

DABA YU GONGGONG ANQUAN

罗伯特B·詹森

中国科学院成都图书馆

中国科学院三峡工程
科研领导小组办公室

前 言

为了人类的进步而对地球进行改造的不懈努力中，人们的工作以及大自然本身的非完美性并非都能被意识到。大自然的灾害和人类的失误的结合，往往造成重大的悲剧。

近年来，大坝及水库的安全问题已引起许多国家的普遍关注。历史表明，每千座大坝就有大约十座失事。收集、分析大坝失事的原始材料，并从中吸取教训，无疑是至关重要的。

美国内务部垦务局1983年出版的水资源技术出版物之一——《大坝与公共安全》一书，从世界范围内汇集、统计和介绍了各种类型的大坝失事，旨在总结经验和说明在考虑和处理大坝问题的一些有价值的方法和措施。

本书作者罗伯特 B·詹森曾在美国内务部垦务局任设计和施工主任，工程和研究助理专员，大坝和结构安全助理专员。1979年—1981年期间，他还曾任过美国大坝委员会主席，现在他是大坝顾问工程师。

原书共五章，我们选择了其中的第二章——大坝安全，第三章——问题的类型，以及第四章——重大事故和失事实例的主要部分。由于篇幅的限制，译文删去了原书所附的图表和照片。

目 录

前 言

大坝安全

概述.....	(1)
失事统计.....	(12)
政府监督.....	(13)
灾难预防.....	(15)
法庭的介入.....	(17)
大坝的保险.....	(18)

问题的类型

概述.....	(19)
基础问题.....	(23)
渗漏.....	(26)
侵蚀.....	(29)
坝体运动.....	(30)
液化作用.....	(33)
混凝土损坏.....	(36)
溢洪道.....	(39)
泄水孔.....	(41)
炸毁.....	(42)
滑动.....	(45)
诱发地震.....	(46)

重大事故和失事实例

阿拉·塞拉·惹毕诺大坝.....	(50)
巴比亚坝.....	(54)
鲍德温山坝.....	(55)
比拉杰斯纳坝.....	(60)
峡谷湖坝 (腊皮德城)	(62)
弗里亚斯坝.....	(66)
默丘 II 级坝.....	(70)
马尔帕塞坝.....	(76)
莫耐大坝.....	(80)
奥罗斯坝.....	(81)
潘歇特坝.....	(84)
瓦窑坝.....	(87)
范诺曼坝.....	(91)

大 坝 安 全

概 述

防止大坝失事的危险是现代社会不容回避的责任之一。工程师的基本职责在于将这种灾害减小到最低程度。没有其它任何工程领域对公众的责任比它更重大。

大坝安全措施对整个社会至关重要，因而需要各学科集思广益。工程师们必须与其它的专业人员，包括地质学家和地震专家们密切配合。相互协调有助于减少意外事故，但由于控制措施十分困难，不可能完全避免大坝失事。

由于大坝建造者不得不采用条件较差的坝址，这就使安全保障变得更加困难。数以百万计的人实际上生活在各大坝的威胁下，因此必须对找到确保安全的最优方案愈益加以关注，这就需要所有从事安全利用水资源和电力的机构进行共同努力。

危险正在日益增大，随着水库以下地区人口的密集，大坝失事可能引起更为严重的后果，使之得到一些补偿的是有关大坝的知识在日益丰富起来。对于如何设计，如何施工，以及如何使之安全，已有越来越多的知识。这些知识的最重要部分获得于大坝的失事。对于任何工程，即使是最优秀的设计者，都曾发现其建筑物有一定的毛病，他们正是

通过吸取这些教训从而百尺竿头更进了一步。

一些评论家认为某些类型的大坝比其它一些类型更安全些，他们建议我们不要修建任何较弱类型的坝。然而孰强孰弱，并未取得一致的意见，争论只是徒费光阴，不可能使用一项通则来评比大坝的优劣。当然，一旦涉及到坝址特点，某一种类型的大坝可能会被评选为较适宜的类型。但是，方案选择必须经受彻底的论证，包括当地过去、现在和将来的状况，以及对大坝可能发生的影响。

安全方面的投资应当看作是工程投资的必不可少的组成部分。不能由于预算较紧，就被当作多余的可有可无的项目。安全的概念应贯穿工程进展的各个阶段，从规划到设计与施工，直至运行管理的所有过程。

节约问题不应被置于比做好一件工作更为优先的位置。如果说培训一个工程师是要在诸种方案中进行选择时将投资视作一项决策因素的话，那么其所作出的任一选择必须是建成一座安全的建筑物。工程师们务必不能只担心一项优秀的设计方案由于其预算太高而被冷落。防护设计措施有其自己的预算，而且这种预算决不应是妥协的产物。

在经济性与安全性之间进行权衡并非易事。目前，大坝坝址常常不能看作是最佳的选点，设计人员往往被迫在数年前未被选中的基础上建坝。这种坝址质量的差异必须在项目的预算中得到反应。即使是预计的费用更高一些，我们也要乐于为这类额外 然而又是必须的安全保障付出其代价，必须抵制贪小便宜的诱惑。如果不能保证有一项优良的工程，该项目也就毋须被建造。

过去的实践经验未必一定会满足未来的需要，未来的大

坝址将继续向工程师们提出新的挑战。随着技术的进步，我们必须不断学习和运用这些新知识。

对现有的大坝和水库应当定期地重新分析研究，以确保它们仍然能够满足最新标准的安全要求。随着水文学、地震活动性和地质环境知识的积累以及技术的进步，过去视为安全的设施可能得重新作出修正。

大坝的安全应当比技术上的因素考虑得更多。以考查一个机构为例，必须确实得到保证的是要听到所有的不同意见。意见可能来自机构内部的各种不同层次，或出自单位外部。自然，后者特别是包括咨询专家。较大建筑物工程的最大危险之一是排斥那些可能作出有价值的建议的人的见解。任何机构的管理部門都应当作出特殊的努力以杜绝这类事件的发生。

在失事项目的历史实例中，个别的决策者——有时是过去在该专业上已成名的权威，其占支配地位的主张并非是最杰出的。即使专家也能可失误，而且最坏的情况是有资格质疑的人也不能对该专家的判断持任何异议。

另一方面，特别是在由许多科室组成的大机构中，就是要保证信息在单位之间流通。许多对优秀工程很重要的概念，必须在机构内部自由分享。在整个设计过程中，应该不断地把各自的工作结合起来，而不是简单地把各别的最后成果凑合在一起。这意味着设计应以总的规划开始，然后才注意到各别部分，而不是相反。

必须承认设计与施工之间的不可分离的关系，而且最好是将它们的功能视为同一过程。只要施工未完成，设计工作也就没有结束。在设计和大坝正在施工的过程中，设计者与施

工工程师的工作必须互相协调，这样就可以根据设计目的对坝址暴露出来的不利因素再进行斟酌。在此期间，设计上的任何必要的修改都必须经设计者、地质学家和施工工程师共商讨作出。

要反复强调工程师和地质学家之间关系的重要性，他们应紧密地合作，如同大坝与坝基一样。

有关机构还必须确保其工程师、地质学家以及其它专业人员能不断学习和应用最新技术。可以采用不同的方式，包括出席专业会议，向有关专家咨询或由他们在内部作报告，在大学里听先进技术的课程，与其它机构进行人事交流，定期补充受过先进技术培训或拥有先进经验的人员等。

一般说来，一个合格的机构还必须乐于接受，实际上是应该寻求对其工程实践的独立评论。就是在最杰出的工程机构中，不同部门的技术发展水平和不同成员的技能也是良莠不齐的，因而来自外界的知识将会加强其相对薄弱的环节。

大坝需要防护工程，这就意味着罗列出一切可以拥有的所能象想到的力量，检查任何可能出现的情况组合，以及应付个别和各种情况的综合性防护措施。应当相继建立各种防护策略，这样要是一种措施失败了另一种即可进行接替。每一工程都要求有自己的防护安排措施，以应付该坝址内在和特有的危险。

为了预先考虑到一系列可能发生的事故，必须全面认识和了解拟议的工程所在地。勘探和试验必须探索所有与地表及地下情况有关的线索。工程预算负责人应该懂得，所获得的知识是绝对必要的，而且所花的代价也是值得的。同样，有关检测仪表的花费也是如此，因为一旦工程完成后，它们

将继续提供有关坝址状况的信息。

大坝可能失事的不同方式已为人们所洞悉。重力坝本身较稳固，即使像圣·弗朗西斯（美国加利福尼亚州）大坝那样建造在质量很差的坝基上，当毗邻的坝块被冲走后，其它坝段依然屹立。虽然拱本身是一种很牢固的结构，但当坝基损坏时，单拱坝倒塌得很快〔如法国的马尔帕塞（Malpasset）大坝〕这是人所共知的。依赖支墩的大坝，如平板坝和连拱坝，会随着支墩损坏而像多米诺骨牌一样连续倒塌。土石坝失事较缓慢，但明显地比圯工建筑物更易受冲蚀。

在设计上已有可靠的方法抵抗这些倾向。失事的潜在原因和方式需要全面罗列并彻底检查。在设计过程中发生错误的最大危险之一是忽略了上述任何一项可能性。在探索各种事故的有害结合时，设计人员必须考虑到建筑物坝址及其邻近地区。大坝及其基础的设计应使之像一个整体一样发挥作用。我们不要由于忙乱而忽视了任何那怕是非常细小的方面。

以上考虑各项都是最基本的，但是需要反复强调。概念和设想往往比计算更重要，要是计算基于错误的假设，就可能一文不值。多数大坝的失事都归诿于简单的、有时明显是无关宏旨的原因。一些比较复杂的设计有时失败于回想起来很明显的疏忽。应当鼓励设计人员使用最先进的分析技术；但与此同时，还要告诫他们不要忘记各种基本作用力。

事故和溃决提供了必须共同认真吸取的教训。一个明智的工程师将研究所有能够获得的这类信息，包括他本人和其他人的失误。设计人员应当设想任何这类问题都可能出现在任何工程中，应当尽其所能做到防患于未然。通过改善环境

条件从而避免极端状况，这是必须遵循的基本指导原则之一。防渗墙或截水墙将做到这一点。

设计应尽量做到万无一失，这也包括一些辅助性设施。例如，就是训练有素的操作人员也可能偶失常态；在紧急情况下，他们可能没有需要在他们的岗位上；机械和电力设备可能操作失灵；这些都是实实在在可能发生的。因此，最安全的设计要求在任何上述情况发生时而不影响其发挥作用。为做到这一点，紧急泄水对操作者和设备的依赖要降到最低限度。敞开的溢洪道则可提供这样的保障。对于使用闸门或阀门的溢洪道或泄水孔，备用的电力和控制系统将加强其可靠性。

在设想大坝可能出现的失误时，须对其典型特征和坝基特点有清楚的认识。例如，我们得知道拱坝依赖于不易变形的拱座，而重力建筑物须承受坝基的巨大水压力。我们还得承认，即使有最佳的施工管理，土石坝坝体也并非处处都是均质的。虽然土石坝设计人员为了使分析方便而假设其特征是均一的，但他一定要铭记建坝材料将是可变的。取土区和采石场开挖出的土石料即使符合规格，也只能大致与设计人员所设想的类似。土石坝填筑各层之间还会出现差异。湿度、密度和级配会有很大变化。我们知道，固结程度造成了从坝顶到坝基渗透性有显著变动。即使在理论上可以有均一层带的设计目标，这也是施工工程师应努力争取达到的质量标准，但只能是一个永不可及的理想。深谋远虑的工程师了解到这一点，因而会建立相继的各种防护策略以预防失误。设计中应安排反滤层和排水体，以便控制理论计算可能未曾预料到的渗漏。无论做了多少基础的勘探和测试工作，设计

人员同样仍要对坝基的性能提出质疑，而且要求进行充分的基础处理，以对付未知因素。

我们应正视下述可能性：即使灌浆灌入岩组直至饱和，基岩也不可能不再有裂缝。齿坎工程和岩石锚固螺栓虽然有用，但也不是万无一失的。就是最优秀的人员做了最佳的工作，坝址有一点渗漏也总是不可避免的。只有采用了多种预防措施控制，大坝才会安全。

当然，关键问题是：水的渗漏走向何处？它将造成什么危害？破坏力取决于沿着渗透途径的水压差。试看用单灌浆帷幕截渗节理严重开裂基岩的实例。假设从水库流向灌浆帷幕的水其水头损失最小，则流经帷幕孔口的压差可能是很高的一一这取决于帷幕如何有效地减小下游的总压力。任何处于流经孔口渗径上的物体最好是不能移动的。这就使人可能联想到即使灌浆帷幕本身有相当大的厚度，但并非无懈可击。由于其顶部灌浆压力低，因此该部份可能效果最差，而这里又恰恰是最关键的地方。

除非坝基本身可被侵蚀，否则泄水可能会冲击坝体下部而造成极大的破坏。虽然灌浆帷幕有利于减少坝基渗漏损失，但我们不能认为它还同时能保护与坝基相连接的坝体材料。填方须得采用一种或多种安全措施使之与坝基中有潜在危害的水流隔开。这些措施包括固结灌浆、灌泥浆，混凝土齿坎工程或反滤层。

用排水控制渗漏通常比用截水墙（包括灌浆帷幕）提供了更可靠的效果。但这些方法并非相互排斥，各自都有其重要功能。排水体应能排除水力梯度较小的水。在对它们进行设计时，我们要记住，泄水能力会受到骨料破坏、过多的细粒

以及坝体负荷压力的限制。一些工程技术人员仍然使用未经筛选的砂砾石修建排水体和反滤层。使用这类直接从天然沉积中运来的材料会导致严重的问题。然而，因为其特征随其地点不同而差异很大，所以不能绝对说它们都不能用。有的具有足够的排水能力，而有的则不具备。

与圉工建筑物比较，土石坝体一般说来均质性较差，甚至在同一区带中都是如此。内部状况的差异使其易受损坏。由于工作疏忽在本应是不透水带中夹有一透水层可能形成一条透过大坝的输水道。将不透水层置于本拟是透水带之中会妨碍正常排水。将细粒层紧靠粗粒层而无反滤层会使颗粒从这一层移向另一层。这类危险是很明显的，但是本来应该熟知这类危险的工程师们有时甚至也会忽略这点。坝体及坝基的设计应保持其内部的边界始终不变。各类危险可包括基岩本身的移动或溶解，或坝体材料转移至岩石接缝和断裂中去。

在大坝工程中一定要抵制只考虑平均状况的倾向。失事发生在大坝或坝基的最薄弱之处，而并非发生在处于平均条件的地方。设计时要注意到潜在的薄弱之处。勘探和测试必然取决于取样技术，有时其结果变化幅度甚大。可用于施工的天然材料的平均性质可能会满足要求，然而当考虑其变化时，它们又可能被认为全然不合格。

天然状态的可变性要求我们不提倡毫无保留地按照规范的规定或“烹调书”方法来进行大坝施工。无论打了多少钻孔，测了多少试样，库址仍将可能出现使人感到意外的情况——而且只要该建筑物存在，这些意外随时都可能发生。

例如：为了经济上的原因，工程师们可能将河槽冲积层

留在坝体下。审慎的施工至少要求对河床材料认真取样和确定其级配。当测试表明该冲积层和大坝的上填体相容时，一个具有敏锐判断力的设计人员还应意识到可能还存在一些不一致的地方。先不说在这样的基础上修建大坝合理与否，但至少也必须保护坝基和上填材料之间的交接面。

各种手册的作者不可能准确地预见所有这些情形下应当如何做。专业性的决断应由工程师在现场提出。然而，在大坝安全领域中，能提出这样的决断的人不很多，不能满足需要。因此，特别是如能灵活地应用规范时，这些规定的确有其价值。这些规定给专家们提供了和一些缺乏经验的人分享其知识的途径。

灵活性是很关键的。只有当情况符合其基本设想时，严格的规范才是有用的。当没有觉察到情况的不同或未能用灵活性和判断能力作出必要的调整时，这些规范就如同废纸。使用“烹调书”的困惑在于某些使用者可能幻想其中囊括了所有食谱。对于一个完全与专业交流隔离的机构，按本本设计是特别危险的。

失事统计

世界上在失事事故中造成危害的大坝总数超过15万座。其中许多建筑物并没有像原来规划的那样发挥作用。据粗略估计,从公元十二世纪以来,大约有2000起失事事故,其中包括部份崩溃。当然,其中绝大多数并非主要大坝。到目前为止,二十世纪中全世界有大约200座著名水库失事,在这些灾祸中遇难者超过8000人。

1929年在柏林召开的世界电力会议上,改善大坝工程的共同兴趣导致ICOLD(国际大坝委员会)的建立。该组织获得了世界范围的支持,它有助于收集与分享世界上所有国家的专业人员在坝设计和施工中获得的知识。

由ICOLD公布的下表列出了到1965年为止的历史时期中已知的较重要的大坝失事的数量:

年份	重大失事的近似数量
1900年以前	38
1900年——1909年	15
1910年——1919年	25
1920年——1929年	33
1930年——1939年	15
1940年——1949年	11
1950年——1959年	30
1960年——1965年	25

年代不详

10

总 数

202

全世界部分重大灾难造成的生命损失估算如下:

大坝	国家	灾难发生年份	死亡人数
默丘 II (Machhu II)	印度	1979	2000 +
圣伊尔德菲索 (San Ildefonso)	玻利维亚	1626	不详注 1、
瓦窑 (Vaiont)	意大利	1963	2600
南福克 (South Fork)	美国	1889	2209
(Johnstown)			
潘歇特 (Panshet Khadakwasla)	印度	1961	不详
奥罗斯 (Orós)	巴西	1960	不详注 2、
吉隆坡 (Kuala Lumpur)	马来亚	1961	600
普恩特斯 (Puentes)	西班牙	1802	608
格莱诺 (Gleno)	意大利	1923	600
圣·弗朗西斯 (St· Francis)	美国	1628	450
马尔帕塞 (Malpasset)	法国	1659	421
玄基里 (Hyokiri)	南朝鲜	1961	250
克夫拉达·拉·恰帕 (Quebrada la Chapa)	哥伦比亚	1963	250
布拉德菲尔德 (Bradfield)	英国	1964	238
埃尔·哈伯勒 (Ee Habra)	阿尔及利亚	1881	209
仙本 (Sempor)	印度尼西亚	1967	200
胡桃林 (Walnut Grove)	美国	1890	150
巴比雅 (Babii Yar)	苏联	1961	145

维加德特拉 (Vega de Tera)	西班牙	1959	144
米尔河 (Mill River)	美国	1874	143
布法罗克里克 (Buffalo Creek)	美国	1972	125
瓦尔帕莱索 (Valparaiso)	智利	1888	100以上
阿拉·塞拉·惹毕诺 (Alla Salla Zerbino)	意大利	1935	100以上
布捷 (Bouzey)	法国	1895	100以上
纳纳克萨加 (Nanaksagar)	印度	1967	100
兹戈里格勒 (Zgorigrad (Vratza))	保加利亚	1956	96
奥斯汀 (Austin)	美国	1911	80
比拉杰斯纳 (Bila Desna)	捷克斯洛伐克	1916	65
弗里亚斯 (Frais)	阿根廷	1970	42+
下奥泰 (Lower Otay)	美国	1966	30
艾赛奥-科德特 (Eigiau-Coedty)	威尔士	1925	16
蒂顿 (Teton)	美国	1976	11
鲍德温山 (Baldwin Hills)	美国	1963	5
蒂格拉 (Tigra)	印度	1917	不详

注 1. 估计高达4000人, 但可能稍低。

注 2. 估计高达1000人, 但可能稍低。

政 府 监 督

这类灾难性的生命损失是公众所关注的大问题，这就促使公众广泛地认为需要政府参与对大坝和水库的监督。公民见闻广是一个基本要素。安全意识感强的民众不仅要求大坝更为安全，而且情愿为改善其防护措施筹措资金。

在圣·弗朗西斯大坝失事的翌年——1929年，加利福尼亚将诸大坝都置于有效的政府监督体系中。州政府对所有法律上认可的大坝，除联邦政府所有的以外，在设计、施工、运行、改建、维修和监视工作状况等各方面履行管辖权。此后，美国的许多州和另外一些国家也颁布了类似的法规。

在本世纪二十年代，全世界建造的大坝数量有明显增加。因为当时几乎没有提供指导的政府法规，每一个修建者对其工作承担了全部责任。当工程师们试图探索一些新问题时，曾常常承担着可怕的责任。鉴于在条件很差的基础上建设较大的坝的难度已得到公认，因而工程师们与地质学家和其他专业人员一起对工程共同进行探讨。

由于法国的马尔帕塞 (Malpasset)，意大利的瓦窑 (Vaiont) 和美国鲍德温山 (Baldwin Hills) 等重大灾难的结果，好几个国家的政府都颁布了新的或修正的监督大坝和水库安全的法案。1972年8月8日签署的大坝审查法案——美国国会92—367号公法，授权与陆军部长通过其总工程师对各大坝实施国家检查计划。在此授权下，工程师军团