

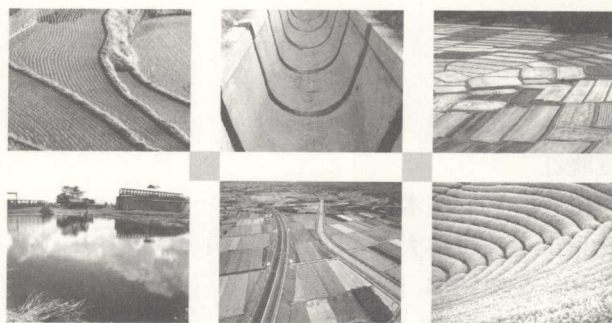
大型灌区节水改造后 农田水环境变化的 预测研究



陈亚新 屈忠义 魏占民 等 著

中国农业科学技术出版社

大型灌区节水改造后 农田水环境变化的 预测研究



陈亚新 屈忠义 魏占民
等 著

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大型灌区节水改造后农田水环境变化的预测研究/陈亚新, 屈忠义等著.
—北京: 中国农业科学技术出版社, 2007. 4

ISBN 978 - 7 - 80233 - 268 - 3

I. 大… II. ①陈…②屈… III. 灌区—农田—水环境—研究 IV. S27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 051818 号

责任编辑 徐 毅 司 佳

责任校对 贾晓红

出版发行 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 68919704 (发行部)
(010) 62150862 (编辑室)
(010) 68919703 (读者服务部)

传 真 (010) 62189012

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京亨利达印刷有限公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 17

字 数 263 千字

版 次 2007 年 4 月第 1 版

印 次 2007 年 4 月第 1 次印刷

印 数 1 ~ 1 100 册

定 价 45.00 元

版权所有·翻印必究

前 言

水环境的预测研究是国际水文水资源和水科学前沿研究的热点之一。目前所见研究较多的有河流水环境、湖泊（水库）水环境及湿地水环境问题，而灌溉农田水环境的研究较少，也较薄弱，但它对农业生态环境的影响较大。灌溉农田的水循环特点与常规陆地水文环境过程有较大差别，受自然与人为因素的耦合响应，特别是受农田的灌溉排水设施和运行模式影响较大。因而，预测的人为设定条件对未来状态的影响就很关键，这是本书的主要背景和研究特点。

干旱、半干旱大型引黄河套灌区的区域农田水环境变化问题的研究内容和一般的灌区不同，由于气候干旱、长期引黄灌溉和排水不畅，灌区地下水埋深较浅，又有盐渍化威胁，它的研究在本质上是在“三水”转化耦合的基础上评估特定的农田水环境变化。它直接涉及到四个基本指标（土壤水分、盐分、地下水位、水质）的量化和预测，具有独特的地区和学术特点。同时，由于灌溉用水及上游来水的不确定性、水均衡要素的复杂性、土壤水分及盐分运动随机性、种植方式和人类活动的时空变异变性等因素，使得区域农田水环境动态预测，无论在方法上还是理论上都具有很大的挑战性。需要发展和寻求克服现有传统科学技术的不足，探求新的理论和方法。而人工智能仿真技术与土壤水文学科的兴起，适应了这种新形势的需要。采用人工智能仿真技术可以较好地描述和预测区域水环境复杂的非线性问题。本研究以人工智能理论和技术为主体，结合地质统计学、SWAP模型的模拟理论与技术，综合应用于节水灌溉条件下的农田水环境预测与评估。在开拓人工智能仿真技术的基础上，形成具有学科融合与学科交叉的特点，用以改造传统的水利科学技术，探讨大型灌区节水改造后的农田水环境变化规律和发展趋势。

本书主要完成了水环境预测的三个数学模型的应用基础研究：即人工神

经网络技术 BP (RBF) 模型结构研究; 田间水有效利用的 SWAP 模型的模拟; 人工神经 Kriging 和人工神经 Co-Kriging 模型的创新探索及在区域水盐动态监测中的应用。在此基础上, 通过不同尺度典型区的试验监测、信息系统的综合分析, 对河套灌区节水改造后设定条件下的水环境变化进行了系统研究: 以人工神经网络技术为基础、结合其他常规方法对农田地下水文(水位、水质)及农田土壤水盐变化进行了系统的预测与评估、对比和检验; 利用 SWAP 模型对田间灌溉水利用的有效性进行了模拟, 并对田间水的有效性进行了田间试验评估; 将人工神经 Kriging 和人工神经 Co-Kriging 模型应用于大尺度区域规则采样的水盐动态监测与灌水量的关系评价。

本书的特点是: 第一, 将应用预测的基础研究与应用研究紧密结合, 目标明确、内容新颖、手段先进、切合实际, 有较好的应用理论支撑; 第二, 针对干旱气候与有盐渍化威胁的大型灌区开展了新兴科学技术的创新探索, 在我国大型灌区的节水改造中, 对农田水环境影响问题率先开展了较系统的量化预测, 并将预测与监测结合起来, 捕捉了监测运行期间, 特殊水文年的引水量与土地盐渍化的关系, 提出了农田水环境安全阈值的概念; 第三, 根据预测前瞻性研究和大面积监测的特点, 进行了适合区域性研究的具有空间变异特点的人工神经网络技术和人工神经 Kriging 技术的系统应用; 对于传统科学技术的改进和创新有重要的学术价值和实用价值。特别是在常规方法和技术应用比较困难的情况下, 发挥了人工神经网络技术的主体科学的优势。对指导国民经济建设和社会发展的宏观先进管理提供了重要的科学决策支持体系和相配套的软件包, 有助于同类大、中型灌区节水改造的推广和实践, 具有广泛的应用前景。

本书的主要成果在国家核心期刊及大型国际会议共发表学术论文 21 篇, 被三大国际检索系统收录共 11 篇, 其中 SCI 2 篇, EI 4 篇, ISTP 5 篇。成果鉴定认为: “具国内领先、国际先进水平”。

本书得到了国家自然科学基金、内蒙古自治区水利厅的资助。同时, 本书的出版还得到了教育部“春晖计划项目”、内蒙古自治区教育厅“高校教师科研项目”的支持。

参加本研究人员有: 内蒙古农业大学陈亚新、史海滨、屈忠义、魏占民、刘全明、梁鸿、邬佳宾、霍星; 内蒙古自治区水利科学研究院赵培清、赵景

芳；解放闸灌域管理局沙壕试验站张义强、王长生、刘宏云；永济渠灌域管理局永济试验站步丰湖、白雪英、李中铁。成果审定人：内蒙古水利厅郭少宏、康跃。

本书执笔人：陈亚新、屈忠义、魏占民、刘全明。本书由陈亚新、屈忠义负责统稿。

感谢武汉大学杨金忠教授，水利部灌区管理协会冯广志教授，水利部灌排规划发展中心赵竟成教授，中国水利水电科研院高占义教授及内蒙古水利行业专家的指导和帮助。

本书属于前瞻性科学研究，研究难度较大，具体研究对象——黄河河套灌区的土壤水文、水文地质规律十分复杂，许多问题仍在研究和探索阶段，加之作者水平有限，难免有不足之处，敬请读者、专家、同行指正。

编者

2007年1月于呼和浩特

目 录

第1章 导 论	1
1.1 建设与管理思维的转变	1
1.2 形势和任务	2
1.3 预测理论与方法	4
1.4 新的研究思维	5
1.5 试验区选择及研究流程	6
第2章 区域性农田地下水文的模拟与预测	11
2.1 概述	11
2.2 河套灌区的基本情况 & 研究区域的代表性评价	23
2.3 人工神经网络模型预测应用	32
2.4 地下水文预测中 BP 网络模型结构设计 & 应用案例分析	42
2.5 普通 BP 算法的改进——快速 BP 算法	49
2.6 大尺度区域（解放闸灌域）地下水埋深预测	52
2.7 有限元模型预测应用	67
2.8 其他常规方法的预测应用比较	73
2.9 隆盛节水试验区地下水预测	81
2.10 小结	86
第3章 区域地下水质的模拟与预测	89
3.1 沙壕渠试验区灌季（非冻期）地下水埋深预测	90
3.2 冻融期地下水位的模拟与预测	95
3.3 非冻季（作物生长季）地下水水质预测	99
3.4 冻融期（非生长季）地下水水质预测	104
3.5 小结	107

第4章 区域土壤水盐动态预测	109
4.1 沙壕渠试区非冻季（作物生长季）土壤水盐模拟与预测	110
4.2 冻融期土壤水盐的模拟与预测	119
4.3 秋浇与农田土壤氮肥流失量监测	128
4.4 小结	128
第5章 田间灌溉水有效性的 SWAP 模型模拟与评估	132
5.1 引言	132
5.2 传统评估方法及存在的问题	134
5.3 SWAP 模型模拟方法	136
5.4 田间灌溉水有效性评价的实例	140
5.5 模拟结果与讨论	147
5.6 小结	158
第6章 田间灌水有效性的试验研究	160
6.1 引言	160
6.2 灌溉试验的材料与方法	160
6.3 土壤性质及其水分运动参数的推求	168
6.4 SPAC 农田水分循环	175
6.5 田间灌溉水有效性评估	186
6.6 小结	188
第7章 人工神经克里格法的应用与两个试验区中尺度的水盐监测结果分析	190
7.1 人工神经网络在一维（冻土）水盐空间变异与条件模拟中的应用研究	190
7.2 人工神经 Co-Kriging 法在一维（冻土）盐分空间变异中应用研究	200
7.3 两个试验区的二维中尺度水盐监测与结果分析	205
7.4 区域性农田土壤水盐信息监测评价	231
第8章 结论	235
8.1 地下水埋深与水质预测	236
8.2 土壤耕层水分与盐分预测	239

8.3 冻季（非生长期）土壤水分与盐分预测	240
8.4 农田土壤养分流失观测	241
8.5 田间灌水的有效性评估	241
8.6 区域性定期中尺度规则采样土壤水盐动态监测	242
参考文献	246

环境是人类赖以生存和发展所有要素和条件的集合。人类活动又严重影响着环境。近30年来,随着科学技术的进步和社会生产力的提高,人类创造了前所未有的物质财富,推进了工业和农业文明的进程,也带来了人口剧增,资源浪费、环境污染和生态恶化等一系列社会问题,正以前所未有的规模和强度影响环境,同时,严重影响人类的生存和发展,人们不得不重新审视自己走过的历程,提出了可持续发展的问题。

1.1 建设与管理思维的转变

20世纪末人们在水管理的思维上发生了重要转变认识到:既然水支持着所有生命,那么有效的水资源管理应该是联系社会经济发展和生态系统保护的共同目标(1991柏林会议)。联合国制定的《21世纪议程》(1992年)中指出:干旱区水资源是有限的,处在微妙的环境平衡中,环境资源破坏和耗竭的危险是明显的,有时是灾难性的;同年在都柏林召开的国际水与环境会议指明出路“只有采取根本新的途径去评价开发和管理淡水资源”。对传统的水资源管理的概念和策略提出了挑战。传统的水管理(Water Management)根据《国际水文学词典》曾定义为“水资源的有计划开发,分配和利用”,但没有注意水与环境的密切影响。传统的水管理历来优先将水资源的使用重点赋予灌溉农业,很少考虑对农业的不利影响。国际灌排委员会(ICID, 1993年)将灌溉农业对环境的影响系统归纳为8类42个项目的大系统,以加强与环境关系的研究,防止其负面效应。在京都召开的国际水资源与环境研究大会(ICWER, 1996年)提出的《21世纪议程》倡导的可持续发展准则,已

对传统的水管理准则带来了严重冲击。在阿根廷召开的联合国水会议（UNWC，1997年）的行动纲领具体指出“兴建灌溉排水工程要注意对农业的不利影响”。这几次重大国际会议，与传统的水管理比较，特别强调了未来变化，社会福利，水文循环和生态系统保护比较完整的新型水管理，即要“使未来遗憾的可能性达到最小化的管理决策”。更应该注重现实状态（未建工程）和未来状态（已建工程），参考生态系统（满足可持续发展）的全面比较评价和影响预测。

1.2 形势和任务

1.2.1 形势

目前黄河流域的水资源已过度开发，其中水资源开发利用率高达68.4%，将达到国内外公认的70%的开发利用临界线。特别是20世纪90年代以来，年缺水 $45 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，尖锐的水资源矛盾引起并加剧了黄河下游的断流现象，近30年间，平均每5年中有4年发生断流。黄河下游断流除了与上游天然来水量逐年减少，区域国民经济需水剧增等因素有关外，还与缺乏对流域水资源统一管理调度、径流调节能力不足及农业用水量低效、浪费严重有关。黄河流域年灌溉用水量巨大，为 $376 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，约占年用水量80%，是最大用水户，也是节水主要潜力之处。通过各种节水技术和用水管理措施，科学减少农业灌溉用水量，以便在节水中求生存和发展，是缓解黄河水资源矛盾的重要措施及可持续发展的战略决策。

黄河可灌水量的分配，对上游干旱与半干旱气候的两大灌区（宁、蒙）分别为 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 及 $58.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，两灌区总灌溉面积约占全流域21%，占总分配水量 $376 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的26.6%，而灌溉水利用率仅0.3~0.4，单方水粮食生产效率不足1.0kg，与国内外发达国家和地区相应指标差距甚远，农业节水潜力很大。

由于这两个地区水、土、光、热等资源利用前景广阔，又是今后国家开发的重点。据中国工程院《中国可持续发展水资源战略的研究报告》（2001年）制定的关于中国农业需水与节水高效农业建设的目标——要把中国有潜力的宁、蒙（河套）灌区建成未来中国最稳定的商品粮供应基地的战略规划

指出：“农业用水要从传统粗放型灌溉农业转变为以建设节水高效的现代灌溉农业为目标的节水农业战略。必须对这些大型灌区实行节水为中心的技术改造。”然而节水问题不是单纯的资源问题，也不是单纯的工程问题，它涉及生态与环境和社会的可持续发展。

在生态与环境问题中，影响最广、反应最灵敏与最活跃的是水环境问题。目前我国对水环境的研究尚处于起步阶段，多见在河流水环境与湖泊、湿地水环境方面，少见农田水环境的研究。农田水环境是一个复杂的大系统，既有科技方面的问题，也有立法和管理方面的问题（周维博、李佩成，2001年）。所见到的多是从防治灌区土壤盐渍化的角度进行中低产田改造下的溶质迁移数值模拟研究，这些研究虽较深入但较多限于“点”的动态规律揭示，缺乏从整体角度进行宏观灌排工程系统兴建后的区域性变化预测，有待开拓和发展。

1.2.2 任务

内蒙古河套灌区节水工程兴建配套后的农田水环境的预测评估是一个全新的研究任务，需要考虑两个基本条件：一是节水工程建设与配套的节水标准；二是当地土壤和水文水资源特征。根据黄河内蒙古灌区续建配套与节水改造工程规划，水利部水规总院（2000年）认为：“内蒙古河套灌区作为黄河流域最大的灌区，长期以来用水过大，排水不畅，土壤盐碱化严重，对灌区开展以节水为中心的技术改造和续建配套，不仅是河套灌区可持续发展的需要，也是解决黄河水资源短缺和生态与环境问题的重要举措，”建议：“灌溉规模控制在现状 $57.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 以内，渠系水利用效率从现在的43%提高到65%；到2015年控制灌溉可将水量从现状 $51 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，减至 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。”在此条件下进行节水工程的改造设计。

河套灌区土壤和水文水资源的特征：灌区是一个气候干旱有次生盐渍化威胁的老灌区，农田的水土环境预测评估，必须以农田土壤水盐动态为核心；由于河套灌区是一个引黄灌溉为主的灌区，地下水埋深很浅，仅2m左右，含水层以粉细沙为主，储水和释水能力很弱，浅层地下水主要依靠地面灌溉补给，虽然构成地面水—土壤水—地下水“三水”转化连续系统，但浅层地下水的水文状况无论在埋深、水量、水质的变化都受地面灌水的严重影响，其地下水文变化实质上是地面灌水的一种响应，也包括盐渍化的响应；由于气候干旱，

降雨量较少,在水资源的补给转化中大气降水的补给作用较小,并多年间相对稳定,因而农田土壤的降雨淋洗作用比较弱,蒸发作用比较强烈,一般不强调“四水”转化,农田水环境的变化以“三水”转化为分析的关键。因此,农田水环境的研究与评估要以灌溉可用水量减少后的土壤水(盐)和地下水(盐)变化为预测为主要目标。研究目标具体分解为(在设定条件下):

(1) 在引水量减少达到 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$, 对应的地下水埋深普遍下降程度, 可否引起负生态效应及剧烈的农田水环境变化对灌区发展的影响;

(2) 进一步研究工程实施后对项目区农田的墒情及盐渍化, 土壤水盐运动总趋势的影响及变化程度;

(3) 农田灌溉水的有效利用性与节水高效潜力评估和对策;

(4) 区域性农田大尺度水(盐)监测动态及与灌水量的关系, 本工程实施后是否存在制约性的环境要素及其对策。

1.3 预测理论与方法

“凡事预则立, 不预则废。”为了对本大型灌区重大发展规划提供科学支撑, 须采用具有前瞻性的近代科学理论做指导。从现代控制论的角度出发, 以信息论为基础, 对系统的未来状态进行预测, 然后根据预测结果制定相应的控制决策, 则可防患于未然, 并可获得预先安排的主动和比较理想的目标前景。随着科学技术的巨大进步, 人类对自然环境影响力的增强, 自然界中各种系统的复杂性也明显增大, 系统中充满了许多不确定因素, 研究复杂系统的变化规律一直是人们关注的热点和科学前沿研究方向。在此背景下, 我们将从非平衡的开放系统, 从无序到有序的突变中探讨稳定、突变、自组织、自适应的一些新的基本概念, 探讨各种非线性系统所隐含的基本特性和内在机制, 因而有必要利用新的预测理论和方法对这些大系统进行前景预测, 这是对传统理论技术和方法的挑战, 具有重要的科学意义和实用价值。

本研究理论是以地下水—土壤水动力学(张蔚榛, 1993 年, 1996 年; 雷志栋等, 1987 年)理论在灌区设定的节水条件下进行区域性农田水环境的发展趋势预测和监测应用。传统和成熟理论与方法—数值模拟在近代计算机技术的支撑已经有了飞跃发展, 对于解决以前认为难度较大的水环境数学模型(W. Kincelbach,

1986年)的求解已经获得公认的较好成果。在《灌区水盐监测预报理论与实践》(李承惠,袁光耀,张瑜芳,1997年)曾对河南人民胜利渠的国家“六五”、“七五”和“八五”科技攻关中进行了系统总结,认识到灌溉系统能否经久不衰,灌溉农业能否可持续发展,除了气候、水源等自然条件改变及人为破坏外,经营管理是否得当是一个决定性因素。讨论了“不断改进工程设施,实行科学用水,使该灌区地面水、地下水资源得到合理利用”。开始消除了在掌握基本概念和解决实际问题能力之间仍存在的距离。作者也曾在世界银行项目——中国北方灌溉项目《中国河套灌区土壤—水环境中溶质迁移动态的系统模拟》研究(陈亚新,史海滨,1994年,1999年)中进行过系统的谱系研究;在进行河套的农业开发中也曾有人利用美国地质调查局(USGS)MODFLOW(1990年版)进行过地下水单元水位值有限差分的目标拟合(沈振荣等,1995年)。本世纪初甘肃干旱区在引大入秦时侧重了的新建灌区和未建灌区对比前后水量和水质及水盐动态研究,用土壤水—地下水联合求解作过盐渍化水环境预测(张新民,沈冰,2000年),由于数值技术比较成熟,加之有国际通用软件(IGWMC等)的支持,计算方便,求解快速可靠,已经得到了广泛的应用。但在大区域的实际应用方面尚存在以下问题:①求解多数停留在定位点和室内实验基础上,不便描述区域性的大尺度宏观分析;②受农田土壤及含水层特性参数的空间变异性影响,实验区与预测区间受尺度效应影响,有些关键参数值相差达数量级;③模型参数、边界条件不易确定,外业工作投入量大、时间较长,加之受外界因素变动的影响,使输出干扰较大,需较长资料系列等,在大尺度区域性农田应用上受一定约束。有待进一步改进和开拓。

1.4 新的研究思维

20世纪80年代,人工神经网络(Artificial Neural Networks,缩写为ANN)第二次崛起,已经成为高新技术领域中一个人工智能计算技术新型科学分支。90年代以来ANN虽在国外水文分析和水资源预测中得到广泛关注;但在我国仍处在起步和试探阶段,但已经表现出强大的生命力。但其在土壤水文和地下水文及灌溉水文领域远没有在陆地水文领域广泛和深入。经过国内外实践已认识到:①ANN可描述水环境中复杂的非线性关系,模型建立主要依靠常规性水文、气象、土壤和地下水常规资料,不需要专门实验和参数识别;

②尤其是 ANN 模型有很强的学习功能,当系统环境发生变化时只需输入新的信息,让模型再学习,即可很快跟踪系统的变化,有较强的可操作性与适用性;③适宜预测未来因子发生变化,可利用水环境的输入系统因子估计输出因子的变化趋势预测。有望解决一些传统方法难以解决的复杂问题开创新思路和新途径,近年的实践证明(包括作者)其优势与潜力已经显示出来。本研究将以 ANN 为首选方法,并结合一批常规优秀方法进行补充和比较研究,以便对预测结果进行综合分析。

1.5 试验区选择及研究流程

河套灌区节水实施及农田水环境变化研究是一个大尺度区域性、复杂非线性问题,如何开展量化评估预测与监测,只能在有一定试验基础资料的条件下,从分析局部子系统(两个较大试验研究区)入手,积累经验后逐步扩大。

1.5.1 试验区选择与代表性

1.5.1.1 第一试验区(沙壕渠试区)

沙壕渠试区位于灌区上游,解放闸灌域的中东部,是黄济干渠中一个分干渠灌域,通过规划改造已经具有独立的灌排系统。试区总控制面积 $4.93 \times 10^3 \text{ hm}^2$ (折 7.4 万亩),其中,中、重壤土占 40.5%,壤土、轻沙壤土占 58.3%。灌溉面积 $3.47 \times 10^3 \text{ hm}^2$ (折 5.2 万亩),灌域土壤盐渍化稍重,其中轻、中度盐渍化土占 75%,重盐渍化土占 25%,土地平整较好,并正在进行衬砌渠道试点,是河套灌区管理水平及试验条件良好,适合研究的科研基地。多年来开展过大量的科研工作,试验区内设有沙壕渠试验站,从 1990 年设有 15 眼地下水长观井,同时定时对该定位点进行土壤水盐连续观测,在完成世界银行项目及中日合作科研项目的基础上与内蒙古农业大学进行了长期合作,连续 5 年(1994~1999 年)对冻季水盐动态观测,近年中国科学院生态所也在此进行氮肥流失的监测试验,为环境评价试验提供大量基础资料。但该灌区尚未进行全面衬砌改造,能代表河套灌区工程现状,即大多数工程无防渗设施,农田土壤盐渍化稍重的状态,灌区内分干、斗、农、毛渠,土渠渠道输水损失已由我校在完成世界银行项目中测定,有系统资料,量水设施齐全。

1.5.1.2 第二试验区（隆胜试区）

隆胜试区是永济干渠永刚分干渠的西济支渠内一个独立灌域，位于灌域灌区中部，灌域面积 $2.8 \times 10^3 \text{ hm}^2$ （折 4.2 万亩），灌溉面积 $2.17 \times 10^3 \text{ hm}^2$ （折 3.25 万亩），也是已经规划改造的灌排系统，灌域内盐渍化程度很轻，其中非盐渍化土占 60%，轻、重度盐渍化仅占 30% 和 10%，经过近年的节水改造示范实施，试验区内支、斗、农渠已经在全部衬砌，并有防渗渠的渠道水利用系数测定资料，可代表今后节水改造设计年配套建设水平，试区内有 10 眼地下水长观井和 4 个土壤水盐动态长观定位点，土地平整条件较好、由永济试验站负责日常科研观测。以此为基础可进行设计年的用水与农田水环境运行预测。

1.5.1.3 第三试验区（解放闸灌域）

解放闸灌域位于河套灌区上游，灌域总控制面积 $2.16 \times 10^5 \text{ hm}^2$ （折 324 万亩），灌溉面积 $1.42 \times 10^5 \text{ hm}^2$ （折 213 万亩），其中耕地 $1.22 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ，林草地 $2.01 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。灌溉面积占全河套灌区灌溉面积 25%。年均引水量（近十年） $13 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，排水量 $1.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，毛灌溉定额 $9450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，平均毛灌水定额 $2250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。近几年由于黄河来水不足，加之水费的上涨和管理水平的提高，农民节水意识增强，引水量和排水量（退水量减少）呈逐年下降趋势。多年（1986~2002 年）年均地下水埋深 1.69m。从 1985 年开始灌域内布置有 67 眼长期地下水观测井。灌域平均地下水埋深根据所有观测井的观测值进行面积加权求得。现有 1986~2002 年同步的灌溉、排水、地下水、气象资料，为大尺度预测建模奠定了基础。

1.5.2 研究内容及流程

1.5.2.1 以人工神经网络技术 BP 模型和 RBF 模型为首选预测方法，进行农田土壤水（盐）—地下水（盐）动态预测，结合常用的传统方法（有限元法、水均衡法）进行比较验证。

1.5.2.2 在两个试区继续利用原有的水盐长观定位点，进行土壤—地下水水盐动态监测分析：由于定位点观测代表性不足，不能解决“点”—“面”关系，为监测试验区的大面积水盐变化趋势，以大面积采样的基线和网络进行水盐动态及时空分布监测。本研究重点监测理论与方法，选用地质统

计学的空间变异性的精确估计方法,在试区内设立规则采样,用返盐严重季节(春、开灌前)系统大中尺度(Kriging及BP法)进行定量分析评估试验期的水盐动态,并研究翌年水盐动态与上一年灌水量的关系(见图1-1)。

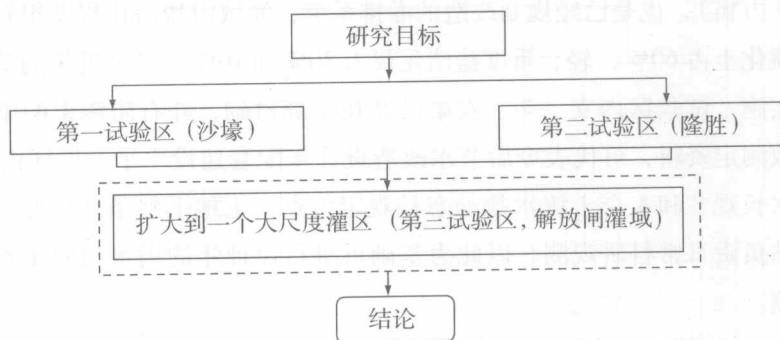


图1-1 项目试验区研究流程图

1.5.2.3 在两试区农田内进行田间灌水有效利用率测定与用SPAC理论的实用型SWAP模型模拟及实验测定,评估田间节水潜力。

综合分析节水改造后工程配套后,预测水平年(2010年,2015年)的农田水环境状态及节水措施。研究内容及方法流程框图(见图1-3)。

内蒙古黄河河套灌区是我国有盐渍化威胁的老灌区,土壤盐渍化历来都是当地的是古老的环境问题,也是节水改造后的新问题,灌区又是我国干旱区现今保存的唯一大型“人工绿洲”(见图1-2)。在新的节水形势下,能否

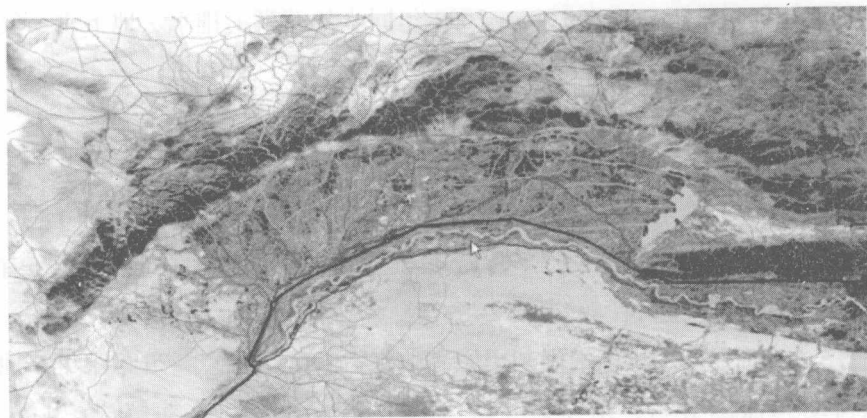


图1-2 内蒙古河套灌区卫星遥感影像图