



高等学校精品规划教材

灌溉排水工程学

主编 史海滨 田军仓 刘庆华

GUANGAI PAISHUI GONGCHENGXUE



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校精品规划教材

灌溉排水工程学

主 编 史海滨 田军仓 刘庆华
副主编 白清俊 马文敏 杨路华
参 编 施垌林 徐淑琴 饶碧玉
杨树青 王忠波 李瑞平



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系高等学校精品规划教材,共分11章,系统介绍了农田水分状况,作物需水量与灌溉制度,灌水方法,田间工程,灌溉渠道系统的规划设计,灌溉水源与取水方式,农田排水,排水沟道系统的规划设计,雨水汇集利用,灌排系统管理等内容。教材除包含灌溉排水工程的基础理论外,还加入了近年来国内外的最新研究成果,特别是节水灌溉理论与应用,北方干旱区的雨水汇集利用理论与技术应用,以及灌区信息化管理等内容。

本教材可供高等学校水利水电工程、农业水利工程和水文学与水资源工程等专业教学教材,同时也可供同类专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

灌溉排水工程学 / 史海滨, 田军仓, 刘庆华主编.

北京: 中国水利水电出版社, 2006

高等学校精品规划教材

ISBN 7-5084-3800-0

I. 灌... II. ①史... ②田... ③刘... III. ①农田灌溉—高等学校—教材②农田水利—排水—高等学校—教材 IV. S27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 088117 号

书 名	高等学校精品规划教材 灌溉排水工程学
作 者	主编 史海滨 田军仓 刘庆华
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales @ waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 21.75 印张 516 千字
版 次	2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	33.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



高等学校精品规划教材

水资源规划及利用

水力学

环境水利学

灌溉排水工程学

水利工程施工

水利水电工程概预算

画法几何及水利工程制图

画法几何及水利工程制图习题集

水利工程监理

水利水电工程测量

理论力学

材料力学

土力学

工程水文学

地下水利用

水利管理学

结构力学

水资源学

地下水动力学

水文地质与工程地质

水利科技写作与实例

工程力学 (高职高专适用)

大学数学 (一) (高职高专适用)

大学数学 (二) (高职高专适用)

工程制图 (非机械类专业适用)

工程制图习题集 (非机械类专业适用)

电子与电气技术

Visual FoxPro 6 数据库与程序设计

大学计算机基础

数字电子技术

模拟电子技术

C++程序设计

电工学 (少学时适用)

电工电子技术简明教程

前 言

本书是全国水电类高等学校精品规划教材指导委员会计划出版的水利类《高等学校精品规划教材》系列教材之一。由于新水利类专业规范已将《农田水利学》课程名称改为《灌溉排水工程学》，故在本教材的编写时将书名调整为《灌溉排水工程学》，并在教材体系及内容上也做了相应调整以适应创新型人才培养的需要。

本书是按照 50~60 学时的“灌溉排水工程学教学大纲”编写的，可作为高等院校水利水电工程、水文学与水资源工程、农业水利工程等水利类专业的教材及水利工程专业人员的参考书。全书可分为三个部分，第一部介绍了灌溉的基础理论与技术，第二部分介绍了排水工程与雨水积蓄利用的基础理论与技术，第三部分介绍了灌溉与排水系统管理的基础理论。全书分 11 章，包括农田水分状况、作物需水量与灌溉制度、灌水方法、田间工程、灌溉渠道系统的规划设计、灌溉水源与取水方式、农田排水、排水沟道系统的规划设计、雨水汇集利用、灌排系统管理等内容。

在教材编写过程中，依据水利类专业的培养目标和本课程的培养目标，本着继承与发展相结合的原则，保留了本课程传统的、成熟的教学内容，吸取了近年来国内外灌溉与排水工程方面的最新成果以及各校的教学经验，力求反映灌溉与排水工程的基本理论、基本方法和基本知识，重点介绍灌溉与排水工程的规划设计、科学试验和运行管理，注重理论与生产实际的结合。

本书由史海滨（内蒙古农业大学）、田军仓（宁夏大学）、刘庆华（东北农业大学）任主编，白清俊（山东农业大学）、马文敏（宁夏大学）、杨路华（河北农业大学）任副主编。全书由史海滨统稿，陈亚新教授（内蒙古农业大学）主审。各章节编写分工如下：史海滨第一章、第二章、第三章第一节、第六章第三节；田军仓第三章第二、三、四、五节；刘庆华第四章、第十一章第一、二节；甘肃农业大学施珩林第五章；东北农业大学徐淑琴、王忠波第六章；杨路华第七章；云南农业大学饶碧玉第八章；白清俊第九章；马文敏第十章；内蒙古农业大学杨树青第二章第二节；内蒙古农业大学李瑞平第四章第二节、第六章第四节。

本教材在编写过程中参阅了书后所列文献的有关内容，其中部分章节引用了农田水利学（郭元裕主编）中的部分内容，内蒙古农业大学、李为萍、翟进参加了本书稿的校对工作，编者在此一并表示衷心的感谢。

对于书中不妥之处，诚恳希望读者批评指正，提出改进意见，以便在教学实践中加以纠正。

编 者

2006 年 5 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 我国的水资源状况与水利事业	1
第二节 我国不同区域的灌溉排水事业	6
第三节 灌溉排水工程学的研究对象和基本内容	10
第二章 农田水分状况	13
第一节 农田水分存在形式及其对作物的影响	13
第二节 作物生长对农田水分状况的要求	19
第三节 土壤水分运动	23
第四节 土壤—植物—大气连续体的水分传输	34
第三章 作物需水量和灌溉制度	39
第一节 作物需水量	39
第二节 作物充分灌溉制度	47
第三节 作物非充分灌溉制度	58
第四节 灌水率	66
第五节 灌溉用水量	69
第四章 灌水方法	76
第一节 灌水方法分类	76
第二节 地面节水灌溉技术	78
第三节 喷灌	94
第四节 微灌与渗灌	112
第五节 地膜覆盖节水灌溉技术	128
第五章 田间工程	132
第一节 田间工程规划	132
第二节 低压管道输水灌溉系统	139
第六章 灌溉渠道系统	151
第一节 灌溉渠系规划	152
第二节 灌溉渠道流量计算	158
第三节 渠道纵横断面设计	173

第四节	渠道防渗与防冻胀技术	193
第五节	渠系建筑物	205
第七章	灌溉水源和取水方式	210
第一节	灌溉水源	210
第二节	灌溉取水方式	217
第三节	地下水开发与利用	223
第八章	农田排水	236
第一节	农田排水的种类、任务与措施	236
第二节	田间排水沟设计	240
第三节	暗管排水技术	248
第四节	防治盐碱土的水利技术	258
第九章	排水沟道系统的规划设计	266
第一节	排水沟道的规划布置	266
第二节	排水沟道的设计流量	270
第三节	排水沟道设计水位的推算	279
第四节	排水沟断面设计	282
第五节	排水容泄区与排水泵站	286
第十章	雨水汇集利用	290
第一节	雨水径流集蓄灌溉工程	290
第二节	雨水集蓄工程规划	292
第三节	雨水集蓄工程的配套设施与管理	307
第十一章	灌排系统管理	310
第一节	灌区计划用水	311
第二节	灌区量水技术	320
第三节	灌区信息化	331
参考文献	338

第一章 绪 论

第一节 我国的水资源状况与水利事业

一、我国的水资源状况

水资源是一种有限的、部分可再生的资源，也是一种重要的经济资源，且具有稀缺性。它在维系人类和动植物生命、工农业生产、良好环境的功能特性等方面的作用是其他资源所无法替代的。水资源是维系生态与环境可持续发展的控制性要素，并且具有多功能性，主要表现在发电、航运、养殖和旅游等方面。

实现水资源的可持续利用，保障社会经济的可持续发展，是世界各国共同面临的重要问题。水资源指可供人类直接利用、能不断更新的天然淡水，主要指陆地上的地表水和地下水。水资源的补给来源主要为大气降水，赋存形式为地表水、地下水和土壤水，可通过水循环逐年得到更新。

我国地域辽阔，地形复杂，总的地势西部高东部低，受太平洋影响，大陆性季风气候显著。几千年来人们在这块古老的土地上休养生息，同时也干扰和破坏了自然的水土构成。因此，我国水资源具有以下的特点。

(一) 水资源总量可观但人均水资源量少

根据全国水资源评价报告：我国的多年平均降水总量为 6.2 万亿 m^3 ，除通过土壤水直接利用于天然生态系统与人工生态系统外，可通过水循环更新的地表水和地下水的多年平均水资源总量为 2.7 万亿 m^3 ，居世界第 6 位。但按 2002 年人口统计，我国人均水资源量为 2200 m^3 ，仅为世界平均水平的 28%，是世界平均水平的 1/4，居世界第 109 位，被列为世界 13 个贫水国家之一。近 20 年来，受气候和人类活动的影响，中国北方地区水资源呈减少趋势。黄淮海辽地区年径流量减小幅度超过了 10%，其中海河流域年径流量减少得更多，干旱缺水已成为中国北方地区发展经济的突出问题。预计到 2030 年我国人口达到 16 亿高峰时，水资源供需矛盾将进一步加剧。按国际上一般承认的标准，人均水资源量少于 1700 m^3 为用水紧张的国家，因此，我国未来水资源的形势是严峻的。人多水少，水资源时空分布不均，水土资源与经济社会发展布局不相匹配，是我国的基本水情。而长期粗放的经济增长方式则加剧了我国水资源问题的严重程度，也加大了这些问题的解决难度。从根本上说，干旱缺水、洪涝灾害、水污染和水土流失等水问题，既暴露出水利不适应经济社会可持续发展的需要，也暴露出长期粗放的经济增长方式不适应水资源和水环境条件。

(二) 水资源时间分布极不均衡

除了人均水资源量紧缺外，我国水资源的时间分布也很不均衡。由于季风气候影响，各地降水主要发生在夏季，在年内分配集中，年际变化大，而且连丰、连枯年份出现突出。我国大部分地区冬春寒冷少雨，夏季多雨，年降水量集中在汛期几个月。雨热同期，

是农业发展的一个有利条件，使我国在发展灌溉农业的同时，还有条件发展旱地农业。但由于降水季节过分集中，大部分地区每年汛期连续 4 个月的降水量占全年的 60%~80%，不但容易形成春旱夏涝，而且水资源量中大约有 2/3 左右是洪水径流量，形成江河的汛期洪水和非汛期的枯水。而降水量的年际剧烈变化，更造成江河的特大洪水和严重枯水，甚至发生连续丰水年和连续枯水年。华北、东北、西北和西南地区雨季降水量占全年降水量的 70%~80%，而冬春雨雪稀少，往往发生春旱。东南各省雨季多集中在 4~6 月，降雨量占全年降水量 50%~60%，在 7、8 月往往发生伏旱。少数北方地区甚至一次暴雨的降水量相当于几年的降水量。

(三) 水资源空间分布也极不均衡

我国的年降水量在东南沿海地区最高，逐渐向西北内陆地区递减。从黑龙江省的呼玛到西藏东南部边界，这条东北—西南走向的斜线，大体与年均降水 400mm 和年均最大 24h 降水 50mm 的暴雨等值线^①一致，这是东南部湿润、半湿润地区和西北部干旱、半干旱地区的分界线。东南部的湿润和半湿润地区也是暴雨洪水的多发区。

水资源的空间分布和我国土地资源的分布不相匹配。我国辽河、海河、黄河、淮河四大流域的土地面积占全国的 18.7%，耕地面积占全国的 45.2%，人口占全国的 38.4%，但水资源却只有 2702 亿 m³，相当于南方四大区域（长江流域及以南、珠江流域、浙闽台诸河和西南诸河）水资源的 12%，人均、亩均水资源量低下，分别只有全国平均值的 16% 和 14%。北方耕地面积占全国 58.9%，水资源却只占全国总量的 14.4%，该地区是我国水资源最为紧缺的地区。西北内陆河流域，土地面积占全国的 35%，耕地占 5.6%，人口占 2.1%，水资源量占 4.8%。该地区因人口稀少，水资源量人均约 5200m³，耕地亩均约 1600m³，如果在科学指导下，合理开发利用水土资源，并安排相适应的经济结构和控制人口的增长，可以满足发展的需要，但必需十分注意保护包括天然绿洲在内的荒漠生态环境。由于我国的水资源贫乏和时空分布不均，导致水、旱灾害频繁，对农业的危害极为严重。农业每年缺水量约为 300 亿 m³。

(四) 江河水资源中高泥沙含量问题突出

我国西部地区是长江、黄河、珠江和众多国际河流的发源地，地形高差大，又有大面积的黄土高原和岩溶山地，自然因素加上长时期人为的破坏，使很多地区水土流失严重，对当地的土地资源和生态环境造成严重危害，也使许多江河挟带大量泥沙，黄河的高含沙量更是世界之最。黄河干流多年年平均含沙量高达 37.6kg/m³，上游多年平均含沙量在 4kg/m³ 以下，头道拐多年平均含沙量 3.89kg/m³，兰州 1.89kg/m³；龙门至三门峡的中游河段，多年平均含沙量 20~25kg/m³；下游花园口至利津河段多年平均含沙量不超过 20kg/m³，但是最大含沙量，中游均超过 150kg/m³，下游花园口、高村断面含沙量均有大于 100kg/m³ 的记录。黄河泥沙主要来自中游黄土地区，中游各条支流泥沙组成的地理分布具有明显的分带性，从西北到东南中值粒径逐渐减小，从 0.045mm 以上减小到 0.015mm 以下。

这些问题增加了我国江河治理的复杂性和生态环境建设的迫切性。从历史的观点看，

^① 按气象部门规定，24h 雨量超过 50mm 称之为暴雨，100~200mm 为大暴雨，超过 200mm 为特大暴雨。

江河泥沙曾为我们创造了并继续发展着东部和中部总面积达 185 万 km² 的广大冲积平原和山间盆地。这些地方，地势平坦，土壤肥沃，成为中华民族生存和发展的重要基地，但由于开发利用不当，也带来一系列的水旱灾害和环境问题。

(五) 城市地下水超采与水资源污染严重

城市地下水超采严重。我国 640 多个城市中，缺水城市 300 多个，其中严重缺水城市 108 个，日缺水量 1000 万 m³ 以上，严重影响了工业生产和居民生活。全国 58% 的城市缺水，达 58 亿 m³/a，且主要集中在华北、沿海和省会、工业型城市。地下水严重超采，导致地下水位大幅度持续下降。华北地区的地下水位以每年 0.3~0.5m 的速度下降，一些超采严重的地区出现了较大面积的“漏斗”，导致地区沉降、地面塌陷、地裂缝、海水入侵等环境问题日趋严重。

由于工农业的发展，水质日益恶化，全国每年排放废水量约达 363 亿 m³，80% 未经处理直接排入江河湖泊，严重影响生态环境。在水利部门对全国评价的近 10 万 km 长的河流中，被污染河长已经占半数，其中有 4 万 km 不符合渔业水质标准，2400km 河长鱼虾绝迹。全国 90% 以上城市的水环境恶化，城市河流湖泊几乎成了排污道。主要湖泊的 26% 已达到富营养化，严重威胁供水安全和渔业生产。若水污染得不到及时的控制与治理，将严重危及人民的健康，贻误子孙后代。

(六) 气候变化对我国水资源影响严重

根据最近 50 年的降水和气温资料分析，我国近 20 年来呈现北旱南涝的局面。20 世纪 80 年代，华北地区持续偏旱，京津地区、海滦河流域、山东半岛 10 年平均降水量偏少 10%~15%。进入 90 年代，黄河中上游地区、汉江流域、淮河上游、四川盆地的 8 年平均降水量偏少约 5%~10%，黄河花园口的天然来水量初步估计偏少约 20%，海滦河和淮河的年径流量也都明显偏少。西北内陆地区，20 世纪 80 年代降水量略有减少 (2.5%)，90 年代略有增加 (8.9%)。由于高山地区冰川融水的多年调节作用，各河流出口口的多年平均流量基本持平。少数河流如新疆的阿克苏河等径流量略有增加，个别河流如河西走廊的石羊河径流量偏少。北方缺水地区持续枯水年份的出现，以及黄河、淮河、海河与汉江同时遭遇枯水年份等不利因素的影响，加剧了北方水资源供需失衡的矛盾。据国际方面的有关研究，未来 50 年由于人类活动产生的温室效应，全球年平均气温可能升高，但预测值相差很大。气温升高将使地表蒸发量提高，水资源量将相应减少。

(七) 西北地区水资源供需矛盾突现

西北是我国最干旱的地区，自然环境十分严峻。经过 2000 多年的疆土开拓，特别是新中国成立以来的快速发展，不少地方的水资源过度开发。该地区水资源的平均开发利用率达 53.3%，远高于全国平均水平 20%。其中甘肃河西走廊的石羊河流域高达 154%，黑河 112%；新疆的塔里木河 79%，准葛尔盆地 80%。许多地方的经济社会用水挤占了生态用水，使天然河湖萎缩以至消失，土地荒漠化迅速扩大，形成严重的生态危机。西北地区特定的自然地理条件决定了水资源在西北经济社会发展进程中占有举足轻重的战略地位，水利在西北的发展中发挥了重要的作用。近年来随着西部地区经济社会的快速发展，水资源供需矛盾更加突出，水资源短缺对西北地区可持续发展的瓶颈制约愈加明显。解决西北地区水资源问题，需要进一步转变用水观念、创新发展模式，科学配置水资源，通过

创新水利发展模式，促进经济增长方式的转变。要坚持人与自然和谐相处，大力推进节水型社会建设，加强水资源的优化配置和统一管理，建立有利于水资源节约和保护的经济社会自律式发展模式，促进经济社会步入科学发展的轨道。

综上所述，水资源是经济社会发展中极其重要的战略性资源。近年来特别是“十五”时期，黄河、黑河等流域实行了取水总量控制，17个省实施了用水定额管理，10多个省实施了超定额累进加价制度，宁夏、内蒙古进行了行业间水权转换。全国用水效率显著提高，农业灌溉水有效利用系数达到0.45，万元工业增加值年均用水量下降了40%。为实现水资源的供需平衡，南方要严格控制污染；西北要遏制盲目开荒；黄、淮、海、辽流域要实施跨流域调水；西南要结合发电与防洪加快工程建设步伐。今后应大力加强水资源需求管理，提高用水效率，实行省际断面的水量水质总量控制。加大投资力度，重点加强水资源保护，加快供水工程的建设步伐。依法管水，加强计划用水，建立水资源利用的补偿机制和恢复机制，实现流域、行政区与城市三个层次的水资源统一管理。

但我国一些地方，一方面水资源贫乏，另一方面对现有水资源的利用率不高、保护不够、浪费严重的现象又普遍存在。有关专家指出，后者正是造成我国目前水资源紧缺的最主要原因。目前，我国可供利用的水量约为1.1万亿 m^3/a ，而实际用水总量已占可利用水资源的43%。在我国，水资源短缺是许多地区发展长期面对的问题。因此应该科学地制定合理的水资源开发利用规划，使有限的水资源尽可能的满足当代人各方面的需要又不危害后人满足其发展的需求能力。然而传统计划经济体制形成以供给为主的水利发展模式，不仅使水利基础产业本身的发展难以维持，而且会造成对水资源及水环境的极大浪费和损害。这与水资源的稀缺性和水资源开发利用的可持续发展战略思想相背，使我们难以走出水危机的困境。因此，我们在对水资源的开发利用中一定要坚持可持续性的原则，针对我国国情及水资源特点，采取多方面的措施配套进行。

二、我国水利事业的发展

水利是农业的命脉。几千年来，丰富的水利资源滋养了中国农业。同时，历史上旱涝灾害频繁，也对农业生产造成了严重威胁。因此中国的农业发展史，也就是发展农田水利、克服旱涝灾害的斗争史。中国是一个文明古国，中国的文明与发展与水利休戚相关，中华民族灿烂悠久的文明史，就是一部除水害、兴水利的历史。正是由于我们的祖先与水旱等自然灾害的不懈斗争，才使中华民族获得了基本的生存条件，为古老的中华文明发展奠定了物质基础。广为传颂的大禹治水的故事，反映古人靠自己的智慧、力量和不屈不挠的精神，与洪水进行顽强的抗争，并最终战胜了洪水。古代劳动人民修建的都江堰、郑国渠、灵渠、京杭大运河、海塘工程等大批水利工程，在历史上对于经济社会发展起到了至关重要的作用，有的至今仍在造福人民、发挥着效益。

特定的自然条件决定了防洪、灌溉、排水等水利工作在中国经济社会发展、生态和环境保护中有着十分重要的地位和作用。水利是农业的命脉，农业是国民经济的基础。搞好农业是关系到我国社会主义经济建设高速发展的全局性问题，只有农业得到了发展，国民经济的其他部门才具备最基本的发展条件。

中国治水的历史源远流长，传说中的大禹治水已有4000多年。2200多年前，李冰父子修建都江堰，使成都平原从此“水旱从人，不知饥馑”，成为“天府之国”。经过历代修

缮，至今仍发挥着巨大效益，成为世界著名的文化遗产。

中华人民共和国成立后的 50 多年来，水利事业得到了国家高度重视，把水资源作为实现中国可持续发展的重要战略资源，采取一系列政策和措施来促进防洪和灌溉、排水事业的发展，进入了一个快速发展时期。新中国进行了三次大规模农田水利建设。第一次：1958 年前后至 20 世纪 60 年代中期。以兴建水库拦蓄地表水源、提高河道防洪能力、发展灌溉农田为主，建成了一大批水利工程，为新中国水利的发展打下了基础。灌溉面积从 1949 年的 2.4 亿亩增加到 1965 年的 4.8 亿亩，翻了一番，粮食产量从 1100 亿 kg 增加到 1900 亿 kg，上了一个大台阶。第二次：20 世纪 70 年代。北方打井开发利用地下水，发展井灌，南方地区依靠机电排灌技术，扩大灌溉面积，增加除涝面积。灌溉面积从 1965 年的 4.8 亿亩增加到 1980 年的 7.3 亿亩，粮食产量从 1965 年的 1900 亿 kg 增加到 1980 年的 3200 亿 kg，连续上了三个台阶，基本扭转了南粮北运的局面。第三次：20 世纪 90 年代。以大力推广节水灌溉为重点，对大型灌区进行以节水为中心的续建配套和改造，对中低产田进行农业综合开发改造，特点是从外延为主转向内涵为主，加强经营管理，提高用水效率。1999 年与 1990 年比，净增灌溉面积 8000 万亩，改善灌溉面积 6.6 亿亩，新增和改善除涝面积 1.5 亿亩，粮食产量从 4462 亿 kg 增加到 5000 多亿 kg。

截至目前，中国已累计建成江河堤防 27.7 万 km，水库 8.5 万座，初步形成了七大江河防洪工程体系，主要江河的防洪减灾能力明显提高，战胜了 1958 年黄河大水、1991 年江淮大水、1998 年长江、嫩江大水等特大洪水；全国年供水能力已增加到 6000 亿 m³，保障了 5625 万 hm² 农田灌溉、600 多座城市和工业的基本供水；累计解决了农村 2.82 亿人的饮水困难；初步治理水土流失面积 92 万 km²；城市污水处理率达 45%；水电装机容量已经增加到 1.08 亿 kW。农田灌溉面积从 1500 万 hm² 发展到 5625 万 hm²，每年在灌溉土地上生产的粮食占全国总量的 3/4，生产的经济作物占 90% 以上。中国灌溉排水事业取得了巨大成就，使中国能够以占世界 6% 的可更新水资源量、6.8% 的耕地，解决了占世界 20% 人口的温饱问题，为中国农业生产、粮食安全以及经济社会的稳定发展提供了保障。

近年来，特别是“十五”时期，我国按照科学发展观的要求，积极有效地开展了工作，努力保障防洪安全、供水安全和生态安全，水利事业取得了跨越性进展，突出表现在：有效地减轻了洪涝干旱等灾害的损失，水利基础设施建设迈上新的台阶，节水型社会建设取得初步成效以及水土保持和生态保护得到加强等四个方面。

我国“十一五”农村水利发展主要目标是首先加快农村饮水安全工程建设，解决 1 亿人的饮水安全问题。重点解决高砷水、高氟水、血吸虫病区改水、苦咸水、污染水和局部地区严重缺水等对人们身心健康或正常生活影响严重的饮水安全问题。其次，大力开展以节水为中心的农田灌排设施建设，在农业用水总量不增加的前提下，净增有效灌溉面积 3000 万亩，新增节水灌溉工程面积 1.5 亿亩。平原区重点加快大中型灌区节水改造步伐，以粮食主产区、水资源严重缺乏地区和贫困地区为重点，基本完成 100 个大型灌区和 200 个中型灌区骨干工程的节水改造任务；继续推进节水灌溉示范项目建设；加大末级渠系建设力度。山丘区重点加快集雨节灌工程和小型灌区建设，增加、恢复抗旱浇灌和有效灌溉面积。草原牧区重点加大节水灌溉饲草料地建设力度，新增灌溉饲草料地 400 万亩，实现

既要发展畜牧业、增加牧民收入，又要保护和改善草原生态的双赢目标。经济发达地区、城市郊区和其他具备条件的地区，以整治农村水环境为重点，建设一批标准较高，生活、生产、生态环境设施协调发展的农村水利现代化典型。

第二节 我国不同区域的灌溉排水事业

我国的灌溉排水事业发展较快，万亩以上灌区 5700 多处，灌溉用水量 3600 亿 m^3 ，总灌溉面积 6000 万 hm^2 ，有效灌溉面积约 5500 万 hm^2 。30 万亩以上灌区 402 多处，有效灌溉面积约 1500 万 hm^2 ，创造 1/3 农业生产总值。

一、我国不同区域的灌溉排水

我国疆域辽阔，各地自然特点不同，发展农业的水利条件也有差异。根据不同地区及农作物对灌溉排水的不同要求，可按降水量的大小把全国大致分为 3 个不同的灌溉地带。即多年平均年降水量少于 400mm 的常年灌溉地带，年平均降水量大于 400mm、小于 1000mm 的不稳定灌溉地带和平均降水量大于 1000mm 的水稻灌溉地带。

1. 常年灌溉地带

常年灌溉地带处于干旱和半干旱地区，由于缺乏足够的雨量淋洗，这个地区的土壤多属碱性，常年灌溉是这一地带发展农业的必要条件。其灌溉需要指数（即灌溉水量与农作物需水量的比值）一般均大于 50%~60%。排水是由于灌溉和防治土壤盐碱化要求所致，包括灌溉退水和降低灌区地下水位。该地带又可细分为两个亚区，即：西北内陆地区和黄河中上游地区。西北内陆地区包括青海、新疆、甘肃河西走廊和内蒙古阿拉善高原。这一地区远离海洋，雨量稀少，特别是平原地区，年降水量不足 200mm，大部分地区还不足 100mm，而年蒸发量则达 2000~3000mm，是我国最干旱的地区。没有水就没有生命，而且没有灌溉也就没有农业。水资源是这一地区开发的最大制约因素。在这里不仅全区径流总量 1164 亿 m^3 ，主要由高山冰川和融雪形成。从提高已有耕地的产量和进一步扩大耕地面积方面来讲，该区域都有一定潜力。如能合理开发利用水资源，该地区在发展农业和畜牧业方面都有很好的前景。黄河中上游地区，包括陕西、甘肃、宁夏、山西及内蒙古的大部分地区，绝大部分为黄土高原，年降水量由西部 200mm 向东渐增至 400mm。其中 70%~80%集中在 8、9 月，且多暴雨，对土壤补给的有效降水很少，十年九旱，农作物必须灌溉才能正常生长。水土流失极为严重，是黄河泥沙的主要来源。水利工程的重点是，开展水土保持工作、发展节水灌溉和雨水的集蓄利用，平原灌溉还要注意排水防治土壤次生盐碱化。

2. 不稳定灌溉地带

不稳定灌溉地带主要包括黄淮海地区和东北地区。由于受季风的强烈影响，降水时空变化都很大，因而农作物对灌溉排水的要求很不稳定。旱作物的灌溉要求在黄淮海地区的北部和东北地区的西部较多，干旱年份更高，灌溉需要指数可在 50%以上。这个地区旱作物总体上可以实施雨养农业，但必须有排涝设施，为了达到高产稳产，还必须发展灌溉；在低洼易涝地区，为了减少排灌投资，可以发展水稻，但需有灌溉保证。黄淮海地区，包括河北、河南、山东、苏北、皖北和京、津二市，大部属黄河、淮河与海河下游冲

积平原，多年平均降水量 500~900mm，但 60%~80%集中在 6~9 月，降水的年内和年际分布极不均衡；人口和耕地都占全国的 1/4 左右。人均河川径流量仅 363m³，公顷均 4200m³，是全国水资源最紧缺的地区。由于受黄河多次决口改道的影响，打乱了本地区的排水系统，涝碱灾害也十分严重。因此，为了达到农业的高产稳产，必须实施旱、涝、碱综合治理，灌溉与排水并重的方略。在加强节水的基础上，还要开辟新的水源，才能满足工农业需水的要求。东北地区，包括辽宁、吉林、黑龙江三省及内蒙古自治区东部地区，地势平缓，土壤肥沃。中部的松江平原为东北农业最发达、机械化程度较高地区；东部的三江平原海拔较低，有大面积沼泽洼地，排水不畅，渍涝为害；南部的辽河平原农业也很发达。本区大部分属温带季风气候，只有黑龙江北部为寒温带气候。全区降水量 300~900mm，自西向东递增；但降水量在年内分布不均，7~9 月占全年 60%以上，而 4、5 月仅 10%~15%，春旱严重，且持续时间长。这一地区的水利工程须旱涝兼治、山丘区以治旱为主，平原洼地则以治涝为重点，改良沼泽地，并适当发展灌溉，解决春旱和发展水稻。

3. 水稻灌溉地带

水稻灌溉地带包括长江中下游地区，珠、闽江地区以及西南地区。雨量充沛，土壤多属酸性。这一地区是我国水稻主要产区，由于降水在年际和季节分布不均，水稻一般都需要进行补充灌溉，双季稻则更需要进行灌溉补足水分，灌溉需要指数在 30%~60%之间。这一地区农作物的排涝要求普遍高于前两个地带，排水模数为 20~50mm。该地带的灌溉作用，突出表现在保证水稻面积的扩大和复种指数的提高。排水是这一地带农作物稳产的基本保证。这一地区又可细分为 3 个亚区，即：长江中下游地区、珠闽江地区和西南地区，长江中下游地区包括湖南、湖北、江西、浙江、上海及江苏、安徽的大部分。全区属亚热带气候，温暖潮湿，多年平均降水量 800~1800mm，降水集中在 4~10 月，汛期 7~9 月，洪水峰高量大，持续时间长；圩垸内地势低洼，易遭洪涝灾害。由于降水时空分布不均，往往发生伏旱和秋旱、影响作物生长，尤其是水稻必须灌溉才能保证高产稳产。本地区的水利工程在丘陵山区主要是发展灌溉，防冲排渍。在圩垸地区主要是防洪除涝。珠闽江地区，包括广东、广西、福建和海南。本区地处亚热带和热带、属湿热多雨的季风气候区，气温高，日照和无霜期长，年降水量在 1000~2000mm。本地区的水利工程，平原地区以防洪除涝为主，丘陵坡地以发展灌溉为主。西南地区，包括云南、贵州、四川和西藏，地貌单元以高原山地为主。全区属亚热带与热带气候类型，年降水量 1000~1500mm。本地区光、热、水资源丰富，但由于地形地貌复杂和降水时空分布不均，干旱是农业生产的主要威胁，因为水稻必须灌溉才能高产稳产。

二、解决北方水资源短缺的南水北调战略措施

我国水资源缺乏严重，全国水土资源分布很不均衡，长江流域及其以南河流的径流量占全国的 80%以上，耕地面积不到全国的 40%，属富水区；而黄河、淮河、海河三大流域和西北内陆的面积占全国 50%，耕地占 45%，人口占 36%，水资源总量只有全国的 12%，属缺水地区。西北和华北土地、矿产资源丰富，是我国能源和粮棉油的生产基地，在国民经济中有重要的战略地位，尤其黄、淮、海平原和胶东半岛是我国人口密集、耕地率高、经济发达的地区，目前水资源缺乏已成为经济发展的制约因素，并造成生态环境恶

化, 亟待调水解决。对北方地区, 要从以超采地下水和利用未经处理的污水来维持经济增长转变为在大力节水治污和合理利用当地水资源的基础上, 有步骤地推进南水北调, 保证社会、经济的可持续增长。

(一) 南水北调的必要性

根据对我国水资源 2030 年和 2050 年的供需平衡分析, 黄淮海流域特别是黄河下游的黄淮海平原地区, 是我国最缺水的地区。近年来, 这里的许多地方, 特别是黄河以北的海河流域, 通过超采地下水和利用未经处理的污水维持了经济的增长。据海河水利委员会统计, 海河平原 1998 年超采地下水 55 亿 m^3 , 全流域废污水排放量 63 亿 m^3 , 除排放入海 5 亿 m^3 外, 其余或被利用或蒸发或渗入地下。据不完全统计, 约有 20 多亿 m^3 废污水被用于灌溉。地下水超采最严重的是沧州、衡水和津浦铁路沿线地区。该区的浅层地下水绝大部分为不可利用的咸水和微咸水, 多年来超采的是很难再生的含氟的深层地下水。据 2000 年有关方面的分析, 深层地下水耗竭的时间将为 10~15 年。太行山麓的京广铁路沿线, 由于城市和工业大量抽取地下水, 也造成浅层地下水的大面积区域性漏斗。由于水资源的过度开发和污染不加防治, 许多地方有河无水, 有水皆污, 洼淀枯竭, 造成严重的环境问题。

预测到 2030 年, 经充分挖潜和利用当地水资源, 采用节水和污水回用等多种措施和考虑了目前引黄和引江的水量后, 在地下水不再超采的情况下, 黄淮海平原地区缺水量仍将达到 150 亿 (平水年) ~300 亿 (枯水年) m^3 。考虑到生态环境的用水, 今后通过南水北调增补的水源应在 300 亿 m^3 以上, 其中增补黄河以北应在一半以上。南水北调工程的根本目标是改善和修复北方地区的生态环境。由于黄淮海流域的缺水量 80% 分布在黄淮海平原和胶东地区, 因而优先实施东线和中线工程势在必行; 在黄淮海平原和胶东地区的缺水量中, 又有 60% 集中在城市, 城市人口和工业产值集中, 缺水所造成的经济社会影响巨大。因此, 确定南水北调工程近期的供水目标为: 解决城市缺水为主, 兼顾生态和农业用水。南水北调东线和中线工程涉及 7 省 (直辖市) 的 44 座地级以上城市, 受水区为京、津、冀、鲁、豫、苏的 39 座地级及以上城市、245 座县级市 (区、县城)。

(二) 南水北调各条线路简介

南水北调总体布局包括从宏观构想到局部引水方案, 是对水源、供水对象, 线路和工程措施等进行具体研究逐步形成的。长江干流及主要支流, 是南水北调解决我国北方水资源严重短缺的主要水源。南水北调工程是长江综合利用的重要任务, 长江水资源对全国尤其北方缺水地区可持续发展具有重要的支撑作用。按照地势、山、水的地理位置和走向, 来选择和论证引水线路及其适宜供水范围, 相互衔接, 形成合理的总体布局。南水北调工程分为东、中、西线三条线路分别调水。各线路示意图如图 1-1 所示。

1. 东线

南水北调东线工程是在现有的江苏省江水北调工程、京杭运河航道工程、治淮工程的基础上, 结合治淮计划兴建一些有关工程规划布置的。东线主体工程由输水工程、蓄水工程、供电工程三部分组成。东线工程从长江下游扬州抽引长江水, 利用京杭大运河及与其平行的河道逐级提水北送, 并连接起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖。出东平湖后分两路输水: 一路向北, 在位山附近经隧洞穿过黄河, 送水到天津; 另一路向东,

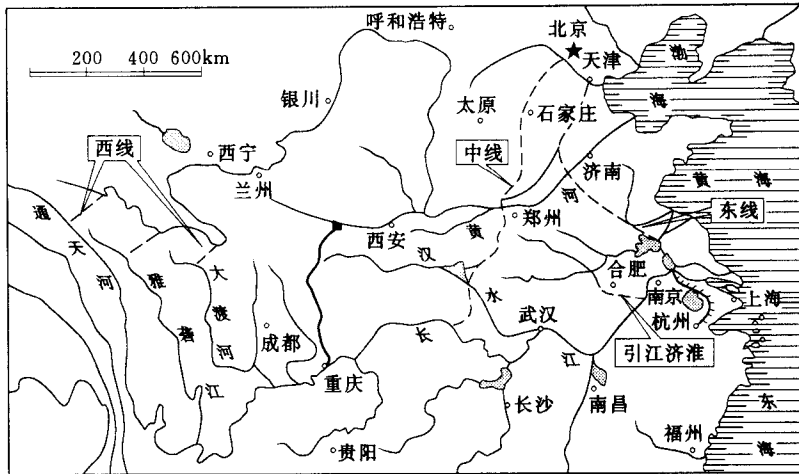


图 1-1 南水北调线路示意图

通过胶东地区输水干线经济南输水到烟台、威海。在原有引水量的基础上，增加年均引水约 150 亿 m^3 ，其中过黄河约 90 亿 m^3 。

东线工程除可解决江苏和山东两省的缺水外，还可解决河北省东部深层地下水超采和高氟水导致的地方病以及天津市的缺水问题。其有利条件是：直接从长江引水，水源比较丰富可靠；可利用大运河和洪泽湖、骆马湖等现成的河道和调蓄湖泊，投资较低，并可分期分段实施，比较灵活。其难点是：沿线水质污染；需要电力提水，总扬程约 65m，经常运行费用较高。

2. 中线

中线调水工程为全自流供水至华北平原。我国当前最缺水的地区是华北平原，缓解华北水资源危机是南水北调的首要任务。黄河下游流经华北平原，黄河水资源为平原上工农业生产及人民的生活需水做出了很大贡献，但黄河水量不足，早已供不应求，随着生产力的发展，上中游用水增多，进入下游的水量逐年衰减，近年黄河多次发生断流而且断流时间及断流河段长度逐年增加，这既说明华北水资源危机在加剧，也说明黄河水资源利用程度过高，不堪重负，需寻求新的水源。

中线工程从加坝扩容后的丹江口水库陶岔渠首闸引水，多年平均的可能引水量估计约 130 亿 m^3/a ，其中过黄河约 70 亿~75 亿 m^3/a 。沿唐白河流域西侧过长江流域与淮河流域的分水岭方城垭口后，经黄淮海平原西部边缘，在郑州以西孤柏嘴处穿过黄河，继续沿京广铁路西侧北上，可基本自流到北京、天津。

中线工程除可解决河南省中东部的缺水外，还可解决河北省中部经济最发达地区和北京市的缺水。其有利条件是：目前水质较好；绝大部分自流引水，如不计建设成本和丹江口发电损失，运行费用较低。其难点是：从汉江的丹江口水库引水，水源相对有限，如遇连续枯水年难以满足要求；现在规划的线路缺少调蓄湖库，运行困难；黄河以北的线路经过太行山麓的特大暴雨区和地震高发区，安全风险很大；丹江口水库大坝加高需移民 25 万人，总干渠基建投资也较高，需要一次建成才能发挥效益，考虑到配套建设的种种问

题,总干渠达到设计效益需要相当时间,加上来水和需水匹配的不稳定性,如以贷款建设,将发生运营困难。

3. 西线

西线调水用于黄河上中游地区。西北是我国最干旱的地区,南水北调规划中的西北地区供水目标,限制在沿黄河的青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西6省(自治区)中宜从黄河取水、社会经济基础较好的地区,而不是为了向难以利用的土地供水。

西线工程在长江上游通天河、支流雅砻江和大渡河上游筑坝建库,开凿穿过长江与黄河的分水岭巴颜喀拉山的输水隧洞,调长江水入黄河上游。西线工程的供水目标主要是解决涉及青、甘、宁、蒙、陕、晋等6省(自治区)黄河上中游地区和渭河关中平原的缺水问题。结合兴建黄河干流上的骨干水利枢纽工程,还可以向邻近黄河流域的甘肃河西走廊地区供水,必要时也可向黄河下游补水。从三条河年最大可调水量约为200亿 m^3 ,其中从长江上游通天河调水100亿 m^3 ;从长江支流雅砻江调水约50亿 m^3 ;从大渡河调水50亿 m^3 。估计可能的调水量100亿~150亿 m^3/a 。实施难度远大于中线和东线,具体方案目前正在规划中。

综上所述,我国各类地区的气候和水土条件虽有很大差异,但要达到农业的高产稳产,都必须解决灌溉排水问题。这是我国灌溉排水事业历史悠久,并能得到持续发展的根本原因。

第三节 灌溉排水工程学的研究对象和基本内容

一、灌溉排水工程学的研究对象

由上述可知,我国水资源短缺的形势是十分严峻的,大力发展节水农业、推广节水灌溉、建成节水型社会是我国一项长期的基本国策。解决水资源危机问题,要从开源与节流两方面入手。一方面要抓紧跨流域调水的规划设计工作,从根本上改变水资源紧缺的局面;而另一方面要在节流上下功夫。我国在水资源的利用上,还有巨大的潜力可挖。不少灌区,尤其是北方灌区,由于灌水量偏大,净灌水定额在150mm以上,有些甚至高于300mm。这是由于渠道渗漏严重,加上管理不善等原因造成的,自流灌区灌溉水有效利用系数仅0.4左右。换句话说,每年经过水利工程引、蓄的4000多亿 m^3 水量中,约有60%左右是在各级渠道的输、配水和田间灌水过程中渗漏损失掉了,其数量惊人。水量损失不仅引起灌区地下水位的升高,土壤盐碱渍害,从而导致农业减产,并恶化灌区生态环境。采用科学的用水管理,推广节水灌溉技术,若将全国的灌溉水有效利用率平均提高10%~20%,则按全国农业用水总量3780亿 m^3 估计,每年可节约水量370亿~750亿 m^3 ,这对缓解我国水资源供需矛盾将起到重要的作用。

灌溉排水工程学的任务是研究和利用灌溉排水工程措施来调节农田水分状况及改变和调节地区水情,以消除水旱灾害,合理而科学地利用水资源,为发展农业生产服务。

1. 调节农田水分状况

农田水分状况一般指农田土壤水、地面水和地下水的状况及其相关的养分、通气、热状况。农田水分不足或过多,都会影响作物的正常生长和作物的产量。调节农田水分状况