

Theory, Method and Application
of Irrigation Water Use Efficiency

灌溉水利用效率的 理论、方法与应用

浙江省水利河口研究院 贾宏伟 郑世宗 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

灌溉水利用效率的 理论、方法与应用

浙江省水利河口研究院 贾宏伟 郑世宗 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

灌溉水利用效率是灌区农田水利工程建设和用水管理的基础参数和依据。本书是国内第一部系统论述灌溉水利用效率基础理论及测试分析方法的著作, 共分为 5 章, 主要包括灌溉水利用效率的概念、内涵与指标体系, 灌溉各环节水利用效率的测试分析理论与方法, 区域尺度灌溉水利用效率的分析方法, 灌溉水利用效率测试分析的实践应用等内容。

本书内容比较丰富, 兼顾了理论体系的完整性与实际应用的可操作性, 可供从事节水灌溉、灌区建设及用水管理的科技人员、管理人员以及高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (C I P) 数据

灌溉水利用效率的理论、方法与应用 / 贾宏伟, 郑世宗著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 5
ISBN 978-7-5170-0873-6

I. ①灌… II. ①贾… ②郑… III. ①灌溉水—水资源利用—效率—研究 IV. ①S274. 3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第099401号

书 名	灌溉水利用效率的理论、方法与应用
作 者	浙江省水利河口研究院 贾宏伟 郑世宗 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)
经 售	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
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 15 印张 265 千字
版 次	2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	49.00 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

我国是一个人口众多的农业大国，解决好 13 亿人口的吃饭问题，始终是治国安邦的头等大事。人多地少、降水时空分布不均、水土资源不匹配，既是我国现阶段也是今后需要长期面对的基本国情。特殊的地理与气候条件，决定了农业灌溉是发展我国农业生产不可替代的基础条件，也是保障国家粮食安全的重要支撑。

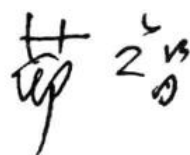
新中国成立 60 多年来，我国农业灌溉发展取得了举世瞩目的成就，灌溉面积由 1949 年的 2.4 亿亩增加到 2010 年的 9.95 亿亩，其中节水灌溉工程面积达到 4.09 亿亩，在约占全国耕地面积不到 1/2 的灌溉面积上，生产了约占全国总量 3/4 的粮食、4/5 的经济作物，使我国以约占世界 9% 的耕地、6% 的水资源，养活了约占全世界 22% 的人口。我国又是一个水资源相对贫乏的国家，人均水资源量不到 2100m^3 ，约为世界水平的 1/4，是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。农业是用水大户，近年农业用水约占全国总用水量的 60% 以上，其中 90% 左右为灌溉用水。我国农业一方面干旱缺水，另一方面用水浪费却十分严重，现状灌溉水的利用效率仅有 0.50 左右，与国际先进水平差距很大。因此，大力发展节水灌溉，努力提高灌溉过程中各个环节的利用效率，为建设节水型农业创造条件，是保障我国经济社会持续发展的一项十分重要的任务。

灌溉水利用效率综合反映了灌区工程状况、用水管理和灌溉技术水平，是区域水资源配置和制定灌溉发展规划的基础数据，也是衡量农业节水效率和农业发展水平的一个重要指标。2011 年中央一号文件《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》、《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》、

《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》均将其作为一项重要指标进行目标考核评价，明确要求 2015 年全国灌溉水利用效率提高到 0.53 以上。为适应新的形势和要求，科学指导各地开展灌溉水利用效率的测算分析评价工作，围绕灌溉水利用效率的基础理论与应用开展相关研究工作具有十分重要的现实意义。

该书比较系统地总结了国内外有关灌溉利用效率领域的最新研究成果与进展，提出了省域尺度灌溉各环节水利用效率测算的基本理论与方法；以浙江省域为研究对象，系统介绍了省域尺度农业灌溉各环节水利用效率的实际测算方法及其成果，并将测算分析成果应用于解决浙江省实际问题。该书既包含灌溉水利用效率的基础理论，又注意突出了灌溉水利用效率的实践应用，较好体现了理论与应用的有机结合。期望本书的出版对我国灌溉水利用效率相关领域的研究工作有一定的推动作用。

中国工程院院士：



2013 年 1 月

序 二

水资源是基础性的自然资源和重要的战略资源。我国水资源严重短缺，随着社会经济的快速发展，水资源供需矛盾日益突出，已成为我国国民经济可持续发展的主要瓶颈。我国农业用水量超过全国总用水量的 60%，不但用水量大，而且用水效率低。农业节水是缓解我国水资源供需矛盾的重要途径，党和国家历来高度重视，《国家农业节水纲要（2012—2020 年）》也进一步明确：把节水灌溉作为经济社会可持续发展的一项重大战略任务。

提高灌溉水利用效率是节水灌溉的核心目标。灌溉水利用效率不但是灌区农田水利工程建设和用水管理的基础参数和依据，而且已成为我国一项重要的社会经济发展指标。《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》、《全国水利发展“十二五”规划》、《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》（国发〔2012〕3 号）、《国家农业节水纲要（2012—2020 年）》均对我国灌溉水利用效率的发展目标提出了明确要求。

灌溉水利用效率需要可度量、可评价，但由于灌区情况复杂，灌溉水利用效率的测试分析比较困难。“十一五”、“十二五”期间，全国各地组织开展了采用首尾法进行灌溉水利用效率测试分析的工作。首尾法免去了渠道、渠系、田间等测定环节，使灌溉水利用效率的测试分析具有可操作性，但是灌溉过程中各环节的水利用效率到底是多少？节水潜力有多大？这些问题不能回避。

针对上述问题，该书的年轻作者们，立足于实践，通过多年的努力，对灌溉水利用效率的基础理论和测试分析方法进行了积极探索和研究。该书较系统全面地介绍了灌溉水利用效率的基本概念和指标体系等基础理论、灌溉各环节水利用效率的测试分析

方法及浙江省灌溉水利用效率测试分析实践。在实践基础上，该书也提出了一些新的理论和方法，如基于非充分灌溉理论的灌溉水利用效率及田间水利用效率的概念与确定方法、将渠系工程因素和管理因素分开的灌溉水利用效率指标体系、渠道输水效率静水测试法的改进、适合南方多越级渠道灌区渠系输水效率的推算方法等，同时也介绍了浙江省主要类型渠道流量与单位长度渠道输水效率的关系、浙江省灌溉过程中不同环节的水利用效率、浙江各类灌区渠道衬砌率与渠系输水效率的关系等成果。

该书将基础理论、测试分析方法与应用实践有机结合，是一本较好的参考书。正如该书作者所认识到的，由于灌区情况的复杂性，在灌溉水利用效率的实际测试分析工作中，肯定还会遇到许多新的问题，还需要进一步深入探索和研究。希望该书的出版，能够促进该领域的学术交流，推动各地灌溉水利用效率的测试分析以及研究工作的进一步深入。

中国工程院院士：



2013年1月

前 言

我国是一个农业大国，人多地少、水资源时空分布不均、水资源与生产力布局不相匹配，这些既是现阶段突出的水情，也是今后长期面临的基本国情。特殊的自然条件，决定了农业灌溉是我国发展农业生产不可替代的基础条件，是保障国家粮食安全的重要支撑。灌溉水利用效率在我国通常用灌溉水利用系数表示，是农业灌溉用水管理、灌溉技术水平、灌区工程状况的综合体现，也是衡量农业灌溉发展水平的一个重要指标，是灌区建设、农业用水管理、区域水资源配置和制定节水灌溉发展规划的基础参数和依据，在农业灌溉工作中具有非常重要的地位。

中华人民共和国国民经济和社会发展“十一五”、“十二五”规划纲要，全国水利发展“十一五”、“十二五”规划，均将灌溉水利用效率作为社会经济发展的重要考核指标。2012年国务院印发《关于实行最严格水资源管理制度的意见》（国发〔2012〕3号），对实行最严格水资源管理制度做出全面部署和具体安排，提出灌溉水利用效率到2015年提高到0.53，到2020年提高到0.55以上。《国家农业节水纲要（2012—2020年）》进一步明确，到2020年，全国农业用水量基本稳定，农田灌溉水利用效率达到0.55以上。2013年1月，国务院下发《实行最严格水资源管理制度考核办法》，明确将灌溉水利用效率纳入各省级政府的考核指标。为适应新形势的要求，开展灌溉水利用效率相关理论与应用研究具有重要的现实意义。

为此，“十一五”、“十二五”期间，水利部组织在全国范围内开展了大规模的灌溉水利用效率测试分析工作，并且也会更为深入和持续地开展下去。然而，由于影响因素的复杂性，准确地测定分析灌区灌溉水利用效率往往十分棘手，特别是分析灌溉过程

中各个环节的水利用效率及大尺度灌溉水利用效率则更为困难，相关的系统研究也比较少。

2006年以来，在浙江省水利厅和浙江省水利河口研究院的支持下，围绕灌区农业灌溉水利用效率问题，我们先后开展了“浙江省灌区灌溉水利用系数测试与分析”（浙江省水利厅项目，2006—2009年）、“浙江省‘十一五’灌溉水利用率测算分析”（浙江省水利厅项目，2006—2010年）、“浙江省灌区渠道渗水特征及渠系水利用系数推算方法研究”（2007年浙江省水利厅重点科技项目，编号RC0730）、“浙江省灌溉水利用效率的确定方法研究及应用”（2009年浙江省水利河口研究院重点攻关项目）、“浙江省水稻灌区节水减污研究创新人才团队项目”（浙江省科技计划项目，编号2010F20016）等课题研究工作，对灌溉水利用效率的基础理论和测试分析技术进行了积极的探索和研究。

本书是上述研究成果的系统总结。全书共分5章，主要包括灌溉水利用效率的概念、内涵与指标体系，灌溉各环节水利用效率的测试分析理论与方法，区域尺度灌溉水利用效率的分析方法，灌溉水利用效率测试分析的实践应用等内容。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）在基础理论方面，提出了基于非充分灌溉理论的灌溉水利用效率的概念，建立了包含渠道输水效率、渠系输水效率、渠系配水效率和田间水利用效率等指标的灌溉水利用效率指标体系，该指标体系将渠系工程本身的水利用效率与渠系调配水管理的水利用效率分开，更能满足灌区建设与用水管理实践的需要。

（2）在测试分析方法方面，对渠道输水效率的静水测试法进行了改进，提出了适合南方多越级渠道灌区的渠系输水效率推算方法，以及基于非充分灌溉理论的灌溉水利用效率及田间水利用效率测试分析方法等。

（3）在应用实践方面，以浙江省域尺度为研究对象，基于103条渠道的静水法测试，建立了浙江省9种主要类型渠道流量与单位长度渠道输水效率的关系式，绘制了各类型渠道单位长度渠道

输水效率查算表；通过测试分析，得到省域尺度灌溉过程中不同环节的水利用效率；建立了省域尺度各类灌区及全省渠道衬砌率与渠系输水效率的关系；确定了浙江省域灌溉水利用效率及不同环节水利用效率的提高潜力。

研究过程中，浙江省先后有 200 多名技术人员参与上述课题的现场测试及相关研究工作，涉及浙江省水利河口研究院、浙江省农村水利局、浙江全省 70 多个灌区及相关地市、县（市、区）水利局等多家单位。本书的成果是各方共同努力的结果，是集体智慧的结晶。在此，谨代表编写组对相关人员的辛勤付出和努力表示衷心的感谢！

感谢武汉大学茆智院士和崔远来教授、中国农业大学中国农业水问题研究中心主任康绍忠院士、中国灌溉排水发展中心总工程师韩振中教授级高工、浙江省水利厅副厅长许文斌教授级高工、中国水利水电科学研究院裴源生教授级高工、浙江大学郭宗楼教授、山西省水科院孟国霞教授级高工、西北农林科技大学李安国教授级高工、扬州大学蔡守华副教授在研究过程中给予的指导和帮助。

感谢浙江省农村水利局蒋屏教授级高工、姜海军高工和迟俊民教授级高工在研究中给予的支持和帮助。

本书主要由贾宏伟、郑世宗著，由陈森美教授级高工、叶碎高教授级高工审定，参加本书编写及相关研究的人员还有曹红蕾、严雷、陈雪、赵晓波、王士武、胡国建、卢成、钱浩、卞祖铭、汤海宇、王晓红、郑磊磊等。

本书是国内第一部系统的灌溉水利用效率方面的专著，旨在抛砖引玉，引起大家对相关问题进行深入的探讨，推动灌溉水利用效率的相关工作。由于作者水平有限，书中难免存在疏漏及不成熟之处，恳请批评指正。

作者

2012 年 12 月于杭州

Preface

China is a large agricultural country which is densely populated, and the uneven distribution of water resources in space and time does not match with the distribution of productivity. This is not only a prominent situation of water resources in China at the present stage, but also a long-term basic national condition in the future. The special natural conditions determine that agricultural irrigation is an irreplaceable fundamental condition for the development of agricultural production in China, and also an important support for national food security. Irrigation water use efficiency is normally termed as irrigation water use coefficient in China. As an integrated reflection of agricultural irrigation water use management, irrigation technical level and irrigation areas' status, irrigation water use efficiency is an important indicator to measure the level of agricultural irrigation, as well as a basic parameter and the foundation for building of irrigation areas, management of agricultural water, regional allocation of water resources, and formulation of water-saving irrigation development plans. Irrigation water use efficiency plays a very important role in the agricultural irrigation work.

Irrigation water use efficiency have been used as an important assessment indicator of the socio-economic development both in the "Eleventh Five-Year Plan" (2006 – 2010) and "Twelfth Five-Year Plan" (2011 – 2015) for National Economic and Social Development of People's Republic of China, and for its national water resources development in the same period. In 2012, the State Council unveiled "Views on the Implementation of the Most Stringent Water Resources Management System" (State Council Document No. 3, 2012), making specific arrangements to implement the strictest water resources management system, and proposing to increase the irrigation water use efficiency to 0.53 by 2015 and to above 0.55 by 2020. "National Agricultural Water-saving Outline (2012 – 2020)" further clarified that the national agricultural water consumption will be basically maintained stable and

the farmland irrigation water use efficiency will be above 0.55 by 2020. In January 2013, "Assessment on Implementation of the Strictest Water Resources Management System" was released by the State Council, in which irrigation water use efficiency was defined as an assessment indicator for provincial government performance. In order to meet the requirements of the new situation, it is of practical significance to carry out research on the theories and application of irrigation water use efficiency.

For these above-mentioned reasons, the Ministry of Water Resources organized a nationwide test analysis of irrigation water use efficiency during "Eleventh Five-Year Plan" and "Twelfth Five-Year Plan" periods, and will continue to further deeply and widely of this work. Due to the complexity of influential factors, however, there is much difficulty in the accurate determination and analysis of irrigation water use efficiency. In particular, the analysis of water use efficiency in each link of irrigation process and in a large-scale is more difficult and the systematic research is also less.

Since 2006, in the support of the Water Resources Department of Zhejiang Province (WRD) and Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary (H&E), the authors and other contributors have successively carried out several studies on agricultural irrigation water use efficiency issues, such as: "Test and Analysis of Water Use Efficiency in Irrigation Areas of Zhejiang Province" (WRD Project, 2006 - 2009), "Test and Analysis of Irrigation Water Use Efficiency in Zhejiang Province during the Eleventh Five-Year Plan Period" (WRD Project, 2006 - 2010), "Research on Canal Seepage Characteristics and the Calculation Method of Canal Water Use Coefficient in Irrigation Areas of Zhejiang Province" (Key technology project of WRD in 2007, No. RC0730), "The Determination Method and Application of Irrigation Water Use Efficiency in Zhejiang Province" (Key research project of H&E in 2009), "Innovative Talents Team Project of Water-Saving and Pollution Reduction Research in Rice Irrigation Areas of Zhejiang Province" (Technology planning project of Zhejiang, No. 2010F20016), and so on. All these works keenly explored and studied on the basic theory and test analysis of irrigation water use efficiency.

This book is a systematic summary of the research results above. The book is divided into five chapters, which mainly involve basic concepts and index system of irrigation water use efficiency, test analysis methods of

various links of the irrigation water use efficiency, analysis methods of irrigation water use efficiency on regional scale, test analysis and application practice of irrigation water use efficiency, and so forth. To sum up, the research in this book makes new progress in following aspects:

(1) In the aspect of basic theories, the concept of irrigation water use efficiency is proposed based on non-sufficient irrigation theory, and the irrigation water use efficiency index system is established including canal conveyance efficiency, canal system conveyance efficiency, canal system distribution efficiency, field application efficiency, etc. By separating the canal system water use efficiency of the canal system project efficiency and canal system water management efficiency, this index system can better meet the needs of irrigation area construction and water use management in practice.

(2) In the aspect of test and analysis methods, the still water test method of canal conveyance efficiency is improved and the calculation method of canal system water conveyance efficiency suitable for multi-skipping canal irrigation region in southern China, and the test analysis methods of irrigation water use efficiency and field application efficiency based on non-sufficient irrigation theory, etc.

(3) In the aspect of practical application, 103 canals within the domain of Zhejiang Province are tested based on still water test method, and 9 main types of formulas on the canal discharge and canal conveyance efficiency per unit length in Zhejiang are established, and the reference table for canal conveyance per unit length for each type of canals is made. The water use efficiency for different links of irrigation process in provincial scale is obtained by test and analysis. The relationship between provincial canal lining rate and canal system conveyance in various types of irrigation areas on provincial scale is established, and the improvement potential of irrigation water use efficiency and water use efficiency in different irrigation links in Zhejiang Province is defined.

In the research process, there were more than 200 technicians participating in field tests and relative research work of this subject mentioned above in Zhejiang province from Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Rural Water Conservancy Bureau of Zhejiang, over 70 irrigation areas and relevant local water resources departments at municipal, county (city, district) in Zhejiang. The achievements of this book are the result of all parties'

efforts, and the crystallization of the collective wisdom. Hereby, on behalf of the Writing Group, the author would like to express the heartfelt gratitude to all related personnel for their hard work and efforts.

Thanks for the guidance and assistance given in the research process by the following experts: Academician Mao Zhi and Professor Cui Yuanlai from Wuhan University, Academician Kang Shaozhong from Center for Agricultural Water Research of China Agricultural University, Chief Engineer/professor-level senior engineer Han Zhenzhong from China Irrigation and Drainage Development Center, Deputy director/Professor-level senior engineer Xu Wenbin from Water Resources Department of Zhejiang Province, Professor-level senior engineer Pei Yuansheng from China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Professor Guo Zonglou from Zhejiang University, Professor-level senior engineer Meng Guoxia from Water Resources and Hydropower Research Institute of Shanxi Province, Professor-level senior engineer Li Anguo from Northwest Agriculture and Forestry University, Associate Professor Cai Shouhua from Yangzhou University.

Thanks for the support and assistance given in the research process by Professor-level senior engineer Jiang Ping, Senior engineer Jiang Haijun, and Professor-level senior engineer Chi Junmin from Rural Water Conservancy Bureau of Zhejiang Province.

This book is written by Jia Hongwei and Zheng Shizong, examined by Professor-level senior engineer Chen Senmei and Ye Suigao. Meanwhile, people who also take part in the edition and relative research include Cao Honglei, Yan Lei, Chen Xue, Zhao Xiaobo, Wang Shiwu, Hu Guojian, Lu Cheng, Qian Hao, Bian Zuming, Tang Haiyu, Wang Xiaohong, Zheng Leilei, etc.

This book is the first monograph systematically focused on the irrigation water use efficiency, aiming to inspire the people's deep exploration about related issues and promote corresponding work on irrigation water use efficiency. For authors' limited competency, your comments and correction will be highly appreciated should there be any errors and immature points.

Author

December 2012, Hangzhou

目 录

序一

序二

前言

第1章 绪论	1
1.1 灌溉水利用效率研究的背景与意义	1
1.1.1 水资源供需矛盾是我国当前社会发展的重要瓶颈	1
1.1.2 农业灌溉是保障我国粮食生产安全的基础支撑	2
1.1.3 农业灌溉水利用效率已成为我国社会发展的重要目标之一	2
1.1.4 灌溉水利用效率的理论及测试分析方法还有待进一步完善	3
1.2 灌溉水利用效率的研究评述	4
1.2.1 国内外灌溉水利用效率的名称及指标体系还不统一	4
1.2.2 灌溉水利用效率测试分析难度大,还缺少系统、科学的方法	5
1.2.3 区域尺度各环节水利用效率的测试分析是目前工作的薄弱环节	6
1.3 本书的内容及框架	8
第2章 灌溉水利用效率的概念、内涵与指标体系	10
2.1 灌溉水利用效率的概念与内涵	10
2.1.1 灌溉水利用效率的经典概念	10
2.1.2 灌溉水利用效率概念的修正	13
2.1.3 灌溉水利用效率的内涵	17
2.1.4 小结	21
2.2 灌溉水利用效率的指标体系	21
2.2.1 国内外典型的灌溉水利用效率指标体系	21
2.2.2 灌区用水过程及影响因素	27
2.2.3 灌溉水利用效率指标体系的修正	30
2.2.4 小结	35
第3章 灌溉各环节水利用效率的测试分析理论与方法	37
3.1 渠道输水效率的测试分析方法	37

3.1.1	经验公式法	37
3.1.2	动水测试法	43
3.1.3	静水测试法	47
3.1.4	双环入渗仪法	53
3.1.5	小结	55
3.2	渠系输水效率的推算方法	57
3.2.1	各级渠道水利用效率连乘法	57
3.2.2	正向递推水量平衡法	59
3.2.3	多越级渠道灌区渠系输水效率的正向递推法	62
3.2.4	渠系输水效率推求的其他方法	70
3.2.5	小结	71
3.3	渠系配水效率的测算方法	72
3.3.1	直接测试法	73
3.3.2	间接测算法	81
3.3.3	小结	83
3.4	田间水利用效率测试方法	84
3.4.1	基于充分灌溉理论的测试分析方法	84
3.4.2	基于非充分灌溉理论的测试分析方法	91
3.4.3	小结	96
3.5	灌溉水利用效率的首尾测算法	98
3.5.1	首尾测算法的基本方法	98
3.5.2	充分灌溉情况下净灌溉定额的计算	100
3.5.3	非充分灌溉情况下净灌溉定额的计算	106
3.5.4	小结	108
第4章	区域尺度灌溉水利用效率的分析方法	110
4.1	典型灌区的抽样方法	110
4.1.1	抽样技术的一般方法	110
4.1.2	典型灌区的抽样方法	115
4.1.3	实践中典型灌区抽样的一些做法和要求	117
4.1.4	小结	119
4.2	区域尺度灌溉水利用效率的点面转化方法	119
4.2.1	加权法	120
4.2.2	其他点面转化方法	123
4.2.3	小结	127

第 5 章 灌溉水利用效率测试分析的实践应用..... 129

5.1 浙江省概况 129

5.1.1 自然概况 129

5.1.2 社会经济 131

5.1.3 农业灌溉 132

5.2 主要类型渠道输水效率的测试分析 135

5.2.1 测试渠道及测试成果 135

5.2.2 渠道输水效率的影响因素及特征 142

5.2.3 单位长度渠道输水效率与渠道流量的关系 145

5.2.4 单位长度渠道输水效率查算表 148

5.3 渠系输水效率推求与分析 150

5.3.1 典型灌区及其基本特征 150

5.3.2 典型灌区的渠系输水效率 157

5.3.3 自流灌区渠系输水效率的特征 160

5.3.4 浙江省域尺度的渠系输水效率 164

5.4 渠系配水效率测算分析 168

5.4.1 渠系水利用效率的测算 168

5.4.2 渠系配水效率的推求 175

5.5 田间水利用效率的测试分析 176

5.5.1 测试方法和田间测试成果 176

5.5.2 田间水利用效率的计算 180

5.6 渠道衬砌率与渠系输水效率的关系研究 183

5.6.1 典型灌区渠道衬砌率与渠系输水效率的关系 183

5.6.2 省域尺度渠道衬砌率与渠系输水效率的关系 186

5.6.3 灌区改造投资规模与渠系输水效率的关系 195

5.7 灌溉水利用效率及其提高潜力研究 199

5.7.1 浙江省现状灌溉水利用效率及其影响因素分析 199

5.7.2 农业灌溉各个环节水利用效率提高的潜力分析 202

5.7.3 灌溉水利用效率提高的对策 204

参考文献 208