容、基础地质情况均未调查清楚）就动工兴建。有不少工程虽然完成，但工程质量很差，“后遗症”多，留下了隐患，造成大批病险水库。但事物要一分为二来看，这一大批水库，若不在这一高潮中兴建，以后也许就上不去了。因此，对于“二五”期间修建的工程应该实事求是地来评价，有成绩，也有缺点。

截止到1996年底统计，我国已建成大中小型水库8.4万余座，总库容4700余亿 m^3 。按总库容划分，1亿 m^3 以上的大型水库394座，总库容3400余亿 m^3 ，占大中小型水库总库容73%；1000万～1亿 m^3 的中型水库2618座，总库容710亿 m^3 ，占15%；10万～1000万 m^3 的小型水库达8.1万多座，数量很大，但总库容只有580亿 m^3 ，仅占12%。

世界上，美国和前苏联所建水库总库容都超过10000亿 m^3 ，加拿大达6000多亿 m^3 ，都超过我国水库的总库容数。我国与印度总库容量相接近。

三、水库的坝型、坝高和库容

20世纪80年代，我曾将大中型水库的坝型、坝高和库容进行分析如下：

从表1-1看出，我国水库90%以上是土坝。

从表1-2看出，土坝坝型均质坝近2/3，心墙坝接近1/3，

斜墙和混合坝型较少。

从表 1-3 可以看出，砌石、堆石坝型以砌石重力坝最多，其他坝型较少。

从表 1-4 看出，混凝土坝型，以重力坝最多，占 2/3，其他坝型次之。

表 1-1 坝型分析表

坝 型	座数	占总座数比例 (%)
土坝	2079	91.1
砌石、堆石坝	127	5.6
混凝土坝	68	3.0
情况不明	8	0.3
合计	2282	100.0

表 1-2 土坝坝型分析表

坝型	座 数	占总座数比例 (%)
均质坝	1336	64.3
心墙坝	585	28.1
斜墙坝	75	3.6
混合坝	83	4.0
合计	2079	100.0

表 1-3 砌石、堆石坝
型分析表

坝 型	座 数	占总座数比例 (%)
重力坝	83	65.4
拱坝	15	11.8
堆石坝	29	22.8
合计	127	100.0

表 1-4 混凝土坝坝型分析表

坝 型	座 数	占总座数比例 (%)
重力坝	45	66.2
拱坝	12	17.6
大头坝	8	11.8
平板坝	3	4.4
合计	68	100.0

表 1-5 坝高统计分析表

坝 高	大于 100 m	100~ 60 m	60~ 30 m	30~ 15 m	小于 15 m	情况不明	合 计
座数	8	48	761	959	495	9	2280
占总座数 (%)	0.4	2.1	33.4	42.0	21.7	0.4	100.0

从表 1-5 看出, 15~60 m 的坝高占 75.4%, 超过 60 m 的坝高较少。

表 1-6 库容统计分析表

库 容	大于 100 亿 m ³	100 亿~ 10 亿 m ³	10 亿~ 1.0 亿 m ³	1.0 亿~ 5000 万 m ³	5000 万~ 1000 万 m ³	合计
座数	7	40	264	240	1747	2298
占总座数 (%)	0.3	1.8	11.4	10.5	76.0	100.0

从表 1-6 可以看出, 库容超过 100 亿 m³ 的较少, 即使是 10 亿~100 亿 m³ 的也不多, 绝大部分库容小于 1 亿 m³。

表 1-7 各种坝型最高的坝

坝 型	工 程 名 称	坝 高 (m)
土坝均质坝	海南省松涛水库	80.1
土坝心墙坝	陕西省石头河水库	105
土坝斜墙坝	北京市密云水库白河坝	66.4
土坝混合坝	广东省龙颈水库	57.2
砌石重力坝	浙江省皎口水库	95
砌石拱坝	河南省群英水库	95
斜墙堆石坝	广东省南水水库	81.3
混凝土重力坝	甘肃省刘家峡水电站	146.6
混凝土连拱坝	安徽省梅山水库	88.3
混凝土拱坝	青海省龙羊峡水电站	178
混凝土大头坝	广东省新丰江水电站	105

表 1-8 各种坝型最大的库容

坝 型	工 程 名 称	总库容 (亿 m ³)
土坝	江西省柘林水库	71.7
混凝土坝	青海省龙羊峡水电站	247

近年来我国又采用混凝土面板堆石或砂砾石坝，如湖北省西北口水库，最大坝高 95 m；另一种是混凝土碾压坝，已建成有福建省坑口水电站，坝高 56.8 m。

以上统计和分析是 80 年代进行的，目前已进入 90 年代，情况略有所变化。

四、水库发挥的效益

1. 防洪方面

分布在我国七大江河上的 245 座大型水库控制流域面积约 150 万 km^2 ，占七大江河总流域面积的 34%。1963 年 8 月海河南系大清、子牙、漳卫河遭遇到特大洪水，在这一地区的岳城、岗南、王快等 16 座大型水库，共拦滞洪水 43.5 亿 m^3 ，占水库上游来水量 94.2 亿 m^3 的 46.2%，对减轻下游河北广大平原的洪水灾害，尤其是对保卫天津和津浦铁路的安全起到了决定性的作用。1975 年 8 月淮河流域的洪汝河、沙颍河和长江的唐白河遭遇特大暴雨洪水，在这三个流域内的 20 座大中型水库拦蓄洪水 45 亿 m^3 ，约占这些水库上游来水量的 34%。薄山、昭平台、宿鸭湖和鸭河口等水库削减洪峰均在 80% 以上，减轻了下流河南广大平原的洪水灾害。湖北丹江口水库自 1968 年建成以来，至 1990 年共拦蓄汉江上游洪水 10000 m^3/s 以上洪峰 59 次，总计历年减淹耕地 1100 万亩，减免经济损失 38 亿元。1995 年汛期，长江中下游和鄱阳湖、洞庭湖虽然发生建国以来较大洪水，除近万公里主要堤防挡水外，水库也发挥了重要作用。如湖南资水上的柘溪水库最大入库流量达 11320 m^3/s ，水库调蓄后，出库最大流量减为 6000 m^3/s ，削减洪峰 47%。沅水上的五强溪水库，入库最大流量 34000 m^3/s ，出库最大流量 25000 m^3/s ，也削减了近 20%，江西修水柘林水库最大入库流量 7310 m^3/s ，最大出

库流量为 $3720 \text{ m}^3/\text{s}$ ，削减洪峰 49%。

2. 兴利方面

近些年来，水利管理部门为工农业生产和城镇供水约 5000 亿 m^3 ，其中农业用水约 4500 亿 m^3 ，约占 90%，城镇和工业供水约 500 亿 m^3 ，约占 10%。在城镇供水方面，过去我国北方缺水严重的天津、大连等重要城市和香港地区，由于兴建潘家口和碧流河水库，使天津、大连两城市供水得到保证；广东深圳水库引水工程，1985 年向香港送水 3.25 亿 m^3 ，占当年香港总用水量的 50%，目前供水已增至 6 亿 m^3 ，今后计划增加到 11 亿 m^3 。水力发电发展迅速，1993 年底水电装机容量 4400 万 kW，占水火电总装机容量 1.8 亿 kW 的 24.4%，年发电量 1460 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，占水火总发电量 8150 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 的 18%。水利渔业也发展迅速，1994 年全国水库渔业的总产量达到 65.7 万 t，比 1980 年的 11.2 万 t 增长近 5 倍，总产值达 34 亿元。许多省份水库渔业的产值占水库综合经营总收入的 50%。江苏省 44 个大中型水库，就有 42 个是依靠水库渔业实现运行管理费自收自支的。

第二节 大 坝 安 全

水库是水利产业的重要设施。兴建水库可以调节利用水资源，除害兴利，促进国民经济发展和保障人民生命财产安全。截止到 1996 年底统计，我国兴建各类水库 8.4 万余座，在防洪和兴利方面都发挥了巨大效益。

党中央和国务院十分重视水库安全工作，曾经有过许多重要指示。水利电力部和水利部于 20 世纪 70 年代和 80 年代先后开展了两次水利工程大检查，1973 年召开中、小型水库

安全座谈会，1975 年召开全国防汛和水库安全问题会议，1976 年、1977 年召开南北方水库加固设计经验交流会。80 年代国务院先后颁发河道管理条例和防汛管理条例。90 年代初又颁发水库大坝安全管理条例等，所有这些活动和颁布的条例，促使各级领导对大坝安全的重视和加快除险加固都起到了很大的推动作用。

一、大坝水库安全存在的问题

由于下列原因，使我们有理由继续为我国水库安全而担忧：

(1) 我国现有水库多数是在“大跃进”期间兴建的，一些工程防洪标准低，施工质量差，再加上管理工作跟不上，是导致形成病险水库的重要原因。据统计，由于大坝防洪标准低和超标准洪水垮坝的，占 37.3%~51.5%；由于工程质量差垮坝的，占 35.9%~38.5%；由于管理不善垮坝的占 4.2%~15.9%，还有其他原因垮坝的占 4.6%~11.3%。

(2) 病险水库加固迟缓。1975 年 8 月，河南大洪水后，病险水库问题引起各级领导的重视，全国病险水库的加固有了一定进展。据不完全统计，自 1976 年到 1985 年完成大型病险水库加固 65 座。1985 年水利部门对所管理的 293 座大型水库进行分类，设计洪水标准达到部颁“78”标准 [SDJ12—78《水利水电枢纽工程等级划分及设计标准（山区、丘陵区部分）》（试行）]，工程质量好，能按设计正常运行的一类水库 117 座，占 40%；设计洪水标准达到“64”标准，工程质量较好，基本上能按设计正常运行的二类水库 87 座，占 30%；设计洪水标准低于“64”标准（SDJ401—64，该标准未公布过，内部适用的）或工程存在比较严重的质量问题，不能按设计正常运行的三类水库 89 座，占 30%。1986 年以后，

为了促进加固进度，水电部列出全国第一批重点险库 43 座，由中央补助投资 $1/3$ 以促进各地加快除险进度。到 1993 年底，已完成 32 座，还有 11 座正在加固中。1992 年水利部又列出第二批重点险库 38 座，到 1996 年已动工 24 座，正在做加固设计的 10 座，还有 4 座尚未进行设计。同时，各省也完成大量的中小型水库除险加固。尽管在病险水库加固方面作出了一定的努力，但由于经费等方面的原因，这项工作进展仍然缓慢。根据 1996 年底统计，病险水库数量仍然可观。大中型病险水库仍占总水库座数的 $1/4$ 左右。小型水库高达约 $2/5$ ，分布面广量大，遍布全国各地。特别是铁路沿线交岔河流上游的小型水库。据各流域机构 1993 年不完全统计，还有小型水库 1022 座，未达到规定的防洪标准，一旦失事，将影响铁路运输。

(3) 重视技术管理工作不够。在现有水库的管理运行中，有些单位没有把主要精力集中在安全运行和发挥效益方面，不支持或不重视技术管理工作。在观测方面，80 年代末统计，全国大型水库还有 40% 未设观测设施或已设观测设施，但不能满足监测大坝安全工作的需要；在调度运用方面，有的水库从不编制调度运用计划，有的水库即使编制了调度运用计划，往往被“长官意志”所代替。70 年代末，甘肃省党河水库（中型）超汛限水位运行，造成了漫坝失事。1993 年汛期，青海省沟后水库也是在超汛限水位运行下溃坝的。在养护维修方面，多数水库由于经费短缺，维修工作难以进行。随着水库寿命的增长，诸如材料老化、洪水、地震、泥沙淤积以及其他破坏活动等，都有可能增加工程事故和失事的机遇。我国现有水库大坝到 20 世纪末将要进入老龄化。可以预计，今后运行中的水库安全问题将与年俱增。

(4) 水库工程不能实现良性循环,工程老化,效益衰减,安全问题严重。综合利用的水库,其中很大的一部分效益是防洪和农业灌溉。在防洪方面,主要是社会效益,国家又无政策补贴;在灌溉方面,农业收水费规定标准较低,即使这样的标准,迄今还有一些省未能到位。实践证明,依靠农业水费,也难以解决工程的管理、大修和折旧三项费用。水库管理单位无资金对工程进行维修,时间久了,工程自然老化,效益逐渐衰减,安全问题也就日趋严重。这一问题,长期未能扭转,例如在 80 年代末、90 年代初建成的板桥、故县和察尔森三座大型水库,主要也是防洪效益,根据财务分析,也难以解决工程运行中的三项费用。这一问题的严重性,一定要引起各级水利部门领导重视,把好设计标准这一关。工程建成后,不能解决三项费用,实现工程良性循环的,就不能批准。否则,建一个工程,背一个包袱,特别是工程安全问题,人命关天,更要引起高度重视,切切不可疏忽大意。

(5) 应重视小型水库安全管理。库容在 1000 m^3 以下的小型水库占总水库数量的 90% 以上,星罗棋布,遍及全国每一条中小河流上。过去曾有相当一部分水库处于无人管理的状态,由于垮坝失事,造成严重的损失。据最近统计,仍有 10% 的水库,无人管理。仍然有些水库,在建设时,没有严格经过审批程序;工程竣工后,多数未执行竣工验收;在投入运行后,又缺乏经常维护;在汛期中,防汛工作也未严格执行行政首长负责制,又不具备安全监测手段。总之,这些小型水库一般保坝标准低,设计、施工遗留问题多,管理工作不善,防汛工作差。

二、对确保大坝水库安全的几点建议

当前可以预测,今后由于经费、移民、土地淹没和环境