



高等学校教材

专科适用

# 灌溉排水与管理

南昌水利水电高等专科学校 桑燕珠 主编



1022/24

高等学校教材

————— 专 科 适 用 —————

# 灌溉排水与管理

南昌水利水电高等专科学校 桑燕珠 主编

中国水利水电出版社

## 内 容 提 要

本书是高等专科学校水利类专业教材，也可供从事农田水利工作的技术人员和管理干部参考。

全书共分五章，内容包括灌溉用水量的确定，灌溉系统的规划设计，灌水方法及节水灌溉技术，排水工程的规划设计及灌区管理。根据我国生产实践的需要，重点介绍了节水工程技术，节水灌溉制度和其它节水措施；征收水费的意义和测算方法；经营管理的内容和体制；组织管理的形式和职责等。

### 高等学校教材 灌溉排水与管理 (专科适用)

南昌水利水电高等专科学校 桑燕珠 主编

\*

中国水利水电出版社 出版  
(原水利电力出版社)

(北京三里河路6号 100044)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售  
北京市密云县印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 10.25印张 230千字  
1991年10月第一版 1998年10月北京第二次印刷

印数 1911—4910册

ISBN 7-80124-224-6/TV·103

(原 ISBN 7-120-01445-5/TV·515)

定价：10.20元

# 前 言

本教材是遵照1989年水利部科教司制定的“1990~1995年高等学校水利水电类专业专科教材选题和编审出版规划”而编写的。

《灌溉排水与管理》是农田水利学的核心，全书共分灌溉排水工程规划和灌区管理两大部分。主要阐述了灌溉排水的基本理论、灌溉排水系统的规划和节水灌溉技术，同时，还介绍了灌区工程、用水、经营和组织管理等有关内容。其中，如节水型灌溉制度、水费的征收、经营管理的内容和组织管理的形式、职责范围等方面的专著甚少，资料来源多取自一些已刊和未刊的文献。在此，谨向有关作者表示谢意。

参加教材编写的有长春水利水电高等专科学校王怀章（第四章）和南昌水利水电高等专科学校桑燕珠。全书由桑燕珠主编，许志方教授担任主审。在编写之初，还得到茆智、许永嘉、田园、王云涛、何灵甫、张学魁、朱光大、陈亚新、黄彭根、王鸣周、刘承皋先生们的支持与指导，在此一并表示衷心的感谢。

由于时间短促，编者水平所限，不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

1990年10月

# 目 录

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 前言                 |     |
| 绪论                 | 1   |
| 第一章 灌溉用水量的确定       | 8   |
| 第一节 作物需水量的估算       | 8   |
| 第二节 作物灌溉制度         | 11  |
| 第三节 灌溉设计标准         | 19  |
| 第四节 灌溉用水量          | 20  |
| 第五节 灌水率            | 22  |
| 第二章 灌溉系统的规划设计      | 26  |
| 第一节 灌溉水源与取水方式      | 26  |
| 第二节 灌溉系统的组成及规划原则   | 30  |
| 第三节 渠系布置           | 31  |
| 第四节 灌区流量和水位推算      | 36  |
| 第五节 渠道纵横断面设计       | 48  |
| 第六节 渠系建筑物          | 59  |
| 第三章 灌水方法与节水灌溉技术    | 66  |
| 第一节 灌水方法           | 66  |
| 第二节 节水灌溉技术         | 79  |
| 第四章 排水工程规划设计       | 93  |
| 第一节 渍涝成因及作物对排水的要求  | 94  |
| 第二节 排水设计标准         | 97  |
| 第三节 除涝与防渍治碱措施      | 100 |
| 第四节 排水系统规划布置       | 103 |
| 第五节 排水沟道设计         | 120 |
| 第六节 排水闸站规划设计及承泄区整治 | 130 |
| 第五章 灌区管理           | 139 |
| 第一节 工程管理           | 139 |
| 第二节 用水管理           | 143 |
| 第三节 经营管理           | 148 |
| 第四节 组织管理           | 154 |
| 参考书目               | 158 |

# 绪 论

## 一、我国灌溉事业的发展简史

我国是一个古老的农业国，为了抗御自然灾害，发展农业生产，很早就兴修了农业灌溉工程。公元前425年，战国时期西门豹发动人民，在邺县（今河北临漳）修建了12条渠道，引漳水灌农田，这是我国最早的引水工程。此后，公元前256年，秦昭襄王时，李冰父子带领百姓，在四川省岷江上，兴建了我国古代最大的灌溉工程——都江堰。该工程不仅具有较为完善的渠首枢纽，而且有引水渠道500余条，总长约1100km，灌溉14个县的土地，为川西平原变成千里沃野创造了条件。两千多年来，都江堰水利工程，一直在为农业生产服务。解放后，经过改建、扩建及新增大型水库3座，到1983年止，有效灌溉面积已达865万亩，灌溉26个县的土地，并兼顾成都市人民生活用水及40多个工矿企业的生产用水等。

此外，在战国时期，今陕西省境内，开凿了150km长的郑国渠，沟通泾水和北洛水，灌溉农田上百万亩，还有白渠、龙首渠。宁夏的秦渠、汉渠、唐徕渠，均已有上千年历史，保留至今。

总之，我国古代灌溉事业起步很早，但后来发展缓慢，直到全国解放初期，仅有总库容在1亿 $m^3$ 以上的大型水库1座，万亩以上灌区数百处，农田灌溉面积不过2.3亿亩。

新中国成立40年来，水利事业取得了巨大的成就：主要江河得到不同程度的治理与开发，仅黄河上的梯级开发就有7处；直接从黄河干流上引水的大型灌区（灌溉面积30万亩及以上者）为24处。截至1989年止，全国已建成大、中、小型水库83900余座，总蓄水容量4500亿 $m^3$ ，其中大型水库258座，万亩以上灌区5000多处，全国灌溉面积达7.2亿亩。管理事业随之发展，多年来积累了许多经验。特别是近十几年来，灌溉、排水新技术和管理科学有较大的发展：喷灌、滴灌、微灌、遥测、遥控、遥感等从无到有；系统工程优化调度开始推广应用；计划用水、节约用水得到重视；还制定了中华人民共和国水法及一系列法规，加强了制度建设等等。这些理论和实践的积累，将会进一步促进农田水利事业的发展。

但是，目前我国的灌溉排水工程和管理，尚存在一些急待解决的问题。例如有的工程建设标准偏低，不适应发展的要求；工程不配套，田间工程差，直接影响到灌溉效益；渠系水的有效利用系数偏低，浪费水的现象严重；建筑物及测试装置不健全，影响到计划用水的执行；水费征收标准低，无法进行正常的养护和维修；工程老化急待更新及管理不善等等。由于上述现象和问题的存在，不能适应经济发展的需要。因此，增加投入，改善工程条件，提高科学管理水平，是今后较长时期的任务。

## 二、灌溉排水与管理的主要内容

灌溉排水与管理的主要内容有三方面：第一，农田灌溉、排水工程的基础理论、基本

计算方法和规划设计的一般步骤，只有掌握了这方面的知识，才能承担中、小型灌区的新建、续建、配套等工程的设计任务。第二，各种灌水方法和新的灌水技术，重点介绍节水型的工程技术、灌溉制度及其他节水措施，研究如何使有限的水资源发挥更大的灌溉效益。第三，针对我国灌区实际存在的主要问题，参照国内外先进管理方法，探求在灌区中如何进行工程管理、用水管理、综合经营管理及组织管理等。

### 三、灌溉排水在农业生产中的作用

由于我国所处的地理位置及季风的影响，东南地区多雨，西北地区干旱；夏秋多雨、冬春干旱，形成了旱涝并存的特点。

#### (一) 灌溉的重要意义

我国的年降雨量在时空分布上极不均匀，少则小于100mm，多则大于2000mm。有的地区年降雨量虽然可以满足作物生长的需水要求，但又常有季节分布不均或年变差大等情况，如长江以南，雨季为4月到7月，其雨量约占全年降雨量的50%~60%；华北和东北地区，多雨季节在6月至9月，其降雨量约占全年降雨量的70%~80%。因此，常出现于旱年份、干旱季节和旱涝交错等等。

根据多年实践分析，我国对农田灌溉的要求，大致可划分为两个带，包括三大片。

1. 常年灌溉带 此带年降雨量小于400mm，主要分布在西北内陆和黄河中游部分地区，该区无灌溉即无农业。因此，常年灌溉是农业发展的必要条件。

2. 补充灌溉带 灌溉是为补充降雨的不足。在补充灌溉带中，根据降雨量及主要作物种类的不同，又可分为两大片。

(1) 年降雨量大于400mm小于1000mm的地带，以旱作物为主。主要包括黄河、淮河、海河流域及东北地区，其对灌溉的需要情况，随降雨量的变化而变化，干旱年份灌溉需水多，湿润年份灌溉需水少。据河北省灌溉中心试验站资料：冬小麦灌溉定额，在湿润年需水216mm，特湿润年为96mm，两种年份相差120mm，相当于两次灌水量。

(2) 年降雨量大于1000mm的地带，以种植水稻为主。包括长江中下游、珠江、闽江及部分西南地区。这些地区年降雨总量虽多，但在季节上分布不均，加之水稻复种指数高，各季水稻均需补充灌溉。全国水稻种植面积，绝大部分在此灌溉带中。

由此可见，在全国范围内，都不同程度地需要用灌溉来满足作物正常生长的需水要求，见表1。灌溉事业的发展，为我国国民经济建设做出了较大贡献。使不到全国农田总面积一半的灌溉土地，生产了占全国总产三分之二的粮食产量。灌溉使农作物产量成倍增

表 1 我国七大江河灌溉面积统计表

| 流域名称 | 耕地面积<br>(万亩) | 灌溉面积<br>(万亩) | 灌溉面积占耕地<br>面积的 (%) | 流域名称 | 耕地面积<br>(万亩) | 灌溉面积<br>(万亩) | 灌溉面积占耕地<br>面积的 (%) |
|------|--------------|--------------|--------------------|------|--------------|--------------|--------------------|
| 长 江  | 37000        | 22700        | 61                 | 珠 江  | 7800         | 4000         | 51                 |
| 黄 河  | 19600        | 6400         | 33                 | 松花江  | 17500        | 2000         | 11                 |
| 淮 河  | 18800        | 11000        | 58                 | 辽 河  | 6900         | 1880         | 27                 |
| 海、滦河 | 17000        | 9600         | 56                 |      |              |              |                    |

长，越是干旱的地区，灌溉效益越明显。如我国北部边疆内蒙古后套灌区，年降雨量130~215mm，年蒸发量为2100~2400mm，是一个典型的无灌溉即无农业的地区，发展农业灌溉，经济效益显著。又如全国其他地区，灌区的作物单产普遍高出全省平均产量一倍以上，详见表2、表3。

表2 河套灌区1950~1982年灌溉效益表

| 年 份       | 农 业<br>总 产 值<br>(亿元) | 总 产 量 (亿kg) |      |      | 年 平 均<br>灌 溉 面 积<br>(万亩) | 农业投资<br>(亿元) | 水利投资<br>(亿元) | 净 效 益<br>(亿元)       |
|-----------|----------------------|-------------|------|------|--------------------------|--------------|--------------|---------------------|
|           |                      | 粮 食         | 甜 菜  | 油 料  |                          |              |              |                     |
| (1)       | (2)                  | (3)         |      |      | (4)                      | (5)          | (6)          | (7)<br>=(2)-(5)-(6) |
| 1950~1960 | 9.87                 | 30.85       |      |      | 432                      | 6.65         | 0.06         | 3.16                |
| 1961~1982 | 40.15                | 85.56       | 15.7 | 2.75 | 533                      | 23.45        | 2.76         | 13.94               |
| 1950~1982 | 50.02                | 116.41      | 15.7 | 2.75 |                          | 30.10        | 2.82         | 17.10               |

注 1.甜菜、油料产量仅为1979~1982年四年总产量。  
2.农业投资包括化肥、种子、畜工、机耕、水费、农业税等。

表3 我国部分灌区粮食单产与所在省、市单产比较表

| 灌 区 名 称 | 灌 溉 面 积<br>(万亩) | 灌 区 产 量<br>(kg/亩) | 全 省、市、自 治 区 平 均 单 产<br>(kg/亩) | 差 值<br>(kg/亩) |
|---------|-----------------|-------------------|-------------------------------|---------------|
| 宁夏卫宁    | 67.00           | 382.5             | 118.0                         | 264.5         |
| 甘肃靖会电灌区 | 12.56           | 344.0             | 101.5                         | 242.5         |
| 陕西泾惠    | 135.50          | 240.0             | 122.5                         | 117.5         |
| 辽宁浑河    | 40.00           | 425.0~515.0       | 246.0                         | 179.0~269.0   |
| 江西赣抚平原  | 78.65           | 500.0             | 225.0                         | 275.0         |
| 河南人民胜利渠 | 54.98           | 530.0             | 171.0                         | 359.0         |
| 湖南欧阳海   | 73.00           | 560.0             | 267.0                         | 293.0         |
| 四川都江堰   | 890.70          | 307.5             | 224.0                         | 83.5          |

## (二) 农田排水的作用

农田排水对作物增产的作用，也是不可忽视的。当灌溉面积小时，灌区内多余的水量，可以向空地或洼地排出。随着农田灌溉面积的逐步扩大，农田的排水工程即显示其重要的作用。在一些开始发展灌溉的地区，往往重视灌溉，忽视排水，引起农田中的水、肥、气、热状况失调，成为农作物继续增产的障碍。更为严重的是，有些地区由于有灌无排，地下水位上升，形成大面积的土壤次生盐碱化，粮食产量下降，有的颗粒无收，被迫停灌。如美国西部开垦时，曾因发展灌溉忽视排水，因而引起土壤盐碱化；巴基斯坦境内印度河流域，因盐碱而荒芜了一批水田；印度、苏联等干旱地区，均出现了盐碱化问题；我国的引黄灌区——河南省的人民胜利渠、山东省的打渔张灌区、内蒙古自治区的黄河灌区也都有类似情况，严重影响了农作物的产量。但当重视了排水工程，排水出路畅通以后，灌区地下水位迅速降低，土壤次生盐碱化可以基本控制或消失。

在我国南方一些低洼灌区，由于无排水工程，地下水位长期接近地面，形成一些冷浸田、烂泥田、下湿地。加上北方地区的盐碱地等低产农田，共占全国耕地面积40%，严重



地影响着我国粮食的增产，必须逐步加以改造利用。而改造这一类低产田的主要工程措施则是排水。

排水工程不仅旱地需要，即使是水稻地区，也应加强地面排水，实行灌、排系统分设。若排水不当，会使土壤过酸，过湿和作物生育环境的恶化以及稻田的肥力失调，从而影响水稻的产量。我国江苏、浙江、四川、湖北等省，根据水稻增产的要求，不仅增设了排水工程，还研究推广暗管、鼠道、土暗沟等地下排水技术，降低地下水位，排除土壤中多余的水分，改善土壤通气条件，为稻、麦两季作物的均衡增产，起到了显著的作用。如广东针对全省800~900万亩低洼、渍害、次生潜育化稻田的治理，适当降低稻田地下水位，改善水稻根层环境，促进土壤微生物活动，使水稻生长良好。又如日本对水稻产量和施肥量进行了试验：将有良好灌水和排水条件的地区称干地，有灌无排的地区称湿地。在干地上，随着施肥量的增加产量也增加，在湿地上，则施肥量超过一定限度后，产量不仅不增加，反而下降。这充分反映了排水对土壤肥力的调节作用。

#### 四、农作物对水的要求

水在农作物生命活动中起着重要的作用。水能促进光合作用，使植物细胞分裂生长；能使营养物质得以输送，使作物保持正常体态等等。

##### （一）水分消耗的形式

水分由根系进入作物体内以后，消耗于两个方面：一是由于根部的生理作用产生根压，将水压向作物的上部，被作物吸收、利用；二是作物枝叶的蒸腾作用，产生蒸腾拉力向大气散发。其中，蒸腾是作物的生理过程，是水分消耗的主要途径。据测定，一般作物，吸收水分中的99.8%用于蒸腾，仅有0.2%的水，用于有机物质的制造。由于蒸腾作用，使农作物产生吸水的动力，使养分通过水的溶媒，在体内传导、分布，还可以降低叶面温度，从而使作物正常生长。

##### （二）土壤水分形态及其分布

根系吸水，主要来源于土壤中的水分。各种农田水利措施，最终的目的在于：调节和控制农田土壤水分状况，以改善土壤中的气、热、肥条件，达到促进农业增产的目的。

存在于土壤中的水分有3种形态，即固态水、液态水和气态水。固态水和气态水均不能被作物直接吸收，唯有液态水，是土壤水的主要形式，也是我们需要研究的对象。液态水，根据其受力和移动性能的不同，又可分为4种水分形态，即吸着水、薄膜水、毛管水和重力水。

1. 吸着水 它吸附在土壤颗粒上的力量太大，达到31~10000个大气压，不能直接被作物根部吸收利用，称无效水。

2. 薄膜水 在吸着水的外围，吸附力为6.25~31个大气压，在作物根毛与其接触时，可以吸收利用一部分。但当薄膜水尚未全部被消耗之前，作物已因缺水而凋萎。

3. 毛管水 存在于土壤毛细管中的水，能直接被作物根系吸收，并具有一般自由水的特点，兼能溶解、输送养分，是对作物最有效的土壤水分。就毛管水所处的部位来看，又可分为毛管悬着水和毛管上升水两种：①毛管悬着水是指在降雨和灌溉以后，借土壤毛细管的力量，而保持在土壤上层的水分。这种水与地下水无毛管上的联系。当毛管悬着水达

到最大时的含水量，称土壤田间持水量。②毛管上升水是指土壤下层的地下水借毛细管作用而上升，保持在土壤孔隙中的水分。这种水与地下水相连，当地下水位较低时（如3.5m以下），这部分水对农作物无作用；当地下水位较高时（2~3m）该水可被作物部分吸收和利用。当地下水位较高且水中含盐量超过农作物的耐盐度时，则需要有排水措施，降低地下水位，以防止土壤次生盐碱化的发生。

4.重力水 由于土壤颗粒之间的空隙太大，水在土壤中难于保持，变成土壤下层的地下水。这种水，一般对作物无直接作用（浅层地下水开发以后可以利用）。

### （三）土壤含水量的测定

土壤含水量是指土壤所含水分的多少，以烘干后所蒸发的水量占干土重的百分数表示。它是衡量土壤干湿程度的数量指标。用以确定作物的灌水定额及计划用水的依据。测定的方法很多，下面仅介绍我国常用的重量法（又称烘干法）。

1.操作方法 取土样重20g至30g，装入称重的铝盒中，并称出铝盒加湿土的重量，随后放在烘箱中，以105~110℃温度，烘6~8h即可。烘至两次重量的差额数小于0.01g即认为达到恒重，用最后一次称得的重量计算。

$$\begin{aligned} 2. \text{计算公式} \quad \text{土壤含水量}(\%) &= \frac{\text{水分重}}{\text{干土重}} \times 100 \\ &= \frac{B - C}{C - A} \times 100 \end{aligned}$$

式中 A——铝盒重量，g；

B——铝盒加湿土总重，g；

C——铝盒加干土总重，g。

### （四）作物对水量及水质的要求

1.作物对水量的要求 为了满足作物生长的需要，在其生长过程中，需要一定数量的水。但需水多少，又受很多因素的影响。现总结我国各地灌溉试验，提出以下几种主要作物需水量的范围，见表4。

2.作物对水质的要求 农作物除需满足水量的要求外，尚需注意水质。如水中所含的沙、盐、酸、毒以及水的温度等，均属水质范围。对于不同水源取水，分别有不同水质要求。如江、河引水工程，需要调查分析河水的含沙量情况，防止江、河泥沙进入渠中，淤积渠道，增加渠道清淤工作量，在多泥沙河流上引水，要设置沉沙池、冲沙闸等工程。

近年来，泥沙问题已引起学术界重视。据美国对泥沙的实验分析指出：“泥沙本身，不仅是一个巨大的污染物，而且它还是农药和植物腐植质等污染物的唯一媒介。特别是细颗粒（粒径小于0.05mm）泥沙，它像清扫工一样，可以带走农业化学物质一类的其他污染物，化学反应具有吸收或释放其他元素的能力，是造成地表水变坏的重要污染源”……因此，目前关于泥沙的化学性质，已作为美国泥沙研究所补充研究的课题。

又如水库引水，需要研究取水建筑物的形式，取其各层水进行灌溉，避免引来水库底层的低温水，影响农作物生长及人畜健康。

在开发利用地下水时，必需了解地下水的含盐量、化学成份，以及控制水中含毒物

表 4

几种主要作物全生育期需水量范围

(单位: m<sup>3</sup>/亩)

| 作物名称    | 地 区   | 干 旱 年   | 中 等 年   | 湿 润 年   |
|---------|-------|---------|---------|---------|
| 双季稻(每季) | 华中、华东 | 300~450 | 250~400 | 200~300 |
|         | 华南    | 300~400 | 250~350 | 200~300 |
| 中 稻     | 华中、华东 | 400~550 | 300~500 | 200~450 |
| 一季晚稻    | 华中、华东 | 500~700 | 450~650 | 400~600 |
| 冬小麦     | 华北、华中 | 250~500 | 200~400 | 160~350 |
|         | 华东    | 250~450 | 200~350 | 150~280 |
| 春小麦     | 西北    | 250~350 | 200~300 | 150~250 |
|         | 东北    | 200~300 | 180~280 |         |
| 玉 米     | 西北    | 250~300 | 200~250 | 130~180 |
|         | 华北    | 200~300 | 150~200 |         |
| 棉 花     | 西北、华北 | 350~500 | 300~450 |         |

质、酸碱度等。

在有些城郊发展污水灌溉,取得了一定经济效益。但用污水灌溉时,对污水必须加以处理,否则会带来严重后果。如污染水源、破坏土壤、影响农产品质量,甚至造成颗粒无收等等。

对灌溉水质的具体要求详见国家规定的《农田灌溉用水水质标准》,见表5。

表 5

农田灌溉用水水质标准

| 编 号 | 项 目                         | 标 准               |
|-----|-----------------------------|-------------------|
| 1   | 水 温                         | 不超过35℃            |
| 2   | pH 值                        | 5.5~8.5           |
| 3   | 全 盐 量                       | 非盐碱土农田不超过1500mg/L |
| 4   | 氯化物(按Cl计)                   | 非盐碱土农田不超过300mg/L  |
| 5   | 硫化物(按S计)                    | 不超过1mg/L          |
| 6   | 汞及其化合物(按Hg计)                | 不超过0.001mg/L      |
| 7   | 镉及其化合物(按Cd计)                | 不超过0.005mg/L      |
| 8   | 砷及其化合物(按As计)                | 不超过0.05mg/L       |
| 9   | 六价铬化合物(按Cr <sup>6+</sup> 计) | 不超过0.1mg/L        |
| 10  | 铅及其化合物(按Pb计)                | 不超过0.1mg/L        |
| 11  | 铜及其化合物(按Cu计)                | 不超过1.0mg/L        |
| 12  | 锌及其化合物(按Zn计)                | 不超过3mg/L          |
| 13  | 硒及其化合物(按Se计)                | 不超过0.01mg/L       |
| 14  | 氟化物(按F计)                    | 不超过3mg/L          |

续表

| 编 号 | 项 目         | 标 准        |
|-----|-------------|------------|
| 15  | 氟化物(按游离氟根计) | 不超过0.5mg/L |
| 16  | 石油类         | 不超过10mg/L  |
| 17  | 挥发性酚        | 不超过1mg/L   |
| 18  | 苯           | 不超过2.5mg/L |
| 19  | 三氯乙烯        | 不超过0.5mg/L |
| 20  | 丙烯醛         | 不超过0.5mg/L |

注 放射性物质的标准, 应按现行的《放射防护规定》中关于露天水源中放射性物质限制浓度的规定执行。

# 第一章 灌溉用水量的确定

作物生长需要水，水分的来源除天然降水之外，尚需人为补充。依靠人工措施补充作物生长所需的水量，称为灌溉。不同种类作物生长所需要的水量各有差异，其需水量的多少，是灌溉工程设计的主要资料。下面分节介绍作物需水量的估算方法、灌溉制度以及灌溉引用水量的计算。为灌区规划设计和管理运用，提供重要依据。

## 第一节 作物需水量的估算

田间水分消耗的途径有三种：一是作物叶面蒸腾，二是株间蒸发，三是深层渗水。叶面蒸腾和株间蒸发，是作物生长过程中消耗水分的主要形式，一般称为作物需水量，又叫腾发量。叶面蒸腾是作物的生理过程，生长初期蒸腾量小，中期大，黄熟后又减小。株间蒸发是作物植株之间土壤（旱田）或水面（水田）的蒸发，是受气象条件影响的物理现象。其蒸发特点正好与蒸腾相反，作物生长初期苗小，土壤（或水面）覆盖物少，蒸发大；中期蒸发小，黄熟收获后又逐渐增大。深层渗水，是当土壤含水量超过田间持水量，而渗到根系活动层以下的部分。

以上3种消耗，总称为田间耗水量。对于旱田，当灌水量适中时，深层渗水量很少，可忽略不计。因此，旱作物的田间耗水量等于作物需水量。对于稻田，适当的渗水可以调节土壤通气条件，消除有毒物质，有利于水稻生长。因而水稻的田间耗水量为需水量与渗水量之和。在平原区一般日平均渗水量为0.5~1.0mm，山丘区为2~5mm。

不同作物的需水量，应根据叶面积大小、全生育期长短，以及生理活动的强弱而定。同时受地理、气候及人为因素的影响。

在规划设计中，有两种估算作物需水量的方法：一是直接计算作物需水量，其计算方法简单；二是先计算作物潜在需水量，再根据潜在需水量，计算出作物的实际需水量，此法计算有理论依据，但计算比较繁杂。

### 一、直接计算作物需水量

直接计算作物需水量是以试验资料为依据，用统计分析的方法，直接建立的公式来确定作物需水量。此种计算方法均为经验公式法，在我国常用的有以下几种。

#### （一）蒸发皿法（又称“ $\alpha$ ”值法）

由于作物需水量与水面蒸发量同受气象因素的影响，它们之间存在着一定相关关系，用下式表示：

$$E = \alpha E_0 \quad (1-1)$$

式中  $E$ ——作物某阶段（生育阶段或月、旬）内或全生育期内的需水量，mm或 $m^3$ /亩；

$E_0$ ——与计算 $E$ 相同时期内的水面蒸发量，mm或 $m^3$ /亩，采用80cm口径蒸发器或601型蒸发器测定值；

$\alpha$ ——水面蒸发皿系数，为需水量与水面蒸发量的比值，由实测资料确定。在一般条件下，水稻 $\alpha=0.8\sim 1.57$ ，小麦 $\alpha=0.3\sim 0.9$ ，棉花 $\alpha=0.34\sim 0.9$ ，玉米 $\alpha=0.33\sim 1.0$ 。

以上计算方法简单，对于水稻地区，计算误差小于20%~30%，可以采用；对于旱作地区，误差较大，不宜采用。

### (二) 产量法(又称“K”值法)

$$E=KY \quad (1-2)$$

或  $E=KY^n+C \quad (1-3)$

式中  $E$ ——作物在全生育期中的总需水量， $m^3$ /亩；

$Y$ ——作物单位面积产量，kg/亩；

$K$ ——需水系数，代表单位产量的需水量， $m^3$ /kg；

$K$ 、 $n$ 、 $C$ 为系数、经验指数和常数，均由试验确定。

此法计算简单，对于旱作地区，计算误差小于30%，可以采用；对于水稻地区，误差较大，不宜采用。

### (三) 多因素法

根据两个或两个以上因素推算需水量，我国采用的主要是水面蒸发、产量法。

$$E=aE_0Y^n+b \quad (1-4)$$

或  $E=dE_0+eY^m+g \quad (1-5)$

式中  $E$ 、 $Y$ 的意义及单位同公式(1-2)；

$E_0$ 同公式(1-1)；

$a$ 、 $d$ 、 $f$ 为经验系数；

$n$ 、 $m$ 为经验指数；

$b$ 、 $g$ 为经验常数。

以上数据均由试验确定。

多因素法考虑影响因素比以上两法全面，计算误差可以减少，在旱作地区采用较多。

## 二、通过潜在需水量计算作物需水量

潜在需水量是指土壤水分充分，能完全满足作物腾发耗水要求的需水量。通常其土壤含水率为田间持水率的80%~85%以上。

因潜在需水量只受气象条件的影响，故均按日历时段计(月或旬)，根据当时的气象条件，分阶段进行计算。计算潜在需水量的实用方法有以下两种：

### (一) 积温法

$$E_p=ST+C_s \quad (1-6)$$

式中  $E_p$ ——计算时段内潜在需水量，mm/d；

$T$ ——计算时段内的积温， $C^\circ$ ；

$S$ ——经验系数；

$C_i$ ——经验常数。

以上公式用气温推算，计算简单，误差约为25%，适用于干旱、半干旱地区。

## (二) 能量平衡法

根据农田能量平衡原理、水汽扩散原理及空气导热定律，计算作物潜在需水量的半经验公式，是于1943年由彭曼制定的，多年来得到了全世界广泛的采用。联合国粮农组织根据采用后的经验，作了少量的变动，目前所用公式，为改进后的彭曼公式。

$$ET_p = \frac{\frac{p_0}{p} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} \cdot R_n + E_a}{\frac{p_0}{p} \cdot -\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (1-7)$$

公式中各项计算数据查《灌溉排水渠系设计规范》(SDJ217-84)附表1.1~1.10，以下简称《规范》。

式中  $ET_p$ ——潜在需水量，mm/d；

$\frac{p_0}{p}$ ——汽压改正数， $p_0$ 为海平面的平均汽压， $p$ 为计算地点的平均气压；

$\frac{\Delta}{\gamma}$ ——温度的函数；

$R_n$ ——净辐射，用辐射平衡表直接测量；

$E_a$ ——与风速及水气压有关的函数，其计算公式如下：

$$E_a = 0.26(1.00 + 0.54u)(e_s - e_a) \quad (1-7.1)$$

式中  $e_s$ ——饱和水汽压(查《规范》表，下同)；

$e_a$ ——当时当地的实际水汽压；

$u$ ——离地面2m高的风速，m/s，在干旱和半干旱地区，为了考虑干热空气平流的作用和温度层结对风速的影响，需要对风速系数加以修正，其修正值见《规范》。

以上计算潜在需水量，是在假设土壤含水量充分，只考虑气象因素条件计算的。因此，需按作物种类及土壤因素进行修正，其修正值称为作物系数，以  $K_c$  表示， $K_c$  值由实验取得。

计算作物实际需水量公式如下

$$E = K_c ET_p \quad (\text{mm/d}) \quad (1-8)$$

式中  $E$ 、 $ET_p$  同公式(1-1)、(1-7)；

$K_c$ ——作物系数。

## 三、作物需水模比系数

作物各生育阶段的需水量占全生育期总需水量的百分数，叫做需水模比系数，以  $K_i$  表示，其数值通过各种作物的试验取得。

在生产实践中，常先计算作物全生育期需水量，再按条件类似地区试验取得的需水模比系数，求得某一生育阶段的需水量。其计算公式如下：

$$E_i = K_i E \quad (1-9)$$

式中  $E_i$ ——作物某一生育阶段的需水量,  $m^3/亩$ ;  
 $K_i$ ——作物在该生育阶段的需水量模比系数, 以百分数计;  
 $E$ ——作物全生育期需水量,  $m^3/亩$ 。

## 第二节 作物灌溉制度

灌溉制度是指某种作物, 在一定气候、土壤和农业技术措施条件下, 为获得高产和稳产, 而进行的适时、适量灌水的一种方案。它主要是指作物灌水日期、灌水次数、灌水定额和灌溉定额而言。其中: 灌水定额是指每次灌入农田的水量, 灌溉定额是指作物播种前灌水(或稻田插秧前的泡田灌水)与生育期内各次灌水量之和即总灌水量, 其计量单位均为  $m^3/亩$  或  $mm$ 。

灌溉制度是农田灌水的重要依据, 也是制定水利规划、灌溉工程设计、编制灌区计划用水及管理的基本资料。通常确定灌溉制度的方法有以下三种:

(1) 总结群众多年来的灌水实践经验。这是设计灌溉制度的主要参考依据。

在总结群众的丰产灌水经验时, 要调查不同水文年(干旱、中等、湿润)、各种不同作物、不同生育阶段(表1-1)的田间耗水强度( $mm/d$ )、灌水次数、每次灌水时间、灌水定额及灌溉定额等。

表 1-1 主要作物生育阶段的划分

| 作物 | 生育阶段划分 |     |      |      |    |    |    |
|----|--------|-----|------|------|----|----|----|
|    | 1      | 2   | 3    | 4    | 5  | 6  | 7  |
| 小麦 | 分蘖     | 返青  | 拔节   | 抽穗   | 乳熟 | 成熟 |    |
| 水稻 | 返青     | 分蘖盛 | 分蘖末  | 拔节孕穗 | 抽穗 | 乳熟 | 黄熟 |
| 棉花 | 幼苗     | 现蕾  | 开花结铃 | 吐絮   |    |    |    |
| 玉米 | 幼苗     | 拔节  | 抽穗   | 灌浆   | 乳熟 | 成熟 |    |

(2) 根据灌溉试验资料制定灌溉制度。我国绝大部分省区, 建立了灌溉试验站, 有的还建立了中心试验站。试验项目一般包括农作物需水量、灌溉制度、灌水技术等。试验站累计的试验资料, 是制定灌溉制度的科学依据。但在选用试验资料时, 必须考虑两个地区的类似条件和程度。

(3) 按水量平衡原理分析制定作物的灌溉制度。在灌溉水源较为丰富的地区, 根据水量平衡原理, 参照群众的丰产灌水经验和科学试验资料, 制定灌溉制度。此法比较完善, 在生产实践中采用较多。

现根据水量平衡原理, 分别介绍水稻和旱作物灌溉制度的制作方法。

### 一、水稻的灌溉制度

水稻灌溉制度, 可分为泡田期及插秧后的生育期两大部分。

#### (一) 泡田期灌溉用水量计算

水稻在插秧前, 必须将本田灌水、整平, 建立一定的水层深度, 这部分灌水定额称为



泡田定额。其计算公式为：
$$m_1 = 6.67a_1 + 0.667(S_1 + e_1 t_1 - P_1) \text{ (m}^3/\text{亩)} \text{ (1-10)}$$

式中  $a_1$ ——插秧时田面所需的水层深度，cm；

$S_1$ ——泡田期的渗水量，即开始泡田到插秧期间的渗水总量，mm；

$t_1$ ——泡田的天数，一般不超过7~15d；

$e_1$ —— $t_1$ 时期内，水田田面平均蒸发强度mm/d，可用水面蒸发强度代替。

$P_1$ —— $t_1$ 时期内的降雨量，mm。

通常泡田定额按类似田块上实测资料确定。一般当 $a_1$ 为3~5cm条件下，地下水埋深小于2m时，泡田定额约为以下数值：粘土和粘壤土为50~80m<sup>3</sup>/亩，中壤土和砂壤土为70~100m<sup>3</sup>/亩，轻沙壤土为80~130m<sup>3</sup>/亩。

### (二) 插秧后生育期用水量计算

水稻生育期中，根据水稻需水和渗水的实际需要，稻田田面应建立一定数量的水层，并使水层经常维持在适宜水层的上、下限之间。同时为了充分利用天然的降雨量，减少田间的排水量，即在降雨以后，允许田面蓄水层适当加深，其蓄水深度，以不影响作物正常生长为限，用 $H_p$ 表示。

若在某一时段初期，农田水分处于适宜水层上限( $h_{max}$ )，经过一段时间的消耗(蒸腾和渗水)后，田面水层必然下降，达到适宜水层的下限( $h_{min}$ )，如果此时未曾降雨，则需进行灌溉，其灌水定额为：

$$m = h_{max} - h_{min} \text{ (mm)} \quad (1-11)$$

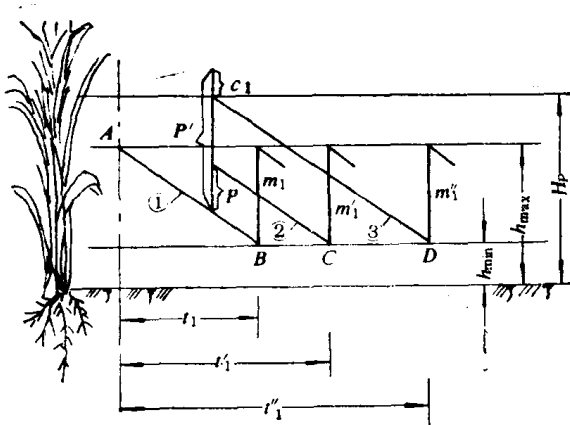


图 1-1 水稻生育期中任一时段农田水分变化图解法

$H_p$ —降雨最大蓄水深度； $h_{min}$ —适宜最小水层深度；  
 $h_{max}$ —适宜最大水层深度

这一过程，可用图1-1加以说明。设某时段初，田间水面高度在适宜水层上限A点，因水量消耗，经过时段 $t_1$ 后，田间水面高度按①线降至适宜水层下限B点，此时需要灌溉，灌水定额为 $m_1$ 。如果时段 $t_1$ 内有少量降雨 $P$ ，则在降雨后，田面水层应回升一个 $P$ 值，再按②线耗水至C点时进行灌溉；若降雨量较大，达到 $P'$ 值，致使水面高度超出允许深蓄水层 $H_p$ 时，则将超出的部分水排除，排水量为 $c_1$ ，然后按③线耗水至D点时再进行灌溉。

根据以上原理，便可用图解法或列表法推算水稻灌溉制度。以下仅介绍列表法。

法。

1. 水量平衡计算 在水稻生育期中，农田水分的变化，决定于该时段内来水和耗水之间的消长，它们之间的关系，可用下列水量平衡方程表示：

$$h_1 + P + m - e - c = h_2 \quad (1-12)$$

式中  $h_1$ ——前一天末的田面水层深，mm；

$h_2$ ——当天末的田面水层深，mm；