

渠道防渗防冻胀技术应用网上技术讲座

（第一期）

中国灌溉排水发展中心

目 录

一、	兵团农十师北屯灌区渠道防渗防冻胀技术应用	- 1 -
(一)	灌区概况.....	- 1 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况	- 3 -
(三)	典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施案例分析	- 4 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验	- 8 -
(五)	存在的问题及建议.....	- 10 -
	附件：雷诺护垫在兵团农十师北屯灌区三千渠防冻胀中的应用.....	- 12 -
二、	新疆三屯河灌区渠道防渗防冻胀技术应用	- 15 -
(一)	灌区基本情况概述.....	- 15 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况	- 18 -
(三)	典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施案例分析	- 25 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验	- 47 -
三、	新疆呼图壁河灌区渠道防渗防冻胀技术应用	- 52 -
(一)	灌区概况.....	- 52 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况	- 55 -
(三)	典型渠道防渗防冻胀技术措施案例分析	- 56 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验	- 58 -
(五)	存在的问题及建议.....	- 58 -
四、	新疆金沟河灌区渠道防渗防冻胀技术应用	- 60 -
(一)	灌区概况.....	- 60 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况	- 60 -
(三)	典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施案例分析	- 61 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验	- 64 -
(五)	存在的问题.....	- 68 -

五、	内蒙古河套灌区渠道防渗防冻胀技术应用	- 69 -
(一)	河套灌区概况.....	- 69 -
(二)	河套灌区衬砌工程采取防渗防冻胀措施的必要性	- 75 -
(三)	河套灌区节水改造工程渠道防渗防冻胀措施应用情况	- 77 -
(四)	灌区衬砌防渗防冻胀经验	- 78 -
(五)	灌区衬砌防渗防冻胀技术存在的问题及建议	- 79 -
六、	甘肃兴电灌区渠道防渗防冻胀技术应用	- 85 -
(一)	灌区概况.....	- 85 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况	- 86 -
(三)	典型渠道防渗防冻胀技术措施案例分析	- 91 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验	- 96 -
(五)	存在的问题及建议.....	- 96 -
七、	甘肃景电灌区渠道防渗防冻胀技术应用	- 97 -
(一)	灌区概况.....	- 97 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施的应用情况	- 99 -
(三)	典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施	- 99 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验	- 109 -
(五)	存在的问题及建议.....	- 110 -
八、	甘肃友联灌区渠道防渗防冻胀技术应用	- 111 -
(一)	灌区概况.....	- 111 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况	- 113 -
(三)	典型渠道措施案例分析	- 117 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会与经验	- 122 -
(五)	建议.....	- 123 -

一、兵团农十师北屯灌区渠道防渗防冻胀技术应用

(一) 灌区概况

1、灌区位置

新疆农十师北屯灌区位于新疆阿勒泰地区福海县境内，东起农十师双渠镇（187团），西临布伦托海，南到乌里品包塔玛依，北至额尔齐斯河南岸，地理坐标为北纬 $47^{\circ} 05' \sim 47^{\circ} 27'$ ，东经 $87^{\circ} 31' \sim 88^{\circ} 03'$ 。灌区东西长 42km，南北最大宽度 30km，拥有行政区划土地总面积 115.65 万亩，其中可垦宜农林地 80.60 万亩，灌区设计灌溉面积 78 万亩，总灌溉面积 68.25 万亩，养殖水面 4.16 万亩。

2、气象水文

农十师北屯气象站是距北屯灌区最近的气象站，现以农十师北屯气象站观测资料说明该灌区的气象特征：

（1）多年平均气温为 3.90°C ，最热月 7 月的平均气温为 22.90°C ，最冷月 1 月的平均气温为 -18.20°C ，历年极端最高气温 39.70°C （1965 年 7 月 27 日），极端最低气温 -43.70°C （1984 年 12 月 17 日）；

（2）多年平均降水量 99.5mm，历年最大、最小年降水量分别为 178.8mm（1984 年）、50.1mm（1974 年）；

（3）多年平均蒸发量 1868.6mm（ $\phi=20\text{cm}$ 蒸发皿），年最大、最小年蒸发量分别为 2249.2mm（1974 年）、1643.5mm（1988 年）；

（4）多年平均积雪厚 5-10mm；最大冻土深度 1.81m；水面最大结冰厚 1.0m；

（5）多年平均日照时数 2850 小时；多年平均无霜期 142 天；

（6）多年平均风速 3.2m/s，以西北风居多，最大风速 22.6m/s，主要灾害性气候：大风、干热风、低温、冻害、冰雹。

北屯灌区的全部用水完全依赖额尔齐斯河，额尔齐斯河是中国唯一注入北冰洋的外流河，在我国境内长为 546km，流域面积 5.7 万 km^2 。北屯灌区地处额河中上游段，通过北屯灌区段长度是 55km。灌区分布在额尔齐斯河二级阶地上，根据调查，灌区地下水在灌溉季节埋深为 0.50~1.00m，冬季地下水埋深

1.5m 左右。引起灌区浅水层水位变化的主要原因，是灌区内部分渠道未做防渗处理，灌溉季节渠道入渗，造成大量灌溉用水补给地下水，受第三纪泥岩的顶托，地下水位迅速上升。

3、地质地貌

北屯灌区位于额尔齐斯河南岸的二级阶地上，地势东高西低，南高北低，全局看是东南向西北倾斜，地面坡降 1/200 ~ 1/700，海拔高程 500.00 ~ 560.00m，大区平坦，小区起伏，垦区的大小洼坑星罗棋布，灌区土质属于额尔齐斯河冲积物，由于长期处于剥蚀过程中，西北风不断吹走表层松散物质，造成地表组成物较粗，大多为砾质砂壤、轻壤土，耕层浅，一般为 25 ~ 45cm，以下为卵石、粗砂层，透水性强，保水、保肥能力差。

4、社会经济状况

北屯灌区地处阿勒泰地区经济核心区中部，国道 216 线和省道 318 线交叉通过灌区，为阿勒泰地区交通枢纽，其自然地理位置具有一定优势，同时经济上也有一定的辐射力。

北屯灌区包括农十师一八七团、一八八团二个团场及师部北屯镇和地方切尔克齐乡，总人口 3.47 万人，其中农业人口 2.33 万人，占农十师总人口的 38.0%。

根据农十师 2009 年统计提要，北屯灌区 2009 年实灌面积 49 万亩，其中耕地 42.11 万亩，林地 6.89 万亩，有效灌溉面积 40 万亩。2009 年灌区粮食播种面积 2.93 万亩，产量 11406 吨；经济作物面积 29.37 万亩，其它作物面积 7.7 万亩。农十师北屯灌区 2009 年工农业总产值 14800 万元（当年价），占全师的 28.20%，在农十师经济建设中占有重要地位，其经济发展潜力巨大。2009 年农业总产值为 10674 万元（当年价），占全师的 28.74%。北屯灌区近几年为适应市场变化，逐年调整农业种植结构，增加经济作物的种植比例，同时结合灌区续建配套与节水改造，使灌区农业生产产生明显效益。

5、渠道防渗工程现状

北屯灌区是新疆生产建设兵团最北部的大型灌区，对屯垦戍边具有战略作用，但灌区气候、土壤等自然条件差，灌溉用水来源单一且不稳定，这一切都

要求要加强灌区水利设施的改扩建，进一步加大对北屯灌区水土资源开发的力度，发挥规模效益。

北屯灌区现已形成了以总干渠、干渠、支渠、斗渠为主，农渠、毛渠为辅的六级渠道灌溉体系，目前灌区内的总干渠、干渠（冬季运行的除外）多数已做了防渗改造，部分支渠、斗渠正在防渗改造中。由于灌区地处欧亚大陆腹地，冬季漫长而寒冷，渠系工程最主要的病害是冻胀破坏，为此，灌区在改造渠道时首先要考虑防冻胀问题。

2001 年在水利部的大力支持下，大型灌区（北屯灌区）续建配套与节水改造项目工程正式启动，北屯灌区的场外骨干渠道总干渠、二干渠、三千渠、南关水库引水渠得以改建配套。续建配套工程项目多为旧渠改造工程，在原渠基上改扩建和铺设渠道防渗体，防渗形式主要有四种，分别为塑膜单防（总干渠 13+950-16+580 段）、塑膜现浇混凝土衬砌双防（总干渠 16+580-28+007 段）、预制混凝土板与塑膜双层防（二干渠、南关水库引水渠）、预制单防和雷达诺护垫护底（三千渠）。

（二）灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

决定冻胀程度的三要素——地下水存在的特征、基土含水量和土壤特性在北屯灌区的骨干渠道工程中不同程度地存在。反映土壤结构关系的土壤颗粒的组成、物理性能指标、水分特征，是促成北屯灌区渠道基土冻胀的内因，长时间的持续低温是促进灌区基土冻胀的外因，内、外因的同时存在，必然产生渠道衬砌体冻胀破坏的现象。

造成渠床基土冻胀的三个基本因素是相互联系的，缺少其中任一因素，则渠床基土土体都不会产生冻胀或冻胀变形，减少或削弱其中任一因素，也会达到减轻冻胀破坏的效果。

农十师水管处为防止渠道衬砌体的冻胀，从三个基本因素土、水、温着手，因地制宜，针对不同情况，采取合理的防冻胀措施，针对渠底部位出现的泥岩，将渠底预制砼板防渗型式改为柔性防护型式，即雷诺石笼护垫型式。（镀锌双绞合低碳钢丝网格雷诺护垫）；针对地下水位高影响施工进度和质量的情况，则采取暗管棱体排水、排水沟、排水管、排水涵管等形式多样的排水法；若遇渠段

中有低液限粘质土---冻胀土出露，解决的方法采取就地取材，把渠床冻结深度以内的冻胀土壤更换为非冻胀土，如沙砾料；为了控制硷冻胀蔓延，降低硷渠道的冻胀维修成本，推广应用间隔梁，人为的分割成多个小单元块，达到减轻冻胀破坏的效果。

采取防冻胀措施后渠道运行状况明显好于无防冻胀措施的渠道，由于防冻胀破坏措施的采用，保护了工程，冻胀量得到大幅度削减，减少了工程由于自然冻融而形成的破坏，保证了灌溉工程的正常运行，提高了灌溉效益。其效果主要表现在如下几方面：

1、冻胀破坏的程度明显较轻，渠道破坏的面积较小，所需的工程维修费用少。

2、防冻胀技术的采用，优化了渠道的受力结构，提高了渠道的抗冻、防渗能力，延长了工程的使用寿命，工程的使用寿命比较从前延长了 2-3 倍，节约重建费用 1000-2000 万元。

3、为确保工农业全年的正常引、输、供，水管处渠道工程的维修一般安排在春灌前和秋灌后，春灌前的维修多数是因冻胀所引起的破坏，这段时间较短，工程多数属抢修，但采取抗冻胀技术的渠道，因为破坏程度轻，维修面积小，有效的节约了时间，确保了农业灌溉的及时供水。

（三）典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施案例分析

北屯灌区引水总干渠和三干渠是灌区内骨干渠道中长度较长的渠道，渠道在分年度续建配套与改造中，由于工程地质条件、防渗形式的不同，所采取的防渗防冻胀技术措施也各有所不同，现将引水总干渠和三干渠作为北屯灌区典型渠道进行如下分析：

1、北屯灌区引水总干渠

总干渠工程属北屯灌区骨干水利工程，全长 28.007 公里，从额尔齐斯河拟建的角萨特水利枢纽处引水，该工程为 2001 年度北屯灌区续建配套与节水改造的国债项目，总投资 1257.18 万元。工程可分为三段：第一段 0+000-13+950 结构设计为均质土渠，为旧渠(老二干渠)扩建段，设计流量 45m³/s；第二段(13+950~16+580)2.63km，向二级电站及下游输水，结构设计为塑膜单防渠道，设计流量

25m³/s;第三段(16+580~28+007)11.427km,向三千渠及三级电站分水,结构设计为塑膜现浇砼衬砌双防渠道,设计流量 13m³/s,此段为新建段。工程沿线各类建筑物 40 座,其中分水枢纽两座,分别位于 13+950 和 16+580 处,桥 11 座,涵 18 座、闸 6 座、渡槽 4 座,跌水 1 座。工程于 2003 年竣工使用,现在防渗渠道完好率为 90%。

(1)暗管棱体排水法

受新疆气候条件的影响,总干渠工程施工期在四月初到十月底之间,而这段时间正是农业灌溉需水季节,地下水位高的问题影响着施工进度和质量。农十师建管局在管理当中就此问题因地制宜,分别采用了如下工程应用技术:

①2001 年总干渠工程在地下水位较高的渠段,遇到渠坡和渠底大量侧向与垂直渗水,导致铺设塑膜后,渗水因塑膜阻碍而无导渗出路,同时对于塑膜之上的混凝土板产生较大的渗流压力,最后导致边板、底板都被顶起,成为废板。不仅延误工期,而且使一些混凝土边板长期浸泡于水中,既无法保证质量又加大工程投资。

针对此问题解决的方法是:先在该渠段的渠侧底部铺设一条顶部稍高于底板的砾石排水棱体,将各渗水点连通起来,再沿渠道每隔一定距离在排水棱体中水平插入一根长约 1m 钻有梅花孔的排水钢管,然后再铺设塑膜、浇筑砼板。通过这种排水措施,渗水通过砾石棱体集中从管子流出,快速降低了地下水位,减少了地下水顶托压力。既能正常进行铺设现浇砼的施工程序,又解决了砼板块顶起和冻胀的问题,从而保证了边板与底板的质量,方法简单实用。

②总干渠第二分水枢纽是为北屯灌区总干渠及二级电站引水渠分水而设置的。节制闸设计流量 13m³/s,二级电站分水闸设计流量 123/s,两闸中心线夹角 45°。节制闸上下游水位差 5.06m,分水闸上下游水位差 4.19m。枢纽建成后,在运行过程中发现,节制闸下游消力池北面的挡水墙及边墩,出现渗水现象,根据现场分析,是由于两闸消力池高差达 2.15m,电站消力池水位高程已超过节制闸消力池顶面(即渠顶高程),由于两消力池水位相差较大,在闸基及边墩和下游翼墙的背水一侧产生渗水出露地表,流量约为 20m³/s,严重威胁闸室的稳定及两岸翼墙和边墩的稳定性。经过一个冬季的运行,发现已对构筑物产生

冻胀破坏，渗流还可能引起地基的渗透变形。经分析研究，决定采用“地下暗管棱体排水法”来解决这一问题。

在电站分水闸后消力池与节制闸后消力池之间，顺地基渗流方向埋设一条直径为 $\Phi 100\text{cm}$ 的横向卵砾石排水棱体，并在排水棱体的外侧设置反滤层，排水棱体的埋设深度在节制闸后消力池边墙顶高程以下 2.5m ；沿节制闸后消力池挡土墙背，顺渠道纵向埋设一根直径 $\Phi 200\text{mm}$ 、孔隙率为40%、长度为 20m 的厚壁PE排水滤管，并与排水棱体连通。在排水滤管的末端再连接一根长度为 119m 的 $\Phi 200\text{mm}$ PVC管，将渗流直接导入下游排水渠。经多年运行实践证明，节制闸后消力池边墙一侧翼再无渗水出露，冬季也无冻胀破坏现象，说明效果良好，保证了建筑物的安全运行。该方法简便，投资少，易施工，见效快，效果好。

(2) 置换法（换土法）

根据北屯灌区总干渠沿线工程地质调查及试验资料显示，总干渠大部分渠段为第四纪——砂砾石覆盖物，其粗粒土中粒径小于 0.05mm 的土粒重量占土样总重量的6%以下，为非冻胀性土。在渠道部分渠段中有泥岩出露，根据分析此处泥岩属低液限粘质土，依据《渠系工程抗冻胀设计规范》(SL23-91)，此类土属冻胀土。冻胀性土壤的存在是导致渠床基土冻胀的首要因素，解决的方法就是把渠床冻结深度以内的冻胀土壤更换为非冻胀土，如沙砾料。根据置换法的原理进行置换后，取得了较好的效果。

(3) 排水管、排水沟的应用

总干渠现浇混凝土加塑膜双防的渠段，沿线部分渠段的地下水位明显高于渠底，由于防渗采取的是双防形式，致使地下水没有排水通道，若不及时排出，冻胀问题将会十分突出，在工期短、任务重、投资不能增加的情况下，建管局领导果断决定，在总干渠渠内坡堤脚加排水管形式，把渠底的地下水由排水管导出渠床，来降低地下水位，防止冻胀，该措施大大的降低该段冻胀破坏的程度。

在部分全挖方渠段处，则采取增设排水沟，降低地下水位和基土含水量，把渠床冻结层中的重力水或渠道旁渗水排出渠处，汇集入沟，有效解决了北屯

灌区地下水位较高渠段的冻胀破坏问题。



已运行七年的总干渠

2、北屯灌区三千渠

三千渠修建于 1959 年,全长 20.2km,是北屯灌区的骨干水利工程之一,控制耕地面积 11.24 万亩。三千渠从引水总干渠末分水枢纽处分水,最终投入 188 团五支渠,进入场内,设计引水流量 $10\text{m}^3/\text{s}$,其中发电用水 $5\text{m}^3/\text{s}$ 。

该渠同属北屯灌区续建配套与节水改造项目,因该渠渠线较长,分 2004 年、2005 年、2006 年、2008 年四个年度分段实施,其中 2004 年已完成计划防渗改造长度 3.8 km,工程总投资 400 万元;2005 年度已完成计划防渗改造长度 7.4km,工程总投资 749 万元;2006 年度计划防渗改造长度 5.2km,截止 2007 年底,已完成 2.1km,工程总投资 577.3 万元;2008 年工程总投资 600 万元,累计投资 2326.3 万元。

(1)雷诺护垫的应用

北屯灌区 2004 年度三千渠工程,原渠底设计方案的防渗型式为预制砼板护砌,由于工程建设于五月份开始施工,正值农业灌溉高峰期,地下水位较高,且渠底部位开挖出泥岩。后经建设方专家分析,为适应变形、冻胀和防止冲刷等,将渠底预制砼板防渗型式改为柔性防护型式,即雷诺石笼护垫型式(镀锌

双绞合低碳钢丝网格雷诺护垫),该产品是引进意大利生产工艺由中外合资生产的一种新镀锌合金产品,能在水中 20 年不生锈,内装卵石,有很好的透水性,能防止冻胀。工程于当年十月完工,次年投入使用,通过几年的运行观察,雷诺护垫的应用很好地解决了北方地区冬季渠系渠底鼓包、冻胀、变形问题,便于季节性施工,无需维修。

(2)间隔梁法

冻胀是灌区渠道遭受破坏的主要原因,这与灌区普遍进行秋灌有直接关系,特别是骨干渠道沿线的地下水位有时甚至高于渠底,致使冻胀量过大,针对此情况,农十师建管局领导提出根据渠道纵坡坡降的不同,每隔 10 米或 20 米在砼双防渠道之间增设一间隔梁。这使连成一整体的砼,被人为的分割成多个小单元块,从而起到了控制砼冻胀蔓延的作用,还达到了防冲的目的。间隔梁的应用,大大降低了砼渠道的冻胀维修成本。后在北屯灌区的二千、三千渠中得以广泛推广运用。

(3)排水涵管的应用

北屯灌区三千渠 0+000 至 16+760 段位于排碱渠右侧,该排碱渠原为五十年代的老三千渠,排渠与三千渠之间共用一个渠堤,属两渠三堤。在农业灌溉期后,排渠内水位明显偏高,若不及时排水,必将引起三千渠左侧渠堤土壤含水量增大,进入冬季后,土体中的含水不能有效的排出,从而造成冻胀破坏。为解决此问题,分别采取在 9+400、13+300、16+400 处采取渠底埋设 $\phi 75\text{cm}$ 的排水涵管,将排渠内的积水及时由排水涵管排入渠道边的一个自然大洼地,避免三千渠左侧渠堤土壤含水量增大。通过几年的运行,来年春季未发生冻胀破坏。通过埋设排水涵管,有效解决了此段渠道的防冻胀问题。

(四) 防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

农十师水管处为防止渠道衬砌体的冻胀,采取了工程措施与管理措施并重的方法,在工程措施上,从土、水、温三个方面着手,通过防冻胀经济效果的比较,采取合理的防冻胀措施;管理措施则从把好施工质量关和加强运行管理方面,保证渠道衬砌质量,完善渠道运管理制度,及时维修工程,防止冻胀恶

性发展。

1、 严把施工质量关

施工质量的好坏，直接关系到混凝土板的防渗效果和耐久性，因此在施工建设期间，农十师建管局为进一步确保施工质量，采取了如下几方面的管理措施：

（1）为了建立、完善全过程的质量保证体系，确保工程质量，对每一项工程都制定了明确的质量目标和质量改进计划，并将具体的目标任务落实到有关部门和个人，建立健全了各级参建人员的质量责任制和保证质量的各项管理制度，并经常组织质量管理小组围绕质量目标开展质量改进活动。项目法人组建各单项工程技术组与监理同时进驻工地，对工程实施全面系统的管理，各道工序按报验程序严格把关。

（2）为保证施工质量和工期，要求施工单位成立由主要领导为负责人的施工指挥机构，并在施工现场设置项目部，落实管理人员层层责任制，制定奖惩办法，明确企业主管领导为施工第一责任人，项目经理为现场第一责任人。

（3）由于项目多是旧渠改建，施工工期较短，为使工程顺利完工，确保农业用水不受影响，建管局在施工第一现场设立建管站，建管站人员分别由建设、监理、设计等各方专职代表组成，吃住在工地，责任落实到个人，各负其责，以便能够及时解决在施工过程中出现的各种问题。实践证明建管站在施工过程中充分发挥了核心指导作用，提高了工作效率，加快了工程进度，确保了工程质量。

（4）开展质量大检查活动是提高质量意识、促进质量全面提高的有力手段。在建设过程中，由建管局组织各有关部门参加，定期对工程质量实行“联检”，对施工单位进行量化打分，评选出施工质量好，进度快的单位，进行奖励，对施工质量差，严重影响工程进度的单位进行通报批评或罚款，使施工单位的质量意识大大提高，并通过互相观摩、互相学习，达到了交流经验、取长补短以共同提高的目的。

2、 加强运行管理

(1)春、秋灌时间的调控

合理确定每年冬前停灌和开春灌溉的时间，对防止渠道冻胀至关重要，水管处根据北屯灌区的实际情况，冬前停灌时间选在 11 月上旬，开春灌溉时间在 4 月初为宜。

(2)渠道的检查

渠道及其建筑物检查观察是掌握工程动态，保证工程安全运用的一个重要手段，不仅是制定维修养护方案的基础，也是渠道工程技术管理的重要任务。

水管处的渠道工程检查分为经常检查、定期检查、特别检查。

定期检查是每年放水前、停水后由灌溉科协同工程科相关人员，对渠道工程的渠顶、渠坡、渠底进行全面检查，重点检查渠道工程的裂缝、冲刷、隆起、冻胀等变化损坏情况，并及时采取措施进行维修，以确保渠道的正常行水。

(3)渠道的及时维修

冻胀现象往往一年比一年严重，不及时治理，将导致渠道更为严重的破坏，水管处的维修遵循“重伤不拖延，轻伤不放过，合理安排、逐步解决”的原则进行。在大型灌区未续建配套以前，工程维修分为经常性维修养护和大修，自 2001 年至今，大型灌区的渠道工程逐年得到了配套，渠道的维修由侧重于经常性维修养护，工程的维修主要是根据经常性检查发现的冻胀缺陷和问题，进行日常保养维护和局部修补。

（五） 存在的问题及建议

1、 存在的问题

(1)存在施工期与灌溉期相重叠的矛盾

因大部分工程为改建工程，季节性较强，施工必须在不影响农作物用水和停止用水后进行，工期紧、任务重、投资有限，加之北屯地区上冻较早，每年有较长的寒冷季节，混凝土防渗渠道在施工中虽然采取了一定的防冻措施，冻融破坏虽有所减轻，但是衬砌防渗渠道仍会发生不同程度的冻胀破坏。

(2)秋灌导致土壤含水量增加

北屯灌区所辖的三个团场一般约在十一月上旬进行秋灌和浇灌林带，这会自内补给增加基土含水量，若遇上冻期提前的年份，对衬砌防渗渠道极为不利。

(3)防冻胀的方法和技术尚需进一步提高

北屯灌区虽根据自己实际情况和经济实力，采取了防止基土冻胀的方法，但每一种方法都不是也不可能是十全十美，冻胀措施的采取也不是一劳永逸的。

2、 建议

(1)渠旁植柳

柳树根系发达，呈须根网状盘结，可使其土成为非冻胀纤维土，同时，根须还可吸收土体中的水分和阻断土壤毛细管水上升通道，降低基土含水量。

(2)尝试应用新的防冻胀技术

今后灌区的渠道可从渠道的设计、施工中尝试应用其它省份防冻胀的成功经验，从渠道的防渗形式、断面形式、抗冻材料的选择上进一步优化，并可与科研单位合作，使渠道防冻胀应用技术得到进一步完善和提高，使之能够在更大范围内得到推广和应用。

建议国家对西北边陲的水利工程建设力度进一步加大，恳请国家专门就灌区冻胀问题适当增加投资数额，以便于工程防冻胀措施的选择和落实。根据北屯灌区多年来运行的经验，衬砌形式建议采取高标准的双防形式。

(3)逐步建立系统化的运行管理制度

运用科学的手段进一步加强管理和维护，并在不断总结经验的基础上，逐步建立一整套系统化行之有效的运行管理制度。

(4)因地制宜地确定设计方案

由于渠道冻胀受到多种因素的作用，而这些因素的分布随着地区的不同变化很大，因而不可能在一个适用于各种条件的万能方案，而应根据各个灌区各条渠道的气象、土壤、水文地质、建材等不同条件，选择冻胀方案，即使对同一渠道工程，由于沿线条件变化很大，也应对渠道划段落，根据阴、阳坡面的

冻胀情况，分别确定其防冻方案。

附件：雷诺护垫在兵团农十师北屯灌区三千渠防冻胀中的应用

北屯灌区三千渠分布在额尔齐斯河二级阶地上，根据调查，工程区地下水在六、七、八月份埋深为 1.5m，冬季地下水埋深在 1.8m，分析本区的浅层水，主要是渠道渗漏所致，由于本区大部分灌渠未作防渗处理，结果造成大量灌溉用水补给地下水，受第三纪泥岩的顶托，地下水位较高。

北屯灌区 2004 年度三千渠工程原设计方案渠底防渗型式为预制砼板护砌，施工中渠底部位开挖出泥岩。现场组织各建设方专家进行分析，渠底部位出现泥岩，为适应变形、冻胀和防止冲刷等，将渠底预制砼板防渗型式改为柔性防护型式，即雷诺石笼护垫型式。(镀锌双绞合低碳钢丝网格雷诺护垫)，该产品是引进意大利生产工艺由中外合资生产的一种新镀锌合金产品，能在水中 20 年不生锈，内装卵石，有很好的透水性，能防止冻胀。

施工工艺包括雷诺护垫组装、雷诺护垫安装、雷诺护垫的绞合三个过程，其中：

1、雷诺护垫组装

把护垫放在平整的地面上展开并压平，将前后面板、中间隔板和边板翻开至垂直立起成型，并用专用钢丝扎好。

2、雷诺护垫安装

将护垫顺渠道一个紧接一个摆放好，然后用 80-160mm 的石头填满，为避免由于单边装填引起的隔板变形，紧靠隔板两边的石头必须同时进行装填，在填充石头的时候应该尽量注意不要损坏护垫上的镀层，并且使用人工摆放以尽量缩小孔隙率。

3、雷诺护垫绞合

用绞边钢丝把相应的盖子边缘与立起的隔板、前后面板、端部面板的上边缘绞合在一起，每隔大约 15cm 用单圈和双圈交互地绞合在一起，并拉紧（相邻护垫间与盖板绞合时有 4 条边缘需绞合在一起）。

北屯灌区三千渠工程于 2004 年 5 月施工建设，当年 10 月完成。通过几年的运行观察，雷诺护垫的应用很好地解决了北方地区冬季渠系渠底鼓包、冻胀、

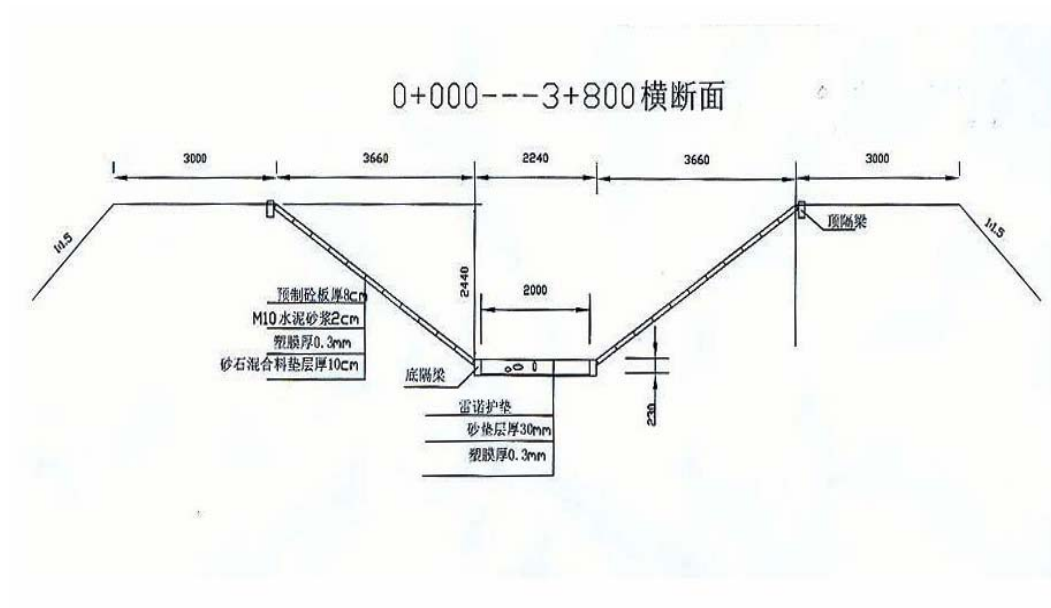
变形问题，便于季节性施工，无需维修。



雷诺护垫防冻胀材料



雷诺护垫铺设后渠道



二、 新疆三屯河灌区渠道防渗防冻胀技术应用

(一) 灌区基本情况概述

1、 灌区概况

三屯河灌区位于新疆天山北麓中段，准噶尔盆地南缘，地理位置界于东经 $86^{\circ} 24' 33''$ — $87^{\circ} 37'$ ，北纬 $43^{\circ} 6' 30''$ — $45^{\circ} 20'$ 之间。东与头屯河灌区接壤，西与呼图壁河灌区相邻，南以天山的阿斯克达板山与和静等县为界，北靠古尔班通古特沙漠与塔城地区的和布克赛尔县和阿尔泰地区的福海县相接。辖区南北长 260 公里，东西宽约 31 公里，总面积 8044KM^2 。

三屯河发源于天山北坡中段的天格尔峰，海拔 4562 米。主要支流有大、小三屯河，集水面积 1636KM^2 ，河长 103KM，多年平均径流量 3.58 亿 M^3 。

三屯河灌区地势较复杂，南部山区、中部平原、北部沙漠三大部分。灌区水资源较为贫乏，地表水主要产于山区，由大气降水和冰雪融水混合补给三屯河，年径流量 3.58 亿 M^3 ，年地表水可供量 27077 万 M^3 ；三屯河流域地下水补给量为 2.55 亿 M^3 ，可开采量为 2.05 亿 M^3 ，已开采为 1.76 亿 M^3 ；年可供水量 43777 万 M^3 。

2、 气候特征

三屯河流域地处欧亚大陆腹地，准噶尔盆地南缘，远离海洋。其气候特点是四季分明，夏季干旱炎热，冬季寒冷漫长，春季温度变化剧烈，冷空气活动频繁，秋季降温迅速，天气晴朗。降水量年际变化大，季节性分配不均匀，多集中在春、夏两季。光照充足，热量丰富，气温的年较差、日较差大。

(1) 气温

南部海拔 3600m 以上高山区年平均温度在 -5°C 以下。中低山区的年平均气温 5.5°C 。平原区多年平均气温为 6.1°C ，沙漠区多年平均气温为 5.7°C 。最大冻土深 1.0—1.2m。

三屯河流域气温的年内变化非常明显，全年以 1 月最冷，七月最热。

(2)降水

三屯河流域高山区平均年降水量在 600mm 以上，中低山区平均年降水量 400~500mm，中部平原区平均年降水量 180mm，北部沙漠区平均年降水量小于 150mm。流域内降水不但稀少，而且南北分布极为不均，南部山区年降水达 534.3mm，而北部地区仅为 127.5mm，相差比 4:1。

(3)蒸发

平原地区年蒸发量 2390mm，沙漠边缘年蒸发量 2600mm，南部山区年蒸发量最小，仅 1587.0mm，

3、 水文

(1)径流量

三屯河的主要支流有大、小三屯河，在努尔加牧业村附近汇合，其上游有孔沙拉沟、庙尔沟、板房沟、头道水、二道水等支流汇合后形成三屯河主流。碾盘庄水文站以上集水面积 1636km²，河长 103km，河道纵坡 17.3‰。三屯河多年平均径流量为 3.58 亿 m³。

地表水资源年内分配不均，三屯河灌区的地表水资源主要集中在夏季 6—8 月。占全年来水量的 67.9%：4—5 月占 13%；9—10 月占 15.9%：11~3 月占 3.2%。但年际变化相对稳定，河流年径流量最大与最小值变化在 1.6—1.9 之间，年变差系数 C_v 在 0.13—1.14 之间，变化很小，因而年径流量的保证率高，对供水需求十分有利。

(2)泥沙

三屯河流域内海拔高、气温低、3500m 以上覆盖着冰川永久积雪，所以河源上段产沙不多；在中山区地段，降水量大，并多暴雨洪水，河道坡降大，汇流迅速，是径流的主要形成区，也是重要的产沙区；低山区海拔较低，植被差，发生暴雨洪水时，地面冲刷及塌岸严重，有时发生泥石流，也是严重的产沙区。三屯河的森林覆盖率只占流域的 6.9%，因而年平均含沙量也较大，碾盘庄站多年平均含沙量为 2.13kg/m³，多年平均输沙率 24.1kg/s，多年平均输沙模数 463 万 t/km²。

三屯河输沙量年内分配极不均匀，高输沙量主要集中在汛期。多年分析表明，5—8月输沙量占年输沙量的的的的 94% 以上。三屯河碾盘庄站输沙量年际变化也较大，它的最大与最小比值差是 167.1，最大年输沙量是 1988 年，输沙量 176 万 t/年，最小年输沙量是 1986 年，输沙量是 8.88 万 t/年，最大与最小比值是 19.8。

(3)洪水

三屯河洪峰流量的最大特点是峰高量小，较大的洪峰多为局部性暴雨形成，其次是雨雪混合型洪水。从年最大洪峰流量出现的时间看，主要是 5—8 月份。

其中，出现在 7 月份的机率最高为 63%；出现在 6 月和 8 月分别为 18% 和 16%：

5 月份出现的机率最少，只有 3%。20 年、50 年、100 年、一遇洪峰流量各为 $490\text{m}^3/\text{s}$ 、 $686\text{m}^3/\text{s}$ 、 $807\text{m}^3/\text{s}$ 。

4、 地形、地貌

三屯河出山口发育六级基座阶地，切割深度 136m，中部切割深度 5—7m，下部切割深度 0.5—1m。上部河床宽约 100—150m，中部河床宽约 350—400m，下部在乌—伊公路附近，河道呈掌状散流。

三屯河河床中无常年性水流，仅在泄洪时有水，河床岩性为卵石、砾石、沙砾石、沙层等，松散、透水性好。

三屯河流域灌区位于三屯河与头屯河西部冲洪积扇组成的山前倾斜平原区，其地势从南向北由前山的 15‰降至沙漠边缘的 0.2‰—0.1‰，地势平坦。

5、 社会经济状况 ·

三屯河灌区属国家大型灌区，灌区内辖昌吉市四镇三乡、一个办事处和农六师的军户农场、共青团农场及昌吉监狱等单位。灌区为多民族聚居地区，总人口 38.36 万人（包括辖区内兵团人口），农业人口 15.8 万人，占灌区总人口的 55.6%，境内地势南高北低，灌区内宜农面积 110 万亩，耕地面积 88 万亩，有效灌溉面积 74.6 万亩，主要作物有：小麦、玉米、棉花、瓜菜、番茄、甜菜、

葡萄等；以粮食和经济作物为主，经济作物主要以棉花和番茄为主。粮食作物 31.8 万亩，占灌溉面积的 25.8%，经济作物占 59.24%。灌区内的昌吉市是新疆昌吉回族自治州的州府所在地，是昌吉州的政治、经济、文化中心。

6、工程概况

三屯河灌区骨干工程有三屯河水库蓄水工程一座，为中型水库。正已完成除险加固的小（1）型水库六座，引水工程两座：东干渠首和西干渠首；输水工程两座：东干渠和西干渠。

灌区内干渠以下的渠道有三级：支渠、斗渠、农渠。其中支渠 12 条，62.17km，斗渠 667.18km，农渠 1132.3km。合计 1799.48km。闸门 521 座，桥涵 125 座，量水堰 83 座。

末级渠道防渗率 43%，断面形式为梯形、U 型，采用浆砌石、砼板预制、砼现浇防渗形式，渠系配套完好率 30%。

（二）灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

渠道防渗工程现状：

三屯河灌区经过近 40 年的建设，水利工程得到了持续发展，尤其是三屯河灌区 1999 年纳入全国重点改造灌区之后，工程续建配套与节水改造速度明显加快。2000—2010 年之间，三屯河灌区已顺利完成七期节水改造项目，并结束了近 10 年的三屯河水库除险加固工程建设，累计完成投资 5604.44 万元，其中国家投资 3800 万元，三屯河流域管理处配套 1804.44 万元。现已基本建成以三屯河水库为中心、以东西两大引水枢纽为主体的灌区配套工程。水库设计库容 3500 万立方米，目前最高蓄水量 3049 万立方米；建设配套的东、西两岸输水工程和永久性桥、涵闸、渡槽 1893 座；灌溉系统配套，比例均衡。有干、支、斗、农四级渠道。有效利用率 62%，渠系完好率仅 60%左右。

在灌区内已建成正规的条田，林带和田间道路；已建设完成了 1799.48km 的三级防渗渠道和农用机井 800 多眼。该工程已成为昌吉市社会经济可持续发展的骨干工程。

灌区不同类型渠道防渗防冻胀技术措施的应用情况及其效：

近年来，随着灌区续建配套与节水改造项目的实施，渠道防渗工程技术得

到了进一步的推广和应用，改变了灌区渠道工程面貌，提高了渠系水的利用率。根据实际运行观察，由于受冻融因素的影响，防渗工程不同程度地出现水平裂缝、预制板鼓起等现象，尤其是在低温冰冻持续时间长情况下，冻胀破坏更为严重，加速了防渗工程的老化进程。因此，从设计、渠道断面形式、施工等技术方面研究，采取一定的技术措施，消除冻胀因素对渠道防渗工程的危害，延长防渗工程的使用寿命

1、 灌溉渠道工程防渗技术应用形式

灌区干、支、斗、农渠数量较多，流量大小各异。因此，选择合理的断面形式，既可减少工程量，缩短工期，降低成本，改善水流条件，减少淤积，同时又可减轻冻胀破坏，延长工程寿命。

(1)渠道衬砌断面形式的选择

① “U”形渠槽衬砌断面形式，宜在斗农渠及小断面支渠(设计流量小于 $1.0\text{m}^3/\text{s}$)上推广应用。目前，已有这种形式的小断面“U”形衬砌机，机械化施工程度较高，质量有保证。附施工照片。





②混凝土弧形坡脚梯形断面或弧底梯形断面形式，宜在分干、支渠(设计流

量 $1.0 \sim 10\text{m}^3/\text{s}$)上推广应用。

③对分干、干渠设计流量在 $10\text{m}^3/\text{s}$ 以上渠道宜用梯形或平底弧角梯形断面。

(2)渠道衬砌结构形式的选择

在三屯河灌区渠道防渗工程主要结构形式有砌石、预制砼板、现浇砼板、U形衬砌等几种形式，其不同结构的抗冻胀性能表现为：

①砌石渠道：主要应用于干渠和支渠

砌石防渗按结构分为护面式和档土墙式两种，按材料及砌筑方法分为干砌卵石、干砌块石、浆砌块石和浆砌石板等。本灌区主要采用浆砌卵石，它的优点是沿山渠道和石料丰富地区就地取材、抗冲击流速大，耐磨性能强，抗冻能力强，具有较强的稳定渠道作用。缺点是不宜采用机械化施工，施工质量较难控制。

②预制砼板：主要应用于斗、农渠

预制砼板它的接缝多，砼板之间的缝隙用砂浆连接，受施工技术和质量的影响，接缝处易产生裂缝，这样使渠水由此渗入板下，增加了基土水分，遇到冬季低温气候，基土冻胀，接缝首先破坏，砼板发生鼓胀、折裂等破坏现象。

③现浇砼板：主要应用于干、支渠

它比预制砼板抗冻性强，主要原因是现浇板施工缝少，整体性强；另外现场浇筑砼，通过振动，砼与基土结合较好。自 2000 年实施大型灌区节水改造以来的三屯河的渠道工程建设先后采用了渠底座浆干砌卵石灌浆，边坡现浇混凝土板与复合土工膜与现浇混凝土板的衬砌结构方式。如西干渠、阿魏滩渠、生态渠、佃坝渠

④U形衬砌：主要应用于渡槽、斗、农渠

这种断面与梯形断面相比，不仅具有湿周短、水利条件好、流速快、输沙能力强、省工省料省地等优点，而且还能改善渠道坡脚附近冻胀产生的应力集中情况，使冻胀应力在渠道横断面上分布较为均匀，可适应较大的冻胀力和融沉变位，使用寿命较长。如跨河渡槽（附永进渡槽照片）。



2、渠道防渗施工技术

(1)施工程序

测量放样→旧渠拆除→渠基开挖及填筑→排水暗管埋设→渠道基础轮廓找平夯实→戈壁垫层填筑轮廓找平夯实→复合土工膜的铺设→现浇混凝土板衬砌→伸缩缝处理→混凝土养护。

(2)施工方法

渠道基础开挖采用 1m^3 挖掘机开挖，人工辅助找平渠道轮廓线，填方需分层填筑，分层厚度对于戈壁料不大于 20cm，对于黄土不大于 15cm，采用 1t 夯板夯实。混凝土拌合采用 0.3m^3 搅拌机拌合，5t 自卸车运输。衬砌时先渠底后渠坡，采用跳仓法浇筑。衬砌完后采用聚氨酯防水油膏灌缝。质量检查按有关规范规程执行。

(3)施工要点

在施工中，针对渠道工程的技术特点，实行专业化施工，流水作业，平行作业，相应配置专用机械，如：挖掘机、推土机、振动碾、砼搅拌机、起吊设备、砼振捣设备等，所有机械设备都要依据技术规范的要求配置，力求更大程度的机械化施工，提高工效，加快工程进展速度。按照业主和监理工程师的统一部署，按施工进度计划均衡的组织施工，以确保施工质量和进度。

(4)混凝土冬季施工方法

初冬、初春期间混凝土、浆砌石、土方填筑等项工程的施工都受气温的制约，施工时应随时注意每天的气温变化。在日平均气温稳定（指气温连续保持5天或5天以上）在 5°C 以下或最低温度稳定在 -3°C 以下时不应进行露天浇筑混凝土和浆砌石施工，应按低温季节混凝土的施工方法进行施工（按《水工混凝土施工规范》（SDJ-207-82）），已浇筑的混凝土的强度应不低于 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ ，未达到这个强度的混凝土均需采取保温、防冻措施进行保养。

3、灌区渠道防渗、防冻胀破坏的技术措施

渠道衬砌体并不是被冻坏的，而是经受不住渠床基土的冻胀变形，特别是不均匀的冻胀变形而形成的。因而，要解决衬砌渠道的冻胀破坏问题，首先必须解决渠床基土的冻胀变形。造成渠床基土冻胀变形的三个基本因素（负温、冻胀性土壤、充足的补给水源）是相互联系，缺一不可，只要减少或削弱其中任何一因素，都会收到防止或减缓冻胀的效果。根据这一原理，我们对引起渠床基土冻胀的三个基本因素进行排除：

(1)保温法

渠道防渗衬砌防冻胀问题，应以“防”为主，不能与大自然规律对抗，长时间的持续负温是造成渠床基土冻胀的先决条件。采用良好的保温材料，阻止或削弱渠床基土与外界的热交换，减少基土温度的下降幅度，可以达到减少冻结深度，防止冻胀破坏的效果。

当混凝土衬砌板无保温板时，渠道基土在负温下可能冻结，特别是混凝土为现浇时，混凝土板下铺设聚苯乙烯塑料泡沫板后，混凝土板的伸缩将不受约

束，混凝土板随温度变化可自由伸缩变形，不易开裂。

(2) 置换法

又称换土法。冻胀土壤的存在是促进渠床基土冻胀的首要因素。若能把渠床冻结深度以内(至少是冻结深度的 80%)的冻结性土壤更换为非冻胀性土壤,如沙砾料等,在同样的温度和水分条件下,渠基土的冻胀变形就会减小,从而降低冻胀对渠道刚性衬砌的破坏程度,避免温度裂缝出现,即可达到防止渠床基土冻胀的目的。在灌区的续建配套改造中,由于工期在初冬、初春期间,气温较低,渠床为冻土快,昼夜温差较大,采用晚上塑模覆盖保温,白天开挖换土,实践应用很好。

(3) 排水法

由于补给充足的地下水、土壤水以及毛灌水为渠床基土冻胀破坏的进一步发生提供了有利条件。所以减少渠床基土土壤冻结表层的水分补给,也是防止冻胀破坏的有效方法之一。

降低挖方渠道的地下水位。尤其是在两岸是农田的高挖方段,多采用此法。当挖方渠道的地下水位较高时,不但容易产生冻胀破坏,而且衬砌层下的扬压力也可使衬砌层破坏。降低地下水位的有效方法是排水法,对于地下水位较高的挖方渠道,衬砌、防渗、排水措施缺一不可。

4、 渠道防渗防冻胀技术应用取得的成效:

渠道防渗工程是有效降低渠道输水损失,节约用水,高效利用水资源,提高渠道水的利用率的有效途径,也是增强渠道行水安全的主要措施。在我灌区水资源短缺的情况下,大力开展渠道防渗工程显得十分必要。

1、工程建设特点。近年来,三屯河灌区渠道衬砌工程取得了一定的成效,总结工程建设特点主要有以下几个方面。(1)设计、施工、运行有统一的管理,严格按国家技术标准执行,依靠科技进步,采用新技术、新工艺、工程质量良好、效果突出。(2)防渗效果要求高,干渠及支渠全部采用了板膜复合结构。(3)对防渗渠道的基础要求较为严格。一般回填土的压实系数要求不小于 0.95。

2、工程成效。提高了渠系水利用系数。渠道衬砌后,一是降低了渠道糙率,

提高了输水能力，二是采用混凝土刚性材料防渗以后，防止了杂草生长，减少了这些天然植被的耗水量，提高了灌溉水的利用率。

（1）冻胀程度低，维修费用少

采取抗冻胀技术的渠道，冻胀破坏的程度明显较轻，渠道破坏的面积较小，所需的工程维修费用少。

（2）延长工程寿命，节约重建费用

采用了防冻胀技术的渠道，优化了渠道的受力结构，提高了渠道的抗冻、防渗能力，延长了工程的使用寿命，工程的使用寿命比较从前延长了 2-3 倍，节约重建费用。

（3）节约维修时间、保证灌溉用水

为确保工农业全年的正常引、输、供，三屯河渠道工程的维修一般安排在春灌前和秋灌后，春灌前的维修多数是因冻胀所引起的破坏，这段时间较短，工程多数属抢修，但采取抗冻胀技术的渠道，因为破坏程度轻，维修面积小，有效的节约了时间，确保了农业灌溉的及时供水。

（三）典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施案例分析

以灌区已经实施完成节水改造的渠道（或渠段）为对象，选择了 4 处典型渠道（渠段）防渗工程作为案例分析，围绕典型防渗工程涉及的渠道基本情况、土壤地质条件，防渗防冻胀技术措施、工程结构型式及材料、防渗防冻胀效果等进行总结和评价，同时提供典型渠道（渠段）防渗工程横断面结构图（每处典型工程一张）及防渗工程实景照片若干张。

1、 案例一：西干渠 0+000～1+225、1+450～5+075 段渠道改造工程案例

本防渗工程涉及的渠道基本情况、土壤地质条件，防渗防冻胀技术措施、工程结构型式及材料、防渗防冻胀效果

（1）工程概况

西干渠改造工程是在 2000 年改造的 5+000～14+675 基础上从 5 公里以上至渠首段（0+000-1+225、1+450-5+075）段，改造 4.85km。原过水能力 $25\text{m}^3/\text{s}$ ，改造后的设计流量 $33\text{m}^3/\text{s}$ ，可满足下游灌溉要求。

(2) 工程实施

工程于 2003 年 11 月 10 日开工, 2004 年 5 月 10 日竣工, 历时 180 天, 工程按计划完工。

(3) 渠道防渗防冻胀技术措施的应用情况及其效果

① 地形、地貌

本次工程项目均分布在三屯河冲洪积扇区, 地形向北微倾, 坡降 7~13‰, 地形总体呈微波状起伏。

三屯河出山口发育六级基座阶地, 切割深度 136m, 中部切割深度 5~7m, 下部切割深度 0.5~1.0m。上部河床宽约 100~150m, 中部河床宽约 350~400m, 下部在乌一伊公路附近, 河道呈掌状散流。

三屯河河床中无常年性水流, 仅在泄洪时有水, 河床岩性为卵石、砾石、沙砾石、沙层等, 松散、透水性好。

② 工程地质条件

项目区内出露的地层均为新生代沉积物, 前山丘陵区由第三系昌吉组构成, 平面上呈条带状分布, 出露范围很小, 广阔的山前倾斜平原则由第四系巨厚的松散堆积物组成, 据物探资料, 第四系松散堆积物厚度达 600~1200m, 沉积中心在近山前的阿魏滩一带, 沉积厚度向北逐渐变薄。岩性主要为青灰色、灰白色的卵石、沙砾石、砾石夹沙层, 透镜体、含漂砾, 最大砾径大于 30cm, 一般砾径 0.5~2.0cm, 其中卵石含量 30%—50%, 砾石含量 50%~30%, 砂的含量 20% 左右。在垂直方向表现为上部颗粒粗大, 下部变细, 密实程度也自上而下有所增大。在水平方向二从南向北沉积颗粒逐渐变细, 岩性也由单一大厚度砂砾石、卵砾石层过渡为沙砾石与含砾亚砂土、亚砂土及砂层互层的多层结构。项目区内覆盖有 0.5~0.8m 厚的亚砂土层。

项目区的地基持力层为分布广、厚度大的硬层(砂卵石层), 地下水埋深大(大于 80re), 渗流条件好, 属强透水地层。

③ 西干渠改造工程概况

三屯河西干渠位于三屯河水库下游, 河床西岸, 昌吉市以西 20 公里处, 担负着昌吉市下游 72 万亩农田的灌溉输水任务, 是昌吉市农业生产的一条主要灌

溉输水干渠，该干渠的输水能力的大小及运行状况的好坏直接影响到昌吉市的农业生产。

④渠道选线

西干渠改造主要是对已损坏的衬砌和建筑物在原渠上进行改造和重建，不再另选新线。

⑤渠道纵坡

本次改造基本沿老渠线行走，渠道纵坡基本上与原渠道纵坡一致。纵坡在 2‰~11‰之间。

⑥渠道横断面设计

A、渠道水力参数的选定

西干渠 0+000~1+225 原断面为梯形断面，下部深 1.0m 为卵石灌浆，上部深 3.0m 渠坡为砼衬砌；1+450~5+075 段原断面为卵石灌浆弧形渠底，现浇砼渠坡的梯弧形断面，经自治区水利厅水文总站两次组织专家评审，确定本期两段均改造为弧形坡脚梯形断面。即在现渠底上重砌卵石渠底，渠坡在原坡上重浇砼板。为此，渠道纵坡的设计和渠道横断面设计水力参数的选定都以现测纵、横断面为依据。

1) 边坡系数

保持现有边坡系数不变，设计时按纵坡分段将每 25m 实测的边坡系数累计平均值为设计边坡系数。

2) 糙率

根据《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288-99)干砌卵石灌浆渠底糙率 n_1 : 0.035，现浇砼板糙率 $n_2=0.017$ ，整个断面糙率采用加权平均值，即 $n=(n_1 \times \text{砌石周长} + n_2 \times \text{砼板周长}) / (\text{砌石周长} + \text{砼板周长})$ 。

3) 弧形坡脚梯形断面的弧口宽

根据每 25m 实测的弦长作为新设计断面的弧口宽。

⑦抗冻胀设计

据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001)(1/400 万 2001 版)显示，西干渠布置区地震基本烈度为Ⅷ度区，地震动峰值加速度为 0.29。

又据 2003 年 3 月新疆生产建设兵团勘测设计院编制的《新疆昌吉三屯河灌

区续建配套、节水改造工程工程地质勘察报告》，西干渠 0+000~5+075 段沿线处于三屯河西岸一级阶地，土质属非冻胀性土，工程地质条件好。地下水埋深大于 80m，大大超过 3m，冻胀量小，可不进行抗冻胀计算，在设计上采用了弧形坡脚梯形断面，增强了渠道的防冻胀性能。

⑧渠道衬砌及结构设计

A、堤顶宽度：堤顶不考虑行车，宽度确定为 2m。

B、渠堤外坡：根据土质和流量，采用 1:1.5。

C、渠道衬砌：渠底采用座浆干砌卵石灌浆，砂浆采用 C20F200W6 细石砼，砌石厚 $\geq 30\text{cm}$ ；渠坡采用 C20F200W6 砼现浇，衬砌厚下口 13cm~E7cm；

渠口

采用宽 30cm、厚 6cm 现浇 C15F100 砼压沿板。

D、伸缩缝：规范规定现浇砼渠道每隔 5~8m 设纵、横伸缩缝一道，本渠横

向砼坡长每侧最长才 4.5m，因此不设纵向伸缩缝，横向伸缩缝考虑原渠道为每

2.5m 一道，本次设计仍采用 2.5m 一道，以便保持新旧砼板的整体性，缝宽 2cm，

采用聚胺脂灌缝。

⑨施工技术要求

A、设计在原渠道断面上进行改造，渠底采用 C20F200W6 细石混凝土坐浆干砌卵石灌浆衬砌，厚度 $\geq 30\text{cm}$ ；边坡采用现浇二级配 C20F200W6 混凝土衬砌，

板厚上口 8cm，下口 12cm；渠道两边沿口用 C15. F100 混凝土现浇压沿板，板

厚 6cm，宽 30cm。由于各段渠道边坡、口宽不一，施工时采用平缓过渡连接。

B、已破坏变形的渠坡处理

凡是发生破坏变形、局部隆起的渠坡，均采用揭除原混凝土板，挖出边坡上 0.5m 厚的土层，替换为河床戈壁料，分层夯实填筑，干容重达到 $2.0\text{t} / \text{m}^3$ ，

人工整修成型后，再浇筑混凝土。

另外，新加高的渠堤，填筑干容重要达到 $1.8\text{t}/\text{m}^3$ 。

C、新、老混凝土结合面处理

在渠堤边坡原衬砌板基本完好的，或经监理工程师认为不需要进行挖除替换的渠堤，原混凝土板可作为新浇筑混凝土的基底面。

新、老混凝土结合面处理采用表面凿毛，技术要求如下：

原渠道混凝土衬砌板表面凿毛，可采用人工凿毛，凿毛深度控制在 $1\sim 2\text{cm}$ 。凿毛应均匀，不得漏凿，不得将原混凝土板打裂。凿毛后应清除凿毛面的残渣和灰尘，浇筑混凝土前用水冲洗干净和使板面湿润。在浇筑砼之前，先刷一层

水泥砂浆，便于新老砼的结合。

D、伸缩缝处理

伸缩缝采用聚胺脂砂浆填缝。聚胺酯砂浆填缝施工方法：

1) 聚胺酯砂浆的配合比：A:B:粗砂:绿豆砂=1:2:6:4(重量比)

如聚胺酯过稠，可按每公斤 A 料重量掺加 $0.25\sim 0.4\text{K9}$ 稀释剂，建议稀释剂选用二甲苯。粗砂和绿豆砂温度应高于 5°C 。

2) 聚胺酯、二甲苯均属易燃物品，在存放及使用过程中应远离火源。

3) 要求粗砂与绿豆砂的含泥量小于 1%。

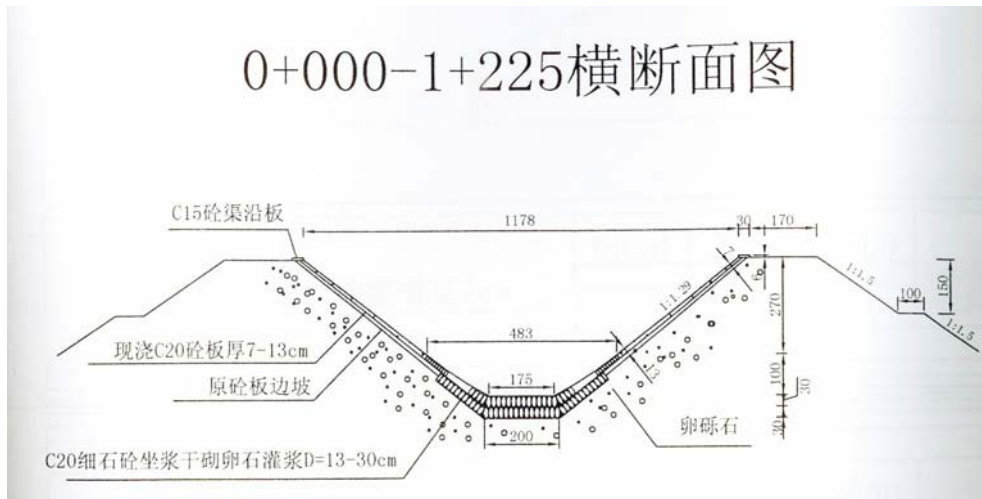
4) 工序及要求

涂刷表面必须保持干净、干燥。

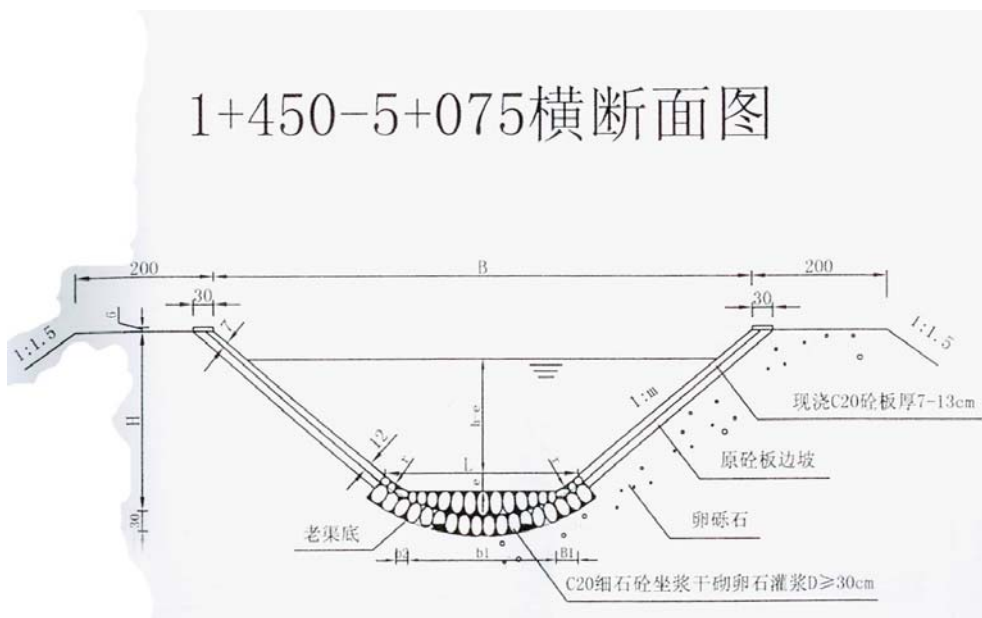
因伸缩缝旁的砼浇筑后无法完全干燥，在清理干净后，须刷一道砼界面处理剂，配比为乳液:水泥=4:5。待砼界面处理剂干后，用聚胺酯砂浆填缝，施工缝内的聚胺酯砂浆必须密实，密实的方法可用木条挤缝，用榔头砸实，聚胺酯砂浆表面应与两侧的砼表面齐平。

伸缩缝填满后，放置 6 小时以上，再涂刷一遍聚胺酯，聚胺酯配比为 A:B=1:2，供使用时参考（根据工地具体情况可略作调整），聚胺酯涂层要与两侧砼搭接宽度保证在 2cm 以上。

0+000-1+225横断面图



1+450-5+075横断面图



附照片：



照片 1-1



照片 1-2



照片 1-3（时间：2010.9.1）

2、 案例二：三屯河西干渠 9 公里渠道防渗防冻胀工程案例

本防渗工程涉及的渠道基本情况、土壤地质条件，防渗防冻胀技术措施、工程结构型式及材料、防渗防冻胀效果

(1)工程概况

三屯河西干渠首位于三屯河水库下游，昌吉市市中心以西 20 公里的三屯河西岸，全长 20.8 公里，担负着三屯河水库下游农田的灌溉输水任务，是昌吉市农业生产的一条主要灌溉输水干渠，该干渠的输水能力的大小及运行状况的好坏直接影响到昌吉市的农业生产。

三屯河西干渠建于 1961 年，原设计流量为 $50\text{m}^3/\text{s}$ ，灌区改造前的过水流量只能达到 $20\text{m}^3/\text{s}$ ，原西干渠的 0+000-13+000 段为浆砌卵石弧形渠底，边板为现浇砼板，渠深 2.4m，上口宽 8m。13+000-20+800 段为现浇现浇砼板衬砌梯形渠道，渠深 1.8m，上口宽 6.5m，底宽 2m。设计灌溉面积为 50 万亩，而实际灌溉面积仅为 38.4 万亩。

西干渠运行已有四十余年，渠道已经老化，影响了渠道的正常运行，渠道利用系数较低。途中，虽经过多次局部修缮，耗费大量资金，仍未根本解决问题。仍然存在以下问题：1、由于渠道纵坡较大，因此，渠底浆砌卵石已遭到水流的冲刷破坏，个别区域的浆砌卵石渠底石头已松动或被磨平。2、渠道的混凝土边板年久失修，部分边板已经表面分化剥落，甚至被水流冲坏。3、由于局部混凝土边板后的强冻胀作用，造成渠道边板裂缝、隆起、断裂、塌陷，凸凹不平，直接影响渠道的过流能力。4、渠道纵坡变化频繁，水流状态较紊乱，对渠道的运行不利。以上几个因素增大了混凝土板的糙率，降低了渠道防渗及输水能力，加速了渠道的破坏，形成恶性循环。

(2)工程实施情况

本案例的西干渠衬砌改造工程是对渠道磨损破坏较严重的的 5+080-14+675 段渠道衬砌改造。改造段原过水能力 25m³/s，改造后的设计流量 33m³/s，可满足下游灌溉要求。

由于西干渠改造工程不得影响灌区的农田灌溉，因此安排在冬季停水期间进行衬砌改造，工程于 2000 年元月 5 日开工，2000 年 4 月 10 日竣工。

(3)渠道防渗防冻胀技术措施的应用情况及其效果

①改造仍按原渠道断面进行施工，在原渠道浆砌卵石和现浇砼板表面衬砌新混凝土。考虑到 9+701.4 以上渠道流量大、流速大、渠底磨损严重的现状，在渠底采用现浇二级配 C50 石英砂混凝土进行衬砌，边坡采用现浇二级配 C20 混凝土衬砌。

②在渠道两边沿边口增加了混凝土浇筑的沿口边墙，墙高 0.15m，墙厚 0.2m。由于各段渠道口宽不一，沿口边墙放线时采用平缓过渡连接。

③已冻胀破坏渠堤边坡的处理

凡是发生冻胀破坏局部隆起的渠堤，均采用揭除原混凝土板，挖出边坡上 0.5m 厚的土层，替换为河床戈壁料，分层夯实填筑，干容重不得小于 19KN/m³，人工整修成型后，再浇筑混凝土。

对于新填筑的渠堤，填筑干容重不得小于 17KN/m³。

④新、老混凝土接合面处理

对于渠堤边坡原衬砌板基本完好的，或者监理工程师认为不需要进行挖除替换的渠堤，原混凝土板可作为新浇筑混凝土的基底面。

新、老混凝土结合面处理采用表面凿毛方法，技术要求如下：

原渠道混凝土衬砌表面凿毛，可采用人工凿毛，凿毛深度控制在 1-2cm。凿毛应均匀，不得漏凿，不得将原混凝土板打裂。凿毛后应清除凿毛表面的残渣和灰尘，浇筑混凝土前应洒水湿润表面。

⑤混凝土的拌合与浇筑

混凝土的施工按《水工混凝土施工规范》（SDJ207-82）的要求执行。

混凝土 28 天龄期的强度应达到设计强度，水灰比、坍落度应通过试验确定。为保证混凝土的强度，在设计混凝土配合比时，应考虑到施工质量的不均匀性，混凝土配置强度应等于设计标号乘以系数 K， $K=1.22$ 。具体的数据有施工单位通过试验来确定，并经监理工程师认可。

在施工前，施工单位必须结合工程的混凝土配合比情况，检验拌合设备的性能。在整个混凝土生产过程中，拌合设备也必须经常进行检验，包括混凝土拌合物的均匀性、拌合时间、衡量器的准确性、机器及叶片的磨损程度等。

在施工过程中必须严格按监理工程师认可的混凝土配料单进行配料。入机拌合量不得超过厂家所规定的拌合机容量。

若需在混凝土中掺加外加剂（诸如加气剂、早强剂、减水剂、缓凝剂、速凝剂等）时，其使用及掺量必须通过试验确定。施工单位在使用之前必须将每一种混凝土外加剂的名称、来源、样品、以及鉴定外加剂品质的资料和掺量的试验成果报告递交监理工程师，征得其同意后方可实施。

混凝土入仓温度控制在 15°C 以上，养护温度控制在 1°C 以上。

混凝土的养护可采用人工洒水养护，一般混凝土浇筑完毕后 24 小时开始洒水，水温大于 10°C ，渠底部分应用草帘覆盖洒水。

⑥施工缝处理

A、边坡施工缝处理

边坡施工缝处理采用防水油膏填缝，其施工工艺按《聚氯乙烯防水油膏应用技术规程》（SJ39-94）执行。

渠底横向缝及两侧纵缝采用聚氨酯砂浆填缝。

聚氨酯砂浆填缝施工方法为：

1) 聚氨酯砂浆的配合比：

A:B:粗砂:绿豆砂=1:2:6:4（重量比）

如聚氨酯过稠，可按每公斤 A 料重量掺加 0.25-0.4kg 稀释剂，建议稀释剂选用二甲苯。粗砂和绿豆砂温度应高于 5℃。

2) 聚氨酯、二甲苯均属易燃物品，在存放及使用过程中应远离火源。

3) 要求粗砂与绿豆砂的含泥量不小于 1%

4) 工序及要求

涂刷表面必须保持干净、干燥。用聚氨酯砂浆填缝时，施工缝内的聚氨酯砂浆必须密实，密实的方法可用木条齐缝，用榔头砸实，其聚氨酯砂浆表面应与两侧的砼表面齐平。

施工缝填满后，放置 6 小时以上，再涂刷一遍聚氨酯，聚氨酯配合比为 A:B=1:2，聚氨酯涂层要与两侧砼搭接宽度保证 2cm 以上。

B、苯板要求

苯板必须使用 2cm 厚中密度苯板。根据缝深度不同，苯板可分为两层叠加镶缝，上部苯板条宽 5cm，底部苯板条宽度根据板厚不同，可做成两头宽度不同的板条，上、下苯板条之间、相邻板条之间可用 8 号铁丝插接。混凝土浇筑完成后，揭除上层板条，即可保证施工缝内的聚氨酯砂浆达到设计宽度和深度。

⑦混凝土施工及外观质量要求

相邻两块板高差允许偏差 $\pm 3\text{mm}$ ；

混凝土板的平整度用 2m 直尺检查，允许偏差 $\pm 5\text{mm}$ ；

渠道断面尺寸允许偏差 $\pm 20\text{mm}$ ；

施工缝宽度允许偏差 $\pm 2\text{mm}$ ；

标高允许偏差 $\pm 10\text{mm}$ ；

混凝土表面应洁净、无乳皮、无积渣和杂物，无麻面、无裂缝。

⑧增引节水效益分析

西干渠 14.675km 干渠改造后，一是渠道过水能力由原来的 $20\text{m}^3/\text{s}$ 增加到了 $33\text{m}^3/\text{s}$ ；二是干渠水利用系数由原来的 0.77 上升到 0.9，按 2004 年实际引水量 1.39 亿方计算，实现节水 1807 万方，并大大提高了渠道的引水能力；三

附照片：



照片 2-1



照片 2-2



照片 2-3（时间：2010.9.1）

3、 案例三：生态渠 21+000～30+493 段防渗防冻胀扩建改造工程案例

本案例涉及的渠道基本情况、土壤地质条件，防渗防冻胀技术措施、工程结构型式及材料：

(1)工程概况

生态渠工程位于三屯河西干渠末端的大西渠镇境内,设计流量 $6\text{m}^3/\text{s}$,全长 16380 米,整个明渠分 21+000—30+493 和 30+493—37+380 两段,本案例为 21+000—30+493 段,工程长度 9493 米。渠型采用梯形渠道,衬砌形式选用两布一膜复合土工膜加现浇混凝土板的型式。

(2)工程实施情况

该工程于 2001 年 9 月底开始进行公开招标,2001 年 10 月 15 日正式开工,2002 年 4 月 13 日全部竣工。

项目区多年平均气温为 6.1°C ,一般年份三月二十日气温上升到 0°C 以上,4 月平均气温在 11.3°C - 11.4°C .从当年的 2 月 25 日至 3 月 20 日期间平均气温大

多在 0℃ 以下，气温较低，为了保证工程在 4 月中旬能够顺利完工，安排在冬季主要进行拆除旧渠道和备料及土方工程，3 月底开始进行渠道混凝土衬砌的施工。

(3) 土壤地质条件

由于渠道渠基均为粉土或粉质粘土，具有一定的持水性，渠道地下水位在渠底以下 2.0-3.5m，原渠道没有设置必要的防冻胀措施，因此造成渠道混凝土边板冻胀破坏严重，直接影响渠道的过流和防渗能力。

该渠道的主要工程地质问题是地基软化问题和冬季渠道的冻胀问题。要解决这一问题，必须将土体中的毛细水截断，加速上部土体的固结，以达到防止或减少渠道冬季冻胀的目的。

(4) 渠道防渗防冻胀技术措施的应用情况及其效果

① 防渗防冻胀技术措施、工程结构型式及材料:

渠道的湿周是最易发生冻胀的部位，所以改造将湿周范围内的土体挖出 0.3m，用砂石垫层置换，并夯实回填，回填后的干密度要达到 2.1g/cm^3 ，压实系数达到 0.95，渠道填方部分分层夯实，填筑干密度 $\geq 1.6\text{g/cm}^3$ ，分层厚度 15-20cm。

此次改造考虑到上游西干渠首新建排沙漏斗的投入运行，减少了泥沙对渠道的磨损，渠道纵坡按原渠底纵坡个别地方加以调整为 2/1000-5.3/1000 之间，底宽为 1.0-1.1m，边坡系数 $m=1.5$ ，最大水深 1.20m，渠道上口宽 6.0-6.6m，渠内最大流速 2.77m/s。故渠道底部采用 80cm 厚，混凝土强度 C30，抗冻标号 F300 现浇混凝土板衬砌，边板采用 60-80cm 厚 C20F200 现浇混凝土板衬砌，其中水上部分为 60mm，水下部分为 80mm，下铺 0.5mm 复合土工膜防渗防冻胀。要求渠基的填土压实系数不小于 0.95，现浇混凝土衬砌板每 2.0m 沿纵向设伸缩缝，缝内灌聚氨酯防水油膏。为防止冻胀，渠道混凝土板以下设 30-50cm 厚戈壁垫层以及沿混凝土板底部和戈壁垫层以上设置 0.5cm 厚复合土工膜，以利于上放下排，其特点一是达到了防渗效果，二是阻断了毛细水上升，再在渠床 3.0m 以外，每隔约 500m 设置排水管和渗水井，将渗水通过暗管集中导出渠床，以避免渠道的冻胀问题。

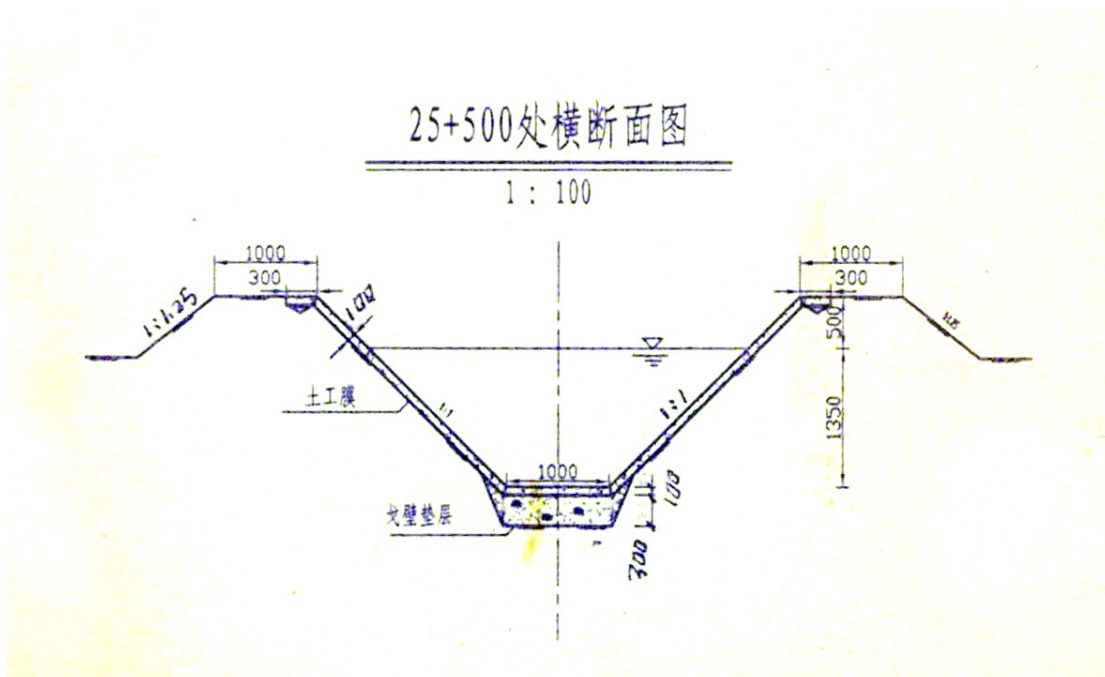
② 防渗防冻胀效益分析:

此渠道改建后自 2002 年运行至今近九年时间,渠道运行良好,输水能力强,防渗效果好,渠道冻胀破坏现象明显减少,渠道现状附照片

③生态效益

三屯河灌区生态环境脆弱,通过本工程的实施,可提高水的利用率,通过对水资源的合理配置和“两高一优”的农业生产体系的建立,调剂出足量的水专门用于生态经济(包括人工林的用水),改变农业对水的占有量,使农业用水不再挤占生态用水,该工程具有较好的生态效益。

三期工程完工后,年增引节水 4880 万方。根据水土资源平衡分析结果,灌区地下水开采量从现状年的 1.75m^3 亿降到 1.68 亿 m^3 ,每年可减少地下水开采量 0.07 亿 m^3 ,按每亩生态灌溉定额 190m^3 计,相应地保护了老龙河地区 26 万亩生态面积,从而遏制了地下水开采,防止了农业用水挤占环境用水,靠牺牲环境用水谋求一时的经济发展,从而导致生态环境的大范围急剧恶化的现象。



附照片:



照片 3-1



照片 3-2



照片 3-3（时间：2010.9.1）

4、 案例四：阿魏滩渠 0+000 ~ 7+318 段渠道改造案例

(1)工程概况

阿魏滩渠建于 1989 年，全长 9.3km，采用 4cm 厚预制砼板衬砌，经磨损、风蚀、衬砌面已面目全非，原设计流量 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ ，现过水不到 $0.8\text{m}^3/\text{s}$ 。本次改造主要是对已损坏严重的前段 7.318km 衬砌全部拆除，在原渠床上重新进行衬砌，并保留良好的配套建筑物不动。

阿魏滩渠改造长度 7.38 公里,本次改造后流量 $1.68\text{m}^3/\text{s}$ 。

(2)工程设计技术要点

①渠道纵坡

渠床经过衬砌后，抗冲能力增大，设计中在现有纵坡基础上尽量采取较陡的纵坡，以加大流速，减少淤积，减小断面尺寸，提高自流灌溉能力和抗冻胀能力。改造后渠道纵坡在 0.5‰ — 2.6‰ 之间。

②渠道横断面

A、渠道横断面型式及结构

阿魏滩渠 0+000—6+90 段采用弧形渠底梯形渠坡的梯弧型断面，渠底采用干

砌卵石 C20F200W6 细石砼灌浆，渠坡采用 C20F200W6 现浇砼板衬砌；后段 6+900—7+318 采用 C20F200W6 现浇砼板衬砌的梯形断面。

B、渠道水力参数中边坡系数的选定

根据《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288—99)及渠道沿线工程地质情况，确定渠道边坡系数仍采用 1.25。

③渠道抗冻胀设计

A、阿魏滩渠工程地质条件

据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001)(1/400 万 2001 版)显示，阿魏滩渠工程区地震基本烈度为Ⅷ度区，地震动峰值加速度为 0.29。又据工程地质勘察报告，阿魏滩渠渠线分布于三屯河山前洪积平原之上，地形平坦开阔，地势南高北低，向北西倾斜。渠道沿线地层上部(0—1.1m)为低液限粘土，下部为卵砾石。低液限粘土：厚 0.5—1.1m，天然含水量 17.0%，液限 29.7%，塑限 18.0%，塑性指数 11.7，土粒比重 2.67，水溶盐含量 1.2%—2.1%，土层主要为驱硫酸盐渍土。卵砾石层：土层之下均为卵砾石层。一般粒径 35—50mm，最大粒径 260mm，稍密。该层颗粒组成为：巨粒含量 36.9%—44.2%，粗粒含量 55.0—62.6%，细粒含量 0.5—0.8%，其中粒径 0.075—0.005mm 的 J 与 0.5—0.8%，属非冻胀性土：天然含水量 3.8%，天然密度 $2.229/\text{cm}^3$ ，最大干密度 $2.219/\text{cm}^3$ ，不均匀系数 75.5，曲率系数 1.98，其承载力标准值 300KPa，变形模量 35KPa。该层沉积厚度大，分布连续，地下水埋深大于 80m。

B、抗冻胀计算和防冻胀措施

阿魏滩渠沿线表土 1.1m 厚以内为冻胀性土层，以下为非冻胀性土层，设计渠底大部坐于非冻胀性的戈壁卵石层上，且地下水埋深大大超过 3m，冻胀量小，可不进行抗冻胀计算。

C、为确保安全，除采用抗冻胀性能好的梯弧形断面外，还必须采用以下防

冻胀措施：

1) 凡渠底未坐在戈壁卵石层的渠段，因土层较薄，一律将冻胀性土层挖掉，

置换成戈壁砾石，并要求压实干容重达到 $2.0\text{t}/\text{m}^3$ 。

2) 渠坡铺戈壁垫层，厚度坡顶 15cm，坡底 20cm。

D、渠道衬砌及结构

1) 堤项宽度：堤项不考虑行车，宽度确定为 1.5m。渠堤外坡：采用 1:1.5。

2) 渠道衬砌：二 F 砌卵石灌浆渠底砌石厚 $\geq 20\text{cm}$ ，现浇 C20F200W6 砼渠底厚 10cm；渠坡均采用现浇 C20F200W6 砼，板厚 7cm；渠口压沿板采用宽 25cm、厚 5cm 现浇 C15F100 砼。

3) 伸缩缝：规范规定现浇砼渠道每隔 5—8m 设纵、横伸缩缝一道，本渠因断面小，不设纵向伸缩缝，横向伸缩缝每 2.5m 一道，缝宽 2cm，用聚胺脂填缝。

E、施工技术要求

1) 设计仍按原渠道断面进行改造，6+900 以前渠底采用 C20F200W6 砼现浇，6+900 以后渠底采用 C20F200W6 细石砼坐浆干砌卵石灌浆衬砌；边坡采用现浇 C20F200W6 砼板衬砌，板厚 7cm；渠口压沿板采用 C15. F100 砼现浇，板厚 5cm，宽 25cm。由于各段渠道边坡口宽不一，要采用平缓过渡连接。

2) 回填戈壁垫层应符合以下要求：

a、垫层中小于 0.05mm 粒径的颗粒含量不得大于 6%。

b、层夯实干容重应达到 $2.0\text{t}/\text{m}^3$ 。

另外，新填筑的渠堤，填筑干容重不得小于自然干容重。

3) 干砌卵石灌浆的施工要求

a、干砌卵石前先要用 C20F200W6 细石砼座浆，厚 5cm，然后在浆上砌石，边铺边砌。

b、干砌卵石要求砌紧靠实、砌平错缝、整齐稳固。

c、卵石长边要垂直基底，小头朝上，大头朝 F，不得前俯后仰，左歪右斜：砌时每行每列要错缝，六面紧靠，只许有三角缝，不得有四角眼，不能用乱插花和鸡抱蛋的方法砌筑。

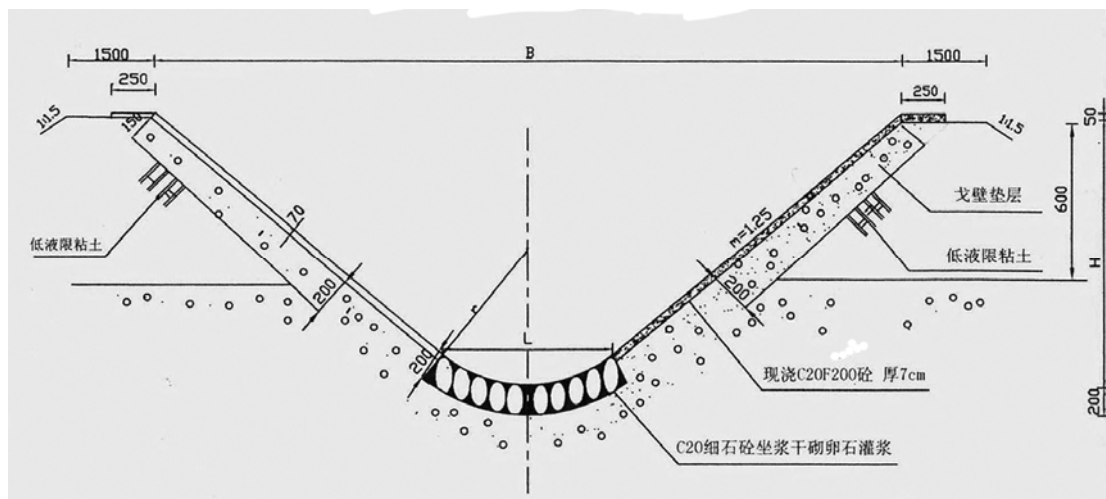
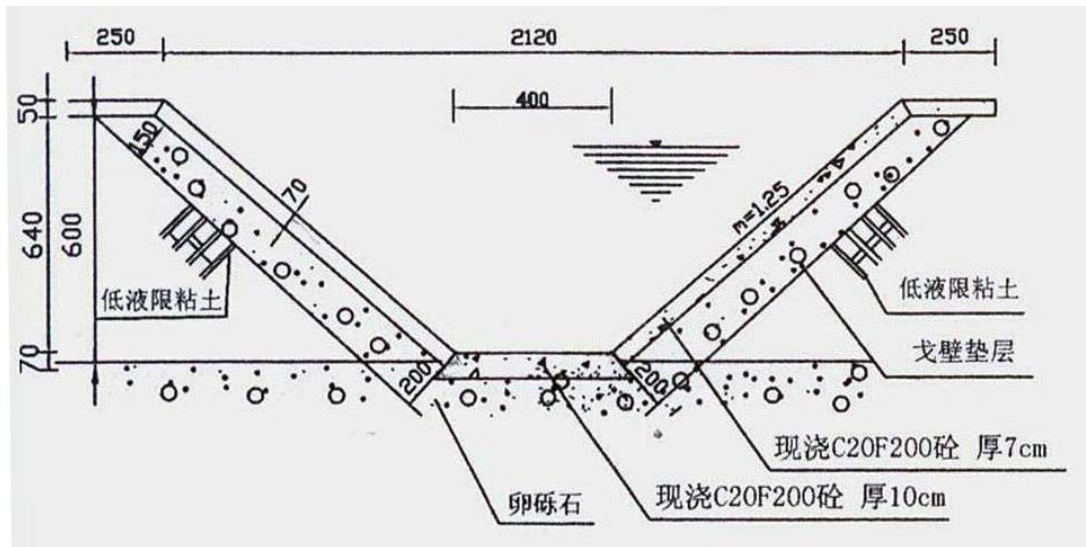
d、干砌卵石完成后，即可灌细石砼，先铺细石砼厚 3--5cm，再用平面振动器由渠中心向两边徐徐振动，边振边加砼，并辅以人工用钢钎捣固，直至砼灌至卵石与卵石接触点的中部稍上为上。

4) 混凝土的施工要求

混凝土的施工应按《水工混凝土施工规范》(SDJ207—82)和渠道防渗工程技术规范(SL18—9i)的要求执行。

5) 伸缩缝处理、

伸缩缝采用聚胺脂砂浆填缝。聚胺酯砂浆填缝施工方法同西干渠。



附照片:

照片 4-1



照片 4-2



照片 4-3（时间：2010.9.1）



（四） 防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

总结归纳灌区开展渠道防渗防冻胀技术应用中的成功经验，包括渠道防渗工程设计、施工技术、运行管理等方面的经验。

渠道防渗衬砌工程防治冻胀危害的主要措施

1、 工程措施

在北疆灌区，冻害对防渗衬砌渠道危害极大，影响渠道工程的使用寿命和使用效果。基土冻胀是衬砌破坏的首要因素，防渗效果又与冻胀破坏密切相关。衬砌渠道防治冻害主要是回避冻胀和削减冻胀两种措施。北疆灌区由于特殊的地理位置和气候条件，回避冻胀是不可能的，必须采用有效措施减少冻胀量，也就是将渠床基土的最大冻胀量消减到衬砌结构允许的变化范围内。

（1）严格技术设计：要改变认为渠道防渗设计简单的错误观点，要求必须把好技术设计和施工设计两大环节，在设计中要按规范标准，对采用的防渗措施有充足的论证，对所处地区的水、土、温条件，尤其是当地的冻结条件、经

济效益、已有的工程经验做出科学分析，让设计建立在科学依据的基础上，对工程施工条件和方法等做出全面安排，确保工程质量。

(2) 防渗衬砌渠道结构形式的选择：对衬砌渠道结构形式的设计，要从抵抗冻胀角度出发，由砼预制板改为砼现浇板，这种衬砌设计观点对于基土水分不高的填方渠段可以解决问题。而对于采取措施也难以降低渠道基土水分的挖方渠段，仍不能彻底解决问题，这就要按照“适应、消减、局部抵抗”的设计观点，从降低基土水分，提高基土温度，增加砌体刚度三个方面考虑。通过近年来的实践和探索，在阴坡渠段防渗抗冻效果较好的衬砌结构形式是：

1) 板膜复合形式。在砼板下铺设防渗膜料，膜料主要采用复合土工布膜。其中心目的是以膜来防止衬砌板不可避免的出现各种裂缝而造成的大量渗漏。这种形式适用于地下水位低的填方渠段。

2) 预制砼槽形板。这种形式适用于地下水位较低的一般渠段。

(3) 渠道断面形式的选择

渠道断面形式的好坏与防渗抗冻密切相关。对于干渠类渠道应尽量采用弧脚梯形渠断面。对支渠类渠道应尽量采用弧底梯形渠断面。条件具备者最好用 U 行断面。

1) U 形渠槽衬砌断面形式，宜在小断面支渠（流量在 $0.5\sim 2.5\text{m}^3/\text{s}$ ）和斗渠、分渠上推广应用。

2) 砼弧底梯形断面衬砌形式，宜在设计流量为 $2.5\sim 10\text{m}^3/\text{s}$ 的干、支渠推广应用。

3) 对于干、支渠设计流量为 $10\sim 50\text{m}^3/\text{s}$ 的渠段，应以梯形和平底弧角梯形断面为主，对阴坡的衬砌材料以空心板为宜。

2、 管理措施

(1) 严把施工质量关

施工质量的好坏，直接关系到混凝土板的防渗效果和耐久性，因此在施工建设期间，为进一步确保施工质量，采取了如下几方面的管理措施：

① 项目法人组建各单项工程技术组与监理同时进驻工地，对工程实施全面系统的管理，各道工序按报验程序严格把关。

②为保证施工质量和工期，要求施工单位成立由主要领导为负责人的施工指挥机构，并在施工现场设置项目部，落实管理人员层层责任制，制定奖惩办法，明确企业主管领导为施工第一责任人，项目经理为现场第一责任人。

③由于项目多是旧渠改建，施工工期较短，为使工程顺利完工，确保农业用水不受影响，在施工第一现场设立项目建设部，人员分别由业主、建设、监理、设代、检测等各方专职代表组成，吃住在工地，责任落实到个人，各负其责，以便能够及时解决在施工过程中出现的各种问题。实践证明项目部在施工过程中充分发挥了核心指导作用，提高了工作效率，加快了工程进度，确保了工程质量。

(2)加强运行管理

①春、秋灌时间的调控

合理确定每年冬前停灌和开春灌溉的时间，对防止渠道冻胀也是至关重要的，根据三屯河灌区的实际情况，一般冬前停灌时间选在 11 月上旬以前，开春灌溉时间在 4 月中旬为宜。

②渠道的检查

渠道及其建筑物检查观察是掌握工程动态，保证工程安全运用的一个重要手段，不仅是制定维修养护方案的基础，也是渠道工程技术管理的重要任务。

三屯河灌区的渠道工程在运行过程中通过经常检查、定期检查、特别检查几种方式来随时发现异情以便及时、尽早在工程危情、险情出现的萌芽期把问题排除和解决好。

每年放水前、停水后各配水站工程管理人员，定期对渠道工程的渠顶、渠坡、渠底进行全面检查，重点检查渠道工程的裂缝、冲刷、隆起、冻胀等变化损坏情况，上报工程科后及时采取措施进行维修，以确保渠道的正常行水。

③渠道的及时维修

在大型灌区未续建配套以前，工程维修分为经常性维修养护和大修，自 2000 年至今，大型灌区的渠道工程逐年得到了配套，改造过的渠道维修主要侧重于经常性维修养护，工程的维修主要是根据经常性检查发现的冻胀缺陷和问题，进行日常保养维护和局部修补。

3、 渠道防渗防冻胀技术应用的经验交流

根据多年的经验和实践效果的分析，在渠道防渗、防冻工程中因地制宜地采用下列先进的技术措施：一是板的结构形式。为了进一步提高防渗防冻效果，一定要采用板膜复合形式，用膜来防止衬砌板各种裂缝而造成的大量渗漏；二是渠道断面形式。渠道断面形式的好坏与防渗冻密切相关。

(1) 现浇混凝土板采用苯板填塞施工缝可以节约放水材料的用量。苯板具有很强的伸缩性，将苯板置于伸缩性的底部，上敷聚氨酯砂浆，即达到了保护伸缩性以及适应变形的目的，又节约了材料。

(2) 采用苯板填缝，必须配合可以冷施工的聚氨酯砂浆灌缝处理，才能保证下部苯板不会被破坏，且聚氨酯砂浆在粘结性、抗老化性、防流淌以及强度上均优于其它防水油膏。

(3) 北疆天气寒冷，施工铺膜期若在秋季气温较低时，则对膜的柔韧性要求较高，有时会影响膜的焊接质量，因此选材时应充分认识到这一点。

(4) 复合土工膜防渗性能非常好，设计中应从强度和耐久性两方面来考虑。施工过程中对膜必须加强保护，否则修补较为困难。从施工经验告诉我们膜和膜焊接可以达到设计要求，也较粘结等其它方法可靠。

(5) 控制好混凝土的坍落度。混凝土的坍落度过大，则边板混凝土浇筑时，易流淌，不易成型。混凝土的坍落度过小，则混凝土浇筑时不易出浆，表面很难收光，费工费时。因此，选择一个合理的混凝土坍落度，对工程建设具有重要意义。

4、 存在的问题及建议

灌区开展渠道防渗防冻胀技术应用存在的问题，今后开展渠道防渗防冻胀技术推广应用的意见或建议。

(1) 存在施工期与灌溉期相重叠的矛盾

因大部分工程为改建工程，季节性较强，施工必须在不影响农作物用水和停止用水后进行，工期紧、任务重、投资有限，加之北疆地区上冻较早，每年有较长的寒冷季节，混凝土防渗渠道在施工中虽然采取了一定的防冻措施，冻融破坏虽有所减轻，但是衬砌防渗渠道仍会发生不同程度的冻胀破坏。

（2）秋、冬灌导致土壤含水量增加

灌区所辖的八个乡镇及三个团场因不同年份大约要在十一月上旬进行秋、冬灌和浇灌林带，这就会自内补给和增加基土的含水量，若遇上冻期提前的年份，对衬砌防渗渠道极为不利。

（3）防冻胀的方法和技术尚需进一步提高

渠道防冻胀和提高防渗效果两大问题，经过近年的实践和探索，提出了不同的衬砌板形、不同的板膜复合、板膜与保温材料复合以及弧脚、弧底梯形、U形渠等不同断面形式等，在解决冻害和提高防渗效果上都发挥了很好的作用，使渠道防渗工程技术得到了很大的提高。但渠道防渗工程涉及的因素很多，必须因地制宜，在设计、施工、管理等方面下功夫，同时，要不断创新，在新方法、新工艺、新材料上做文章，从根本上解决渠道防渗工程的抗冻胀问题，提高防渗效果。

三、新疆呼图壁河灌区渠道防渗防冻胀技术应用

(一) 灌区概况

1、地理位置

呼图壁县位于天山中段北麓，准噶尔盆地南缘。地处东经 $86^{\circ} 05' - 87^{\circ} 08'$ ，北纬 $43^{\circ} 07' - 45^{\circ} 20'$ 之间。东以洪水枯沟为界(312 国道 64km 处)与昌吉市毗邻，西与玛纳斯县接壤，南以天山分水岭与巴音郭楞蒙古自治州的和静县相望，北到准噶尔盆地古尔班通古特沙漠与塔城地区的和布克赛尔县连接。

呼图壁县南北长 258km，东西平均宽 40km，最大宽度 53km，总面积 10254.68km^2 。其中南部天山山地及前山丘陵 3559.9km^2 ，占总面积的 34.71%；中部平原 4058.3km^2 ，占总面积的 39.58%；北部沙漠 2636.48km^2 ，占总面积的 25.71%。

2、气象水文

呼图壁河灌区年平均气温 6.5°C ，极端最低气温 -36.8°C ，极端最高气温 41°C 。平原区年平均降水量 180mm。

平原地区(呼图壁气象站)最大年降水量 337.3mm(1987 年)，与最小年降水量 106.1mm(1974 年)比,相差 3.18 倍。呼图壁县平原区夏季降水量占全年总降水量的 31~43%，春季占 30~35%，秋季占 22.5~24%。春、秋两季降水量约占全年总降水量的 52.5~59%。冬季是降水量最小的季节，约为全年降水的 10%。

平原地区年蒸发量 2383.9mm。呼图壁县平原区无霜期 177 天。呼图壁河灌区平原地区最大冻土深 1.5m。

呼图壁河是灌区的主要水源，呼图壁河发源于喀拉乌成山，流经呼图壁县城，最后消失于沙漠之中，全长约 258km。

这次工作选用了《呼图壁河流域规划报告》中的数据。规划结果：石门子、卡勒格牙、青年渠首站多年平均径流量分别为 4.562亿 m^3 、 4.822亿 m^3 、 4.002亿 m^3 。

径流的年内分配。呼图壁河属于冰雪融化水和雨水混合补给的河流，径流

的年内分配极不均匀，变幅很大。以石门站为例，7-8 月径流占全年径流量的 50.10%；径流量连续最大的四个月(6-9 月)，径流量占全年的 78.5%，最小四个月(1-4 月)仅占全年径流量的 5.90%。最大月径流量是最小月径流量的 25 倍。

呼图壁河径流年际变化较小，是新疆年际变化较小的河流之一。年径流变差系数 C_v 值为 0.15，最大年径流量与最小年径流量比值在 1.71 ~ 1.95 之间，较为稳定。

呼图壁河的 PH 值为 8.4。根据国家有关标准，呼图壁河水可以作为饮用水源和发展渔业、养殖、农业灌溉等方面的用水。

呼图壁河属天山北坡中段中小河流，河水主要靠冰雪融化水和降水补给，由于中山带植被发育较好，河流含沙量较小。石门站多年平均悬移质含沙量为 0.48g/m^3 ，年均悬移质输沙总量为 22.6 万吨。输沙量主要集中在汛期，5-8 月连续四个月多年平均输沙量为 20.4 万吨，占全年输沙量的 90% 以上。

3、地质地貌

从呼图壁河的分水岭到准噶尔盆地的沙漠腹地，地形总趋势是南高北低，由东南向西北倾斜。按大的地貌单元来分，呼图壁县可分为：南部山区、中部平原和北部沙漠三大单元。

中部平原区东西宽约 50km，南北长约 102km。地形由南向北倾斜。山前冲洪积扇海拔高程 800m 以下，地面坡降 3.5% - 1.4%，坡度由陡变缓。冲洪积扇前缘海拔高程 500m 左右，地形坡降 1.4% - 0.5‰。中部细土平原区到沙漠边缘海拔高程由 500m 降到 360m，地形坡降 0.5‰-0.9‰。

4、社会经济状况

(1)农牧生产

多年来，呼图壁河灌区不断调整农村产业结构，坚持“二高一优”的发展道路，农牧业生产连年丰收。

2010 年灌区粮食作物种植面积 32.18 万亩，总产量 14.77 万吨，其中呼图壁县粮食作物种植面积 18.1 万亩，总产量 8.37 万吨。

2010 年灌区棉花播种面积 31.24 万亩，总产量 3.58 万吨，其中呼图壁县棉

花播种面积 12.78 万亩，总产量 1.39 万吨；

2010 年灌区甜菜种植面积 2.62 万亩，总产量 10.42 万吨，其中呼图壁县甜菜种植面积 2.00 万亩，总产量 6.8 万吨。

2010 年灌区牲畜年末存栏 47.71 万头，其中牲畜年末存栏 40.21 万头。畜牧业已成为灌区农村经济的支柱产业。

2010 年本灌区农牧民人均收入已达 3840 元。城乡居民储蓄存款达 4 亿元。人民生活水平不断提高，已为今后的开发建设创造了稳定的社会环境，为国民经济的腾飞奠定了坚实的物质基础。

截至 2010 年，呼图壁灌区有农用输电线路 4043km，其中呼图壁县 2409.5 km；灌区有灌溉机电井 1252 眼，配套完好的有 1172 眼，其中呼图壁县有机电井 716 眼，配套完好的有 655 眼；灌区有干、支、斗、农四级渠道 3909.3km，工程化防渗渠道 1507.41km，其中呼图壁县有干、支、斗、农四级渠道 2074km，工程化防渗渠道 1123km；灌区渠系利用系数达到 0.8。

(2)工业及其它

多年来呼图壁县通过一大批重点项目的竣工投产和对现有企业进行技术改造，企业整体素质不断提高，市场竞争力不断增强，主要产品产量大幅度增长，已初步形成了以农副产品加工和煤炭开发为龙头，食品、酿造、饲料、棉纺、针织、服装、鞋帽、皮毛加工、造纸、装璜、印刷、化工、建材、机械加工制造为一体的地方工业体系。

2010 年灌区实现工农业总产值 17.92 亿元（可比价，下同），其中工业产值 6.71 亿元。呼图壁县实现工农业总产值 10.88 亿元，其中工业产值 4.86 亿元。兵团三团场实现工农业总产值 7.04 亿元，其中工业产值 1.84 亿元。

呼图壁县位于自治区天山北坡经济开发带的中段，是自治区首府乌鲁木齐市通往伊犁、博乐、塔城、克拉玛依、阿拉山口等地州和对外口岸的必经之地。历史上就是古丝绸新北道上的重要驿站，素有“西出隘口，东进咽喉”之称。国道 312 线横穿全境。呼石公路、呼克公路、乌清国防公路以及乌奎高速公路，构成了呼图壁县便利的交通环境。

5、 渠道防渗工程现状

呼图壁县青年干渠总长 20.5km, 恢复最大设计引水能力 $45\text{m}^3/\text{s}$, 渠道断面设计采用现浇砼板、浆砌石、干砌卵石灌浆衬砌等防渗技术进行处理。

工程实施后, 可新增供水量 3318.9万 m^3 , 可有效改善地下水的超采现状, 近年来地下水年开采量为 9600万 m^3 , 通过工程的实施, 2005 年地下水开采量为 3088.9万 m^3 , 可减少地下水开采量为 6511.1万 m^3 , 地下水的开采费按 $0.037\text{元}/\text{m}^3$ 计算, 据核算可节约地下水的开采费用为 243.44 万元。

(二) 灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

灌区渠道防渗防冻多采用混凝土面板与浆砌石渠底相互结合, 实践证明, 该衬砌形式在防冲、抗渗、抗冻方面效果都很明显, 延长了渠道的使用寿命。

渠道砼面板发生冻胀破坏的原因是渠基土发生冻胀, 渠基土的冻胀与以下几个因素有关: 1) 寒冷地区的气温是否长期低于 0°C ; 2) 基土中是否存在冻结的主体: 水份; 3) 基土的物理性质, 主要包括土的颗粒组成等。以下针对这几个因素做一论述。

1、 各因素间的相互关系

我们知道渠基土中含有土壤水, 这些土壤水主要是由土粒子间填充的自由水和吸附在粒子周围的束缚水组成, 自由水的多少与粒子间空隙的大小有关, 束缚水的多少与土粒子总的表面积有关。针对渠道砼面板基土来说, 因为其多为夯实土, 粒子间隙小, 所以其含水量的大小主要与粒子周围束缚水有关。而束缚水的多少又与基土的性质有关, 即土质组成颗粒越细, 其颗粒的比面积就越大 (比面积为 1g 土体中所有土颗粒的表面积之和), 粒子所吸附的水份也就是基土的含水量就越多。这样, 当气温长时间处于 0°C 以下时, 基土中水份就会结冰, 根据水在结冰时体积增大 0.09 倍的性质, 基土的体积也将增大, 这将给其上的砼面板产生向上的推力, 如果该力足够大, 将引起砼面板在该力方向上的位移, 或使板体本身发生破裂, 翘起, 滑落, 严重的将导致渠道边坡塌陷。

2、 冻胀基土中的水份迁移原理

另外, 因为在不同土颗粒表面吸附水之间存在着电位差, 当气温长时间低

于 0℃ 时, 在该电位差和毛管水表面张力的共同作用下, 土颗粒表层的活跃水分子将会顺着温度梯度方向向土壤水冻结锋面迁移, 如果基土水份有充足的补给源, 基土冻结锋面将会产生更为严重的冻胀。因为常规冻胀量一般为原来体积的 10%~50%, 而在水份迁移的情况下, 冻结锋面上的冻胀量可达到原来体积的数倍。在重力作用下, 冻土水分垂直迁移以及毛细管水上升高度都有一定的范围, 该范围的大小与土质有关, 在此不再论述。

理论分析和工程实践证明, 粒径大于 0.1mm 的基土因其所含水分较少, 在其结冰时产生的膨胀力较小, 不足以对砗板产生破坏; 当基土粒径在 0.1mm~0.05mm 之间时, 破坏较大, 而当粒径在 0.05mm~0.002mm 时, 基土冻胀破坏最强。按照土质的分类, 粘土的冻胀破坏最强, 其次依次降低的是粉质土、亚粘土和亚砂土。

(三) 典型渠道防渗防冻胀技术措施案例分析

1、 青年渠首——青年干渠三闸地层岩性及水文地质概况

青年渠首——青年干渠三闸位于呼图壁河出山口至河流中下游一带, 在地貌上属呼图壁河冲洪积倾斜平原的顶部, 地势倾向北东, 地面坡降为 20‰-10‰。在该段, 呼图壁河河谷由窄变宽, 下游(——三闸一带), 阶地阶面变宽, 级数减少(通常为 I—IV 级), 阶地类型也变为侵蚀堆积阶地。

本区地层岩性主要为呼图壁河 I-II 级阶地 Q3-4 期卵砾石层及现代河床 Q4 期卵砾石、粉土层, 岩性比较单一, 厚度变化较大, 受区域构造影响阿魏滩渠首一带卵砾石层厚度大于 100m, 独山子渠首一带厚度仅为 10-20m, 三闸一带厚度大于 100m。

工程场区上游一带卵砾石为结构松散的含水岩组, 地下水为河道潜流, 水位埋深 0.5-2m 不等, 平均渗透系数 50-60m/d, 单井涌水量 10-15L/S; 工程场区下游一带(县城一带), 地下水类型为上部潜水, 下部承压水, 水位埋深大于 20m, 平均渗透系数 10-60m/d, 单井涌水量 5-15L/S;

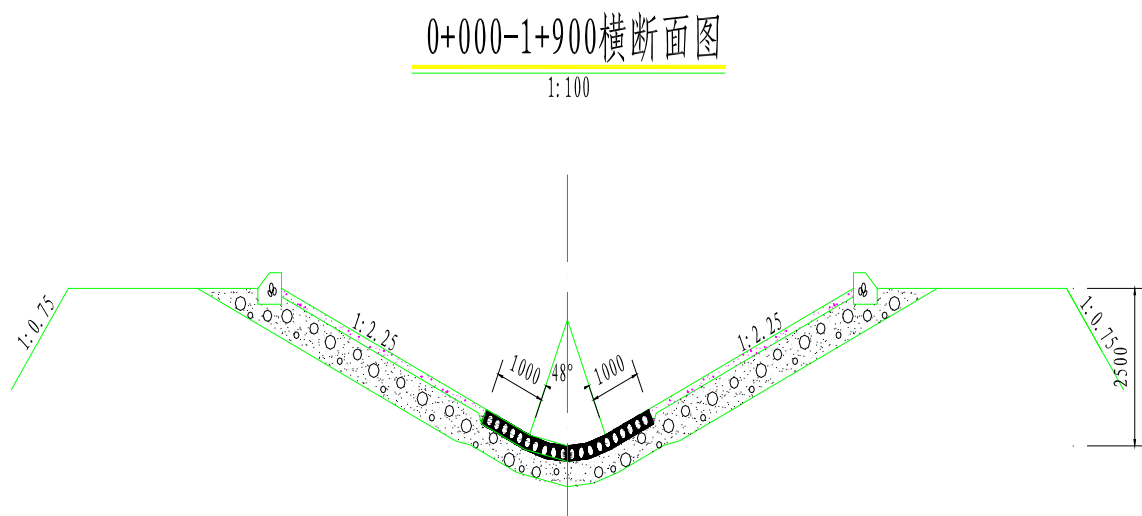
(1) 防渗措施

渠底采用 30cm 厚 C20F200 细石砼浆砌石砌筑, 护坡采用 8~10cm 厚

C20F200 砼衬砌。为提高护坡抗冲刷能力，护坡底角 30cm 范围内采用 30cm 厚的浆砌石砌筑，内外边坡系数确定为 2.25。详细设计情况见以下横断面设计标准图。

浆砌石要求最好采用鹅卵形，且大头朝下，长边垂直于水流方向，卵石之间必须保证六边靠，三角眼，最后用细石混凝土灌缝并原浆勾缝。

(2)横断面设计标准图(一)



2、 青年干渠(铁路桥以下段)地层岩性及水文地质概况

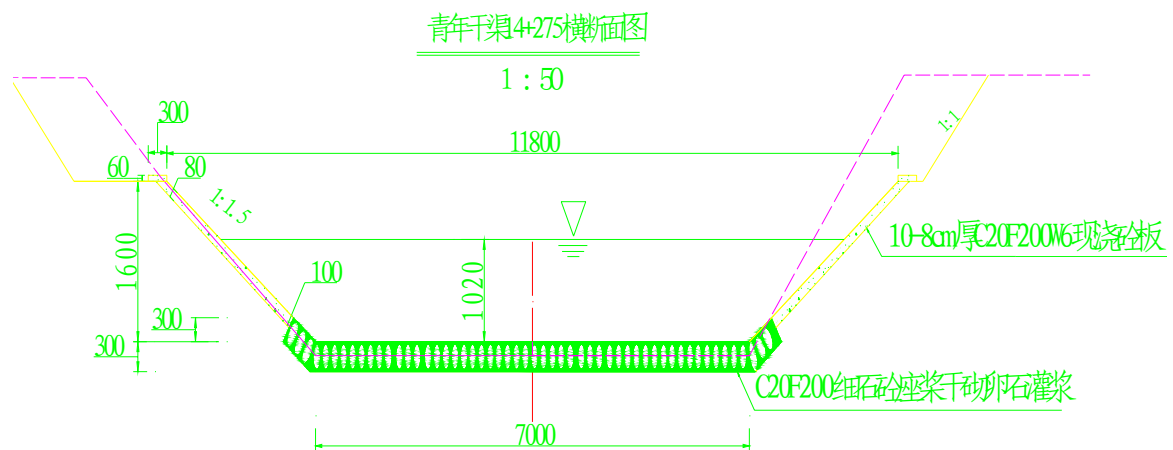
青年干渠(铁路桥以下段)渠道位于呼图壁河东岸 II 级阶地上，地形平坦开阔，地面坡降 11‰，据勘探资料，地层岩性为大厚度结构较为单一的卵石层，厚度大于 6.0m，该区地下水埋深大于 80m。本区卵石层一般为稍密中密状，内摩擦角一般为 36—40°，变形模量 E_0 为 35—40Mpa，地基土承载力标准值 f_i 为 350—400KPa，渗透系数 K 为 40—50m/d，天然容重 γ 为 2.3T/m³。根据中国第三代地震烈度区划图查得，该区地震烈度为 7.5 度，地震动峰值加速度为 0.15g，动反应谱特征周期为 0.40s。本区标准冻土深度为 1.5m。卵石层的渗透性较强，一般可达 40—50m/d。

(1)防渗措施

渠底采用 30cm 厚 C20F200 细石砼浆砌石砌筑，护坡采用 8~10cm 厚

C20F200 砼衬砌。为提高护坡抗冲刷能力，护坡底角 30cm 范围内采用 30cm 厚的浆砌石砌筑，内外边坡系数确定为 1.5。浆砌石要求最好采用鹅卵石，且大头朝下，长边垂直于水流方向，卵石之间必须保证六边靠，三角眼，最后用细石混凝土灌缝并原浆勾缝。

(2)横断面设计标准图(二)



(四) 防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

渠道的防渗防冻关系到渠道运行的使用寿命，当渠基土冻胀级别为 III、IV、V 时，槽底可设置保温层或非冻胀土置换层，防止冻胀破坏；对于刚性材料衬砌渠道的分缝要适应渠道的冻胀变形，可分为横向缝和纵向缝，对冬季输水的渠道当渠道有旁渗水补给渠床时，可在最低行水位以上设置反滤排水体，避免浸湿渠床；渠系工程防渗主要选择浆砌石渠道或混凝土渠道或二者结合的形式，运行寿命较长，维修方便。

(五) 存在的问题及建议

1、 存在的问题

通过对我区大量砼板双防防渗渠道坡坏现象的分析，按其破坏状态大致可分为以下两种：一种是砼面板破裂，翘起，滑落，严重的渠道边坡塌陷，在此类破坏过程中，砼本身的强度、抗冻、抗渗等指标改变很小或没有发生改变，

仅是砼面板的整体结构受到破坏，这种破坏我们称之为冻胀破坏；另一种情况是砼面板表面受到侵蚀，主要是砼与土壤水中的酸类、盐类等发生化学反应，然后慢慢向由外向内发展，最后板局部或整个砼板产生酥松，直到砼完全失去强度，我们称之为渠道砼面板的侵蚀破坏。两种破坏形式虽不相同，但最后都将导致渠道节水功能的下降。另外，随着渠道断面输水糙率不断变大，渠道的过水能力也会大大降低，严重的会导致整个渠道丧失输水功能。因此，在存在冻胀土的寒冷地区以及地下水对砼具有侵蚀性的地区，渠道防渗设计如果对以上问题考虑不足，势必会影响到整个工程效益的发挥。

2、 建议

当混凝土防渗层发生裂缝后，如果防渗层仍大致平整，无较大错位，裂缝较小的情况，可以运用过氯乙烯胶液涂料粘贴玻璃丝布的方法，进行修复。而对于裂缝较大者，可采用填筑伸缩缝的方法修复。对于大型渠道裂缝又较大的，可采用填塞与粘贴相结合的方法修复。具体做法如下：

预制混凝土渠道包括板和 U 型槽，其砌筑缝多采用水泥砂浆缝。砼板防渗渠道的砂浆填缝一般有以下缺点：①砂浆强度低；②施工挤压不实；③不能与砼板紧密结合，勾缝的砂浆容易脱落，有的从勾缝中长出了杂草，甚至有些小型填方渠道衬砌完后，试放水发生垮渠等破坏情况，能保持完好的工程基本很少。造成放水垮渠原因，除了土方渠道质量不好外。本人认为衬砌部分勾缝的漏水是主要的原因。为了保证工程质量，建议对砼预制板改用方形或长方形，块的大小应便于施工为宜，厚度 8~10cm 为好，板缝留 10cm~15cm 用高标号砼填塞，人工机械都能施工，要求捣出浆与砼板能紧密结合，使衬砌段形成整体，基本达到现浇的质量。对于旧渠防渗层砌筑缝的修复也可以这样处理：凿除缝内水泥砂浆块，将缝壁、缝口冲刷干净，用与混凝土板相同标号的水泥砂浆填塞，捣平抹平后，保湿养护不得少于 14 天。

四、 新疆金沟河灌区渠道防渗防冻胀技术应用

（一） 灌区概况

金沟河流域位于新疆塔城地区沙湾县境内。地理位置介于东经 $85^{\circ} 22'$ — $85^{\circ} 44'$ 、北纬 $43^{\circ} 55'$ — $44^{\circ} 28'$ 之间。金沟河灌区位于流域中下游的冲洪积扇倾斜平原及冲积平原上，地势为东南向西北倾斜，坡降在 $1/500$ — $1/200$ ，海拔高程为 420 — 600m 。属大陆性干旱气候，多年平均气温 6.9°C ，极端最低气温 -37°C ，最低月平均气温 -16.5°C ，最大冻土深度 1.8m ，多年平均最大冻土深度 1.47m 。灌区内从南往北，含水层颗粒由粗变细，岩层由一层结构过渡到双层或多层结构，透水性由大变小，潜水位由深变浅。金沟河是冰川融雪补给为主降雨补给为辅的河流，河系年均径流量 3.49 亿方，自 1958 年开发建设以来，灌溉面积已发展到 50 余万亩，是自治区粮食和棉花的主产区，全国大型灌区之一，受益单位为兵团农八师三个团场和沙湾县七个乡镇。

金沟河引水总干渠始建于 50 年代末，全长 54km ，设计流量 $10 \sim 45\text{m}^3/\text{s}$ ，坡降 $0.015 \sim 0.008$ ，流速 $3\text{m/s} \sim 7.8\text{m/s}$ ，浆砌石及砼防渗。由于地处西北严寒地区，每年冬季土体冻结，在第二年春、夏季全部融化，土壤为一年内冻融交替一次的季节性冻土，这种冻融循环对混凝土渠道及水工建筑物产生极大的破坏力。因此，渠道砼冻胀破坏严重，年年冻胀破坏，年年维修，整个砼面板已经面目全非。

金沟河灌区自 1998 年被列入全国大型灌区续建配套与节水改造规划以来，在总干渠渠道的设计施工建设中，渠道防渗防冻胀技术的应用显得尤为重要。

（二） 灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

新疆金沟河灌区渠道自 1998 年改造以来，在渠道防渗防冻胀技术应用中，贯彻因地制宜，安全可靠，经济合理和实用美观的基本原则，从渠道防渗及冻胀破坏的形式出发，认真分析渠道及渠段防渗情况、冻胀破坏的原因及过程，结合灌区渠道的现状与运行特点，在防渗方面采用塑模现浇混凝土双防、现浇混凝土单防、现浇砌筑预制板单防等形式，在防冻胀方面主要从削弱或消除冻胀，抵御或适应冻胀变形等方面采取措施。针对不同渠道及渠段采用不同的防

渗防冻胀技术措施及不同的渠道断面。总干渠 0+000-14+400 段渠道采用塑模现浇混凝土双防，断面为全开挖的梯形断面；总干渠 14+400-25+100 段渠道采用现浇混凝土单防，断面采用不拆除原渠砼板，直接在原渠上垫高的梯形断面；总干渠 25+100-37+400 段渠道采用现浇砌筑预制板单防，断面采用置换原基础半挖半填的梯形断面；金安渠采用现浇混凝土单防，断面采用半挖半填、下半部为梯形、上半部为矩形的复合断面。渠道自建设以来，现已通过 10 多年的运行，工程未发生冻胀破坏，说明渠道防渗防冻胀技术应用是成功的，防冻胀的措施是值得借鉴的。

（三）典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施案例分析

金沟河灌区渠道已运行四十年，两岸有农田段落的渠道砼冻胀是剥离冻胀和断裂冻胀，无农田段落只是砼板剥离冻胀。冻胀破坏主要原因是渠床土含水量过高造成的。渠床土含水量过高主要是灌溉水和渠道水入渗造成的。渠床土含水量过高，在土温下降到负温以后，土体孔隙中所含水份凝结成冰。由于水变成冰时，体积增大 0.09 内倍，因此土在冻结时，土体比未冻结时的体积膨胀，产生冻胀。同时，土在冻结时和在冻结持续、深化的过程中，发生水份向冻结锋面迁移，结果能使冻结锋面上冻土体积增大几倍，导致比常规冻胀更严重的冻胀，产生冻胀破坏。针对各渠道及渠段防渗情况、冻胀破坏的原因、过程及采取的防渗防冻胀技术措施分析如下：

1、总干渠

（1）总干渠 0+000-14+400 段渠道

①渠道所处位置的条件和渠道破坏的形式、原因及过程

总干渠 0+000-14+400 段渠道地质属松散卵石层，厚 200-450m，地下水位埋深 120m 左右，渠道两岸无农田，渠道砼冻胀主要降低了标号，发生了剥离。其原因在于：①由于灌区灌溉的需要，灌区每年都需进行很长时间的冬灌，其间，渠道内的水体将发生不同程度的冻结。开始，两侧形成岸冰，随着严寒的深入，冰层逐渐加厚，对两岸衬砌体产生冰压力，为了不形成冰坝，运行管理人员进行冬季打冰，长期以往，造成防渗体表面发生剥离破坏；②渠道防渗体

具有一定的吸水性，在材料输水的过程中，材料内总是含有一定的水分，这些水分在负温的作用下冻结成冰，体积发生膨胀。当这膨胀产生的应力大于防渗材料的强度时，将导致防渗材料的冻融破坏，多次反复作用后，造成防渗体表面发生冻融、剥离破坏。③50年代设计的砼抗冻标号低，同时，工程运行40多年，经过无数次的冻融循环，工程老化，砼标号降低了，抗冻标号也随之降低，所以，渠道砼在年复一年的冻胀作用下发生了剥离破坏。

②采取的防渗防冻胀技术措施、渠道断面形式及防渗防冻胀效果评价

本段渠道防渗采用塑模现浇混凝土双防，断面为全开挖的梯形断面，防冻胀是在原砼设计的基础上，提高了砼标号，采用C20F200W6砼，这样，提高了砼抗冻标号，提高了砼板自身的抗冻能力，延长了砼的使用寿命；提高了砼标号增强了抵御冻胀变形的能力，从而减小冻胀破坏。

(2)总干渠 14+400-25+100 段渠道

①渠道所处位置的条件和渠道破坏的形式、原因及过程

总干渠 14+400-25+100 段渠道水文地质条件同上，但渠道两岸是农田，砼冻胀非常严重，渠道砼板基本上全部断裂破碎。根据观测渠道多年的使用情况，可知造成冻害的主要原因有两点，一是基土的含水量高，尤其是渠道靠水面线以下部分。渠道两岸是农田，属于挖方断面。基土中的含水主要来源于灌溉水、渠道水入渗及大气降水下渗。渠道砼边板以水面线(灌溉水入渗和渠道水下渗交汇处)为分界线，分为上、下两部分。在这两部分中，上半部分补给水源少，其含水量远远小于下半部分的含水量。二是戈壁垫层失效，由“非冻胀性土”变成“冻胀性土”。在农田灌溉水入渗的渗透力作用下，土壤中的细颗粒被带入到渠道垫层中，随着垫层土量的增加，戈壁垫层就慢慢失效，由“非冻胀性土”变成“冻胀性土”。

基土具备上述两个因素后，在气温下降至 0°C 以下时，渠道停水后，基土中的含水不能及时下渗到低于冻土临界含水量，基土发生冻胀。其中，基土的下半部分要比上半部分冻胀严重，渠道砼边板受到垂直于它的法向冻胀力，下半部要比上半部大。随着冻胀的不断加剧，渠道旁边灌溉水下渗水份,从未冻土层穿过正在冻结的土层,源源不断的向冻结锋面迁移,使其砼边板下半部分所产

生的冻胀力越来越大，上、下部分所受法向冻胀力差值越来越大，当此差值大到超过砼边板抗剪强度时，砼边板就会被剪断。第二年，渠水从断缝中渗入垫层，下半部分变成饱和土，由于上半部土的容重大，滑动力 $T=Wsina=\gamma Hsina$ 大，下半部土的容重小，抗滑力 $T=Wcosatg\Phi=\gamma'Hcosatg\Phi$ 小，在渠道停水后，整个饱和土往下滑。加之，渠水中悬移质粘粒渗入垫层，加速了垫层的失效。在经过冻胀，砼边板上、下错位；同时，春天在融雪水渗透力的作用下，整个基土往下滑动，经过无数次的冻融循环，逐渐形成“靠背椅子”。随着运行年代的推移，冻胀破坏就更加严重，使得此段渠道全部冻胀断裂破坏。

②采取的防渗防冻胀技术措施、渠道断面形式及防渗防冻胀效果评价

本段渠道防渗采用现浇混凝土单防，断面采用不拆除原渠砼板，直接在原渠上垫高的梯形断面，防冻措施主要包括：

- 原砼板不拆除，作为防渗层。这样，既减少灌溉水入渗量和基土含水量，又防止垫层失效和在冻结过程中产生水份迁移；既减少环境污染，又降低工程投资。
- 接在原渠上用戈壁砂砾石垫高，戈壁砂砾石是非冻胀性土，可以显著地减少冻胀量，同时，戈壁砂砾石透水性强，灌溉停水后，可加速基土中水份排除或疏干，从而降低了冻结前基土含水量。另外，直接在原渠上用戈壁砂砾石垫高，可减少灌溉水入渗量，减少冻胀破坏。
- 置排水设施，排除渠水渗入垫层的水，采用内径 $d=16\text{cm}$ 的 UPVC 管作为排水管，排水管上布梅花形孔，孔径为 0.5cm ，孔距为 10cm ，采用 300g/m^2 的无纺布包裹，并用铁丝扎紧。这样渠道渗入基土中的水能很快通过戈壁砂砾石垫层汇聚到排水管中，顺排水管排除，使基土中的水不聚集，含水量不在增加，从而不发生冻胀（当基土中的含水量小于冻胀临界含水量时）和削弱冻胀。
- 板分缝，适应砼板断裂。在以往渠道设计中，衬砌板分缝主要是考虑温度应力及基土的不均匀应力的作用，从而对衬砌砼板进行横向分缝。金沟河总干渠改建，在防冻胀设计中，充分考虑到基土法向冻胀力的作用，结合砼边板冻胀破坏的位置，主要集中在水面线以上 $20\text{-}30\text{cm}$ 处。设计时，除了底板每 3m 设一横缝、边板每 2m 设一横缝外，还在每块边板水面线以上 15cm 及 30cm 处分别设一纵缝，形成错缝，缝宽 1.5cm ，缝内用高压闭孔板填缝， 1.5cm 厚的原浆封口。这样，进行边板在水位变化区纵向分缝，在渠道衬砌结构中，适应或消减冻胀变形，同时，延长垫层的使用寿命，从而减少冻胀破坏。

(3)总干渠 25+100-37+400 段渠道

①渠道所处位置的条件和渠道破坏的形式、原因及过程

总干渠 25+100-37+400 段渠道，基土中的含水来源、渠道冻胀破坏的原因及过程同上。但此段渠道基土地质岩性为含卵石的砂砾石层，中粗砂、粉细砂，岩性颗粒相对较细，属“强冻胀性土”（土颗粒粒径在 0.05mm-0.0002mm 之间的土），这样，在同一水源补给下，这段渠道基土的含水量要比上段渠道基土的含水量要大得多，此段渠道冻胀破坏显然更加严重。

②采取的防渗防冻胀技术措施、渠道断面形式及防渗防冻胀效果评价

本段渠道防渗采用现浇砌筑预制板单防，断面采用置换原基础的半挖半填的梯形断面，防冻措施主要是根据冻深计算，把渠床冻结深度以内的冻胀土壤更换为非冻胀土，如砂砾料。效果表现为：**a.减少冻胀量。****b.戈壁砂砾石透水性**强，灌溉停水后，可加速基土中水份排除或疏干，从而降低了冻结前基土含水量。**c.渠道断面为可半挖半填，减少灌溉水入渗量，减少冻胀破坏。****d.渠道**防渗为现浇砌筑预制板单防，局部冻胀破坏后，能在较短时间内维修，运行管理方便。

2、 金安渠

(1)渠道所处位置的条件和渠道破坏的形式、原因及过程

金安渠的地质条件、冻胀破坏的原因及过程与总干渠 0+000-14+400 段渠道相同，主要是冬天要引水，渠道冻胀破坏比总干渠 0+000-14+400 段渠道严重。

(2)采取的防渗防冻胀技术措施、渠道断面形式及防渗防冻胀效果评价

本渠道防渗采用现浇混凝土单防，断面采用半挖半填、下半部为梯形、上半部为矩形的复合断面。防冻胀措施与总干渠 0+000-14+400 段渠道相同，其效果不同，主要表现为一是渠道下半部为梯形、上半部为矩形，冬天引水流量稳定，水位线都在矩形断面上，减少了结冰量，相应减少了冻胀破坏；二是渠道半挖半填、下半部为梯形、上半部为矩形，冬天运行打冰方便，人员安全。

(四) 防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

新疆金沟河灌区渠道自 1998 年改造以来，通过几年对灌区节水改造工程的

改建，金沟河灌区工程状况有了明显改观，运行条件有了很大的改善，并在渠道防渗防冻胀工程设计、施工管理及技术要求、工程运行管理等方面积累了一定的经验，体会也颇多。

1、渠道防渗防冻胀工程设计

(1)打破常规，同一灌区渠道或同一条渠道采用不同的防渗防冻胀技术和不同的渠道断面

总干渠 0+000-14+400 段渠道采用塑模现浇混凝土双防，断面为全开挖的梯形断面；总干渠 14+400-25+100 段渠道采用现浇混凝土单防，断面采用不拆除原渠砬板，直接在原渠上垫高的梯形断面；总干渠 25+100-37+400 段渠道采用现浇砌筑预制板单防，断面采用置换原基础的半挖半填的的梯形断面；金安渠采用现浇混凝土单防，断面采用下半部为梯形、上半部为矩形的复合断面。

(2)优化设计，积极推行新技术

金沟河渠道冻胀非常严重，在渠道的改建设计中考虑引起冻胀的各种因素，设计时采取不拆除原渠砬板，直接在原渠底上用戈壁砂砾石垫高，最大限度的利用现有工程，原衬砌层既可作为渠床的基础，又可以作为防渗层阻断根地渗水进入垫层，这样可以减少基土含水量，防止水份迁移和垫层失效，减少冻胀量；在渠底垫层下设 UPVC 排水管，排水管梅花状行孔，管外无纺布包裹，纵向排水管收集的渗水在适当地形横向排出；边板中部增设横向分缝，错峰布置，适应砬断裂；提高砬标号等措施。从消弱或消除冻胀，抵御或适应冻胀变形几个方面解决冻胀问题。

(3)方案确定充分考虑工程运行管理方面的要求

金沟河金安渠有冬引水的要求，冬季引水存在渠道水流结冰的问题，处理不好会影响到渠道的运行安全。每年冬引都要组织大量的人力、物力进行打冰处理。通过对矩形渠道和梯形渠道冬季运行的观测，发现矩形断面的渠道水流结冰量远小于梯形断面渠道结冰量。在进行人工打冰时，矩形渠道比梯形渠道便于操作，有利于工作安全。在有冬引水要求的渠道设计上，不仅考虑冻胀磨损的问题，还考虑建成后运行管理的方便，渠道断面设计采用复合式断面，底

下梯形断面，上部为矩形断面；

2、 施工管理及技术要求

施工质量的好坏，直接关系到混凝土板的防渗效果和耐久性，因此在施工建设期间，金沟河流域管理处为进一步确保施工质量，采取了如下几方面的管理措施：

(1)建立和落实工程质量责任制

金沟河灌区改建工程参与各方实行项目负责制，要求各参建单位严格遵守国家有关工程质量控制的法律法规，建立健全质量控制管理体系，严格按照水利基本建设规程、质量管理规定、施工技术规范组织施工。

(2)落实监理制，充分发挥监理质量控制职能

金沟河灌区改建工程充分发挥监理质量控制职能，重点抓监理的质量意识，强化事前控制，对现场监理的质量控制重点提出严格要求。工程施工过程中，从总监到监理员全部住在施工现场，随时掌握施工单位的施工质量动态和施工单位体系运转情况，每个环节都有监理人员旁站，主要工序施工如混凝土浇筑实行 24 小时旁站监理；监理人员尊重客观事实，尊重科学，坚持原则，不合格的材料、产品坚决清理出场，把质量隐患消灭在萌芽状态。同时加强制度建设，下发《工程质量管理规定》，对材料、工序的检查制定了详细的规则，发现问题除进行返工外同时进行罚款，所罚款项全部奖励优秀的施工班组，奖优罚劣，收到了显著效果。

(3)建立、完善质量保证体系

建立了项目法人负责、监理单位控制、施工单位保证、政府部门监督的质量保证体系，同时，为了确保工程质量，对每一项工程都制定了明确的质量目标和质量改进计划，并将具体的目标任务落实到有关部门和个人，建立健全了各级参建人员的质量责任制和保证质量的各项管理制度，并经常组织质量管理小组围绕质量目标开展质量改进活动。项目法人组建各单项工程技术组与监理同时进驻工地，对工程实施全面系统的管理，各道工序按报验程序严格把关。

(4)开展质量大检查活动

开展质量大检查活动是提高质量意识、促进质量全面提高的有力手段。在建设过程中，由金沟河流域管理处组织各有关部门参加，定期对工程质量实行“联检”，对施工单位进行量化打分，评选出施工质量好，进度快的单位，进行奖励，对施工质量差，严重影响工程进度的单位进行通报批评或罚款，使施工单位的质量意识大大提高，并通过互相观摩、互相学习，达到了交流经验、取长补短以共同提高的目的。

3、 运行管理

(1)春、秋灌时间的调控

合理确定每年冬前停灌和开春灌溉的时间，对防止渠道冻胀至关重要，金沟河流域管理处根据金沟河灌区的实际情况，冬前停灌时间选在 11 月上旬，开春灌溉时间在 4 月初为宜。

(2)渠道的检查

渠道及其建筑物检查观察是掌握工程动态，保证工程安全运用的一个重要手段，不仅是制定维修养护方案的基础，也是渠道工程技术管理的重要任务。

金沟河流域管理处的渠道工程检查分为经常检查、定期检查、特别检查。

定期检查是每年放水前、停水后由基层站队协同相关科室人员，对渠道工程的渠顶、渠坡、渠底进行全面检查，重点检查渠道工程的裂缝、冲刷、隆起、冻胀等变化损坏情况，并及时采取措施进行维修，以确保渠道的正常行水。

(3)渠道的及时维修

冻胀现象往往一年比一年严重，不及时治理，将导致渠道更为严重的破坏，金沟河流域管理处的维修遵循“重伤不拖延，轻伤不放过，合理安排、逐步解决”的原则进行。在大型灌区未续建配套以前，工程维修分为经常性维修养护和大修，自 1998 年至今，大型灌区的渠道工程逐年得到了配套，渠道的维修侧重于经常性维修养护，主要是根据经常性检查发现的冻胀缺陷和问题，进行日常保养维护和局部修补。

（五） 存在的问题

1、 存在施工期与灌溉期相重叠的矛盾

因大部分工程为改建工程，季节性较强，施工必须在不影响农作物用水和停止用水后进行，工期紧、任务重、投资有限，加之金沟河灌区上冻较早，每年有较长的寒冷季节，混凝土防渗渠道在施工中虽然采取了一定的防冻措施，冻融破坏虽有所减轻，但是衬砌防渗渠道仍会发生不同程度的冻胀破坏。

2、 秋灌导致土壤含水量增加

金沟河灌区所辖的兵团农八师三个团场和沙湾县七个乡镇，一般约在十一月上旬进行秋灌和浇灌林带，这会增加渠基土的含水量，若遇上冻期提前的年份，对衬砌防渗渠道极为不利。

3、 防冻胀的方法和技术尚需进一步提高

金沟河灌区虽根据自己实际情况及经济实力，采取了防止基土冻胀的方法，但每一种方法都不是也不可能是十全十美，冻胀措施的采取也不是一劳永逸的。

五、 内蒙古河套灌区渠道防渗防冻胀技术应用

(一) 河套灌区概况

1、 灌区地理位置

黄河内蒙古河套灌区位于内蒙古自治区西部、黄河上中游内蒙古段的北岸冲积平原，地理坐标为北纬 $40^{\circ} 19' \sim 41^{\circ} 18'$ ，东经 $106^{\circ} 20' \sim 109^{\circ} 19'$ ，西与乌兰布和沙漠相接，东至包头市郊区，南至黄河，北抵阴山山脉的狼山及乌拉山，灌区横跨巴彦淖尔市的 7 个旗县区，东西长 200 余 km，南北宽 40~60km，灌区总土地面积 1679.31 万亩，现灌溉面积 861.54 万亩，是我国最大的一首制自流引黄灌溉区和全国三个特大型灌区之一。

2、 水文、气象及水资源条件

(1) 水文条件

① 黄河

河套灌区南缘为黄河，是河套灌区主要灌溉水源，经三盛公水利枢纽调节控制后，由与黄河并行的总干渠向灌区供水。据磴口水文站实测年径流资料统计，多年平均径流量 259.6 亿 m^3 ，黄河多年平均悬移质输沙量为 0.890 亿 t，多年平均含沙量为 $3.46\text{kg}/\text{m}^3$ 。

黄河巴彦淖尔市段属黄河上游地区，地处黄河流域最北端，全长 340km，西起磴口二十里柳子，东至乌拉特前旗池家圪堵，占内蒙古黄河干流总长的 47%。国家重要设施包兰铁路、拉丹高速公路、110 国道、京兰国防通讯线路、京呼银兰光缆通讯、输变电路及输水大动脉总干渠均紧贴黄河大堤，形成七线并行之势。

据黄管局资料，黄河水封冻日期一般在 12 月 10 日至 25 日，解冻日期一般在翌年 3 月 10 日至 20 日，封冻期为 90~110 天左右。每年 3 月 20 日左右黄河出现凌汛，4 月中旬凌汛结束，4 月底至 5 月初正是灌区头水灌溉期。黄河水质优良，矿化度在 $0.5\text{g}/\text{L}$ 左右。

② 乌梁素海

乌梁素海位于巴彦淖尔市乌拉特前旗境内，地处黄河河套灌区东端，地势最

低，北侧与狼山洪积扇相接，东侧与乌拉山洪积阶地相连，是黄河流域最大的淡水湖和自治区第二大淡水湖泊。在我国湿地、荒漠及动物物种三大生态系统保护中均具有十分重要的地位。

乌梁素海南北长约 40km, 东西宽 5~10km, 海水位控制高程 1018.5~1019.0 m。水面面积约 45 万亩，最大水深 2.5m 左右，小于 0.7m 的水面占总水面面积的 85%，湖水较浅，蓄水量约 3 亿 m^3 。

乌梁素海是有径流条件的湖泊，湖水的补给源主要是河套灌区的灌、排水及山洪水，据统计灌排渠系年入湖水量占湖水总补给量的 86%。此外还有大气降水、山洪水及地下径流的补给。从水文测验资料分析，湖水总体流向为由北至南。根据多年统计资料，河套灌区排入乌梁素海水量(1987~1997 年)年均 6.18 亿 m^3 ，包括降水及山洪水量，乌梁素海从西山咀排入黄河水量 2.42 亿 m^3 ，湖水年均蒸发量 3.11 亿 m^3 。

(2)气象

河套灌区地处大陆性干旱、半干旱气候带，具有显著大陆性气候特征。冬季严寒少雪，夏季高温干热，降雨量少，蒸发量大，干燥多风、日温差大、日照时间长，无霜期短，土壤封冻期长，属于无灌溉即无农业地区。灌区年降水量 139~222mm，年蒸发量 1999~2346mm，年平均气温 6~8℃，自东向西升高，平均相对湿度 40~50%。年封冻期 5~6 个月，最大冻结深度 1.0~1.3m。封冻期由 11 月中下旬至翌年 4 月，无霜期 135~150 天，全年日照期 3100~3300 小时。

①降水

降水量在年内变化较大，分配极不均衡。灌区多年平均降水量 163.8mm，降水区域分布有明显的东西分带性，自东向西递减，由于受季风的影响，夏秋两季（6~11 月）降水量占全年降水量的 85%以上，春季降水量占 10~20%。

②蒸发量

灌区多年平均蒸发量在 2194.5mm，蒸发量是降水量的 10~16 倍，并自东向西递增。年内蒸发量变化较大，以春末夏初蒸发量最大，冬季蒸发量较小。

③气温及土壤冻结

灌区年均气温 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ ，月平均最高气温在 7 月份、最低在 1 月份，初霜日在 9 月下旬，终霜日在 4 月上中旬，平均无霜期 $135\sim 150$ 天。土壤封冻期长达 180 天，封冻期在 11 月下旬至下年 4 月，土壤冻结厚度在 $1.0\sim 1.3\text{m}$ 左右，土壤完全解冻融通在第二年 5 月中旬，即在小麦灌头水时才能融通。

④风

灌区风多、风力强，全年以西风和西北风为主，每年春冬两季为本区风季，冬季风力强，春季持续时间长，多年最大月平均风速 19.6m/s ，全年风沙日 $47\sim 105$ 天，强烈的春季季风是造成灌区蒸发的主要原因之一。

(3)水资源条件

河套灌区的水资源主要是过境的黄河水。黄河水量丰富，年均过境径流量约 296.9 亿 m^3 ，水质优良，为 HC03-Ca 型，矿化度 $<1\text{g/L}$ 的优质淡水。自从 1961 年在黄河上建成三盛公拦河闸和总干渠引水枢纽工程以后，灌区相继建成了总干渠、干渠、分干渠、支渠、斗渠、农渠、毛渠等七级输配水灌溉系统和相应的排水系统。

河套灌区的地下水主要依靠引黄水的入渗补给，其次为大气降水入渗和北部狼山、乌拉山的侧向径流补给。受传统用水方式的影响，河套灌区地下水的开发利用，在过去仅限于城镇生活用水、农村人畜饮水和工业用水，近些年在乌兰布和灌域、乌北灌域、三湖河灌域等地小面积的发展了一些井灌。

3、水文地质与工程地质条件

(1)灌区地质概况

①地层

河套灌区第四系地层广泛分布，厚度大于 1000m ，由于地质构造、古地理环境和地貌条件的控制，第四纪沉积物在不同地貌单元及不同地质时期，其成因、岩相和岩性，具有不同的特征。

②地质构造

河套平原在地质构造上属于华北地台（一级）鄂尔多斯台向斜（二级）的

一部分，为一形成于中生代侏罗纪晚期的断陷盆地（三级）。

③地震

河套灌区属华北地震区，阴山～燕山地震亚区，河套断陷地震活动带。该区新构造运动表现十分强烈，地震活动的特点是频度高、强度低。根据《中国地震动参数区划图》GB18306--2001，陕坝～磴口一带地震动峰值加速度为0.20g，相应地震基本烈度为Ⅷ度；其它地区地震动峰值加速度为0.15g，相应地震基本烈度为Ⅶ度。

(2)区域水文地质条件

河套灌区地处干旱气候带，地质构造上为长期下沉的封闭断陷盆地，在漫长的地质时期中，一直为湖水所占据，这种自然条件控制着地下水的形成和分布，因此使河套灌区具有明显的干旱气候带沉降盆地型水文地质特征。

①含水层分布规律

河套灌区含水层的分布主要受以湖相为主的古地理环境和黄河泛滥改道冲积的影响。由于不同地质时期的古气候、古地理环境、沉积相和新构造运动的控制，使含水层在水平方向上及不同深度的分布形态、发育程度以及水文地质特征有所差异。

区内含水层是多层叠置，几何形态复杂，多种成因类型的含水地质体。其中第四系上更新统含水层厚度最大，分布最广，供水意义较大。其次第四系中更新统含水层厚度也较大，在山前和隆起区分布较广，埋藏较浅，有一定的供水意义。

②地下水补给、径流、排泄条件

地下水的补给、径流主要受气候、地貌、水文地质条件和人为活动的控制。河套平原是一个地处干旱气候带的引黄灌区，地形平缓，含水层颗粒细，降水稀少，蒸发强烈，引黄量大。这些因素对地下水的形成和运动有深刻的影响。

A、地下水的补给条件

在地下水的形成条件上，具有区域性的主要补给因素是引黄的入渗补给，其次为降水入渗补给。除蒸发蒸腾外，大量引黄水入渗补给浅层地下水，形成地下水的主要补给来源。

B、地下水的径流条件

河套平原地形平缓，含水层颗粒细，水力坡度小，地下水径流条件较差，地下水主要靠垂向入渗补给，以垂直蒸发消耗。因此地下水的运动以垂直交替为主要特征。

C、地下水的排泄条件

河套平原在地形及地质构造上均为一个封闭的盆地，地下水无水平排泄出路。区域地下水流向自西南向北东和自西向东，地下水排向扇前洼地和乌梁素海，构成地表水和地下水的局部排泄带。在天然状态下，区内无统一排泄带，唯一的排泄途径是蒸发消耗，因而使河套灌区具有以垂直交替为主的地下水运动规律。

近年来，随着河套灌区排水系统的建设，对排泄地下水发挥了重要作用。区内目前地下水开采水平较低，仅限于解决人、畜用水和部分工业用水。在总排干沟以北、三湖河和一干灌域，近年发展了部分井灌，地下水开采量在逐年增加。

③地下水动态特征

灌区地下水动态受气象因素和引黄灌溉的影响，表现出明显的季节性周期动态变化。根据多年动态观测资料，全灌区枯水期水位埋深在 2.03 ~ 2.64m，丰水期水位埋深在 0.93 ~ 1.20m，多年平均水位埋深在 1.65 ~ 1.71m，多年平均水位变幅在 1.01 ~ 1.49m。

④地下水化学条件

河套平原的地质构造及水文地质条件，决定了灌区咸水分布较广，加之后期的改造作用，使区内地下水水质分布变的更为复杂。

A、咸淡水分布规律

咸淡水在水平方向上往往有渐变和突变两种形式，一般以渐变为主，自咸水带向淡水带，矿化度降低，水化学类型也有相应变化。高矿化盐卤水向淡水由于递变迅速，过渡带很窄，常以突变形式过渡。

B、地下水化学的基本特征

由于地下水的溶滤作用、混合作用、浓缩作用以及与周围介质的离子交换等多种水化学作用，随着径流条件变差，地下水矿化度逐渐增高，水化学类型

由低矿化的 HCO_3 型渐变为高矿化的 $\text{CL}\cdot\text{SO}_4$ 或 CL 型水,表现了盐份分带以堆积为主,尤以灌区下游表现明显,干旱气候带沉降盆地的典型离子 CL 和 Na 富集,而以 $\text{CL}\text{-Na}$ 型或其淡化型水广泛分布。

(3)工程地质条件

河套灌区上部地层为第四系全新统,根据岩性特征可分为上下两组,上部岩性以砂壤土、壤土和粘土为主,下部岩性为粉砂、细砂,局部为中砂,具典型的上细下粗二元结构。

4、 社会经济状况

河套灌区是巴彦淖尔市经济社会发展的核心区域,共涉及 9 个旗县区和 19 个国营农牧场,其中巴彦淖尔市有 7 个旗县区,即磴口县、杭锦后旗、临河区、五原县、乌拉特前旗、乌拉特中旗、乌拉特后旗。共有 108 个乡镇、农场、站,另外,还包括伊克昭盟的 1 个乡,阿拉善盟的 1 个农场。灌区内现有总人口 177.023 万人,其中:农业人口 117.53 万人。按农业人口计,人均灌溉面积 7.3 亩。

河套灌区是国家及内蒙古自治区重要的商品粮基地之一,是巴彦淖尔市农业经济的支柱,农业生产以农作物种植业为主。种植业中以粮食为主,经济作物占有重要地位。粮食主要有小麦、玉米、糜黍、豆类等,经济作物以葵花、番茄、甜菜为主,另外还有黑瓜籽、瓜果、枸杞、啤酒花等。由于气温影响,农作物种植一作有余,二作不足,复种指数很小,套种比例较大为 32%。河套灌区种植业比较发达,农副产品丰富,具有发展畜牧业的优势。

河套灌区的灌溉农业是巴彦淖尔市国民经济赖以发展的基础,随着农业的发展,交通、电力、机械、食品加工等行业得到相应发展。包兰铁路、京~藏高速公路及 110 国道横贯河套平原,市内公路遍及城乡,四通八达,形成了以临河区为中心向各旗县和乡镇辐射的交通网络。灌区东部乌拉特前旗有装机 20 万 KW 的火力发电厂,是呼包电网的组成部分,已并入西北电网。灌区内电网纵横,乡镇都已通电。随着灌区农业生产的不断发展壮大,农业生产条件有了明显改善。

现在灌区的工业、农业、交通、通讯、城市建设等方面都有较大的发展,

临河区是巴彦淖尔市行政公署所在地，也是全市政治、经济、文化、交通的中心。

5、灌区渠道防渗工程现状

截至 2009 年项目，经自治区发改委、水利厅批复的防渗衬砌建设内容为：衬砌杨家河、义和、永济、长济、东风分干渠等 19 条支渠以上骨干渠道 145.01km。

（二）河套灌区衬砌工程采取防渗防冻措施的必要性

1、渠道衬砌工程采取防冻胀设计是国家技术规范的要求

根据《渠系工程抗冻胀设计规范》SL23-91 中第 1.0.2 条的要求，在标准冻深大于 30cm 地区的衬砌渠道必须进行抗冻胀设计，在《渠道防渗工程技术规范》中第 6.7.4 中要求，对于大中型衬砌渠道设计应结合保温、置换非冻胀性土等措施。

2、地区特点决定了河套灌区渠道衬砌工程必须采取防冻胀设计

（1）气候特点

内蒙古河套灌区地理位置为北纬 $40^{\circ}12'$ ~ $41^{\circ}20'$ ，东经 $106^{\circ}10'$ ~ $109^{\circ}30'$ 之间，属季节性冻土区。据当地气象资料，河套灌区多年平均气温 7.0°C ，冻结指数（负积温）在 $600 \sim 1100^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，土壤冻结期一般从 11 月中旬开始，至翌年 4 月下旬融通，冻结深度 $80 \sim 140\text{cm}$ 左右。形成了渠道基土产生冻胀的气候条件。

（2）土质特点

据内蒙古水文地质大队勘探资料，河套灌区 2.5m 深包气带范围内以重粉质壤土和重粉质砂壤土为主，粉粘粒（粒径 $< 0.05\text{mm}$ ）含量都在 65% 以上，属于强冻胀性土质。

（3）地下水的特點

灌溉引水量直接影响地下水位的涨落，影响了土壤含水率高低。每年 9 月下旬至 11 月上旬的秋浇是河套灌区必要的一次储墒灌水，此时灌区地下水位最高（埋深最浅），灌区地下水平均埋深在 $50 \sim 100\text{cm}$ 左右，因此造成灌区土壤

含水率较高，土层 20cm 以下的土壤含水率都在 25%左右，超过了土壤起始冻胀含水率。在冻结过程中，地下水位与冻结锋面几乎同步下降，从下层土壤向冻结锋面的水分迁移非常明显，为土壤产生强冻胀提供了水分条件。

上述河套灌区区域性的特点，同时具备了使土壤产生冻胀的温度、土质、水分条件，冻胀敏感性的土壤在水热耦合共同作用下形成了强冻胀区域。

3、研究成果证实了河套灌区渠道衬砌工程必须采取防冻胀设计

为揭示河套灌区区域性冻胀规律，探讨河套灌区适宜的渠道衬砌结构形式，自 1987 年起，河套灌区管理总局及内蒙古水利科学研究院等单位对灌区冻胀规律、各级渠道适宜的渠道衬砌结构形式及防冻胀措施进行了长期系统的观测及研究，主要观测成果有：

(1)在 1991 ~ 1994 年完成了“河套灌区季节冻土区域冻胀规律及其冻胀分类研究”，其中对不同地下水埋深条件下地表冻胀量进行了测试：当地下水埋深在 0 ~ 50cm 时，地表冻胀量达到了 15 ~ 17cm。

(2)在 1999 ~ 2001 年完成了“内蒙古河套灌区节水改造工程综合节水技术试验与示范研究”，在 2002 ~ 2004 年完成了内蒙古河套灌区节水改造综合技术试验监测与示范推广”项目，分别在杨家河干渠、永刚分干渠、西济支渠的衬砌段落建立了冻胀观测试验场，重点研究了不同级别、不同走向的衬砌渠道采取保温防冻胀的方案。试验进行了三个冻融周期的观测，其中未采取保温措施的试验段主要观测成果如下：

杨家河干渠为南北走向，渠道阴、阳坡不明显，但渠道不均匀冻胀强烈，阴坡最大冻胀量为 25.9cm，阳坡最大冻胀量为 10.2cm，封顶板最大冻胀量为 11.9cm。

永刚分干渠为东西走向，渠道阴、阳坡明显。在三个冻融周期的观测中，渠底最大冻胀量达到 21.9cm，阴坡最大冻胀量为 13cm，阳坡最大冻胀量为 4.6cm，阴坡齿墙最大冻胀量为 11cm，阳坡齿墙最大冻胀量为 4.2cm。

西济支渠为南北走向，渠道阴、阳坡不明显。在三个冻融周期的观测中，渠底最大冻胀量达到 16.4cm，阴坡最大冻胀量为 8.9cm，阳坡最大冻胀量为 8.6cm。

由以上观测成果可见，未采取保温措施处理的衬砌渠道都发生了很大的冻胀变形，而且在渠道基土消融后，都不能完全复位，甚至存在较大的残余变形。这些试验段经过几个冻融周期冻胀和融沉交替，已经产生了边坡塌陷、滑坡等现象。然而，在采取了不同厚度保温措施处理后的试验段落，平均每厘米厚保温板（密度为 20kg/m^3 ），可提高基土温度 $0.7\sim 1.8^\circ\text{C}$ ，减少冻深 $5\sim 11\text{cm}$ 。渠道冻胀量得到大幅度的削减或已完全消除，衬砌渠道未受冻胀破坏。由试验数据建议：在河套灌区，东西走向的衬砌渠道上阴坡保温板的厚度不宜小于 10cm ，阳坡保温板的厚度不宜小于 5cm 。在南北走向的衬砌渠道上阴、阳坡不明显，保温板的厚度宜在 8cm 左右。

大量研究成果及近年实施的节水改造工程（有保温措施）表明：在河套灌区衬砌渠道中采用聚苯乙烯保温板防止渠道冻胀是非常必要的，效果非常明显，与换填风积砂等其他防冻胀措施相比，效益费用比最合理。

（三）河套灌区节水改造工程渠道防渗防冻措施应用情况

1、河套灌区节水改造工程渠道防渗结构形式

灌区渠道衬砌段采用全断面聚乙烯膜防渗，全断面混凝土预制板做保护层。这种结构形式防渗效果好，渠道输水糙率较小，施工简单。

渠道衬砌防渗层采用全断面铺设 0.3mm 厚聚乙烯膜料，膜上采用 $40\text{cm} \times 60\text{cm} \times 6\text{cm}$ 或 $50\text{cm} \times 70\text{cm} \times 8\text{cm}$ 长方形混凝土预制板和弧形底混凝土预制板做保护层，混凝土预制板的强度等级为 C25，抗冻等级不小于 F200；混凝土预制板与膜料之间设 3cm 厚 M10 砂浆过渡层，混凝土预制板铺砌的砌筑缝宽为 2.5cm ，用 M15 水泥砂浆勾缝。

封顶板采用与坡面顶层预制为整体的 C25 混凝土预制构件，并且将膜料从封顶板向外延伸 0.3m ，封顶板外侧设路缘。

2、河套灌区节水改造工程渠道防冻胀结构形式

灌区节水改造工程骨干渠道选用聚苯乙烯保温板做为保温材料，它具有自重轻，强度高，吸水性能低，隔热性能好，运输、施工方便且削减冻深和冻胀效果好等优点。根据灌区渠道防渗衬砌工程抗冻胀试验观测，采用聚苯乙烯保

温板防冻保温，能够满足渠道衬砌工程的抗冻胀要求。保温板厚度阴坡为 8~10cm，阳坡为 6~8cm。

田间渠道采用换填风积砂的保温措施。风积砂换填厚度 20~30cm。

3、灌区衬砌防渗防冻措施应用情况及效果

通过灌区续建配套与节水改造工程的实施，灌区净引水量从 1998 年前的平均 52 亿 m^3 左右减少到近年的 49 亿 m^3 左右，十年累计少引黄河水 30 亿 m^3 。实施的衬砌段落渠道水利用系数平均提高了 0.156，全灌区渠道水利用系数已由 0.42 提高到 0.428。杨家河、义和等干渠灌域的灌水轮期平均缩短了 5-7 天。

（四）灌区衬砌防渗防冻经验

1、工程设计

1998 年，首次进行永刚分干渠试验性衬砌，采用外地经验采用宽浅式无防冻措施进行衬砌，出现了较严重的淤积和冻胀破坏。从 1999 年的节水改造项目开始，设计时，管理部门先提出不同段落和不同灌溉条件的运行指标调整方案，再由设计单位、建设单位和管理单位共同确定断面、流速、纵坡、糙率等主要水力要素，优化设计指标；针对灌区所处的特殊地理位置、气候、地质和工程条件，根据阴阳面温差，经试验研究，在设计中采取不同厚度的保温板保温，以防止衬砌工程冻胀破坏；对部分渠段地下渠、半地下渠产生的扬压力，则采取了相应的排水措施，均取得了较好效果。同时，在杨家河干渠进行了 23 种不同结构形式的试验，为抗冻胀设计和结构设计及最优性价比提供了科学依据。

2、工程施工

各施工单位在历年的衬砌工程施工中积累了比较丰富的施工经验，施工技术逐步完善。

3、工程运行管理

灌区积极推行管养分开改革。河套灌区现行工程管理体制主要是在衬砌渠道实行管养分开和由管理所直接管理，以个人为责任人按段落实行承包责任制两种方式。

为了加强管理和养护，总局于 1999 年在灌区推行“定渠段、定人员、定任务、定标准、定经费、定收入”，经费一次性包死的“六定一包”工程管理制度，在经费紧缺的情况下，使工程状况得到了初步的改善。

按照水利部党组提出的“两改一提高”这一新的治水思路，总局本着循序渐进、先行试点、再全面推开的原则，根据水利部出台的《水利工程管理体制改革的实施意见》，于 2002 年出台了《河套灌区国管水利工程试点单位管养分离试行办法》，并制定了适合河套灌区工程管养的定额，在已衬砌的杨家河干渠、永济干渠、义和干渠已衬砌渠道和三湖河干渠上试行管养分开。目前，灌区实行专养的渠段已达 262.15km，其中总干渠 180.85km、干渠 71.1km、分干渠 10.2km。

（五）灌区衬砌防渗防冻技术存在的问题及建议

1、 存在的问题

(1)1998 至 2009 年，河套灌区续建配套与节水改造工程批复衬砌支以上骨干渠道长度 145.01km，仅占规划长度 4016.2km 的 3.61%。

(2)灌区内风积砂储量有限，支渠以下渠道衬砌保温采用换填风积砂的措施，使得工程造价提高且施工质量不能得到保障。

(3)施工过程中对聚乙烯膜施工质量略有偏差，形成防渗效果大幅度降低的后果。

2、 建议

(1)据有关资料，聚苯乙烯保温板在水中长期使用过程中，可能存在导温系数增大、保温能力降低的不利因素，建议在灌区渠道衬砌工程中采用聚氨脂保温板，一来材料使用寿命延长，二来材料保温性能好。

(2)据有关资料，聚苯乙烯保温板厚度达到 10cm 以上后，需对防渗衬砌渠道进行抗浮稳定计算。

(3)支、斗渠级渠道，如冻胀量较小，宜采用灌区常采用的弧形渠底衬砌结构。换填风积砂可考虑只换填渠道两侧 20~30cm，渠道底部可不考虑换填。

(4)对不同走向、位置、水文地质条件的渠道要有针对性的设计保温板厚度

及铺设方法。

(5)对地下渠道进行保温设计时，应考虑地下水的测渗压力和浮托力对渠道边坡保温板的作用，以免保温板和砼预制板被浮起，破坏边坡稳定性。

(6)灌区骨干渠道防渗衬砌还宜采用实用于灌区的结构形式如现浇钢筋砼等形式。在中小型渠道上还可考虑土壤固化剂等防渗材料。

河套灌区渠道衬砌保温板防冻胀效果对照图片：



图 1 杨家和干渠未采取保温措施的试验段冻胀破坏情况



图 2 杨家和干渠未采取保温措施的试验段冻胀破坏情况



图 3 杨家和干渠未采取保温措施的部分试验段坡面已整体下滑



图 4 永刚分干渠未采取保温措施第一个冻融周期的冻胀情况



图 5 杨家和干渠采取保温措施的试验段（已运行 7 年）



图 6 和干渠 2001 年度项目采取保温措施的工程段落（运行 2 年后）



图 7 永济干渠（2001 年度项目）采取保温措施的工程段落（运行 3 年后）



图 8 永济干渠（2001 年度项目）采取保温措施的工程段落（运行 6 年后）

六、 甘肃兴电灌区渠道防渗防冻胀技术应用

(一) 灌区概况

概述灌区位置、气象水文、地质地貌、社会经济状况、渠道防渗工程现状等。

兴电灌区位于甘肃省中部靖远县与宁夏回族自治区海原县、中卫县接壤地带的兴堡子川，属全国高扬程提水的大型灌区。地处于东经 $104^{\circ} 33' \sim 105^{\circ} 18'$ 之间，北纬 $36^{\circ} 50' \sim 37^{\circ} 10'$ 之间，海拔高程 1350~2150 之间，灌区内土地面积 130 多万亩，宜农面积 120 万亩，其中甘肃境内 80 万亩，宁夏境内 40 万亩。工程于 1976 年 8 月开始勘测工作，同年 10 月向全县抽调民工开始开工建设。1977 年甘肃省水电设计院提交了工程补充设计报告，1978 年列入省基建计划。1983 年列入国家“三西”建设项目，1984 年总干渠建成通水，1985 年~1987 年东、北干相继建成通水，并逐步发挥工程效益。

兴电工程总扬程 477.75m，设九级泵站提水，安装水泵 89 台套，总装机容量 6.374 万 kw，工程设计提水流量 $10\text{m}^3/\text{s}$ ，年提水 1.2 亿 m^3 ，设计灌溉面积 30.18 万亩。现已发展有效灌溉面积 32 万亩。主要有总干渠 1 条，29.79Km，东干渠 1 条，38.84Km；北干渠 1 条，20.56Km；支干渠 7 条，80.93Km；支渠 45 条总长 183.04Km；斗渠 592 条，总长 890Km，各类建筑物共 14950 座，灌区配套简易公路 350Km。

灌区西北边紧靠腾格里沙漠边缘，多年平均降雨量 200 多 mm，且分配不均，其中有 60% 集中在 7、8、9 三个月中，年蒸发量 2390 mm，多年平均气温 8.7°C ，最高气温 35.7°C ，最低气温 -30°C ，多年无霜期 170 天，日照时间 2518 小时。干旱少雨，日照时间长，光热资源丰富。缺水是制约本灌区人民生存的主要因素。

灌区作物以小麦、玉米为主，兼有糜子、谷子、洋芋、豆类、胡麻、枸杞、瓜果、蔬菜等多种粮食作物和经济作物。灌区适宜杨、槐、榆、苹果、梨树等树木资源和甘草、杜仲、板蓝根、柴胡等一些中药材生长，是开发大型灌溉农业、林草及牧业的理想之地。灌区通水以来，经济、社会、生态效益明显。昔日触目荒凉、人烟稀少的旱川，已被阡陌纵横、粮丰林茂、百业兴旺的绿洲所

取代。

兴电灌区 1999 年 9 月被国家计委、水利部列入全国大型灌区续建配套与节水改造项目。截止目前，项目已成功实施 11 年，总干渠防渗改造完成 7km，剩余 15.073km 未改造，东干渠明渠 22.51km、北干渠明渠 13.634km 未改造。渠道经过 20 多年的运行，预制板滑落、破损严重。特别在东西方向流经的渠道较为严重。



渠道阴面滑坡

（二）灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

1、 防渗断面形式

兴电灌区干、支、斗渠数量较多，流量大小各异，且渠道衬砌都是在已建工程的基础上进行的。因此，选择合理的断面形式，是防渗抗冻胀重要的第一步。

梯弧型断面，在干、支渠道中应用较多，由于其近似于最佳水力断面，流速分布均匀，易于拉沙，减少淤积；同时能够改善防渗渠道冻胀变形分布的不均匀性，且渠底有一定的反拱作用，故可减轻砼板的冻胀破坏，减少裂缝和位

移。通过近几年来工程实践，梯弧型渠道抗冻胀能力较好。



总干渠梯弧型断面

U形断面，较梯形断面每公里输水损失可减少 3.7%，水力条件好，它近似于最佳水力断面，水流条件好，流速大，输水输砂能力强；另外其抗冻胀性能较高，冻胀程度仅为梯形渠道的 $1/3 \sim 1/4$ ，又便于管理，投资少、占地少，机械化程度较高。在灌区较小的支渠及斗渠工程应用比较广泛。



支干渠 U 形断面



支干渠 U 形断面

2、 防渗材料的选择

兴电灌区原设计采用单一的砣或砌石等防渗材料，其虽然有一定的防渗性能，又能适应高流速。但通过多年的运行实践表明，其很难达到预期的防渗效果和耐久性。后来，又采用了砣板下铺设聚氯乙烯塑膜，虽然起到了一定的防渗作用，但由于这种防渗形式必须在塑膜上面铺设 3cm 厚的低标号水泥砂浆过渡层作为介质保护塑膜不被破坏。而在实际施工中，渠道内坡比一般在 1:1 ~ 1.5 之间，2 ~ 3cm 厚的过渡层不易操作，且渠道行水时，在砌缝较多的渠道上，过渡层往往会被水流冲走或掏空，导致上部砣板整体破坏或表面凹凸不平。因此，其施工难度较大，施工质量难以保证，工效较低。

近年来，随着防渗膜的发展，兴电灌区续建配套与节水改造项目的实施，在总干渠明渠防渗改造中采用复合土工膜，即一布一膜土工布。由于其抗拉强度较高，抗穿透能力和抗老化性能好，可不设过渡层，另外，土工布表面摩擦力大，防滑效果好，便于安砌或浇注砣板。与塑膜防渗相比，具有施工简单，质量可靠，提高工效等优点。目前，兴电灌区除支、斗、农渠之外，干渠防渗工程大都采用这种板膜复合结构形式，即采用一布一膜土工布柔性材料做防渗层，其上再用 C15 砣刚性材料作为保护层，厚度一般 6 ~ 10cm，此层主要起保护膜料不被外力破坏和防止其老化以延长工程寿命的作用。两种材料互相扬长避短，显示了明显的经济技术性能。



干渠防渗采用复合土工膜铺设现场

3、 施工技术的改进

(1)防渗渠道基槽的开挖与填筑

近年来，兴电灌区渠道衬砌均是在旧渠道上进行，由于原渠道多为梯形断面（地基为黄土），经二十多年的输水运用，在水面以下均以变成不规则的弧形断面，对此，我们的处理办法是：

夯实前首先清除渠床内的杂物、淤泥、腐殖土、垃圾等，回填夯实采用分层开蹬夯实的方法，每层铺土厚度 $\leq 30\text{cm}$ ，铺土要均匀平整。因渠道沿线土质多为沙壤土或粉细砂，应严格控制土壤含水量在适宜范围内。若土壤比较干燥应采用洒水的方法调节土壤含水量。夯实机械为蛙式打夯机或其它能达到相同质量要求的机械，不得使用立柱石夯。分层夯实遍数不得少于4遍，应杜绝漏夯、虚土层、橡皮土等不符合质量要求的现象。夯实后土样干容重不小于 1.55T/m^3 ，一次回填夯实工作面不小于100m，渠道内侧应预留20~30cm的削坡

量。

渠坡修整。为避免表面干燥和施工中人为因素的践踏及雨水冲刷而造成的破坏，渠道削坡宜在砼浇筑前一天进行。削坡时应严格控制高程及表面平整度。采用人工挂线精削，如果削坡过量，不得用浮土回填，应采用与现浇同标号的砼填充，渠底及内边坡平整度允许偏差 $\pm 0.5\text{cm}$ 。

(2)土工膜的加工和铺设

该工序包括裁剪、接缝、铺设等工作。经理论计算，考虑到实际应用的安全系数，灌区采用的复合土工膜的一般为一布一膜，土工膜规格根据渠道流量、断面、水深等具体确定，其表面摩擦系数大，防滑效果好，便于安砌或浇注砼板。布下为不小于 0.25mm 厚的聚氯乙烯膜，是主要的防渗材料。

①裁剪：成卷的土工膜料应根据铺膜基槽断面尺寸的大小及每段长度裁剪。纵向铺设时，首先按基槽断面的长度为一幅。裁剪的长度应以其大块膜料便于搬运和铺设为宜。小型渠道一般为 $50\text{m}-60\text{m}$ ，大中型渠道可选 $20\text{m}-40\text{m}$ 。

②接缝：膜料连接处理的方法有搭接法、焊接法和粘接法等。各灌区近年来多采用机器焊接。焊接时的搭接宽度一般不小于 10cm ，采用双焊缝焊接。土工膜拼接时应用涤纶线缝合。

③铺设：基槽检验合格后，在基槽表面洒水湿润，以保证膜料能够紧密地贴在基床上。纵向铺设时，将按设计尺寸加工的大幅膜料叠成“琴箱”式，先横向放在下游槽内，再将一端与上游拉展铺开。横向铺设时，由渠道一岸向另一岸铺设。总之，铺膜的速度应和砼铺砌或浇注的速度相配合，当天铺膜，当天浇注好砼板，以免膜料裸露时间太长。

④为了确保防渗工程质量，建议由专业人员施工。

(3)砼板的安砌和浇注

为确保砼防渗渠道的防渗效果及耐久性，除了正确合理的设计外，还必须提高施工技术水平，确保施工质量，做到优质、经济、安全。

弧底梯形断面一般应用在大流量及高填方渠段，为适应沉降变形破坏，弧底均采用C15砼现浇，坡板为预制板。厚度一般 $7-8\text{cm}$ 。预制板可提前预制，这样既缩短了工程工期，确保了工程质量，缓解了施工与灌溉行水之间的矛盾，

又解决了现浇砼由于不均匀沉陷等原因造成的难以避免的裂缝。在预制板安砌时，采用滑道就位，要求施工人员必须穿胶底鞋或软底鞋，严禁穿带钉鞋，不准在膜上卸放砼板及用带尖的钢钎作为撬动工具，以保护土工膜。

U型断面渠道已被广泛应用于兴电灌区，其结构简单，易于操作，施工进度快，砼质量高，渠道表面光滑，输水能力强，抗冻性能好。目前，U型断面已被广泛应用和推广，能保证渠道防渗预制构件质量、强度，提高生产效率，降低工人的劳动强度及生产成本，更突出的是降低了预制板的糙率，加快了工程建设速度。

（三）典型渠道防渗防冻胀技术措施案例分析

渠道冻胀破坏类型在兴电灌区总干渠的破坏大体划分为裂缝、位移、断裂、隆起架空、滑塌、整体上抬和综合破坏七种类型。

（1）裂缝。表现有两种形式，一是砼板与板之间的砂浆勾缝处产生裂缝，砼板之间没有完全失去连接作用，仍保持着较低的连接强度；二是受冻结力和冻胀力，以及砼板自身收缩产生的拉应力等影响，使砼板产生裂缝。常见的有纵向裂缝和横向裂缝。



（2）位移。表现为渠道上沿向渠内发生移动，一般较严重的位移距离为1-10cm，较轻的位移距离为小于1cm。由于冻胀使基土膨胀，引起弧形板上沿向渠内倾斜，极易造成砼板断裂。



(3) 断裂。砼板发生裂缝后随着冻胀加剧逐步呈现出断裂状，常见的沿渠道纵向、横向及斜向 45° 夹角断裂。



(4) 隆起架空。表现为在渠道某衬砌部位，砼板被基土抬高，具有明显的垂直位移。与裂缝和断裂的区别是砼板已完全失去连接作用。在地下水较高的渠段，渠床基土距地下水近，含水量大，冻胀量大，而渠顶冻胀量小，造成砼衬砌板大幅度隆起、架空。这种现象一般出现在坡脚和渠底中部，有时也顺坡向上形成数个台阶状。



(5) 滑塌。表现为渠坡衬砌的砼板在隆起达到脱离下部支撑体（即悬空）后而滑向下部，常见于渠坡位置。砼板的滑塌一般表现为两种形式：①由于冻胀隆起、架空，使得坡脚支撑受到破坏，衬砌板垫层失去稳定平衡，当基土融化时，上部板块顺坡向下滑移、错位，互相穿插，迭叠。②渠坡基土融化引起的大面积滑坡，渠坡滑塌，导致坡脚砼板被推开，上部衬砌砼板塌落下滑。



(6) 整体上抬。断面较小的渠道，基土的冻胀不均匀性较小，尤其是在弱冻胀区和衬砌整体性较好时，整体抬高的渠道，融化期也可能由于不均匀沉陷和不能恢复原位，导致砼板裂缝，在逐年反复冻融循环的作用下，使渠道逐渐破坏。



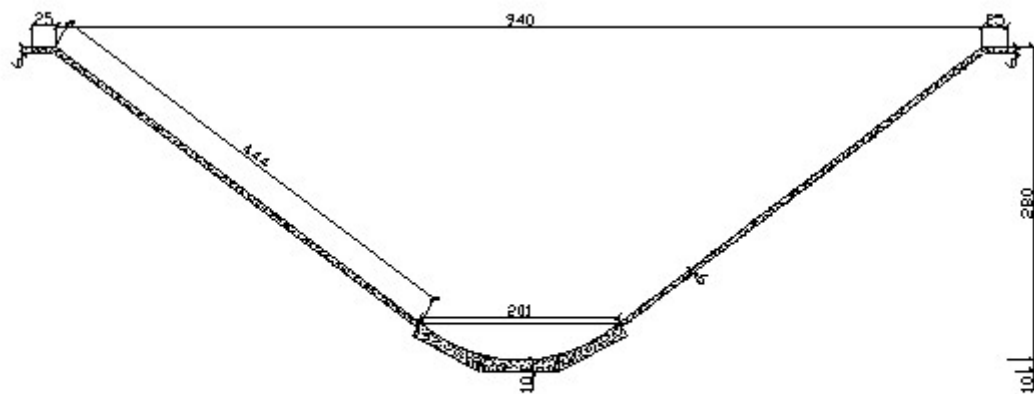
(7)综合类型。表现为同时具有上述几种类型的破坏，多为渠道破坏严重，已影响渠道的正常使用。



梯弧型断面衬砌，是一种较为优化的断面形式，其破坏程度轻于梯形断面。破坏的类型主要表现为裂缝，出现滑塌的现象较少。该形式的特点是：最易冻胀的渠底和坡脚采用弧形，利用圆弧的反拱作用抵御冻胀，较缓的边坡减少了砼板滑塌的几率。梯弧型断面当渠底土壤冻胀变形时，衬砌体在冻胀力的作用下，通过弧形拱把冻胀力传递到直线边坡上。同时，梯弧型断面的过水湿周是一条连续的光滑曲线，避免了两坡脚的死角，从而避免了两坡脚的制约作用。



目前，灌区在总干明渠防渗改造中，渠底采用预制 10cm 厚的反拱底砗板衬砌，边坡采用厚度 6cm 的六边形预制板衬砌，基础先铺设一层厚度 40cm 的砂反滤层，再铺设土工膜进行防渗抗冻胀处理。六边形板边长尺寸为 25cm，厚度 6cm。反拱底厚度 10cm，内弧长 69.9cm，底边长 74.6cm，宽度 37cm，梯弧型断面详见下图。



总干明渠防渗改造衬砌断面图

（四） 防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

灌区在渠道防渗衬砌工程中，积极采用新材料、新技术、新工艺、研制开发新设备等方面取得了一定的经验和成效，大大提高了灌区渠系数利用系数及灌溉水的利用率及水分生产率，输水能力逐年增加，节水效果十分显著，给灌区带来了巨大的社会效益，对提高灌区抗御自然灾害的能力、促进灌区农业结构调整和农业增产、农民增收，实现灌区水资源的合理配置，保障农村经济的可持续发展起到了一定的作用。另外，这些新材料、新技术、新设备的研制开发和应用，对提高防渗工程质量、加快施工进度，降低工程造价和提高工程效益起到了良好的作用。

（五） 存在的问题及建议

兴电灌区开展渠道防渗防冻胀技术应用存在的问题，主要是资金缺乏和缺少现场试验，建议对灌区渠道防渗防冻胀技术应用与推广给予专项资金扶持。今后在开展渠道防渗防冻胀技术推广应用方面，我们将在总干渠选取典型试验代表段，进行铺设聚苯板作为防渗抗冻胀的材料进行使用，为西北灌区的渠道防渗抗冻胀技术的应用与推广提供较强的推广应用价值。

七、 甘肃景电灌区渠道防渗防冻胀技术应用

（一） 灌区概况

景泰川电力提灌工程位于甘肃省中部,河西走廊东端,省城兰州以北 180km 处;横跨甘蒙两省区的景泰、古浪、民勤、阿拉善左旗等四县(旗)。灌区东临黄河,北与腾格里沙漠接壤,干旱少雨、风沙多,属于干旱型大陆性气候;灌区范围内地表径流和地下水都很匮乏,灌溉水源来自从黄河提水。

景电工程是大 II 型提水灌溉工程,总体规划、分期建设。工程设计流量 28.6 立方米/秒,加大流量 33 立方米/秒,兴建泵站 43 座,装机容量 27 万千瓦,控制灌溉面积 100 万亩。

一期工程:1969 年开工建设,1971 年上水。建成泵站 13 座,装机容量 7.75 万千瓦,总扬程 472 米;修建干支斗农 4 级渠系,干支渠渠道 20 条 228 公里,建筑物 980 座。工程设计流量 10.6 立方米/秒,加大流量 12 立方米/秒,年提水量 1.48 亿立方米,设计灌溉面积 30.42 万亩。现状斗渠以上渠道衬砌率达到 85%,工程设施完好率 56%,灌区有效灌溉面积 28.42 万亩,亩均毛灌溉用水量 $520\text{m}^3/\text{亩}$,复种指数 112%。

二期工程:1984 年开工建设,1987 年投入运行。建成泵站 30 座,装机容量 19.25 万千瓦,总扬程 713 米;修建干支斗农 4 级渠系,干支渠渠道 47 条 451 公里,建筑物 2519 座。设计流量 18 立方米/秒,加大流量 21 立方米/秒,年提水量 2.66 亿立方米,设计灌溉面积 52.05 万亩。现状斗渠以上渠道衬砌率达到 80%以上,工程设施完好率 51%,灌区现状有效灌溉面积 45.55 万亩,亩均毛灌溉用水量 $530\text{m}^3/\text{亩}$,复种指数 108%。

景电二期延伸向民勤调水工程:景电二期延伸向民勤调水工程,是一项利用景电二期工程的灌溉间隙和空闲容量向民勤调水,以缓解民勤水资源日趋减少、土地沙化、生态环境恶化的应急工程。1995 年开工,2001 年 3 月开始向民勤调水。建成明渠 14.14 公里,沙漠输水暗渠 84.90 公里。设计流量 6 立方米/秒,年调水量 6100 万立方米,恢复灌溉面积 15.2 万亩。

景电灌区经过四十年的开发建设管理,从根本上改变了灌区农业生产基本条件,在腾格里沙漠南缘形成了一千多平方公里的绿洲,使昔日荒无人烟、寸

草不生的景泰川变成了今日的产粮基地，产生了显著的社会、经济和生态环境效益。

社会效益：灌区新建 10 个乡镇、178 所学校和 123 所医院（所），安置移民 32 万人。解决了灌区 40 万人和 100 多万头牲畜的饮水困难。

经济效益：截止 2008 年，全灌区累计生产粮食 54.44 亿公斤，经济作物 20.82 亿公斤，累计产生直接经济效益 63.88 亿元，是工程总投资的 8 倍。

生态效益：灌区林木覆盖率达到 14%，近百万亩的灌区与三北防护林带连成一片，阻止了腾格里沙漠的南侵，灌区小气候得到了显著改善。据工程上水前后 42 年的气象资料对比，灌区建成后年平均降水量由 185mm 增加到 201.6mm，相对湿度由 46% 增加到 48%，平均风速由 3.5m/s 降低到 2.4m/s，年 8 级以上大风日数由 29 天减为 14 天，年蒸发量由 3390mm 降低到 2433mm。

景电一期灌区支渠以上渠道工程建设时由于当时受经济条件的限制，渠道仅采用混凝土板衬砌，部分渠道换填了砂碎石，没有采取其他的防渗和防冻胀措施，灌区支渠以上渠道经过近 40 年的运行，渠道冻胀破坏严重，淤积、滑塌现象时有发生，渗漏水现象严重，渠系水的利用系数降低，输水时间长，灌溉效率低。近几年，随着景电一期灌区续建配套与节水改造项目的实施，景电一期灌区支渠以上渠道工程在改造时，针对渠道不同情况，采取了不同的渠道衬砌防渗防冻胀技术措施，有效缓解和解决了渠道的渗漏和冻胀等问题，提高了渠道工程的质量和使用寿命。

景电二期灌区斗渠以上各级渠道均采用了混凝土板全断面衬砌。渠道因地质条件不同，断面设计及衬砌形式也不同，总干渠设计断面分“土基渠道”和“石基渠道”两种，“土基渠道”为梯形断面，防渗结构为沥青玻璃丝布或 0.2 毫米厚聚乙烯稀防渗膜、3 厘米厚砂浆垫层、混凝土板衬砌；“石基渠道”混凝土板衬砌设计断面分梯形和矩形两种，梯形断面设计边坡大，为不等厚混凝土板衬砌结构；矩形断面设计为重力式浆砌石挡土墙并套衬混凝土预制板或现浇混凝土。支渠多采用梯形、梯弧形和“U”型衬砌形式，梯形、梯弧形设有沥青玻璃丝布或 0.2 毫米厚聚乙烯稀防渗膜。防冻胀措施因各种因素，未充分考虑。工程经过近 20 多年的运行，因渠道渗漏水、灌溉回归水等因素地下水位上升，渠道冻胀破坏破坏日益显现，特别是梯形渠段冻胀破坏尤为严重，对渠道的安

全运行造成威胁。二期灌区的更新改造已迫在眉睫。

景电二期延伸向民勤调水干渠明渠段工程建设时采用聚乙稀防渗膜加混凝土板衬砌结构，渠道横穿灌区，受灌溉回归水和渠道渗漏水的影响，经过近 10 多年的运行，渠道冻胀破坏严重，部分渠段滑塌，渠道的安全运行受到威胁。

（二）灌区渠道防渗防冻胀技术的应用情况

景电灌区渠道以挖方渠道、填方渠道两种形式居多。挖方渠道又以有地下水、无地下水区分；填方渠道大多无地下水。对于挖方（且无地下水）的渠道，在渠道的更新改造中，大多采用换填砂碎石、铺设聚乙稀防渗膜、砂浆垫层、混凝土预制板衬砌结构。砂碎石换填厚度为 30 厘米到 80 厘米不等，干、支渠铺设的防渗膜厚度分别为 0.20 毫米和 0.18 毫米，砂浆垫层的厚度为 3 厘米，混凝土预制板的厚度为 6.3 厘米；部分支渠段采用聚苯乙烯保温板、铺设聚乙稀防渗膜、砂浆垫层、混凝土预制板衬砌结构。聚苯乙烯保温板厚度为 8 厘米，防渗膜厚度 0.2 毫米，砂浆垫层的厚度为 3 厘米，混凝土预制板的厚度为 6.3 厘米。有地下水的渠道，在渠道的更新改造中，采用渠底盲沟铺设 $\phi 160$ PVC 排水花管，排水花管周围夯填反滤料，使地下水从排水花管排走。对于地下水特别丰富且地下水位高、冻胀破坏严重的渠道，除采用暗埋排水花管排水措施外，为了抵抗渠道的冻胀，采用较大体积的浆砌石衬砌渠道。

景电一期灌区续建配套与节水改造项目自实施以来，在渠道工程的更新改造中，渠道的防渗抗冻胀问题一直是改造工程任务的重中之重，采取以上针对不同地质及运行情况处理渠道的防渗抗冻胀措施，渠道的运行安全可靠，基本杜绝了渠道的冻胀问题，渠道的渗漏水损失大为降低，提高了渠道的输水能力和灌溉效率。

（三）典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施

景电一期灌区支渠以上渠道工程，土壤地质条件复杂，总干渠穿越灌区段地下水特别丰富且地下水位高，支渠大部分穿越灌区，灌溉回归水和渠道渗漏水使渠堤长期处于水饱和状态，冬季渠道停水期和春季消融期，渠堤饱和水的冻胀与消融，对渠道造成严重的冻胀破坏导致渠道滑坡。为此，景电一期灌区在解决渠道防渗抗冻胀问题上狠下功夫，针对不同渠道的地质及运行情况，现

特选以下几段渠道作为典型案例进行分析，主要做法有：

1、 西干三支渠渠道防渗防冻胀改造

西干三支渠全长 10.2km,设计流量 $1.1\text{m}^3/\text{s}$,加大流量 $1.3\text{m}^3/\text{s}$,渠道设计纵坡 1/2000，渠道断面为梯形，边坡系数 1:1.5，底宽 50cm,渠深 115cm,预制混凝土板衬砌，糙率 0.017。

西干三支渠大部分为半挖半填或挖方渠道，局部地段为深挖方渠道。改造的 5+400 ~ 7+686 渠段大部分为半挖半填渠道，局部地段为挖方渠道，渠床均为亚粘土；部分渠道冻胀严重。改造时对冻胀破坏严重的 158m 渠道采用预制 C15 混凝土板、聚乙烯防渗膜、砂碎石垫层的防渗防冻胀改造方案，如图 1；对其它 2128m 渠道采用预制 C15 混凝土板、聚乙烯防渗膜防渗改造方案，如图 2。



图 1



图 2

采用以上渠道防渗防冻胀改造措施后，渠道冻胀问题得到解决，渗漏水损失减少，渠道的输水能力显著提高，安全运行得到了保障。

2、西千九支渠渠道防渗防冻胀改造

西千九支渠全长 14.4km,设计流量 $1.8\text{m}^3/\text{s}$,加大流量 $2.1\text{m}^3/\text{s}$,渠道设计纵坡 1/2000，渠道断面为梯形，边坡系数 1:1.5，底宽 50cm,渠深 150cm,预制混凝土板衬砌，糙率 0.017。

改造的 0+905 ~ 1+600 段渠道渠床为盘山半挖半填风化严重的破碎岩石及碎石土渠床，渠道所处位置均较高，没有地下水；渠床含水来自渠道渗水，渠道纵坡缓，渠道三分之二的断面被淤积，渠道表现为冻胀，衬砌混凝土板开裂、滑塌，老化破损严重。改造时采用采用裁弯取直和改线相结合的方案，裁弯取直段开挖岩石及碎石土，使渠床座落在岩石上，改线填方段采用碎石土（砂壤土 40%，碎石土 60%）填筑。渠道衬砌结构从下到上依次为 0.2mm 厚聚乙烯防渗膜，3cm 厚 M5 水泥砂浆垫层，6.3cm 厚 C15 混凝土预制板，如图 3。



图 3

采用以上渠道改造措施后，渠道冻胀破坏问题得到解决，渗漏水损失减少，渠道的输水能力显著提高，安全运行得到了保障，也给渠道的运行管理带来了极大的方便。

3、西千八支渠渠道防渗防冻胀改造

西千九支渠全长 18.8km，渠道设计纵坡 1/2000，渠道断面为梯形，边坡系数 1:1.5，预制混凝土板衬砌，糙率 0.017。渠床均为亚砂土夹亚粘土地基；渠道两侧因受周围农田灌溉回归水影响，地下水较高。

改造的 0+000 ~ 2+700 段渠道设计流量 $1.8\text{m}^3/\text{s}$ ，加大流量 $2.1\text{m}^3/\text{s}$ ，设计水深 104cm，加大水深 111cm，底宽 50cm，渠深 150cm。该段渠道地下水位较高，受冻胀破坏，混凝土板开裂、滑塌破坏严重，直接影响渠道的安全运行和输水能力。改造时采用预制 C15 混凝土板、聚乙烯塑防渗层、30 ~ 60cm 砂砾石层置换渠底冻土层的的防渗防冻胀改造方案，如图 4。



图 4

改造的 15+016 ~ 16+476 段渠道设计流量 $1.08\text{m}^3/\text{s}$, 加大流量 $1.18\text{m}^3/\text{s}$, 设计水深 83.7cm, 加大水深 87cm, 底宽 50cm, 渠深 120cm。由于渠道两侧紧靠农田, 道路狭窄, 砂砾石垫层运输及渠床基础开挖难度大, 改造时采用铺设聚苯乙烯硬质泡沫保温板防渗防冻胀衬砌结构, 渠道衬砌结构从下到上依次为 8cm 厚聚苯乙烯硬质泡沫保温板, 0.18mm 厚聚乙烯防渗膜, 3cm 厚 M5 水泥砂浆垫层, 6.3cm 厚 C15 混凝土预制板, 如图 5。



图 5

采用以上渠道改造措施后，渠道冻胀破坏问题得到解决，渗漏水损失减少，渠道的输水能力显著提高，安全运行得到了保障。

4、西千八道泉公路桥至西二泵前池间渠道防渗防冻胀改造

本段渠道为深挖方渠道，设计流量 $6.87\text{m}^3/\text{s}$ ，加大流量 $8.12\text{m}^3/\text{s}$ ，设计纵坡 $1/5000$ ，渠道断面为梯形，边坡系数 $1:1.5$ 。其中 $7+983 \sim 8+161$ 段 178m 渠道原为混凝土预制板衬砌结构， $8+161 \sim 8+367$ 段 206m 渠道为浆砌石衬砌结构。 $7+983 \sim 8+161$ 段的渠坡及渠底和 $8+161 \sim 8+367$ 段的渠坡上部为亚砂土及碎石土渠床； $8+161 \sim 8+367$ 段的渠坡下部及渠底为泥质砂岩夹片岩渠床； $7+983 \sim 8+161$ 段渠道地下水位低于渠底，渠道表现为冻胀破坏、滑塌； $8+161 \sim 8+367$ 段渠道的渠坡下部及渠底有地下水出露，渠道表现为地下水侵蚀、冻胀和渠床软化、滑塌破坏。改造时，对 $7+983 \sim 8+161$ 段渠道采用防渗防冻胀改造方案；对 $8+161 \sim 8+367$ 段渠道采用防渗防冻胀和排水相结合的改造方案。两段渠道衬砌结构从下到上依次为 $30 \sim 60\text{m}$ 厚砂碎石垫层、 0.2mm 厚聚乙烯防渗膜， 3cm 厚 M5 水泥砂浆垫层，渠坡下部及渠底 10cm 厚 C15 混凝土预制板，渠坡上部及封顶板 6.3cm 厚 C15 混凝土预制板。 $8+161 \sim 8+367$ 段渠道渠底下部设

排水盲沟，盲沟中设置一条 $\phi 160$ PVC 排水花管，周围填筑筛分反滤料，与西二泵前池底板下部的排水花管接通，将渠床中的地下水汇集到前池右侧设置的集水井，由自动排水系统及时排出。如图 6。



图 6

采用以上渠道改造措施后，渠道冻胀破坏问题得到解决，渠道地下水位明显降低，地下水对渠道的反压力减轻，渗漏水损失减少，渠道的输水能力显著提高，安全运行得到了保障。

5、西千四泵站出水池下游渠道防渗防冻胀改造

本段渠道(15+238 ~ 15+638)设计流量 $3.50\text{m}^3/\text{s}$,加大流量 $4.50\text{m}^3/\text{s}$,设计纵坡 1/3000，渠道断面为梯形，底宽 83cm，边坡系数 1:1.5。渠道为傍山和穿山岩石渠床混凝土预制板衬砌结构，途径沟道处为亚砂土夹碎石渣渠床，夯填质量差，渗漏水严重，渠道弯道多，水流不畅。改造时采用裁弯取直和防渗漏的改造方案。衬砌结构从下到上依次为 0.2mm 厚聚乙烯防渗膜，3cm 厚 M5 水泥砂浆垫层，渠坡下部及渠底 10cm 厚 C15 混凝土预制板，渠坡上部及封顶板 6.3cm 厚 C15 混凝土预制板。如图 7。



图 7

采用以上渠道改造措施后，渠道渗漏水问题得到解决，渗漏水损失减少，渠道水流顺畅，渠道的输水能力显著提高，安全运行得到了保障。

6、总干渠独一农至倒虹吸间游渠道防渗防冻胀改造

本段渠道位于总干四至五泵站间，原设计流量 $10.56\text{m}^3/\text{s}$ ，加大流量 $12\text{m}^3/\text{s}$ ，设计纵坡 $1/4500$ ，边坡系数 $1:1.5$ ，渠道原设计断面形式和衬砌结构为梯形混凝土预制板衬砌结构，渠床为砂碎石换基，渠底及阴坡下部砂碎石垫层厚 70cm ，阴坡上部及整个阳坡砂碎石垫层厚 $30 \sim 50\text{cm}$ 。

本段渠道处于全灌区最低洼地段，为特殊的强冻胀渠段。渠床土质为强冻胀性的亚砂土夹亚粘土，地下水高出渠底 $0.5 \sim 1\text{m}$ ，且不易排出。由于渠道的特殊水文地质条件，砂碎石垫层的孔隙被渠水中携带的泥沙所填充，渠道的老化破损表现为严重的冻胀破坏。在阴阳坡不平衡强冻胀力的作用下，阴坡的混凝土板严重鼓起并沿渠坡向下滑动，阳坡的混凝土板沿渠坡向上滑动，将平台板顶起；由于冻胀、消融的交替作用，渠道阴坡的混凝土板鼓胀、隆起、滑塌，从而使整个渠道的混凝土板衬砌结构遭到严重破坏。

根据本段渠道特殊的工程水文地质条件和冻胀破坏特点，改造时采用矩形断面 M10 水泥砂浆砌块石重力墙结构形式，渠道侧墙顶宽 50cm，底宽 150cm，底板厚 60cm，整个渠底铺设 30cm 厚干砌块石并上铺 20cm 厚砂碎石垫层。渠底下部设置深 120cm 的梯形砂碎石反滤排水沟，沟内设置 2 条 $\phi 160$ PVC 排水花管，并在砂碎石反滤料与渠底间布设一层反滤布，排水花管上包裹一层反滤布，将渠道地下水排入横穿本段渠道 12+748 处的灌区总干排水沟。如图 8。



图 8

采用以上渠道改造措施后，彻底解决了渠道的冻胀问题，渠道整体结构稳定，渠道内再无地下水出露，渗漏水损失减少，渠道水流顺畅，渠道的输水能力显著提高，安全运行得到了保障。

7、总干渠 4#隧洞出口至独一农间渠道防渗防冻胀改造

本段渠道长 240m，原设计流量 $10.56\text{m}^3/\text{s}$ ，加大流量 $12\text{m}^3/\text{s}$ ，设计纵坡 1/3000，边坡系数 1:0.5，渠道原设计断面形式和衬砌结构为梯形现浇混凝土结构。

本段渠道处于全灌区最低洼地段，为深挖方岩石渠道，地下水高出渠底

0.3~0.5m，且不易排出。由于水流冲刷、高矿化度地下水的侵蚀、冻溶、冻胀破坏，渠底鼓胀、隆起、开裂，渠坡下部混凝土严重开裂、剥落，渠床岩石软化，部分渠段渠坡后侧渠床疏松、塌陷，渠坡混凝土开裂垮塌。

根据本段渠道特殊的工程水文地质条件和冻胀破坏特点，改造时采用预制混凝土板套衬，并在下部设置排水盲沟加设排水花管的改造方案。具体做法是将渠道边坡系数由 1:0.5 调整到 1:0.6，拆除已开裂、剥落、垮塌的渠底及渠坡混凝土，并开挖清理渠床软化、疏松层至坚硬岩石，用 M10 水泥砂浆砌块石加固衬砌拆除部位的渠坡，渠底现浇 12cm 厚 C15 混凝土；保留与渠床粘贴牢固部位的原渠坡混凝土结构层，并将其凿毛冲洗干净；用 M10 水泥砂浆套衬 C15 混凝土预制板，渠坡下部及渠底和渠坡上部及封顶板 C15 混凝土预制板的厚度分别为 10cm 和 6.3cm。渠底下部设置深 80cm 的梯形砂碎石反滤排水沟，沟内设置 2 条 $\phi 160$ PVC 排水花管，排水花管上包裹一层反滤布，将渠道地下水汇入排水沟（管）内再排入横穿总干渠 12+748 处的灌区总干排水沟，以保证渠道衬砌结构免受地下水的侵蚀。如图 9。



图 9

采用以上渠道改造措施后，彻底解决了渠道的冻胀问题，渠道、渠坡整体

结构稳定，渠道内再无地下水出露，渗漏水损失减少，渠道水流顺畅，渠道的输水能力显著提高，安全运行得到了保障。

（四）防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

景电一期灌区建成于上世纪七十年代，灌区的建成为当地社会经济的发展和改善人民群众的生产生活条件做出了巨大贡献。但是由于工程所处的自然地质情况较为复杂，加上工程已运行 40 多年，渠道及其建筑物冻胀老化破损严重，渠道渗漏水损失大，渠道的输水能力降低，运行安全系数低，工程的管理难度较大。自 1998 年起，景电一期灌区被国家列入大型灌区续建配套与节水改造项目实施以来，渠道的防渗防冻胀问题始终做为渠道改造的关键技术问题。对挖方且有地下水的渠道，采用换填砂碎石、渠底设置盲沟及排水花管，铺设聚乙烯防渗膜、混凝土预制板衬砌等防渗防冻胀措施，可以有效地防止渠道的冻胀并减少渠道水渗漏，大大提高渠道运行的稳定性和输水能力，保障渠道的安全运行；对强冻胀且地下水位高的渠道，采用大体积的浆砌石衬砌并运用排水盲沟及排水花管将地下水排出渠道的抗冻胀措施，可以有效地降低渠道地下水位，大大提高渠道的抗冻胀能力，从而保证渠道运行的稳定性和输水能力；对于渗漏、冻胀破坏严重、渠道运行水深较小且砂碎石运输和渠道开挖难度大的渠道，采用聚苯乙烯硬质泡沫保温板、聚乙烯防渗膜、水泥砂浆垫层，混凝土预制板衬砌等防渗防冻胀措施，可以减轻施工的难度，并能够有效地解决渠道的防渗防冻胀问题，提高渠道运行的稳定性和输水能力，从而保证了渠道的灌溉能力；对于原现浇混凝土衬砌、地下水位较高且渗漏、冻胀破坏严重的渠道，采用水泥砂浆套衬混凝土预制板并运用排水盲沟及排水花管将地下水排出渠道的抗冻胀措施，可以有效地降低渠道地下水位，大大提高渠道的抗冻胀能力和渠道运行的稳定性，有效地改善了渠道的运行状况；对于半挖半填、傍山和穿山岩石渠床且弯道较多的渠道，采用裁弯取直和铺设聚乙烯防渗膜、水泥砂浆垫层、混凝土预制板衬砌等防渗防冻胀措施，有效地减少了渠道的渗漏水损失，提高了渠道的输水能力，同时有效防止了由渗漏水的冻胀与消融对渠道造成的冻胀破坏，大大提高了渠道的安全运行系数。另外，应针对渠道设计流量与渠深的大小，衬砌混凝土预制板的厚度要有一定的区别，在景电一期灌区更新改造工

程中，支渠及北干渠工程衬砌混凝土预制板的厚度全为 6.3cm，总干及西干渠工程渠坡下部及渠底和渠坡上部及封顶板混凝土预制板的厚度分别为 10cm 和 6.3cm。

渠道的防渗防冻胀措施的研究与应用，在景电一期灌区改造中起到了很好的作用，为提高渠道的稳定性和抗冻胀性能、减少渠道输水的渗漏、提高渠道的输水能力和灌溉效率起到了十分重要的作用，在灌区的更新改造中，始终要把渠道的防渗防冻胀措施的研究与应用作为一项永恒的课题。

（五） 存在的问题及建议

在景电一期灌区更新改造工程的建设中，虽然针对渠道所处的不同自然地质情况、环境状况采取了不同的防渗防冻胀处理措施，取得了良好的效果，但还存在一些问题，主要表现在：一是对换基砂碎石的级配把握的不够，存在一定的难度，换基的厚度把握的不准；二是换基砂碎石的夯填质量很难控制，有时的夯填质量差，造成渠道小面积沉陷；三是地下水排水系统的设置增加了工程运行管理上的工作量（工程上水运行期间，要关闭出水闸阀，工程停水运行期间，要打开出水闸阀）；四是大体积浆砌石衬砌渠道时，对浆砌石的砌筑质量、伸缩缝止水带的架设工艺要求高，对工程的施工质量要求高；五是混凝土预制板套衬渠道对保留的原混凝土表面凿毛和对渠道边坡系数的控制要求高，施工质量差时会造成渠道整体滑坡。

针对以上存在的问题，建议在采用以上已应用的渠道防渗防冻胀处理措施时，一定要根据渠道所处的不同自然地质情况、环境状况采取不同的防渗防冻胀处理措施，因地制宜，区别对待，同时要加强施工质量管理和工程运行的维护与管理，随时处理出现的一些小问题，以避免造成大的问题，为工程的良性运行创造条件，使工程改造建设的成就得以持续、稳定、正常、健康地发挥效益。

八、 甘肃友联灌区渠道防渗防冻胀技术应用

(一) 灌区概况

1、 自然地理概况

(1)地理位置

友联灌区位于甘肃省河西走廊高台县中部，处在祁连山和合黎山的交接平原地带，北部毗邻黑河，南靠兰新铁路复线、312国道和G30高速公路，东与临泽县接壤，西至许三湾沙丘及肃南县明花区。控制灌溉面积33.49万亩，其中农田27.07万亩，林草地6.42万亩。

(2)气候条件

该灌区属大陆性温带荒漠干旱型气候，冬夏较长，春秋较短，春季多风少雨，冬季较为寒冷。多年平均气温4.6℃，最低气温-22℃，最高气温33℃，年平均最大风速21m/s，最大冻土层深1.2m。水库位于河西走廊平原区，多年平均降雨量104.4mm，多年平均蒸发量1901.8mm，具有干旱少雨，蒸发强烈，日照时间长，太阳辐射高，昼夜温差大和光热资源丰富等特点，适宜种植多种作物。

(3)水文地质及地貌

灌区地表径流以发源于祁连山的黑河为主，灌区多年平均灌溉引水量1.65亿M³，灌区贮存第四系松散岩类孔隙水，有潜水和承压水两种类型。含水层自南东向北西变浅。城区附近由于基底隆起，其第四系含水层厚度不足百米。灌区潜水埋深1~30m，承压水顶板埋深3~15m，含水层岩性为中粗砂、亚砂土及砂砾石。表层潜水矿化度1~2g/L，承压水矿化度小于1g/L，属重碳酸盐型水。

灌区地貌为走廊平原区，海拔1290~1450米，地势自南东向北西倾斜，自南向北又可更进一步分为砾石平原、细土平原、风积沙地和河谷平原等地貌单元。

2、 社会经济概况

高台县友联灌区辖南华、骆驼城、巷道、城关镇、宣化、黑泉 6 个乡(镇)的 83 个行政村, 450 个社, 57 个国营、集体和个体农林场, 总人口达 11.25 万人, 其中农业人口 8.78 万人。粮食作物主要有小麦、玉米, 经济作物主要有蕃茄、甜菜、油料、棉花、果树、啤酒花、蔬菜等, 以种植粮食作物为主。该灌区是河西走廊重要的商品粮基地, 向国家提供的商品粮占高台县的 72.5%。

2009 年全灌区农业总产值达到 7.95 亿元, 粮食总产量达到 4910.5 万 kg, 人均产粮 436.5kg, 乡镇企业总产值达到 3.56 亿元, 农民人均纯收入达到 4108 元。

3、 灌区水土资源条件及工程状况

(1)土地利用状况

友联灌区土地总面积 66.57 万亩, 主要由耕地、林地、荒地及荒漠戈壁等组成, 现状灌溉面积已达 33.49 万亩。

(2)水利工程及渠道防渗状况

友联灌区水土资源丰富, 光热资源充足, 是古老的灌溉农业区, 建国以来, 高台县非常重视灌区基础水利设施建设, 基本形成了“引、蓄、提、排”相结合, “渠、路、林、田”相配套的较为完整的灌排体系。

近年来, 随着黑河流域节水改造项目的实施, 灌区灌溉水的利用率明显提高, 高效节水面积进一步发展, 管理水平有了很大提高, 水资源得到合理配置, 保灌面积也有了一定的提高, 灌区农业生产条件得到进一步改善。还有一部分渠道为土渠运行, 大部分旧井还没有得到配套, 总体上友联灌区农田水利设施配套率还很低, 很大程度上制约了农村经济的发展。

友联灌区现有平原洼地水库 8 座, 总库容 2357.1 万立方米; 机电井 1447 眼; 共有干渠 19 条, 总长 324.528km, 其中高标准衬砌 184.319km, 衬砌率 56.8%; 支渠 26 条, 总长 115.691km, 其中高标准衬砌 109.631km, 衬砌率 94.8%; 斗渠 643 条, 总长 596.167km, 其中高标准衬砌 383.8437km, 衬砌率 64.38%。现有干、支、斗排水沟 228 条, 总长度 295.74 km, 配套各类建筑物 6282 座。

目前，大部分排水沟因多年运行且缺乏维护资金已塌陷、淤积严重，排水不畅，建筑物老化失修。

4、 灌区管理

灌区管理机构为友联灌区水利管理处，现有管理人员 167 人，水利管理施行灌区+农民用水者协会的管理模式，部分渠道施行水票制供水，水管体制改革步伐进行健康有序，成效明显。

（二） 灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

友联灌区水资源紧缺，为了节约用水，提高水的利用率，渠道防渗是灌区迫切需要解决的主要问题。但灌区地下水位，地质条件多样化，在灌区内输水明渠渠道主要的防渗措施为刚性衬砌渠道，其他为低压管道灌溉、温室滴灌、大田滴灌和喷灌等高新节水技术，由于诸多因素的制约，高新节水技术控制面积小于明渠灌溉面积，但刚性衬砌冻胀破坏现象严重，渠道抗冻胀设计经验不很丰富。随着黑河流域灌区节水改造项目的全面实施，灌区大量的渠道进行衬砌，渠道的防渗抗冻胀技术措施成为工程建设的关键。2001 年以前，灌区内输水渠道大部分为土渠运行，渠道输水渗漏损失大，干渠水的利用系数为 83.6%，支渠水的利用系数为 86.2%，斗渠水的利用系数为 86.4%。农渠水的利用系数为 81.2%，田间水的利用系数为 89.6%，灌溉水的利用系数仅为 45.3%，截止 2009 年，随着黑河流域综合治理项目和灌区节水改造等项目的实施，对渠道采取了防渗防冻胀技术处理，渠道输水损失大大减少，灌溉效率明显提高，干渠水的利用系数提高到 85.2%，支渠水的利用系数提高到 87.9%，斗渠水的利用系数提高到 88.6%。农渠水的利用系数提高到 83.8%，田间水的利用系数提高到 90.5%，灌溉水的利用率 2009 年已经达到 50.3%，节水效益显著，灌溉运行管理效益提高。

1、 渠道的防渗抗冻胀措施

友联灌区工程中常采取的渠道防渗措施为刚性衬砌。防冻胀技术措施主要有置换措施、保温措施、适应措施、优化结构等。

(1)防渗措施

渠道防渗主要采取刚性衬砌，利用当地丰富的混凝土原料：沙子、卵砾石和水泥。对输水渠道进行砼现浇或预制砼砖衬砌，渠道高标准衬砌以后，经灌溉及输水量测试验，渠道输水能力大幅提高，缩短输水时间，提高灌溉效率，起到防冲、减淤、防坍塌、稳定渠床及保障输水安全，减少了渠道输水渗漏损失，大大提高了渠系水的利用系数，减轻了渠道维护运行管理的投入，同期相比增加了收入，提高了渠道的质量和使用寿命。

(2)置换措施

用非冻胀性土置换冻胀性土是目前最常用的抗冻胀措施，具有设计施工经验丰富，已为大家接受的优点，但渠道线长，置换工作量大，从经济上考虑，这种方法一般只适用于当地或附近有较丰富的非冻胀性土的地方，而且应保证置换层在冻结期为不饱和水和防止在使用期间不受大量的细颗粒污染。

友联灌区干、支、斗、农渠防冻胀技术措施绝大部分均采取置换措施。非冻胀性土工程上常选用含泥量小于5%的砂砾石垫层，若当地缺乏砂砾石而具有丰富的砂，也可考虑用粒径满足要求的砂代替砂砾石作置换层，但用砂作垫层具有施工时不宜夯实，运行期易被细颗粒污染而失效的缺点。

友联灌区采取置换措施衬砌的渠道，经多年运行，防冻胀效果非常明显。目前，除特殊地质条件外，所有衬砌的渠道均采取置换措施。但对渠道开挖高程低于地下水位的渠段，置换层在冻结期因被水浸泡而失效，置换法在这种渠段不宜采用。对受田间回归水影响的渠段置换层易被细颗粒淤塞而缩短工程寿命，应设置防滤层或土工织物对垫层料加以保护。

(3)保温措施

负温是渠道产生冻胀破坏的外因，在渠道刚性衬砌体下面铺设一层受力变形小，隔热性能优良的保温材料，便可削减或消除渠床基土在冬季的冻胀变形，避免渠道的冻胀破坏。

友联灌区在渠道上使用的新型保温材料是聚苯乙烯泡沫板。聚苯乙烯泡沫保温板在工厂集中生产，质量容易控制，埋在地下不受污染，不易变质，几乎

适用于任何地质条件，虽然保温板长期浸泡在水中隔热性能会减低，但此种地质条件下的渠道已具有排阴功能而无衬砌必要。同置换法相比，保温法具有施工方便，适用范围广，工程寿命长的优点，应优先选用，此外与置换法相比在非冻胀性土不丰富的地区也具有明显的经济优越性。

(4)适应措施

对于地下水位较高的地段，采用柔性衬砌可避免渠道的冻胀破坏，或采用容许法向位移大的衬砌形式可减轻渠道刚性衬砌体的冻胀破坏。友联灌区主要采用的是透水衬砌方式。方法有预制异型砖衬砌法和干砌块石衬砌法两种，透水衬砌能够适应一定的变形，解决了高地下水位地区渠道冻胀破坏问题，但没解决渠道渗漏问题，不适应节水的要求，在缺水地区不应将透水衬砌当作一种新型的衬砌形式而加以推广运用。

(5)优化结构

友联灌区在近年来的节水工程中，干支渠道断面大多采用弧梯形断面形式，斗农渠断面多采用 U 型渠槽的断面形式，与梯形断面相比，弧形断面、弧底梯形断面具有较大的容许法向位移，采用这两种断面形式有效地减轻了渠道的冻胀破坏。

2、 技术措施的应用情况

在各种抗冻胀措施中，置换措施虽然应用最广泛，但渠道受田间回归水影响时置换层易被细颗粒淤塞而缩短工程寿命，在非冻胀性土缺乏的地区采用这种方案工程造价也相对较高。衬砌体下铺聚苯乙烯保温板是新兴的抗冻胀措施，具有适应面广、投资适中、施工方便、使用寿命长的优点，与置换法相比工程造价相当时宜，优先采用。在非冻胀性土缺乏的地区与置换法相比保温板方案在经济上也具有明显的优越性，易进行全面推广。

(1)置换措施应用情况

友联灌区干、支、斗、农渠防冻胀技术措施绝大部分均采取置换措施。采取置换措施衬砌的渠道，经多年运行，防冻胀效果非常明显，应用范围很广。

(2)保温措施应用情况及效果

友联灌区 2002 年在三清干渠中采用聚苯乙烯泡沫保温板衬砌渠道 1.06 公里。为了进一步推广应用，2003 ~ 2004 年我县又在友联灌区的纳凌干渠、纳凌支渠、三清干渠、柔远干渠、站家干渠、小坝干渠等渠道中推广应用聚苯乙烯泡沫保温板衬砌渠道长 32 公里，推广应用项目从 2003 年 9 月开始至 2004 年 11 月完工，共铺设聚苯乙烯泡沫保温板 32649.59 立米。保温板方案每公里投资比砂砾石垫层方案（置换措施）每公里节约投资月 13.2 万元，有效地降低了工程造价。

采用聚苯乙烯泡沫保温板衬砌的渠道，经多年运行，通过渠道上埋设的冻胀量观测杆、地温观测仪和土壤含水量观测仪，分别对渠道冻胀变形、保温板下基土温度和含水量进行定时观测，根据观测资料分析，初步得出试验结论。渠道冻胀变形量均为零，抗冻胀效果非常明显。从外观上与垫层渠道相比，无任何变化，渠道线直面平，砌体平整，勾缝密实光滑无裂缝，工程完好，没有发生冻胀现象。

(3)透水衬砌应用情况及效果

友联灌区 2003 年在站家干渠中采用透水衬砌衬砌渠道 1.8 公里。其它灌区干渠透水衬砌应用 4.9 公里。

为了定量研究透水衬砌抗冻胀变形能力，在试验段渠道上对渠道冻胀变形进行定时观测。根据观测数据分析：透水衬砌渠道受负温冻胀发生的变形量较少，所测项目对比值不大于 15 毫米，由于透水衬砌能够适应一定的变形，因此渠道衬砌体冻胀量较小，且冻胀量和回复量基本一致，没有发生严重变形现象，抗冻胀效果非常明显。

采用砼异型砖透水衬砌方案施工的渠道，通过透水的性质，将高于渠底的地下水渗入渠道输向下游，减轻或消除了地下水对衬砌体的浮托力，平衡地下水和渠道灌溉水对衬砌体压力，有利于保持衬砌渠道断面的规则性，延长渠道使用寿命。

用砼异型砖透水衬砌技术作为地下水位较高的渠道的衬砌方案，经过站家干渠的初步应用和试验，砼异型砖衬砌后，一是输水速度加快，提高了水的利

用率。二是抗冻胀效果明显，衬砌体冻胀变形量在允许范围内。三是对地下水二次回归进行了有效地利用。四是发挥了排水治理盐碱地的作用。在高台县今后水利工程地下水位较高的渠道中可大量采用，能有效防止渠道冻胀破坏，降低工程造价。

（三）典型渠道措施案例分析

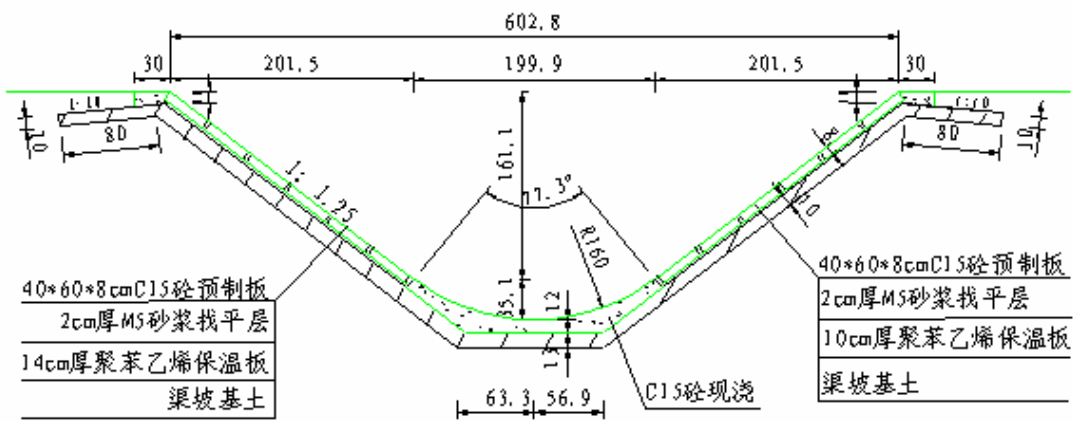
1、三清干渠保温措施试验研究

我县自 2002 年 6 月份开始，主要在友联灌区三清干渠中进行聚苯乙烯泡沫保温板代替砂砾石垫层作为渠道抗冻胀措施试验研究。在三清干渠桩号 36+048 ~ 37+108 段，长 1.06 公里渠道中采用聚苯乙烯泡沫保温板代替砂砾石垫层作为渠道抗冻胀措施，并在桩号 37+048 ~ 37+108 段设置了 6 个保温板试验段（60 米），在 37+108 ~ 37+118 段设置了 1 砂砾石垫层对比试验段进行抗冻胀观测试验。从 2002 年 6 月份开始实施至 10 月份完成。

三清干渠 36+048 ~ 37+048 段，设计流量 $2.5\text{m}^3/\text{s}$ ，加大流量为 $3.13\text{m}^3/\text{s}$ 。渠道设计为弧底梯形断面，底部用 12cm 厚 C15 砼现浇，边坡用 8cm 厚 C15 砼预制块衬砌，渠深 2.96m，渠口宽度 6.03m。砌体下面铺设聚苯乙烯保温板作为渠道抗冻胀措施。

保温板密度设计为 $25\text{kg}/\text{m}^3$ ，物理力学性能指标满足规范要求。由于聚苯乙烯泡沫保温板作为砼衬砌渠道抗冻胀措施在甘肃省尚属首次使用，缺乏设计与施工经验，因此设计厚度取规范推荐的上限即为设计冻深的 $1/10$ 。

三清干渠 36+048 ~ 37+048 段土质为重壤土，地下水位在渠底以下 2 ~ 3m，最大冻土深度 1.06m。经计算，设计冻深阴坡 144cm，渠底 135cm，阳坡 99cm；保温板设计厚度阴坡 14cm，底部 13cm，阳坡 10cm。渠道设计横断面如下所示：



为了确定最佳保温板设计厚度与密度，我们在桩号 37+048 ~ 37+108 段设计不同厚度、不同密度的保温板 6 组进行抗冻胀试验，具体情况见下表：

三清干渠试验段保温板设计参数表

桩号	长度/m	保温板密度/kg/m ³	保温板厚度/cm		
			阴坡	渠底	阳坡
37+048--37+058	10	20	12	11	8
37+058--37+068	10	16	12	11	8
37+068--37+078	10	20	10	9	7
37+078--37+088	10	16	10	9	7
37+088--37+098	10	20	8	7	5
37+098--37+108	10	16	8	7	5

并设 1 组砂砾石垫层对比试验段，设计垫层厚度阴坡 105 ~ 70cm，渠底 95cm，阳坡 70 ~ 45cm。

为定量研究保温板抗冻胀效果，在每组试验段渠道上埋设冻胀量观测杆、地温观测仪和土壤含水量观测仪，共埋设观测管 120 根，其中：地温观测管 36 根，地下水观测管 36 根，冻胀及冻深观测管 48 根。在冬季分别对渠道冻胀变形、保温板下基土温度和含水量进行定时观测，六组试验段经过三个冬季的观测，均没冻胀破坏迹象出现，冻胀变形量均为零，说明抗冻胀设计最为薄弱的第六组试验段尚有一定的安全富余。

综上所述，聚苯乙烯泡沫保温板代替砂砾石垫层是行之有效的渠道抗冻胀

措施，在今后水利工程中可大量推广使用。

该项目完成后，高台县水务局积极组织申报了《渠道聚苯乙烯泡沫塑料板抗冻胀实验研究》科技项目，2004年9月，张掖市科技局组织鉴定，张掖市人民政府授予市科技进步二等奖。

2、站家干渠透水衬砌措施试验研究

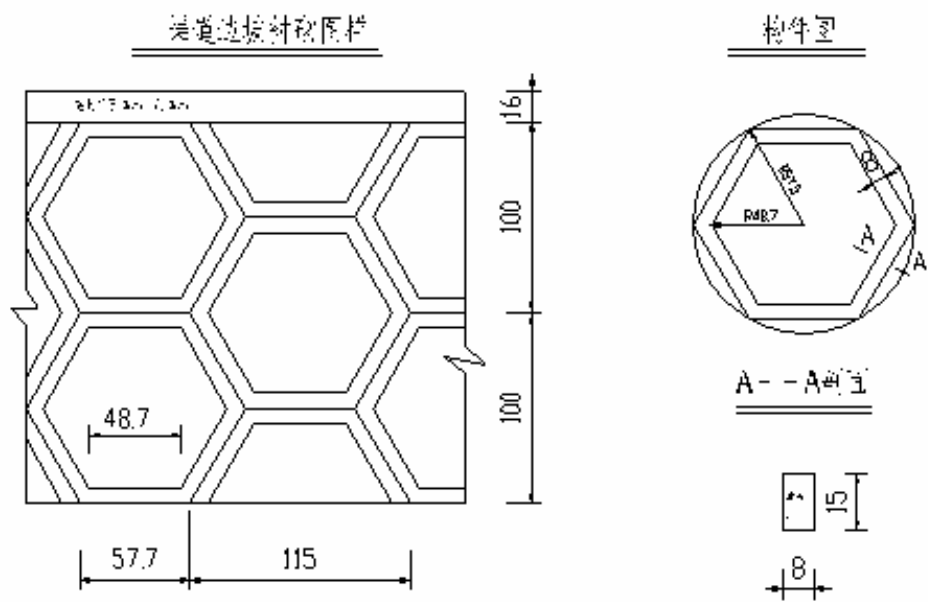
2003年友联灌区的站家干渠等渠道工程上进行了衬砌应用。

由于站家干渠3+160~4+960渠段1.8公里，渠底基本与黑河河底相平，据渠线探抗揭示，地下水在地面以下0.5~1.0m之间，而渠深在地面1.0m以下，该段干渠经常有潜流渗入，为了开源节流，开发该段地下水，根据地下水二次回归规律，充分利用地下水，将地下水引入干渠，使有效的水资源发挥应有的效益。

在设计工艺上将衬砌渠道砼预制砖设计为空心的正三角形和正六边形，每条边宽度8cm，中间用块石填缝，砼预制砖和块石下面铺垫一定厚度的垫层料，用于缓解冻胀对衬砌体的变形张力。因透水衬砌的砼异型砖与干砌石之间属于柔性连接，能适应一定的变形能力，因此，能保持渠道衬砌的规则断面，提高渠系水利用率，延长渠道使用寿命。

该段渠道设计流量 $1.8\text{m}^3/\text{s}$ ，渠道设计为梯形断面，底部用30cm厚干砌块石，边坡用15cm厚C15砼异型砖预制块衬砌，砼异型砖内的块石填缝厚度为25厘米。渠深1.36m，渠口宽度4.9m，底宽1.5m。砌体下面铺设25cm厚砂砾石垫层。

渠道设计横断面如下所示：



在透水衬砌工程实施中，设置了 6 组抗冻胀试验段和 1 组地下水回归渗流测流段，通过观测数据整理分析，透水衬砌渠道受负温冻胀发生的变形量较小，渠道经过两年的运行，所测项目对比值不大于 30mm（见下表），渠道变形量较小，且冻胀变形量和回复量基本一致，抗冻胀效果非常明显。

砟异型砖衬砌渠道变形量观测记录表

测点位置	第 1 实验段	第 2 实验段	第 3 实验段	第 4 实验段	第 5 实验段	第 6 实验段
1 号测点距渠顶处位移	22	19	20	19	10	22
1 号测点处位移	-8	5	-7	10	-13	-9
1—2 号测点处位移	15	26	25	25	21	30
2 号测点处位移	-6	-8	-6	9	-6	-8
3 号测点处位移	4	8	-12	5	-11	-10
4 号测点处位移	-7	10	-6	-6	-13	5
4—5 号测点处位移	29	19	16	25	30	19
5 号测点处位移	-6	10	-15	-10	-21	5
5 号测点距渠顶处位移	18	19	20	25	18	15

注：位移单位以 mm 计

渠道通过透水的性质，将高于渠底的地下水渗入渠道输向下游，减轻或消除了地下水对衬砌体的浮托力，平衡地下水和渠道灌溉水对衬砌体压力，有利于保持衬砌渠道断面的规则性，延长渠道使用寿命。

透水衬砌渠道受负温冻胀发生的变形量较小，适用于高水位、低温度地区渠道改建衬砌施工，具有降低工程投资，简化施工，缩短工期，节约水量，又可改善生态环境，延长渠道使用寿命等优点。但渠道防止渗漏标准低，不适应节水的要求。

综上所述，因用矽异型砖透水衬砌技术作为地下水位较高的渠道的衬砌方案，经过应用和试验，矽异型砖衬砌后，一是输水速度加快，提高了水的利用率。二是抗冻胀效果明显，衬砌体冻胀变形量在允许范围内。三是对地下水二次回归进行了有效地利用。四是发挥了排水治理盐碱地的作用。在今后水利工程地下水位较高的渠道中可大量采用，能有效防止渠道冻胀破坏，降低工程造价，具有广阔的推广应用前景

该项目完成后，高台县水务局积极组织申报了《矽异型砖透水衬砌技术试验应用》科技项目，2004年9月，张掖市科技局组织鉴定，张掖市人民政府授予市科技进步一等奖。

（四） 防渗防冻胀技术措施应用的体会与经验

一是健全组织，加强领导。为了加大项目建设力度，确保各项指标任务的全面完成，成立了由水务局和设计队、水管所负责同志为成员的项目建设领导小组，具体负责项目的资金筹措，协调解决项目建设中出现的问题，督促检查项目的实施进度及质量，由设计队和灌区水管所有关技术专家组成的技术小组，具体负责项目设计、项目实施、项目观测等工作，明确责任、各负其责，为项目实施提供了可靠的组织和技术保证。

二是强化管理，落实“四制”。按照水利工程基本建设程序，配备专职项目管理人员，具体抓资金到位、关系协调、质量监督检查等工作。工程建设过程中，严格控制分包，防止层层剥皮，工程建设实行建设监理制和质量责任终身制。切实搞好工程质量管理，协调好外部各方面、各部门之间的关系，发挥异体监督作用，真正建立起约束机制，确保项目工程质量。

三是优化设计，科学论证。工程项目一开始就进行多方案优化、论证、比较，从渠道断面型式、水力条件、抗冻胀性能、工程造价等方面综合分析，最终确定施工方便，进度快，工程造价低，具有较好的抗冻胀能力的施工方案。

四是合理安排，优化施工。主体工程的施工根据各渠道的特点，利用灌溉间歇期采取分段分期施工的方法，施工方式上采用人工和机械相结合的灵活方式，以加快进度，提高施工质量。

五是加强技术培训，项目工程是一项技术性很强的水利建设工程，要管好、用好并试验推广，必须有一支会规划设计，能施工安装，懂运行管理的技术队伍，从项目工程一开始，我们就抽调部分管理人员参与工程建设全过程，从规划设计、施工安装到通水运行，并且组织学习规范及观测设施的操作规程、管理养护等方面的知识，使工程建成后，能管理，会操作，为今后推广应用新技术、新材料、新工艺积累数据。

（五） 建议

渠道抗冻胀问题在高地下水位地区是一个较为突出的技术难题，措施采取的正确与否直接决定着渠道的造价和工程寿命。造成渠道冻胀破坏的因素很多，可采取的抗冻胀措施也较多，应因地制宜，结合各地区的地质条件、资源条件、经济条件，在各种抗冻胀措施中，选择投资适中、施工方便、使用寿命长的结构型式及技术措施。