

# 第一章 绪论

## 第一节 水资源概况

水是资源 是工农业生产过程中不可替代的资源 对水资源 或水利资源 的含义存在着不同的见解。水资源 (water resources ) 通常指逐年可以恢复和更新的淡水, 而大气降水是它的补给来源<sup>[1]</sup>。从广义上讲, 水资源是指地球上所有的水体, 而我们所提的水资源是指陆地上可以利用的淡水 (fresh water) 资源, 它包括江河 (river)、湖泊 (lake)、泉 (spring)、积雪 (snow pack)、冰川 (glacial)、大气水 (atmospheric water)、土壤水 (soil water) 以及地下水 (ground water) 等可供长期利用的水源<sup>[2]</sup>。直到 1977 年, 联合国召开水会议后, 联合国教科文组织 (UNESCO 或 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) 共同提出了水资源的含义: “水资源是指可以利用或有可能被利用的水源, 这种水源应当有足够的数量和可用的质量, 并在某一地点为满足某种用途而得以利用。”<sup>[3]</sup>

据估计<sup>[4]</sup> 陆地上约有 2800 多万  $\text{km}^3$  的淡水 占地球总水量的 2% 由于冰川在自然界的特殊地位, 开发利用极其困难, 陆地上比较容易开发利用的淡水约有 400 多万  $\text{km}^3$  占地球总水量的 0.3%。可见, 陆地上的水资源并不丰富。

陆地上水资源的分布很不均匀, 有些国家和地区水资源较多, 有些国家和地区水资源则严重不足。我国水资源总量为 28 142 亿  $\text{m}^3$  其中多年平均河川径流量为 27 115 亿  $\text{m}^3$  (巴西 51 912 亿  $\text{m}^3$  , 俄罗斯 47 144 亿  $\text{m}^3$  , 加拿大 31 220 亿  $\text{m}^3$  , 美国 29 702 亿  $\text{m}^3$  , 印尼 28 113 亿  $\text{m}^3$  ) 居世界第六位。然而人均占有水量只及苏联的 1/7 美国的 1/5 世界的 1/4 亩均占有水量只为世界的 1/2 属于人均、亩均水量最低的国家之列。表 1.1 为全国各流域片 (分区) 的年降水量、径流量

表 1.1 全国各流域片 (分区) 年降水量、径流量统计表

流域片名称	年平均降水量/mm	年平均径流深/mm	$p = 50\%$	$p = 75\%$	径流均值占全国百分数/(%)
			年径流量/ $10^8 \text{ m}^3$	年径流量/ $10^8 \text{ m}^3$	
黑龙江流域片	495.5	129.1	1 119.0	863.0	4.3
辽河流域片	551.0	141.1	472.0	380.0	1.8
海河、滦河流域片	559.8	90.5	268.0	199.0	1.1
黄河流域片	464.4	83.2	642.0	563.0	2.4
淮河流域片	859.6	225.1	689.0	496.0	2.7
长江流域片	1 070.5	52.0	9 417.0	8 656.0	35.1
珠江流域片	1 544.3	806.9	4 640.0	4 120.0	17.3
浙闽台诸河片	1 758.1	1 066.3	2 507.0	2 097.0	9.4
西南诸河片	1 097.7	687.5	5 853.0	5 380.0	21.6
内陆诸河片	153.9	32.0	1 060.0	1 004.0	3.9
额尔齐斯河流域	394.5	189.6	97.0	78.0	0.4

注: 1. 流域片包括本流域以外的附近小流域; 2. 所有径流量都已还原至天然状态。

统计表<sup>[5]</sup>。我国水源年内分布、地区分布不均匀、开发利用不合理、用水浪费、水源污染等原因使得许多地方的水资源平衡遭到破坏 供水与需水的矛盾日益突出。

1977年联合国向全世界发出警告：“水不久将成为一项严重的社会危机 石油危机之后的下一次危机便是水”。据有关部门统计,1986年我国 324个大中城市中 约有 180多个城市不同程度地缺水 其中有 40个城市严重缺水。今后随着工农业生产的发展,以及人民生活水平的提高,需水量将逐年上升。水利部水资源研究及区划办公室估计:目前全国农业和城市工业用水的总需水量达:7 000亿 m<sup>3</sup> 约占我国水资源总量的 25% 由于水资源地区分布不均匀 全国缺水 700 亿 m<sup>3</sup> 主要集中在北方水资源贫乏的黄、淮、海、辽四个流域片。水资源已成为我国北方地区经济发展的最大制约因素<sup>[6]</sup>。

## 第二节 水资源特性

水资源供需矛盾产生的原因之一,主要是自然状态下水资源的某些特性与人类的需求不相适应。因此,要充分利用、合理开发水资源,就必须首先了解水资源的特性。水资源特性概括起来有以下几点:

### 1. 水资源的时空分布不均匀性

依照水文循环的周期性、水资源能不断再生,不像矿藏等资源有固定储量。以多年或长期的观点来看 地球上的水量大体是平衡的。然而 由于影响水文循环的因素很多 变化复杂 降水量的地区分布很不均匀 且年内年际变化很大 在局部地区 特定时段内水量是有限的 并非“取之不尽 用之不竭”。

### 2. 水资源具有水利和水害两重性

众所周知,江河水流既能为国民经济建设服务,也会带来洪水、内涝等灾害。在河流上兴建水利工程 譬如修建水库,一方面可以用于兴利 灌溉、发电、给水等 和防洪 但也会引起库区农田、森林、矿藏淹没和人口迁移等不利影响。

### 3. 水资源可以综合利用

许多国民经济部门利用水的方式是各不相同的,可分耗水(water demand)和用水(water utilization)两种。例如 农业灌溉和工业、民用供水都消耗一定的水量 故称耗水或需水。水电站只利用水的能量;航运和渔业也主要是利用水体环境,它们都不消耗水量或消耗很少水量。因此,修建水库常能同时满足几个用水部门的需要,进行库容和水量的综合利用。也就是“一库多用和一水多用”。当然,某些部门之间有时在用水量和用水时间上会存在一定的矛盾,而在兴利用水部门和防洪之间,也可能存在库容利用上的矛盾。

### 4. 水流随时间而变化 且变化难测

河川径流不论是年内或年际间的变化都很大,变化的趋势通常也难以确切预测(故有所谓“水文的随机性和不确定性”)这个自然情况给水利工程的合理设计和建成后的合理运行 都带来一定的困难。但是任何自然现象和规律总是可以认识的。随着人类对水文变化规律的日益掌握,也就能够使水资源蕴藏和变化情况更加确切了解,并更有效地为国民经济建设服务。在另一方面 它仍较煤或石油等其他资源 不易勘探 难以可靠估算 情况要好 因为水资源的平均数量是较易获知的。

### 5. 水利资源的地区性和整体性

首先,所谓地区性是:一方面,水资源的蕴藏量及其分布情况和变化特性常因地区自然条件不同而不同。另一方面,水资源的开发和河流治理方式的重点,也因地区自然条件和社会经济情况的不同而各有差别。譬如我国西南地区 河流多、坡降大、水量充沛、蕴藏着丰富的水力资源 (hydroelectric resources) 因此开发水电和通航常为首要。而在淮河、海河、辽河等丘陵和平原地区河流 则防洪、排涝和农业灌溉问题就比较突出。其次 所谓整体性是指 水由上游到下游穿流各处。因此水资源问题 无论是水量、水质 或防洪、兴利 都具有上下(游)左右(岸),各地区、各部门间的相互影响极为错综复杂的关系。正因为这样,才有“水资源系统”(water resources system)或“水利系统”(water system)这些新的名词。

以上这些说明了水资源的主要特性及其在自然状态下的某些缺陷。如何掌握这些特性,改造其缺陷,进而发挥其在经济上的巨大作用,为我国社会主义建设服务便是水文水利工作者在科学和建设的实践中所面对和需要解决的重大任务。

由于水资源的上述特点,因此为了进行有效的开发利用,一个重要的、基本的手段就是对天然径流的人工控制或人工调节。也就是在第三章要说明的径流调节。

### 第三节 水利计算与水库调度的任务及内容

解决水资源的不足 主要是开源、节流 同时要作好水资源的保护工作。

在河流上兴建水库进行径流调节是解决水资源供需矛盾的重要措施,要实现这一措施必须对河流的水文情况,用水部门的要求,径流调节的方案和效果,以及技术经济论证等有关问题进行分析和计算,以便提出在各种方案下经济合理的水利设施。这就是水利计算与规划(hydraulic calculating and planning) 简称水利计算)的主要内容。而水库调度(reservoir regulation)的中心问题是拟定“水库泄用水规则”,以满足各级用水需要或保证一级需水图都能在相应的设计标准条件下得到满足。水资源的开发利用程度愈高,对径流调节和综合利用的要求愈高,则水利计算与水库调度这一环节的作用也愈显著。

水利计算与水库调度是各项水利工程在规划设计及运行时的一个经常需要的中间环节。它以水文分析和综合利用要求的研究为基础,通过水利计算这一环节,提出建筑物结构设计和工程经济分析所必须的基本资料、数据。水利计算的成果,一方面是水工建筑物设计的依据,对决定坝高、溢洪道和渠道尺寸、水电站容量、以及这些建筑物和设备的运行规程起着重要的作用;另一方面又为工程的效益评价(benefit evaluation)和经济分析(economic analyses)甚至综合论证(synthetic proof)提供定量的基本数据(如投资和效益大小、保证程度、工程影响和后果等等)。水库调度是实现水库综合利用的一个重要手段,它可以对水库的运用具体决策,以便定量地解决水库综合利用中的矛盾。

#### 1. 水利计算与水库调度的基本任务

(1)从国民经济当前或一定发展阶段对本流域(或本河段)开发任务的要求,经过各种计算和综合分析、比较,拟定最适当的水利措施的开发形式和开发程度;并确定水工建筑物的基本尺寸(例如坝高、库容及各特征蓄水位、溢洪道型式及尺寸、引水渠道断面大小、水电站装机容量、抽水机的功率等)。

(2)确定或阐明能由水利措施获得的水利效益(water benefit)。例如,供给各用水部门的水量和能量的多寡及其质量(保证程度)包括水电站的保证出力和年发电量、灌溉水量、保证的

航深 以及防洪治涝的解决程度或能达到的防治标准 等等。

(3)编制水利枢纽的控制运用规程和水库调度图表及最优运行方案,以保证在选定的建筑物参数的基础上,实际运行时能获得最大可能的水利经济效益。有时,还须提供水库未来多年工作情况总的统计数字和图表。例如,多年中各年供给用户的水量、弃水、水库上下游水位变动过程等等,这些通常是根据历史水文资料作为模拟未来的系列而计算和得出的。

(4)水库建造所引起的影响和后果的估算、预测。水库的建造,除能达到预期的经济目的外,同时也引起开发河段及附近地区自然情况的改变。例如:①引起库区的淹没和库边土地的浸没。②引起库内泥沙淤积,风浪现象的改变和坝下游的河床冲刷。由于水电站的日调节,引起下游水流波动,影响航运及取水建筑物的工作;由于回水变动,可能会引起库尾浅滩形态的变化;洪水时库区整个汇流情况亦会改变。建造水库使蒸发渗漏增加,使水质状况、水温情势发生变化,并可能影响库内外附近的生态平衡和局部气候,这些派生的现象在水利计算中根据具体情况,亦应作适当的考虑。

## 2.水利计算与水库调度的主要内容

(1)研究和选择河流治理方案、流域水资源开发方案、区域性水系群治理方案及水资源跨流域开发方案。

(2)研究和选择流域中或者区域中水资源工程群的建设顺序 初步选择工程的位置、开发方式、规模和主要参数。

(3)研究和编制备建水资源工程的可行性研究 feasibility study 报告 研究和选定其初步设计 preliminary design 中的工程总体布置方案、水资源综合利用开发方式 建设规模和主要参数等。

(4)研究和拟定待建或已建水资源工程群体和个体的综合利用优化调度 ( optimal dispatching ) 运用方案和水电站运行计划。

## 3.水库设计步骤

(1)收集、整理、分析和研究水利勘测 ( water survey ) 和水利调查 water search 所获得的资料、数据和图幅等 其中包括 流域的、区域的或单个工程所在地的长系列水文气象记录和未来中长期预测和估计成果;工程地址及其附近工程地质 ( engineering geology 和 水文地质 hydrogeology ) 的查勘效果;工程地址和水库区及其附近的地形地貌 topography and geomorphy 测量和查勘成果;工程附近地区的经济和社会情况调查成果 例如城乡居民点分布、土地、人工、国家和个人财产 已有的各类工程设施、工农业生产现状及发展前景、自然资源、物产、文教卫生、交通运输、水旱灾患、名胜古迹和文物等的概况及其对河流治理与水资源开发的要求;工程附近地区的劳动力资源、商品性建筑材料供应和当地建筑材料 ( 如土料和沙石料等 ) 分布概况等。

(2)进行水文方面的分析与计算,参见工程水文学。

(3)拟定水资源综合利用开发方式和工程总体布置初步方案,粗略拟定各主要水工建筑物和主要设备的型式和尺寸。

(4)拟定待建水资源工程主要参数的若干个可能方案,并对各方案进行计算。水电站还要进行水能计算。

(5)对上述主要参数的各个方案进行经济计算与评价。

(6)对上述主要参数的各个方案,分析其非货币指标的社会效益和环境保护、政治、社会等方面的定性评价,将这些分析评价的结果与上述经济评价的结果一起进行多因素综合评价,从

而选出最佳方案，作为选用方案。

(7) 制定工程综合利用优化调节方案和水电站运行计划。

#### 4. 主要参数

(1) 水力发电的主要参数为设计蓄水位 (planning storage level) (指水库或水电站上游的水位)、水库死水位 (dead level) (或水库工作深度) 和装机容量 (installed capacity)。

(2) 灌溉的主要参数为水库蓄水容量 (storage capacity) 及相应水位、渠道 (channel) 或抽水站 (pumping station) 设计流量 (design discharge)、多年平均年供水量 (annual average water supply) 等。

(3) 城市供水的主要参数与灌溉部门类似。

(4) 防洪的主要参数大体上是：水库设计蓄洪库容 (planning flood storage capacity) 及相应水位和设计下泄流量 (design undershot discharge)、河道整治后各河段的设计洪水位 (design flood level) 和设计流量、堤防各段的堤距和堤顶高程等。

(5) 治涝的主要参数大体上是排涝站的设计流量和围堤顶高程。

## 小 结

本书作为水资源开发利用技术科学的一个部分，对水资源的一些基本特性应有所了解，并着重介绍水利计算与水库调度的一般概念、原理及常用的计算方法。特别是以水库为中心的径流利用和调节计算的基本原理和方法，以及有关水库设计和参数选择的基本知识。它与水利专业的其他课程，特别是水文分析与计算、水利工程基础等具有十分密切的联系。

## 思 考 题

1. 什么是水资源，你认为哪一种解释较合理？
2. 你认为水资源与水文学的关系怎样？
3. 水资源有哪些特点？
4. 本课程的性质、任务和主要内容各如何？

## 第二章 水资源的综合利用

### 第一节 概 述

陆地上的水源 (water source) 主要由降水 (precipitation) 补给。但由于降水量 (rainfall amount) 在年内和年际分布的不均匀性, 雨水较丰的年份常会出现暴雨 (storm rainfall) 或霪雨 (excessive rainfall), 以致某些地区或河段在短期内汇集了过多的径流, 如果不能迅速排走而任其停滞或泛滥, 就将形成洪涝灾害。所以, 自古以来, 除水害——防洪 (flood prevention) 与治涝 (water log control) 就成为水利事业中的首要任务。然而, 淡水从来就是人类赖以生存和进行生产劳动所必不可少的自然资源, 它对于人类来说, 毕竟是利多害少。人们在除水害的同时, 总是千方百计地为各种不同的目标去兴修水利工程, 以求充分地利用水利资源。于是, 兴水利与除水害就构成整个水利事业的两大组成部分, 包括防洪、治涝、灌溉、水力发电、航运、木材浮运、给水、渔业、水利环境保护等等水利部门 (详见本章各节) 各种不同的水利工程, 无非是针对上述某一项或某几项的需要而兴建的。

不同的水利部门, 有些是除害, 有些是兴利。而且, 不同的兴利部门, 对水资源的利用方式各不相同。例如, 灌溉、给水要耗用水量, 发电只利用水能, 航运则依靠水的浮载能力, 渔业却要利用水面面积和水体空间, 等等。这就有可能也有必要使同一河流或同一地区的水资源, 同时满足几个不同的水利部门的需要, 并且将除水害与兴水利结合起来统筹解决。这种开发水资源的方式, 就称为水资源的综合利用 (multipurpose utilization)。我国大多数大中型水利工程在不同程度上实现了水利资源的综合利用。例如, 汉江丹江口水利枢纽就是一项综合利用汉江水资源的大型水利工程。它能有效地控制汉江上游的洪水, 大大减轻汉江中下游广大地区频繁的洪水灾害; 给鄂西北、豫西南的严重缺水地区内数百万亩农田提供丰富的灌溉水源; 为河南、湖北两省工农业提供 90 万 kW 的廉价电力, 在它的水库内, 形成 220km 长的深水航道, 并大大改善了下游 650 km 河道的通航条件; 辽阔的水库还可以发展水产养殖, 每年能出产数百万公斤淡水鱼。实际上, 水资源的综合利用是我国水利建设的一项重要原则。能够使宝贵的水资源得到比较充分的利用, 以较少的代价取得较大的综合效益, 在进行水利计算与水库调度时, 必须重视这一原则。

然而, 由于人们认识上的局限性、片面性, 以及局部利益等原因, 我国有些大中型水利工程, 尽管完全具备水资源综合利用的有利条件, 却仍然在这方面存在某种缺陷。在水资源综合利用方面, 还有一类问题常易被人们忽视, 即是环境保护 (environment protection) 与生态平衡 (ecologic balance) 问题。大中型水利工程的施工常常要集中大量人力、设备, 并耗用大量建筑材料; 工程本身常需占有大片土地, 特别是水库常造成大面积的淹没。此外, 水利工程是人们改造自然的一种重要手段, 必然要对河流的水文情况产生重大的影响, 等等。人们通过实践, 逐步认识了这类问题的重要性, 忽视这类问题常会给国家和人民带来巨大损失。因此, 我们在进行水利计算与水库调度时, 还必须认真研究并尽量避免工程对自然环境和生态环境可能产

生的不良影响。

水资源的综合利用虽然是一个普遍应该考虑的原则，但具体执行起来却往往比较复杂。这是因为各河流的自然条件千变万化，各地区需水的内容和要求也差异很大，而且各水利部门之间还不可避免地存在一定的矛盾（见本章第七节），因此，要做好水资源的综合利用，就必须从当地的客观自然条件和用水部门的实际需要出发，抓住主要矛盾，从国民经济总利益最大（maximum total national economic profit）的角度来考虑，因时因地制宜地来制定水利规划编制水库调度方案。切忌凭主观愿望盲目决定，也不能生搬硬套外地经验，尤其不要只顾本地区本部门的局部利益而使整个国民经济遭受不应有的损失。

## 第二节 灌溉用水<sup>[7]</sup>

农作物的生长除了养分及空气之外，还要有适宜的水分（moisture）。适宜的水分，不仅是供给作物生长的需要，而且能调节土壤中的水分、养料和热状态。农作物适宜水分的保持，除了大气的有效降水补给之外，还需从农田水利措施中不断提供补充，以弥补天然降水在时间和数量上的不足，这就是农业的灌溉用水（irrigation water）。

灌溉的主要任务是在旱季雨水稀少时，或在干旱缺水地区，用人工措施向田间补充农作物生长必需的水分。但旱季河川径流也较少，干旱地区本来就缺水，因此，兴建灌溉工程（irrigation engineering）首先要寻找水源，水源主要有：

(1) 蓄洪补枯（flood storage and compensating deficiency）。亦即利用水库、塘坝、湖泊、蓄水池等进行径流调节（详见第四章），拦蓄雨季洪水，供旱季灌溉使用。在山丘区及径流年内分布或年际变化较大的地区，蓄水灌溉甚为普遍。

(2) 引取水量较丰的河湖。流域面积较大的河湖，在旱季也还常有较多水量可用。为此，常需修筑长渠引水到干旱缺水地区，甚至跨流域引水，例如河南林县的红旗渠等。

(3) 汲取地下水。多用于干旱地区地面径流比较枯涸的情况下。例如河北的井灌、新疆的坎儿井等等。

配合上述水源，需要修建相应的工程。

(1) 蓄水工程（water storage works）为了蓄洪补枯，需要修建水库、塘坝等，或者在天然湖泊出口处建闸控制等等。蓄水工程常可兼顾防洪或其他兴利部门的需要。

(2) 自流灌溉引水渠首工程。不论是从水库引水或从河、湖引水，一般都希望尽量采用自流灌溉（irrigation by gravity）的方式，这适用于水源的水位高于灌区高程的情况下。自流灌溉需筑渠首工程（canal head works），渠首可分无坝引水式与有坝引水式两种（图 2.1 和图 2.2）。无坝引水投资较小，但只能引取河水流量的一小部分。有坝引水

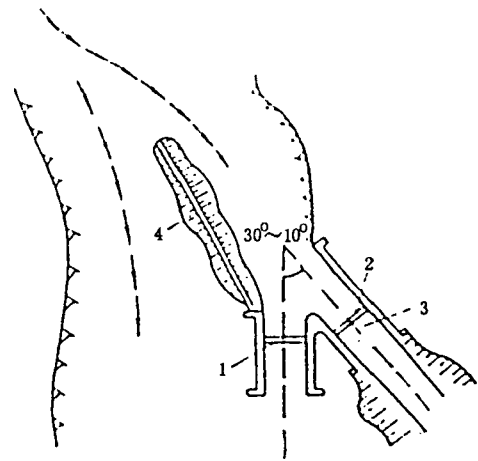


图 2.1 无坝引水渠首示意图

1. 冲沙闸 2. 进水闸；3. 干渠；4. 导水堤

则投资较大，但可拦截并引取河水流量的全部或大部。从综合利用水库中引水自流灌溉，也属



表示。农作物在一定干旱程度、土壤性质和农业技术条件下，达到高产稳产目的需要的灌溉定额、灌溉次数和灌水时间总合叫灌溉制度 (irrigation program)，它是规划设计灌区和水库的基本依据之一。灌溉制度要按照作物田间需水量、降雨量、土壤含水量 (soil moisture content) 等情况，并根据当地农民生产经验和试验资料等制定。若是水田，则还要看田间水层深度与土壤渗漏量。各地农业试验站或水利机构常有制定的灌溉制度资料可供查阅，如表 2.1。由于不同年份气候不同，作物田间需水量与灌溉制度也不同。通常，重要的是设计干旱年 (design dry year) 的田间需水量和灌溉制度，这是设计灌溉工程的主要依据。

表 2.1 某地冬小麦设计干旱年灌溉制度

生育阶段	播种、出苗	越冬、分蘖	返青	拔节	抽穗、灌浆	全生长期
起迄日期 / (月·日)	10.11~31	11.1~2.20	2.21~3.31	4.1~30	5.1~6.10	
时 间 / d	21	112	39	30	41	243
田间需水量 / (m <sup>3</sup> /亩)	21.78	51.29	60.28	70.35	103.74	307.44
日需水率 / (m <sup>3</sup> /亩·日)	1.04	0.458	1.546	2.345	2.53	
灌水次序	-	1	2	3	5	共 5 次
灌水定额 / (m <sup>3</sup> /亩)	-	60	40	40	40	
灌溉定额 / (m <sup>3</sup> /亩)						220

各种农作物的灌溉制度确定后，如已知灌区的灌溉面积及各种农作物种植面积的百分比，则可定出灌区灌溉用水量及灌水时间。这样计算所得水量（或用流量表示）称为净需水量 (net water demand)。灌溉水量通过渠道系统输送到田间的过程中，由于渗漏 (leakage)、蒸发 (evaporation) 以及管理等方面的原因，会产生输水损失 (conveyance loss)，其中主要是渗漏损失。因此，渠道实际引用流量或称为毛流量 (gross discharge)  $Q_{毛}$  将大于净流量  $Q_{净}$ ：

$$Q_{毛} = \frac{Q_{净}}{\eta}, \text{ 或 } W_{毛} = \frac{W_{净}}{\eta} \quad (2.1)$$

式中  $\eta$  为渠系水有效利用系数 (effective coefficient) 决定于渠道的土壤性质、有无防渗措施、渠道长度，横断面大小与水深、渠道工作间断程度及管理方法等。根据我国各灌区多年观测结果，管理较好的大型灌区渠系水有效利用系数约为 0.6。

已知灌区用水量、灌水时间 并通过调查研究 确定渠系水有效利用系数后 即可求得灌区渠道的引用水量和引水流量过程线，全灌区各种作物的流量过程线分别绘出后，按月按旬予以叠加，就成为全灌区全年灌溉需水流量过程线，并可由此求出全年灌溉用水量，如表 2.2 及图 2.3。图 2.3 过程线下的面积即为灌区渠首的引用水量。

对于一个灌区，所需灌溉总水量的大小及用水过程，通常取决于两个因素，一个是灌区面积及农作物的组成，另一个是灌区降雨量的多少，以及在年内分布的情况。如湿润年份，降水量多 蒸发量小 灌溉水量较小 在干旱年份 降水量少 蒸发量大 作物的需水较多 灌溉用水也大。灌溉用水有以下几个特点：

(1) 具有明显的季节性。作物生长的季节性，要求灌溉供水有季节性的变化，一般是夏多冬少。

(2) 灌溉用水量具有多变性。降水量的年际和年内变化不同而各年不一，所以灌溉用水不像其他用水部门 如给水、航运、发电等具有固定的用水量。

(3)灌溉对缺水的适应性比其他用水部门大。作物收获量不仅与水量的充足与否有关,也与农业其他措施有关,当水量不足时,常常可采用适当的耕作措施,仍能保持正常产量或减少损失 因此 灌溉用水的保证率较其他用水部门为低。

正确地选择灌水方法是进行合理灌溉、保证作物丰产的重要环节。灌水方法按照向田间输水的方式和湿润土壤的方式分为地面灌溉、地下灌溉、喷灌和微灌等四大类。

表 2.2 某灌区设计干旱年灌溉用水过程推算表

项 目		各种作物各次灌水定额/(m <sup>3</sup> /亩)					各种作物各次净灌溉用水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )					灌溉用水量/万 m <sup>3</sup>	毛灌溉用水量/万 m <sup>3</sup>
作物及灌溉面积(万亩)		冬小麦 A <sub>1</sub> = 16.7	玉 米 A <sub>2</sub> = 12.6	苜 蓿 A <sub>3</sub> = 6.3	甜 菜 A <sub>4</sub> = 37.4	豆 类 A <sub>5</sub> = 27	冬小麦 A <sub>1</sub>	玉 米 A <sub>2</sub>	苜 蓿 A <sub>3</sub>	甜 菜 A <sub>4</sub>	豆 类 A <sub>5</sub>		
月	旬												
4	上												
	中 下	50					835					835	1 285
5	上				50	50			1 870	1 350		3220	4 954
	中 下	50	50	60	50		835	378	1 870			1 213	1 866
6	上				50	50			1 870	1 350		2 500	3 846
	中 下	50	50	60	50		835	378	1 870			2 500	3 846
7	上		50		50				1 870			2 563	3 943
	中 下		50	60	50	50		630	378	1 350		2 500	3 846
8	上				50				1 870			1 728	2 658
	中 下		50	60	50			630	378	1 870		2 500	3 846
9	上				50				1 870			378	582
	中 下		50	60	50			630	378			2 500	3 846
全年内		260	300	360	350	250	4 342	3 780	2 268	13 090	6 750	30 230	46 508

注 :1. 全灌区面积 A = 100 万亩;2. 灌溉水利用系数  $\eta = 0.65$ 。

地面灌溉 (surface irrigation) 是田间的水靠重力作用和毛管作用湿润土壤的一种灌水方法。此法投资省、技术简单,是我国目前广泛使用的灌水方法,但用水量较大,易引起地表土壤板结。

地下灌溉 (subsurface irrigation) 是利用埋设在地下的管道 将灌溉水引至田间作用根系吸水层,主要靠毛管吸水作用湿润土壤的灌水方法。此法能使土壤湿润均匀,为作物生长创造良好的环境 还可避免地表土壤板结和节约灌溉用水量 但所需资金及田间工程量较大。

喷灌 (sprinkle irrigation) 是利用专门加压设备的灌水方法,该设备把有压水流喷射到空中并散成水滴洒落在地面上,像天然降雨那样湿润土壤。喷灌可以灵活掌握喷洒水量,采用较小的灌水定额 得到省水、增产的效果。与地面灌溉相比 可省水 20%~30%。缺点是投资较高 且需要消耗动力 灌水质量受风力影响较大。

滴灌 (trickle irrigation) 是利用低压管道系统,把水或溶有化肥的水溶液一滴一滴地、缓慢

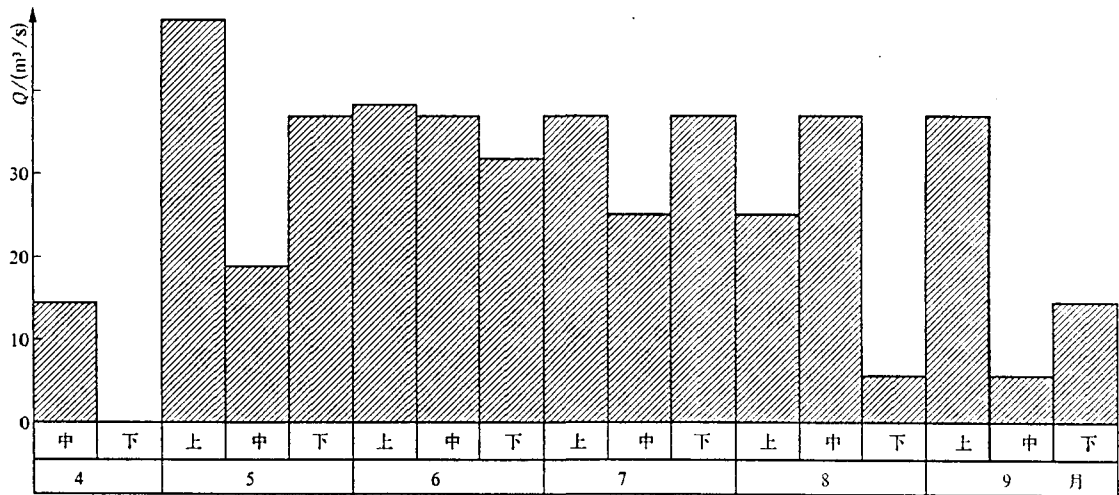


图 2.3 灌溉需水流量过程线

地滴入作物根部土壤，使作物主要根系分布区的土壤含水量经常保持在最优状态。滴灌是一种先进的灌水技术，具有省水（因灌水时只湿润作物根部附近的土壤，可避免输水损失和深层渗漏损失，减少棵间蒸发损失，比喷灌省水 15%~20%）、省工（不需开渠、平田整地和打畦作埂等）、省地和省肥等优点。与地面灌溉相比，滴灌能使作物有较大幅度的增产。此法的主要缺点是投资较高，其滴头容易堵塞。滴灌在干旱缺水地区有比较广阔的发展前途，目前在我国已逐步开始采用。

### 第三节 水力发电用水

#### 一、水力发电的基本原理

水力发电是利用天然水流的水能（hydraulic energy）、水力资源（hydroelectric resources）来产生电能。河川径流相对于海平面而言（或相对于某一基准面而言）具有一定的势能（potential energy），并且因为径流有一定流速，就表示具有一定的动能（kinetic energy）。总的说来，是具有一定的水能。这一水能是由太阳能转变而来。陆地上和海洋中的水，吸收了太阳热能转化为自身的势能，并克服地球引力蒸发为大气水（atmospheric water）。大气水又受地球引力作用而降落到陆地上形成径流，一部分势能在降水过程中散失掉，一部分成为径流流动时的动能，同时仍保留一定的势能。地球上不断地进行着水循环，也伴随着不断进行太阳能转化为河川水能的过程。至于潮汐水能，主要是因太阳、月球与地球的引力综合作用所产生。

在地球引力（重力）作用下，河水不断向下游流动。当水能未被利用时，河水因克服流动阻力、冲蚀河床、挟带泥沙等，使水能分散地消耗掉了。水力发电的任务，就是要利用这一被无益消耗掉的水能，来生产人们需要的电能。图 2.4 表示一任意河段，其首尾断面分别为断面 1-1 和 2-2。若取  $O-O$  为基准面，则按伯努利方程，流经首尾两断面的单位重量水体所消耗掉的水能，即水头变化，应为

$$H_{1-2} = (Z_1 - Z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \quad (2.2)$$

但是大气压强  $p_1$  与  $p_2$  近似地相等 流速水头  $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$  与  $\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$  的差值也相对微小而可忽略不计。于是，这一单位重量水体的水能就可能近似地用落差  $H_{1,2}$  来表示 即  $H_{1,2} = Z_1 - Z_2$ ，此即首尾两断面的水位差 (water head)。

若以  $Q$  表示在  $t$  秒内流经此河段的平均流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )， $\gamma$  表示水的单位重 (或容重)，通常取  $\gamma = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 9806.65 \text{ N}/\text{m}^3$  则在  $t$  秒内流经此河段的水体重量应是  $\gamma W = \gamma Q t$ 。又  $1 \text{ N}\cdot\text{m} = 1 \text{ J}$ 。于是，在  $t$  秒内此河段上消耗掉的水能 ( $E_{1,2}$ ) 为

$$E_{1,2} = \gamma Q t H_{1,2} = 9807 Q t H_{1,2} (\text{J})$$

但是在电力工业上习惯于用“ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ”(或称“度”)为能量的单位， $1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。又令  $T(h) = \frac{1}{3600} t(\text{s})$  于是

$$E_{1,2} = \frac{1}{367.1} H_{1,2} Q t (\text{kW}\cdot\text{h}) = 9.81 H_{1,2} Q T (\text{kW}\cdot\text{h}) \quad (2.3)$$

此即代表该河段所蕴藏的水能资源，它分散在河段的各微小长度上。要开发利用这一水能资源，首先就要将这种分散的水能集中起来，并尽量减少其无益消耗。然后，引取集中了水能的水流去转动水轮机、带动发电机 在水轮机、发电机转动的过程中 水能转变成电能。这里发生变化的只是水能，而水流本身并没有损耗，仍能为下游用水部门所利用。上述这种河川水能因降水而陆续得到补给，使水能资源成为不会枯竭的能源。

水力资源的数量常用电力功率来表示，并以  $\text{kW}$  为单位。在电力工业中，电站发出的电功率称为出力 (output)，因而也用河川水流出力来表示河川水能资源。水流出力是单位时间内的水能。所以在图 2.4 中所表示的河段上，水流出力 ( $N_{1,2}$ ) 为

$$N_{1,2} = \frac{E_{1,2}}{T} = 9.81 Q H_{1,2} (\text{kW}) \quad (2.4)$$

这个公式常被用来计算河流的水能资源蕴藏量。

## 二、水力发电用水

由上述可知，水电站是利用河流的集中落差和控制其水量，使水的势能通过水轮机和发电机转变为电能 以满足用电户的需要。因此 电能需求的各种特性 以及落差等情况 决定了水电站的需水特性。

用电户对用电的需要各有不同，决定了电能需求的日变化、周变化和季变化。照明用电有明显的日变化和年内变化；农业用电具有明显的季节性；而工业用电四季变化不大，若采用假日轮休的措施后，则周变化也可明显减少，其日变化则视工厂采用几班生产而不同。

在供电范围内，根据各用电部门的电能需要进行综合，以描绘用电在年内逐日、逐时的变化性 通称为电力负荷图 (electric power load diagram)。有了电力负荷图，通过出力公式 (2.4) 可化为水电站的需水图。

即

$$Q = \frac{1}{9.81 H} N (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.5)$$

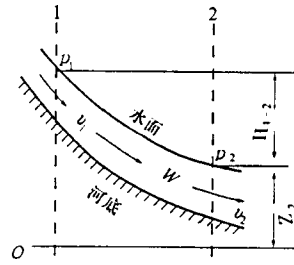


图 2.4 水能与落差

由式(2.5)可知当出力  $N$  一定时, 不同的落差所需的水量是不同的。落差大时所需要的流量  $Q$  小, 落差小时 则所耗用的流量大。

水电站需水的另一特性是, 当有其他电源配合时可根据河川径流丰枯程度, 在较大的范围内变动用水量, 水多时多用, 水少时少用, 称此为灵活的需水图(二级需水)。这种用水的灵活性可使径流利用率提高, 尤其当水电站参加电力系统运转时, 当河川径流量较丰时, 可以发电, 从而节省系统中火电站的煤耗。

当水库水量不足而引起供电不足, 迫使部分用户供电中断或受限制, 所造成的损失因用户的性质不同而不同。例如, 对照明或其他次要用电户所引起的损失较小, 而对工业用电的中断或限制, 则会造成较大的损失。所以水电站所要求的用水保证程度取决于用户的性质。

### 三、河川水能资源蕴藏量的估算和中国水能资源概况

由式(2.4)可见, 落差和流量是决定水能资源蕴藏量的两项要素。因为单位长度河段的落差(即河流纵比降)和流量都是沿河长而变化的, 所以在实际估算河流水能资源蕴藏量时, 常沿河长分段计算水流出力, 然后逐段累加以求全河的总水流出力。在分段时, 应注意将支流汇入等流量有较大变化处以及河流纵比降有较大变化处(特别是局部的急滩和瀑布等), 划分为单独的计算河段。在计算中, 流量取首尾断面流量的平均值, 根据多年平均流量  $Q_0$  计算所得的水流出力  $N_0$  称为水能资源蕴藏量(hydraulic energy resources reserve)。

为估算河流蕴藏的水能资源, 应对河流水文、地形和流域面积等进行勘测和调查, 然后按式(2.4)进行计算(如表2.3)并将计算结果绘成如图2.5的蕴藏图。表2.3和图2.5乃是掌握河流水能资源分布情况并研究其合理开发的重要资料。水能资源的普查和估算, 由国家专门机构统一组织进行, 并正式公布。根据1980年10月资料(如表2.4)<sup>[8]</sup>, 我国河川水能资源蕴藏量达6.76亿kW 其相应的年水能约为6万亿kW·h 居世界首位。

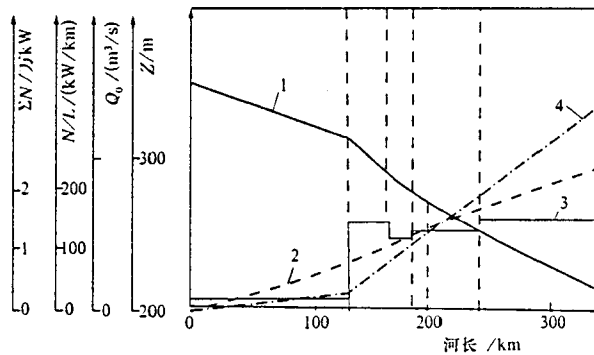


图 2.5 水能资源蕴藏量示意图

- 1. 河底高程  $Z$ ; 2. 流量  $Q_0$ ;
- 3. 单位长度出力  $N/L$ ; 4. 累积出力  $\Sigma N$

从表 2.4 可以看出两点:

(1)经济上合理而技术上又便于开发的水能资源, 大约只有理论值的一半多一些, 有些河段的资源因受客观条件限制而无法利用;

(2)西南地区的水能资源占全国的 70%，其中蜀滇黔三省水能资源占全国的 40.3% 而仅西藏自治区就占全国的 29.7%。

我国东部和中部人口比较集中，工农业生产较为发达，水能资源就开发较多，西南地区水能资源虽极丰富，但开发尚少，潜力甚大。

表 2.3 河流水能资源蕴藏量计算表

断面 序号	高程 Z/ m	落差 H/ m	间距 L km	断面处流量 $Q_i$ / ( $m^3/s$ )	河段平均流量 $Q_0$ / ( $m^3/s$ )	河段水流出力 $N_0$ / kW	单位长度水流出力 ( $N_0/L$ )/ (kW/km)	水流出力累积值 $\Sigma N_0$ / kW
1	350	35	129	0	8	2 750	21	2750
2	315	27	34	16	18.5	5 000	147	7 750
3	288	10	19	21	23	2 250	118	10 000
4	278	26	60	25	29.5	7 650	128	17 650
5	252	39	100	34	40	15 300	153	32 950
6	213			46				

表 2.4 全国各地区水能资源蕴藏量及可能开发量统计表

地 区	理论蕴藏量/ 万 kW	占全国比重/ (%)	可能开发量/ 万 kW	占全国比重/ (%)
西 南	47 331	70.0	23 234	67.8
西 北	8 418	12.5	4 194	9.9
中 南	6 408	9.5	6 744	15.5
东 北	1 213	1.8	1 199	2.0
华 东	3 005	4.4	1 790	1.6
华 北	1 230	1.8	692	1.2
全国总计	67 605	100.0	37 853	100.0

注：1. 此表无台湾省资料，2. 按发电量值计算占全国比重。

## 第 四 节 给 水

给水(water supply)指城市或农村的民用给水与工业用水。现代化工业企业，需要大量生产用水 用于制造产品、冷却设备、冲洗和排除废物 以及生产蒸气等等。工业用水量常按产品的用水定额来计算。例如炼 1t 钢铁的用水定额为 100~165L 生产 1m 棉布的用水定额为 28~50L 炼 1t 焦炭的用水定额为 1 m<sup>3</sup> 等等。生活用水标准常按每一居民的每天用水量表示，我国城市居民平均的日用水量在 90L/人·日~200L/人·日，农村居民平均的日用水量在 20L/人·日~60L/人·日的范围内变化<sup>[9]</sup>。

给水的要求，不但要有足够的水量，而且应符合水质的要求。它的特点如下：

(1)对水质(water quality)的要求较高。居民用水和以水为原料的工业用水，对水的气味、溶解质的组成和含量，以及微生物的数量，都有一定的要求，不应超过规定的数值。

(2)给水有日与年的周期变化。民用给水及工业用水有日周期的变化，它是靠水厂的蓄水池调节来适应的，而年内变化较小，一般夏天较多、冬天较少。

(3)要求供水的保证程度较高。因为供水的中断对人民生活造成很大的不便。对工业用水如缺少过多,例如超过15%~20%以上就会影响主要车间的工作引起减产或停工造成较大的损失。工业缺水所引起的损失,可以每缺1t水引起的生产损失值来衡量。

工业给水中作为生产原料的水其比重通常不大多数是作为工艺用水这些用水的特点是它并不消耗水量。因此,在水源供应紧张地区,应考虑工业排放水的循环利用,特别是对一些用水量大的工厂,如凝汽式火电厂、造纸厂等,废水与污水必须净化处理后,才允许排入天然水域,以免污染环境引起公害。这对于减轻水源的各种污染(热污染、有害物污染等),保护水质,更有重要的意义。

生活用水及工业用水的水源大体上有:水库、河湖、井泉等。例如密云水库的主要任务之一,即是保证北京市的供水,一般说来,供水所需流量不大,只要不是极度干旱年份,往往不难满足。在综合利用水资源时,对供水的要求,必须优先考虑,即使水资源量不足,也一定要保证优先满足供水。甚至原来设计的水库,其主要目的是满足其他要求,而现在也得优先满足生活及工业供水。因为随着社会及生产的发展,生产规模及都市人口的扩大化,农村人口的城市化,近年来给水特别是城市给水的重要性日渐增加,特别是华北和一些沿海缺水城市,给水问题往往十分突出。

通常,在编制河流综合利用规划时,可将供水流量取为常数,或通过调查作出需水流量过程线备用。

## 第五节 防洪与治涝

### 一、防洪

我国洪水有凌汛(北方河流)春汛、伏汛、秋汛等但防洪(flood prevention)的主要对象是每年的雨洪以及台风暴雨洪水。因为雨洪往往峰高量大,汛期长达数月;而台风暴雨洪水则来势迅猛,历时短而雨量集中,更有狂风助浪,两者均易酿成大灾。但是洪水是否成灾,还要看河床及堤防的状况而定,如果河床泄洪能力强,堤防坚固,即使洪水较大,也不会泛滥成灾。反之,若河床浅窄、曲折、泥沙淤塞、堤防残破等使安全泄量(safety discharge)(即在河水不发生浸溢或堤防不发生溃决的前提下,河床所能安全通过的最大流量)变得较小,则遇到一般洪水也有可能浸溢或决堤。所以,洪水成灾是由于洪峰流量(peak flow)超过河床的安全泄量因而泛滥(或决堤)成灾。由此可见防洪的主要任务是按照规定的防洪标准(flood prevention standard),因地制宜地采用恰当的工程措施,以削减洪峰流量,或者加大河床的过水能力,保证安全渡汛。采用的工程措施主要有以下几种:

#### 1. 水土保持

水土保持(soil and water conservation)是一种针对高原及山丘区水土流失现象而采取的根本性治山治水措施,它对减少洪水灾害很有帮助。水土流失(soil and water loss)是因大规模植被被破坏而引起的自然环境严重破坏的现象。水土流失地区旱季山泉枯竭、溪涧断流,易成旱灾雨季地面径流量大、汇集快、冲刷侵蚀裸露的地面携带大量泥沙形成浊流滚滚,下游河床因而泥沙淤塞、泄水不畅、易成洪灾。为此,要与当地农田基本建设相结合,综合治理并合理开发水、土资源广泛利用荒山、荒坡、荒滩植树种草封山育林甚至退耕还林改进农牧业生产技术合理放牧、修筑梯田、采用免耕或少耕技术大量修建谷坊、塘坝、淤地坝、小型水库等拦

沙蓄水工程，等等。这些措施有利于把雨水尽量截留、涵蓄在雨区，减少山洪，增加枯水径流，保护地面土壤 防止冲刷 减少下游河床淤积。这不但对防洪有利 还能增加山区灌溉水源 改善下游河流通航条件，以及美化环境，等等。

## 2. 筑堤防洪与防汛抢险

筑堤是平原地区为了扩大洪水河床、加大泄洪能力、并防护两岸免受洪灾行之有效的措施。但筑堤防洪 (banking for flood control) 必须与防汛抢险 (emergency flood fighting) 相结合 即在每年汛前维修加固堤防 发现并消除隐患 洪峰来临时监视水情 及时堵漏、护岸 或突击加高培厚堤防 汛后修复险工 堵塞决口等等。不但堤防工程要防汛 水库、闸坝等也要防汛 以防止意外事故。有时，为了防止特大暴雨酿成溃坝巨灾，还须增筑非常泄洪道。甚至在紧急时，炸坝泄水，预降水位。

## 3. 疏浚与整治河道

疏浚 (dredging) 与整治河道 (regulating river) 的目的是拓宽和浚深河槽、裁弯取直 (如图 2.6)，消除阻碍水流的障碍物等，以使洪水河床平顺通畅，从而加大泄洪能力。疏浚是用人力、机械和爆破来进行作业，整治则是修建整治建筑物来影响水流流态。二者常相互配合使用。内河航道工程也要疏浚与整治，但其目的是为了改善枯水航道，而防洪却是为了提高洪水河床的过水能力。因此，它们的具体工程布置与要求不同，但在一定程度上可以互相结合兼顾。

## 4. 分洪、滞洪与蓄洪

这三者目的都是为了减少某一河段的洪水流量，使其控制在河床安全泄量以下。分洪 (flood diversion) 是在过水能力不足的河段上游的适当地点，修建分洪闸，开挖分洪水道 (又称减河)，将超过本河段安全泄量的部分洪水引走，以减轻本河段的泄洪负担。分洪水道有时可兼用为航运或灌溉的渠道。滞洪 (flood detention) 是利用水库、湖泊、洼地等 暂时滞留一部分洪水 以削减洪峰流量 (图 2.7)，洪峰一过，即将滞留的洪水放归原河下泄，以腾空蓄水容积迎接下次洪峰。

蓄洪 (flood storage) 则是蓄留一部分或全部洪水 待枯水期时供兴利部门使用 也同样起到削减洪峰流量的作用 (图 2.7)。第六章所介绍的水库调洪包括了蓄洪与滞洪两方面。蓄洪或滞洪水库，可以结合兴利部门的需要，成为综合利用水库 (multipurpose reservoir)。有些天然湖泊，常起着重要的滞洪作用，例如洞庭湖就对长江的洪水有调蓄作用。有些地区盲目围垦湖滩地 常会削弱湖泊滞洪作用 必须慎重对待 必要时应废田还湖。

上述各种防洪措施 常因地制宜地兼施并用 互相配合。往往是全流域上、中、下游统一规划 蓄泄兼筹 综合治理 还要尽量兼顾兴利部门的需要 在选择防洪措施方案以及决定工程主要参数时，都应进行必要的水利计算，并在此基础上进行一定的方案分析比较，切忌草率从事。

## 二、治涝

形成涝灾的因素有二：

(1) 因降水集中，地面径流集聚在盆地、平原或沿江沿湖洼地，积水过多或地下水位过高。

(2) 积水区排水系统不健全，或因外河外湖洪水顶托倒灌，使积水不能及时排出，或者地下水位不能及时降低。

这两方面合并起来 就会妨碍农作物正常生长 以致减产或绝收 或者使工矿区、城市淹水而妨碍正常生产和人民生活，这就成为涝灾 (waterlogging disaster)。必须注意 农作物对短时间淹水有一定的耐受能力，在未明显妨碍作物生长之前，淹水也可能不成灾。治涝 (waterlog-

ging control 的任务乃是 尽量阻止易涝地区以外的山洪、坡水等向本区汇集 并防御外河、外湖洪水倒灌 健全排水系统 使能及时排除设计暴雨范围以内的雨水 并及时降低地下水位。治涝的工程措施主要有：

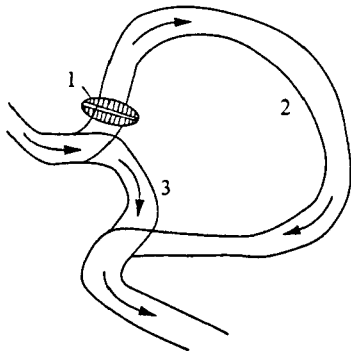


图 2.6 裁弯取直示意图

1. 堵口锁坝;
2. 原河道;
3. 新河道

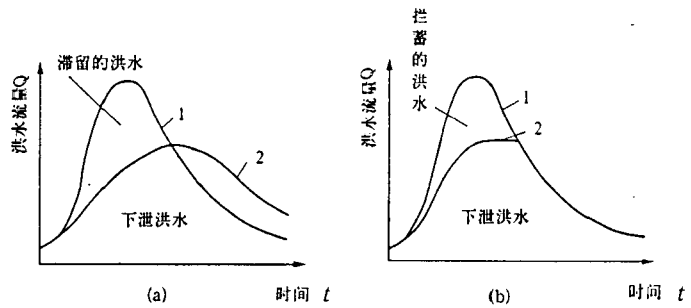


图 2.7 滞洪 a 与蓄洪 b)

1. 入库洪水过程线;
2. 泄流过程线

### 1. 修筑围堤和堵支联圩

修筑围堤 polder dike construction 用以防护洼地 以免外水入浸 所圈围的低洼田地称为圩或垸。有些地区 圩、垸划分过小 港汊交错 围堤重叠 不利于防汛 排涝能力也分散薄弱 在这种情况下 最好将分散的小圩合并成大圩 堵塞小沟支汊 整修和加固外围大堤 并整理排水渠系 以加强防汛排涝能力 称为堵支联圩 (blocking tributeries and united polders)。必须指出 有些河、湖滩地 在枯水季节或干旱少雨年份 可以耕种一季农作物 但不宜筑围堤防护。因为在洪水来临时 需要利用河滩、湖滩泄洪或滞蓄洪水 若筑围堤 必将妨碍防洪 有可能导致大范围的洪灾损失 因小失大。若已筑有围堤 应在统一规划之下 照顾大局需要 拆堤还滩、废田还湖。

### 2. 开渠撇洪

开渠撇洪 channelling and approaching flood 即沿山麓开渠 拦截地面径流 引入外河、外湖或水库 不使向圩区汇集。若与修筑围堤相配合 常可收到良好的效果。并且 撇洪入水库 可以扩大水库水源, 有利于提高兴利部门的效益。当条件合适时, 还可以和灌溉措施中的“长藤结瓜水利系统”以及水力发电的“集水网道式开发方式”结合进行。

### 3. 整修排水系统 (dressing drainage system)

包括排水沟渠和排水闸, 必要时还包括机电排涝泵站。排水干渠可以利用为航运水道, 排涝泵站有时也可兼作灌溉提水泵站用。

治涝标准通常表示为: 不大于某一频率的暴雨时不成涝灾, 这一标准由国家统一规定。

## 第六节 其他需水部门用水及综合需水图

除了上述主要供水对象外 还有航运、环境保护、渔业及旅游事业等。