

Methodology and Application for Analysis of
Irrigation Water Utilization Efficiency

灌溉水有效利用系数 测算分析理论与应用

水利部农村水利司 编著
中国灌溉排水发展中心

水利部农村水利司



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

灌溉水有效利用系数 测算分析理论方法与应用

水利部农村水利司 编著
中国灌溉排水发展中心



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

灌溉水有效利用系数测算分析理论方法与应用 / 水利部农村水利司, 中国灌溉排水发展中心编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2018. 1
ISBN 978-7-5170-6321-6

I. ①灌… II. ①水… ②中… III. ①灌溉水—利用系数—研究 IV. ①S273

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第031805号

审图号:GS(2018)2014号

书 名	灌溉水有效利用系数测算分析理论方法与应用 GUANGAISHUI YOUXIAO LIYONG XISHU CESUAN FENXI LILUN FANGFA YU YINGYONG
作 者	水利部农村水利司 编著 中国灌溉排水发展中心
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 (营销中心)
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	天津嘉恒印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 13.5印张 265千字
版 次	2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	56.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

内 容 提 要

本书是近年来灌溉用水效率分析评价的最新成果,系统论述灌溉水有效利用系数相关知识与理论,全面阐述灌区与区域灌溉水有效利用系数测算分析方法与应用,分析研究不同尺度灌溉水有效利用系数关键影响因素、阈值及灌溉节水潜力,从而建立起系统的灌溉水有效利用系数测算分析理论基础与技术体系。全书共分为7章,主要包括灌溉用水效率指标内涵、测算分析方法研究、测算分析网络构建、测算分析软件与信息管理系统开发、灌溉水有效利用系数关键影响因素分析、灌溉水有效利用系数阈值初步分析等内容。

概况起来,本书主要在以下几个方面取得了重要进展。

(1) 提出了全国、区域、灌区不同尺度灌溉水有效利用系数测算分析与评价系统理论框架。为满足不同尺度灌溉水有效利用系数评价需求,提出以灌溉用水量为权重,通过点面空间尺度延展与函数转换,实现不同尺度灌溉水有效利用系数测算分析和科学评价的理论框架。

(2) 提出了灌区灌溉水有效利用系数多要素综合首尾测算分析法。针对传统测算分析方法应用中存在的难题,从灌溉水有效利用系数定义出发,综合考虑多水源供水、多用户用水、跨年度取水、洗碱和套种用水、充分和非充分灌溉等多过程复杂要素,提出系统科学、理论性强,具有较强可操作性和广泛适用性的灌区灌溉水有效利用系数测算分析与评价系统方法。

(3) 采用非概率抽样中的配额抽样方法,分全国、省级区域、灌区3个层次,确定了样点灌区,构建了由不同规模与类型样点灌区组成的全国灌溉水有效利用系数测算分析与评价网络。

(4) 研究开发了基于互联网的省级和全国两级灌溉水有效利用系数信息管理系统,动态跟踪评价了2006年以来各年度不同样点灌区、省级区域以及全国不同尺度的灌溉水有效利用系数变化,为国家政府部门宏观决策、用水管理、发展规划、最严格水资源管理制度实施等工作提供了科学依据。

(5) 初步探讨了典型灌区基于工程经济、生态环境等综合要素的灌溉水有效利用系数阈值分析方法,以此为基础,初步提出了全国和省级区域灌溉水有效利用系数阈值及其提高潜力。

Abstract

As the latest achievement of analysis and assessment of irrigation efficiency in recent years, this book attempts to systematically discuss the knowledge and theories on irrigation water utilization efficiency, to fully elaborate on the analytical method of the efficiency within irrigation districts and regions and its application, and to analyze and study the key contributory factors, the threshold value, and the water-saving potential, and in this way to form a theoretical foundation and a technical system for the measuring and analysis of the efficiency. The whole book is divided into seven chapters, including the connotation of irrigation water use efficiency indicators, the research on measuring and analytical methods, the construction of measuring and analytical network, the development of measuring and analytical software and information management system, the analysis of key contributory factors of irrigation water utilization efficiency, the preliminary analysis of the threshold of irrigation water utilization efficiency and so on.

The main progresses made by this book are summarized as follows.

(1) The theoretical framework for the measurement and evaluation of the irrigation water utilization efficiency on national, provincial and irrigation district scales is proposed. The framework is constructed through spatial scale expansion of points and faces and function transformation by applying the amount of irrigation water as the weight. Its establishment is to meet the demand for assessing the coefficient on different scales.

(2) A multi-factor head-end measurement and analysis method for the irrigation water utilization efficiency in irrigation districts is put forward. Aiming at solving the problems in the application of traditional measurement and analysis methods, the research proposes a measurement and analysis method that is systematic, scientific, and feasible. This method is based on the definition of the coefficient. Meanwhile, complex factors of various procedures including water supply from multiple sources, water consumption by multiuser, irrigation spanning more than one year, irrigation for dealkalization or interplanting, and sufficient or insufficient irrigation are also taken into account.

(3) The sample irrigated regions of the national, provincial, and irrigation district levels are determined through quota sampling of the non-probability sampling method. Moreover, the study establishes a national measurement, analysis, and evaluation network for irrigation water utilization efficiency that consists of sample irrigation regions of different scales and types.

(4) The information management system for irrigation water utilization efficiency at provincial and notional levels is developed based on the Internet. On this basis, dynamically evaluates the annual variations of the water utilization efficiency of sample irrigated regions, provincial regions, and the whole nation have been dynamically evaluated since 2006. The results provide scientific bases for the government's decision-making, water utilization management, development planning, and the implementation of the strictest water resources management.

(5) It preliminarily discusses the analysis method of threshold value for the water utilization efficiency in typical irrigation districts based on comprehensive factors including engineering economy and ecological environment. Then, on this basis, it puts forward the threshold value of the efficiency on national and provincial levels and discusses increasing potential of water utilization efficiency.

本书编委会

主任委员：王爱国 李仰斌

副主任委员：李远华 吴宏伟 颜 勇 赵乐诗 韩振中

委 员：党 平 朱寿峰 刘永攀 严家适 冯保清

裴源生 崔远来 高 峰 郭慧滨 姚宛艳

编 著：韩振中 冯保清 裴源生 崔远来 高 峰

参编人员：崔 静 武前明 赵 勇 陆垂裕 吴 迪



人多地少水缺、降水时空分布不均是我国的基本国情水情，水资源供需矛盾是制约社会经济可持续发展的主要因素之一，不断提高有限水资源的利用效率和效益将是今后相当长时间的一项战略任务。我国灌溉用水量占用水总量的60%左右，是用水大户，但灌溉用水效率低，节水潜力大。中华人民共和国国民经济和社会发展“十一五”“十二五”“十三五”规划纲要均对灌溉水有效利用系数提出目标要求，到2020年灌溉水有效利用系数达到0.55以上。根据《全国节水灌溉规划》，到2020年，在扩大有效灌溉面积、新增粮食生产能力500亿kg的条件下，灌溉用水总量维持在3600亿 m^3 左右，灌溉水有效利用系数提高到0.55以上。2012年，国务院颁布《关于实行最严格水资源管理制度的意见》中提出水资源“三条红线”管理，对用水总量和灌溉水有效利用系数提出了红线指标，到2030年，全国用水总量控制在7000亿 m^3 以内，灌溉水有效利用系数达到0.6以上。

灌溉用水过程复杂，涉及因素较多，灌溉用水效率与工程设施、用水管理和灌溉技术等诸多因素有关。为了科学评价灌溉用水效率与节水灌溉发展成效，科学界定灌溉用水效率指标内涵，统一规范测算分析方法，动态监测灌溉用水效率变化，深入研究灌溉用水效率的影响因素和有效提升途径，合理确定全国和不同区域灌溉用水效率提高潜力，研究探讨基于经济合理技术可行、生态友好的灌溉用水效率阈值（合理上限值），均有重要的现实意义。

根据实际工作需要，水利部于2006年正式启动全国灌溉用水效率测算分析工作，利用水利前期项目、社会公益项目和水资源费项目等渠道经费，开展相关研究和测算分析工作，取得了丰富成果，为国家和水利行业制定发展规划与相关重大政策提供了技术支持和科学依据。

本书是近年灌溉用水效率测算分析研究成果的总结与提炼，主要包括灌溉用水效率指标内涵、测算分析方法研究、测算分析网络构建、测算分析软件与信息管理系统开发、“十一五”灌溉用水效率测算分析实例、灌溉用水效率关键影响因素分析、灌溉用水效率阈值初步分析等内容。“十一五”“十二五”期间，在水利部农水司的指导下，在水利部国际合作与科技司、水资源司的大力支持下，中国灌溉排水发展中心负责测算分析相关具体技术工作，31个省（自治区、直辖市）和新疆生产建设兵团利用本书介绍的测算分析方法，开展了本区域的灌溉用水效率测算分析工作。据不完全统计，每年参与该项工作的人员逾万人。

本书由韩振中、冯保清、裴源生、崔远来、高峰编著，崔静、武前明、陆垂裕、赵勇、吴迪参与编写。全书由韩振中、冯保清统稿。

在本书编写过程中，冯广志、李英能、赵竞成等对本书提出了许多宝贵意见和诚挚建议，在此表示衷心感谢！书中引用了有关文献和各地测算分析成果，在此一并表示感谢！

由于编写人员水平所限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。尝蒙赐教，不胜感荷！

编者

2017年6月

目录

CONTENTS

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 灌溉用水效率相关术语	1
1.2 灌溉用水效率相关研究现状与问题讨论	3
1.3 灌溉用水效率表述指标的定义与内涵	9
第 2 章 灌溉水有效利用系数测算分析方法	11
2.1 灌区灌溉水有效利用系数传统测算分析方法	11
2.2 灌区灌溉水有效利用系数首尾测算分析方法	13
2.3 区域灌溉水有效利用系数分析方法	21
第 3 章 数据分析软件与信息管理系统开发	31
3.1 数据处理与信息管理	31
3.2 信息管理系统用户定位	32
3.3 信息管理系统开发原则	33
3.4 系统开发目标与总体框架	33
3.5 系统数据库	34
3.6 灌溉水有效利用系数测算分析系统开发	40
第 4 章 灌溉水有效利用系数测算分析方法应用	63
4.1 测算分析技术路线	63
4.2 样点灌区网络构建	64
4.3 灌溉面积和灌溉用水量分析	71
4.4 样点灌区灌溉水有效利用系数	76
4.5 省级区域灌溉水有效利用系数	84
4.6 分区灌溉水有效利用系数	87
4.7 全国灌溉水有效利用系数	89
第 5 章 区域灌溉水有效利用系数关键影响因素分析	90
5.1 灌区尺度灌溉水有效利用系数主要影响因素	90

5.2	区域灌溉水有效利用系数影响因素分析	100
5.3	区域灌溉水有效利用系数与主要影响因子相关分析	103
5.4	不同分区灌溉水有效利用系数差异性分析	110
5.5	全国灌溉水有效利用系数的空间变异性分析	114
第6章	典型灌区灌溉水有效利用系数相关研究	132
6.1	典型灌区基本情况	132
6.2	研究内容和方法	140
6.3	典型灌区灌溉水循环特点	143
6.4	水价变化对灌溉水有效利用系数影响分析	148
6.5	渠道防渗对灌溉水有效利用系数的影响分析	150
6.6	灌溉水有效利用系数提高产生的经济与生态效应	151
6.7	改造投入与灌溉水有效利用系数提高的关系	153
第7章	灌溉水有效利用系数阈值初步分析	162
7.1	灌溉水有效利用系数阈值的内涵	162
7.2	灌区灌溉水有效利用系数阈值确定方法	163
7.3	典型灌区灌溉水有效利用系数阈值分析	166
7.4	全国灌溉水有效利用系数阈值初步探讨	181
参考文献	195



CONTENTS

Preface

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Related terminology for irrigation efficiency	1
1.2 Status quo and issues of research on irrigation efficiency	3
1.3 Definition and connotation of irrigation efficiency indicators	9
Chapter 2 Measurement and analysis method of irrigation water utilization efficiency	11
2.1 Traditional measurement and analysis method of irrigation water utilization efficiency	11
2.2 Measurement and analysis method for irrigation water utilization efficiency of canal head and tail water	13
2.3 Analyzing method of regional irrigation water utilization efficiency	21
Chapter 3 Data analysis software and Information Management System (IMS) development	31
3.1 Data processing and information management	31
3.2 User positioning of Information Management System	32
3.3 Development principles for Information Management System	33
3.4 Objectives and general framework of system development	33
3.5 System database	34
3.6 Development of Information Management system for irrigation water utilization efficiency	40
Chapter 4 Application of measurement and analysis method of irrigation water utilization efficiency	63
4.1 Technical route of measurement and calculation	63
4.2 Network construction of sampling irrigation districts	64

4.3	Analysis on irrigation area and irrigation water use	71
4.4	Irrigation water utilization efficiency of sampling irrigation district	76
4.5	Irrigation water utilization efficiency in various provinces	84
4.6	Irrigation water utilization efficiency in different regions	87
4.7	National irrigation water utilization efficiency	89
Chapter 5 Analysis on the main contributory factors of regional irrigation		
	water utilization efficiency	90
5.1	The main contributory factors of irrigation water utilization efficiency at the irrigation district level	90
5.2	Analysis on contributory factors of regional irrigation water utilization efficiency	100
5.3	Correlation analysis on regional irrigation water utilization efficiency and its main contributory factors	103
5.4	Analysis on differences among irrigation water utilization efficiency of different regions	110
5.5	Analysis on spatial variability of national irrigation water utilization efficiency	114
Chapter 6 Relevant researches on irrigation water utilization efficiency of		
	typical irrigation districts	132
6.1	Basic information of typical irrigation districts	132
6.2	Research contents and methods	140
6.3	Water cycle characteristics of typical irrigation district	143
6.4	Impact of water price change on irrigation water utilization efficiency	148
6.5	Impact of canal seepage control on irrigation water utilization efficiency	150
6.6	Economic and ecological effects generated by improved irrigation water utilization efficiency	151
6.7	Relationship between renovation investment and improved irrigation water utilization efficiency	153
Chapter 7 Preliminary analysis on threshold of irrigation water utilization		
	efficiency	162
7.1	Connotation of the threshold of irrigation water utilization efficiency	162

7.2	Determination method of the threshold of irrigation water utilization efficiency in irrigation districts	163
7.3	Analysis on threshold of irrigation water utilization efficiency in typical irrigation districts	166
7.4	Preliminary discussion on threshold of national irrigation water utilization efficiency	181
Reference	195

第 1 章 绪 论

1.1 灌溉用水效率相关术语

20 世纪 50 年代，国外提出了“灌溉效率”这一概念。Israelsen 定义灌溉效率为灌溉农田或工程中作物消耗的灌溉水量与从河流或其他自然水源引入农田渠道工程或渠系的水量之比。1977 年国际灌排委员会提出了灌溉效率标准，该标准将总灌溉效率划分为输水效率、配水效率和田间灌水效率，总灌溉效率为三者之积。之后一些学者又提出了储水效率和田间潜在灌水效率等灌溉效率指标。

国际灌排委员会将田间灌水效率定义为：为维持作物生长要求的最低土壤湿度所需要的水量与灌入田间的水量之比。但该指标对采用淹灌的水田并不适用；而且由于为维持作物生长要求的最低土壤湿度所需要的水量难以准确确定，因此对于旱作农田在实际应用时也存在困难。

目前国外使用与灌溉用水效率相关的术语，主要有灌溉效率（irrigation efficiency）、灌溉水利用（效）率（efficiency of irrigation water use）、水分生产率（water productivity）、作物水分利用效率（crop water use efficiency）、水分消耗百分比等，其中作物水分利用效率与水分生产率的含义类似。

国际上通用的表述方式是“效率”，而国内习惯用“系数”反映灌溉水的利用程度。我国 SL 56—2013《农村水利技术术语》定义灌溉水利用系数为：灌入田间可被作物利用的水量与渠首引进的总水量的比值。郭元裕主编《农田水利学》上的定义与此类似。从定义本身来说，我国的“灌溉水利用系数”与国际上常用的“灌溉效率”“灌溉水利用率”是一致的。但在《农田水利学》中，“灌溉水利用系数”出现在“灌溉渠道流量推算”章节中并给出了定义解释。之所以引入以上定义，主要目的是为了进行渠道设计流量的推算，且并没有专门的章节对灌溉用水效率相关术语进行定义和描述。在国内现有权威出版物中也没有对国外广泛使用的灌溉效率进行专门定义和解释，只是认为其含义与灌溉水利用系数相似。

GB/T 50363—2006《节水灌溉工程技术规范》对渠系水利用系数定义为：末级固定渠道输出流量（水量）之和与干渠首引入流量（水量）的比值，对田间水利用系数定义为：灌入田间可被作物利用的水量与末级固定渠道放出水量的比值，将灌溉水利用系数定义为：灌入田间可被作物利用的水量与渠首引进的总水

量的比值。因此，灌溉水利用系数应等于渠系水利用系数与田间水利用系数的乘积。

从微观层面，“灌入田间可被作物利用的水量”很难准确界定。比如水田蓄在田间的表层水，旱田蓄在作物根系层的土壤水，一部分满足作物生态需求，另一部分满足作物生理需求，而田间水分生态环境对作物的生理生长起着抑制或促进作用。灌溉到田间的水量，主要通过作物蒸腾、棵间蒸发、土壤深层渗漏等途径被消耗掉。对于绝大多数灌溉农田，棵间蒸发是未被作物直接利用的水量，但又是不可避免的农田水分消耗，可能为无效消耗，也可能有利于田间小气候形成和作物生长，为有效消耗。分析界定非常复杂而难以操作，超出了节水灌溉工程的研究范畴。

灌溉水从水源取水到田间灌溉，从满足作物生理生态消耗到形成作物产量，主要经过以下4个环节：①通过渠道或管道将水从水源输送至田间；②将引至田间的灌溉水，尽可能均匀地分配到所指定的灌溉面积上转化为土壤水；③作物吸收、利用土壤水，以维持其正常生理活动；④通过作物复杂的生理过程，形成作物产量。前两个环节表现为将水从水源输送到田间并储存于作物根系层，其效率用无因次的百分比或小数表示，比如灌溉效率、灌溉水利用（效）率、灌溉水利用系数；后两个环节则是使作物高效利用土壤水以提高产量，其效率常用单方水的粮食产出（ kg/m^3 ）表示，比如灌溉水分生产率、水分生产率。作物灌溉的最终目的是提高作物的产量和品质，“灌溉效率”类指标表达了多少水可以输送到田间、并储存于作物根系层被作物所利用，而“水分生产率”类指标则表达作物吸收和利用水分（可能包括有效降水、地下水利用等）形成产量过程中的效率。前者主要适用于从工程角度出发，对灌溉系统的水利用效率进行评价，后者适用于作物栽培、耕作管理、田间水分运动和转化效率的评价。只有两者都高效，灌溉行为才是高效的。从广义上理解，描述灌溉用水效率的指标包括所有与灌溉水利用的效率及效益有关的指标，诸如灌溉效率、灌溉水利用（效）率、灌溉水分生产率、水分生产率、水分消耗比例及水分有益消耗比例等。

在国内，对表示灌溉用水效率术语的理解和使用不甚统一，也不规范。除灌溉水利用系数外，国内经常使用的表征灌溉用水效率的指标还有作物水分利用率、水分生产率，而灌溉水利用率、灌溉水有效利用系数等术语也常在文献或报告中出现。这些指标从不同角度描述灌溉水的利用效率。同时，由于出发点和侧重点的差异，使得有关灌溉用水效率的研究变得更加多样化。在实际工作中，为了避免使用相近的术语而其概念、内涵不同而造成歧义与误解，应该对表示灌溉用水效率的术语与定义进行规范和统一，在学术界应该深入研究、广泛讨论、达成共识，确定准确、规范的术语，为农田灌溉与水资源管理提供科学基础。



1.2 灌溉用水效率相关研究现状与问题讨论

1.2.1 IWMI 提出的灌溉用水效率评价指标体系

鉴于国际水资源问题日益突出,大尺度水循环研究特别是流域水文循环研究越来越受到学术界的重视,其中流域的灌溉排水行为对流域水循环影响重大。国际水管理研究院(IWMI)近20年来将工作重点从灌溉用水管理转向了流域水资源的管理,其机构名称也从国际灌溉管理研究院(IIMI)改为国际水管理研究院。他们从水资源利用的角度分析传统灌溉效率分析与评价的弊端,并提出新的灌溉用水效率评价理念。Molden 提出水量平衡的分析框架,确定了该框架模型在田间、灌溉系统以及流域3个尺度范围内进行水量平衡分析的具体过程,并提出进行水资源利用效率评价的3类指标,即水分生产率、水分消耗百分率和水分有益消耗百分率。基于这一框架,IWMI 研究人员先后针对多个流域开展实际研究,其中Molden 在原有基础上又提出相对水量供应比和相对灌溉水量供应比两个指标。实际上,即使考虑基于水量平衡框架下的灌溉用水效率指标体系,以及尺度效应对指标的影响,对不同尺度下的效率指标进行量化也是一个重要而又复杂的问题。这些指标中的各类水量要素的数值主要是通过水量平衡观测确定的,对小尺度只需开展田间水量平衡观测,而对于中等尺度、大尺度,则需针对灌区或流域,选择一些大面积典型水量平衡区进行观测,这种观测牵涉的因素较多,观测较困难,有些要素难以直接观测而需借助于数学模型进行模拟分析取得。在大尺度上则需借助遥感技术进行相关水平衡要素的估算。正如Droogers 指出的,随着评价指标研究的发展,已逐渐能够运用一些比较简单的比例来描述水分生产率,与传统灌溉效率相比具有两方面的优势:①包含了非农业的水资源利用;②农业用水与其他用水之间的内在关系更清楚。但是正确估算这些指标需要在不同尺度下的详细数据(往往很难直接获取),一般应用模拟及遥感技术在一定程度上来弥补这种缺陷。

IWMI 指标量化的基础仍是水量平衡模型,但其强调在不同尺度上获得水量平衡要素方法的区别,明确尺度效应对节水的影响。尽管水量平衡框架已经比较完整清晰,但不同尺度范围回归水的再利用、再利用的及时性和经济性,是难以确定但又不可避免、需要深入研究的问题。IWMI 所提出的3类指标是否可以满足节水灌溉评价的需要,其适用性和可应用性如何还需要进一步探讨。

1.2.2 灌溉效率

1979年,美国 Interagency Task Force 组织在对一些研究灌溉效率所得到田间数据和相关研究结果进行综合分析的基础上提出,鉴于针对传统灌溉效率的理解有许多偏差和自相矛盾的地方,因此,根据灌溉效率测算结果,可以推断水资

源在灌溉过程中浪费了，而事实并不尽然，并开始注意到大型水利工程及流域中存在灌溉回归水的重复利用问题。在此后的几十年间，灌溉用水效率指标体系的内涵界定主要向两个方向发展，一方面是针对“有益消耗”与“无益消耗”以及“生产性消耗”与“非生产性消耗”的界定；另一方面则是回归水的重复利用问题受到广泛关注。因此，Jensen 等指出传统灌溉效率概念在用于水资源开发管理时是不适用的，因为它忽视了灌溉回归水。从水资源管理的角度，Jensen 提出了“净灌溉效率”的概念；Molden 在其提出的框架中采用总消耗比例及生产性消耗比例指标；Perry 建议采用水的消耗量、取用量、储存变化量以及消耗与非消耗比例为评价指标，并认为这样可保持与水资源管理的一致性。

Lankford 则认为只要明确使用条件及评价目的，传统灌溉效率与目前提出的考虑回归水重复利用的有关灌溉效率都是适用的，其列出了影响传统灌溉效率的 13 个因素，包括：水管理范围的尺度大小、设计、管理和评价的目的性不同；效率与时间尺度的关系；净需水量与可回收及不可回收损失的关联等。他同时提出可获得效率（Attainable Efficiency）的概念，即现有损失中有些是可以通过一定的技术措施予以减少的（比如渠道渗漏），是可控制的损失，而有些是难以减少的（比如渠道水面蒸发损失），是不易控制的损失，因此，效率的提高只有通过减少可控的损失量来实现。

我国现行的有关灌溉水利用系数指标体系及计算方法主要形成于 20 世纪 50—60 年代，当时主要参照苏联的灌溉水利用系数指标体系而建立。国内普遍应用灌溉水利用系数表示灌溉用水效率，该指标更多地应用在规划设计中，即从净灌溉水量反推不同渠道的取水量（即毛灌溉水量），为渠道流量和断面设计提供依据。后来，有些地方也用该指标评价灌溉用水效率，相关分析研究的重点在测定渠系水利用系数和田间水利用系数的方法、计算公式修正等方面。对于渠系比较复杂的灌区特别是大型灌区，测定和评价渠系水利用系数也是一个难点。1986 年，山西省水利科学研究所在全省 18 个典型灌区采用静水法进行大规模渠道渗漏试验研究，根据典型实测资料，采用正向递推水量平衡法对重点灌区的渠道水利用系数进行了计算。20 世纪 80 年代，广西壮族自治区在 22 个灌区建立固定测流站网，采用传统动水法前后历时 7 年对渠道水利用系数进行测试，累计实测灌区各级渠道长 5923.2km，实测渠段 2640 段，根据 22 个灌区长历时实测资料，对全省情况进行了评价。2001—2003 年，中国灌溉排水发展中心受水利部农村水利司委托，组织对典型灌区渠道水利用系数进行调查和分析，在测流断面、测量方法、测定条件、渠道数量、典型渠段等方面提出具体要求，选择具有代表性灌区的典型渠道、田间灌溉用水情况进行观测，并根据具体情况对实测得到的渠道水利用系数进行修正，利用灌溉面积加权平均推算得到全国平均渠系水利用系数为 0.52，田间水利用系数为 0.85。白美健等以山东簸箕李引黄灌区为