

# Test Analysis on Water Balance of Hanjiang River Diversion Irrigation Area in Tianmen

Xiaohao Zhang<sup>1</sup>, Song Yuan<sup>1</sup>, Yi Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan Hubei

Email: zhangxh@cjh.com.cn, yuans@cjh.com.cn, liuyi2@cjwsjy.com.cn

Received: Oct. 20<sup>th</sup>, 2017; accepted: Nov. 1<sup>st</sup>, 2017; published: Nov. 8<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

With the development of economy and society, the pressure on water resource and aquatic ecological environment is increasingly prominent. Water resource management is confronted with daunting challenges. Conducting water balance test and rational and scientific analysis over water consumption is of great significance to establishing and implementing management and control index of water resource in view of the characteristics of large-scale irrigation area featuring vast irrigation area and complicated situations. Through the test analysis on water balance in the Tianmen Diversion Irrigation Area of the Hanjiang River basin, this study identifies feasible water balance testing methods of large-scale irrigation area and adopts a method integrating "point, line and surface" to conduct the test to the irrigation area. According to the materials and data collected, this paper conducts an overall calculation, analysis and evaluation on the technical index of the irrigation area and learns about the current situation of water utilization, which provides the first-hand reliable data for water management of the irrigation area.

## Keywords

Hanjiang River Diversion Irrigation Area, Water Balance Test, Water Resource Management, Channel

---

# 天门引汉灌区水平衡测试分析

张晓皓<sup>1</sup>, 原松<sup>1</sup>, 刘怡<sup>2</sup>

<sup>1</sup>长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

<sup>2</sup>长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉

Email: zhangxh@cjh.com.cn, yuans@cjh.com.cn, liuyi2@cjwsjy.com.cn

收稿日期: 2017年10月20日; 录用日期: 2017年11月1日; 发布日期: 2017年11月8日

---

作者简介: 张晓皓, 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水文水资源方面的研究。

文章引用: 张晓皓, 原松, 刘怡. 天门引汉灌区水平衡测试分析[J]. 水资源研究, 2017, 6(6): 616-624.  
DOI: 10.12677/jwrr.2017.66072

## 摘要

随着经济社会发展,水资源、水生态环境压力日益显现,水资源管理面临重大挑战。大型灌区所控制的灌溉面积大,情况复杂,对灌区进行水平衡测试,科学合理的进行用水水平分析,对建立并实施水资源管理控制指标具有十分重要的意义。本文通过对汉江流域天门引汉灌区水平衡测试分析,确定了大型灌区可行的水平衡测试方法,采用“点”“线”“面”相结合的方法对灌区开展测试,依据收集的资料和实测数据全面计算、分析、评价了灌区用水技术指标,掌握了灌区用水现状,为灌区用水管理提供了一手真实可靠的数据支撑。

## 关键词

引汉灌区,水平衡测试,水资源管理,渠道

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

汉江是国家南水北调中线工程、陕西省引汉济渭工程供水水源地,江汉平原、汉中盆地、南阳盆地是我国重要的商品粮基地。随着流域内经济社会发展,2014年南水北调中线一期工程建成引水以及引汉济渭等工程的实施,汉江流域水资源利用率由2010年的23.5%提高到接近50%,汉江水资源、水生态环境压力日益显现,流域水资源管理面临重大挑战。通过对天门引汉灌区进行水平衡测试可以掌握灌区用水现状、找出薄弱环节和节水潜力;可以为灌区制定用水定额和计划用水量指标提供准确的数据支撑;同时有利于提高灌区管理人员的节水意识,节水管理水平和业务技术素质[1]。

## 2. 天门引汉灌区基本情况

天门引汉灌区位于汉江下游江汉平原北部的天门市境内,自然面积2288.20 km<sup>2</sup>,为大型灌区。灌区内耕地面积159.93万亩,人口162.1万人,地区生产总值151.48亿元,粮食总产量52.65万吨。灌区是全国重要棉产区,其作物组成棉粮并重,作物种植结构随地势分布变化较为明显,天北丘陵区以水稻为主,天西平原区以旱作物小麦、棉花为主,天东滨湖区则是水旱作物并重。

自1960年罗汉寺进水闸开闸进水以来,天门引汉灌区经过50年的建设,灌区形成了以罗汉寺进水闸为龙头,以天南总干渠和天北长渠等7条干渠为骨干,辅以湖泊、水库、塘堰等蓄水工程,蓄引提结合的大型灌区(灌区渠系基本情况见表1、图1)[2]。

## 3. 灌区水平衡测试原理

为了代表灌区的平均灌溉用水条件,本文以年降水量等于或者接近多年平均降水量的年份进行测算,得到的灌溉水利用系数具有较好的代表性。水平衡分析计算根据灌区内渠系的分布情况,采用逐级平衡法[3]。

灌区水平衡方程:

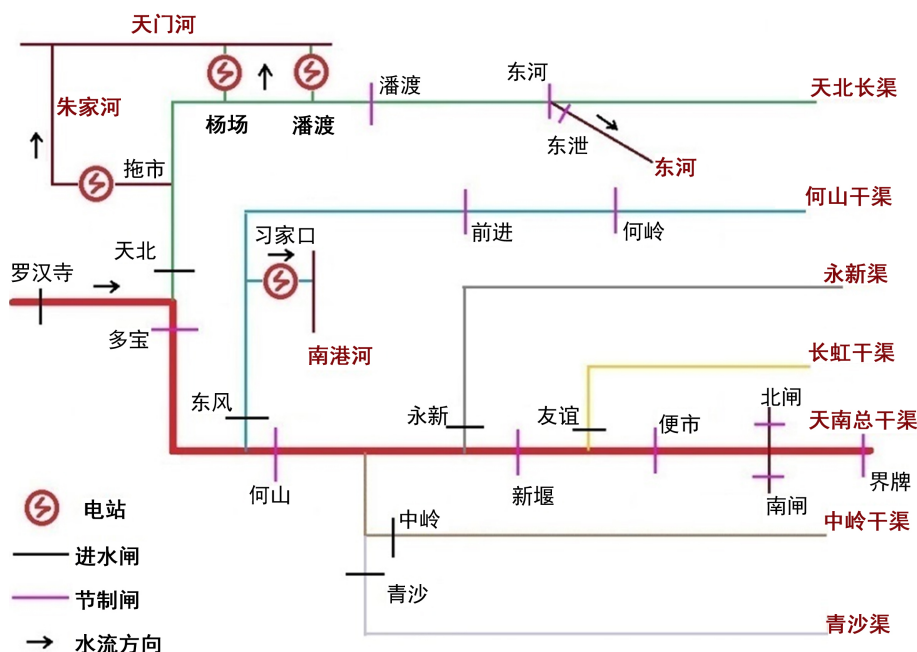
$$Q_{\text{总}} = \sum Q_{\text{分}} + Q_{\text{损}} \quad (1)$$

式中:  $Q_{\text{总}}$  为总引水量,  $Q_{\text{分}}$  为分项用水量,  $Q_{\text{损}}$  为渠道输水损失。

**Table 1.** The basic situation of Hanjiang River irrigation area canal system in Tianmen

**表 1.** 天门引汉灌区渠系基本情况表

序号	渠名	起止地点	长度(km)	渠底高程(m)		灌溉面积(标准亩, 万亩)
				起	止	
1	天南总干渠	罗汉寺闸 - 界牌	101.983	30.8	24.08	68.49
2	天北长渠	沙洋四场 - 沿湖	63.213	30.5	24.97	60.19
3	何山干渠	何山 - 钟村	62.124	29.0	23.94	48.04
4	中岭干渠	陈场林场 - 仙北	44.71	27.8	24.66	13.96
5	青沙干渠	小庙 - 麻洋	13.691	27.0	24.3	6.28
6	永新干渠	永新进水闸 - 小板河	12.952	28.3	27.15	6.42
7	长虹干渠	芦埠 - 朱摊口	28.116	26.0	23.67	13.15
合计			326.789			216.53



**Figure 1.** Guidance of Hanjiang River irrigation area canal system in Tianmen

**图 1.** 天门引汉灌区渠系示意图

#### 4. 灌区水平衡测试

测试选取 6~8 月进行, 此时间段是灌区的主要引水灌溉期, 有较成熟的测试条件。

测试采用资料收集与现场测试相结合的方式对灌区进行水平衡测试。采用点、线、面结合的方式对整个灌区开展测试工作。“点”, 即进行田间测试; “线”, 即以渠为线进行测试; “面”, 即以整个灌区为对象进行测试。

“点”级测试主要对象是田间用水, 利用“典型田块法”, 测算并定制灌区各类主要农作物的灌溉定额, 再结合田间引水量、水文气象资料, 计算典型田块的田间水利用系数。

“线”级测试主要对象是渠道, 利用“典型渠道法”测算灌区渠系水利用系数。以有代表性渠道(段)为对象进行测试, 根据测试结果计算各级渠道的输水效率, 再根据各级渠道的输水效率计算全灌区的渠系水利用系数。

“面”级测试主要对象是灌区，利用“首尾法”测算灌区的灌溉有效水利用系数。通过测量统计得出从水源引入的总灌溉用水量和田间净灌溉用水量，用田间净灌溉用水量除以总灌溉用水量得到的比值即为灌溉水利用系数[4]。

### 4.1. 田间水利用系数

田间水利用系数反映灌区田间用水效率，本文采用“典型田块法”进行系数的测算，选择有代表性的田块测定农作物灌溉定额与田间引水量，并计算田间水利用系数[5]。

$$\eta_{\text{田间水}} = m \times A / W \tag{2}$$

式中： $m$  为灌溉定额， $A$  为田块面积， $W$  为放入田块的水量。

灌溉定额：是根据当年气候、土壤、环境、作物灌溉制度等不同因素统计分析出的计算值，是表示某种作物在当年种植条件下生长所必须用水的最小值。灌溉定额是根据作物的灌溉制度和水量平衡原理，以及降水量、作物腾发量和田间渗漏量进行逐日水量平衡确定的。本文中天门引汉灌区各作物腾发量是根据湖北省农作物灌溉实验资料，统计各单种作物生育期日平均腾发量与水面蒸发来计算。

天门引汉灌区主要种植作物有早稻、中稻、晚稻、小麦和棉花。本文收集了天门气象站 1991~2014 年共 24 年逐日蒸发量和逐日降水量系列，分别对早稻、中稻、晚稻、小麦、棉花等作物进行了灌溉定额计算。从而得到各单种作物历年灌溉定额成果，选取以年降水量等于或者接近多年平均降水量的年份进行测算得到不同农作物的灌溉定额。用灌溉定额除以测得的单位面积田间放水量得到的比值即为典型年各农作物田间水利用系数(见表 2)。

将田间水利用系数根据农作物的种植结构加权平均后可得各片区与全灌区总田间水利用系数(见表 3)。

### 4.2. 渠系水利用系数

渠系水利用系数反映灌区渠道灌溉效率，是衡量灌区局部灌溉用水情况的重要指标，本文使用“典型渠道测量法”进行系数的测定。“典型渠段测量法”避免了传统测定法测试工作量大，测试条件苛刻等问题，但要求测试时水位、流量基本恒定，渠段首部、分水口及尾部需同时测量[6]。

测试前需分别选取了有代表性的干渠(段)、支渠、斗渠、农渠作为测试对象，实测中选取渠道的土质、防渗措施、输水流量大小和工程完好率等指标与全灌区该级渠道相接近。

**Table 2.** Typical annual effective utilization coefficient of different fields for different crops  
**表 2.** 典型年各农作物田间水利用系数

作物种类	灌溉定额	田间放水	田间水利用系数
棉花	46.9	53.26	0.881
小麦	37.2	40.55	0.917
早稻	233	265.80	0.876
中稻	363	396.48	0.915
晚稻	270	316.73	0.852

**Table 3.** Effective utilization coefficient of field water in different area  
**表 3.** 各片区田间水利用系数

灌区	全灌区	天北片区	天西片区	天东片区
田间水利用系数	0.899	0.894	0.901	0.900

1) 渠道水利用系数

测试时对本级渠(段)首尾流量和沿渠所有下级渠道的分水流量进行测定后(还包括所有其他方式回流至本级渠道的流量), 计算渠首流量与分水口流出(或流入)渠道总流量的差值即为损失流量, 即:

$$Q_{损} = Q_{首} - Q_{尾} - \sum Q_i + Q_{入} \tag{3}$$

式中:  $Q_{首}$ 为测量渠段首部测量断面的流量,  $Q_{尾}$ 为测量渠段尾部测量断面的流量,  $Q_i$ 为测量渠段内分水口处流量,  $Q_{入}$ 为测量渠段内流入渠道的水量(如抽水机回排)等。

因测试对象可能为某渠道的其中一段, 而对于整条渠道则有

$$\eta_{渠道} = \eta_{渠段}^{L/\Delta L} \tag{4}$$

式中:  $L$ 为全渠道长,  $\Delta L$ 为测试渠段长。

而根据(3)式有:

$$\eta_{渠段} = (Q_{首} - Q_{损}) / Q_{首} \tag{5}$$

将(4) (5)两式合并后有:

$$\eta_{渠道} = ((Q_{首} - Q_{损}) / Q_{首})^{L/\Delta L} \tag{6}$$

2) 全灌区渠系水利用系数

渠系水利用系数为干支斗农四级渠道的输水效率之积[7] [8]:

$$\eta_{渠系水} = \eta_{干渠} \times \eta_{支渠} \times \eta_{斗渠} \times \eta_{农渠} \tag{7}$$

将测得各渠道的输水效率代入上式有:

$$\eta_{渠系水} = 0.910 \times 0.948 \times 0.835 \times 0.751 = 0.541 \tag{8}$$

灌区各级渠系的输水损失率如表 4 所示(相对本级):

4.3. 灌溉水利用系数

灌溉水利用系数反映全灌区用水效率, 能综合反应灌区灌溉工程状况、用水管理水平、灌溉技术水平。天门引汉灌区内水源主要由水库、湖泊、塘坝与其他补水工程组成。各类引水主要用于灌区农作物生长与水电站引水发电。

灌区水平衡方程:

$$Q_{总} = \sum Q_{分} + Q_{损} \tag{9}$$

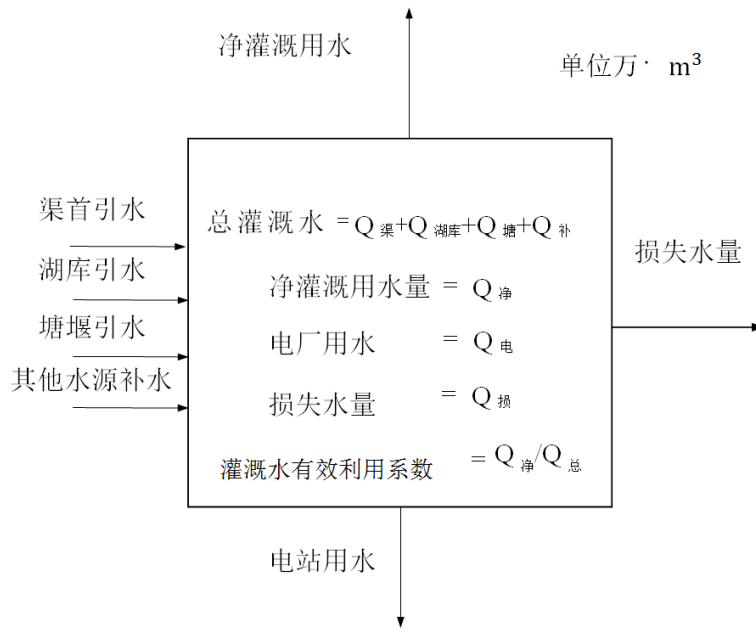
$$Q_{渠} + Q_{湖库} + Q_{塘} + Q_{补} = Q_{净} + Q_{电} + Q_{损} \tag{10}$$

式中:  $Q_{渠}$ 为渠首引水,  $Q_{湖库}$ 为湖库引水,  $Q_{塘}$ 为塘坝引水,  $Q_{补}$ 为其他补水,  $Q_{净}$ 为田间净灌溉用水总量,  $Q_{电}$ 为水电站发电用水总量,  $Q_{损}$ 为渠道输水损失、沟渠排水的水量损失与田间的水量损失等(见图 2)。

本文采用“首尾法”进行灌溉水利用系数的测算, 测量灌区从水源引入(取用)的总灌溉用水量, 根据灌溉定

Table 4. The rate of water loss in different canals  
表 4. 各级渠道的输水损失率

渠道类型	干渠	支渠	斗渠	农渠
损失率	9.0%	5.2%	16.5%	24.9%



**Figure 2.** Water balance diagram  
**图 2.** 水平衡示意图

额和灌溉面积可以求得灌区田间净灌溉用水量，田间净灌溉用水量与总灌溉用水量的比值即为灌溉水利用系数。

$$\eta_{灌溉水} = Q_{净} / Q_{总引} = Q_{净} / (Q_{渠} + Q_{塘} + Q_{湖库} + Q_{补} - Q_{电}) \quad (11)$$

式中： $Q_{渠}$ 为渠首引水， $Q_{湖库}$ 为湖库引水， $Q_{塘}$ 为塘坝引水， $Q_{补}$ 为其他补水， $Q_{净}$ 为田间净灌溉用水总量， $Q_{电}$ 为水电站发电用水总量。

典型年灌区总灌溉用水 108,792 万 m<sup>3</sup>，田间净用水 52,923 万 m<sup>3</sup>，灌溉水利用系数 0.486。

#### 4.4. 引汉灌区用水水平分析

本次测试计算了灌区的灌溉水利用系数、田间水利用系数与渠系水利用系数，在测试中利用 ADCP、流速仪等多种设备对渠道水与田间用水以单点测流与多点同步测流相结合的方式进行了长时段实测，对其他不能直接测得的水量采用相关参数计算的方式获得(主要成果见表 5)。

### 5. 灌区水平衡分析

通过本次测试基本弄清了天门引汉灌区渠系的分布与使用情况，计算了灌区的田间水利用系数、渠系水利用系数与灌溉水利用系数，并分别对各干渠渠系水利用系数进行了计算。

天门引汉灌区内天北片区为丘陵区以种植水稻为主，天西片区为平原区以种植旱作物小麦、棉花为主，天东片区为滨湖区则是水旱作物并重。我们根据灌区内作物种植结构和片区地形特点将其分为三个片区进行分析。

#### 5.1. 田间水利用系数分析

典型田块法实测全灌区田间水利用系数为 0.899，其中天北片区 0.894、天西片区 0.901、天东片区 0.900。天北片区田间水利用系数低于天西片区和天东片区，分析原因，主要是因为天北区为丘陵地带主要由坡地、梯田组成，受地形影响，田间水的保持性相对较差，导致田间水利用系数偏低。另外天北片区以种植水稻为主，水稻种植泡田、育秧大量需水的特性就造成了其用水效率低于旱地作物。



**Table 5.** The main outcome data of the water balance test

**表 5.** 引汉灌区水平衡测试主要成果数据

	分片	灌溉水利用系数	田间水利用系数	渠系水利用系数
	全灌区	0.486	0.899	0.541
天北片区	天北干渠潘渡至渠尾段	0.660	0.894	0.738
	天南总干渠渠首至新堰段	0.483		0.536
天西片区	天北干渠渠首至潘渡段	0.478	0.901	0.531
	何山干渠渠首至前进段	0.446		0.495
	天南总干渠新堰至渠尾段	0.504		0.560
天东片区	中岭干渠	0.439		0.488
	青沙干渠	0.425	0.900	0.472
	何山干渠前进至渠尾段	0.418		0.464
	永新干渠	0.435		0.483
	长虹干渠	0.420		0.467

## 5.2. 渠系水利用系数分析

典型渠道法实测全灌区渠系水利用系数为 0.541，较接近节水灌溉技术规范中大型灌区灌溉水利用系数 0.55 的要求，其中天北干渠潘渡至渠尾段和天南总干渠新堰至渠尾段已经达到并超过了规范要求。灌区干、支、斗、农渠道的损失率分别为 9.0%、5.2%、16.5%和 24.9%。低级渠道(斗农渠)渠道输水损失高于高级渠道(干支渠)占总输水损失的约 7 成，这与渠道衬砌程度一致。干渠综合衬砌率和支渠综合衬砌率约达到 7 成，部分较大斗渠仍有衬砌，但斗渠综合衬砌率较干支渠大幅偏低，农渠基本为土渠，无衬砌。可见渠道衬砌是影响本灌区渠道输水效率的主要因素。

从干渠渠系水利用系数来看，天北干渠和天南干渠 4 段渠系水利用系数分别为 0.728、0.531、0.536 和 0.560，而灌区内其它干渠渠系水利用系数均低于 0.5。经过分析，其它干渠渠系水利用系数偏低的原因主要有以下三点：第一、部分渠道由天然河流改建而来，渠道体质先天较差；第二、所在片区属于灌区中下游地区，是灌区规划续建改造中相对实施较后的部分，一些续建改造工程还未全面开展；第三、所在片区地势为下游，缺水现象相对上游严重，农户通过随意扒口，挖沟等非正常方式获取灌溉水，导致灌溉水利用率较低。

## 5.3. 灌溉水利用系数分析

通过“首尾法”测算全灌区灌溉水利用系数为 0.486，处于湖北省大型灌区 0.478 的平均水平以上，但离节水灌溉技术规范大型灌区灌溉水利用系数 0.50 的要求还有一定的距离，经过分析主要原因如下：第一、天东片区部分渠道由天然河道改建，渗漏和散浸现象多发；第二、灌区主要闸站工程体质良好，但闸门都有不同程度的锈蚀，闸底也有一定淤塞，影响闸门启闭设施正常工作，漏水现象较普遍；第三、有的农户为了扩大种植面积，填平或侵占原来的水渠，使渠道输水能力降低；第四、重要干渠、支渠上分布着农户自行开挖的小沟，以极为简陋的石板挡水作为渠道使用，使渠道水损失增大。

## 5.4. 节水潜力分析

综上所述,天门引汉灌区灌溉水利用系数主要受以下两个方面的影响:

### 1) 工程质量的影响

灌区于 1962 年建成，近年来灌区先后开展了续建配套与节水改造工程，使灌区工程质量有了明显改善，但

仍存在一些缺陷。

## 2) 灌区管理的影响

农户对水渠及相关设施的损毁，使渠道输水能力降低，也造成水量损失和浪费。

为促使灌区用水更趋合理、提升灌区用水管理水平，现针对水平衡测试分析中发现的问题，建议灌区从以下几个方面进行改进：

① 进一步加大灌区续建配套与节水改造工程投资力度，加快天东片区渠系工程的工程进度，同步推进斗渠、农渠的渠道衬砌建设，同时做好骨干工程与其他工程建设的衔接。

② 联合相关部门加强对农户用水习惯、保护水利设施意识的宣传，防止随意扒口、挖沟，控制引水量，节约用水。

③ 积极推广“薄浅湿晒”的水稻控制灌溉技术，节水减排，加强田间用水管理。

④ 结合现阶段用水调度经验与配套的现代化科技手段，减少经验性粗放式的用水管理制度，制定出一套更为有效合理的供水方案[9] [10]。

## 6. 结论

本文通过对天门引汉灌区进行水平衡测试，基本掌握了灌区的用水现状、水量分配及输水、用水设施运行情况。采用“点”“线”“面”相结合的方法，依据收集的资料和实测数据进行计算、分析、评价了灌区用水技术指标，计算出了灌区典型年的田间水、渠系水以及灌溉水利用系数。通过对灌区用水主要技术指标的分析和总结，对灌区建设和管理的薄弱环节提出了一些合理化建议。

同时，天门引汉灌区作为汉江流域典型代表灌区，本文的结论可以为汉江流域科学制定水资源规划，合理调配水资源，进一步实现水资源可持续利用支持和保障社会经济可持续发展，提供一手真实可靠的实测数据。

## 参考文献 (References)

- [1] 马静, 胡仪元. 南水北调中线工程汉江水源地生态补偿资金分配模式研究[J]. 社会科学辑刊, 2011(6): 136-139.  
MA Jing, HU Yiyuan. Study on the model of ecological compensation funds for the Hanjiang River Water Source in the middle route of the South-to-North Water Transfer Project. Social Science Journal, 2011(6): 136-139.
- [2] 长江水利委员会水文局. 汉江流域典型灌区(天门引汉灌区)水平衡测试报告[R]. 武汉: 长江水利委员会水文局, 2015.  
Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. Test report on water balance of Hanjiang River Diversion Irrigation Area of Tianmen. WuHan: Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, 2015.
- [3] 王殿武, 代影君. 北方地区农业灌溉期水平衡测试研究[J]. 水利水电快报, 2008(s1): 20-21.  
WANG Dianwu, DAI Yingjun. Study on water balance test in agricultural irrigation period in North China. Express Water Resources & Hydropower, 2008(s1): 20-21.
- [4] 孟玉清, 李世月, 丰莎, 等. 三义寨灌区灌溉水利用系数首尾法测算研究[J]. 人民黄河, 2017, 39(4): 145-148.  
MENG Yuqing, LI Shiyue, FENG Sha, et al. Study on estimation of irrigation water utilization coefficient in Sanyi Village Irrigation Area by head-end method. Yellow River, 2017, 39(4): 145-148.
- [5] 冯广平, 杨长征, 崔龙, 等. 田间灌溉水利用系数监测试验与计算[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(s3): 123-127.  
FENG Guangping, YANG Changzheng, CUI Long, et al. Monitoring and test of effective utilization coefficient of irrigation water in field. Xinjiang Agricultural Sciences, 2008, 45(s3): 123-127.
- [6] 杨烈祥. 渠系有效水利用系数动水测试方法探讨[J]. 四川水利, 2002, 23(2): 34-35.  
YANG Liexiang. Discussion on test method of dynamic water utilization coefficient of canal system. Sichuan Water Conservancy, 2002, 23(2): 34-35.
- [7] 高传昌, 张世宝, 刘增进. 灌溉渠系水利用系数的分析与计算[J]. 灌溉排水, 2001, 20(1): 50-54.  
GAO Chuanchang, ZHANG Shibao and LIU Zengjin. Analysis and calculation of water utilization coefficient of irrigation canal. Irrigation and Drainage, 2001, 20(1): 50-54.
- [8] 王洪斌, 闻绍珂, 郭清. 灌溉水利用系数传统测定方法的修正[J]. 东北水利水电, 2008(4): 59-61.



- WANG Hongbin, WEN Shaoke and GUO Qing. Modification of traditional method for determination of irrigation water utilization coefficient. *Water Resources & Hydropower of Northeast China*, 2008(4): 59-61.
- [9] 张瑞茹. 浅议提高景电灌区灌溉用水效益的措施与方法[J]. *甘肃科技*, 2012, 28(19): 12-13.  
ZHANG Ruiru. Measures and methods to improve the benefit of irrigation water use in Jingdian Irrigation District. *Gansu Science and Technology*, 2012, 28(19): 12-13.
- [10] 李燕. 浑河灌区灌溉用水的管理[J]. *东北水利水电*, 2003, 21( 11): 47-48.  
LI Yan. Management of irrigation water in Hun River Irrigation District. *Water Resources & Hydropower of Northeast China*, 2003, 21(11): 47-48.