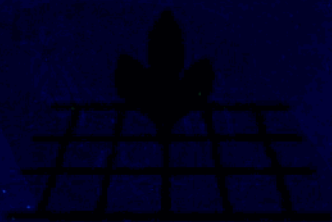


水利科技
推广

灌排工程 新技术

水利部科技教育司
水利部科技推广中心
武汉水利电力大学
(下 册)



中国地质大学出版社



编著、审阅人员名单及分工

主编 刘肇祯 雷声隆

编著审阅人员 (按篇章顺序)

上册 第一篇 李恩羊 (第一~第六章)

袁宏源 (第七章)

茹 智 (第八章)

董冠群审阅

第二篇 张瑜芳 (第一、三章)

沈荣升 (第二章)

张华审阅

第三篇 茹 智 (第一、二、三章)

江仪贞 (第四~七章)

朱树人审阅

下册 第四篇 马文正 (第一、二、四、五章)

白宪台 (第二、六章)

陈炯新审阅

第五篇 沈佩君

陈炯新审阅

第六篇 雷声隆、刘肇祯

萧嘉佑 审阅

前 言

灌溉排水工程是农田水利基本建设中的核心内容,在我国习惯称为农田水利工程学。这是一门古老的科学,在中国有着悠久的历史。随着国民经济的发展和科学的进步,灌溉排水学科本身在深度和广度上日益丰富。灌溉排水工程是农业和国民经济的基础设施。它的发展是与农业紧密相关的,是科技兴农的主要内涵。随着我国水、土资源缺乏局面日趋严重,灌排工程大量兴建和运行管理任务加重,水利环境问题逐渐突出,在作为国民经济基础的农业发展刻不容缓的情况下,灌溉排水科学面临严峻的挑战。目前,在一些新兴科学和电子计算机发展推动下,在社会主义市场经济大发展中,在广大地方农田水利工作者的辛勤创造和科学研究者的深入研究下,灌溉排水理论及技术有了飞速的发展,广大实际工作者和科技人员,进行了大量的创造性的劳动和科学试验,积累了丰富的经验,取得了可喜的成果,大大丰富了灌溉排水学科和工程技术的内容。为了普及和推广这些新进展、新技术,水利部科技教育司组织编写了这本书。

本书比较全面、系统地总结了近些年来在灌溉、排水方面发展的新经验和新成果以及其他学科在灌排工程技术方面应用的新进展,内容是很丰富的。本书内容,曾在全国部分省市县水利局长级学习研讨班上试用3次,效果很好,并广泛吸取了学员意见,作了进一步修改。

全书分上、下两册共六篇。上册三篇:节水灌溉原理和方法,低产田改造,灌区技术管理;下册三篇:灌排系统分析及应用,灌排工程经济,灌排系统环境影响评价。内容安排既包括灌排工程技术发展的新动态,又注意了与农田水利学等学科基础理论的联系,由浅入深,具有较好的可读性;在工程措施内容上,包括行之有效的具体技术措施和经验,还有详细的技术细则和工艺,可操作性好。全书图、文、表并茂,文字力求

通顺。

本书可供广大省、地、县从事灌排工作同志们参考,也可作为农田水利工作者工程继续教育的教材,是农田水利工程专业本、专科学生和研究生的重要参考书。

本书编成后,经陈炯新、董冠群、朱树人、萧嘉祐、张华等专家审阅,他们对全书各篇章提出了许多宝贵建议,特向他们表示衷心感谢。

由于灌排工程技术发展迅速,内容十分丰富,本书编著过程中虽作了大量资料搜集整理,难免仍有许多不足或错误,请广大读者批评指正。

编 者

1993年3月

目 录

第四篇 灌排工程系统分析及应用

第一章 线性规划	(4)
第一节 线性规划问题	(4)
第二节 线性规划问题的数学模型	(6)
第三节 线性规划的求解方法	(7)
第四节 线性规划程序(BASIC 语言)	(20)
第二章 非线性规划	(30)
第一节 概述	(30)
第二节 无约束条件的非线性规划	(34)
第三节 等式约束条件的非线性规划	(43)
第四节 不等式约束条件的非线性规划	(46)
第五节 非线性规划问题的线性化	(51)
第三章 动态规划	(58)
第一节 动态规划的基本原理	(58)
第二节 动态规划的数学模型和解算方法	(66)
第三节 应用举例	(70)
第四章 网络分析技术	(82)
第一节 网络图的组成	(82)
第二节 网络图的编制	(84)
第三节 网络图的时间参数计算	(88)
第四节 关键路线	(96)
第五节 网络分析技术应用举例	(99)
第五章 模拟技术	(104)
第一节 概述	(104)
第二节 水资源系统模拟模型	(106)

第三节	模拟技术中的优选方法·····	(119)
第六章	灌溉排水系统分析中数学模型的建立·····	(127)
第一节	系统模型化的一般概念·····	(127)
第二节	建立数学模型的一般步骤·····	(130)
第三节	目标函数·····	(138)
第四节	约束条件·····	(147)
第五节	模型结构·····	(157)
主要参考文献	·····	(164)

第五篇 灌排工程经济分析

第一章	动态经济计算的理论基础·····	(165)
第一节	资金的时间价值·····	(165)
第二节	现金流量图·····	(167)
第三节	动态计算的基本公式·····	(168)
第二章	工程投资及费用·····	(178)
第一节	投资·····	(178)
第二节	固定资产·····	(179)
第三节	年运行费用·····	(183)
第四节	流动资金·····	(185)
第三章	工程效益分析·····	(186)
第一节	水利工程效益的概念·····	(186)
第二节	灌溉效益·····	(187)
第三节	排水效益·····	(189)
第四节	防洪效益·····	(198)
第四章	水利工程建设和运行方案经济比较方法·····	(207)
第一节	静态分析方法·····	(207)
第二节	考虑时间因素的还本年限法·····	(210)
第三节	动态分析方法·····	(211)
第四节	方案比较方法的特点和评价·····	(228)

第五章 财务分析和不确定性分析	(230)
第一节 财务分析.....	(230)
第二节 不确定性分析.....	(232)
第六章 灌排项目经济评价	(236)
第一节 灌溉工程经济评价.....	(236)
第二节 排水工程经济评价.....	(245)
附录 复利因子查算表.....	(255)
主要参考文献	(266)

第六篇 灌排系统环境影响评价

第一章 环境与环境评价	(267)
第一节 环境与环境质量.....	(268)
第二节 环境评价.....	(270)
第三节 环境质量背景与调查监测.....	(271)
第四节 环境标准.....	(276)
第二章 生态环境与环境污染	(279)
第一节 生态环境.....	(279)
第二节 水污染.....	(285)
第三节 土壤污染.....	(291)
第三章 环境质量现状评价	(296)
第一节 评价的程序.....	(296)
第二节 环境质量指数评价方法.....	(297)
第三节 环境质量分级评分评价方法.....	(306)
第四章 环境影响评价	(308)
第一节 环境影响评价的任务和程序.....	(308)
第二节 中小型水利工程环境影响评价.....	(313)
第三节 中小型水利工程现场简易初评方法.....	(323)
第五章 水和土壤环境影响预测	(327)
第一节 地面水水质模型基本方程.....	(327)

第二节 常用河流水质模型.....	(330)
第三节 土壤环境影响预测.....	(334)
主要参考文献.....	(335)

第四篇 灌排工程系统分析及应用

近几十年来,随着科学技术的飞速发展,特别是电子计算机的广泛应用,使人们有条件改变过去使用比较简单的、孤立的方法去解决问题,而代之以从全局的角度,用相互关联、相互制约的观点去观察、分析与解决问题,将有限的资源,通过科学管理,使之发挥最大的作用。系统工程就是为解决这类问题而产生的新兴科学。

一、系统、系统工程和系统分析的基本概念

1. 系统

系统的定义有很多种,目前尚无公认的统一结论。我国科学家钱学森提出的定义是:“把极其复杂的研究对象称为系统,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分”。从系统的定义可以看出它具备如下特征:

(1) 集合性 即系统具有“若干组成部分”。

(2) 相关性 即系统的各组成部分是“相互作用和相互依赖的”。

(3) 目的性 系统是“具有特定功能的”,建立人工系统必须有明确的目的。

· (4) 整体性 系统各组成部分构成一个“有机整体”。

(5) 环境适应性 任何系统都存在于一定的环境中,必然与外部环境进行物质的、能量的以及信息交换,必须适应外部环境的变化。

2. 系统工程

系统工程是研究系统的工程技术。其定义也有多种,1975年美国科学技术辞典提出的定义是:“研究许多密切联系的单元所组成的复杂系统的设计的科学。应有明确的预定功能及目标,并使各组成单元之间与系统整体之间有机联系,配合协调,从而使系统整体能够达到最佳目标。同时还要考虑系统中人的因素和作用”。由此可见系统工程的特点是:全局性、关联性、最优性和综合性。

3. 系统分析

系统分析是“系统工程的定量化方法”，又称“对系统择优的技术”。系统分析包括两个核心内容：一是系统的模型化，另一是系统的最优化。

(1) 系统的模型化 系统工程所研究的对象非常复杂，要能分析和预测系统运行特性，必须借助于模型。本篇第六章将介绍模型化技术。

(2) 系统的最优化 即用最优化技术对系统进行择优。在灌排系统分析中常用的优化技术有：数学规划(包括线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划)、网络分析、数学模拟技术、大系统优化与多目标决策方法等。以下各章将分别叙述。

二、 系统分析在灌溉排水工程中应用概况

系统分析应用于灌溉工程始于 50 年代中期，1955 年美国哈佛大学制订了一个水资源大纲，1962 年马斯等编著的《水资源系统设计》问世，系统分析在灌溉工程中应用日益广泛，例如，美国加州中央河谷工程的优化调度；埃及的阿斯旺大坝灌溉规划；1974 年美国的安德森与马斯提出的《灌溉系统模拟研究》等。近年来，美国、日本等国家在灌溉系统管理中，将优化技术与自动控制结合，进行实时调度。国外系统分析在城市排水管网的优化规划与设计中应用较多；农田田间排水也有所应用，而在大型除涝排水系统方面应用实例尚不多见。

我国在 50 年代末已开始将系统分析应用于水利工程，而在农田水利中的应用主要自 70 年代末开始，现已有很大进展。在灌溉系统优化方面，主要有：①大型引水、调水工程的最优规划与调度。②灌溉水库与灌区的最优规划与调度。③地面水与地下水联合运用。④灌溉工程优化设计。⑤灌溉制度优化设计等。在除涝排水系统优化方面，主要有：①南方平原圩(湖)区除涝排水系统最优规划与调度。②海涂垦区除涝排水系统最优规划。③暗管排水系统最优规划等。

三、 灌溉排水系统分析的发展与展望

随着灌排系统的发展，综合性越来越强，无论是工程的规划设计，还是运行管理，都需要用系统分析方法加以研究和解决。

在灌溉方面需要进一步研究的问题有：①跨流域引水调水工程的规划和运用。②多种水源联合优化运行。③灌溉系统优化设计和优化管理。④灌溉设计标准论证与可靠度分析等。

在除涝排水方面尚需研究的问题有：①各类易涝地区除涝排水系统最优规划与水土资源最优开发。②已建除涝排水系统的优化管理与减灾对策。③湖泊、河网等调蓄水域的综合开发模式。④地下排水工程的优化设计。⑤除涝标准的经济论证与风险分析等。

考虑到灌排系统中各组成部分之间相互关联的复杂性、水土资源开发的多目标性以及灌排系统运行受多种随机因素影响等，今后尚需进一步发展与完善灌排系统分析中的最优化技术，例如：①大系统多目标优化理论与方法的应用和发展。②随机模型与随机方法研究。③网络分析技术在农田水利工程施工和组织管理中应用。④多种优化技术的综合运用。⑤模糊数学、灰色系统等新理论在灌排系统分析中的应用。⑥专家系统以及决策支持系统的应用等。

第一章 线性规划

规划论是运筹学的重要组成部分,它包括线性规划、非线性规划、整数规划和动态规划等内容。线性规划是水资源系统分析中最常用的优化技术之一,线性规划的理论虽然早在 19 世纪初就由数学家傅立叶(Fourier)提出,而其应用研究开始于第二次世界大战期间。1947 年丹茨格(Dantzig)提出单纯形解法以后,线性规划技术渐趋成熟。由于近年来电子计算机的迅速发展和普及,使线性规划在各个工农业生产建设和经济管理事业中得到了广泛的应用。

第一节 线性规划问题

线性规划问题常见于如下两种情况:一是在规定的任务情况下,寻求投资或资源消耗最小的方案;二是在有限资源的条件下,寻求最有利的开发利用方案,即求得最大效益。举例如下:

问题一 某河流上下游相距 10km 处,已建成灌溉泵站 A、B 两处,灌溉甲、乙、丙三个灌区,如图 4-1-1 所示,各灌区所需供水量的下限分别为 400 万立方米,800 万立方米和 600 万立方米。现 A、B 两站供水能力分别为 1 200 万立方米和 800 万立方米,每万立方米水量的运行管理费见表 4-1-1。

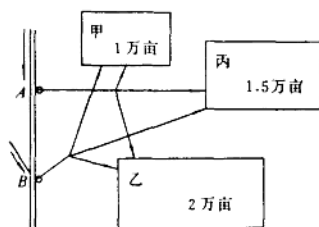


图 4-1-1 灌区及泵站位置

表 4-1-1

供水费用表

(单位:元/万立方米)

灌区名称 \ 泵站	A	B
甲	400	600
乙	300	350
丙	320	380

问 A、B 两泵站应如何对甲、乙、丙三灌区供水,才能使总供水费用最小?

假设泵站 A 对灌区甲、乙、丙供水量分别为 x_1, x_2 和 x_3 , 泵站 B 对灌区甲、乙、丙供水量为 x_4, x_5, x_6 , 则该问题可用下述数学表达式来描述, 并在满足条件下, 使总供水费用 z 最小

$$\left. \begin{aligned}
 x_1 + x_4 &\geq 400 \\
 x_2 + x_5 &\geq 800 \\
 x_3 + x_6 &\geq 600 \\
 x_1 + x_2 + x_3 &\leq 1200 \\
 x_4 + x_5 + x_6 &\leq 800 \\
 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 &\geq 0
 \end{aligned} \right\} \quad (4-1-1)$$

$$\min z = 400x_1 + 300x_2 + 320x_3 + 600x_4 + 350x_5 + 380x_6$$

上述(4-1-1)式数学模型即为线性规划数学模型。

问题二 某水库灌区, 主要种植小麦、棉花和玉米三种作物, 根据气象和水文预报, 明年水库来水量为 1 500 万立方米, 预估小麦、棉花、玉米的毛灌溉定额为 $120\text{m}^3/\text{亩}$, $160\text{m}^3/\text{亩}$, $80\text{m}^3/\text{亩}$, 三种作物预测产值分别为 120 元/亩, 200 元/亩, 80 元/亩, 灌区总面积为 10 万亩, 根据地区种植计划要求, 棉花种植面积不得大于 4 万亩, 问明年这三种作物种植面积应如何安排, 灌区总产值为最大?

设 x_1, x_2, x_3 分别为小麦、棉花、玉米的种植面积, 考虑作物的不同生育阶段, 则这个线性规划问题的数学模型可以写成

目标函数

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{约束条件} \quad \max z = 120x_1 + 200x_2 + 80x_3 \\
 \quad \quad \quad x_2 \leq 4 \\
 \quad \quad \quad x_1 + x_2 \leq 10 \\
 \quad \quad \quad x_2 + x_3 \leq 10 \\
 \quad \quad \quad 120x_1 + 160x_2 + 80x_3 \leq 1500 \\
 \quad \quad \quad x_1, x_2, x_3 \geq 0
 \end{array} \right\} \quad (4-1-2)$$

第二节 线性规划问题的数学模型

上述的线性规划问题可以用如下的数学模型来表达。

目标函数

$$\left. \begin{array}{l}
 \max(\text{或 } \min) z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n \\
 \text{约束条件} \quad \left. \begin{array}{l}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1 (\text{或 } =, \geq b_1) \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq b_2 (\text{或 } =, \geq b_2) \\
 \quad \quad \quad \cdots \quad \quad \quad \cdots \\
 a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq b_m (\text{或 } =, \geq b_m) \\
 x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n \geq 0
 \end{array} \right\} \quad (4-1-3)
 \end{array} \right\}$$

或简单写成

目标函数

$$\left. \begin{array}{l}
 \max(\text{或 } \min) z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\
 \text{约束条件} \quad \left. \begin{array}{l}
 \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i (\text{或 } =, \geq b_i) \\
 \quad \quad \quad (i = 1, 2, \cdots, m) \\
 x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \cdots, n)
 \end{array} \right\} \quad (4-1-4)
 \end{array} \right\}$$

式中: x_j ——决策变量或简称变量, 共有 n 个;

a_{ij} ——线性规划结构系数;

b_i ——约束条件的右端常数项, 约束条件 m 个;

c_j ——价值系数或价格系数。

如果上述线性规划数学模型中的约束条件全部是等式约束,则称其为线性规划的标准型,即

目标函数

$$\max(\text{或} \min) z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

约束条件

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

线性规划的求解计算,使用标准型比较方便,当约束条件为不等式时,可用以下办法将其转化为等式约束。

如原约束为

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

则引入松弛变量 x_{n+1} , 约束条件可改写为

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + x_{n+1} &= b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ x_{n+1} &\geq 0 \end{aligned} \right\}$$

如果原约束是

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

则引入松弛变量(或称剩余变量),原约束成为

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - x_{n+1} &= b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ x_{n+1} &\geq 0 \end{aligned} \right\}$$

第三节 线性规划的求解方法

一、线性规划的图解法及几何概念

两变量的线性规划问题可用图解法求解。

某地区拟开发 A 和 B 两个抽水灌区,根据经济效益分析,A 和 B 两

灌区建成后的年净效益分别为 20 元/亩和 30 元/亩。两灌区开发要求的三项主要资源条件和资源的限制量如表 4-1-2 所示。试决策经济效益最大的开发方案。

表 4-1-2

灌 区	要求的资源条件		
	电力(kW·h/亩·年)	资金(元/亩)	劳力(工日/亩)
A	10	100	20
B	32	90	40
资源限制量	280×10^4 (kW·h/年)	$1\,560 \times 10^4$ (元)	400×10^4 (工日)

设 A 和 B 两灌区的开发面积分别为 x_1 和 x_2 万亩,灌区总效益为 z ,则可构成如下线性规划数学模型:

$$\left. \begin{aligned} \max z &= 20x_1 + 30x_2 \\ 10x_1 + 32x_2 &\leq 280 \\ 100x_1 + 90x_2 &\leq 1560 \\ 20x_1 + 40x_2 &\leq 400 \\ x_1, x_2 &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (4-1-5)$$

这是两个决策变量,即二维的线性规划问题,可以用图解的方法求得最优解。

将三个不等式约束相应的等式 $10x_1 + 32x_2 = 280$ 及 $100x_1 + 90x_2 = 1\,560$ 和 $20x_1 + 40x_2 = 400$ 所确定的直线①、②、③绘于图 4-1-2 上表示三个不等式约束区域的边界,满足这三个不等式约束的区域显然一定位于这三条直线的左下方。满足非负约束 $x_1 \geq 0$ 和 $x_2 \geq 0$ 的区域必定在 x_1 和 x_2 坐标规定的第一象限内。所以,满足全部约束条件的区域则为 OABCD 凸多边形所包围的区域,并包括凸多边形各条边本身,人们称这个区域为可行域,即可行域上任何一点的坐标都满足所有的约束条件,可以作为相应线性规划的一个可行解。

目标函数 z 是决策变量 x_1 和 x_2 的线性函数。将目标函数 $z = 20x_1 +$

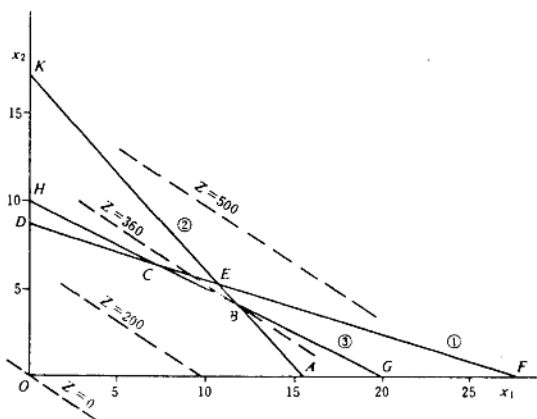


图 4-1-2 线性规划图解

$30x_2$ 改写为 $x_2 = -\frac{2}{3}x_1 + \frac{z}{30}$, 显见, 一定的 z 值相应于一条直线, 如 z 值分别为 0, 200, 360 和 500 时的四条直线如图 4-1-2 中虚线所示, 越向上, 目标函数值越大, 这些相互平行的直线称为目标函数的等值线。就本题而论, 通过 B 点的等值线是与可行域相交的等值线中目标函数值最大的一条, 即 B 点坐标 $x_1 = 12, x_2 = 4$ 是最优解。其目标函数 $z = 20 \times 12 + 30 \times 4 = 360$ 。实际图解时, 只要划出任一条目标函数线, 以该直线斜率 $(-\frac{2}{3})$ 推出平行线, 当直线将脱离可行域时与可行域边界交点即为线性规划的最优解。

由图解可以知道线性规划的解一定位于凸多边形可行域的某个顶点(极点)上。如果目标函数等值线与凸多边形的一条边平行时, 则该边两个端点之间所有点都为最优解。这为最优解的特殊情况。

将式(4-1-5)引入松弛变量 x_3, x_4, x_5 可转变成标准型如下