

# 防渗衬砌渠道节水量与工程投资关系分析研究

邱晓林<sup>1</sup> 陆立国<sup>2</sup>

1. 宁夏中宁县水务局; 2. 宁夏水利科学研究院

**摘要:** 本文从渠道防渗衬砌节水为切入点, 采用经验公式法和渗透系数法两种节水量计算方法对干、支、斗三级渠道典型工程衬砌前后节水效果计算分析, 提出不同级别渠道在节水量计算时应采取的方法。结合工程投资、使用年限、耗水系数等, 分别计算不同级别渠道工程单方水年工程建设费和工程使用期限内单方水工程投资, 提出在渠道节水工程改造时应采取的先后顺序。

**关键词:** 防渗衬砌; 节水效果; 工程投资; 关系分析

宁夏属于干旱缺水地区, 人均占有水资源不足全国人均水平的1/10, 对渠道进行防渗衬砌是节约有限水资源的重要途径。为了更准确地研究分析渠道防渗衬砌与工程投资的关系, 我们选择利用已实施的干、支、斗三级渠道作为典型工程实例, 对渠道衬砌工程的单方水价格进行计算, 分析防渗衬砌节水工程与工程投资的关系。

## 一、工程节水量计算

### (一) 计算公式的来源与选择

在防渗衬砌工程节水量计算中, 采用两种计算方法: 一是利用干支斗各级渠道输水损失试验取得的经验公式进行节水量计算, 即经验公式法; 二是利用衬砌与未衬砌渠道的稳渗强度进行节水量计算, 即渗透系数法。

经验公式法是依据宁夏水文水资源勘测局《渠道输水损失与地下水动态试验研究》中建立的渠系输水损失经验公式进行节水量计算。渗透系数法是根据国内研究成果, 并结合宁夏水利科学研究院试验结论, 在渠道不衬砌时, 土渠的稳渗强度17.5kg/m<sup>2</sup>.h, 在采用砧板与塑膜复合防渗衬砌后, 稳渗强度2.6kg/m<sup>2</sup>.h, 减少渗漏损失14.9kg/m<sup>2</sup>.h。根据灌区渠道多年平均行水天数, 计算单位面积渠道防渗衬砌年减少渗漏量, 再根据典型节水工程设计流量下的断面湿周和渠道长度进行节水量计算。

### (二) 典型工程节水量计算

以中宁县七星渠灌域大滩支渠不同流量的上段和下段节水工程为例, 利用两种节水量计算方法, 对渠道节水量进行计算。大滩支渠上段控制灌溉面积1394亩, 下段控制灌溉面积

1250亩。衬砌断面采用U形断面, 直径D800mm, 直立段外倾角15°, 开口宽0.889m。

### (1) 经验公式法

#### a. 断面流量

大滩支渠上段和下段渠道长度L分别为2155m和2189m, 引水流量分别为0.17m<sup>3</sup>/s和0.12m<sup>3</sup>/s。

#### b. 未砌护输水损失量

以该渠段长度, 按渠道未砌护条件下输水损失计算公式计算渠段的损失流量, 再按行水天数计算损失水量。根据该区域作物种植结构和灌溉制度, 渠道行水天数为95天。

输水损失按经验公式 $S=0.036 \times Q^{0.55}$ , 损失水量按公式 $W_{损} = (95 \times 24 \times 3600) \times S \times L$

支渠上段:  $S_1=0.036 \times 0.17^{0.55}=0.01358 \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}$

$W_{损1} = (95 \times 24 \times 3600) \times 0.01358 \times 2.155=24.03 \text{万m}^3$

支渠下段:  $S_2=0.036 \times 0.12^{0.55}=0.01122 \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}$

$W_{损2} = (95 \times 24 \times 3600) \times 0.01122 \times 2.189=20.15 \text{万m}^3$

总损失水量 $W_{损} = 24.03+20.15=44.18 \text{万m}^3$

#### c. 砌护损失水量

按渠道砌护条件下输水损失计算公式计算损失流量, 再按行水天数计算损失水量。

输水损失按经验公式 $S=0.015 \times Q^{0.52}$ , 损失水量按公式 $W_{损} = (95 \times 24 \times 3600) \times S \times L$

支渠上段:  $S_1=0.015 \times 0.17^{0.52}=0.00597 \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}$

$W_{损1} = (95 \times 24 \times 3600) \times 0.00597 \times 2.155=10.56 \text{万m}^3$

支渠下段:  $S_2=0.015 \times 0.12^{0.52}=0.00498 \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}$

$W_{损2} = (95 \times 24 \times 3600) \times 0.00498 \times 2.189=8.95 \text{万m}^3$

总损失水量 $W_{损} = 10.56+8.95=19.51 \text{万m}^3$

#### d. 砌护减少损失量

渠道砌护后减少的损失水量为未砌护输水损失量与砌护损失水量二者之差, 即为24.68万m<sup>3</sup>。渠道砌护后较未砌护减少渗漏损失55.85%。

### (2) 渗透系数法

在渠道不衬砌时, 土渠的稳渗强度17.5kg/m<sup>2</sup>.h, 在采用砧板衬砌后, 稳渗强度3.28kg/m<sup>2</sup>.h, 减少渗漏损失14.22kg/

表1 宁夏灌区各典型工程经验公式法节水量计算结果表

渠道类型	渠道名称	经验公式		近三年引水量 (亿m <sup>3</sup> )	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	渠道长度 (km)	行水天数 (d)	未砌护输水损失量 (万m <sup>3</sup> )	砌护输水损失量 (万m <sup>3</sup> )	节水率 %	年节水量 (万m <sup>3</sup> )
		未砌护	砌护								
干渠	七星渠	$S=0.0195 \times Q^{0.52}$	$S=0.006 \times Q^{0.5}$	5.31	34.14	4.422	180	840.89	241.10	71.3	599.79
	唐徕渠	$S=0.0325 \times Q^{0.52}$	$S=0.011 \times Q^{0.5}$	4.98	32.02	4.012	180	1229.8	388.37	68.4	841.47
支渠	七星渠 第1段	$S=0.036 \times Q^{0.55}$	$S=0.015 \times Q^{0.52}$		0.17	2.155	95	24.029	10.559		
	灌域大 第2段	$S=0.036 \times Q^{0.55}$	$S=0.015 \times Q^{0.52}$		0.12	2.189	95	20.153	8.949		
	滩支渠 小计							44.182	19.507	55.9	24.675
斗渠	唐徕渠灌域	$S=0.036 \times Q^{0.55}$	$S=0.015 \times Q^{0.52}$		0.27	1.518	60	13.788	5.975	56.7	7.813

表2 宁夏灌区各典型工程渗透系数节水水量计算结果表

渠道类型	渠道名称	未砌护稳渗强度 (kg/m <sup>2</sup> ·h)	未砌护稳渗强度 (kg/m <sup>2</sup> ·h)	渠道长度 (km)	湿周 (m)	行水天数 (d)	年节水量 (万m <sup>3</sup> )	
干渠	七星渠	17.5	2.6	4.422	21.353	180	607.782	
	唐徕渠	17.5	2.6	4.012	20.03	180	517.264	
支渠	七星渠灌域 大滩支渠	第1段	17.5	3.28	2.155	1.55	95	10.830
		第2段	17.5	3.28	2.189	1.50	95	10.645
	小计						21.475	
斗渠	唐徕渠灌域			1.518	1.69	60	5.253	

m<sup>2</sup>·h。根据灌区支渠多年行水记录，支渠年行水95天，则单位面积的防渗砌护，年可减少渗漏量：

$$W=14.22 \times 24 \times 95 / 1000 = 32.421 \text{m}^3$$

根据大滩支渠断面设计，在设计流量情况下，断面湿周分别为1.55m和1.5m，渠道长度分别为2.155m和2.189km计算，采用防渗衬砌后，较不衬砌年可减少渗漏量：W=21.475万m<sup>3</sup>。渠道砌护后较未砌护减少渗漏损失81.26%。

依据上述计算方法对全区其他典型干、支、斗渠进行节水量计算，计算结果详见表1和表2。

### (3) 计算结果分析

#### ①两种计算方法的差异性及原因分析

a. 经验公式是利用动水法、在干渠上通过试验观测，利用输水损失考斯加可夫经验公式取得，该公式把渠道的水力要素对渗漏的影响，集中到流量上，考虑了渠道流量与其他因素的影响，由于该经验公式是在干渠上试验取得，适用于流量较大的渠道，对部分支斗农渠道公式误差较大，且动水法试验也会造成较大误差。

渗透系数是利用静水位对不同流量衬砌渠道的初渗强度、稳渗强度以及达到稳渗的时间进行了试验观测、分析确定的，它考虑了渠道的流量、水深、边坡、湿周、过水面积等水力要素，其试验结果可用于不同级别的渠道，静水法试验数据的精度较高。

b. 从节水工程典型实例计算结果看，采用经验公式法，衬砌渠道较未衬砌渠道减少渗漏损失：干渠68~71%、支渠56~60%、斗渠56~57%，普遍低于渠道防渗衬砌技术规范要求的具体指标；采用渗透系数法，衬砌渠道较未衬砌渠道减少渗漏损失81~85%，符合《渠道防渗工程技术规范》中的相关规定。

#### ②推荐的计算方法

根据节水工程典型实例计算结果分析表明：

在对干渠进行节水量计算时，优先推荐采用渗透系数法进行计算，但用经验公式法进行计算也可以。在对支、斗渠进行节水量计算时，推荐采用渗透系数法进行计算，建议尽量不要采用经验公式法计算。

## 二、砌护工程单方水投资计算

### (一) 工程建设费

所选工程均为2010年和2011年建设项目，工程建设费以该工程的预算为标准，在各工程费用中，同时考虑工程建设的可行性研究、勘测、规划、设计、监理、验收、建设管理、水权

转换交易成本等各项费用。各典型工程费用详见表3。

### (二) 单方水节水工程建设费用

单方水节水工程建设费用(元/m<sup>3</sup>·年)=节水工程建设总费用/(年节耗水量×工程有效使用年限)

渠道衬砌工程：年节耗水量=年节引水量×耗水系数

年节引水量=渠道衬砌减少渗漏量/节水工程建设点以上渠系水利用系数

耗水系数可概化为灌区的水利用系数

下面对公式中的各参数作出具体规定：

#### a. 工程使用年限

宁夏水利科学研究院2002~2005年开展了宁夏灌区渠道防渗防冻胀衬砌型式研究，试验段选择在汉渠，试验设计了12种衬砌结构型式，通过三年现场试验观测结论，8cm砼板+0.3mm土工膜+5cm苯板+30cm砂砾石换填的结构型式，具有显著的防冻胀效果，其次是砼板+土工膜+苯板的结构型式。根据试验成果，目前灌区在砌护渠道防冻胀措施方面普遍采用聚苯乙烯板进行保温的防冻胀措施。本次干渠典型节水工程的选取均为该种结构型式，工程建设标准高，工程使用年限相对提高。

根据汉渠防冻胀试验结果，8cm砼板+0.3mm土工膜+5cm苯板的衬砌结构型式，次年4月份基土融化回位后，平均剩余冻胀量为0.6cm，由此推算出8cm砼板衬砌的渠道工程使用年限为7/0.6=12年，即12年，考虑到渠道维修，该种衬砌结构的工程使用年限定为15年。8cm砼板+0.3mm土工膜+5cm苯板+30cm砂砾石的衬砌结构型式，次年4月份基土融化回位后，平均剩余冻胀量为0.48cm，由此推算出8cm砼板衬砌的渠道工程使用年限为7/0.43=16.3年，即17年，考虑到渠道维修，该种衬砌结构的工程使用年限定为20年。所选典型节水工程唐徕渠的衬砌结构为8cm砼板+0.3mm土工膜+5cm苯板，其工程使用年限为20年，七星渠的衬砌结构为8cm砼板+0.3mm土工膜+5cm苯板+砂砾石，其工程使用年限为15年。支斗农渠采用U形和圆弧坡脚梯形断面，充分利用弧形底的反拱作用减轻冻胀，根据调查结果和分析结论，支斗农渠的工程使用年限统一按13年考虑。

#### b. 节水工程建设点以上渠系水利用系数

在干渠工程中，七星渠典型工程段位于渠道上游，工程点以上的渠道已砌护，渠系水利用系数按0.85取值；唐徕渠工程位于渠道下游的姚伏段，工程点以上的渠道衬砌率为29%，渠系水利用系数按0.80取值。在支渠工程中，所选工程位于唐徕渠灌域，均从干渠直接开口，唐徕渠灌域支渠位于姚伏段，渠

表3 宁夏灌区各典型工程单方水工程建设费用

渠道类型	节水量计算方法	渠道名称	减少渗漏量 (万m <sup>3</sup> )	渠系水利用系数	耗水系数	年节引水量 (万m <sup>3</sup> )	年节耗水量 (万m <sup>3</sup> )	工程使用年限	工程建设总费用 (万元)	单方水年工程建设费 (元/m <sup>3</sup> )	使用期限单方水工程投资 (元/m <sup>3</sup> )
干渠	经验公式法	七星渠	599.79	0.85	0.40	705.64	282.25	20	1542.14	0.273	5.46
		唐徕渠	841.47	0.8	0.38	1051.8	399.70	15	1048.03	0.175	2.63
	渗透系数法	七星渠	607.78	0.85	0.40	715.04	286.02	20	1542.14	0.270	5.40
		唐徕渠	517.26	0.8	0.38	646.58	245.70	15	1048.03	0.284	4.26
支渠	经验公式法	七星渠灌域大滩支渠	24.675	0.8	0.38	30.843	11.720	13	59.26	0.389	5.06
	渗透系数法	唐徕渠灌域西十支渠	21.475	0.8	0.38	26.844	10.201	13	59.26	0.447	5.81
斗渠	经验公式法	唐徕渠灌域	7.813	0.68	0.40	11.489	4.596	13	36.95	0.618	8.03
	渗透系数法	唐徕渠灌域	5.253	0.68	0.40	7.725	3.090	13	36.95	0.920	11.96

表4 干渠不同渠道类型砌护减少损失量分析计算表

分类	填方			半挖半填			挖方			
	未砌护	砌护	减少损失	未砌护	砌护	减少损失	未砌护	砌护	减少损失	
流量 Q (s/m)	10	0.108	0.032	0.076	0.086	0.025	0.061	0.065	0.019	0.046
	20	0.154	0.045	0.110	0.123	0.036	0.088	0.093	0.027	0.066
	30	0.191	0.055	0.136	0.152	0.044	0.109	0.114	0.033	0.081
	50	0.249	0.071	0.178	0.199	0.057	0.142	0.149	0.042	0.107
	100	0.356	0.100	0.256	0.285	0.080	0.205	0.214	0.060	0.154
	150	0.440	0.122	0.318	0.352	0.098	0.254	0.264	0.073	0.191

系水利用系数按0.80取值。斗渠工程的渠系水利用系数要考虑所在渠道的干渠和支渠的渠系水利用系数。

c. 耗水系数

耗水系数可概化为灌区的水利用系数。在干渠工程中，七星渠属于卫宁灌区，渠道砌护率相对较低，地质结构层多为砂砾石层，灌溉水渗漏较为严重，灌区的水利用系数按0.40取值。唐徕渠节水工程地处青铜峡河西灌区银北地区，土壤盐渍化严重，在保证农业灌溉的同时，为了减轻土壤盐化，定期对灌区耕地进行灌水洗盐，灌区水利用率较低，灌区的水利用系数按0.38取值。在支渠工程中，唐徕渠灌域的水利用系数按0.38取值。由此计算不同节水量计算方法情况下的各典型工程单方水工程建设费用，计算结果详见表3。

三、节水量与工程投资关系分析

(1) 从投资与节水量的关系分析结果，干渠节水成本最低，支渠次之，斗渠节水投资最高。因此，仅从节水的角度看，投资干渠砌护节水效率最高。

(2) 对于七星渠渠系，渠道有挖方段、半挖半填段、填方段，其砌护节水量相差较大。通过对同一土壤条件下三种情况下渠道减少输水损失量的分析（见表4）。由结果可知，填方段与挖方段相比，挖方段砌护后减少的输水损失量仅为填方段的60%。因此，在实施渠道砌护工程时，应首先考虑砌护填方段，其次是半挖半填段，最后是挖方段。

四、结论

(1) 以中宁县七星渠灌域大滩支渠作为节水工程为例，利用经验公式法和渗透系数法两种节水量计算方法，对渠道衬砌前后的节水量进行了计算，继而选取宁夏灌区干、支、斗三级渠道典型工程分别对节水量进行了计算。提出采用经验公式法，衬砌渠道较未衬砌渠道减少渗漏损失：干渠68~71%、支渠56~60%、斗渠56~57%；采用渗透系数法，减少渗漏损失81~85%。根据计算结果，对两种计算方法的差异性和原因进行了分析。并提出了针对不同级别渠道应采取的节水量计算方法。

(2) 结合工程投资、使用年限、耗水系数，分别计算了不同级别渠道工程单方水年工程建设费和工程使用期限内单方水工程投资。

(3) 分析了节水量与工程投资的关系，提出了干渠节水成本最低，支渠次之，斗渠最高。同时，对挖方、半挖半填、填方衬砌渠道的节水量进行了计算比较，提出在干、支、斗三级渠道节水工程改造时应考虑的先后顺序。

参考文献

[1] 陆立国. 宁夏渠道衬砌防冻胀试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2008, 38(9):102-107.  
 [2] 武慧芳, 王红雨, 陆立国. 宁夏灌区渠道菜板防冻胀效果及合理厚度研究[J]. 人民黄河, 2016, 6:149-153.