

灌溉水有效利用系数的 2 种测算方法研究分析——以合浦水库灌区为例

谢颂磊 (北海市灌溉试验中心站,广西北海 536000)

摘要 运用典型渠段测量和首尾测算分析 2 种方法对 2014 年合浦水库灌区的灌溉水有效利用系数进行计算。通过对计算过程和结果的对比分析,认为首尾测算分析法计算过程相对简单,且计算结果合理可信,可为以后灌区灌溉水有效利用系数的测算提供一定参考。
关键词 合浦水库灌区;灌溉水有效利用系数;典型渠段测量法;首尾测算分析法
中图分类号 S277 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)02-310-03

Analysis of the Two Calculation Methods of the Effective Utilization Coefficient of Irrigation Water ——Taking Hepu Reservoir Irrigation Area as an Example

XIE Song-lei (Irrigation Experiment Center Station of Beihai City, Beihai, Guangxi 536000)

Abstract Both typical canal section measurement method and head-end measurement method were used to calculate the effective utilization coefficient of irrigation water in Hepu reservoir irrigation area in 2014. By comparing the calculation process and results, we found that the head-end measurement method was relatively simple. And its calculation results were reasonable and credible, which provided certain references for the calculation of effective utilization coefficient of irrigation water in Hepu reservoir irrigation area.
Key words Hepu reservoir irrigation area; Effective utilization coefficient of irrigation water; Typical canal section measurement; Head-end measurement method

灌溉水利用系数是衡量农业节水效果的关键指标,对任何一种节水技术措施进行分析、比较和评价时都不能离开灌溉水利用系数^[1-2]。目前常用的灌溉水有效利用系数测算方法有 2 种:一种是传统方法典型渠段测量法,即用各级渠道水利用系数和田间水利用系数的乘积来表示,能够反映各级渠道输水利用率状况;另一种是首尾测算分析方法,即田间实际净灌溉用水总量与灌区渠首引入的毛灌溉用水量之比,测定方法简单。笔者采用上述 2 种方法,分别测算 2014 年合浦灌区灌溉水利用系数并进行比较分析研究,为灌区灌溉水有效利用系数的测算及节水灌溉的发展提供重要参考。

1 合浦水库灌区概况

合浦水库灌区为大型自流引水灌区,灌区地形以平原和丘陵为主,农作物主要为水稻、花生、甘蔗等。合浦水库灌区设计灌溉面积 4.67 万 hm²,有效灌溉面积 3.23 万 hm²,2014 年实际灌溉面积 2.65 万 hm²。灌区灌溉水源以小江水库、旺

盛江水库为龙头,以石康水库、清水江水库为辅组成。灌区渠道总长 1 071.0 km,骨干渠道总长 701.1 km,现加固长度 170.0 km。

2 典型渠段测量法测算灌溉水有效利用系数

典型渠段测量法是通过测算典型渠道单位长度的输水损失率计算渠道水利用系数,再与田间水利用系数相乘得出灌溉水利用系数^[3]。

2.1 典型渠道及测流渠段的选取 在选取典型渠道时,要求从渠道流量、数量、渠床土质、防渗类型等情况进行综合考虑,要求每级典型渠道的平均防渗率和完好率应接近灌区该级渠道的防渗率和完好率。典型渠道选定后,其测流成果基本可以代表该灌区的现状。根据典型渠道沿线的水文地质条件,选择有代表性的渠段(主要考虑防渗情况),典型渠道的测流段选择可根据实际水流平稳情况选择适宜长度,合浦水库灌区典型渠道及测流段情况见表 1。

表 1 合浦水库灌区典型渠道及测流段情况
Table 1 Typical canal of Hepu reservoir irrigation area and the detected flow segments

渠道级别 Canal grade	序号 No.	典型渠道名称 Name of typical canal	测流段长度 Length of detected flow segments//km	渠道长度 Canal length km	衬砌渠道长度 Length of lined canal//km	测流方法 Flow detection method
干渠 Main canal	1	总干渠	6.00	24.500	17.575	流速仪、量水堰
	2	北海干渠	2.50	24.500	15.730	
	3	南康西干渠	5.00	14.000	14.000	
	4	南康西干南康分干渠	1.10	14.200	12.900	
支渠 Branch canal	1	南康西干火甲支渠	0.50	0.600	0	流速仪、量水堰
	2	清水江北干周江支渠	0.50	3.500	0	
	3	北海干渠旱冲支渠	0.65	14.000	4.235	

2.2 渠系水利用系数的计算

2.2.1 损失水量的计算。用流速仪、量水堰观测上、下游 2 个断面相同时段的流量,并扣除下级渠道中途分水流量,其

差值即为损失水量。测量时段内的损失水量为:

$$W_{\text{损失}} = W_{\text{首}} - W_{\text{尾}} - \sum W_i \pm \Delta W_{\text{渠}} \tag{1}$$

式中, $W_{\text{首}}$ 为测量时段内典型渠道(渠段)首部测量断面的流量(m³/s); $W_{\text{尾}}$ 为测量时段内典型渠道(渠段)尾部测量断面的流量(m³/s); $\sum W_i$ 为测量时段内正常运行的下级渠道

作者简介 谢颂磊(1985-),男,山东菏泽人,助理工程师,硕士,从事农田水利建设与管理工
收稿日期 2015-12-10

测量断面的分水流量之和(m^3/s); $\Delta W_{\text{渠}}$ 为测量始末典型渠道(渠段)蓄水量的变化,此次测量值为瞬间流量,故取值为0。

2.2.2 渠道水利用系数的计算。首先计算测流段的输水损失率 $\delta_{\text{渠段}}$,计算公式如下,

$$\delta_{\text{渠段}} = W_{\text{损失}} / W_{\text{首}} \tag{2}$$

其次计算测流渠段单位长度的输水损失率 $\delta_{\text{单渠段}}$ 。实际中渠道不论是续灌方式还是轮灌方式运行,都是在分水情况下运行,流量自渠首至渠尾逐渐减小,单位长度的损失水量也相应减小,故由 $\delta_{\text{渠段}}$ 计算测流段单位长度输水损失率 $\delta_{\text{单渠段}}$ 时,必须进行修正换算。测流渠段选定后,影响渠系水利用系数主要是流量变化情况、沿程分水情况及测流段在渠道的位置情况3个因素,因此,引入 k_1 、 k_2 、 k_3 3个修正系数。测流渠段单位长度的输水损失率 $\delta_{\text{单渠段}}$ 可由式(3)来计算:

$$\delta_{\text{单渠段}} = [k_2 + k_3(k_1 - 1)(1 - k_2)] \delta_{\text{渠段}} / L_{\text{渠段}} \tag{3}$$

式中, $L_{\text{渠段}}$ 为测流段长度,若测流段为整条典型渠道时则为整条典型渠道的长度(km); k_1 为输水修正系数, $k_1 = 1 + W_{\text{首}}/W_{\text{尾}}$; k_2 为分水修正系数,实际渠道的分水情况复杂,为

便于计算,假定为线性分水,即单位渠长上的分水量自渠首至渠尾呈直线变化,进一步假定灌溉定额没有区别,则分水修正系数 k_2 可以用渠道控制区的宽度计算得到; $k_2 = 0.5 \times (1 - \frac{1}{6} \times \frac{\Delta B}{B})$,其中 B 为渠道控制区的平均宽度, ΔB 为渠道首部与尾部控制区的宽度差,在假定渠道接近均匀分水的情况下, ΔB 约等于0,则 $k_2 = 0.5$; k_3 为位置修正系数, $k_3 = 0.5 + L_1/L$,其中 L_1 为测流段中心点到典型渠道渠首距离, L 为典型渠道的长度。

由 $\delta_{\text{单渠段}}$ 可计算第 j 条典型渠道的输水损失率 γ_j ,具体计算见公式(4):

$$\gamma_j = \delta_{\text{单渠段}} \times L_{\text{渠道}} \tag{4}$$

式中, $L_{\text{渠道}}$ 为该级渠道的平均长度,即该级渠道的总长度除以总条数。

因此,第 j 条典型渠道的渠道水利用系数 η_j 为:

$$\eta_j = 1 - \gamma_j \tag{5}$$

合浦水库灌区各典型渠道的 η_j 计算过程中的参数及结果如表2所示。

表 2 典型渠道各参数及渠道水利用系数结果

Table 2 Parameters of typical canal and the water utilization coefficient of canal

渠道类型 Canal type	渠道 名称 Canal name	$W_{\text{首}}$ W_{Head} m^3/s	$W_{\text{尾}}$ W_{End} m^3/s	$\sum W_i$ m^3/s	$W_{\text{损失}}$ W_{Loss} m^3/s	$\delta_{\text{渠段}}$ δ_{Canal}	k_1	k_2	k_3	$L_{\text{渠段}}$ L_{Canal} km	$\delta_{\text{单渠段}}$ $\delta_{\text{Single canal}}$	$L_{\text{渠道}}$ L_{Canal} km	γ_j	η_j
干渠	总干渠	17.00	12.60	2.99	1.41	0.083	1.74	0.50	0.65	6.00	0.02	13.14	0.276	0.724
Main	北海干渠	5.00	3.50	1.18	0.32	0.064	1.70	0.50	0.63	2.50	0.03	13.14	0.289	0.711
canal	南康西干渠	3.00	1.43	1.35	0.22	0.073	1.48	0.50	0.72	5.00	0.02	13.14	0.184	0.816
	南康西干南康分干渠	1.30	0.66	0.52	0.12	0.092	1.51	0.50	0.61	2.90	0.04	13.14	0.250	0.750
支渠	南康西干火甲支渠	0.50	0.29	0.12	0.09	0.180	1.58	0.50	0.62	0.50	0.34	1.93	0.330	0.670
Branch	清水江北干周江支渠	0.30	0.17	0.08	0.05	0.167	1.57	0.50	0.66	0.50	0.37	1.93	0.365	0.635
canal	北海干渠旱冲支渠	0.30	0.10	0.17	0.03	0.100	1.33	0.50	0.69	0.65	0.35	1.93	0.291	0.709

2.3 同级典型渠道的渠道水利用系数计算 同一级典型渠道往往有多条,各条典型渠道测算出的渠道水利用系数各不相同,故需要根据典型渠道的布置形式对各典型渠道的 η_j 进行修正。同级渠道的渠道水利用系数 $\eta_{\text{渠道}}$ 为:

$$\eta_{\text{渠道}} = \Sigma(d_j \times \eta_j) \quad (j = 1, 2, \dots, m) \tag{6}$$

式中, d_j 为第 j 条渠道毛流量占该级典型渠道总毛流量的比例;合浦水库灌区各级典型渠道的 $\eta_{\text{渠道}}$ 结果如表3所示。

表 3 合浦水库灌区各级典型渠道 $\eta_{\text{渠道}}$ 结果

Table 3 The η_{Canal} results of typical canal in Hepu reservoir irrigation area

渠道类型 Canal type	渠道名称 Canal name	η_j	d_j	$\eta_j \times d_j$	$\eta_{\text{渠道}}$ η_{Canal}
干渠	总干渠	0.72	0.646	0.468	0.733
Main	北海干渠	0.71	0.190	0.135	
canal	南康西干渠	0.82	0.114	0.093	
	南康分干渠	0.75	0.049	0.037	
支渠	南康西干火甲支渠	0.67	0.455	0.305	0.671
Branch	清水江北干周江支渠	0.64	0.273	0.173	
canal	北海干渠旱冲支渠	0.71	0.273	0.193	

2.4 典型渠道测量法计算灌溉水利用系数 灌区灌溉水利

用系数 $\eta_{\text{水}}$ 等于各级渠道水利用系数 $\eta_{\text{渠道}}$ 与田间水利用系数 $\eta_{\text{田间}}$ 的乘积,合浦灌区田间水利用系数采用经验值0.93,则:

$$\eta_{\text{水}} = \eta_{\text{干渠}} \times \eta_{\text{支渠}} \times \eta_{\text{田间}} = 0.733 \times 0.671 \times 0.93 = 0.458$$

因此,通过典型渠道测量法测算得出的2014年合浦灌区灌溉用水有效利用系数结果为0.458。

3 首尾测算法测算灌溉水有效利用系数

首尾测算法是指直接测试统计灌区从水源引入(取用)的毛灌溉用水总量,通过样点田块测算得到田间实际净灌溉用水总量,田间实际净灌溉用水总量与毛灌溉用水总量的比值即为灌溉水有效利用系数。

3.1 样点田块净灌溉用水量计算 首尾测算法的关键是选择样点田块和量算末级渠道进出水口流量。通过量算末级渠道进出水口流量,得出样点田块净灌溉用水量。在合浦灌区上中下游分别选取一个样点田块:样点田块1位于合浦县石康镇夏佳塘村,作物为花生,实灌面积3.80 hm^2 ;样点田块2位于铁山港区南康镇火甲村,作物为水稻,实灌面积3.93 hm^2 ;样点田块3位于海城区高德办西江农场,作物为甘蔗,实灌面积5.53 hm^2 。

样点田块末级渠道进水口、出水口均采用简易量水槛量

水,横断面为矩形,槛宽度为 0.3 m,量水槛纵剖面见图 1。过槛流量计算公式如式(7)所示。

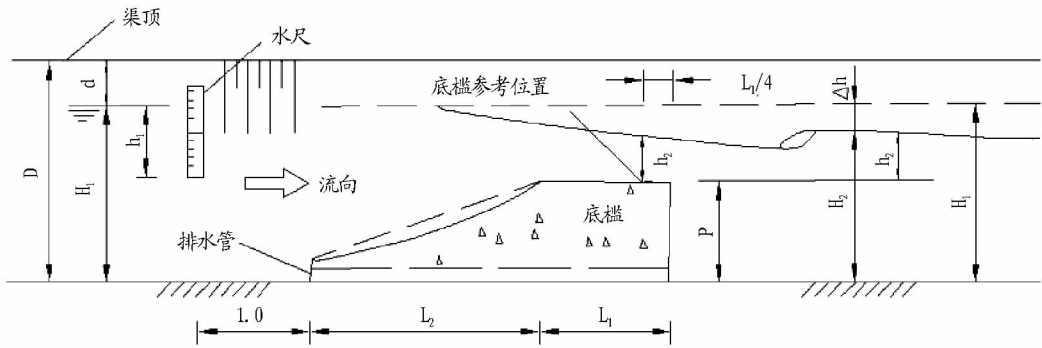


图 1 简易量水槛纵剖面图

Fig. 1 Longitudinal section of simple water threshold

简易量水槛过槛流量计算的影响因素很多,是一个不确定值。从生产实际出发,通过模型试验将流量计算简化为幂指数形式的经验公式:

$$Q = Ch_1^n \tag{7}$$

式中, Q 为过槛流量(m^3/s); h_1 为槛顶上游水深(m); C 为系数; n 为幂指数。

经验公式中系数和幂指数,反映了渠道不同宽度和槛高的影响。根据合浦水库灌区末级渠道量水槛断面尺寸和形式,选择简易量水槛 A 型,系数 C 为 0.653,幂指数 $n = 1.581^{[4]}$ 。样点田块净灌溉用水量计算公式如下所示:

$$W_{\text{净}i} = W_{\text{进口}i} - W_{\text{出口}i} = (Q_{\text{进口}i} - Q_{\text{出口}i}) \times T_i \tag{8}$$

式中, $W_{\text{净}i}$ 为第 i 个样点田块净灌溉用水量(m^3); $W_{\text{进口}i}$ 为第 i 个样点田块末级渠道进水口灌溉用水量(m^3); $W_{\text{出口}i}$ 为第 i 个样点田块末级渠道出水口灌溉用水量(m^3); $Q_{\text{进口}i}$ 为第 i 个样点田块末级渠道进水口测定的流量(m^3/s); $Q_{\text{出口}i}$ 为第 i 个样点田块末级渠道出水口测定的流量(m^3/s); T_i 为第 i 个样点田块灌溉时段(s)。

2014 年量水槛过槛流量观测时段为 4~11 月,通过公式(7)、(8)计算得出样点田块末级渠道进出水口灌溉用水量及净灌溉用水量,结果见表 4。

表 4 样点田块末级渠道进出水口灌溉用水量及净灌溉用水量

Table 4 Irrigation water capacity and net irrigation water use of end canal inlet and outlet in sample plots

项目 Item	进水口灌溉用水量 Irrigation water capacity in inlet	出水口灌溉用水量 Irrigation water capacity in outlet	样点田块净灌溉用水量 Net irrigation water capacity of sample plot
样点田块 1 (作物:花生)Sample plot 1(crop: peanut)	11 213	212	11 001
样点田块 2 (作物:水稻)Sample plot 2(crop: rice)	23 148	413	22 735
样点田块 3 (作物:甘蔗)Sample plot 3(crop: sugarcane)	24 023	285	23 738

3.2 作物单位面积平均净灌溉用水量 作物单位面积平均净灌溉用水量(净灌溉定额)计算见公式(9):

$$M_{\text{净}i} = \frac{W_{\text{净}i}}{A_i} \tag{9}$$

式中, $M_{\text{净}i}$ 为灌区第 i 种作物单位面积平均净灌溉用水量,即净灌溉定额(m^3/hm^2); $W_{\text{净}i}$ 为第 i 个样点田块的净灌溉用水量(m^3); A_i 为第 i 个样点田块第 i 种作物的面积(hm^2)。

根据表 4 中的数据和公式(9)计算得出,合浦灌区花生、水稻、甘蔗净灌溉定额分别为:12.87、25.73、19.07 m^3/hm^2 。灌区种植的蔬菜等其他作物未设样点田块,根据广西壮族自治区地方标准《农林牧渔业及农村居民生活用水定额》(DB45/T 804-2012)确定净灌溉定额分别为蔬菜 18.33 m^3/hm^2 、其他作物 5.33 m^3/hm^2 。

3.3 灌区净灌溉用水量 通过调查统计得出,2014 年合浦灌区的实际灌溉面积和作物组成为:实际灌溉面积为 2.65 万 hm^2 ,其中水稻 1.98 万 hm^2 ,甘蔗 0.41 万 hm^2 ,花生 0.17 万 hm^2 ,蔬菜 0.05 万 hm^2 ,其他 0.03 万 hm^2 。根据公式(10)

计算灌区净灌溉用水量。

$$W_{\text{净}} = \sum_{i=1}^N M_{\text{净}i} A_i \tag{10}$$

式中, $W_{\text{净}}$ 为灌区的净灌溉用水量(m^3); N 为灌区作物种类总数; i 为第 i 种作物。根据公式(10)计算得出,2014 年合浦水库灌区净灌溉用水总量为 14 295 万 m^3 。

3.4 灌区毛灌溉用水总量 灌区毛灌溉用水总量为灌区各水源渠首毛灌溉用水量加和。渠首毛灌溉用水量采用水库放水量记录统计数据,时段为 4~11 月,经统计,小江水库、旺盛江水库渠首毛灌溉用水量为 28 585 万 m^3 ,清水江水库渠首毛灌溉用水量为 3 612 万 m^3 ,合计 32 197 万 m^3 ,即 2014 年合浦水库灌区毛灌溉用水总量为 32 197 万 m^3 。

3.5 首尾测算法灌溉水利用系数的计算 灌溉水有效利用系数的计算如下:

$$\eta_{\text{水}} = W_{\text{净}} \div W_{\text{毛}} = 14\,295(\text{万 m}^3) \div 32\,197(\text{万 m}^3) = 0.444$$

开发,实现果树资源信息管理的功能模块;最上面一层是人机交互层,提供友好的人机界面,方便用户输入、输出数据,打印报表、图形图像,进行查询、分析以及一些基于图层的编辑操作。

2.2 技术路线 果树资源的属性很重要,而 GIS 技术具有很强的空间信息存储和管理功能,所以运用 GIS 技术来建立果树资源信息系统。目前基于 GIS 的开发方式有以下 3 种:①独立开发,指不依赖于任何 GIS 工具软件,从空间数据的采集、编辑到数据的处理分析及结果输出,所有的算法都由开发者独立设计,然后选用某种程序设计语言,如 Visual C++、Delphi 等,在一定的操作系统平台上编程实现^[5]。②纯二次开发,指完全借助于 GIS 工具软件提供的开发语言进行应用系统开发。③集成二次开发,是指在专业的 GIS 工具软件平台上,利用 GIS 的功能控件,在可视化编程环境中,进行集成开发,直接将 GIS 功能嵌入其中,实现 GIS 的各种功能。

独立开发难度太大,单纯二次开发受 GIS 工具提供的编程语言的限制差强人意,集成二次开发既可以利用通用编程软件高效、强大的编程能力,又充分利用了 GIS 工具软件完备的空间数据可视化分析处理功能,大大提高了应用系统的开发效率,而且可靠性强,易于移植,便于维护。所以该研究采用 ESRI 公司提供的 ArcObject 组件,在 VB 编程环境中进行集成二次开发^[2]。

2.3 果树资源信息系统的功能 该系统的设计目标是人机界面友好,操作简单,直观地将查询分析的结果以数据、图片或多媒体等多种表现形式展示给用户^[3],用户能快捷方便地获取所需信息。系统具备以下功能。

2.3.1 数据输入、输出功能。系统具有高效的数据采集、记

录输入功能,包括空间数据和属性数据的输入、管理功能。同时系统可以以各种方式输出数据,包括基本数据、统计报表、表格和图形输出。

2.3.2 数据检索分析功能。系统可以按用户要求以不同的检索条件进行查询,生成用户需要的统计报表和表格图形等。

2.3.3 GIS 功能。系统中的数据以及查询分析结果数据均与空间位置有很大的关联,因此系统必须支持基本的空间数据操作也就是 GIS 操作。如:地图的放大、缩小、平移等功能;对地图的单选和多选功能;通过鼠标单击查询某一点或某一个区域信息的功能;将地图中图层以图片或者 PDF 格式导出的功能等。

3 结语

果树资源为科学研究和政府决策提供了重要的数据来源,运用 GIS 技术建立果树资源管理信息系统,既可以有效地存储和管理果树资源信息,又为广大用户提供了高效地查询检索的方式和途径,为将来的数据利用奠定了基础。

参考文献

- [1] 牛荣. 南疆特色果树种质资源信息系统的设计与建立[J]. 湖北农业科学, 2015(1):199-202.
- [2] 陈南洋,董贵明,邱林,等. 基于 ArcObjects 的 GIS 系统的二次开发[J]. 地域研究与开发,2006(6):25-28.
- [3] FREEZE W S. Visual Basic 开发指南 COM 和 COM+篇[M]. 北京:电子工业出版社,2000:1-3.
- [4] ArcObjects Object Model Diagrams [M]. California:ESRI,2002:2-13.
- [5] 赵万锋,刘南,刘仁义,等. 基于 ArcObjects 的系统开发技术剖析[J]. 计算机应用研究,2004(3):130-132.
- [6] 廖一兰,王亚华,孙在宏. 基于 GIS 系统的土地利用数据建库模式研究[J]. 农机化研究,2006(2):146-149.
- [7] 李营营,孙德亮,益建芳. 地理信息系统(GIS)在旅游管理中的应用与发展[J]. 影像技术,2006(4):3-7.

(上接第 312 页)

式中, η_w 为灌区灌溉水有效利用系数; $W_{\text{毛}}$ 为灌区毛灌溉引水总量(万 m^3)。因此,通过首尾测算法得出的 2014 年合浦水库灌区灌溉用水有效利用系数结果为 0.444。

4 典型渠道测量法与首尾测算法计算结果对比分析

典型渠道测量法得出的灌溉用水有效利用系数 0.458,比首尾测算法测算结果 0.444 高 1.4%,是由于典型渠道测量法测算结果主要受渠道工程配套设施好坏程度的影响,未包含因调水管理水平而造成的水量损失因素,首尾测算法则 2 个因素均涵盖。因此,典型渠道测量法结果比首尾测算法的高是正常的,说明首尾测算法更能真实反映灌区灌溉用水利用程度。

从计算过程来看,典型渠道测量法计算工程量大,测试条件要求严格,测试手段和技术人员需求较大;而首尾测算法计算步骤相对简单,只需直接测定样点田块净灌溉用水量和水源渠首毛灌溉用水量,再通过调查统计实灌面积及作物

种植结构即可计算得出结果,可大大减少人员需求和工作量,且测算结果合理可行。因此,在今后的工作中,应选择首尾测算法进行灌溉用水有效利用系数的测算,在真实反映灌区灌溉用水利用程度的同时还可提高工作效率。

参考文献

- [1] 许建中,赵竞成,高峰,等. 灌溉水利用系数综合测定法[J]. 中国水利, 2004(7):45-47.
- [2] 许建中,赵竞成,高峰,等. 灌溉水利用系数综合测定法实例分析[J]. 中国农村水利水电,2005,47(1):55-58.
- [3] 杨正华. 综合测定法在灌溉水有效利用系数测算分析中的应用[J]. 甘肃水利水电技术,2013,49(10):41-43.
- [4] 广西壮族自治区水利厅农水处,广西壮族自治区水利科学研究院. 广西灌区实用量水技术[Z]. 2013.
- [5] 广西壮族自治区质量技术监督局. 农林牧渔业及农村居民生活用水定额:DB45/T 804-2012[S]. 广西壮族自治区质量技术监督局,2012.
- [6] 广西壮族自治区水利厅农水处,广西壮族自治区水利科学研究院. 2014 年广西农田灌溉水有效利用系数测算分析技术方案[A]. 2014.
- [7] 全国农田灌溉水有效利用系数测算分析专题组. 全国农田灌溉水有效利用系数测算分析技术指导细则[A]. 2013.