

Spatiotemporal Variation Analysis and
Forecast for the Effective Utilization of
Irrigation Water



灌溉水有效利用系数 时空变异分析与预测

王小军 张强 易小兵 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

灌溉水有效利用系数 时空变异分析与预测

王小军 张强 易小兵 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

灌溉水有效利用系数是国民经济用水管理中一项重要的指标,也是评价灌区工程状况和用水管理的基础参数和依据。本书作为国内首部系统论述灌溉水有效利用系数的研究著作,共分为9章,主要包括:绪论,研究区域概况,灌溉水有效利用系数测算分析及结果分析,灌溉水有效利用系数时空尺度变异的分形理论分析,影响灌溉用水量的相关主导驱动因素变化趋势分析,影响灌溉水有效利用系数的不同措施驱动力分析,灌溉水有效利用系数主要影响因子筛选和组合预测,目标年灌溉水有效利用系数不同措施情景值预测和结语等内容。

本书可供从事或涉及节水灌溉、灌区管理、用水管理的科技人员、管理人员及大专院校相关师生参考和阅读。

图书在版编目(CIP)数据

灌溉水有效利用系数时空变异分析与预测 / 王小军, 张强, 易小兵著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5170-2762-1

I. ①灌… II. ①王… ②张… ③易… III. ①灌溉水—水资源利用—利用系数—分析②灌溉水—水资源利用—利用系数—预测 IV. ①S274.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第303755号

书 名	灌溉水有效利用系数时空变异分析与预测
作 者	王小军 张强 易小兵 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	北京三原色工作室
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 18印张 363千字
版 次	2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	58.00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

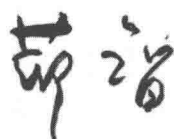
广东省的水资源总量虽然相对丰富，但水资源分布不均衡，同样也面临着水资源短缺问题。而农业用水作为第一用水大户，占广东省总用水量近一半，随着国民经济持续快速发展和非农产业对用水需求的逐年加大，灌溉用水比例还将进一步减少，因此，灌溉用水必须走以提高效率为主的可持续利用道路。灌溉水有效利用系数（灌溉水利用系数）作为评价灌溉效率和潜力的主要指标，是进行区域水资源配置和制定节水灌溉发展规划的基础数据，也是政府部门进行宏观决策的重要依据。国家已从战略高度的层面来看待灌溉用水效率，将该指标作为我国“十二五”经济社会发展的主要目标之一，并作为实行最严格的水资源管理制度中用水效率红线主要指标，明确要求：到 2015 年，全国平均灌溉水有效利用系数要提高到 0.53 以上的目标。提高灌溉水有效利用系数是现实国民经济发展和用水的迫切要求，开展该方面的研究工作有重要意义。

影响灌溉水有效利用系数的因素众多，作用机理复杂，国内外开展了大量的相关研究，但系统性论述其作用过程的理论还很不成熟。本书作者在整理和分析多年长系列测算结果基础上，系统分析了广东省灌溉水有效利用系数在不同尺度、空间和年度之间的变化规律及影响因素。难能可贵的是书中首次系统地运用分形理论和方法来分析灌区体系分形特征、渠系分维和位序规模分维，并对灌溉水有效利用系数的空间和时间上的变异规律进行了理论研究，具有一定的创新性和理论意义，值得鼓励，希望以后进一步加强这方面的研究。同时，通过对广东省的灌溉水有效利用系数系统地测算分析，针对灌溉水有效利用系数的多行业、多因素影响的特点，结合产业发展现状和用水量预测，分析了水资源禀赋、灌溉设施状况、管理水平、自然条件、种

植结构、经济发展水平、产业用水结构变化及多因素耦合效应下的响应机制，得到各主要驱动因素贡献率。在用水长序列变化规律分析的基础上，结合实测数据，运用多种手段，对影响灌溉水利用系数的各种主要因素进行了量化，并在此基础上提出了要达到相应目标各措施的最优化工作量，并据此提出了提高广东省灌溉水有效利用系数的相应措施和建议。对于各级政府指导所在区域更有效地提高灌溉水有效利用系数提供了参考，指出了方向，有很强的实践意义。

该书研究成果具有一定的理论价值及重要实际应用价值，对于缓解广东省水资源的供需矛盾，具有重要的现实意义，对其他类似区域也有一定的参考作用。期望该书的出版对我国灌溉水利用系数方面的相关的工作有一定的推动作用，为制定灌区改造与农业水利发展规划提供基础依据，使此类规划更具有科学性，进而保障农村经济社会的可持续发展和实现水资源的可持续利用。

中国工程院院士
武汉大学教授、博导



2013 年 12 月

前 言

灌溉水有效利用系数（灌溉水利用系数）^①作为评价灌溉效率和潜力的主要指标，是综合反映灌区灌溉工程状况、用水管理水平、灌溉水平的综合参数，是进行区域科学配置和制定节水灌溉发展规划的基础数据，也是政府部门进行宏观决策的重要依据。同时，我国作为一个农业大国，人多地少、水资源分布不均衡，而农业用水作为第一用水大户，仍占总用水量的 60% 左右，随着国民经济持续高速发展和非农产业对用水需求的逐年加大，农业灌溉用水必须走以提高效率为主的可持续利用道路。

国家对灌溉用水效率的重视已提到很高的战略高度，国民经济和社会发展规划“十一五”、“十二五”规划纲要以及全国水利发展“十二五”规划、中央水利工作会议等都将灌溉水有效利用系数作为社会经济发展的重要考核指标。2012 年国务院印发的《关于实行最严格水资源管理制度的意见》（国发〔2012〕3 号）中提出灌溉水有效利用系数到 2015 年提高到 0.53、到 2020 年提高到 0.55 以上的目标，并明确将灌溉水有效利用系数纳入各省级政府的考核指标。《全国水资源综合规划》、《全国灌溉发展总体规划》和《国家农业节水纲要（2012—2020 年）》也进一步明确，到 2020 年，农田灌溉水有效利用系数达到 0.55 以上、2030 年提高到 0.60 以上的目标。提高灌溉水有效利用系数既是现实国情的迫切要求，也是适应节约型社会和节水灌溉发展的要求，开展灌溉水有效利用系数相关研究既具有重要的理论意义，又具有重要的现实意义。

为此，从 2005 年开始，水利部组织在全国范围内开展了大规模的灌溉水有效利用系数测算分析工作。本书是在广东省水利厅的领导和广东省水利水电科学研究院的主持下，以“广东省‘十一五’灌溉水利用率测算分析”（广东省水利厅项目）为依托，先后持续开展了自 2005 年以来各年度的灌溉用水有效利用测算分析工作；并开展了“广东省农业灌溉水利用效率驱动力分析及用水

①国内外有许多表征灌溉用水效率的指标，说法不统一，鉴于国内现阶段已广泛使用“灌溉水有效利用系数”来表征灌溉用水效率，为了便于与相关工作衔接和名称的一致，本书统一采用“灌溉水有效利用系数”。

格局变化研究”(2011年广东省水利厅科技创新项目,项目号为2011-07)的课题研究工作,在此基础上对灌溉用水有效利用测算的基础理论和测试分析技术进行了一些积极的探索和研究。

影响灌溉水有效利用系数的因素众多,主要有灌区类型、规模、渠系分级等工程设施状况;降水、蒸发、灌区土壤、作物种类、水文地质等自然条件;渠系水量测控、输配水轮灌制度、灌区管理维护水平等管理条件;农民用水习惯、水价政策、经济发展水平、社会经济情况等社会条件。灌溉水有效利用系数不仅是工程技术或管理问题,也与社会经济、文化传统、管用水方的心理等因素有关。虽然小面积尺度上(如以灌区为研究对象)的灌溉水有效利用系数研究成果较多,实践中也往往依据小面积尺度上节水的效果来计算和评估灌区及流域尺度的灌溉水有效利用系数或节水潜力,以便用来评价用水现状,制定水利、农业及国民经济发展规划,但由于研究大都侧重于较小尺度或独立单元来计算,没有考虑灌溉水在更大尺度上具有的可重复利用性以及灌溉过程中复杂的尺度效应,导致灌溉水有效利用系数在尺度变异上的争论较多。此外,单纯从农业灌溉用水的视角来研究灌溉水有效利用系数的成果较多,但农业灌溉用水和灌溉水有效利用系数受社会、经济、环境、人文、法律等各方面的影响,是各种外在驱动力因素的综合影响结果,目前对这些复杂的外在因素研究较少,尤其是定量化研究更少,这对灌溉水有效利用系数的现状和趋势研究造成了很大影响。本书在2005—2011年广东省灌溉水有效利用系数测算分析工作的基础上,结合测算研究结果,系统梳理和分析了广东省从灌区到区域不同尺度上灌溉水有效利用系数的变化,并对各种影响因素进行了定量分析。

全书共分9章,主要包括国内外研究进展,广东省灌溉水有效利用系数测算分析及结果分析,分形理论应用于灌溉水有效利用系数时空尺度变异的理论分析,影响灌溉用水量相关主导驱动力因素变化趋势分析,影响灌溉水有效利用系数的不同措施驱动力分析,灌溉水有效利用系数主要影响因子筛选和组合预测,目标年灌溉水有效利用系数不同措施情景值预测等内容。概括起来,本书的研究内容主要在以下几个方面取得了新的进展:

(1)在对多年测算成果总结方面,在“首尾测算法”测算各年度灌溉水有效利用系数的成果基础上,对影响灌溉水有效利用系数提高的期间工程状况、管理水平、农业种植状况、自然气候等因素,主要包括降雨、地形、土质、农业用水、灌溉面积、节水灌溉面积、灌区渠系特征、作物结构、工程效益和投

资力度等进行了定量分析。

(2) 在灌溉水有效利用系数时空变异分析方面, 首次尝试应用分形理论的多种方法进行了不同尺度分维数和灌溉水有效利用系数的空间演变规律研究, 对灌溉水有效利用系数及影响指标的空间分布进行了结构性分析和探寻, 分析了影响灌溉水有效利用系数的空间分形机制, 为不同规模灌区灌溉水有效利用系数估算和尺度转换尝试提供了一种新的思路。同时, 应用位序-规模法分析计算了广东省灌区体系等级规模分形维数, 并结合首位指数的变化情况, 分析了样点灌区体系等级规模结构的双分形特征。最后, 鉴于 Horton 河系定律适应于灌区渠系的可行性, 分析了灌区渠系分形发展的状况, 以便为指导灌区规划改造实践提供参考。并且在全省区域上通过对历年统计资料进行分析研究, 对各市域和年际间农业用水的现状和变化趋势进行了分析, 揭示了灌溉用水量受经济社会发展的影响、行业用水增长等外部原因的影响, 以及林、牧、渔业产值、农业结构变化和用水量增加的内部原因的双重驱动因素下的变化特征, 同时也发现灌溉用水量下降也是一种自发调整的结果。

(3) 在灌溉水有效利用系数的不同措施贡献度方面, 从主导因素和驱动力入手, 分析了输水系统、田间灌水系统、节水技术系统以及管理系统, 通过定性和定量分析, 计算分析了不同因素和措施对灌溉水有效利用系数影响的驱动力贡献, 对灌区可能提高灌溉水有效利用系数的措施和适宜措施开展了研究, 采用通径分析法和主导优势法分别计算了各种措施对提高灌溉水有效利用系数作用的大小。

(4) 在灌溉水有效利用系数预测方面, 一方面, 依据全省年度统计资料中与灌溉水有效利用系数有关的各种直接或间接影响因子指标, 采用组合预测思想, 建立了最优加权组合预测模型, 对广东省 2000—2015 年度灌溉水有效利用系数进行了延展, 尝试探索利用年度统计数据进行省级年度灌溉水有效利用系数动态预测评价的新思路和方法。另一方面, 采用多目标线性规划的方法, 分别对 2015 年和 2020 年广东省灌溉水有效利用系数的预期值进行了各类型措施在不同情景下的综合预测, 并提出现阶段和中长期优化的措施数量, 为提高农业灌溉水有效利用系数的主要途径和措施选择提供参考。

在测算过程中, 广东省先后有上百宗灌区、近十个灌溉试验站(点)及相关地市、县(市、区)水利局等单位 and 近 200 名测算技术人员参与了该工作的组织、现场测试及相关工作, 对项目的顺利开展给予了大力支持。本书部分成

果是各方共同努力的结果，在此，对相关人员的辛勤付出和努力表示衷心的感谢！

感谢广东省水利厅建管处、农水处、科技处和规计处在工作开展和课题研究给予的支持和帮助。

感谢武汉大学茆智院士对本项研究工作的指导和帮助。

感谢中国灌溉排水发展中心总工韩振中教授级高工、冯保清教授级高工、孔东教授级高工，中国水利水电科学研究院裴源生教授级高工、陆垂裕高工，华南农业大学周买春教授，广东水利水电职业技术学院宋东辉教授，广东省水文局徐靖高工等在工作开展和研究过程中给予的指导和帮助，同时感谢所在单位广东省水利水电科学研究院领导和同事对该项工作的大力支持。

本书主要由王小军、张强、易小兵执笔，古璇清教高审定，参加相关研究的人员还有陈洁芳、林新明、孙春敏等。感谢卢晓霞和黄永奇工程师在稿件校对过程中付出的辛勤劳动。

在本书的编写过程中，参考和引用了许多国内外文献，在此对这些文献的作者表示衷心的感谢。

本书是国内系统研究灌溉水有效利用系数理论和方法的第一本专著，相关内容对于灌溉水有效利用系数的理论研究、评价、预测以及开展节水改造和制定节水灌溉发展规划和措施选择以期有一定的帮助。同时希望引起大家对相关问题的深入探讨，推动灌溉水有效利用系数的相关工作。由于作者水平有限，相关理论和方法有些只是尝试应用，书中存在疏漏及错误在所难免，尚望读者批评指正。

作者

2013年11月于广州

目 录

序 前言

第 1 章 绪论	- 1 -
1.1 研究背景	- 1 -
1.2 研究目的及意义	- 2 -
1.3 国内外研究进展	- 3 -
1.3.1 灌溉用水效率指标研究	- 3 -
1.3.2 灌溉水有效利用系数测算和计算方法研究	- 6 -
1.3.3 灌溉水有效利用系数的尺度转换方法研究	- 8 -
1.3.4 分形理论方法研究	- 11 -
1.3.5 灌溉节水潜力研究	- 14 -
1.3.6 行业用水结构及农业用水结构调整研究	- 15 -
1.3.7 国内外研究评述	- 19 -
1.4 研究内容及方法	- 20 -
1.4.1 技术路线	- 20 -
1.4.2 研究内容	- 20 -
1.4.3 研究方法	- 22 -
第 2 章 研究区域概况	- 24 -
2.1 地理位置	- 24 -
2.2 地形地貌	- 24 -
2.3 气候特征	- 25 -
2.4 土壤植被	- 25 -
2.5 河流水系	- 26 -
2.6 土地资源	- 26 -
2.7 水利工程	- 26 -
2.8 水文水资源	- 27 -
2.9 农业生产	- 28 -
2.10 灌溉状况	- 28 -
2.11 社会经济	- 29 -

第3章 灌溉水有效利用系数测算分析及结果分析	- 31 -
3.1 引言	- 31 -
3.2 灌溉水有效利用系数测算分析过程	- 32 -
3.2.1 灌溉水有效利用系数测算方法	- 32 -
3.2.2 灌溉水有效利用系数测算技术路线	- 36 -
3.2.3 样点灌区灌溉水有效利用系数测算	- 36 -
3.2.4 省级区域灌溉水有效利用系数推算	- 44 -
3.3 全省灌溉水有效利用系数测算结果分析	- 46 -
3.3.1 全省各年度灌溉水有效利用系数测算结果	- 46 -
3.3.2 不同规模灌区灌溉水有效利用系数的变化	- 47 -
3.4 影响灌溉水有效利用系数的因素分析	- 48 -
3.4.1 地形地貌对灌溉水有效利用系数影响	- 48 -
3.4.2 渠系特征对灌溉水有效利用系数影响	- 49 -
3.4.3 土壤质地对灌溉水有效利用系数影响	- 52 -
3.4.4 工程状况对灌溉水有效利用系数影响	- 54 -
3.4.5 供用水量对灌溉水有效利用系数影响	- 55 -
3.4.6 耕作面积对灌溉水有效利用系数影响	- 56 -
3.4.7 水利投资对灌溉水有效利用系数影响	- 56 -
3.4.8 工程效益对灌溉水有效利用系数影响	- 57 -
3.5 灌溉水有效利用系数的年度空间分布	- 58 -
3.6 灌溉水有效利用系数的区域点面转化	- 59 -
3.7 本章小结	- 60 -
第4章 灌溉水有效利用系数时空尺度变异的分形理论分析	- 61 -
4.1 引言	- 61 -
4.2 分维理论计算方法	- 61 -
4.2.1 周长-面积法	- 61 -
4.2.2 盒维数法	- 62 -
4.2.3 位序-规模法	- 62 -
4.2.4 城市首位度法	- 64 -
4.2.5 Horton 河系定律法	- 64 -
4.2.6 河流水系结构参数及计算	- 66 -
4.3 灌区体系的分维识别	- 67 -
4.3.1 分维识别及原理	- 67 -
4.3.2 灌区体系分维特征识别	- 68 -
4.4 灌溉水有效利用系数的分形理论分析	- 70 -

4.4.1	数据及处理	- 70 -
4.4.2	分维值计算	- 72 -
4.4.3	两种分形计算方法的比较	- 79 -
4.5	灌区渠系形态分维分析	- 80 -
4.5.1	利用 Horton 河系定律的灌区渠系形态分维分析	- 80 -
4.5.2	利用 Horton 河系定律的灌区渠系分维数计算	- 82 -
4.5.3	渠系分维结构与灌溉水有效利用系数关联性分析	- 86 -
4.5.4	灌区渠系分形结构的现实指导意义	- 89 -
4.6	灌区分形的空间尺度变异分析	- 89 -
4.6.1	尺度变异的研究思路	- 89 -
4.6.2	不同灌区面积尺度分维值分析	- 90 -
4.6.3	灌溉水有效利用系数的空间尺度变异分析	- 93 -
4.6.4	灌溉水有效利用系数的空间自相关分析	- 95 -
4.6.5	灌溉水有效利用系数与空间影响因素关联分析	- 98 -
4.7	灌区分形的时间(年度)尺度变异分析	- 103 -
4.7.1	年度灌溉水有效利用系数变化分析	- 103 -
4.7.2	年度灌区首位度法分析	- 107 -
4.8	本章小结	- 108 -
第 5 章	影响灌溉用水量的相关主导驱动因素变化趋势分析	- 110 -
5.1	引言	- 110 -
5.1.1	分析思路	- 110 -
5.1.2	数据来源	- 111 -
5.2	广东省水资源及用水量变化趋势分析	- 112 -
5.2.1	水资源状况分析	- 112 -
5.2.2	供水量变化分析	- 116 -
5.2.3	用水结构变化分析	- 117 -
5.2.4	农业用水变化分析	- 122 -
5.3	广东省耕地及灌溉面积变化趋势分析	- 123 -
5.3.1	耕地及灌溉面积变化分析	- 123 -
5.3.2	各市灌溉面积变化趋势分析	- 126 -
5.4	广东省行业经济产值变化趋势分析	- 130 -
5.4.1	国内生产总值及三次产业结构变化分析	- 130 -
5.4.2	农业产值结构变化分析	- 134 -
5.5	广东省农业种植结构变化趋势分析	- 138 -
5.5.1	广东省农业种植结构概述	- 138 -

5.5.2	全省农业种植结构变化分析	- 138 -
5.5.3	种植结构调整的变动速度测评	- 141 -
5.5.4	各市农业种植结构分析	- 142 -
5.6	广东省农业水利工程主要指标变化趋势分析	- 145 -
5.6.1	广东省农业水利工程主要指标变化分析	- 145 -
5.6.2	各市农业水利工程主要指标变化分析	- 148 -
5.6.3	农业水利工程主要指标空间分布特征	- 149 -
5.7	广东省用水效率主要指标变化趋势分析	- 152 -
5.7.1	广东省主要用水指标变化趋势分析	- 152 -
5.7.2	广东省单位用水效率变化趋势分析	- 154 -
5.7.3	各市单位增加值农业用水效率变化分析	- 156 -
5.8	本章小结	- 158 -
第 6 章	影响灌溉水有效利用系数的不同措施驱动力分析	- 160 -
6.1	引言	- 160 -
6.2	概念界定	- 161 -
6.3	种植结构调整对灌溉水有效利用系数影响	- 163 -
6.3.1	灌溉用水量的计算方法	- 163 -
6.3.2	基于水量平衡法的农业种植结构调整下灌溉用水量计算	- 166 -
6.3.3	基于彭曼方程的农业种植结构调整下作物需水量计算	- 178 -
6.3.4	农田灌溉回归水的分析计算	- 182 -
6.4	灌区工程措施对灌溉水有效利用系数影响	- 188 -
6.4.1	渠道防渗改造对灌溉水有效利用系数的影响分析	- 188 -
6.4.2	节水灌溉面积对灌溉水有效利用系数的影响分析	- 192 -
6.5	工程状况与管理措施对灌溉水有效利用系数影响	- 193 -
6.5.1	工程状况与管理措施对灌溉水有效利用系数的作用	- 193 -
6.5.2	工程状况与管理措施对灌溉水有效利用系数的影响分析	- 195 -
6.6	节水灌溉技术措施对灌溉水有效利用系数影响	- 196 -
6.6.1	灌溉方式和技术对灌溉水有效利用系数的作用	- 196 -
6.6.2	灌溉方式和技术对灌溉水有效利用系数的影响分析	- 197 -
6.6.3	田间灌水技术对灌溉水有效利用系数的影响分析	- 198 -
6.7	农作栽培措施对灌溉水有效利用系数影响	- 198 -
6.7.1	灌溉制度对灌溉水有效利用系数的影响分析	- 198 -
6.7.2	水稻灌水方式对灌溉水有效利用系数的影响分析	- 201 -
6.8	不同措施对灌溉水有效利用系数驱动力贡献分析	- 203 -
6.8.1	通径分析法	- 203 -

6.8.2	优势分析法	- 207 -
6.9	本章小结	- 212 -
第 7 章	灌溉水有效利用系数主要影响因子筛选和组合预测	- 213 -
7.1	引言	- 213 -
7.2	灌溉水有效利用系数主要影响因子筛选方法	- 214 -
7.2.1	因子筛选方法概述	- 214 -
7.2.2	主要因子筛选方法	- 214 -
7.3	灌溉水有效利用系数主要影响因子筛选结果	- 217 -
7.3.1	主要影响因子构成	- 217 -
7.3.2	主成分分析法筛选	- 218 -
7.3.3	灰色关联度分析法筛选	- 220 -
7.3.4	主要因子筛选结果分析	- 220 -
7.4	灌溉水有效利用系数预测	- 220 -
7.4.1	预测的基本原则	- 220 -
7.4.2	预测的基本方法	- 221 -
7.4.3	选用的预测方法	- 222 -
7.4.4	最优加权组合预测模型	- 226 -
7.4.5	预测结果与验证	- 227 -
7.5	灌溉水有效利用系数中长期变化趋势分析	- 229 -
7.5.1	阶段变化趋势	- 229 -
7.5.2	变化原因分析	- 230 -
7.6	本章小结	- 231 -
第 8 章	目标年灌溉水有效利用系数不同措施情景值预测	- 232 -
8.1	引言	- 232 -
8.2	多目标线性规划方法	- 233 -
8.2.1	模型概述	- 233 -
8.2.2	约束性指标的确定	- 233 -
8.2.3	多目标线性规划模型	- 234 -
8.2.4	模型特点	- 235 -
8.3	不同目标年预期指标值预测	- 236 -
8.3.1	现状基准年各项指标值的确立	- 236 -
8.3.2	预测目标年各项指标值的确立	- 237 -
8.4	不同措施对提高灌溉水有效利用系数的作用贡献预测分析	- 239 -
8.4.1	种植结构调整措施对提高灌溉水有效利用系数的预测结果	- 239 -
8.4.2	节水灌溉制度措施对提高灌溉水有效利用系数的预测结果	- 240 -

8.4.3	渠道防渗改造措施对提高灌溉水有效利用系数的预测结果·····	- 240 -
8.4.4	节水灌溉面积措施对提高灌溉水有效利用系数的预测结果·····	- 242 -
8.4.5	工程状况与管理措施对提高灌溉水有效利用系数的预测结果·····	- 243 -
8.4.6	节水灌溉技术措施对提高灌溉水有效利用系数的预测结果·····	- 244 -
8.5	提高灌溉有效利用系数的措施优化配置预测结果·····	- 245 -
8.6	提高灌溉水有效利用系数的主要途径和建议·····	- 248 -
第 9 章	结语·····	- 252 -
9.1	主要结论·····	- 252 -
9.2	后续展望·····	- 254 -
参考文献	·····	- 256 -

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

水资源是经济社会发展的重要支撑和保障,水利是国民经济和农业的重要基础。我国以全球 6%的可更新水资源、9%的耕地资源,保障了占全球 22%人口的温饱 and 经济发展。我国水资源总量为 $2.81 \times 10^{14} \text{m}^3$,居世界第 6 位,人均水资源占有量只有 2240m^3 ,约为世界人均水平的 1/4,排在世界银行统计的 153 个国家中第 88 位;耕地平均水量 $27867 \text{m}^3/\text{hm}^2$,约为世界平均量的 3/4。农业用水主要包括农田、林业、牧业的灌溉用水及水产养殖业(渔业)、副业等用水,而农田灌溉用水是农业的主要用水和耗水对象,占农业用水量的比例较高,但其发展趋势是所占比重持续降低,从 1949 年的 97.1%逐步降低到 2011 年的 62.4%,而工业作为第二用水户,用水量仅占全国用水量的 23.3%。

广东省水资源总量虽然相对较丰富,但水资源的时空分布不均,同样也面临水资源短缺问题,工程性缺水 and 水质性缺水比较严重。而农业作为第一用水大户,2011 年农业用水量仍占广东省总用水量的 49%;同时,农村水利基础设施薄弱等问题依然存在,特别是农业水资源短缺或配置不合理已成为农业生产和农村经济社会发展的一项制约因素,直接影响粮食和农业生产的安全。随着国民经济持续高速发展和非农产业对农业用水需求的逐年加大,未来农业用水将持续受到工业、生活 and 环境用水的挤压,农业灌溉用水比例还将进一步减少。因此,广东省农业用水效率还尚需提升的空间较大。

农业水资源短缺 and 浪费并存是当前广东省农业灌溉用水的现状,灌溉用水量较大,因此灌溉节水潜力是未来广东省节水 and 水资源有效调配的最大领域,也是实现水资源高效利用的重要内容。走节水高效农业发展道路,是实现水资源高效利用 and 粮食安全战略共同作用的必然要求,农业灌溉用水必须走以提高效率为主的可持续发展道路,这无疑对提高灌溉水有效利用系数提出更高要求。

在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中将显著提高灌溉水的利用效率作为经济社会发展的主要目标之一,要求“十二五”末期全国灌溉水有效利用系数提高到 0.53。2011 年中央“一号文件”及“十

二五”规划中也明确提出了要实行最严格的水资源管理制度，建立用水总量控制、用水效率控制和水功能区限制纳污的“三项制度”，划定用水总量、用水效率和水功能区限制纳污的“三条红线”。文件和规划同时提出了一系列硬性措施和刚性要求，灌溉水有效利用系数作为用水效率红线主要指标，要求到 2015 年，全国平均农田灌溉水有效利用系数要提高到 0.53 以上，可见国家对农业灌溉用水效率的重视，已将其提到一个很高的战略高度。广东省灌溉用水比较粗放，灌溉定额偏大，水资源浪费比较严重，2011 年测算的全省灌溉水有效利用系数为 0.452，低于全国平均水平。因此，提高农田灌溉水有效利用系数是科学制定灌区改造与节水灌溉发展目标和分析节水潜力的现实迫切需要，同时也是适应广东省建设节约型社会和节水灌溉发展的要求。

1.2 研究目的及意义

长期以来，对于提高农业灌溉水利用效率，早期研究主要集中在提高渠道输水和田间用水等工程效率方面，比较注重灌溉工程的修建和输配水效率的提高。近年来，随着人们对农业灌溉水资源理论和对灌溉水循环研究的不断加深，提出了如工程性节水、管理性节水、资源性节水、真实节水及节水阈值等概念。上述观点和概念对于理解和认识灌溉用水的水循环过程和尺度变化有很大帮助。因此，通过系统分析自然气候条件、经济发展状况、灌溉水利设施、灌溉用水特征、区域差异等因素对灌溉水有效利用系数的影响，深入探讨如何用投入少、见效快的方法，以达到提高灌溉水有效利用系数的目的，具有重要的现实意义。

同时，农业灌溉水资源的高效利用不仅指用水效率的提高，还反映和延伸到包括其经济效益、生态环境效益和社会效益的综合提高等方面。因此，通过探寻影响农田灌溉水有效利用系数主要因素和各因素之间内在联系，探寻影响农业灌溉水资源消耗的驱动力因素，从系统总体角度分析农田灌溉水资源可持续利用与区域经济社会协调可持续发展之间关系，寻求一种能够将影响灌溉水驱动力量化的方法，就显得尤为必要。

正确评价农田灌溉水有效利用系数，还要考虑时空尺度上的变异，从时空的角度来判断特定区域农田灌溉水资源可持续利用程度。通过对广东省农业灌溉用水进行分析研究，可以清楚地了解农业灌溉用水存在的问题，明确目前和下阶段农业灌溉节水发展方向，更好地制定解决措施。因此，通过客观评价广东省灌溉水有效利用系数，从区域整体可持续发展的角度出发，剖析不同尺度灌溉水有效利用系数转换关系，从而做到区域水资源的优化配置和流域水资源的科学合理调度管理。在灌区节水改造时，不能片面追求节水量，要从维持整