

1 章

力与水

我来了，我看了，我服了。

——罗斯福总统在胡佛大坝落成仪式上的
讲演，时间：1935 年 9 月 30 日

胡佛（Hoover）大坝那令人惊叹而优美的新月形混凝土结构，迫使科罗拉多河（Colorado River）流入亚利桑那一内华达（Arizona - Nevada）交界处的深深的峡谷。胡佛大坝的建成开了建造大型水坝的先河。1946 年适逢大坝建成 10 周年，斯特格纳（Wallace Stegner）这位大小说家和散文家，造访了这个 221 米高的水坝，他被镇住了：“它肯定是世界奇观之一，那延伸开来的钢筋混凝土峭壁、那力大无比的起卸机、迷宫般的隧道、巨型的水电站……有关大坝的一切均标志着似乎是美国人才有的迷人而秀美的壮丽。”^①

此后 60 年，对许多其他作家、领袖、工程师、官僚、民族主义者以及革命家而言，大坝一直是爱国主义的骄傲和人类运用之妙对自然征服的象征。大坝是电力、水和食物的供应者；能够驯服洪水；能够使沙漠变成绿洲；能够保证国家的独立——我们

这个世纪的大部分时间，大坝——这种人类最大的单一建造物——一直是进步的象征，不论这个虚无缥缈的概念是资本主义财富的创造，还是社会主义成果的传播，或是向共产主义大跃进。

1954 年，在旁遮普（Punjab）楠加爾运河（Nangal Canal）的开通典礼上，印度第一任总理尼赫鲁（Pandit Jawaharlal Nehru）在看到了运河以及巴克拉（Bhakra）大坝的建筑工地之后，描述了他的“异常亢奋和激动”。尼赫鲁以一种民族主义夹杂着宗教虔敬的方式表达了他的敬畏：“这是多么壮观、多么宏伟的工程啊！只有那具有信念和勇气的人民才能承担如此的工程！……它已经成为国家意志的象征，象征着这个国家正在迈向力量、决断和勇气的时代……在大坝工地漫步时，我就在想，在这些日子里，最大的庙堂和寺院便是人为了人类之善行而劳作的场所。又有哪个场所比巴克拉—楠加爾这个场所更大呢？在这里成千上万的人在劳动，在这里流血流汗，甚至牺牲了自己的生命。还有什么别的场所会比这个场所更为神圣和崇高呢？”^②

大坝的含义要比简单的发电和蓄水功能复杂得多。它们是用钢筋混凝土、岩石和泥土表达的技术时代的主导意识形态：经济发展和科学进步的符号，与其相匹配的则是核弹和汽车。一位建筑师曾向胡佛大坝的建造者们提出建议，要清除掉坝体上设计的装饰，目的是突出其巨大的钢筋混凝土本色的视觉力量。密执安大学的一位姓斯坦伯格（Theodore Steinberg）的历史学家说，胡佛大坝“应当象征着伟大、力量和主宰。它就是那样计划的”^③。

根据权威的大坝业协会的国际大坝委员会（ICOLD, International Commission on Large Dams）的估计，世界上的河流现已被 4 万多座大坝截断，除了原有的 5000 座之外，都是 1950 年以后建造的。国际大坝委员会通常将从坝基到坝顶的高度为 15 米者定义为“大型水坝”（large dam）——这个高度比四层楼房还要高。中国是最热衷于建坝的国家：1949 年的解放时只有 8 座大型水

坝；大约 40 年左右，数量增至 19000 座。美国建坝位居第二，大约有 5500 大型水坝。接着便是前苏联和日本以及印度（见表 1.1）（据估计美国有大约 96000 座小型水坝。如果小型与大型水坝的比例在其他国家也是如此的话，那么粗略地估计一下便可发现，世界上大约有 80 万座小型水坝）^④。

随着大坝数量的增加，其规模和地理分布也在扩张。直到 1957 年的 20 多年里，胡佛大坝一直是世界上最高的大坝，以后则被瑞士的莫瓦桑（Mauvoisin）大坝超过。4 年之后，又有两座更大的水坝超过了胡佛大坝，即大迪克森斯（Grand Dixence，也是瑞士的）和意大利的韦奥特（Vaiont）水坝。1968 年，胡佛大坝在美国本土也失去了高度第一的位置，而让位于加利福尼亚的奥罗维尔（Oroville）水坝。在 20 世纪 70 年代和 80 年代，又有 7 座水坝超过了胡佛大坝，它们分布在加拿大、哥伦比亚、苏联、墨西哥和洪都拉斯。目前世界上最高的大坝是努雷克（Nurek）水坝，竣工年代为 1980 年，位于塔吉克斯坦，这座庞然大物就是一座用土石混合起来的人造山，其高度为 300 米，相当于埃菲尔铁塔的高度（见表 1.2~表 1.4）。

表 1.1 拥有大型水坝和主坝的国家（据国际大坝委员会定义）

大型水坝（1986 年数据）		主坝（1994 年数据）	
1. 中国	18820	美国	50
2. 美国	5459	独联体	34
3. 独联体	约 3000 *	加拿大	26
4. 日本	2228	巴西	19
5. 印度	1137	日本	19
6. 西班牙	737	土耳其	11
7. 韩国	690	中国	10
8. 加拿大	608	德国	9
9. 英国	535	意大利	9
10. 巴西	516	瑞士	9
11. 墨西哥	503	阿根廷	8

续表

大型水坝 (1986 年数据)		主坝 (1994 年数据)	
12. 法国	468	印度	7
13. 南非	452	法国	5
14. 意大利	440	墨西哥	5
15. 澳大利亚	409	奥地利	4
16. 挪威	245	哥伦比亚	4
17. 德国	191	伊朗	4
18. 捷克斯洛伐克	146	西班牙	4
19. 瑞士	144	澳大利亚	3
20. 瑞典	141	巴基斯坦	3

*：苏联仅向国际大坝委员会申报了由能源电力部控制的 132 座大型水电大坝。如果包括农业部和地方当局建造的大坝，据国际大坝委员会估计，苏联（现在的独联体）应该拥有 2000 ~ 3000 座大型水坝。见国际大坝委员会定义的解释性文字。

资料来源：国际大坝委员会：《世界大坝的记录》，巴黎，1988；《国际水力和水坝建筑手册，1995》，国际水力和水坝建筑（IWPDC），英国，萨顿（Sutton），1995。

表 1.2 世界上最高的大坝

坝名	国别	完成年代	坝型	高度（米）
1. 努雷克（Nurek）	塔吉克斯坦	1980	E	300
2. 大迪克森斯（Grande Dixence）	瑞士	1961	G	285
3. 因古尔（Inguri）	格鲁吉亚	1980	A	272
4. 韦奥特（Vaiont）	意大利	1961	A	262
特里（Tehri）	印度	U/C	E/R	261
5. 奇科森（Chicoasén）	墨西哥	1980	E/R	261
6. 莫瓦桑（Mauvoisin）	瑞士	1957	A	250
7. 瓜维沃（Guavio）	哥伦比亚	1989	E/R	246
8. 萨彦—舒申斯科（Sayano - Shushensk）	俄罗斯	1989	A/G	245
9. 米卡（Mica）	加拿大	1973	E/R	242
二滩（Ertan）	中国	U/C	A	240
10. 奇瓦尔（Chivor）	哥伦比亚	1957	E/R	237
基绍（Kishau）	印度	U/C	G	236
11. 埃尔卡洪（El Cajón）	洪都拉斯	1985	A	234
12. 奇尔基（Chirkey）	俄罗斯	1978	A	233
13. 奥罗维尔（Oroville）	美国	1968	E	230
14. 巴克拉（Bhakra）	印度	1963	G	226

续表

坝名	国别	完成年代	坝型	高度 (米)
15. 胡佛 (Hoover)	美国	1936	A/G	221
16. 康特拉 (Contra)	瑞士	1965	A	220
17. 姆拉季涅 (Mrantinje)	南斯拉夫	1976	A	220
18. 德沃沙克 (Dworshak)	美国	1973	G	219
19. 格伦峡谷 (Glen Canyon)	美国	1966	A	216
20. 托克通古尔 (Toktogul)	吉尔吉斯斯坦	1978	G	215

坝型：A = 拱坝；E = 土石坝；G = 重力坝；R = 堆石坝；U/C = 在建中。

资料来源：《国际水力和水坝建筑手册，1995》，国际水力和水坝建筑，英国，萨顿，1995。

表 1.3

蓄水最大的水坝

坝名	国别	完成年代	蓄水量($\text{m}^3 \times 10^6$)
1. 欧文瀑布 (Owen Falls)*	乌干达	1954	2700000
2. 卡霍夫斯卡娅 (Kakhovskaya)	乌克兰	1955	182000
3. 卡里巴 (Kariba)	津巴布韦/赞比亚	1959	180600
4. 布拉茨克 (Bratsk)	俄罗斯	1964	169270
5. 阿斯旺 (Aswan High)	埃及	1970	168900
6. 阿科松博 (Akosombo)	加纳	1965	153000
7. 丹尼尔·约翰逊 (Daniel Johnson)	加拿大	1968	141852
8. 古瑞 (Guri)	委内瑞拉	1986	138000
9. 克拉斯诺亚尔斯克 (Kransnoyarsk)	俄罗斯	1967	73000
10. W.A.C. 贝内特 (W.A.C. Bennett)	加拿大	1967	70309
11. 泽亚 (Zeya)	俄罗斯	1978	68400
12. 卡伯拉·巴萨 (Cabora Bessa)	莫桑比克	1974	63000
13. 拉格兰德 2 (La Grande 2)	加拿大	1978	61715
14. 拉格兰德 3 (La Grande 3)	加拿大	1981	60020
15. 乌斯特伊利姆 (Ust - Ilim)	俄罗斯	1977	59300
16. 博古查尼 (Boguchany)	俄罗斯	1989	58200
17. 古比雪夫 (Kuibyshev)	俄罗斯	1955	58000
18. 圣费利克斯 (São Felix)	巴西	1993	54000
19. 卡尼亚皮斯科 (Caniapiscou)	加拿大	1981	53800
20. 布赫塔尔马 (Bukhtarma)	哈萨克斯坦	1960	49800

*：维多利亚湖 (Lake Victoria) 的容量是天然的。31 米高的水坝为现有的天然湖增加了 270 立方千米的容量。

资料来源：《国际水力和水坝建筑手册，1995》，国际水力和水坝建筑，英国，萨顿，1995。

表 1.4 最大水电装机容量 的水坝

坝名	国别	首次运行	1995 年装机容量 (MW)
1. 伊泰普 (Itaipu)	巴西/巴拉圭	1983	12600
2. 古瑞 (Guri)	委内瑞拉	1986	10300
3. 萨彦—舒申斯科 (Sayano - Shushensk)	俄罗斯	1989	6400
4. 大峡谷 (Grand Coulee)	美国	1942	6180
5. 克拉斯诺亚尔斯克 (Krasnoyarsk)	俄罗斯	1968	6000
6. 丘吉尔瀑布 (Churchill Falls)	加拿大	1971	5428
7. 拉格兰德 2 (La Grande 2)	加拿大	1979	5328
8. 布拉茨克 (Bratsk)	俄罗斯	1961	4500
9. 乌斯特伊利姆 (Ust - Il'm)	俄罗斯	1977	4320
10. 图库鲁伊 (Tucuruí)	巴西	1984	3960
11. 索尔泰里亚岛 (Ilha Solteira)	巴西	1973	3200
12. 塔贝拉 (Tabelá)	巴基斯坦	1977	3046
13. 葛洲坝 (Gezhouba)	中国	1981	2715
14. 努雷克 (Nurek)	塔吉克斯坦	1976	2700
15. 米卡 (Mica)	加拿大	1976	2660
16. 拉格兰德 4 (La Grande 4)	加拿大	1984	2650
17. 伏尔加格勒第 22 届议会 (Volgorad 22nd Congress)	俄罗斯	1958	2563
18. 保罗·阿芳索四世 (Paulo Afonso IV)	巴西	1979	2460
19. 卡伯拉·巴萨 (Cabora Bassa)	莫桑比克	1975	2425
20. W·A·C·贝内特 (W. A. C. Bennet)	加拿大	1968	2416

资料来源：《国际水力和水坝建筑手册，1995》，国际水力和水坝建筑，英国，萨顿，1995。

水坝业对“主坝” (major dam) 定义的基础或者是根据其高度 (至少 150 米) 或者是其容积 [至少 1.5 万立方米——基奥普斯 (Cheops) 大金字塔容积的 6 倍]，水库蓄水量 (至少 25 立方千米——足以使卢森堡这样大的国家淹没在 1 米深的水中) 或发电量 (至少 1000 兆瓦——足以供欧洲 100 万人口的城市之用)。1950 年，有 10 座庞然大物符合这些标准；到 1995 年则扶摇直上至 305 座。建造主坝的主力国家是美国，接下来为苏联、加拿大、巴西和日本⑤。

现在世界上的主要江河流域均被箍上了水坝；许多大江大河现在差不多都变成了水库搭起来的台阶。2000千米长的哥伦比亚河（Columbia River）上的一段可怜的70千米的水道上，竟有19座水坝将其拦腰截断。在美国本土，只有黄石河（Yellowstone River）有1000多千米长的水路没有被水坝截断。在法国，唯一一条自由流淌的罗纳河（Rhône）于1986年也未逃脱被截断的命运。在欧洲的其他地方，不论是伏尔加河（Volga）、威悉河（Weser）、埃布罗河（Ebro）还是塔古斯河（Tagus），每条河流在流经其总长的1/4之后，均要流经一座水库^⑥。

从全世界范围来看，据估计，水库的总蓄水量高达10000立方千米，相当于世界全部河流水量的5倍^⑦。各大型水库的重量太大，可以引发地震——已经有水库诱发的地震记录在案。地球物理学家们甚至估计由于水库而导致的地壳重量的重新分布，可能会对地球自转的速度、轴的倾斜以及引力场形状产生影响，这种影响尽管非常微弱但却可以测量到^⑧。

在世界范围内，水库淹没的面积超过40万平方千米（加利福尼亚州的面积）^⑨。在阿科松博（Akosombo）大坝后面的沃尔特水库（Volta Reservoir）有8500平方千米，是世界上最大的水库，其所淹没的面积相当于加纳4%的国土面积。在美国，水库淹没的面积相当于新罕布什尔州和佛蒙特州的总和^⑩。地球表面面积的0.3%已经被水库淹没，这表明其损失要比统计数据所蕴含的大得多——水库淹没的漫滩是世界上最肥沃的农田；这些地带的沼泽和森林是多种野生动物的栖居地。

由于人类宿主的威胁，尤其是由于水坝的威胁，淡水生物是生态系统中退化最严重的。一座水坝将河谷生命网络间的联系彻底切断。瑞典生态学家于1994年得出结论，美国、加拿大、欧洲及苏联最大河流的总排水量的4/5，受到拦河大坝的调节、分散和分割，“受到严重的或相当程度的影响”^⑪。分水对下游影响

最为极端的例子是中亚的咸海（Aral Sea）。它曾经是北美洲以外的世界上最大的淡水水体，但现在已经缩减到不到其原来面积的一半，而且已经分隔为三个独立的高盐度湖泊。

水坝是导致世界上整整 $1/5$ 的淡水鱼濒于灭绝或灭绝的主要原因。对于那些建坝最多的国家，这个比例甚至还要高——在美国近 $2/5$ 而在德国则有 $3/4$ 。两栖动物、软体动物、昆虫、水禽以及其他滨河的和湿地的生命形式同样受到威胁^⑫。

人类在世界各地建造水坝的后果与生态后果同样具有戏剧性。尽管水坝建设者们没有费心去作记录，但是由于筑坝而将其土地淹没的人数肯定不胜枚举——3000 万也许是个保守的数字，6000 万也许更接近实际。现有的证据表明，在他们当中只有非常少数的人从这场考验中恢复过来，不论从经济上还是从心理上。许多人遭受着失去以打鱼为生的痛苦，季节性洪水所提供的灌溉也没有了，木材、狩猎以及其他利益都随着森林一起被淹没在库底。目前，水坝淹没的谷底是最理想的人类定居地，不仅现在如此，过去也是这样，因而水库淹没了无数重要的考古和文化遗址，其中有许多是已经发现的，毫无疑问尚有许多在被淹没之前是尚未发现的。沿灌渠和水库边缘滋生诸如蚊子之类的传播媒介，使疾病四处蔓延，给人类的生命带来无法估量的损失。水坝本身也会致人于死地，因为水坝会坍塌。在 20 世纪当中，除中国以外由于 200 座水坝的坍塌或漫顶使 13500 人死于非命。还有许多人因为拒绝迁移而死于抗争。1982 年危地马拉的 378 名玛雅印第安人——主要是妇女和儿童——在对其所在的社团所进行的惩罚中被折磨致死、枪杀、刺死、绞死和棒杀，原因是他们因建造奇霍伊（Chixoy）水坝而失去家园要求适当的补偿。

1.1 江河简史

写历史而“不掺水”就等于遗漏了一大半故事。人类的经验从来就不是那么干巴巴的。

——沃斯特：《帝国的江河》，1985

所有的陆地均是流域或江河流域的一部分，所有陆地均是由流在其上或穿越其中的水所成形的。的确，江河是陆地不可分割的一部分，因而在许多方面我们应称江河景观（riverscape）而不是陆地景观（landscape）。江河的作用远远超过把水汇入大海。江河流下来所携带的不仅仅是水，与其同重要的是沉积物、溶解了的矿物质以及富含营养的动植物碎屑，这里边既有死的也有活的。江河那不断更改的河床和河岸以及位于其下的地下水，均是江河的有机组成部分。甚至就连草原、森林、沼泽以及漫滩的滞水均可视为江河的一部分——江河也是它们的一部分。

江河的流域始于大山之巅和小山之顶^⑬。消融的积雪和降雨将高地冲刷出一道道小河沟，它们汇集到湍急的山间溪流之中。随着溪流向下流淌，一些支流和地下水便加入其中，它们一同形成了河流。随着河流离开大山，水的流速减缓，河流开始弯曲和交织，同时寻找阻力最小的流径，以便穿越逐渐变宽的山谷。最终河流将流入一个湖泊或海洋。在河流混浊而陆地平坦的地方，冲积沉淀可以形成一个三角洲，将河流分裂为鸟爪般的支流，然后汇入海洋。人海口便是河流的淡水与海洋的咸水混合之处，从生物学的角度来看，这里是河流最多产的部分——也是海洋最多产的部分。世界上绝大多数捕到的鱼类在其生命周期中至少有一段时期生活在富含营养的入海口。

一条河流的多样性不仅仅体现在其所流经国家的各式各样的

类型，而且还在于它能在旱年和涝年之间改变季节和气候的差异。水量在季节性和年度性地变化，流域的沉积和营养成分可以是大量的，尤其是在干旱的地区，一年的降水量也许只限几场暴雨。南非的林波波河（Limpopo）年均排水量的 85% 在 1~3 月；8~10 月仅有 1%。在最北方的河流也是高度季节性的，在冰天雪地的寒冬流量最小，而是冰雪消融的夏季则洪流滚滚。

人类历史中最重要的事件发生在河流的两岸。在埃塞俄比亚阿瓦什河（Awash River）发现了我们最早的人类祖先的化石残骸。在近东的 9000~10000 年前的考古学遗址中，发现了人类从狩猎和采集到定居务农的历史性转折的证据，而这里恰恰是大山之间狭窄的河谷。公元前 3000 年，在幼发拉底河（Euphrates）、底格里斯河（Tigris）、尼罗河（Nile）和印度河（Indus）流域，此后不久又在黄河流域，出现了人类最初的文明。又过了很久，人类历史上的另一次转折发生在沿北部英国的河流，那便是最初的工业化工厂。

江河以及其所维系的各种动植物，为狩猎—采集社会提供了饮用水和洗涤用水，还有食物、药物、染料、纤维和木材。农耕社会也同样受益，因为人们需要用水灌溉作物。到了畜牧社会，牧民逐水草而居，在广袤的平原和蜿蜒的山区进行放牧，在干旱和洪涝季节江河两岸的常年生植物提供了维系生命的食物和饲料。城镇利用（和滥用）江河来排泄所产生的废物。江河还是商贸、探险和征服的通道。除了为数不多的几个海洋社会之外，“所有伟大的历史文化”，技术史学家芒福德（Lewis Mumford）写道，“随着人口的流动，各种制度和发明以及货物均沿着大江大河的天然公路而四处蔓延”^⑭。

在许多文化的神话传说和宗教信仰中，都把江河看成是生命和生育的维系者。在世界许多地方，江河被比做“母亲”：Narmadai “纳尔马达母亲河”（Mother Narmada）；伏尔加河是“大地

的母亲”(Mat' Rodnaya)。泰语中河流一词为 mae nan，字面意为“水母”(water mother)。江河也常常与神明联系在一起，尤其是女性的神。在古埃及，尼罗河的洪水被视为女神伊希斯(Isis，译按：司生育与繁殖的女神)的泪水。爱尔兰的博伊恩河(River Boyne)，这个最令人难忘的史前期的埋葬地，在岛内曾被视而不见，但在凯尔特部族中却将其奉为一个女神。

印度的河流也许比任何其他民族的河流更具神话、史诗、民间传说和宗教象征的色彩了。环保主义者帕拉尼皮耶(Vijay Paranipye)讲述了一段神圣的文字：“在萨拉斯瓦蒂河(Saraswati)沐浴三次，便能涤荡所有的罪恶；在亚穆纳河(Yamuna)要沐浴七次才行，在恒河只需一次，但是仅仅看一眼纳尔马达河便足以解脱一个人所有的罪恶！”另一段古老的文字把纳尔马达河描述为“欢乐的施者”“风度翩翩”“仪态万方”和“散发着幸福的气息”^⑤。

有关河流维系的生命，鲑鱼也许最具神话意义。“知识的鲑鱼”(Salmon of Knowledge)的传说是这样说的：鲑鱼在博伊恩河发源地不远的的一个池塘里游来游去。任何尝到鲑鱼味的人便会了解到世上的一切，包括过去、现在和未来。太平洋西北部的土著美洲人认为，鲑鱼要比所有生灵都高贵，它们顺河游下来是为了人类的利益而死去的，死后它们在大洋底下的一所大房子中复活，在那里它们以人的形状跳舞欢歌。有些部族以仪式欢迎季节的第一条鲑鱼，把它视为来访的酋长。

河流维系着生命，也带来死亡。在平原定居，使人们一方面享受着富饶的冲积土壤所带来的好处，另一方面又把他们的作物和村庄暴露在灾难性洪水的危险之下。《吉加美士》史诗(Gilgamesh)是现在最古老的史诗传说，向人们讲述了由上帝策动的一场大洪水如何天惩美索不达米亚的罪恶。有关大洪水的神话与传说在世界许多文化中都存在，从《圣经·旧约》的犹太人到异

教的北欧人以及美洲的土著人。

在世界各地修建水坝为江河流域带来了深刻的变化。没有任何东西能像水坝那样完全改变江河。一座水库便是一条江河的对立面——江河的实质是它要水流动，水库的实质是要水静止。一条天然的河流是动态的，永远变化着——侵蚀着它的河床，淤积着它的淤泥，寻找一条新河道，冲溃它的堤岸，逐渐干涸。一座水坝永远是静止的，它企图把江河纳入控制之下，调节其洪水的季节性模式以及减低流速。一座水坝拦住了沉积物和营养物，改变了河流的温度和化学成分，而且还搅乱了侵蚀和沉积的地质过程，正是通过这些地质过程，河流才塑造了周围的陆地。

1.2 水坝：它们是什么，它们做什么

水库是人战胜自然的象征，大片水面可以为观看者带来一种内心的满足感。

——德·锡尔瓦，斯里兰卡灌溉部顾问，1991

水坝的功能主要有二。第一个功能便是蓄水以补偿河流的波动或满足对水和能源的需求；第二个功能则是提高上游的水平面，使水能够顺运河改变流向或提高“水头”（hydraulic head）——水库表面与河流下游之间的高度差。蓄水和水头的生成可以使水坝发电（水电提供了世界电能的 $1/5$ 左右），为农业、工业和日常民用提供用水，控制洪水并且通过提供正常的水流和淹没激流险滩而有助于航运。其他建造水坝的理由还包括水库渔业以及休闲活动如划船之类。

水力发电的能力是水流量和水头的一种功能。尽管水头通常与水坝的高度相关，然而，如果发电厂及其水轮机位于水坝下游一段距离的话，一个低水坝也能具有高水头。被称为“导水管”

的管子将水导至水轮机。一旦水驱动了水轮机，它便顺着一条“泄水道”流向水坝下面。

水力发电比其他发电方式优越的地方在于水库能够在用电低峰期蓄水，然后在用电高峰期又能迅速开始发电。核电、烧煤和烧油的火力发电厂在这一点上要比水力发电差，它们需要更长的时间才能启动。最近几年，水力发电适合于发出有价值的“高峰”电，使那些建造所谓的抽蓄式电厂大行其道。这种电厂通常要有两个相对小型的水库，一个在上游一个在下游。在高峰用电时，水从上面的水库通过水轮机落入下面的水库，完成发电。然后，再用廉价的峰值后的电力把水抽回到上面的水库。

溢流堰和径流式水坝是不同形式的“拦河坝”，这意味着当它们提升上游的水位时，它们只生成一个小水库（“压力前池”），并不能有效地调节下游的流量。溢流堰通常是石头、混凝土或柳枝所筑成的一堵矮墙。径流式水坝可以是一个 10~20 米高的巨大结构，在一条宽阔的河流的底段绵延数百米。“拦河坝”式水力发电水坝的发电能力在任何时候均与河水的流量成正比。

较蓄水坝而言，它们的破坏性后果要小一些，但是，从环境保护的角度着眼，拦河坝也远远不是良性的，而且“拦河坝”与“蓄水坝”的界线总是无法分清的。主张建坝的人在某些情况下寻求低调处理计划中的水坝的影响，其方式便是宣称他们要建造的是“拦河坝”。例如，泰国的北榄（Pak Mun）水坝便被官员们反复描述为拦河坝工程。然而，大多数时间水坝的闸门却是紧密着的，它被作为蓄水坝在用。尽管它的建造者和资助者多年来都在为它进行辩护，北榄水坝还是在数年之内破坏了该国最富饶的淡水鱼捕捞业^⑬。

正如每条江河及流域都是独特的一样，每个坝址和每个水坝也都是独特的。然而，一共有三种主要类型的水坝——筏式筑坝（土石坝）、重力坝和拱坝——选择哪种坝型主要根据坝址的地形

地势以及地质情况。在所有大型水坝中，有 80% 以上为土石坝，因为这种坝通常造价最低。土石坝通常跨宽阔的河谷进行建造，坝址则选在其所需要的建筑材料能够就地取材的位置。大型的土石坝是人类所建造的最大型的结构。世界上体积最大的水坝是巴基斯坦的塔贝拉水坝，这个大坝是用 1.6 亿立方米的土石堆起来的，是埃及大金字塔体积的 40 多倍。

重力坝基本上是厚厚的直立的混凝土墙，建在相对狭窄的河谷上，与坚实的河床结为一体。拱坝也是用混凝土建造的，其条件限制在有坚实的岩石墙的狭窄的峡谷，在所有大型水坝中这种类型的水坝仅占 4%。拱坝的形式与通常的拱形建筑相似，以其背部承重，坝的拱顶面向上游，而拱脚则抵住峡谷两边的岩石墙。拱形结构内在的力量使拱坝薄型的混凝土墙也能承受其所背负的水库重量，与同样高度的重力坝相比，拱坝所需的混凝土仅为重力坝的一小部分。

一座水坝还包括一些与主墙不同的结构特征。当水库超过警戒水位时，溢洪道被用来排水。跨越宽广的平原而建造的水坝会包括长长的辅坝和堰堤。例如，魁北克北部的拉格兰德水电计划一期工程的五座水库，便有 11 座大坝和 200 多个辅助堰堤，蜿蜒总长为 124 千米。

1.3 筑坝简史

铁器时代无所子遗，所有人只留下大腿骨，而一首诗在世界思想宝库中加了一笔，玻璃碎片在垃圾堆中，混凝土大坝突现在山峦中……

——贾弗斯：《暑假》，1925

美索不达米亚东边扎哥罗斯（Zagros）山脉丘陵地带的农民也

许是第一批建造水坝的人。在该地区考古发现了 8000 年前的灌渠，但不像是采用了那种灌木和泥土堆起来的小型溢流堰来把水分配到各个渠道。到了 6500 年以前，苏美尔人在沿底格里斯河与幼发拉底河下游平原上，建立起纵横交错的灌溉网络。然而，在这个时期也还是没有发现有建坝的实物证据，但他们很可能经常控制用来灌溉的水流。

今天依然存在的最早水坝已经被发现，那便是公元前 3000 年建造的古城佳瓦（Jawa，现在约旦境内）供水系统的一部分。该供水系统包括一个 200 米宽的溢流堰，通过这个堰，水被分配到十个土石圈起来的小型水库中。这些水库的水坝中最大的有 4 米多高，80 多米长。此后 400 年，大约在修建第一座金字塔的时代，埃及的石匠们在开罗附近的季节性溪流上建造了所谓的“异教之坝”（Sadd el-Kafra）。这个由沙子、卵石和岩石堆砌起来的家伙有 14 米高，113 米长，并且保留了 17000 块切凿好了的石块。大约过了十年，在其完工之前，却部分地被洪水冲垮了，而且冲垮的部分再也没有修复。这个功亏一篑的水坝当时可能是想为当地的采石场供水用的。因为尼罗河每年在种植季节之前便将其农田淹没了，所以古埃及的农夫并不需要灌溉用的水坝。

在公元前 1000 年的末期，石头和泥土修建的水坝在地中海地区、中东、中国和中美洲等地出现了。罗马工程师的天才也是在其水坝和水道系统上最显而易见。现存的特色最为鲜明的罗马水坝位于西班牙，在水利工程方面它继续发挥着杰出的作用，经过摩尔人时期直到现代。一座 46 米高的石坝于 1580 年在阿利坎特（Alicante）附近开始兴建，14 年之后竣工，这个水坝大约保持了 3 个世纪左右的世界纪录。

南亚建造水坝的历史也很悠久。从公元前 4 世纪开始，斯里兰卡各城市便开始修建长长的土堤来蓄水。这些早期的土石坝之一在公元 460 年被加高至 34 米，是世界上最高的水坝，这个记

录保持了 1000 多年。巴布国王（King Parakrama Babu），这个 12 世纪僧加罗（Sinhalese）的统治者，是个臭名昭著的暴君和自大狂，他吹牛说他修建并修复了 4000 多座水坝。他所扩建的一座土石坝高 15 米，长近 14 千米，真是难以置信。直到 20 世纪初期尚无任何水坝能与之匹敌。人类学家利奇（Edmund Leach）认为，巴布的大水坝对多数斯里兰卡村民们并没有多大用途，因为他们依靠小型的人工池塘来进行灌溉。利奇说，大水坝“是纪念碑，不是功利性建筑”。

将流水的能量转化为机械能的历史几乎与灌溉一样久远。古埃及和苏美尔使用一种叫做戽水车（Noria）的水轮，在轮的四周的边缘挂着水桶从河中或渠道中戽水。到了公元前 1 世纪，罗马用上了水车来磨谷物。1086 年英王威廉一世颁布的土地调查清册（Domesday Book）记载，英国当时有 5624 座水车——大约每 250 人便有一座。

水车不仅仅是用来提水和磨谷物。在中世纪晚期，它们在大工业中心的德国和意大利北部有着多种用途，包括为造纸而捣烂破布头、打铁、在制革厂压制皮革、纺丝线、粉碎矿石和从矿井中抽水。来自玻利维亚波多西（Potosí）著名的“银山”矿石，便在井里用上百台水车进行研磨。17 世纪初叶，负责为水车房供水的 32 座水库中最大的一座水坝坍塌，将 4000 人连带所有水车房全部冲走。到工业革命开始时，有 50 万座水车为欧洲的工厂和作坊提供动力。

19 世纪正在迅速工业化的英国，差不多建成了 200 座高 15 米的水坝，主要是为了蓄水以供不断扩大的城市之用。1900 年，英国的大型水坝数目几乎是全世界大型水坝的总和。19 世纪的水坝主要是土石坝，其设计基本上根据试错法——直到 1930 年之前，对于泥土与岩石在压力的作用下有什么样的表现，几乎没有什么科学的理解。19 世纪（甚至今天的某些地方）水坝建设

者也几乎没有水流量或降水量的数据，也没有多少统计工具来分析业已获得的水文数据。其后果自然可知，他们筑的水坝坍塌频仍。1864 年，约克郡（Yorkshire）的一座供水用的水坝坍塌，造成 250 人丧命。美国的安全记录很糟糕：1930 年前建成的土石坝有 1/10 是失败的。1889 年，宾夕法尼亚州约翰斯敦（Johnstown）上游的一座水坝坍塌，造成 2200 人死于非命。美国最大的水库为土石坝。

法国工程师福内戎（Benoit Fourneyron）于 1832 年完善了首台水轮机，极大地提高了水车的效率（一台水轮机——将落水的势能转变为机械能——要比一台水车的效率高得多，因为水车是由流水的动能驱动的）。在 19 世纪后期，随着电力工程的进展，水轮机的意义完全清楚了，电力工程导致了建造发电厂和输电线路的产生。世界上第一座水电站，建在威斯康星州阿普尔顿（Appleton）的一座拦河坝内，于 1882 年开始发电。翌年，在意大利和挪威也相继建成了水电大坝。

在以后的几十年间，小型水电站纷纷在欧洲湍急的河流上建成，最为显著的是在斯堪的那维亚半岛和阿尔卑斯山区。到了 20 世纪，水坝和电站的规模开始迅速增大。水轮机设计的进步增加了水头的高度，1900 年水轮机在水头为 30 米的情况下可以工作，到了 20 世纪 30 年代，可以在 200 米的情况下运转，筑坝工程的改善可以允许建造高坝来产生如此大的落差^{①7}。

1.3.1 遍地洒水：大坝在美国

现在需要的是大大的水坝，
为的是遍地洒水，
人们有活干而物价也上涨，
你就能对贫民区说再见。

——格斯里：《华盛顿的抑郁调》，1941

在 19 世纪后期，对干旱的美国西部的征服与定居，水坝的