

第一章 水开发与环境

Asit K. Biswas

(国际生态模拟学会主席, 英国牛津)

1.1 引言

自古以来, 水被认为是一种人类生存不可缺少的自然资源。从肯尼亚北部湖泊周围人类祖先的最早进化, 到各主要大江大河沿岸文明的发祥, 一般认为人类历史都是以水为中心的。人类早期文明的发展与繁荣, 均源于诸如尼罗河、幼发拉底河、底格里斯河和印度河等主要大河。事实上, 人类历史就是在人类与水的相互作用、互为影响中谱写而成的。

不难理解, 文明和人类聚居地为何常繁衍于一些具有战略重要性的河流沿岸, 这是由于容易获取水并便于饮用、灌溉及航运是人类存活必不可少的基本要素。人类的生存与福祉, 从根本上讲依赖于水的可获取性以及对水的控制。洪水与干旱, 不仅使人遭受巨大痛苦, 还常夺去人及牲畜的性命。

由于水所起的重要作用, 生活在公元前若干世纪的印度的 *Rusgu Narada* (他也许是最早的政治学权威) 在拜见 *Pandava* 国王 *Yuddhistira* 时, 其问候语便是以水为中心的。他说: “我希望陛下的王国拥有很多大型的蓄满水的水库, 分别坐落于王国的不同部位 这样 农业灌溉即无须依靠变幻无常的雨神了。”适当可行的治水, 意味着可有效地减少干旱引起的土地荒芜, 以及随之而来的饥荒。

其后，依然是在印度，财政政策不时触及到水。出于在一个半干旱国家水的可获取性对确保农业丰收的极端重要性，印度著名政治家 Kautilya 探讨了降水对本国经济和社会福利所起的重要作用。在其可能写于公元前 4 世纪末的史诗 Arthashastra（政治与行政科学）中，论述了全国测雨量网络组织。测雨量网被认为是极为重要且必不可少的。这出于两个很好的理由，第一，土地税取决于每年的降水总量，因为降水量被人们认为代表着农业收成以及农民收入的大小；第二，充分了解降水是农业种植所必需的，从而可使农业产量最大化，这是国家安全和福祉所在。

同样在历史学家 Herodotus 认为是尼罗河“礼物”的埃及，尼罗河的洪水水位被记载了近 5 000 年。古埃及的农业生产及人们的生存，依靠尼罗河每年的泛滥。因此，人们认为洪水水位是来年农业丰收及其以后生计的一个重要指标。

3 000 ~ 5 000 年前，印度、埃及等国家如此重视治水与水管理的事实表明，早在远古时代，世界上不同地区已清楚地认识到了水资源在干旱及半干旱地区发展进程中的重要性。尽管技术进步巨大，但在过去的几千年里，这种状况仍未得到根本的改变，特别是对那些干旱、半干旱国家而言更是如此。相反在这些地区水的重要性及相关性在近几年已经增加，并且在可预见到的未来，还可能继续增加。

1.2 全球用水总量

有文字记载以来，全球用水量在稳步上升。20 世纪的实际趋势也是如此，毫无例外。但对近几十年全球用水总量进行准确和详细的分析表明，与早期的用水趋势相比，有两点显著的不同值得注意：

(1) 与以往各个时期相比，20 世纪全球用水量增长率急剧增

加 特别是 1940 年以后 (图 1.1)。而且在不远的将来,用水增长率趋于平稳的明显迹象似乎并不存在。由于水是一种有限的资源,如此居高不下的用水增长率,不可能遥遥无期地维持下去。在某一时期,很可能在未来的 10~40 年间 受物理、技术、经济以及环境的制约,首先是个别国家,然后是全球的用水总量很可能趋于稳定。

(2) 与过去相比,现在的全球用水量相当大,每年近 5 000 万 km^3 ,且总需求量仍在不断增加。

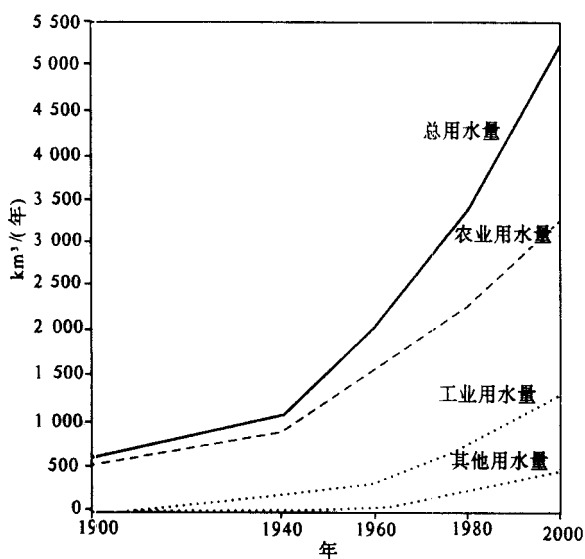


图 1.1 20 世纪全球总用水量的增加

图 1.1 还表明, 1900~1999 年, 全球用水量增长了约 10 倍。但应注意的是图 1.1 所示的全球用水量估算值是指示性的, 而不是确定性的。因为缺少各国用水总量的可靠数据。就连像美国、德国这样先进的工业国家亦如此。这种状况在诸如中国、印度等耗水量大的发展中国家则更严重, 这些国家的用水量统计数据的

精确度尚需完善。因此，目前可获得的所有的全球用水总量数据只能认为是大致的估算值，至多只具有指示性意义。

普遍认为，全球用水量的增长是与人口增长同步的，这多少有点不对。尽管人口增长无疑是全球需水量增长的一个重要因素，但还有其他一些增长因素在本章的后面论及。现只需注意到 20 世纪用水量的增长率远远高于人口增长率这个事实足矣。事实上，如果仅考虑近几十年的情况，总用水量的增长量几乎比人口增长快 3 倍。如果这种趋势继续下去，世界人口翻一番意味着需水量将增加 6 倍(Falkenmark 和 Biswas, 1995)。就长期而言，这可能是一种不可持续的状况。

近期经历的全球用水量的极高增长率，并非意味着这将无期限地延续下去。很可能是随着需水量的增长，所有用户的水价也逐步上涨，并接近于获取和管理水资源的实际成本。这样，世界上大部分地区的所有部门的用水方式将逐渐更加有效。这种趋势肯定会通过鼓励节约用水，以降低需水量的增长率。因此，在 21 世纪初期，一些基础结构的变化很可能使以前经历过的增长趋势得以明显改变。20 世纪 70 年代初期，在能源部门发生了同样的结构变化，当时较高的能源价格有效地改变了长期能源需求和利用方式，使各个部门的能源生产和利用更加有效。如果未来水价明显提高以反映其真实成本的话，那就没有理由认为水利部门与能源部门运作将有什么不同。

同样，各种水利用形式的总格局不可能维持现状。过去的经验表明，随着不同国家经济结构随时间而变化，开发新的水源、持续不断地增加可供水量，变得更为昂贵和艰难，在各种水用途之间不得不进行不断的权衡。这种状态很可能持续下去。例如，1900 年全球农业用水约占用水总量的 90%，到 2000 年其比例可能下降到 62% 左右 即在 100 年的时间里下降了 28%。对现行趋势的分析表明，尽管必须生产越来越多的食品以养活持续增长的全球人

口，农业用水所占份额仍将在 21 世纪逐渐稳定下降。

相反，对于附加值远远高于农业的工业用水，自 1940 年后，由于世界上大多地区工业化进程开始明显加速，20 世纪工业用水量所占比例可能增长了近 4 倍，从 6% 增长到 24% 左右，且这种趋势完全可能带入 21 世纪。

上述数据，仅为全球的平均值。也就是说，不同国家的用水格局常有很大差异，主要取决于其各自不同的经济发展水平、主要自然气候条件、社会制度、环境条件以及其他的相关因素。如在中国和印度等发展中的农业大国，农业用水仍将占用水总量的 85% 以上；而在像日本、美国及英国等工业化国家，农业用水分别只占全部用水量的约 60%、42% 和 3%。

随着需水量随时间的增长，各国都通过稳步扩大可获得水源的利用，来逐渐扩大供水量。图 1.2 表明了 20 世纪各大洲可获得水量的开采程度的宏观情景。现行的估算表明，在目前居各大洲需水量之首的亚洲，耗水量与可用水量之比在 2000 年很可能达到 22%。近几十年，亚洲需水量增长率异常高，因为 1960 年前后耗水量与可用水量之比仅为 6% 而且亚洲 22% 的比例居各大洲之首，是全球平均值的近 2 倍 (Biswas, 1994)。

图 1.2 同时还表明，1940 年后欧洲的水利用程度紧步亚洲后尘，但是欧洲的用水总量大大低于亚洲。因此，亚洲面临的问题无疑更加严峻。目前尚无答案的一个根本问题是，在适当的社会和环境条件下，一个国家的可获得水量在经济上能开发到何种程度。目前仍然缺少进行这种分析的具有一定精确度的合适方法。这是一个未来须加强注意的领域。

在世界上大多数国家，随着各种传统形式水利用（民用、工业及农业用水）需求量的增加，各受益者之间的冲突日渐明显。比如：美国西部城市工业用户和农业部门间的冲突变得越发激烈；在菲律宾，首都马尼拉市的民用水和水力发电用水已造成吕宋中部

地区灌溉缺水；在印度，海得拉巴市需水量的增加，对邻近地区的灌溉造成不利影响。同样，在印度尼西亚、加尔哥达和泗水（苏门巴亚）的城市，需水已与现有灌溉用水产生直接冲突；在南非，上游农业和民用供水已使流经克鲁格国立公园的河水流量减少，其结果是在这一世界闻名的保护区中造成了许多不利的环境影响。

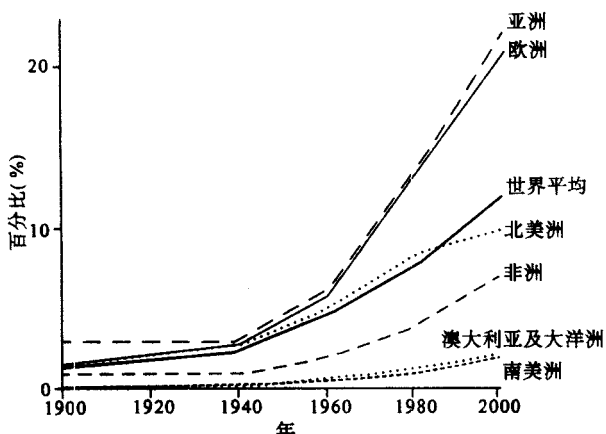


图 1.2 耗水量与水资源量之比的变化

尽管各种水利用间的冲突在不断增加，但分析家迄今一般都没有考虑保护河流周围生态系统所必需的流量。目前，尚无足够的知识可估计任何一条河流的生态系统所必需的流量百分比。随着对环境保护的社会关注继续增加，生态系统所必需的河流流量很可能在 21 世纪初期成为水利用的一种法定方式。如果真的如此，将来各种水利用间的冲突将会更加尖锐。

1.3 水危机

由于各种用水方式的持续增加，许多国家尤其是位于干旱和

半干旱地区的国家已开始面临水危机，尽管这些危机可能因国家、地区的不同而在大小、强烈程度和范围上有差异，并随时间而变化。毫不奇怪，每个国家或者大国内的州或省，对减少这些危机的影响做出的反应也各不相同。

在未来几年中，有许多相联系的因素可能会使水危机扩散到世界上不同的地区。下面只讨论其中 5 个主要因素。

第一，一个不幸的事实是，从长远来看，任何一个国家可获得的淡水量相对于所有实际需求而言，几乎是一个常数。由于技术和经济原因，在任何给定时间可获得的总水量只有某一部分可以得到利用。尽管技术进步在不断地增加任何一个国家可以经济上合理利用的可获得水量的百分比，但事实上由于不利的经济条件和环境制约，相当高比例的水量仍然没有得到开发。毫无疑问，广泛的循环利用和重复利用，可以增加所有国家在给定时期内的可利用总水量。然而，全部循环利用或重复利用不仅在技术上不可能，而且在经济上也不可行。另外，在不严重破坏水质和相应生态系统不恶化的前提下，目前获得的有关水究竟能够被重复利用多少次的知识很有限。

还应注意的是，任何一个国家可利用的淡水总量，一般不可能靠长距离人工输送得到明显增加。与油不同，水较低的单价意味着从一个国家向另一个国家输水一般是不经济的。而且与所有其他自然资源的出口相反，甚至从富水国家向贫水国家出口水的讨论也会引起强烈的公众反应。即使对于像加拿大和美国这种历史上有良好外交和经济关系的相邻国家，从富水国家加拿大向美国出口水的问题也往往变得如此让人容易激动，并在政治上遭到谴责，以致连续几届加拿大政府都一直认为，出口水的技术分析和讨论都是不可接受的。这种状况与世界其他地区没有多少差别。

由于经济原因，水的可获得性不可能通过大规模的海水淡化而增加。目前海水淡化只有在某些特定条件下和非常有限的位置

上才是可行的方案。

第二，对于所有人类活动，从饮用到农业生产，从工业开发到各种形式的大规模能源生产，水是基本的需求。因此，随着全球总人口的增加，总的人类活动也在增加，从而增加水的需求量。这产生了两种相反的趋势，使水管理过程进一步复杂化：一方面，某一国家的水需求随着人类活动的增加而不断增加；另一方面，人均可获得水量由于淡水可获得总量有限而持续下降。表 1.1 列出了一些国家的这种表现趋势。

表 1 一些国家的人口和人均可获得水量 *

	人口				年可获得 的再生淡 水量 (km^3)	人均可获得淡水水量 ($\times 10^3 \text{m}^3$)		
	百万			年增长率 (%) (1985 ~ 1994 年)		1994 年	2025 年	2050 年
	1994 年	2025 年	2050 年					
阿根廷	34.2	46.1	53.1	1.4	994	29.06	21.56	18.71
孟加拉国	117.8	196.1	238.5	2.0	2 357	20.00	12.02	9.88
巴西	150.1	230.3	264.3	1.8	6 950	46.30	30.18	26.30
加拿大	29.1	38.3	39.9	1.3	2 901	99.69	75.74	72.70
中国	1 190.9	1 526.1	1 606.0	1.4	2 800	2.35	1.83	1.74
埃及	57.6	97.3	117.4	2.0	59	1.02	0.60	0.50
印度	913.6	1 392.1	1 639.1	2.0	2 085	2.28	1.50	1.27
印度尼西亚	189.9	275.6	318.8	1.6	2 530	13.32	9.17	7.94
日本	124.8	121.6	110.0	0.4	547	4.38	4.50	4.97
墨西哥	91.9	136.6	161.4	2.2	357	3.88	2.61	2.21
尼日利亚	107.9	238.4	338.5	2.9	308	2.87	1.29	0.91
土耳其	60.8	90.9	106.3	2.1	203	3.34	2.23	1.91
英国	53.1	61.5	61.6	0.3	120	2.07	1.95	1.95
美国	260.6	331.2	349.0	1.0	2 478	9.51	7.48	7.10

* 1994 年人口估算值和人口增长率来自《世界银行地图集 (1996)》；2025 年和 2050 年人口预测值 (中值) 来自联合国 (1994)。

在表 1.1 中，像尼日利亚这样的国家，预计其人口将从 1994

年的约 1.08 亿增加到 2050 年的 3.39 亿，人均可获得水量可能从 $2\ 870\ \text{m}^3/\text{a}$ 下降到 2050 年的 $910\ \text{m}^3/\text{a}$ 。虽然这很可能是未来全球的一般趋势，但有少数国家例外，例如日本的总人口在这段时期内很可能会适度下降。

尽管水规划人员一般认为未来较高的水需求是由于人口的增加，但大多忽略了另一个相关的问题，事实上，随着人们生活标准的提高和生活方式的改变，人均需水量在增加。例如，在英格兰和威尔士，如果照目前的趋势发展下去，即使人口增长可能非常缓慢，预计到 2020 年其总需水量也会增加 20%。生活方式的改变，主要是洗碗机和洗衣机的大量增加，是引起需水量增加的主要原因。

同样，日本人均用水量在 1965 ~ 1991 年的 26 年间整整翻了 1 番，从人均每天 169L 增加到 338L。这种人均需水量的增加，是发展中国家规划人员估算未来需水量时要考虑的一个重要因素，因为在这些国家水的需求量正以惊人的速度快速增长。到目前为止，有关的国家及相应的国际组织在这个方面所给予的关注还非常有限。

人均需水量的持续增加，尤其是在发展中国家，不能再被忽视了。例如，在印度这样的国家，目前认为大约只有 10% 的人口拥有可与世界其他国家相比的生活水平。因此，这一部分人的需水量大大高于其余大多数印度人口的需水量。尽管 10% 的印度人口似乎不多，但其绝对数量超过 9 000 万，相当于英国总人口的 1.5 倍多，或相当于日本人口的 73%。而且由于人口的快速增长和经济的迅速发展，印度未来的水需求状况会变得更加严重和复杂。由于印度富裕人口的总量可能会迅速增加，到 2025 年可能达到日本人口数量的 2.35 倍，所以，届时印度的需水量可能会增加到接近日本的需水量。因此，为了将来有效地管理水资源，绝不能再忽视发展中国家由于改进生活方式导致的人均需水量增加。

第三，就全世界而言，大部分地区所有容易开发的水资源都已经开发完毕，或者正在开发当中。这意味着将来开发新的水资源的实际费用很可能会大大高于过去的费用。例如，日本河流每立方米每秒的蓄水的平均费用在过去 10 年当中增加了近 4 倍。增加费用的近 20% 可能是由于新的社会和环境要求所致，这些要求以前是没有的。增加费用的绝大部分（近 80%）是由于新工程本身在技术经济上更加复杂，从而使建设费用明显增加所致。世界银行（1992）对各发展中国家家庭供水工程的分析表明，下一代工程每立方米水的开发费用一般比当代工程高出 2~3 倍。图 1.3 表明了发展中国家许多大城市每立方米供水的现行成本和预测成本（按 1988 年不变美元价格计算）。

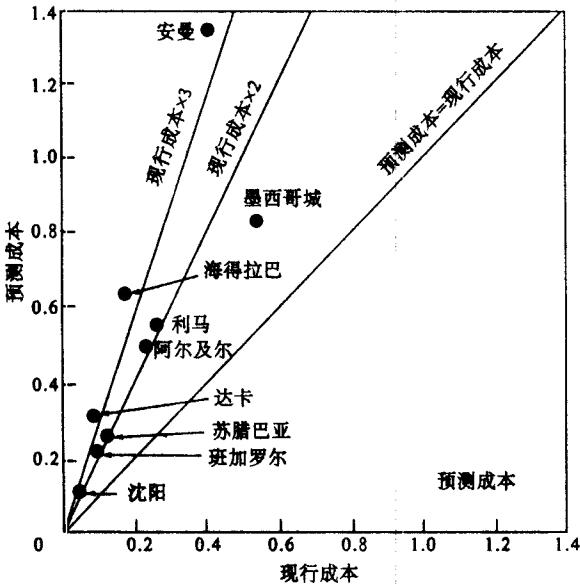


图 1.3 每立方米水的现行成本和预测成本（1988 年，美元）

几乎世界上所有地区的规划人员都还没有真正考虑未来水开发工程建设费用的显著增加问题。这对于已经面临高额外债和内债的几乎所有发展中国家来说，可能是一个特别重要的因素。因此，这些国家将来从不同渠道可以获得的建设新的水工程的投资资金可能多少会受到限制。而且，预计将来部门之间及部门内部为获得资金而展开的竞争会更加激烈。所有这些经济因素，很可能对下一代及其以后的水工程的建设和管理产生不利的影 响。实际情况必然是大多数新水工程的建设将大大延期，而且一定会比目前规划人员所预计的时间要延长很多。由于将来水的需求量会不断增加，而且新工程的建设可能会大大延期，所以，水危机从总体上看很可能会进一步加剧，至少在近、中期是如此。

第四，随着人类活动的增加，排入环境的废水也增加，从而对许多目前使用的地面水源和地下水源造成污染。污染程度可能因地区不同而有差异，但是在世界上大多数地区这一问题都比较严重。许多污染物是未经处理或只做部分处理的污水、各类工业废水和农用化学品。由于目前没有全球水质监测网络，所以，目前不能了解全球水污染状况及其不同用途水的水质恶化程度。不过，根据目前可得到的新闻信息，可以说在人口密集地区，这一问题很严重，尤其是相对封闭的系统如地下水域和湖泊以及靠近城区的河段更是如此。

应当看到，一旦水遭到污染，消除污染可能就不是一个容易或者经济的过程。例如，目前还没有一种能除去众多污染物如硝酸盐或湖中污染性沉积物的经济有效的技术。

地下水广泛用作家庭供水的重要水源，其所占比例在德国为 73% 在荷兰占 70% 在英国占 30%。在美国，地下水是饮用水的主要来源，90% 以上农村人口和 50% 的全国人口饮用地下水。污染的增加，可能意味着某些地下水源不再适合城区各种用途。例如在内布拉斯加州，目前有 38 个镇的家庭供水中的硝酸盐浓度如

此之高，以致为了健康原因不得不为 6 个月以下的婴儿提供瓶装水(Biswas,1993)。因此，污染的增加会进一步加剧保证将来城市供水可得到充足水量和标准水质的难度。

第五，在过去 20 多年中，水开发工程的各种环境和社会影响已逐渐变为日益重要的问题。尽管环境上完好的水开发的重要性不再受到怀疑，并且必须考虑将其作为长期可持续发展战略的一个组成部分，但事实上环境分析必须以已被证明的和科学的分析以及可靠的数据为基础。然而，近几年来不难发现客观的、科学的分析已被不真实的和未经证明的假设、短期的政治权宜之计和感情用事的争论所取代。所有这些因素，不利于形成一个客观的、完整的方法框架，在该框架内能够对拟建的水工程的环境和社会影响进行可靠的评价。这个问题在本章后面会进一步讨论。

在所有类型的大型基础设施开发工程中，大型水开发工程与其他类型的工程相比，在全球遭到的反对意见更强烈，流传更广泛。在一些西方国家，大型水开发工程一般都已建成，建设新的工程认为是不必要的，因此，经常反对在世界其他地区建造新的水工程。一些大型国际金融组织如世界银行目前正承受着来自少数主要捐赠国的巨大政治压力，要求不支持在世界其他地区建设大型水开发工程。

捐赠者向发展中国家大型水开发工程提供投资资金的兴趣的显著下降，以及新工程的高额资本需求，意味着将来这些工程的建设时间会大大延期。不幸的是，这种延期还没有为各国的规划部门所认识到，这意味着将来不可能像目前所期望的那样获得新的水源。这种自负十之八九会使未来的水危机比目前所预料的要更加严重。

以上 5 个因素和与之相关的其他因素，意味着在任何合理的时间框架内采用任何重要方式缓和世界上许多地区未来的水危机，都是一项极其困难的任务。技术问题可能比较容易解决，真正

复杂的问题很可能是环境、社会、政治和体制方面的问题。这可能就是 21 世纪要面临的与水有关的最难的挑战。全世界千百万人未来的幸福，将取决于水管理人员如何迎接这一挑战，以环境和社会上能接受的方式提供合格的足够水量。。这并不是一项容易完成的任务。

1.4 环境与水管理

对经济开发的环境影响的关注，自从 20 世纪 60 年代后期首先在美国，以后在世界其他国家变得越来越重要了。公众对各种环境问题的关注，在 1972 ~ 1973 年期间达到高峰，在以后的 15 年中逐渐减少。在 80 年代后期，对各种环境问题的全面关注重新开始回升。在 90 年代初，它变成了一个重要的政治问题，并且随着 1992 年 7 月在巴西里约热内卢市召开的联合国环境与发展大会达到高潮。目前可得到的各种新闻信息表明，对这方面的关注自从 1992 年达到高峰以来已经多少有些减少。尽管在环境方面的公众关注和政治关注可能会随着时间而涨落，但同样可能的是，会永久保持一定程度的最低关注。

对水开发环境方面的关注，在过去 30 年中也有过涨落。毫无疑问，这种关注与对环境的普遍关注是相对应的。尽管预测未来发展总是十分困难的事情，但我们完全有信心认为，在对水开发工程进行规划、设计、施工和管理时不明确考虑环境和社会因素的时代，几乎在世界各个地区已经一去不复返了。在某些国家，环境保护仍然只停留在口头上。但是，现行迹象表明，在这些国家，在不远的将来，正式地、真正地考虑环境因素很可能变为现实。

然而，这并不意味着过去完全忽略了水工程的环境影响。仔细分析将表明，过去已经考虑了许多专门的环境和社会影响，包括由于灌溉管理方式不合理引起的土壤盐碱化和水涝以及由新建水

库蓄水造成的移民。但是，过去并没有做过综合性的、完整的环境和社会影响研究。

应该注意的是，过去与水开发工程有关的环境问题的处理并没有与所有其他类型的基础设施开发项目的环境问题处理有什么不同。随着对环境问题关注的增加，人们对大型开发工程的环境影响的关注也在增加。事实上，在 1965 年以前，在世界上任何地方，对任何类型的大型工程均未做过综合性的环境和社会影响研究。因此，水利工程也不例外。目前进行环境影响评价的方法是 1965 年以后提出来的，术语“环境影响评价 (EIA)”在 20 世纪 70 年代才首次在世界范围内得到使用。

1.5 可持续发展

与流行的看法不同，可持续发展并不是一个新概念。这一概念所含的哲理即使不是在 1 000 年以前，也早在几个世纪前就有过详细解释了。术语“可持续发展 sustainable development 或可持续性 sustainability)”是在 80 年代初开始流行的，虽然这一概念与其他概念如 70 年代初流行的“生态发展 (ecodevelopment)”概念几乎没有差别。

近几年来，可持续性无疑已成为一个流行的概念，但不幸的是，它对于不同的人却意味着不同的意义。这种状况与 20 世纪初在美国流行的“保护运动 (conservation movement)”多少有些类似，当时的里奥多·罗斯福总统说：“每个人都要为了‘保护’不管它的意义是什么。”这种状况与目前的可持续发展多少有些类似。

需要指出的是，术语“可持续性”已在技术上用于可再生天然资源（如最大的可持续的渔业产量等）几十年了。70 年代末在肯尼亚内罗毕市，由联合国环境计划署主持召开了一次会议，与会的一个环境科学家小组将这一概念扩展了，希望扩展后的这一概念成

为一个“新”概念用于评价和管理人类对环境和自然资源的影响。

该术语随着世界环境与发展委员会（俗称 Brundtland 委员会）1987 年出版的《我们共同的未来》的报告而流行开来。该委员会以含糊的、不确定的方式将可持续发展定义为“满足当代人需要但不削弱未来几代人满足自身需要能力的发展”。毫不奇怪，该委员会会用这样一个模糊、简单、内部不一致和静态的定义，根本不可能确定什么是可持续的。这份报告通篇提到可持续性，但却没有建议如何实现这一概念，期望采用一种不确定的方式实现可持续性。

随着这一概念的流行，出现了许多新的定义，不用费力便可列出 100 多种可持续发展的定义。即使像联合国这样的机构，也没有一个统一的、一致的定义供其所有的成员组织使用。

不管如何花言巧语，必须承认目前在实践中还不可能确定一个开发过程，其规划和实施方式从一开始就是内在可持续的；然而从定义上是可以做到的。目前做到这一点的最佳方法是确定开发过程中某些不可持续的方面，然后采取相应的补救措施减少或在某些情况下消除这些不利的附加影响。不幸的是，目前简直不可能设计出一个能够使一项工程从一开始就是内在可持续的完整过程。

例如，如果考虑可持续的水开发，那么一个多世纪以前就已知道，没有相应排水设施的灌溉会导致水涝和土地盐碱化，这样过一段时间后会逐渐减少农业产量。既然引进灌溉的主要目标是为了增加农业产量，那么不能在长时期内实现这一目标的任何系统显然可以被看做是不可持续的。同样，如果农民大量使用化肥增加了地下水中硝酸盐的含量，造成地下水不能饮用，那么这种做法也可看做是不可持续的。但是，保证系统排水正常和化肥的有效使用并不是使灌溉工程自动可持续的充分条件。还有诸多单一或组合的其他因素会导致其不可持续性。其中有些因素具有普遍性，另一些则可能是工程特有的。因此，可能难以确定这些因素的重

要次序。因此，要想在规划阶段和设计阶段确定可能造成水开发工程不可持续的所有因素，并采取相应的补救措施消除所有不利影响，则是非常复杂的，一般也是不可能的。

尽管在可持续水开发的范畴内需要同时考虑许多问题，但从政策的角度看，以下 3 个因素值得考虑：

(1)短期与长期考虑。可持续发展概念里的一个基本假定是，发展是长期可行的。然而，何谓“长期”在目前的讨论中既没有澄清意义，也没有说明特征。时间因素，因其不可逆性或者复杂性，基本上是模糊的：可持续性到底包含 50 年、100 年、500 年还是 1 000 年，或者更长？有些模糊地提出了几代人。

在实际应用中对可持续性的时间结构存在一些基本的二分法。例如，期望小型挡水坝的使用年限与大型多目标水坝相同是不合逻辑的。因此，在定义可持续性的时间框架时，应视工程类型不同而有很大的灵活性。

同样，如果在现实中总是不得不考虑长期水平的話，可能不得不解决一些重大的实际困难。例如，就灌溉农业而言，世界各地农民的正常规划水平通常延伸到下一个收获季节，或者至多向后延伸 2~3 个季节。最重要的关注是如何在下一个收获时间范围内获得最大的收入。因此，农民们心中的固有想法就是使一系列连续的单个季节内的利润最大。显然，这些连续的短期的行为方式将具有长期的单独和社会成本（如土壤侵蚀、盐碱化发展等），但是短期的单一效益几乎总是胜过长期的社会成本。

所以，如果社会目标是长期可持续的灌溉开发，必须首先考虑如何使主要用户（农民）的短期期望与社会的长期需求相协调。从概念和实践两方面看，要使这些有分歧的需求达到一致是不容易的。

(2)外在性。外在性是在私人成本或效益与社会成本或效益不相等时出现的。人们的行为，主要基于他们自己的成本和效益。

如果他们发现能够降低其成本和（或）增加其潜在效益的机会，他们往往会采取对自己有利但不会对公众有利的行动。较常见的例子有：在渠首的农民过多地引用灌溉水，这意味着在渠尾的农民得不到充足的和（或）可靠的供水。这样会减少农业产量，从而使渠尾农民的收入显著下降。同样，如果城市废物排入渠道和河流中，就会影响下游现有的水利用。

这些成本至少在概念上可以通过税收、补贴和法规得以内在化。但是在现实世界中，即使是在发展中国家也不容易做到使这些外在性内在化。其原因有 4 个：①在方法上准确计算外在性是非常困难的；②政治权力很大的个人和组织经常会毫不客气地反对众多无组织的、处于不利地位的个人的利益，使其间接地付出额外成本，以维护他们的私人利益；③外在性是随时间逐步产生的，因此，在受到影响的人们认识到他们必须直接或间接地支付的成本之前，会有一个时间差；④已证明在几乎所有发展中国家控制这些外在性的法规略显昂贵和无效。

(3) 风险性和不确定性。可持续水资源开发所面临的一个主要问题是与这种复杂系统内在相关的风险性和不确定性。例如，随着一些亚洲发展中国家人口数量的增加，为了获得最高的农业产量，必然会大量利用像土地和水这样的资源。在现有知识条件下，还没有明确答案的一个基本问题是在不牺牲可持续性的前提下，农业生产系统究竟可以增强到什么程度？还有一些其他困难的问题，例如什么样的前兆可以说明从可持续到不可持续的转变过程已经开始？为了表明这样的转变过程即将出现或已经出现，应该监测哪些参数？显然，要确定能够表明从可持续阶段向不可持续阶段转变的参数，现有的知识和数据库是不充分的。因此，目前不可能准确检测（更不必说预测）到这种可持续系统向不可持续系统的转变，反之亦然。此外，众所周知，水资源系统是随自然变化的。其正常变化幅度如此之大，以致于得到统计数据来说明