



水量转换

实验与计算分析

刘昌明 任鸿遵 主编

科学出版社

65,2634
194

水量转换实验与计算分析

刘昌明 任鸿逵 主编

科 学 出 版 社

1988

内 容 简 介

本书是我国第一部专论降水、地表水、土壤水、地下水与生物水之间相互转换的研究成果。全书分为降水、蒸发、入渗、径流、土壤水、地下水和水量转换综合研究四大部分，共22篇论文。分别论述了各种水的形成过程、测定与计算方法和它们之间的转换机制，着重探讨了土壤水的时空变化关系，建立了华北地区地下水模型与计算参数，利用经验方法和同位素进行了地下水补给与排泄计算，讨论了地表水与地下水联合利用问题等。

本书是在综合实验基础上撰写而成。内容丰富、成果新颖，书中附有各种图表300多个，本书对农业合理灌溉与充分利用土壤水等问题具有重要的理论与实践意义。可供水文、水资源、农业、地理等有关方面的科研与教学人员参考。

水量转换实验与计算分析

责任编辑 吴三保

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

北京市怀柔黄坎印刷厂印刷

新华书店北京友行所发行 各地新华书店经售

*

1988年9月 第一版 开本：850×1168 1/32

1988年9月第一次印刷 印张：11 1/4 插页：1

印数：0001—1,080 字数：283,000

ISBN7-03-000890-1/P·152

定价12.80元

序

水量转换作为水循环的具体研究，既是现代水文过程的一个中心问题，也是现代自然地理过程的基本课题之一。水循环过程中伴随着一系列的水量交换，不仅使水圈中海洋与大陆的水体联系在一起，而且把水圈与组成自然界的其它水分——大气圈、生物圈以及土壤岩石圈中的水连贯起来，成为一个系统。这是人们认识全球与局地水情动态的重要宏观概念。在地理环境过程中，水的运动与转换是极其活跃的。地表的物质与能量交换，包括地表物理的、化学的以及生物的过程。例如，地貌塑造中的侵蚀、搬运与沉积，化学地理景观中的地表化学元素的迁移与转化、气候形成中的热量调节与传输、植物生育中的蒸腾与光合作用等多种过程，它们都和水量转换有着密切的关系。

从国际水文10年（1965—1974年）以及嗣后的国际水文计划的前三个阶段（1975—1989年）的研究活动来看，水循环与水平衡研究始终是主题之一，并贯穿到其他若干专题之中。在国内，水资源评价和水资源开发、利用与管理，特别是华北平原缺水及其对策（包括南水北调）的研究中，均涉及水量计算这一基础性的问题。其中，一种流行的提法——四水转换（或四水转化）的研究，成为众所关注的理论课题之一。所谓四水转换，是从水资源计算评价的角度，而提出的降水、地表水、土壤水与地下水相互转换关系问题。有的不包括降水，又称“三水转换”。这与国际上采用的地表水与地下水关系（Interaction between surface water and groundwater）术语的含意相当。因为它的研究可以解决水资源评价中的重复计算的问题，同时又是现代水资源开发——水资源联合利用的科学依据，所以具有重要的意义。本书是在综合实验资料的基础上，采用现代水文学的观点

和方法，对水量转换各个环节的机制进行了探讨，并建立了一系列的模型。为该项课题的深入研究及水资源的联合利用奠定了基础。这是目前国内第一本关于水量转换的专论性文集。希望能起到抛砖引玉的作用，吸引更多的学者从事这一方面的研究。

左大康

1988年5月

前 言

随着水文-水资源学的发展以及在生产中提出的有关水资源组成、计算和调节运用的一系列问题，于是要求深入研究自然界中各种水（降水、地表水、土壤水、地下水以及生物水）形成的机制与它们之间互相交替、演变的关系。为此，我们在中国科学院院内基金的支持下，于1985—1988年开展了这一项目的研究。

水量转换，属于水文学与地学的基础研究。该项研究必须建立在实验的基础上。考虑到实验的代表性，我们除了利用中国科学院禹城综合实验站进行研究外，还与安徽宿县水利局桃园站、山东省、中国科学院南四湖蒸发站、中国科学院北京大屯农田生态试验站、中国科学院石家庄农业现代化研究所栾城农业生态站以及河南禹县白沙水库排灌站等单位进行协作，并取得了大量与四水转换有关的专项观测与采样资料，包括地面式降水、土壤水空间变异采样、12.5米深的剖面土壤水分与土水势、各站土壤水分通量与零通量面以及地下水位与地下水排泄等等实测数据。本书便是在上述珍贵信息的初步整理与分析的基础上撰写而成。全书共分四个部分，包括22个专题，300多张图表。

(1) 水量转换的综合研究。讨论了在水循环过程中各种形式水量转换的基本特点和研究方法，地表水与地下水联合利用问题，并探讨了应用天然同位素的方法来示踪水量的转换。

(2) 降水、蒸发、入渗的径流。首先讨论了现行降水量测定方法的空间代表性及降水参数的订正问题。进而研究了水面蒸发与农田蒸散量的计算方法、入渗曲线的拟合和单元产流的问题以及建立离散化的水文系统模型。

(3) 土壤水。土壤是各种水量转换的纽带。本书讨论了土壤水分的时空变化关系，研究了土壤水分运动的计算方法——零

通量面法与数值模拟法。最后对土壤水资源进行了综合评价。

(4) 地下水。利用目前国际上较先进的边界元法与有限元法，建立地下水模型和计算参数。同时还利用经验的方法和天然同位素法，来进行地下水补给与排泄的计算。

由于水量转换的问题广泛，内容复杂，而且因时因地而异，我们在有限的3年研究时间内，不可能面面俱到，包罗万象。因而研究工作侧重在水资源问题较多的华北平原地区。

水量转换研究需要有长时间系列的实验数据。我们认为，除对现在取得的资料作进一步分析外，有必要进行长期的观测，并扩充实验的内容，使我们能在现有成果的基础上，继续深化对水量转换的研究。

需要说明的是，为保持野外测量数据的面貌，书中计量单位暂保留原用单位，如千卡（应改焦尔）、厘米水柱（应改帕）等。

在本项目的研究中，我们受到了中国科学院资源环境局与各实验站主管单位领导和科技人员的指导与帮助。科学出版社吴三保同志负责了本书的编辑工作。谨此一并感谢。

刘昌明 任鴻遵

1988年5月

INTRODUCTION

Interaction between surface water and groundwater can be resembled and referred to a kind of study on water cycle, which is not only a key project of hydrological processes, but also a basic issue of recent physiographic processes. Water cycle is of significance and it connects together all parts of hydrosphere; sea water and continental water as well as water in atmosphere, biosphere and soil-lithosphere, so that we can generalize the water interaction either in a globe extent or in a local area. In this process all physiographic processes rapidly respond to water exchange, e.g., landform evolution, climate change, dissolved matter movement and biologic production transpiration. Therefore, study of interaction of water bodies is of great importance in hydrological development and water management.

To meet water consumption of human society, an optimal development of available water resources has been encouraged to make use of surface and soil-ground waters conjunctively. For instance, the North China Plain has limited water for all users and overdraft of ground water results in changing water cycle in a wide area of the plain. Consequently, this would

lead to the degradation of the environment. According to our investigation in this area, the existed environmental changes have included a number of issues, such as land subsidence, sea water intrusion, increase of drought injury for crops due to groundwater table decline. Sometimes, in large-scale irrigation area the second salinization of soil can be resulted from unreasonable flooding. Obviously, many issues have been left open, especially due to the lack of basic knowledge on the interaction either between surface water and subsurface water or between water and the environment.

In order to deepen the understanding of self-regulation of water interaction among hydrological states, our research work has been conducted with a support offered by the Science Foundation of the Chinese Academy of Sciences since 1985 for 3 year period. This book is one of the results we have worked preliminarily. It consists of 22 topics of specific research divided into four parts; (1) general study of air, surface, soil and ground water interactions; (2) precipitation, evaporation, infiltration and runoff; (3) soil water and (4) groundwater (see the list of contents attached). There are many interesting results from the above-mentioned parts illuminating this book, such as the role of soil water in the interaction between surface water and ground-water, the

regulation of zero flux plane formation in soil profile, correction of rainfall observation, evapotranspiration determination, numerical simulation of rainfall and runoff relation, boundary element and finite element models for ground water flows, isotope tracing ground-water recharge etc.. The main attempt of the project would be towards the integration of water system and the development of conjunctive use of water resources including soil water, which is of importance in agricultural production.

The problem of air, surface, soil and ground water interactions is so complex that includes several processes and many unknown factors remained to determine. Thus, it is necessary to carry out experimental work in the field. In consideration of importance in the North China Plain's water problems, the field study of such interactions has been conducted mainly at Yucheng Experimental Station in Yucheng County, Shandong Province and other five station located in Suxian County of Anhui Province, Nansi Lake of Shandong Province, Luancheng County of Hebei Province, Yuxian County of Henan Province and Datun Township of Beijing City have been selected as the associate points. A number of valuable observation data obtained from these stations is applied to analyzing the interaction between surface water and subsurface water.

Llu Changming Ren Hougzun

目 录

序.....	(vi)
前 言.....	(viii)

第一部分 水量转换的综合研究

水量转换的若干问题.....	刘昌明 (3)
地表水平衡的模式及其应用.....	沈建柱 赵楚年 (22)
应用天然水同位素示踪水量转换.....	程汝楠 (33)
适宜土壤水分条件下小麦根系吸水模式.....	
.....	由懋正 张喜英 袁小夏 (51)
地表水与地下水相互转换及联合运用问题.....	
.....	任鸿遵 (58)

第二部分 降水、蒸发、入渗与径流

实测降水的订正.....	
.....	任鸿遵 刘昌明 袁小夏 张永忠 (75)
降水量空间分布的确定.....	任鸿遵 (90)
华北平原水面蒸发的计算与分布.....	
.....	洪嘉璵 陈德亮 (101)
农田蒸散量计算.....	刘昌明 洪嘉璵 金 淮 (116)
入渗曲线的拟合与单元产流.....	于静洁 刘昌明 (129)
降雨径流关系的数值模拟.....	王广德 过常玲 (138)

第三部分 土壤水

土壤水分空间变异性与时间稳定性.....	
.....任鸿遵 张道帅 张殿友 (157)	
不同种植地的土壤水分动态.....	
.....李宝庆 杨克定 张永忠 (174)	
土壤水零通量面及其变化规律.....	
.....刘昌明 俞超群 李宝庆 (186)	
土壤水交换过程的数值模拟.....	梁季阳 (204)
地下水埋藏较深情况下的土壤水分剖面试验.....	
.....袁小夏 由懋正 张喜英 (211)	
土壤水的资源评价.....	刘昌明 (222)

第四部分 地下水

砂姜黑土区地下水均衡分析.....	
.....张道帅 任鸿遵 欧明平 (247)	
土壤水分含量对降雨入渗补给系数的影响.....	
.....张永忠 李宝庆 (260)	
由天然水同位素的组成探讨地下水补给问题.....	
.....程汝楠 (275)	
地下水流边界单元模型的建立及参数估计.....	张永忠 (287)
有限单元法在平原区地下水流模拟模型中的应用.....	
.....张道帅 刘昌明 任鸿遵 (313)	

AIR, SURFACE, SOIL AND GROUND WATER INTERACTIONS

Experiment, Calculation and Analysis

CONTENTS

Introduction..... (vi)

Section 1. General Aspects of Air, Surface, Soil and Ground Water Interactions

Some Problems on Water Interaction among
Hydrological States..... *Liu Changming* (3)

A Surface Water Balance Model and Its
Application.....
..... *Shen Jianzhuang and Zhao Chunian* (22)

Tracing Water Interaction by Using
Natural Isotopes..... *Cheng Runan* (33)

Water Absorption Model of Wheat Root
System under Adequate Soil Moisture...
..... *You Maoz
heng, Zhang Xiyang and Yuan Xiaoliang* (51)

Interaction and Conjunctive Use of
Surface Water and Groundwater.....
..... *Ren Hongzun* (58)

Section 2. Rainfall, Evaporation, Infiltration and Runoff

Correction of Measured Precipitation.....
..... *Ren Hongzun, Liu Changming,*

<i>Yuan Xiaoliang and Zhang Yongzhong</i> (75)	
Determination of Spatial Distribution of	
Precipitation.....	<i>Ren Hongzun</i> (90)
Estimation and Distribution of Water	
SurfaceEvaporation in the North China	
Plain.....	<i>Hong Jialian and Chen Deliang</i> (101)
Estimation of Field Evapotranspiration	
<i>Liu Changming, Hong Jialian and Jin Huai</i> (116)	
Infiltration Curve Fitting and Elemental	
Runoff Generation.....	
.....	<i>Yu Jingjie and Liu Changming</i> (129)
Numerical Simulation of Rainfall-Runoff	
Relations	<i>Wang Guangde and Guo Changling</i> (138)

Section 3. Soil Water

Spatial Variability and Temporal Stabi-	
lity of Field Soil Moisture.....	<i>Ren</i>
<i>Hongzun, Zhang Daoshuai and Zhang Dianyou</i> (157)	
Soil Moisture Dynamics of Farmland	
with Different Crops.....	<i>Li</i>
<i>Baoqing, Yang Keding and Zhang Yongzhong</i> (174)	
Zero Flux Plane of Soil Water and Its	
Appearance Regulation.....	
<i>Liu Changming, Yu Chaoqun and Li Baoqing</i> (186)	
Numerical Simulation of Water Exchange	
in Soil.....	<i>Liang Jiyang</i> (204)
Experimentation of Unsaturated Soil	
Profile with Deep Buried Groundwater	
Table.....	<i>Yuan</i>
<i>Xiaoliang, You Maozheng and Zhang Xiyang</i> (211)	

Assessment of Soil Water Resource.....

..... *Liu Changming* (222)

Section 4. Groundwater

Groundwater Balance Analysis in the
Shajiang black Soil Region.....*Zhang*

Daoshuai, Ren Hongzun and Ou Mingping (247)

Soil Moisture Effect on Groundwater
Recharge Coefficient of Rainfall Penet-

ration.....*Zhang Yongzhong and Li Baoqing* (260)

Groundwater Replenishment Analysis
through Isotope Composition of Water

in the Nature*Cheng Runan* (275)

Boundary Integral Equation Method for
Groundwater Modelling and Determi-

nation Parameters.....*Zhang Yongzhong* (287)

Application to Finite Element Equation
Method of Groundwater Simulation.....

..... *Zhang*

Daoshuai, Liu Changming and Ren Hongzun (313)

第 一 部 分

水量转换的综合研究

SECTION 1. GENERAL ASPECTS
OF AIR, SURFACE, SOIL AND GROUND
WATER INTERACTIONS

