

渠道衬砌对灌溉水利用系数的影响

肖雪^{1,2}, 王修贵^{2*}, 谭丹³, 白雪⁴, 巴乾⁵

(1.长江科学院水资源所, 武汉 430010; 2.武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072; 3.中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063; 4.新疆水利水电勘测设计研究院, 乌鲁木齐 830000; 5.新疆伊犁自治州喀什河流域管理处, 新疆 伊犁 835000)

摘要:【目的】研究渠道衬砌对灌溉水利用系数的影响。【方法】以新疆伊犁喀什河下游灌区为对象,根据实测资料测算不同衬砌形式典型渠段单位渠长输水损失率,据此推求不同衬砌形式、衬砌位置及不同级别渠道衬砌条件下的渠系水利用系数和灌溉水利用系数,分析了其变化规律,并建立了灌溉水利用系数与渠长衬砌率的定量关系。【结果】新疆伊犁喀什河下游灌区现状灌溉水利用系数值为0.485,如果各级固定渠道全部进行混凝土衬砌,灌溉水利用系数为0.691;采用预制混凝土U型衬砌渠道水利用系数最大,混凝土衬砌次之,浆砌石第三;衬砌在渠首的渠道水利用系数总是大于衬砌在渠尾的渠道水利用系数;从现状衬砌条件到干渠全部衬砌、干支渠全部衬砌、干支斗渠全部衬砌和干支斗农渠全部衬砌,灌溉水利用系数逐步增加的相对量分别为11.8%、14.0%、6.8%和4.7%;以渠长衬砌率为自变量,灌溉水利用系数为因变量,得到二者定量关系式。【结论】在灌区渠道衬砌方案比选中,衬砌形式优先选择预制混凝土U型渠;衬砌位置优先选择从渠首开始;衬砌渠道优先选择干支渠,其次才是斗农渠;灌溉水利用系数与渠长衬砌率呈对数关系,当渠道衬砌达到一定程度时,灌溉水利用系数增长较缓,不建议再加大投资进行渠道防渗。

关键词:灌溉水利用系数;渠道水利用系数;渠道衬砌;节水

中图分类号:S274.2

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0596

肖雪,王修贵,谭丹,等.渠道衬砌对灌溉水利用系数的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(9):56-61.

0 引言

灌溉水利用系数受自然条件、灌区规模、灌区工程状况、管理水平、灌水技术等多种因素的综合影响。对一个确定的灌区而言,灌区的自然条件、规模和类型是一定的,而灌区工程状况、管理水平和灌水技术可以通过努力不断改进,是提高灌区灌溉水利用系数的主要工作内容。其中,渠道衬砌是改善灌区工程状况、提高渠系水利用系数的主要途径,研究其对灌溉水利用系数的影响具有重要的现实意义。

一些学者研究了渠道衬砌对灌溉水利用系数的影响,王小军等^[1]对广东省实测资料进行统计,分析了不同措施对灌溉水利用系数的影响,得出灌区各级渠道衬砌率与灌溉水利用系数之间有较强的正相关性;谭芳等^[2]基于漳河灌区资料分析了塘堰供水比例、渠道衬砌率、节水改造投资等对灌溉水利用率的影响程度,得出渠道衬砌率对灌溉水利用率有较大的正贡献率;吴旭春等^[3]分析了新疆地区各灌区渠系防渗长度对灌溉水利用系数的影响效应,表明渠道防渗长度对大多数灌区灌溉水利用系数产生正效应;高峰等^[4]分析了渠道防渗措施对灌溉水利用系数的影响,认为二者并不是简单的直线关系,但总体上正相关。现有的研究多集中于分析几种影响因素对灌溉水利用系数的综合影响^[5-8],较少涉及渠道衬砌位置、衬砌渠道级别等条件的影响以及这些衬砌条件与灌溉水利用系数的定量分析。兹选取新疆伊犁喀什河下游灌区,以实测资料为基础,研究渠道衬砌的位置、形式等对灌溉水利用系数的影响,建立灌溉水利用系数与渠道长度衬砌率(衬

收稿日期:2017-09-27

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0400203)

作者简介:肖雪(1990-),女。硕士研究生,助理工程师,主要从事灌区规划方面研究。E-mail: x_xiaoxue@126.com

通信作者:王修贵(1962-),男。教授,博士生导师,主要从事农田排水及水管理研究。E-mail: wangxg@whu.edu.cn

砌的渠道长度与渠道总长度之比)的定量关系,为灌区渠道衬砌方案比选和决策提供一定依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

伊犁喀什河下游灌区位于新疆伊犁河北岸,东西长132 km,南北平均宽18.5 km,控制面积20.8万hm²,设计灌溉面积9.4万hm²,实际灌溉面积8.4万hm²,属大(2)型灌区。灌区所在地区年降水量约465.4 mm,年平均温度10.3℃,年日照时间约2 857 h。灌溉水源为喀什河水,灌区内固定渠道分为总干渠、干渠、支渠、斗渠和农渠5级。通过拦建在喀什河上的拦河控制抬高水位引水,共有东、西总干渠2条,总长12.9 km,设计引水流量115 m³/s;干渠8条,分别为青年渠(Q)、人民渠(R)、团结渠(T)、巴依托海渠(B)、东干渠(D)、西干渠(X)和包孜渠(BZ),总长272.3 km;支渠352条,总长1 130.5 km。灌区主要种植作物为玉米、冬小麦、甜菜等。

1.2 灌区灌溉水利用系数的计算

灌溉水利用系数采用渠系水利用系数与田间水利用系数相乘的方法计算^[9]。根据典型渠段不同衬砌形式的测流资料推求其单位长度输水损失率,通过典型渠段输水损失率计算各级渠道水利用系数^[10-11]。根据灌区内渠道布置情况,针对每个级别的渠道和不同的衬砌形式,选择中间无支流、长度满足要求的代表性渠段,采用动水法测流^[12-13],观测上、下游断面同一时段的流量,按式(1)计算不同衬砌形式渠段单位长度输水损失率,即每公里渠段损失流量占渠段流量的比值^[9],最后逐级推算渠道损失,确定渠道水利用系数。

$$\sigma = (Q_1 - Q_2) / (Q_{\text{计}} \cdot \Delta L), \quad (1)$$

式中: σ 为单位渠长输水损失率(km⁻¹); Q_1 、 Q_2 分别为观测上、下游2个断面同时段的流量(m³/s); ΔL 为典型渠段长度(km); $Q_{\text{计}}$ 为渠段计算流量(m³/s),目前的研究^[11-12]中,计算流量的取值一般包括毛流量 Q_1 、净流量 Q_2 、平均流量 $(Q_1 + Q_2)/2$,文中渠段计算流量采用净流量。

灌区5级固定渠道的衬砌形式主要包括现浇混凝土梯形断面(简称“混凝土”)、浆砌石、预制混凝土U型渠(简称“U型”),其余为土渠。根据典型渠段测流资料计算典型渠段单位渠长输水损失率,将渠道级别、衬砌形式、土壤类型相同的典型渠段单位渠长输水损失率按长度进行加权平均,得到不同衬砌的渠道平均单位长度输水损失率。

对全灌区采用从下级渠道往上级渠道逐级推算流量的方法^[9],计算各级渠道的毛流量、净流量和输水损失流量。其中,某段渠道的输水损失流量根据单位渠长输水损失率、该段渠道净流量和渠长按式(2)计算。根据各级渠道的毛流量和净流量计算各级渠道水利用系数,进而求得渠系水利用系数。

$$Q_g = Q_n + \Delta Q = Q_n(1 + \sigma L), \quad (2)$$

式中: Q_g 为某段渠道的毛流量(m³/s); Q_n 为某段渠道的净流量(m³/s); ΔQ 为某段渠道的输水损失流量(m³/s); L 为该段渠道的工作长度(m);其余符号意义同式(1)。

灌溉水利用系数计算式为:

$$\eta_s = \eta_q \cdot \eta_t, \quad (3)$$

式中: η_t 为田间水利用系数,根据田间实测方法计算,本灌区经过对多个典型田块的实测其平均值为0.867; η_q 为渠系水利用系数。

灌区灌溉水利用系数和各级渠道水利用系数计算结果见表1。全灌区的灌溉水利用系数为0.485。

表1 灌区灌溉水利用系数

渠道水利用系数					渠系水利用系数	灌溉水利用系数
农渠	斗渠	支渠	干渠	总干渠		
0.946	0.892	0.794	0.853	0.984	0.559	0.485

1.3 研究方法

通过选定典型渠道设置不同的衬砌情景,根据灌区各级渠道的单位渠长输水损失率计算典型渠道的渠道水利用系数,分析不同衬砌形式、衬砌所在位置对渠道水利用系数的影响;设置不同级别渠道衬砌情景,分析计算不同级别渠道衬砌对灌溉水利用系数的影响;设置不同的衬砌长度情景,建立渠道衬砌长度与灌溉水利用系数的定量关系。

2 衬砌对渠道水利用系数和灌溉水利用系数的影响分析

2.1 不同衬砌形式对渠道水利用系数的影响

灌区中渠道主要采用混凝土、浆砌石和U型3种衬砌形式,其余为土渠。根据灌区的渠系统计资料,选择3条典型渠道,基本情况见表2。每条典型渠道分未衬砌、浆砌石衬砌、U型衬砌、混凝土衬砌4种情景,不同衬砌形式的斗渠输水损失率值见表3。计算各典型斗渠4种情景下的渠道水利用系数,计算结果见图1。

表2 典型渠道基本情况

典型渠道	渠道级别	所属干支渠	渠道长度/m	控制面积/hm ²	农渠条数
渠1	斗渠	R5	1 800	113	2
渠2	斗渠	T1	2 500	458	8
渠3	斗渠	Q14	820	267	10

表3 灌区渠道平均单位长度输水损失率 σ

衬砌形式	干渠	支渠	斗渠	农渠
混凝土	0.001 95	0.029 17	0.031 09	—
U型	—	0.011 25	0.011 99	—
浆砌石	0.008 81	0.073 89	—	—
土渠	0.009 49	0.079 59	0.091 08	0.134 12

当衬砌形式相同时,渠3的渠道水利用系数最大,渠1次之,渠2最小。这是因为渠道水利用系数与渠道长度有一定的关系,渠3长度最短,渠1次之,渠2最长,可以分析得出渠道水利用系数随着渠长的增加而减小。

为研究不同衬砌形式对渠道水利用系数的影响,对3条典型渠道进行模拟计算,分未衬砌、浆砌石衬砌、U型衬砌、混凝土衬砌4种情景。由图1可看出,不同的衬砌形式其渠道水利用系数差异较大,3条典型渠道计算结果具有相同的规律:采用U型衬砌渠道水利用系数最大,混凝土衬砌次之,土渠最小,浆砌石衬砌下的渠道水利用系数较土渠有所提高但小于混凝土衬砌。该结果跟表3中的单位渠长输水损失率一致,即就防渗效果而言,U型衬砌优于混凝土衬砌,浆砌石衬砌第三。

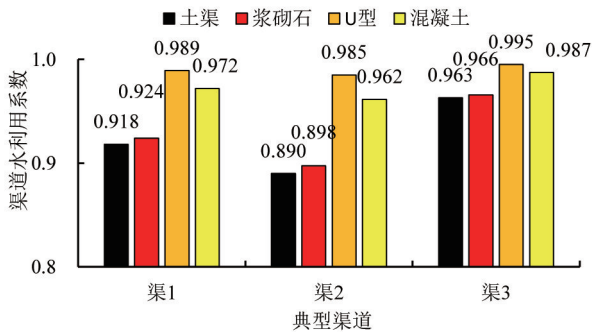


图1 典型渠道不同衬砌形式渠道水利用系数

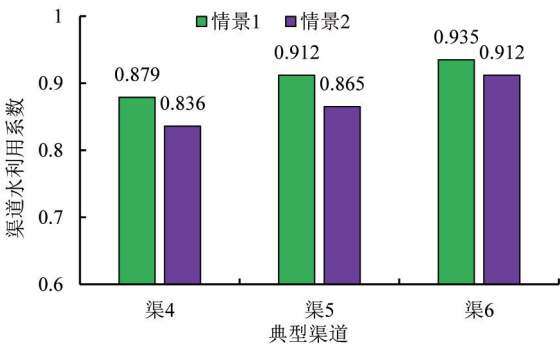


图2 典型渠道不同衬砌位置渠道水利用系数

2.2 不同衬砌位置对渠道水利用系数的影响

当衬砌形式和衬砌长度相同时,衬砌在同一条渠道上的位置不同,渠道的防渗效果也不同。为研究不同衬砌位置对渠道水利用系数的影响,选择3条典型渠道,其基本情况见表4。假设衬砌在渠首和渠尾2种不同情景进行典型计算,不同衬砌形式的衬砌长度见表4。当渠道为单一衬砌方式且部分衬砌时,情景1表示衬砌从渠首开始,情景2表示衬砌从渠尾开始;当渠道存在2种不同的衬砌形式时,情景1表示在渠首衬砌防渗效果较好的形式,渠尾衬砌防渗效果较差的形式,情景2则反之。计算结果见图2。

表4 典型渠道基本情况

典型渠道	级别	所属干支渠	渠道总长度和衬砌长度/m				渠道总长度	控制面积/hm ²	农渠条数
			混凝土	浆砌石	U型	土渠			
渠4	斗渠	R4	1 700	3 000	/	/	4 700	267	6
渠5	斗渠	T16	/	/	1 700	2 300	4 000	240	4
渠6	斗渠	Q1	1 200	/	/	1 300	2 500	87	4

由图2可知,3条典型渠道在情景1的渠道水利用系数均大于情景2,即衬砌在渠首的防渗效果优于衬砌在渠尾。若衬砌长度小于渠长(渠5和渠6),衬砌在渠首的渠道水利用系数总是大于衬砌在渠尾的渠道水利

用系数;若有2种不同的衬砌形式(渠4),在渠首衬砌防渗效果较好的形式相较于衬砌防渗效果较差的形式,其渠道水利用系数较高。其原因在于渠首流量大于渠尾,输水损失相对于较大。因此,在对渠道进行防渗工程措施时,为保证能达到最好的节水效果,优先从渠首开始衬砌。

2.3 不同级别渠道衬砌对灌溉水利用系数的影响

为了研究不同级别渠道衬砌对灌溉水利用系数的影响,通过模拟,将灌区所有渠道从不衬砌到全部衬砌设置了6种情景,见表5;分别计算不同情景下渠系水利用系数和灌溉水利用系数,如图3所示。其中田间水利用系数为现状条件下典型田块的实测平均值0.867。

表5 6种不同级别渠道衬砌情景

情景	衬砌状态
1	渠道衬砌率为0,代表灌区初期渠系状态
2	渠道衬砌率为7.68%,代表灌区渠系现状
3	干渠全部采用混凝土衬砌,其他各级渠道维持现状
4	干支渠全部采用混凝土衬砌,斗农渠维持现状
5	干支斗渠全部采用混凝土衬砌,农渠维持现状
6	干支斗农渠均采用混凝土衬砌,渠系衬砌率为100%,代表渠道衬砌的最理想状况

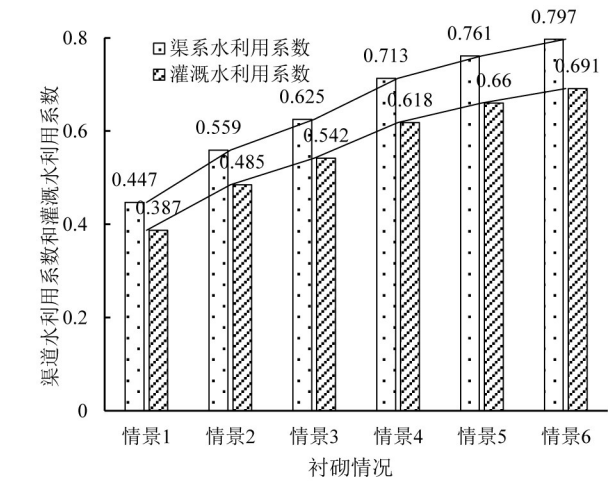


图3 不同级别渠道衬砌灌溉水利用系数变化

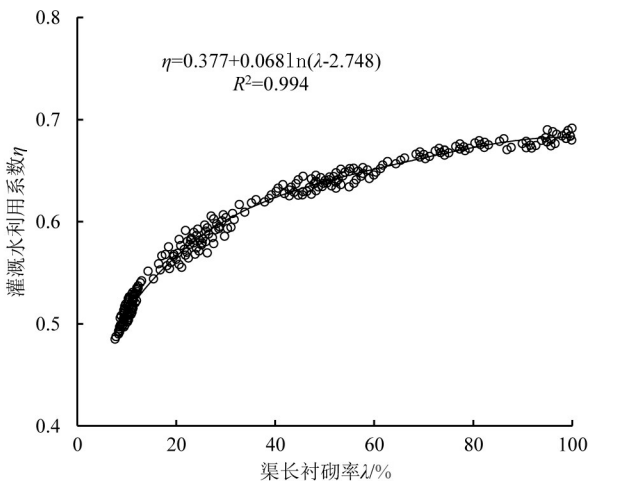


图4 灌溉水利用系数与渠长衬砌率关系

从图3可以看出,随着渠道逐级进行衬砌,灌区的渠系水利用系数和灌溉水利用系数逐渐增大。在完全没有衬砌的条件下,全灌区的渠系水利用系数和灌溉水利用系数分别为0.447和0.387,现状衬砌条件下二者分别为0.559和0.485,均增加25.3%,从土渠到现状衬砌水平,渠系水利用系数和灌溉水利用系数提高的幅度较大,反映了灌区实施节水改造后现阶段的节水成效。

当灌区的各级渠道全部衬砌时,渠系水利用系数为0.797,灌溉水利用系数为0.691。当其他条件不变时,只通过渠道衬砌提高灌溉水利用系数,这2个系数代表了采用混凝土衬砌渠道可以提高渠系水利用系数和灌溉水利用系数的上限值。

从现状衬砌条件到干渠全部衬砌、干支渠全部衬砌、干支斗渠全部衬砌和干支斗农渠全部衬砌,灌区灌溉水利用系数逐步增加的相对量分别为11.8%、14.0%、6.8%和4.7%。在图3中反映为渠系水利用系数和灌溉水利用系数上升趋势从情景2至情景3到情景4最陡,随之逐渐变缓。其原因在于干支2级渠道相比斗农2级输水损失较大,衬砌后渠道水利用系数和灌溉水利用系数增加的幅度较大。可见,干支渠衬砌引起的渠系水利用系数和灌溉水利用系数增量最大,斗渠次之,农渠最小。表明后续渠道衬砌工作的重点是优先加强干支渠的衬砌,其次是斗农渠。

3 渠长衬砌率与灌溉水利用系数的定量分析

为从整体上把握渠道衬砌对灌区节水的影响程度和节水效果,将灌区渠道从现状衬砌水平到全部衬砌设置不同的衬砌长度情景,分析计算渠道衬砌长度与灌溉水利用系数的定量关系。其中,现状水平的渠长衬砌率为7.68%,对应灌溉水利用系数值为0.485;衬砌率100%时,灌溉水利用系数为0.691。

计算过程中均采用混凝土衬砌且衬砌顺序为先干支渠后斗农渠,单位渠长输水损失率采用表3中结果,

田间水利用系数取现状实测值0.867,计算得出灌溉水利用系数和渠长衬砌率的关系见图4。

以渠长衬砌率为自变量,灌溉水利用系数为因变量,对计算结果进行拟合,得到二者定量关系式:

$$\eta = 0.377 + 0.068 \ln(\lambda - 2.748), \quad (4)$$

式中: η 为灌溉水利用系数; λ 为渠长衬砌率(%)。

根据图4和式(4)可知,灌溉水利用系数与渠长衬砌率呈对数增长关系,衬砌率增加,灌溉水利用系数随之增大,但其增大的趋势逐渐变缓。即随着衬砌率的逐渐增加,灌溉水利用系数增幅越来越小,呈现边际效益递减的趋势,说明到末级渠道耗费的衬砌投入所增加的灌溉水利用系数远小于干支渠相应幅度的增长,此时通过加强管理、提高民众节水意识等非工程措施以及提高回归水的利用率等来提高灌溉水利用系数^[14-17],在经济上更为合算。

4 讨 论

灌溉水利用系数受多种因素的综合影响。选择渠长衬砌率为自变量,灌溉水利用系数为因变量,通过改变衬砌条件计算灌溉水利用系数,研究得出灌溉水利用系数与渠长衬砌率呈对数增长关系 $\eta = 0.377 + 0.068 \ln(\lambda - 2.748)$,衬砌率增加,灌溉水利用系数随之增大,这与王小军等^[1]、周和平等^[18]、刘春成等^[19]的研究结论一致。

吴旭春等^[3]对南疆和田县灌区和北疆温泉县灌区的4种衬砌形式进行渠系水利用系数观测,防渗效果高低顺序为现浇混凝土、预制混凝土板、砌石、土渠;本研究根据灌区实际情况,选择的是现浇混凝土梯形断面、浆砌石、预制混凝土U型渠、土渠4种形式,结果表明U型衬砌优于混凝土梯形断面衬砌,浆砌石衬砌第三,这与吴旭春等^[3]研究结论“防渗效果混凝土优于浆砌石、土渠最差”是一致的。

崔远来等^[20]在漳河灌区开展实验利用首尾法和动水法测算不同尺度灌溉水利用系数,得到灌溉用水效率在干-支-斗渠段变化最大,是进行渠道防渗的重点,影响漳河灌区灌溉水利用系数的主要因素是骨干工程的建设和管理运行水平;通过模拟不同级别渠道衬砌情景计算得到从现状衬砌条件到干渠全部衬砌、干支渠全部衬砌、干支斗渠全部衬砌和干支斗农渠全部衬砌,灌区灌溉水利用系数逐步增加的相对量分别为11.8%、14.0%、6.8%和4.7%,干支渠衬砌引起的灌溉水利用系数增量最大,斗渠次之,农渠最小,与其研究结论基本一致。本研究中没有考虑经济投资,但是在实际情况中,投资是一定的,采用不同的衬砌形式或不同级别渠道衬砌相同的长度其投资是不一样的,因此,还可进一步细化研究衬砌投资和灌溉水利用系数关系。

5 结 论

1)根据典型观测和分析计算,新疆伊犁喀什河下游灌区现状灌溉水利用系数值为0.485,如果各级固定渠道全部进行混凝土衬砌,渠系水利用系数为0.797,灌溉水利用系数为0.691,这是通过渠道衬砌所能获得渠系水利用系数和灌溉水利用系数的上限值。

2)渠道不同的衬砌形式其防渗效果不同,采用预制混凝土U型渠防渗效果最好,现浇混凝土衬砌次之,随之是浆砌石衬砌。

3)对渠道进行部分衬砌,不同的衬砌位置其渠道水利用系数不同。对同一衬砌形式而言,衬砌在渠首的节水效果优于渠尾;若有2种不同的衬砌形式,则应将防渗效果好的形式优先安排在渠首衬砌。

4)采用相同长度的衬砌,衬砌在干支渠所得到的灌溉水利用系数增量大于衬砌斗农渠,即对干支2级渠道进行衬砌的节水效果优于斗农渠。

5)灌溉水利用系数与渠长衬砌率呈对数增长关系,当渠道衬砌达到一定程度时,灌溉水利用系数的增长较缓,不适合再加大投资进行渠道防渗,建议从管理、宣传教育提高节水意识和回归水利用等方面进行节水。

参考文献:

- [1] 王小军,张强,易小兵,等.不同措施对灌溉水有效利用系数的驱动力贡献分析[J].中国农村水利水电,2014(6):33-38.
- [2] 谭芳,崔远来,王建漳.灌溉水利用率影响因素的主成分分析:以漳河灌区为例[J].中国农村水利水电,2009(2):70-73.
- [3] 吴旭春,周和平.新疆灌区灌溉水利用系数影响因素研究[J].人民黄河,2011,33(9):93-97.
- [4] 高峰,黄修桥,王景雷,等.渠道防渗与灌溉用水有效利用系数关系分析[J].中国水利,2009(3):22-24.
- [5] 李远华.灌溉用水有效利用系数的影响因素及其提高策略[J].水利水电技术,2009,40(8):113-116.
- [6] 许建中,赵竞成,高峰,等.灌溉水利用系数传统测定方法存在问题及影响因素分析[J].中国水利,2004(17):39-41,5.

- [7] 雷波, 刘钰, 许迪. 灌区农业灌溉节水潜力估算理论与方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 10-14.
- [8] 谢先红, 崔远来. 灌溉水利用效率随尺度变化规律分布式模拟[J]. 水科学进展, 2010, 21(5): 681-689.
- [9] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [10] 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, 5.
- [11] 高峰, 赵竞成, 许建中, 等. 灌溉水利用系数测定方法研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(1): 14-20.
- [12] 秦海, 贾峰. 动态测定法在渠道水利用系数测定中的应用[J]. 现代农业科技, 2012(18): 194-199.
- [13] 节水灌溉工程技术规范: GB/T 50363—2006[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.
- [14] 崔远来, 龚孟梨, 刘路广. 基于回归水重复利用的灌溉水利用效率指标及节水潜力计算方法[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2014, 35(2): 1-5.
- [15] 张义盼, 崔远来, 史伟达. 农业灌溉节水潜力及回归水利用研究进展[J]. 节水灌溉, 2009(5): 50-54.
- [16] 彭世彰, 高晓丽. 提高灌溉水利用系数的探讨[J]. 中国水利, 2012(1): 33-35.
- [17] 许迪, 龚时宏. 中国节水农业技术与产品需求分析[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(1): 1-7.
- [18] 周和平, 张明义, 周琪, 等. 新疆地区农业灌溉水利用系数分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 100-107.
- [19] 刘春成, 朱伟, 庞颖, 等. 区域灌溉水利用率影响主因分析[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(4): 40-43.
- [20] 崔远来, 谭芳, 王建漳. 不同尺度首尾法及动水法测算灌溉水利用系数对比研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(1): 5-10.

The Role of Lining in Water Use Efficiency of Irrigation Canals

XIAO Xue^{1,2}, WANG Xiugui^{2*}, TAN Dan³, BAI Xue⁴, BA Qian⁵

(1. Water Resources Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;

2. State Key Laboratory of Water Resource and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

3. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, Wuhan 430063, China;

4. Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey, Design and Research Institute, Urmqi 830000, China;

5. Xinjiang Yili Kazakh Autonomous Prefecture, Kashigaer River Basin Management Section, Yili 835000, China)

Abstract:【Objective】Irrigation-canal lining reduces water loss from percolation and in this paper, we studied the change of water use efficiency after lining the irrigation canal in the low reach of Kashi River in Yili Autonomous Prefecture of Xinjiang Autonomous Region.【Method】Water loss from the canals with different linings were calculated based on the observed data. The canal water use coefficient and the irrigation water use coefficient were estimated based on the water loss rate per unit length at different position along the canal. The variation of the loss rate was analyzed and the relationship between the canal lining rate and the irrigation water use coefficient was calculated.【Result】The calculated results showed that at business as usual condition, the irrigation water use coefficient was 0.485. If all levels of the canals were concrete-lined, the irrigation water use coefficient could be increased to 0.691. Lining pre-casted U-shape concrete was most efficient in improving water use efficiency, followed by concrete lining and stone-masonry lining. Lining the proximity of the inlet of the canal was more effective in improving canal water use coefficient than lining the vicinity of the outlet. Consecutively lining different levels from the main canals, branch canals, up to lateral and sub-lateral canals can gradually increase the irrigation water use coefficient from 11.8%, 14.0%, 6.8% to 4.7%. The relationship between lining rate (λ) of all canals and the irrigation water use coefficient followed $\eta = 0.377 + 0.068 \times \ln(\lambda - 2.748)$.【Conclusion】Pre-casted U-shaped concrete was the best lining for improving water use efficiency. To achieve best results, the lining should start from the inlet of the main canal. Lining the main and branch canals is superior to lining the lateral and sub-lateral canals. There is an relationship between the canal lining rate and the irrigation water use coefficient. When the canal lining rate reaches a certain degree, the irrigation water use coefficient increases slowly. Therefore, in terms of investment return, fully lining all level canals is not economically sound.

Key words: irrigation water use coefficient; canal water use coefficient; canal lining; water-saving

责任编辑: 陆红飞