

成都图书馆  
基本馆藏

374922

# 水工建筑物的 破坏及其原因分析

刘貽紂 汝效禹 編譯

中国工业出版社

## 序

水工建筑物的破坏，特别是坝的破坏，严重地威胁着下游居民的生命安全。例如法国马尔巴塞拱坝溃决时死亡387人，失踪100人；意大利格林诺坝损毁时死亡了500人；美国加利福尼亚州圣弗兰西斯坝破坏时死亡了400人；美国宾夕凡尼亚州南福尔克土坝失事时，死亡人数竟达2500人（根据另一个报导，死亡10,000人）。至于物质损失，当然也是极其严重的。同时对于破坏了的水工建筑物进行修理、加固或恢复，在大多数情况下也是极端困难、复杂和耗资巨大的。因此，水工建筑物的设计人员和施工人员的基本任务，首先是必须特别注重建筑物的坚固性和稳定性，使之符合安全的一切要求，然后，再在这个基础上力求工程造价低、效益大和施工期限短。

应该说上述原则是众所周知的，但是建筑实践证明，无论在施工期间，还是在运转期间，水工建筑物的破坏仍未完全根绝。特别是在资本主义国家中，情况尤为严重。分析其原因，许多固然是由于在水工建筑物设计、施工和运转中，对错综复杂的自然现象的相互影响和各种力的相互作用认识有误，从而作出了不正确的技术处理所致。但在资本主义国家中，私人企业的盲目追求利润，往往是导致建筑物破坏的根本原因。因为资本家所关心的是如何可以攫取最大利润，而漠视人的生命安全。意大利格林诺坝的破坏就是一个典型的例子。一家私营建筑公司在承包了该工程后，为了获得更大的赢利，擅自改变了原设计，用连拱坝代替了原设计的混凝土重力坝，甚至偷工减料到这种程度，基础砌体竟用石灰砂浆砌筑。坝的失事当然是这种施工质量的必然后果。又如法国马尔巴塞拱坝失事的原因之一，就是由于当时法国政治局势的动荡，以致在建坝前没有进行充分的地质钻探，建成后又无观测设备进行系统的检查，对于一个修建在人口稠密地区、60多米高的坝，采取了对人民生命财产极不负责任的态度。至于前述死亡达2500多人的美国南福尔克坝事故，则更为荒唐。该水库在使用50年后，竟被废弃，成为渔猎俱乐部的游乐湖。在资本家不顾工程的运用和维修而纵情享乐的情况下，坝顶坍陷成碟形；加以泄水管被堵塞，溢洪道被缩小，以致洪水漫溢坝顶而酿成坝工历史上最大的惨祸。因此，在研究资本主义国家中的水工建筑物破坏原因时，和其他问题一样，单纯从技术方面去研究是不够的，必须结合资本主义社会的经济制度来进行分析，批判地吸取其中有用的部分。

至于水工建筑物由于不正确的技术处理而遭受破坏，主要是因为自然现象（例如地震、洪水、土和岩石的结构等）是十分复杂的，而人在与自然作斗争中所掌握的技术水平，尚不足以绝对可靠地解决各种工程实际问题。在水工建筑物设计中，又不可能在实验室中做一个具有正确比例关系的模型来表达全部各种不同的自然条件和现象进行研究。

为了防止水工建筑物的失事，应该从实践中积累经验，不断提高技术理论水平，并对于建筑工作者亲身在各种自然条件下，通过多年实际工作的锻炼所积累的实际经验（包括成功的经验和失败的教训）进行认真的研究总结。但在近代的水利工程科学领域中，对于

計算理論所作的探討很多，對於工程設計和施工的成功經驗也有介紹，但對於水工建築物的失敗教訓所做的分析研究，則似乎不夠。在國內外文獻中都只有極其零星片斷的敘述。若將這些資料進行搜集，加以系統整理和分析，對於水利工程建設事業應該說是具有莫大實際意義的。失敗經驗總是可以戒鑑的，詳細研究失敗的原因，可以從中吸取有益的教訓，從而使今後水利建設工作在技術上不致重蹈覆轍。但這項工作也是一項困難的工作，只有在大規模的科學研究機構中才能做到。本書只能說是一個初步嘗試，談不上對資料的系統整理和分析，只是根據近30年來國外的一些文獻和國內翻譯的國外資料，作了編譯加工。在編譯過程中力求將破壞情況加以全面介紹，說清楚時間、地點、條件以及當時各方面對這些破壞事件的分析和看法，同時在可能範圍內根據目前的水平與認識提出一些探討。限于水平和時間，謬誤之處在所難免，熱誠歡迎對本書的任何批評和指正。同時，希望本書能拋磚引玉，引起工程界的興趣，對國內外水工建築物損壞的資料加以全面系統的整理和分析，寫成專著，使今後水利工作者有所借鑑，其裨益無疑將更勝於本書。

編者

# 目 录

序

第一章 概論	1
§ 1-1 自然因素	1
§ 1-2 勘测、設計因素	3
§ 1-3 施工因素	4
§ 1-4 运行和管理因素	5
§ 1-5 战争因素	7
第二章 圯工坝	9
§ 2-1 概述	9
§ 2-2 西班牙佩恩台斯坝的破坏	10
§ 2-3 法国格罗斯布埃坝的破坏	11
§ 2-4 阿尔及利亚哈勃拉坝的破坏	12
§ 2-5 美国德克萨斯州奥斯丁坝的破坏	13
§ 2-6 法国布泽坝的破坏	15
§ 2-7 挪威林格达耳坝的破坏	18
§ 2-8 印度提格拉坝的溃决	21
§ 2-9 印度帕加拉坝的破坏	23
§ 2-10 阿尔及利亚菲尔古格坝和謝尔法坝的破坏及其預应力加固	23
§ 2-11 有关砌石坝几个問題的討論	25
第三章 混凝土重力坝	29
§ 3-1 概述	29
§ 3-2 德国特罗斯特堡阿尔兹坝的破坏	30
§ 3-3 美国洛杉磯圣弗兰西斯坝的破坏	32
§ 3-4 美国宾夕凡尼亚州奥斯丁坝的破坏	37
§ 3-5 意大利布列姆博坝的破坏	38
§ 3-6 美国邓維尔坝的破坏	40
§ 3-7 意大利下塞尔比諾坝的破坏	40
§ 3-8 英国多尔加罗格坝的破坏	43
§ 3-9 美国謬耳霍兰坝的加固	44
§ 3-10 澳大利亚布林朱克重力坝的加固	45
§ 3-11 德国莫希尼坝和埃德尔坝的炸毁	49
§ 3-12 有关重力坝的失事和地基問題的討論	50
§ 3-13 有关重力坝揚压力和稳定問題的討論	54
第四章 拱坝	58
§ 4-1 概述	58
§ 4-2 美国莫伊埃河坝的破坏	63
§ 4-3 美国拉尼尔湖坝的破坏	64
§ 4-4 法国馬尔巴塞坝的破坏	65

# VI

§ 4-5	法国馬尔巴塞坝失事的最終检查报告	71
§ 4-6	秘魯弗萊瑞坝的破坏	80
§ 4-7	美国帕尔迪坝的损坏和二次灌浆	82
§ 4-8	美国巴克利坝和科珀-貝塞因坝混凝土的损坏	83
§ 4-9	法国夏丹納坝的两岸岩石断裂防渗与补强措施	84
§ 4-10	有关拱坝的几个問題的討論	87
<b>第五章 支墩坝</b>		<b>93</b>
§ 5-1	概述	93
§ 5-2	美国阿什利坝的破坏	95
§ 5-3	美国斯頓尼河坝的破坏	96
§ 5-4	美国普拉斯堡平板坝的破坏	101
§ 5-5	瑞典波得尔-福靜坝的破坏	102
§ 5-6	西班牙維加-提拉坝的潰决	103
§ 5-7	意大利格林諾坝的破坏	104
§ 5-8	美国豪杰斯湖坝的损坏和加固	106
§ 5-9	美国欢乐湖坝的破坏	110
§ 5-10	美国宝石湖坝的破坏	112
§ 5-11	埃及台尔塔坝的破坏	113
§ 5-12	苏联別洛奧穆特坝的破坏	114
§ 5-13	美国豪塞尔溪金属坝的破坏	114
§ 5-14	有关支墩坝几个問題的討論	115
<b>第六章 碾压式土坝</b>		<b>117</b>
§ 6-1	美国南福尔克坝的潰决	117
§ 6-2	英国布雷德-福德坝的破坏	118
§ 6-3	美国威廉斯堡坝的破坏	119
§ 6-4	捷克斯洛伐克威謝-戴謝坝的破坏	119
§ 6-5	美国阿皮夏巴坝的破坏	121
§ 6-6	美国拉斐德坝的破坏	122
§ 6-7	印度坦卡-阿沙地土坝的破坏	123
§ 6-8	美国朱里斯堡土坝的破坏	124
§ 6-9	德国居多夫坝的破坏	125
§ 6-10	美国拉弗魯达土坝的破坏	126
§ 6-11	法国沙尔姆土坝的破坏	128
§ 6-12	美国馬溪土坝的破坏	128
§ 6-13	美国台維斯坝的破坏	130
§ 6-14	美国提芬坝的破坏	130
§ 6-15	美国伐朗汀坝的破坏	131
§ 6-16	美国伊耳克溪坝的破坏	131
§ 6-17	美国迭尔斯坝和哈特菲耳德坝的破坏	131
§ 6-18	美国土克沙威湖坝的破坏	132
§ 6-19	美国希林坝的破坏	132
§ 6-20	美国里曼坝的破坏	134

§ 6-21	美国梅耳維利坝的破坏	134
§ 6-22	美国馬歇尔溪坝的破坏	135
§ 6-23	美国帝国水库坝的破坏	137
§ 6-24	美国哈奇通坝的破坏	137
§ 6-25	美国太布耳石窟坝的破坏	138
§ 6-26	美国瓦戈坝的破坏	140
§ 6-27	巴西奥罗斯土坝的溃决	141
§ 6-28	有关碾压式土坝几个问题的讨论	146
<b>第七章 冲填式土坝</b>		<b>154</b>
§ 7-1	夏威夷群岛亚历山大冲填式土坝的破坏	154
§ 7-2	墨西哥内加哈土坝的破坏	156
§ 7-3	美国加尔察土坝的破坏	157
§ 7-4	美国索留达河土坝的破坏	158
§ 7-5	美国加萊維腊斯坝的破坏	160
§ 7-6	美国匹克堡坝的破坏	162
§ 7-7	美国林維利坝的破坏	166
§ 7-8	巴拿馬加湯坝的破坏	167
§ 7-9	美国斯坦特利坝的破坏	167
§ 7-10	有关冲填坝和半冲填坝几个问题的讨论	169
<b>第八章 堆石坝</b>		<b>173</b>
§ 8-1	美国英格利希坝的破坏	173
§ 8-2	美国威尔奈特-格魯夫坝的破坏	173
§ 8-3	美国下奥特依坝的破坏	173
§ 8-4	澳大利亚埃尔顿坝的破坏	174
§ 8-5	突尼斯烏埃德-开比尔坝的破坏	177
§ 8-6	美国圣加布里埃尔坝建造中的破坏	180
§ 8-7	美国卡斯列-伍德坝的破坏	183
§ 8-8	印度比哈依-刚加天然堆石坝的破坏	184
§ 8-9	美国久尼堆石混合坝的破坏	185
§ 8-10	有关堆石坝几个问题的讨论	186
<b>第九章 堰(閘)</b>		<b>193</b>
§ 9-1	印度伊斯拉姆堰的破坏	193
§ 9-2	印度拉修耳堰的破坏	194
§ 9-3	印度克汉基堰的破坏	196
§ 9-4	印度安德森堰的破坏	197
§ 9-5	印度馬雷拉堰的破坏	198
§ 9-6	印度克里希納堰的破坏	199
§ 9-7	印度薩尔达堰的破坏	201
§ 9-8	美国亚伯河上块石堰的破坏	203
§ 9-9	苏联庫加尔特堰的破坏	204
§ 9-10	有关堰(閘)几个问题的讨论	210
<b>第十章 压力隧洞</b>		<b>213</b>

§ 10-1	印度巴克拉工程导流隧洞的破坏	213
§ 10-2	希腊拉特亨水电站引水隧洞上的水锤事故	220
§ 10-3	澳大利亚悉尼压力隧洞的破坏	222
§ 10-4	美国欧文河谷输水道上虹吸管的锈蚀及其防治	225
§ 10-5	奥地利格尔斯压力隧洞的破坏	226
§ 10-6	坎德斯提压力隧洞的破坏	228
§ 10-7	日本殿渊第三电站引水隧洞的破坏	229
§ 10-8	加拿大季馬諾压力隧洞的破坏和修复	232
§ 10-9	有关隧洞的几个问题的讨论	236
<b>第十一章</b>	<b>压力水管</b>	<b>242</b>
§ 11-1	日本大井川水电站及其压力钢管的破坏	242
§ 11-2	日本小見水电站压力钢管的破裂	249
§ 11-3	日本长殿水电站压力钢管的破裂	254
§ 11-4	日本大桥水电站压力钢管的破裂	264
§ 11-5	日本五个水电站上压力水管的振动	270
§ 11-6	法国努埃尔-布兰克湖电站压力水管的破裂	280
§ 11-7	苏联阿尔明尼亚地区两电站上压力水管的破坏	282
§ 11-8	苏联涅瓦水电站和布尔札尔水电站木制压力水管的破坏	286
§ 11-9	有关压力水管几个问题的讨论	291
<b>第十二章</b>	<b>溢洪道</b>	<b>296</b>
§ 12-1	美国大约瑟夫坝溢洪道的损坏	296
§ 12-2	某重力坝溢洪道的破坏	307
§ 12-3	美国卡尔汤坝溢洪道的损坏	313
§ 12-4	美国怀尔桑溢流坝的损坏	316
§ 12-5	美国卡耳德-乌德溢流拱坝施工期的事故	317
§ 12-6	美国布尼維利坝溢洪道的破坏	317
§ 12-7	美国胡佛坝泄洪隧洞的破坏	319
§ 12-8	有关泄水建筑物几个问题的讨论	320
<b>第十三章</b>	<b>其他水工建筑物</b>	<b>328</b>
§ 13-1	美国韦勒坝船闸闸墙的倒塌	328
§ 13-2	德国不来梅船闸的破坏	329
§ 13-3	美国埃耳登坝施工围堰的破坏	332
§ 13-4	美国布尼維利坝施工围堰的破坏和修复	334
§ 13-5	美国大苦力坝施工围堰的损坏和修补	337
§ 13-6	美国舍尔科普夫水电站的失事	340
§ 13-7	法国布万特水库的渗漏	341
§ 13-8	苏联混凝土坝导流底孔的破坏	341
附录	有关水工建筑物破坏的研究概况	346
	主要参考文献	352

# 第一章 概 論

水利工程是人类和水作斗争的产物。几千年来，世界各国人民建造了大量的水利工程，为我们留下了不少宝贵的经验。其中绝大部分是成功的，也有一部分是失败的。研究这些建筑物的工作情况，可以加深我们的认识，提高我们的水平，是丰富我们知识的重要源泉。

本书收集的是近百年（1860~1962）来的一部分水利工程失事实例。这些材料不仅将告诉我们有关水利科学的发展情况，同时，也可以使我们有可能在比较广泛的基础上，来考查导致失事的一些普遍因素。

根据初步分析，使水工建筑物遭受破坏的原因有以下五个方面：

一、自然因素——建筑物受到自然界各种不能预见的破坏作用，如遭遇非常洪水、特大水流、风暴、地震、山崩、滑坡和某些潜在的地质作用等；

二、勘测、设计因素——对于建筑物所处的自然条件调查研究不全面，或处理不正确；对建筑物将来的工作条件估计错误，以及设计指导思想的片面性等；

三、施工因素——违反设计的要求，所用的建筑材料和施工方法不当，质量不合规定，以及缺乏有效的检查监督制度等；

四、运行和管理因素——对建筑物的工作状态缺乏观测、检查，对建筑物的缺陷没有及时维护和修理，以及管理人员的操作错误等；

五、战争因素——地面军事行动、轰炸、爆破等。

## §1-1 自然因素

对于水工建筑物来说，自然的破坏力是一种经常存在着的因素。直到目前为止，人类在实践中所积累的全部理论和经验，虽然已能将这种破坏的可能性约束在相当小的范围内，但是还不足以彻底地消灭这种可能性。而在过去的几十年、几百年内，在现代技术理论形成的过程中，这种自然因素却曾起过相当大的影响。人们曾为此付出了不少的代价。这一点，只要考察一下水利工程发展的历史，就可以看出：几乎每一个技术上的重大进展和理论上的发展，都和无数次的失事教训有密切关系。

威胁着水工建筑物安全的自然因素中，最主要的是水文、水力和地质条件。根据统计，在重力坝的失事原因中，基础地质问题占45%，洪水漫顶占35%，其他水力、人为因素占20%；在土坝的失事原因中，洪水漫顶占30%，渗漏占25%，滑坡占25%，管道漏水占13%，其他占17%。

洪水漫顶的典型事例有：印度帕加拉重力坝，在失事当天14小时内，连续降雨达325毫米雨量，洪水超过设计流量三倍，高过坝顶1.38米，因而将坝冲毁；美国伊耳克土坝，



在 2 小时內降落的暴雨量达 170 毫米，水位在 3 小时內上涨了 4.6 米，洪水流量超过溢洪道設計容量一倍，最后使坝潰决。

对于河川径流特征的复杂性認識不足，水文观测系列不长，对于洪水流量估計偏低，以及选用溢洪道容量过小，是促使早期大坝失事的普遍原因。

設計洪水的正确性，主要取决于水文观测系列的长短。例如上述伊耳克土坝，就是在施工前毫无水文记录的条件下建成的。这种情况在現代已不能允許，但是在本世紀初，却并不是个别的現象。根据美国对失事的坝从建成后的時間来分析：洪水漫頂有 65% 出现在建成后 20 年內，建成后 50 年以上的坝，因洪水失事的很少。由此可见，水文資料系列不应该短于 20 年，否則，对設計洪水的确定应当特別慎重。

溢洪道設計容量的正确性，除了具有足够长的正确的水文資料之外，还和对于当地水文气象条件的調查研究的彻底性有关。特大洪水的組合情况总是稀有的，这种稀有的現象往往很难从一个流域的水文记录来正确判断，必須結合广大地区从气象上作补充分析，否則就难免会发生較大的誤差。

此外，水文資料的整理統計，無論在理論上或方法上均不能說已經十分完备和精确，也不可能象水力問題一样，通过模型試驗来解决。由于理論的不完善，常常使設計洪水成果有很大誤差。

在水力因素方面，高压水的潜蝕作用、波浪的冲击、水流的脉动和水錘作用，以及含有巨大能量的高速水流的动力作用，都会使水工建筑物遭到破坏。諸如过水表面的空蝕、磨損，结构物发生振动、共振，下游消能结构和地基的冲刷、淘洗，以及下游河床发生消落等。目前，水力学基本上还走着实验的道路，对于各种設計的水力現象，只能在一定程度上通过模型实验来研究解决，但是还不完全能从理論分析作出定量的解答，因此，各种水力因素就会經常成为溢洪道、泄水底孔、压力隧洞、压力鋼管、閘門以及下游地基的破坏原因。尤其对于建造在軟基上的水工建筑物，更是一种主要的破坏力量。

影响水工建筑物安全的地质因素是复杂而多方面的，建筑物的地基可能在施工前就处在不稳定的状态，但是更多的是由于水工建筑物建造之后，使地质作用的正常过程起了很大变化，因而形成了新的破坏条件。

因地质問題而失事的典型事例有：法国 60.55 米高的馬尔巴塞薄拱坝，由于岸坡局部地区的岩石軟弱，使拱座发生了不均匀的变形和滑坡，在几分钟內发生了全面的崩潰。意大利瓦依昂坝水庫区发生大規模山崩，使水庫在 15~30 秒鐘內被土料填沒，庫水溢过坝頂，造成历史上最大一次水庫失事，使这座当前最高的拱坝被迫废弃。

地质上的安全性，首先取决于勘探的质量（这一点将在下节中討論）。但是，早期的大坝建筑中，往往很少甚至根本不作勘探。某些著名的重力坝失事事例，如美国圣弗兰西斯坝、奥斯丁坝、俄亥俄河 26 号坝等，都是如此。有些坝基甚至下臥基岩离河底仅几米，由于未作勘探，将坝建造在覆盖层上而遭到破坏。事实上，工程地质学和水文地质学，直到本世紀 20 年代才成为一門独立的科学。

許多复杂的地质現象，即使掌握了現代的勘探技术，也仍然难于彻底得到解决。如岩石的不均匀性或局部地区的軟弱，会使坝体（特別是拱坝）因不均匀变形而发生应力的重

分布和集中（如馬尔巴塞拱坝的破坏）；軟弱頁岩內的孔隙水压力，会使筑坝后地基抗剪强度过小而发生滑坡（如瓦戈土坝的破坏）；地基內极薄（0.16~0.95厘米）的夹泥层，会促使建筑物滑动（如韦勒船閘的破坏）。許多工程的失事，往往正是由于这种局部的軟弱地点和极薄的軟弱夹层所引起的。太沙基（Karl Terzaghi）曾指出：这种次要的地质細节，往往很难为一般勘探方法所发现。

不良的物理地质作用，如喀斯特、山崩、滑坡、地震等，虽然在某些情况下，可以通过現代勘探方法和技术措施加以防范，但有些現象（例如地震）是較难預測的，故仍然是一个值得重視的因素。秘魯的弗莱端拱坝即由于地震松动了坝座而破坏。在日本，也有一些土坝受地震而破坏。地震对土坝的破坏主要是引起裂縫、沉陷和滑动。对于溢洪道、压力水管、进水塔、泄水閘等结构，地震的影响則更为严重。

## § 1-2 勘测、設計因素

重力坝具有現代的型式，即設有横向伸縮縫和完整的防渗帷幕，采用地基固結灌浆、排水系統、检查廊道等，还是在本世紀十年代內开始逐步形成的。而土坝作为一种结构物，能进行强度与稳定分析、渗透計算，并設置反滤层等，則更是在三十年代才实现的。明白了这一些，就不难理解过去水工建筑物設計中所存在着的缺点和錯誤。

在因勘测、設計不当而失事的事例中，以美国圣佛兰西斯坝为最典型，該坝建于1924~1926年，依当时的技术水平，完全有条件能确保大坝的安全，但是施工前既沒有进行地质查勘，也未作地基岩石的物理力学試驗；在設計中沒有考虑基础灌浆，沒有設置防渗齿墙、检查廊道和收縮縫；坝基排水只在中段布置了一小段；計算中沒有考虑坝基的揚压力；整个設計也未經任何机关批准即行施工。結果，蓄水后地基砾岩中的石膏被溶解、粘土胶結物被軟化、地基被淘刷，坝在几分钟內就被冲垮。

其他如拱坝設計中忽視坝头的稳定（如莫伊埃河坝、拉尼尔湖坝），支墩坝設計中对于上游防渗截水墙在渗径縮短后的重要性認識不足（如阿什利坝、斯頓尼河坝），对于上游面拉应力及溫度应力估計不足（如豪杰斯坝、欢乐湖坝），堆石坝設計中忽視沉陷的影响，采用不良的防渗结构（如埃尔頓坝、烏埃德开比尔坝），在土坝坝面上設置溢洪道（如提芬坝、伐郎汀坝），在土坝之內埋設泄水管道（如馬溪坝、哈奇通坝），泄水堰的护坦长度过短、厚度不足，設計揚压力偏小（如拉修耳堰）以及輸水道中忽視压力波的振动作用（如坎德斯提隧洞，努埃尔-布兰克河电站压力水管）等，均会引起建筑物的失事。

設計工作中的片面性，用主觀的假定来代替客觀規律，可以用下述事实說明，瑞士利托姆电站压力隧洞的混凝土衬砌，以及日本大桥电站的埋藏式压力水管，都在沒有实測試驗成果的情况下，根据衬砌（或鋼管）和岩石共同受力的假定进行設計，最后当然都遭到严重破坏。再如某些工程人員为了解决土坝的泄洪問題，曾相信在填土的坝面上盖一层薄薄的混凝土层，即可利用整个坝长作为溢洪道。但是这种想法經不起实践考驗，結果連坝都一起被冲毀。

設計的片面性，还表现在对于工程的运用情况考虑不全面。如泄水建筑物只考虑最大泄水量的影响，而忽視泄放小流量时的影响；只考虑建成后的运行情况，而不考虑施工期

特别是施工后期的情况（如大约瑟夫溢洪道的破坏）。压力水管只根据调速器正常工作时的水锤设计，而不校核误操作时所可能发生的情况。叶格尔（Ch. Jaeger）统计了十多个压力水管的水锤事故后指出，破坏性的水锤往往不是出现在正常的工作情况时，而是发生在一些特殊的情况下。

至于勘测方面，除了没有查勘盲目进行设计之外，查勘的精度、范围和方法，也有重大影响。美国拉尼尔拱坝，施工前只在坝址钻了几个钻孔，由于工作草率，竟至没有发现左岸坝头是一块四周被土、石填没的大孤石。蓄水后土、石被冲走，孤石移动，坝头也随之崩坍。在查勘方法上，值得指出的是，目前对于岩石地基往往偏重于地下深层的钻探、洞探，而对于地面工作，尤其对于接近地面直接作为建筑物基础的岩石性质和构造，研究不够；在软基如成层粘土层等方面，则对于有关层次的分布和连续性、孔隙水压力等研究得不够。许多工程的查勘范围也常和工程的规模不相适应。有时甚至会遗漏一些重要的查勘项目，如水质、土质对混凝土、钢材的侵蚀性、土料的水溶性、局部软弱夹层和裂隙填充物的化学物理性质等等。

任何地质查勘、试验的结果，最后都通过整理计算而成为设计的依据，但是在某些情况下，这种数据与实际情况可能有很大出入（如取样的代表性、土的扰动、岩石试样的加工、统计方法的合理性等），必须在施工时依据现场的观测结果来修正使用。很多建筑物的失事，也和设计人员盲目地运用这种勘测试验资料有关。

此外，在资本主义国家中，勘测设计人员之间的脱节现象是很严重的。地质和水工人员之间的隔阂，达到这样的程度，以致必须要有第三者作中间人才能沟通彼此的想法。在前述1959年失事的马尔巴塞拱坝上，甚至发生这样的情况，地质师根据重力坝的要求选定了坝址（因而对于两岸坝头岩石很少注意），而实际设计和建造的却是拱坝。失事后调查证明，这位地质师没有收到过改变坝型的通知书。

### §1-3 施 工 因 素

国外大多数的工程失事，都或多或少的和施工质量有关。水工建筑物施工中的不正确性，常表现在下列几个方面：（1）不按设计图纸施工；（2）施工工艺草率；（3）建筑材料低劣；（4）施工程序和施工进度与自然条件和工程要求不符。

施工过程中的所谓“偷工减料”是资本主义社会的特有产物。而其中以意大利格林诺坝的篡改坝型最能说明问题，该坝根据批准的设计为一重力坝，施工时未经许可即将上部改为钢筋混凝土连拱坝，下部坝体直接铺砌在岩石表面，坝基内既未灌浆，也未修筑截水墙；基岩与砌体之间粘结很差，好几处出现了宽达6毫米的裂隙；砌体系用石灰浆代替水泥砂浆砌筑；混凝土很贫、多孔、强烈渗水；骨料很脏、钢筋都是用过的残料；一句话，整个施工质量存在着不可容忍的潦草塞责，以致蓄水后，即发生开裂、沉陷而破坏。私营承包公司为了利润而置工程安全于不顾，对最隐蔽而关系安全最大的部分，如基砂处理、防渗结构等，往往降低要求或缩减尺寸。这种现象只有在失事后才被发现。例如英国多尔加罗格重力坝的防渗截水墙，设计规定为1.83米深，而实际施工仅0.46米；美国梅耳维尔土坝截水板桩的长度，设计要求为4.9米，而实际施工仅2.75米，这两座坝后来都因地基渗漏

而破坏。

根据统计，支墩坝的失事原因中，有44%是地基防渗不良，有44%是裂缝事故，有12%是混凝土质量事故，可以说这些现象都和施工工艺不良有关。早期的土坝、堆石坝，大多直接将土、石料从运土车上倒下堆成，除了运土的牲畜践踏压实之外，即无其他压实措施，因而最容易在水管或连接结构的边缘发生渗漏而破坏（如威谢-戴谢坝）。至于堆石坝，可以用圣加布里埃尔坝为例，该坝在建成后不久，经过一次暴雨即沉陷了3.66米，坝上混凝土防渗面板因而遭到了破坏。

焊接质量低劣，是大部分压力钢管破裂的原因之一（如日本小见电站和大桥电站的压力水管，法国努埃尔-布兰克电站的压力水管）；隧洞衬砌后的回填不实，则是多数衬砌破坏的原因（如悉尼隧洞）；至于高速水流在过水表面的空蚀、磨损、冲刷，则更和施工时外型正确性和表面的光滑度密切相关。经验证明，任何模型试验中认为良好的泄水、消能结构，只要施工时模板走动，表面粗糙，就会引起空蚀破坏。美国胡佛坝泄洪隧洞的破坏，就是由于施工定线不准而造成的。

建筑材料（包括土、石、混凝土、钢材等）的质量不良，经常会成为建筑物的一个基本的薄弱环节，并随着时间的增长而益趋严重，甚至会使整个结构物完全丧失工作能力。早期修建的圪工坝，大多用石灰砂浆砌筑，胶结能力、止水性能和强度都很差，在长期渗水侵蚀下就很容易瓦解。混凝土的反碱作用，抗蚀、抗渗、抗冻能力不强，密实性差，常是造成结构物开裂和渗水的原因。尤其对轻型结构——拱坝、连拱坝、闸等，影响更大（如巴克尔拱坝、宝石湖坝、不来梅船闸）。日本在最近曾对几座失事的钢管进行了调查，调查结果证明，多数钢管与钢材品质不良有关，其中有几座曾采用了性脆、含硫量高的沸腾钢，因而经受不住压力波所引起的反复疲劳和冲击作用（如小见、长殿电站）。土坝、堆石坝也有因土料、石料选择不当，引起渗漏和沉陷而破坏的（如阿皮夏巴坝、亚历山大坝）。

关于施工程序和施工进度安排问题，巴西奥罗斯土坝的溃决，具有很大的代表性。该坝施工人员既不将施工进度安排在实际施工能力可能性的基础上，又不考虑一定的防范措施，留有余地。只从主观愿望出发，为了加快施工，竟将54米高的土坝，安排在一个枯水期内抢高。当实际施工进度落后、汛期来临和洪水迫在眉睫时，又竟只图保全大坝而不顾下游几十万生命和财产的安全，企图背水作战，孤注一掷，最后终至全面溃决，使下游一百多公里地区蒙受重大损失。

最后，还应该指出一点，即在设计和施工人员之间也常有脱节现象，某些设计人员常不考虑、或很少考虑到该工程结构的施工方法，有些设计人员则甚至缺乏必要的施工技术知识，而施工人员也往往对工程结构的特点和设计的意图，缺少深刻的了解。存在着这种情况是很难将施工质量提到应有高度的。

#### § 1-4 运行和管理因素

有些水工建筑物的破坏，应该归咎于运行管理的不善。

如前所述，目前水利技术的理论基础，虽然还不足以解决所有的工程问题，例如建筑

物复杂的应力状态和稳定性，水流流动的状态，水文地质条件等，但是现代的观测技术，却在很大程度上可以弥补上述理论上的不足。对于一个水工建筑物的工作情况，已经基本上可以通过各种类型的仪器设备，来及时观测检查。事实上，绝大多数建筑物的破坏过程都不是突然发生的，一般都有一个缓慢的从量变到质变的过程，因之，即使建筑物存在一定的缺陷，或者在设计理论和技术上有一些未定的因素，通过认真细致的检查，也能及时发现，防患于未然。但是，这种不重视观测的现象在国外若干工程上至今仍然很严重。例如前述法国马尔巴塞拱坝，虽然促使大坝失事的直接原因是地质问题。但是如果坝上设有一定的应力应变观测系统，则不均匀变形引起的坝内应力重分布的过程（在失事前至少有1~2周的时间），即可及时得到反映。这个坝在建成后四年内，不但对混凝土应力没有进行仔细的检查，而且坝内根本没有埋设观测仪器。

金兹布尔格（М.В. Гинзбург）曾列举了苏联建筑物在某些水工观测检查方面的缺点：（1）观测工作没有统一计划，拨款很少；（2）缺乏统一观测方法，观测成果难于比较；（3）仪器设备在施工建设时即有损坏（如电线拉断、仪器撞坏等）；（4）已装仪器无人照管，全苏水工科学研究所观测的大部分结构物，几乎整个测压管网都发生了故障；（5）没有经常性的观测，已观测的结果也没有加以整理分析；（6）仪器设备没有专门工厂制造，以致许多大型水力工程（如明格齐乌尔、莫洛托夫电站等），在混凝土结构中都没有埋入仪器。金兹布尔格所指出的情况，可以说明忽视观测情况的一般。

加拿大季马诺电站对于压力隧洞坍方的观测表明，经常的观测以及对于观测成果作出分析，不仅可以发现结构物的缺陷，而且可以正确地据以订出消除缺陷的各种措施。当然，观测工作除了监视结构物的工作情况外，还可以总结运行经验，据以改进设计和提高施工的质量。

局部细小的缺陷，如不加维护修理，经历一定时间就会发展成重大事故。例如瑞典彼得尔-福静坝，运行20年而没有任何检修，使坝体混凝土受到了严重的破坏；美国希林土坝失事前坝顶已沉陷了0.6米；斯顿尼坝在失事前泄水道闸门因冻结而无法打开；日本大桥电站压力水管爆破后，闸门无法关闭而使事故进一步扩大。事后检查，闸门已歪斜脱开，门轴弯曲、锈蚀累累。显然，这是长期缺乏维修的后果。

建筑物上出现的缺陷常预示有某些潜伏的危险，因此，除了应及时维修之外，还必需查究其原因，否则即易酿成灾难。英国布雷德福德土坝，在失事前已发现坝顶有纵向裂缝，由于管理人员未作进一步研究，即认为是风浪引起的表面裂缝，水位降低后即无影响，因而未作及时的抢救；美国奥斯丁重力坝建成不久，坝上即出现了垂直裂缝和漏水，当时虽然在表面上作了修理，但由于企业主不愿补充经费，并未找出根本原因。以后，终于溃决了。类似的情况还有法国布泽重力坝、美国普拉斯堡平板坝、印度克基汉堰等。

水工建筑物失事前出现的最普遍预兆是地基或坝体的渗漏。对于这种渗漏现象，在运行时必须特别警惕，并应密切注意其数量、色泽和动向。地基渗漏大多由于防渗帷幕失效、渗径长度不足或不均匀沉陷所致，一般可以借各种压力灌浆方法阻止，也可以在结构物上游修铺盖或倒粘土入水库，或在下游建造反滤层解决。结构物本身渗漏，则是由于：

（1）结构物内出现渗水短路（如沿土坝内水管漏水，结构物止水破坏，闸底板开裂等）；

(2) 混凝土溫度收縮产生貫通的裂縫；(3) 混凝土內游离石灰被溶濾等，可以用钻孔灌浆补救（如加尔湯溢洪道）。但在多孔混凝土中的滲漏或滲水已將有机物沉积在混凝土隙縫內时，水泥灌浆就不能达到目的，必要时应加設防渗面层止水（如挪威林格达耳坝）。

錯誤的操作和运用，可以认为是对建筑物的直接破坏。造成这种情况是由于：(1) 管理制度不健全；(2) 片面重視工程的效益，而忽視工程的安全；(3) 管理人員缺乏必要的技术訓練。苏联涅瓦二号电站和布尔扎尔电站的压力水管，都是由于缺乏經常的检查制度和保温措施，使通气孔和拦污柵发生冰冻、堵塞而造成真空和压屈破坏；苏联阿尔明尼亚地区的另外两座水电站，則因为維護管理不善，水管发生严重銹蝕，以及工作人員操作运行中考虑不周，致使水管被冻结而破裂；印度巴格拉导流隧洞，在超过設計水头的条件下运行，促使閘門室破坏，事故扩大到淹沒了坝区和厂房，整个工程进度因此推迟了一年多。印度拉修耳堰則在底板、护坦已发现有严重損坏的情况下，仍片面照顾灌溉供水而放下閘門抬高水位，不久堰即崩塌。

日本大井川电站的失事是运行人員操作錯誤的典型事例。該电站在停机检修过程中，由于值班人員缺乏应有技术訓練，临时慌張，在一系列誤操作后，使蝴蝶閘在0.3秒內突然关闭，压水管隨即爆破。希腊拉特享电站，則因管理人員缺乏应有的管理知識，竟將关闭进水导流隧洞（diversion tunnel）閘門誤解为关闭引水隧洞閘門，从而使进水口遭到破坏。由此可見，不管設計、施工人員如何竭尽全力，确保工程的安全，如果工程缺乏明确的管理制度和操作規程，管理人員缺乏应有的技术訓練和組織，則任何細小的疏忽和錯誤，都足以导致严重的破坏事故。

經驗証明，健全的管理措施應該包括以下各項：(1) 建筑物在投入运行前，必須进行試運轉；(2) 运行过程中应經常观测检查各种設備和建筑物的状态，尤其在汛前，汛后，严寒季节；(3) 正确执行預先拟訂的泄洪、排水、冲淤的規程；(4) 經常备置有一定的預防措施，如准备防寒、防汛器材，加强气象預报，組織上下游两岸地区的防汛等；(5) 对建筑物的設備进行定期养护，如閘門、起門机等应处在随时可以使用的状态；(6) 及时修理損坏部分，并应找出損坏的原因；(7) 系統地記錄各种检查结果，大小事故的情况及处理过程，这些資料的重要性，不仅在于能据以掌握建筑物的工作情况，校核設計假定的正确性，而且还可以为科学研究积累极为宝贵的原始資料，可以在更广泛的基础上提高水利工程的科学技术水平。

## §1-5 战争因素

一个水利工程，不論是灌溉、航运、給水或发电，小則对于一个地区、大則对于整个国家的国民經济和工农业生产，都有重大关系。資本主义国家中，某些大型水电站往往直接为軍事工业服务。因此，在战争时期，也必然成为攻击破坏的主要对象。

在第二次世界大战时期，日本、意大利、德国等国家，有許多水利工程直接遭到破坏。如英国空軍曾在1943年5月17日分別以65,000磅的炸弹，炸毀德国魯尔（Ruhr）軍事工业区的莫希尼重力坝和米特兰（Mittelland）运河区的埃德尔重力坝，使附近6座水

电站毁坏，工业和交通陷于瘫痪。

水工建筑物炸毁后，洪水直接威胁下游地区生命财产，破坏农业生产（尤其在插秧后和秋收季节），阻断地区的交通运输，同时也使战时工业生产停顿，对国防军事方面产生影响。因此，在第二次世界大战后，各国对水工建筑物设计，已开始考虑国防要求。重大的水工建筑物，都结合防空要求进行结构物的型式选择和结构计算。近年来地下水电站的迅速发展，与此不无关系。

就国防要求而论，平板坝、连拱坝是不恰当的，因为这类结构物比较单薄，容易遭到轰炸破坏。重力坝由于对额外超载的安全性较差，所以其危险性仅次于平板坝和连拱坝，这一点已为上述莫希尼坝和埃德尔坝所证实。大头坝命中一个炸弹所造成的破坏，仅限于一个或两个坝段，其可能的危险性是在坝决口后，支墩可能受两侧不平衡水压力而失去稳定，而且还可能扩展到整个坝体。但是如果在支墩内留有较大孔口，则上述危险即可避免，所以支墩坝并不比重力坝容易破坏。土坝由于体积庞大、坝底宽大，所以最为安全。例如施符马脑耳(Schwamnanauel)土坝高52米，在坝顶和两边坝坡上遭受数个重型炸弹，形成弹坑直径达20~40米，仍未毁坏。索尔贝(Sorpe)坝高65米，经受了八次严重轰炸仍未失事。而前述重力坝仅一次空袭即被破坏。

从技术角度考虑，降低水库水位或放空水库是一种防止危险的安全措施，但是这种措施显然是非常不经济的。此外，在战时大坝还可以象其他重要工业一样，进行伪装，用烟幕掩护，设置防空措施等。

## 第二章 圻 工 坝

### §2-1 概 述

浆砌块石坝是一种古老的坝型，很早就在许多国家中采用。西班牙在中世纪就曾经建造过不少的浆砌块石坝，法国、意大利、美国以及欧洲的其他一些国家，在十九世纪，尤其在十九世纪中叶，都曾广泛的采用这种坝型。但在混凝土坝出现以后，浆砌块石坝就逐渐被淘汰。这是因为浆砌块石坝与混凝土坝相比较之下有下述缺点的缘故：1. 施工速度慢；2. 砌石的技术要求较高；3. 不能大规模地采用机械化；4. 坝外形的正确砌筑较难；5. 受当地材料的限制；6. 受坝址地形的限制较大，工作面过于狭小，影响施工速度。目前大多数国家已经很少采用这种坝型。但是在少数国家中，由于石料容易开采，缺少大量施工机械，劳动力较多，以及由于传统技术影响等原因，这种坝型仍有采用。例如印度就是一个突出的例子。印度的南部地区，因为处在古老的德干高原地带，石料容易开采，加以印度机械化施工水平很低等因素，砌石坝就建造得比较多。表 2-1 所载即为印度历年来所完成的主要砌石坝。

表 2-1

坝 名	坝 高 (米)	建 成 时 期
拍立牙坝	53.6	19世纪末
克瑞西那加沙加	44.5	1920年
买特尔	68.5	1934年
威尔逊(系单拱坝)	82.4	1937年
劳埃德	58.0	1950年
同加巴特拉	48.4	1953年
巴特拉	76.8	1960年
那加君那沙加	113.0	正修建中

砌石用的砂浆在过去大都采用石灰砂浆，现在逐渐为水泥砂浆所代替。在印度，中小型砌石坝中，当最大主应力低于12公斤/平方厘米时，常采用烧土石灰砂浆(烧土与石灰之比为4:1)，其抗压强度为60~80公斤/平方厘米。这种烧土石灰砂浆砌石坝的造价，较同样高度的混凝土坝的造价可低15~30%。砂浆制造过程如下：先将 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 的含量大于70%、 $\text{SiO}_2$ 含量大于40%的粘土焙烧至700~900°C，使成为烧土块，然后加入些石灰块和水用转磨研磨35~40分钟，即成为烧土石灰砂浆。这种砂浆具有水硬性，初凝时间为6小时，终凝时间为20小时。砂浆经研磨后一部分成细颗粒，一部分成粗颗粒(0.1~2.0毫米)，后者起砂的作用。但现在各国砌石坝所采用的砂浆大都是水泥砂浆。根据



試驗表明，砌体的强度并不因为是砂浆和块石的結合体而有所减弱，76厘米立方体的砌体强度均較其所使用的砂浆的15厘米立方体試块强度为高。其成果如表2-2。

表 2-2

砌体砂浆配合比 (水:水泥:砂, 重量比)	26天抗压强度(公斤/厘米 <sup>2</sup> )		90天抗压强度(公斤/厘米 <sup>2</sup> )	
	15厘米 <sup>3</sup> 砂浆	76厘米 <sup>3</sup> 砌体	15厘米 <sup>3</sup> 砂浆	76厘米 <sup>3</sup> 砌体
0.6:1:3.91	156	216	201	244
0.6:1:3.91*	226	227	190	248
0.7:1:4.72	117	169	145	229

注：带\*号者为水泥内无接合料，其他水泥内均加有20%的烧土。

因此，浆砌块石坝可视为一个有大的不連續級配骨料的混凝土坝，若施工操作仔細控制，保証灰浆飽滿，則抗压安全系数可采用6，砌体的强度可进一步得到利用。

砂浆的使用量关系着水泥的使用量，它是浆砌块石坝主要的經濟比較指标之一。現在，一般坝上所用砂浆率約为50~40%。

实际上，砂浆使用率主要决定于石工操作，若能多填手把石，多利用大块石，砂浆采用机械拌和，并加入加气剂以改善其工作度，則砂浆率可以大大降低，甚至可降低至37~33%。

至于浆砌块石坝的施工期限，一般說是比较长的，通常坝体平均每日升高0.1米，挖基、尾工时间除外，一年大約可升高20米。表2-3所載为印度几个坝的施工情况。从表中可見，印度砌石坝的施工速度是很緩慢的，这和其社会制度，經濟力量，人力等有关。表中所載数字仅可作为参考之用。

表 2-3

坝名	砌体总量 (万米 <sup>3</sup> )	坝頂长 (米)	坝高 (米)	日强度 (米 <sup>3</sup> )	年强度 (万米 <sup>3</sup> )	施工年数
买得尔	155	1610	68.5	850	26	8
克瑞西那拉加沙加	85	2620	44.5	280	6	21
同加巴德拉	90	1830	48.4	710	20	9
尼介姆沙加	87	3120	35.2	400	11	10
卫托那	56	560	76.2	950	19	4.5
那加若那沙加	484	1460	113	4000~ 8000	83	8
巴特拉	50	427	76.8		—	12 (中曾停工)

### § 2-2 西班牙佩恩台斯坝的破坏

西班牙佩恩台斯(Puentes)坝建筑于1785~1791年。該坝位于瓜达兰亭河上。坝的最大高度50米，坝頂长282米。坝体内部由乱石砌筑，坝面用浆砌大块石护面。坝内設有两条引水道。