

渠道衬砌形式对防渗效果的影响

赵小点¹, 杨路华¹, 孙建勋², 任希文²

(1. 河北农业大学, 河北 保定 071001; 2. 河北省石津灌区管理局, 石家庄 050057)

摘要: 根据石津灌区特点, 从防渗材料、防冻胀处理、伸缩缝等3个方面选取6种不同的渠道防渗衬砌措施, 采用动水法开展了渠道防渗效果田间试验, 并提出了表征渠道输水损失的计算公式。通过对比分析冻融期6种衬砌形式的防渗效果、防冻胀效果、节水效果和投资效益, 发现“现浇混凝土+保温板, 树脂油膏砂浆填缝”的衬砌形式其单位长度流量损失率为0.0306/km, 单位长度投资53.73万元/km, 冻融期前后防渗效果没有变化。可见, 该渠道衬砌形式适用于石津灌区, 并可推广至整个华北地区渠道防渗工程应用。

关键词: 渠道防渗; 动水法; 渠道损失率; 防冻胀; 投资效果

中图分类号: TV93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)03-0165-04

Impacts of Canal Lining Form on Anti-seepage Effect

ZHAO Xiao-dian¹, YANG Lu-hua¹, SUN Jian-xun², REN Xi-wen²

(1. Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China;

2. Shijin Irrigation District Administration Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050057, China)

Abstract: Six types of anti-seepage canal lining forms were selected from the aspects of impervious material, anti frost heaving, and dilatation joint in the Shijin Irrigation District. Dynamic water method was used to conduct the field tests on the effects of canal anti-seepage, and a calculation formula was proposed to characterize the water loss in canal conveyance. Through the comparisons of the anti-seepage effects, anti frost heaving effects, water saving effects, and investment benefits of the six lining forms before and after the thaw period, the water loss rate per unit length for the lining form of "cast in place concrete plus heated board with resinous balm and mortar" was 0.0306/km, the investment per unit length was 53.73 million Yuan/km, and the anti-seepage effects kept unchanged before and after the thaw period. In summary, this canal lining form was suitable in the Shijin Irrigation District and may be applied to other anti-seepage engineering projects in North China.

Key words: canal anti-seepage; dynamic water method; channel loss rate; anti frost heaving; investment effects

华北地区作为我国重要的粮食生产基地, 农业用水量逐年增长, 但水资源极度缺乏, 供水矛盾紧张, 因此发展节水农业是解决华北水资源短缺的重要措施。针对华北地区渠系众多的特点, 对现有渠系进行渠道防渗改造应成为当前节水农业工作的重点。贺军奇等^[1]借鉴国外渠系改造经验, 分析了我国大型灌区渠系改造现状与发展趋势, 认为对渠道进行防渗衬砌可在农业节水上达到相当好的效果, 荣丰涛^[2]探讨了动水法试验条件、试验设计及结果分析, 刘巧梅等^[3]研究了防渗衬砌施工方法, 李小卜等^[4]以新建渠道的试验数据为基础从防渗效果与投资两方面初步分析了适合石津灌区^[5,6]使用的衬砌形式, 其不足之处在于未考虑北方渠道受冻胀破坏影响的因素。

前人研究显示, 通过渠道渗漏试验研究来决定最合适的防渗措施, 是渠道改造成功的关键。本文利用2011年—2012年石津灌区试验渠道的动水法^[7-11]试验数据, 对比分析了不同衬砌形式渠道的节水效果、防冻胀效果及投资效益, 得出普遍适合华北地区使用的衬砌形式。

1 试验设计

1.1 试验渠道衬砌材料与衬砌形式

石津灌区已建成的渠道横断面均设计为梯形, 多采用混凝土防渗衬砌, 很少考虑其他防冻胀措施。因此本次试验选用现浇混凝土、保温板、土工布三种材料组合形成4种复合

收稿日期: 2012-11-16 修回日期: 2013-04-23 网络出版时间: 2013-05-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130518.1016.010.html>

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(201001037); 河北省自然科学基金项目(E2011204108); 河北省水利厅项目(2011108)

作者简介: 赵小点(1986), 女, 河北深州人, 硕士研究生, 现从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: zhaoxiaodian12@126.com

通信作者: 杨路华(1970), 男, 河北内丘人, 教授, 博士生导师, 主要从事灌溉与排水, 水资源优化研究。E-mail: yanglulhua@126.com

防渗材料^[12]进行渠道衬砌;选用聚硫密封胶、闭孔塑料、树脂油膏、砂浆、沥青油膏等五种材料组合形成 3 种不同材料(树脂油膏砂浆、聚硫密封胶闭孔塑料和沥青油膏砂浆)进行伸缩缝防渗处理,最终形成 6 种不同的渠道衬砌形式。试验渠道衬砌形式与材料组合见表 1。

表 1 渠道混凝土衬砌形式

Table 1 The canal concrete lining form

试验段	防渗材料	长度/m
形式 1	现浇混凝土+保温板+土工布;伸缩缝:聚硫密封胶+闭孔塑料	527
形式 2	现浇混凝土+保温板;伸缩缝:树脂油膏+砂浆	815
形式 3	现浇混凝土+土工布;伸缩缝:聚硫密封胶+闭孔塑料	764
形式 4	现浇混凝土;伸缩缝:树脂油膏+砂浆	800
形式 5	现浇混凝土;伸缩缝:沥青油膏+砂浆	188
形式 6	抗裂合成纤维混凝土;伸缩缝:沥青油膏+砂浆	590
土渠		1 350

现浇混凝土采用强度等级为 C25,抗冻等级为 F100,抗渗等级为 W4;土工布选用密度为 860 g/m³ 的两布一膜复合防渗土工膜;保温板厚度为 30 cm、密度 ≥20 kg/m³。

本次试验选取邻近梯形土渠作为对比渠道。

1.2 试验方法

本文采用动水法定测定渠道输水损失。动水法是渠道不停水且测流上下两断面之间分水口均关闭的情况下观测流量损失^[14]的一种试验方法,它不改变渠道的运行规则,可直接反映流量、流速、水位对输水损失的影响,简便易行。

具体来说,就是根据渠道首尾流量差确定输水损失,流量数据使用流速仪^[13](LS 1206 型旋桨流速仪)按照三点法进行观测。观测时每个断面布置三条垂线,分别位于渠底两侧坡脚处及渠底中心处,如图 1 所示,每个断面至少重复测量 5 次以上。同时还进行蒸发、降水观测。

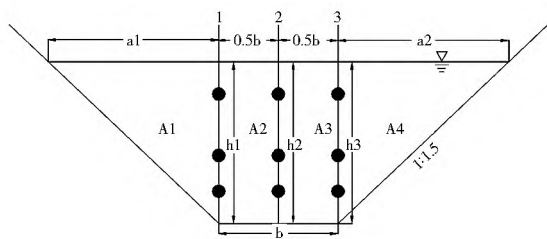


图 1 渠道断面垂线布置

Fig. 1 Layout of vertical lines in the canal cross section

在 2011 年渠道建成首次运行的春灌开始至次年渠道经过一个冻融期后春灌结束。观测均在春灌期间进行,分别代表渠道新建成和经过冻融期后两个工况下的渠道运行状况。

2 渠道输水损失计算方法

2.1 渠道流量计算方法

(1) 计算测流垂线平均流速。各个测流垂线的流速取平均值:

$$v_i = \frac{1}{3}(v_{i,1} + v_{i,2} + v_{i,3}), i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

式中: v_i 为第 i 条垂线的平均流速 (m/s); $v_{i,1}$ 、 $v_{i,2}$ 、 $v_{i,3}$ 为第 i 条垂线上从水面向下测点流速 (m/s)。

(2) 计算过水断面面积。由测流垂线划分的各过水断面面积:

$$A_{1,4} = 0.5 \times a_{1,4} \times h_{1,4}, A_{2,3} = 0.5 \times (h_{2,3} + h_{1,2}) \times 0.5b \quad (2)$$

式中: A_i 为渠道过水断面被测速垂线分割的各部分面积 (m²); ($i = 1, 2, 3, 4$); a 为垂线 1、3 至渠道边坡处的水面宽 (m); h 为测速垂线处水深 (m); b 为渠底宽 (m)。

(3) 计算过水断面平均流速。边坡为三角形的过水断面平均流速为测流垂线平均流速的 0.9 (根据灌区多年的测流经验), 中间梯形过水断面的平均流速为两条相邻测流垂线流速的平均值。计算公式如下:

$$Q_{1,4} = 0.9 \times v_{1,4} \times A_{1,4}, Q_{2,3} = 0.5 \times (v_{1,2} + v_{2,3}) \times A_{2,3} \quad (3)$$

式中: Q_i 为面积 A_i 对应的流量 (m³/s); A_i 、 v_i 意义同上。

(4) 计算过水断面的总的流量。用各个过水面积乘以相应的过水断面的平均流速, 计算出各个过水断面的流量, 对其求和即为过水断面总的流量。

$$Q_{\text{总}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (4)$$

式中: $Q_{\text{总}}$ 为渠道过水断面流量 (m³/s)。

2.2 渠道损失量计算方法

渠道输水损失可采用首尾对比法, 即渠道首尾流量差与通过流量与长度的比值。本文以单位长度单位流量下的输水损失量即渠道输水损失系数 q 表示渠道的损失率, 以验证流量相同时各种衬砌形式渠道的损失量的大小。计算公式:

$$q = \frac{Q_{\text{首}} - Q_{\text{尾}}}{L \times Q_{\text{首}}}$$

式中: q 为渠道输水损失系数; $Q_{\text{首}}$ 为渠道试验段进口断面流量 (m³/s); $Q_{\text{尾}}$ 为渠道试验段出口断面流量 (m³/s); L 为渠道试验段长度 (km)。

试验中各衬砌形式渠段均不足 1 000 m, 且试验过程中渠道流量均小于 1 m³/s, 根据节水灌溉技术规范 (SL 207-1998)^[15], 当流量小于 1 m³/s 时, 动水测定法的上下游测试断面距离不小于 1 km。因此本文在试验时不能直接利用各试验段的首尾流量计算, 而是通过计算总长超过 1 000 m 相邻渠段的出损失量, 得出某段的渠道损失量。例如: 利用形式 2、3 和形式 4 三段试验渠道的流量损失, 减去形式 3 和形式 4 组成渠段的流量损失, 即可求得形式 2 的流量损失。

事实上, 渠道输水损失包括渗水损失及水面蒸发损失两部分, 但是, 通过蒸发试验数据可知, 水面蒸发损失量仅占渗漏损失的 1.04% 左右, 可以忽略不计。因此, 本次试验所计算的输水损失主要是渗水损失。

3 衬砌效果分析

3.1 抗冻胀效果分析

华北平原地区属于季节冻土区, 其渠道冻害破坏形式主要为基土冻融破坏, 即地基土中的水冻结成冰时, 产生胶结力, 使冻土与基础牢固的胶结在一起。当土中的水冻结成冰的同时其体积膨胀, 当这种体积膨胀足以引起土颗粒间的相对位移时, 就形成冻结时土体积的膨胀, 即为土的冻胀。

根据 2011 年-2012 年冻融周期前后试验渠道输水数据,渠道输水损失量的计算结果见表 2。

表 2 渠道输水损失试验结果对比

Table 2 Comparison of water losses in the canal conveyance under different canal lining forms

试验段衬砌形式	q_i (2011 年)	q_i (2012 年)	Δq
形式 1	0.024 7	0.024 8	0.000 1
形式 2	0.030 4	0.030 6	0.000 2
形式 3	0.030 4	0.030 5	0.000 1
形式 4	0.034 0	0.066 5	0.032 5
形式 5	0.071 8	0.084 0	0.012 2
形式 6	0.052 1	0.059 8	0.007 7
土渠	0.108 9	\	\

通过比较 2011 年与 2012 年渠道单位长度单位流量损失量可知:有保温板、土工布复合防渗材料的衬砌形式即衬砌形式 1、形式 2 和衬砌形式 3 的损失量差值很小,说明这些材料的使用起到了很好的抗冻胀作用,而未经过保温板或土工布处理的衬砌形式 4、形式 5 冻融期前后流量损失量变化较大,冻融期后的流量损失明显大于冻融期前的损失,再一次验证了保温板、土工布材料对于抗冻胀作用的重要性。

另外,从渠道 2011 年与 2012 年单位长度单位流量损失率 q_i 对比来看,无土工布、保温板的衬砌渠段 q_i 均较大,且 2012 年与 2011 年 q_i 的差值即 Δq 也很大,因此可以断定只有混凝土衬砌形式的伸缩缝即树脂油膏+ 砂浆和沥青油膏+ 砂浆防冻胀效果差,其中以树脂油膏+ 砂浆破坏最差。

3.2 节水效果分析

通过一个冻融期的试验数据可较好的代表今后此渠道的运行效果,因此分析节水效果时,选用 2012 年试验数据与土渠损失量数据进行分析计算。

根据石津灌区多年灌水经验,每年进行春灌和秋灌各一次灌水,即可确保灌区粮食高产,且每次放水时间为 20 d 左右。各种衬砌形式渠段的节水量可按下式计算:

$$Q_d = 8.64 \times n_1 \times Q_{\text{设}} \times (q_{\pm} - q_i) \quad (6)$$

式中: n_1 为渠道每年工作时间(d); $Q_{\text{设}}$ 为渠道设计流量,取为 $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$; q_{\pm} 为土渠输水损失系数; q_i 为各种衬砌形式输水损失系数。

各试验渠道的节水量计算结果见表 3,可以看出,6 种形式中前 3 种形式节水量均比后 3 种节水量大的多,且前 3 种衬砌形式中以形式 1 节水量最高,形式 2、形式 3 之间相差不大,但较形式 1 略小。

表 3 渠道节水量分析

Table 3 Water saving quantities under different canal lining forms

试验段衬砌形式	q_i (2012 年)	$q_i - q_{\pm}$	节水量 $Q_d / (\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-1})$
形式 1	0.024 8	0.084 1	9.418 6
形式 2	0.030 6	0.078 3	8.764 1
形式 3	0.030 5	0.078 4	8.783 6
形式 4	0.066 5	0.042 4	4.748 4
形式 5	0.084 0	0.024 9	2.785 2
形式 6	0.059 8	0.049 1	5.499 7

注:土渠单位长度单位流量损失量 $q_{\pm} = 0.108 9$ 。

3.3 投资效果分析

从表 4 可以看出采用衬砌形式 2 这种衬砌方式在使用年限内单位万元投资节水量最高,形式 1 次之,而使用年限最短衬砌形式 5 的单位万元投资节水量最低。

表 4 渠道使用年限内单位投资节水量

Table 4 Water saving quantities per unit investment during the service life of canal

衬砌形式	使用年限	衬砌所需资金 / (万元 $\cdot \text{km}^{-1}$)	使用年限内单位万元投资节水量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-1}$)
形式 1	55	60.53	8.558
形式 2	55	53.73	8.971
形式 3	46	50.32	8.030
形式 4	46	45.02	4.852
形式 5	44	42.44	2.888
形式 6	47	45.59	5.670

(1) 衬砌形式 1 与衬砌形式 2 使用年限相同,但衬砌形式 1 的投资较衬砌形式 2 投资大,而在使用年限内单位万元投资节水量衬砌形式 1 与衬砌形式 2 几乎相同,即衬砌形式 2 投资少节水量大,因此从使用年限内单位万元投资节水量角度来看,衬砌形式 2 比衬砌形式 1 投资效益好。

(2) 衬砌形式 3 与衬砌形式 4 使用年限相同,投资也相差不多,但前者的节水量比后者多一倍,因此,衬砌形式 3 的投资效益更好。

(3) 衬砌形式 4 与衬砌形式 5 投资效果均不理想,不宜采用。

(4) 衬砌形式 6 使用年限与衬砌形式 3 相比使用年限几乎相同,投资额度也相差不多,但是衬砌形式 6 的节水效果要差许多,因此衬砌形式 6 也不宜采用。

(5) 衬砌形式 2 与衬砌形式 3 相比使用年限相差较大,但从使用年限内单位万元投资节水量角度看相差却不大,因此宜选择使用年限较长的衬砌形式 2。

综合上所述,衬砌形式 2 投资效益最好。

4 结论

通过对不同衬砌形式试验渠道的抗冻胀效果、单位长度节水量和单位投资节水效果分析,认为“现浇混凝土+ 保温板,树脂油膏砂浆填缝”抗冻胀效果和节水量均较好,而且单位投资的节水效果最好。经过一个冻融期后,渠道运行情况虽然有所变化,但“现浇混凝土+ 保温板,树脂油膏砂浆填缝”这种衬砌形式仍然能够经受住北方季节性冻融气候的考验,可有效改善季节性冻融气候对渠道的冻胀、破坏、渗漏的现象。因此“现浇混凝土+ 保温板,树脂油膏砂浆填缝”适合石津灌区推广使用,也可普遍在整个华北地区渠道防渗衬砌工程参考应用。

参考文献(References):

- [1] 贺军其,汪有科,边军锋,等.国内外渠系改造现状及发展展望[J].河北水利,2006,13(1):133-135.(HE Junqi, WANG Youke, BIAN Junfeng, et al. Canal System Rehabilitation Actuality and Development Prospect of Inland and Overseas [J]. Hebei Water Conservancy, 2006, 13(1): 133-135. (in Chinese))

- [2] 荣丰涛. 关于如何用动水法测渠道渗漏的具体意见[J]. 山西水利科技, 2008, (2): 1-3. (RONG Fengtao. On How to Measure Canal Seepage Amount by Current meter Method [J]. Shanxi Water Conservancy Science and Technology, 2008, (2): 1-3. (in Chinese))
- [3] 刘巧梅, 张伟, 郭维. 浅谈位山灌区渠道防渗衬砌与节水灌溉[J]. 科技信息, 2010, (23): 951. (LIU Qiaomei, ZHANG Wei, GUO Wei. Shallow Discussion Weishan Irrigation Canal Seepage Control Lining and Water saving Irrigation [J]. Science & Technol, 2010, (23): 951. (in Chinese))
- [4] 李小卜, 杨路华, 李国章, 等. 混凝土渠道衬砌形式防渗效果试验与分析[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(2): 104-106. (LI Xiaobo, YANG Luhu, LI Guozhang, et al. Test and Analysis of Impervious Effect for Lining Form of Concrete [J]. Irrigation Drainage Journal, 2012, 31(2): 104-106. (in Chinese))
- [5] 孟建法, 徐岩. 石津灌区王家井分灌区渠道混凝土衬砌冻害及其防治措施[J]. 水利建设与管理, 2003, (5): 60-61. (MENG Jianfa, XU Yan. Channel Frost Concrete Lining and Its Prevention and Control Measures about Wangjiajing Point Irrigation of ShiJin Irrigation [J]. Water Conservancy Construction and Management, 2003, (5): 60-61. (in Chinese))
- [6] 吴君乐. 石津灌区发展节水灌溉的重要性[J]. 河北水利, 2008. (WU Junle. The Importance of Shijin Irrigation to Develop the Water saving Irrigation [J]. Hebei Water Conservancy, 2008. (in Chinese))
- [7] 荣丰涛, 孟国霞, 荣榕. 关于渠道动水法测渗结果可信度的思考[J]. 中国农村水利水电, 2003, (3): 28-30. (RONG Fengtao, MENG Guoxia, RONG Rong. Pondering upon the Reliability of Seepage Result Measured by Canal Dynamic Water Table Method [J]. China's Rural Hydropower, 2003, (3): 28-30. (in Chinese))
- [8] 荣丰涛. 关于如何用动水法测渠道渗漏的具体意见[J]. 山西水利科技, 2008, (2): 1-3. (RONG Fengtao. On How to Measure Canal Seepage Amount by Current meter Method [J]. Shanxi Water Conservancy Science and Technology, 2008, (2): 1-3. (in Chinese))
- [9] 荣丰涛. 再议动水法测渗的可行性[J]. 山西水利科技, 2008, (1): 11-13. (RONG Fengtao. Reiterating the Feasibility of Measuring Canal Seepage Amount by Current meter Method [J]. Shanxi Water Conservancy Science and Technology, 2008, (1): 11-13. (in Chinese))
- [10] 赵文学, 许军. 鸳鸯灌区输水渠道渗漏损失测算与分析[J]. 灌溉排水学报, 2011, 47(6): 49-51. (ZHAO Wengxue, XU Jun. Water Channel Leakage Loss Calculation and Analysis of the Mandarin Duck Irrigation [J]. Irrigation Drainage Journal, 2011, 47(6): 49-51. (in Chinese))
- [11] 任可, 王红雨. 灌区输水渠道渗漏损失测算与分析[J]. 中国农村水利水电, 2006, (12): 18-20. (REN Ke, WANG Hongyu. Irrigation Water Channel Leakage Loss Calculation and Analysis [J]. China's Rural Hydropower, 2006, (12): 18-20. (in Chinese))
- [12] 王焕明. 灌区节水改造中渠道防渗新技术、新材料、新工艺的应用[J]. 水利建设与管理, 2008, (12): 42-44. (WANG Huanming. Water Saving Irrigation Canal Seepage Control Reform of the New Technology, New Material, New Craft Application [J]. Water Conservancy Construction and Management, 2008, (12): 42-44. (in Chinese))
- [13] 李守洪, 熊小立. 河道流速仪法测验垂线流速分布参数 $1/n$ 对 θ 型误差的影响[J]. 气象水文海洋仪器, 2008, (1): 57-59. (LI Shouhong, XIONG Xiaoli. The Influence that Channel Current Meter Method Test Vertical Velocity Distribution Parameter $1/n$ to θ Type Error [J]. Meteorological Hydrological Marine Instrument, 2008, (1): 57-59. (in Chinese))
- [14] 钟灵, 王西良. 渠道流量损失及渠系水利用系数的计算方法[J]. 中国农村水利水电, 2004, (12): 27-28. (ZHONG Ling, WANG Xiliang. The Calculation Method of the Channel Flow Loss and Canal Water Use Coefficient [J]. China's Rural Hydropower, 2004, (12): 27-28. (in Chinese))
- [15] SL 207-1998, 节水灌溉技术规范[S]. (SL 207-1998, Water saving Irrigation Technical Specifications[S]. (in Chinese))

(上接第 154 页)

- [7] 贾惠艳, 孙雨, 张军. 基于模糊层次分析法的沈阳市地下水源热泵适宜性分区[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(4): 108-111. (JIA Huiyan, SUN Yu, ZHANG Jun. Research on Zonation of Adaptability for Groundwater Source Heat Pump in Shenyang Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(4): 108-111. (in Chinese))
- [8] Ravikumar P, Somashekar R. K. Assessment and Modeling of Groundwater Quality Data and Evaluation of Their Corrosiveness and Scaling Potential Using Environmetric Methods in Bangalore South Taluk, Karnataka state, India [J]. Water Resources, 2012, 39(4): 446-473.
- [9] Kara C, Doratli N. Application of GIS/AHP in Siting Sanitary Landfill: A Case Study in Northern Cyprus [J]. Waste Management & Research, 2012, 30(9): 966-980.
- [10] Sener S, Sener E, Nas, B. Combining AHP with GIS for Landfill Site Selection: A Case Study in the Lake Beysehir [J]. Waste Management, 2009, 30: 2037-2046.
- [11] Rina K, Datta P S, Singh C K, et al. Characterization and Evaluation of Processes Governing the Groundwater Quality in Parts of the Sabarmati Basin, Gujarat Using Hydrochemistry Integrated with GIS [J]. Hydrological Processes, 2012, 26 (10): 1538-1551.