

谢新民 杨小柳 著

半干旱半湿润地区 枯季水资源 实时预测理论与实践



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

半干旱半湿润地区 枯季水资源实时预测 理论与实践

谢新民 杨小柳 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是在总结半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测(预报)研究成果的基础上完成的,系统阐述了作者近年来在枯季水资源实时预测(预报)方面的研究成果,其中包括枯季河川径流、枯季地下水可开采量及水位、枯季需水量预测(预报)理论和方法等内容。本书以大量翔实的资料和坚实的科研实践为基础,根据可持续发展的观点和思想,通过全面研究和重新认识大埋深条件下半干旱半湿润地区产汇流规律,地下水补给、径流和排泄关系,以及社会经济发展需用水机制,以保定市所辖区域为例,对枯季地表水资源、地下水资源和需水量等实时预测(预报)问题及枯季水资源供需前景进行了深入研究和分析。

本书既有理论和方法方面的论述,又有实例成果和实际经验的介绍,内容丰富、简明实用,可供各级水行政主管部门、水文部门和有关科研单位从事水资源预测、供需分析、管理与调度等方面的管理、技术人员及大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测理论与实践/谢新民, 杨小柳著. —北京: 中国水利水电出版社, 1999

ISBN 7-5084-0173-5

I. 半… II. ①谢… ②杨… III. 干旱区-枯季径流-水资源-预测 N. TV21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 64506 号

书 名	半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测理论与实践
作 者	谢新民 杨小柳 著
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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	850×1168 毫米 32 开本 8 印张 213 千字
版 次	1999 年 12 月第一版 1999 年 12 月北京第一次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	25.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序 一

众所周知，在我国半干旱半湿润地区水资源的供需关系最为紧张，而其中又尤以每年春暖以后至汛前这一阶段最为严峻。这时河流处于枯水时期，降水量又很少，地下水以消耗为主，补给量比较少，但此时农作物却开始进入生长季节，耗用水量不断增加，水资源的供需矛盾十分突出，从而造成各部门用水相互挤占，有些地区、有些时段甚至出现严重的水危机，不时出现各自为政、以邻为壑、争水抢水的局面，水事纠纷案件时有发生；或不顾大局，利用有利地理位置和地势，过量引水，既造成用水的大量浪费，又导致其下游地区来水量减少，甚至出现断流；或无限制地超采地下水，造成大范围的地下水位下降，导致地下水开采并出水流量不断衰减，以至于出现吊泵，目前我国华北地区机井已更新了三、四代；更为严重的是，有些地区还出现了地面沉降和地裂缝，造成大量建筑物和基础设施等严重破坏。由于对水资源的管理力度不够，缺乏科学合理的水资源调控手段，水行政主管部门对枯季地表径流和地下水的变化心中无数，不能事先根据枯季水资源丰枯形势的预估，对各种用水计划作出合理的安排，并及时提出应采取的措施，科学调度水资源，以最大限度地满足各方面的用水需求，从而使得水资源问题越加尖锐，目前已成为阻碍经济发展和引发社会不安定的重要因素之一。

面对 21 世纪我国经济和社会的发展，各种用水量在一个相当长的时期内还将继续增加，水资源问题将变得更加复杂和严峻。如何科学、有效地利用当地有限的水资源（包括地表水和地下水资源），并坚持水资源可持续开发利用的原则，是当前十分迫切需要研究和解决的课题。因此，进一步提高水资源管理工作中的科技含量，使一切工作建立在深入认识客观规律和运用先进理论与技

术的基础上，则是非常必要和紧迫的。

我国在水文预报和预测方面，积累了许多好的、成功的经验，在对防汛工作至关重要的洪水预报方面，无论在理论和方法上都有许多创新，并通过大量实践工作的检验，有的已达到国际先进水平。但在枯季径流预报和预测方面，则显得比较薄弱。在实际工作中，以前对枯季径流预报和预测多限于利用经验的、比较简单的方法，远不能适应当前生产实践和水资源管理、调度的需要。在我国东部广大浅丘陵和平原地区，地表径流与浅层地下水关系密切，对枯季地下水可开采量及水位变化的预测研究，开展得也很不够，因而缺少合理调配地表水与地下水资源的有力依据。

由于人类开发利用水资源的活动不断加强，一些地区地表水与地下水在形成、相互转化和运移规律等方面发生了较大变化，单纯建立在分析过去资料基础上的经验性方法已远不能适应这种变化。因而，需要从更深层次上重新认识这些变化规律，建立能模拟这些变化规律的数学模型，研究其中参数变化的幅度、量级和趋势。因此，需要不断吸收先进的科学理论和方法中的优点，掌握其内容实质，并在具体应用中加以改进和完善，以适应不断变化的各种条件。

该书作者在长期的科学研究和工作实践的基础上，对国内外先进的、可用于枯季水资源预报和预测的理论与方法进行了比较系统的研究和介绍，对各种方法的使用条件、优缺点等进行了比较全面的分析，并以我国实际地区为例进行应用，在使用中对有些方法进行了改进和完善，得出了切合实际的结果。该书从理论、方法到实际操作的阐述，条例清楚，便于读者学习、深入理解和熟练掌握，为在实际工作中融会贯通地灵活运用这些方法提供了便利条件。可期望广大使用者通过大量的实践工作，不断进行检验，进一步改进枯季水资源预报和预测工作，创造并不断积累实践经验。

我国水文学界历来有一条重要的经验，就是在引进一些先进的理论和方法时，总是要通过大量实践，结合我国的实际条件进

行改进，而不是囫圇吞枣和照搬照抄。只有这样，才能真正切合实际地解决我国的具体问题，推动我国科技事业的蓬勃发展。

该书在半干旱半湿润地区枯季水资源实时预报和预测方面为我们提供了较好的范例。衷心希望该书的问世，能有利于推动我国枯季水资源实时预报和预测工作的开展，定期公开发布实时测报信息，帮助各级水行政主管部门管好、用好和保护好枯季十分有限的水资源，更好地为我国的经济和社会发展服务。同时，该书的出版也在一个方面充实了我国水文科学的内涵，这是非常有意义的。

陈家琦

1999年7月 于北京

序 二

半干旱半湿润地区是我国水资源供需矛盾十分突出的地区。以位于该区的黄河、淮河、海滦河和辽河等流域为例，其经济发达，人口众多，人均水资源占有量仅有几百立方米，亩均水资源占有量不足 500m^3 ，在国际公认的贫水线以下；而枯季的水资源供需矛盾尤为尖锐，目前已严重地制约了这一地区社会经济的持续、健康发展。如何充分地利用有限的水资源、以保障社会经济发展的用水需求，已成为当前亟待研究和解决的重要课题，并引起了社会各方面的广泛关注。

为解决枯季的水资源供需矛盾问题，需要着重抓好两个方面的工作：一是在宏观规划上对水资源进行合理配置；二是在日常管理中实施计划用水和科学调度。关于前者，近 20 年来在我国半干旱半湿润地区研究得比较多，取得了丰硕的成果；而后者，则进展不大，其关键原因是尚缺乏一整套实用的枯季水资源实时预测技术作为支撑，从而很难及时获得枯季水资源丰枯形势的预测信息。实践证明，没有可靠的水情测报结果作为依据，水量分配协议、用水计划和节水计划等都将无法科学地付诸实施，也难以对水资源进行合理调度。因而，枯季水资源实时预测工作对于水资源的合理开发和高效利用具有十分重要的现实意义。

由于受季风气候的影响，我国半干旱半湿润地区干湿季节分明。干季（枯季），降水量稀少，枯水期持续时间长，而此期间又恰是农业用水的高峰季节，为供水的关键时期。而供水主要来自工程蓄水、河川径流和地下水。河川枯季径流主要是由流域蓄水补给，流量过程一般呈现较稳定的消退规律，这一特点为较长预见期的枯季径流预测提供了理论依据和有利条件。由于枯季降水量比较少，一般不会对地下水产生明显的补给作用，因此较容易

准确地预测出枯季地下水的补给量、可开采量和时空分布情况等。

该书论述了适用于我国半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测的多种理论和方法，并系统地介绍了在河北省保定市所辖区域进行试点的实践经验和成果。内容既包括地表水预测，也包括地下水预测，并对枯季需水量和供需平衡进行了预测与分析。这是我国首部关于半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测研究方面的学术专著，它在理论和实践两个方面都取得了可喜的成果。

可以预期，该书的出版将有力地推动我国广大半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测工作的开展；对合理利用枯季的水资源，缓解枯季水资源严峻的供需矛盾，对我国 21 世纪社会经济的可持续发展、保障水资源供给都将发挥积极作用。

赵珂

1999 年 8 月 于北京

前 言

随着我国社会经济的持续、健康、快速发展，工农业生产和人民生活以及生态环境等方面的需水量急剧增加，水资源供需矛盾日益尖锐，尤其是我国半干旱半湿润地区，水资源已成为严重制约其社会经济发展的重要因素。例如我国的华北地区，其人口和耕地面积分别占全国的11%和14%，工、农业生产总值分别占全国的14%和13%，而水资源量却仅占全国的1.9%，属于人多、地多、水资源却十分短缺的地区。由于水资源与人口、耕地资源的分布、经济发展的格局极其不相匹配，导致了水资源的掠夺性开发利用，地下水位大幅度持续下降、地下水开采降落漏斗范围不断扩大，河道断流、湖泊干涸，生态环境日趋恶化，对社会经济与生态环境的协调、健康和可持续发展产生了严重影响。

我国的半干旱半湿润地区是小麦、棉花主产区，同时还盛产杂粮、油料、糖料等多种作物。该地区一般冬春季节干旱少雨，夏秋季节降雨比较集中，全年降水日数为80~100天。而每年干旱少雨的枯水季节，又恰是农业用水的高峰期，主要的粮食作物大多生长在这个季节。如果汛后能及时预测出汛后至第二年汛前水资源的丰枯形势，帮助有关政府决策部门了解和掌握枯季水资源紧缺程度，则对于制定当年秋季的小麦播种计划和来年春季的供水计划，实现枯季水资源的合理开发和高效利用具有重要的实际指导意义。以前，我国对汛期的洪水预报问题研究得比较多，而对枯季水资源预报（预测）问题则研究和关注得比较少，截至到目前为止，我国历史上还没有系统地开展过“枯季水资源实时预报（预测）”工作。因此，枯季水资源（包括地表水、地下水资源）实时预报（预测）的研究和应用工作，在我国仍是一项空白。

基于上述考虑，根据我国半干旱半湿润地区水文水资源特点

和供用水特征,分析和研究枯季水资源实时预测的理论与方法,全面开展枯季水资源实时预测工作、定期发布实时预测结果,为制定供用水计划与合理地安排生产提供科学依据,以缓解我国半干旱半湿润地区日趋严峻的枯季水资源供需矛盾,不仅具有重要的理论和学术价值,而且具有重大的现实意义。为此,选择了河北省保定市作为枯季水资源实时预测的试点。根据人类大规模活动对下垫面条件等所产生的深刻影响,以及相应形成的降雨—产流规律,利用当代先进的理论和方法,研究和提出了一整套适合于枯季水资源实时预测的成熟技术,为在我国半干旱半湿润地区全面开展枯季水资源实时预测工作奠定理论基础和提供技术保障。试点研究的主要内容包括:

(1) 枯季地表水资源实时预测:以省、地市或县行政区为预测单元,分析降雨与径流等实测资料系列,研究确定影响枯季降雨与径流的主要因素以及其变化规律;利用相关分析法和人工神经网络技术等,分析预测枯季地表水来水量或湖泊水位。

(2) 枯季地下水资源实时预测:分析地下水形成规律和补给、径流、排泄条件、含水层分布与富水性、地下水埋藏条件及其动态特征等;划分参数分区与确定有关参数;利用均衡法或数学模拟模型法,分析预测枯季地下水可开采量或地下水位分布。

(3) 水库汛末蓄水量分析:分析和统计各水库的汛末蓄水量,研究确定各水库的枯季腾空水量。

(4) 枯季可供水量预测:枯季可供水量由枯季的地表水可供水量和地下水可开采量所构成。根据各水库的枯季腾空水量、山丘区枯季地表水来水量预测值和平原区枯季地下水可开采量预测值,以及未控区枯季径流量的估算等,计算和预测枯季水资源可供水量。

(5) 枯季需水量预测:根据上一年度枯季的实际用水量,考虑新增的用水户、新增灌溉面积和节水技术的应用与推广等因素,分别按农业、工业、生活和生态环境等四类进行枯季需水量预测。

(6) 枯季水资源供需前景分析:根据所预测出的枯季可供水

量和需水量，利用水量供需平衡法或模糊划分理论与模型，分析枯季水资源的供需前景和丰枯形势，研究确定枯季水资源紧缺程度，为有关决策部门编制年度供用水计划、合理安排生产提供依据。

我们在已有的研究和试点工作成果基础上编写完成了这部“枯季水资源实时预测”方面的学术书籍，希望本书的公开出版和发行，能积极促进和推动我国半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测工作的全面开展与不断完善，同时也为我国其他地区开展类似工作提供参考。

全书共分两部分，第一部分为理论篇，包括第一章～第四章，主要分析和论述了枯季水资源实时预测的有关理论与方法；第二部分为实践篇，包括第五章～第八章，主要介绍了试点区枯季水资源实时预测的研究和应用成果。

在本书的编写过程中，曾得到我国水利界前辈陈家琦和赵珂经两位先生的热忱指导，他们对全书进行了审定，提出了许多宝贵的意见，在此谨表由衷的感谢。

由于编写时间仓促，作者水平所限，不当之处恳请读者批评指正。

作 者

1999年6月20日

目 录

序一	
序二	
前言	

第一部分 理 论 篇

第一章 河川枯季径流实时预测	3
1.1 预测的理论依据	3
1.2 退水曲线法	5
1.3 前后期径流量相关法	7
1.4 回归分析法	8
1.4.1 一元线性回归分析法	9
1.4.2 多元线性回归分析法	13
1.4.3 逐步回归分析法	15
1.5 数理统计法	16
1.5.1 自回归模型 $AR(p)$	17
1.5.2 滑动平均模型 $MA(q)$	23
1.5.3 自相关—滑动平均模型 $ARMA(p, q)$	27
1.5.4 非稳定性分析	29
1.5.5 随机模型的应用分析	30
1.6 模糊数学法	34
1.6.1 模糊模式识别法	35
1.6.2 模糊聚类分析法	36
1.6.3 模糊综合评判法	42
1.7 灰色系统法	45
1.8 人工神经网络模型	47
1.8.1 基本概念	47

1.8.2	BP 神经网络	49
1.8.3	神经网络 BP 算法	49
1.9	遗传算法	53
1.9.1	基本概念	54
1.9.2	简单遗传算法 (SGA)	55
1.9.3	Schemata 定理	58
1.9.4	选择方法	59
1.9.5	交配和突变	61
1.9.6	编码与译码	62
1.9.7	收敛判据	63
1.9.8	高级遗传算法 (RGA)	64
第二章	枯季地下水资源实时预测	65
2.1	方法概述	65
2.1.1	数学模型法	65
2.1.2	物理模型法	67
2.2	解析法	67
2.2.1	裘布依 (Dupuit) 公式	68
2.2.2	泰斯 (Theis) 公式	74
2.2.3	纽曼 (Neuman) 公式	77
2.3	数值法	78
2.3.1	有限差分法	80
2.3.2	有限单元法	91
2.4	水均衡法	108
2.4.1	枯季地下水均衡方程	109
2.4.2	各均衡要素的确定	109
第三章	枯季需水量实时预测	112
3.1	时间序列预测模型	112
3.1.1	线性预测模型	112
3.1.2	曲线预测模型	113
3.1.3	指数平滑预测模型	113
3.2	随机预测方法	115
3.3	灰色预测方法	116

3.3.1 灰色枯季需水量关联分析模型	116
3.3.2 灰色枯季需水量动态预测模型	117
第四章 枯季水资源供需前景分析	118
4.1 水量供需平衡法	118
4.2 模糊划分理论与模型	119

第二部分 实 践 篇

第五章 试点区概况	123
5.1 自然地理概况	123
5.1.1 地形、地貌特征	123
5.1.2 气候与降水条件	125
5.1.3 河流水系	126
5.2 社会经济概况	126
5.3 水资源开发利用现状	127
第六章 试点区枯季地表水资源实时预测	129
6.1 枯季降水量分析	129
6.1.1 降水量分布特征	130
6.1.2 不同频率的降水量	131
6.2 枯季径流预测	132
6.2.1 相关图法	132
6.2.2 回归分析模型	135
6.2.3 人工神经网络模型	154
6.2.4 基于遗传算法的预测模型	168
6.3 枯季径流实时预测与校正	170
6.4 白洋淀水位实时预测与分析	173
6.4.1 预测方法	174
6.4.2 水位预测方案的评定与检验	175
6.4.3 淀水位实时预测	177
第七章 试点区枯季地下水资源实时预测	179
7.1 区域水文地质条件	179
7.1.1 地下水形成条件	180
7.1.2 含水层分布及其主要特征	181

7.1.3	地下水埋藏条件及动态特征	184
7.1.4	地下水水化学特征	191
7.2	地下水数学模拟模型的建立	192
7.2.1	水文地质条件概化	192
7.2.2	水文地质参数分区	193
7.2.3	数学模拟模型及计算方法	194
7.2.4	模型的识别与验证	197
7.3	基于数学模拟模型的枯季地下水资源预测	206
7.3.1	第一类边界节点的水位预测方法	206
7.3.2	第二类边界的侧向补排量处理	210
7.3.3	预测期内降水量的处理	210
7.3.4	设定地下水位, 预测可开采量	211
7.3.5	设定开采量, 预测地下水位	216
7.4	基于水量均衡法的枯季地下水可开采量预测	220
第八章	试点区枯季水资源供需前景分析	224
8.1	枯季可供水量预测	224
8.1.1	地表水可供水量	225
8.1.2	地下水可开采量	226
8.1.3	总可供水量	226
8.2	枯季需水量预测	227
8.2.1	农业需水量	227
8.2.2	工业需水量	228
8.2.3	城镇生活需水量	228
8.2.4	生态环境需水量	228
8.2.5	总需水量	229
8.3	枯季水资源供需前景分析	230
参考文献		232
后记		236

第一部分

理 论 篇

