

# 渠道防渗防冻胀技术应用网上技术讲座

(第二期)

中国灌溉排水发展中心

## 目 录

一、	山东簸箕李引黄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 .....	- 2 -
(三)	典型渠道防渗防冻胀技术措施 .....	- 3 -
(四)	衬砌段变形隆起及坍塌原因分析 .....	- 5 -
(五)	防渗防冻胀技术措施应用体会 .....	- 6 -
(六)	存在问题及建议.....	- 7 -
二、	山西尊村灌区渠道防渗防冻胀技术应用 .....	- 8 -
(一)	灌区概况.....	- 8 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况 .....	- 10 -
(三)	典型渠道防渗防冻胀技术措施案例分析 .....	- 10 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验 .....	- 12 -
(五)	存在问题及建议.....	- 15 -
三、	河北石津灌区渠道防渗防冻胀技术应用 .....	- 16 -
(一)	灌区概况.....	- 16 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况 .....	- 16 -
(三)	典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施案例分析 .....	- 18 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验 .....	- 20 -
(五)	存在问题及建议.....	- 20 -
四、	河北冶河灌区渠道防渗防冻胀技术应用 .....	- 26 -
(一)	灌区概况.....	- 26 -
(二)	石家庄市冶河灌区渠道防渗防冻胀技术措施 .....	- 28 -
(三)	结论.....	- 29 -
五、	黑龙江龙头桥灌区渠道防渗防冻胀技术应用 .....	- 30 -

(一)	工程概况.....	- 30 -
(二)	渠道工程设计.....	- 30 -
(三)	渠道施工技术要求.....	- 31 -
(四)	青山总干渠道工程经验总结.....	- 33 -
<b>六、</b>	<b>黑龙江悦来灌区渠道防渗防冻胀技术应用 .....</b>	<b>- 36 -</b>
(一)	灌区概况.....	- 36 -
(二)	灌区渠道防渗冻胀技术措施应用情况.....	- 39 -
(三)	典型渠道防渗冻胀技术案例分析.....	- 40 -
(四)	防渗冻胀技术措施应用的体会、经验及建议.....	- 40 -
<b>七、</b>	<b>黑龙江江东灌区渠道防渗防冻胀技术应用 .....</b>	<b>- 43 -</b>
(一)	灌区概况.....	- 43 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况.....	- 46 -
(三)	典型渠段防渗防冻胀技术措施案例分析.....	- 46 -
(四)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验.....	- 47 -
<b>八、</b>	<b>黑龙江音河灌区渠道防渗防冻胀技术应用 .....</b>	<b>- 48 -</b>
(一)	灌区概况.....	- 48 -
(二)	灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况.....	- 49 -
(三)	防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验.....	- 50 -
(四)	存在的问题及建议.....	- 51 -
<b>九、</b>	<b>黑龙江引汤灌区渠道防渗防冻胀技术应用 .....</b>	<b>- 52 -</b>
(一)	概况.....	- 52 -
(二)	渠道防渗防冻胀结构形式.....	- 52 -
(三)	运行效果好的渠道防渗防冻胀典型工程.....	- 53 -
(四)	存在的问题及解决办法.....	- 56 -
<b>十、</b>	<b>陕西泾惠渠灌区渠道防渗防冻胀技术应用 .....</b>	<b>- 58 -</b>
(一)	灌区概况.....	- 58 -

---

(二)	泾河泥沙特性.....	- 62 -
(三)	灌区渠道结构及冻胀破坏形式.....	- 63 -
(四)	针对泾河泥沙采取的措施.....	- 67 -
(五)	针对渠道冻胀破坏采取的措施.....	- 68 -
<b>十一、</b>	<b>陕西宝鸡峡灌区渠道防渗防冻胀技术应用.....</b>	<b>- 70 -</b>
(一)	灌区概况.....	- 70 -
(二)	冻胀因素分析及处理措施.....	- 71 -
(三)	渠道淤积问题及防治措施.....	- 73 -
(四)	建议.....	- 73 -
<b>十二、</b>	<b>陕西东雷抽黄灌区渠道防渗防冻胀技术应用.....</b>	<b>- 75 -</b>
(一)	灌区情况.....	- 75 -
(二)	灌区自然、水文、地质及地基土冻胀量、冻胀级别情况.....	- 75 -
(三)	原渠系工程衬砌及防冻抗渗情况.....	- 76 -
(四)	近年渠系衬砌改造措施及防冻抗渗情况.....	- 77 -
(五)	今后渠系改造防冻抗渗的意见及建议.....	- 78 -

## 一、 山东簸箕李引黄灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 灌区概况

#### 1、 地理位置

簸箕李灌区位于山东省北部，黄河下游左岸，黄河三角洲腹地。南起黄河，北以漳卫新河为界，与河北省海兴县隔河相望，东与白龙湾、小开河灌区相邻，西与济南、德州市接壤；地理坐标为东经  $117^{\circ} 14' 37'' \sim 117^{\circ} 58' 44''$ ，北纬  $37^{\circ} 07' 41'' \sim 38^{\circ} 14' 57''$ ，南北长 130 公里，东西平均宽 17 公里，总面积 2243 平方公里。灌区涉及惠民、阳信、无棣三县，24 个乡镇，总人口 102.8 万人。

#### 2、 水文气象

灌区属于华北半干旱季风气候区，冬春干旱多风，夏季炎热多雨，年平均气温  $12^{\circ}\text{C}$ ，一月份气温最低，平均  $-4^{\circ}\text{C}$ ，七月份最高，平均  $26^{\circ}\text{C}$ ，历史最高气温  $41^{\circ}\text{C}$ 。历史最大风速  $35.5\text{m/s}$ ，最大风力 8~9 级。降雨量年内分配不均，年际变化较大，灌区内多年（1952-2008 年系列）平均降雨量 561mm，其中汛期 444mm，占全年降雨量的 79.14%，年最大降雨量 1112.4mm（1964 年），年最小降雨量为 258.5mm（2002 年），年平均日照时数 2250 小时，年平均蒸发量 1195.1mm，无霜期 215 天，年平均干旱 240 天。由于年降雨分配不均匀和春季强烈蒸发形成“春旱、夏涝、晚秋又旱”的特点。

#### 3、 地质地貌

灌区地处黄河冲积平原，地势平坦，坡度较缓，自然地形是西南高，东北低；地面坡度  $1/5000 \sim 1/15000$ 。地面高程自渠首至下游沿海为 18.6~6.1m（56 年黄海高程系，下同），受黄河决口冲溜和古河道变迁的影响，地貌呈岗、坡、洼相间，呈微地貌差异。地貌类型主要有：河滩高地、决口扇形地、沙质河槽地、缓平坡地、河间浅平洼地和背河槽状洼地六大类型。

灌区土壤多为潮土，表层土壤质地大致可分为：砂土、砂壤土、粘壤土和粘土四类。分布区域是：徒骇河以南多为砂土；徒骇河至勾盘河除洼地为粘土外，其余大部分为砂壤土；勾盘河至青坡沟多系粘壤土；青坡沟以北大部分为

粘土。

#### 4、 社会经济状况

簸箕李引黄灌区地处国家重点开发建设的黄河三角洲地区的腹地，是滨州地区乃至山东省的重要粮棉生产基地之一。涉及惠民、阳信、无棣三县和德州市庆云县 23 个乡镇，根据 2007 年统计资料，工业总产值 70.35 亿元，总人口 102.8 万人，其中城镇人口 8.1 万人，农村人口 94.7 万人，农村劳动力 61.1 万人，人均耕地 2.06 亩；农业总产值 35.8 亿元，农民人均纯收入 3667 元。

灌区的社会生产以农业为主，牧、副、渔及乡镇企业也逐步成为灌区新的经济增长点，灌区土地资源和劳动力资源丰富，交通发达，为灌区的可持续发展提供了有利条件。引黄事业的发展，促进了灌区农业的发展，粮棉产量逐年提高，灌区各县经济发展较快。随着环渤海经济区的发展和我省环济南市圈的建设，经济格局发生了极大的变化，也为灌区的发展带来了十分难得的机遇，灌区的发展潜力巨大。

#### 5、 渠道防渗工程现状

簸箕李灌区近几年来围绕建设“节水型、生态型、科技型、服务型、效益型”五型灌区的目标，抓住国家对大型灌区实施续建配套与节水改造的机遇，大力实施节水改造，取得了显著成效。自 2005 年被列为国家第二批大型灌区节水改造项目以来，累计完成干级渠道衬砌 18.5 公里、改造配套建筑物 65 座、渠道绿化 35 公里等。目前灌区内干渠 4 条总长度 159.7 公里，已防渗 33.82 公里，防渗率 21%；支渠 134 条，总长 997.5 公里，尚未衬砌。灌区节水改造工程的实施运用，实现了节水增效，减少了渠道淤积，改善了灌区生态环境。

### （二） 灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

簸箕李灌区干级渠道防渗率低，渠道渗漏严重，输水速度慢，用水效率低，已衬砌渠段由于冻胀影响，普遍存在混凝土板破损现象和渠道冻胀断面变形现象，影响渠道输水能力。

#### 1、 总干渠上游段

总干渠上游段总长 35km，衬砌 10km，防渗率 28%，完好率 90%。断面形

式为梯形，防渗方式是全断面防渗、边坡衬砌。渠坡采用预制混凝土板下铺复合土工膜，规格为一布一膜，布 200g/m<sup>2</sup>，膜厚 0.2mm。渠底为塑膜防渗，薄膜厚度 0.2mm，设在渠底以下 0.6m。该渠段于 2006、2007 年秋冬季衬砌，至今运行稳定良好。

## 2、 总干渠下游段

总干渠下游段总长 14.9km，衬砌 14.9km，防渗率 100%。断面形式为梯形，防渗方式是全断面防渗、边坡衬砌。渠坡采用预制混凝土板下铺塑膜，渠底为塑膜防渗。该渠段于 1990 年衬砌，渠坡稳定，然而渠底塑膜损坏较为严重。

## 3、 一千渠

一千渠总长 42.7km，衬砌 0.4km，防渗率 1%。断面形式为梯形，防渗方式是半断面衬砌，渠坡采用预制混凝土板下铺复合土工布（一布一膜）。该段渠道于 2005 年衬砌，至今运行稳定良好。

## 4、 二千渠

二千渠总长 66km，衬砌 8.2km，防渗率 12%，完好率 95%。断面形式为梯形，防渗方式是半断面衬砌，渠坡采用预制混凝土板下铺土工布（一布）。该段渠道于 2008、2009 年衬砌，总体运行稳定良好，仅局部渠段出现变形隆起冻胀破坏及坍塌等现象。

### （三） 典型渠道防渗防冻胀技术措施

#### 1、 总干渠上游段防渗工程

灌区属于华北暖湿半干旱季风性气候区，冬季寒冷而漫长，一月份平均气温 -4℃，极端最低气温为 -22℃，最大冻土深 0.54m。地质条件为：总干渠上游段土质较差，为沙土。防渗工程全长 9.1km，设计流量 70m<sup>3</sup>/s。断面形式为梯形，底宽 34.0m、渠底比降 1/7000、衬砌高度 2.86m，边坡 1:2。防渗方式是全断面防渗、边坡衬砌。渠坡采用预制混凝土板下铺复合土工膜，规格为一布一膜，布 200g/m<sup>2</sup>，膜厚 0.2mm。为满足砗板适应冻胀变化，且方便施工，经计算确定标准砗板尺寸为 58×38×6cm，错缝半板 27×38×6cm。砗板标号采

用 C20、W8、F100。渠底采用塑料薄膜防渗，塑膜厚度 0.2mm,设在渠底以下 0.6m。齿墙：为保证边坡护板稳定，且防止坡脚冲刷，在渠底坡脚处设齿墙，顶宽 40cm，底宽 60cm，深 60cm，其中顶部为现浇 C15 砼齿墙厚度 15cm，其他为 M10 浆砌片石。结构缝及伸缩缝：为避免因温度应变引起砌体破坏，纵横向均设伸缩缝，顺渠向每隔 12.4m 设一道横向伸缩缝，顺坡向在渠坡 1/3 渠深处设一道纵向伸缩缝，伸缩缝宽度为 4cm，下部充填  $4 \times 4\text{cm}$  的预制塑料胶泥，顶部用低标号水泥砂浆塞实抹平，达到防老化之目的；板间结构缝宽度 4cm，C20 细石砼填充，提浆抹平。封顶板：为防止雨水冲刷渠道内坡，在护坡顶部现浇  $60\text{cm} \times 15\text{cm}$  的 C15 砼封顶板。齿墙及封顶板顺渠向每 12.4m 设一道伸缩缝，缝宽度为 2cm，以 2cm 厚沥青杉板填充。

渠道衬砌至今 3 年，整体运行状况良好，仅局部渠段出现变形隆起冻胀破坏现象。

## 2、 二千渠防渗工程

二千渠土质较差，为沙壤土，地下水位较高（10.5m 左右）。防渗工程全长 8.2km，分两段：第一段 4+093 ~ 8+193，设计流量  $40\text{m}^3/\text{s}$ ；第二段 23+119 ~ 27+247，设计流量  $35\text{m}^3/\text{s}$ 。采用半断面砼预制板衬砌（两坡），坡面砼板下铺设土工布。主要设计指标：底宽 17.0m、渠底比降 1/7000、衬砌高度 2.80m，边坡 1: 2。为满足砼板适应冻胀变化，且方便施工，结合灌区已建工程经验确定标准砼板平面尺寸为  $58 \times 38\text{cm}$ ，错缝半板  $27 \times 38\text{cm}$ ，下部异型板平面尺寸为  $58 \times 58\text{cm}$ 。砼板厚度 80mm。砼板标号采用 C20、W8、F100。

由于该地区地下水位较高，基本接近设计水位，渠道渗漏量较小，故不进行防渗处理，但是该渠段土质较差，为方便施工预制板下铺设  $300\text{g}/\text{m}^2$  的土工布。抗侧渗处理：边坡第二、三、四行间隔布置无砂砼预制板，无砂砼预制板下设砂石反滤层以利排水。齿墙：为保证边坡稳定，防止坡脚冲刷，渠底脚设 C15 现浇砼齿墙，宽 40cm，深 60cm。结构缝及伸缩缝：为避免因温度应变引起砌体破坏，顺渠向每隔 9.92m 设一道横向伸缩缝，伸缩缝宽度为 4cm，下部充填  $4 \times 6\text{cm}$  的塑料胶泥条，顶部用 M5 水泥砂浆塞实抹平，达到防老化之目的；板间结构缝宽度 4cm，C20 细石砼填充。封顶板：为防止雨水冲刷渠道内



坡，在护坡顶部现浇 60cm × 20cm 的 C15 砼封顶板。齿墙及封顶板顺渠向每 9.92m 设一道伸缩缝，缝宽度为 2cm，以 2cm 厚沥青杉板填充。渠段首尾边坡处，分别设有 C15 砼刺墙（40cm × 60cm）一道。

4+093 ~ 8+193 段渠道于 2008 年冬季衬砌，经过冬季放水运行后，该渠段坡面普遍存在变形“隆起”现象，轻重断续分布，总长约 1200m。概括起来，变形“隆起”大致分为 4 种类型：1.底角处下四行板沿坡面法向“隆起”，结构缝开裂，相邻两板间形成折腰近似“平台”，已影响到日后安全放水；2.坡面中部或上部普遍存在变形“隆起”现象，只是凡底角“隆起”较重者而较轻，底角“隆起”较轻者而加重，一般变形“隆起”较均匀，仅有个别局部较为严重；3.坡顶第一块板下结构缝存在“开裂”现象，有的还比较严重；4.封顶板板下存在变形“开口”现象；封顶板内侧 1/2 有挤压“碎裂”现象；封顶板外侧与堤坝结合处有“裂隙”现象。

#### （四）衬砌段变形隆起及坍塌原因分析

热胀加冻胀，是变形凸起的主要原因。降雨量大、渠床土质差是衬砌渠坡坍塌的主要原因。当然也存在着施工和设计因素：

- 1、施工中回填造坡或局部回填土含水量太大，加之地下水的影响；
- 2、坡面施工平整度；
- 3、封顶板伸缩缝不正规；
- 4、冬季施工加剧了砼坡面的热胀；
- 5、横向伸缩缝内有砼垫块，且大多为砂浆缝，起不到伸缩缝的作用；同时缝隙偏窄，不足以满足热胀的要求。

##### 6、大气负温

灌区属于华北暖湿半干旱季风性气候区，冬季寒冷而漫长，一月份平均气温 -4℃，极端最低气温为 -22℃，最大冻土深 0.54m。大气负温是造成混凝土渠道冻胀破坏的最基本的环境因素，大气负温越低，维持的时间越长，混凝土渠道的冻胀破坏就越严重。

##### 7、渠床土质

总干渠为沙土，持水性能很差，属于非冻胀性土，混凝土衬砌板不会被冻

坏；而二千渠土质为壤土和粘土，持水性能好，渠床土是冻胀性的，混凝土衬砌板就可能遭受冻胀破坏。

#### 8、地下水埋深

二千渠地下水位较总干渠高，冬季气温下降产生强烈的冻胀，使护砌板遭受严重的冻胀破坏。而总干渠地下水位较低，只能产生很小的弱冻胀。

#### 9、渠道运行方式

灌区一般都需要冬灌，为冬季输水的渠道，但输水时间短，停水后整个渠道发生冻结，产生冻胀破坏。

### （五） 防渗防冻胀技术措施应用体会

针对本灌区渠道防渗抗冻工程设计、施工和管理的情况，对本灌区所采用的抗冻胀技术措施进行总结，其主要措施如下：

#### 1、 设计

①渠道的边坡不宜过陡，应考虑渠基自身的稳定和施工的要求。本灌区典型渠道边坡均为 1:2。

②混凝土的强度、抗渗、抗冻要满足要求。本灌区采用混凝土强度等级 C20，抗冻等级 F100，抗渗等级 W8。

③防渗结构采取混凝土板和防渗膜组合结构能有效的防渗和抗冲，即板下铺设土工膜。混凝土板厚根据渠道大小确定，总干渠 60mm，二千渠 80mm,防渗膜用素膜(总干渠下游段)或复合土工膜（总干渠上游段），厚度 0.2mm。不进行防渗处理的渠段如二千渠采用板下铺设土工布。

#### ④砂石反滤层排水消除冻胀破坏

在地下水位较高的渠段，如二千渠，遇到渠道边坡和渠底大量渗水的情况，导致铺设塑膜后，渗水因塑膜阻碍而无导渗出路，这时塑膜和混凝土板将受到较大的渗透压力，导致边板和底板被顶起，成为废板。针对此问题解决的方法是：边坡第二、三、四行间隔布置无砂砼预制板，无砂砼预制板下设砂石反滤层以利排水。

## 2、 施工

施工时要保证施工质量，填方渠道土方质量是防渗工程的基础，也是防冻害的主要环节之一，渠基土要充分压实，垫层要铺均匀，塑料薄膜的接缝要牢固可靠，混凝土要震捣密实，填缝材料要饱满。

## 3、 运行管理

①完善渠道运行管理制度，做好渠道日常养护、安全检查和维修工作，及时清除渠道中杂草、蚁穴、鼠洞等阻碍物，建立经常检查、定期检查和特别检查的检查制度，按照经常养护、随时维修、养重于修、修重于抢的原则，使渠道得到及时维修，保证使用。对产生冻胀破坏的渠段要及时维修，以免破坏现象蔓延。

②冬季需要引水运行时，尽量使渠道满渠运行并设法使渠道中不结冰，这样可防止渠道冻胀。

③在渠旁两侧设8~10m林带，可起生物排水作用，对降低地下水位、防治渠道冻害十分有利。总干渠下游段就是一个很好的例子。

### (六) 存在问题及建议

1、由于渠道冻胀破坏的机理很复杂，影响因素多，以上措施和经验可能会有不准确和不完善之处，有待今后进一步修改补充。

2、有些措施虽然实践中已经取得了成功，但由于缺少理论分析，和实测数据的支持，也没有得出通用的计算公式，因此很难推广。比如边坡底部铺设的砂石反滤层，厚度到底取多少合适，也没有确定的数值，和合适的计算方法，这些都有待于今后进一步研究解决。

## 二、山西尊村灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 灌区概况

尊村灌区位于山西省南端运城市中、西部，黄河小北干流东侧，涑水河盆地。灌区东、南两面环山，西临黄河，北接黄土台塬，为半封闭盆地，呈东西条带状，东西长 113km，南北宽 30km。灌区总体地形是东北、西北、东南部高，西南和中部低，三面高，中间低。地面高程约在海拔 350~550m 之间。

灌区属于干旱、半干旱大陆性季风气候，全年受季风活动影响，一般每年十月至翌年五月，受西伯利亚干冷气流控制，盛行西北季风，最大风速 17m/s，气候特点是多风少雨。汛期一般为六至九月份，受太平洋暖湿气流控制，盛行东南季风，特点是降雨集中，且多暴雨及雷阵雨，多年平均年降水量为 540mm，汛期降水量占全年 60% 以上，年降水量年际变化也较大。多年平均水量蒸发量在 2000mm 左右。年平均气温为 13℃，最高气温 42℃，最低气温 -10℃，无霜期为 210 天，年径流深在 10~25mm 之间，年径流系数为 0.02~0.05。地下水资源可开采模数为 8.06。多年平均冻土深 29.1cm，最大冻土深 42cm，属季节性冻土。年太阳总辐射量为 121~129 千卡/cm<sup>2</sup>，年日照时数为 2350 小时，大于 10℃ 积温为 4563℃。本区热量丰富，光照充足，灾害天气以干旱为主，且出现频繁，持续期长。

灌区地貌根据地形和构造特征分四个单元：峨嵋岭倾斜平原、涑水河河谷带状平原、鸣条岗黄土长梁和青龙河河谷平原。本区出露地层主要为第四纪地层，有下更新统（Q1）冲洪积及冲湖积亚粘土夹层和砂砾层；中更新统（Q2）冲洪积亚沙土亚粘土夹砂砾石层；上更新统及全新统（Q4）风积灰黄色亚砂土、冲积的亚粘土夹中粗砂层。根据土工试验，其土质为 I 级非自重湿陷性黄土。

该区地处山西陆台南端，属祁吕贺兰山字型构造体系东翼的一部分，同时受秦岭、新华夏构造的影响。本区是夹在孤峰山~稷王山~紫金山隆起带和中条山隆起带中间的一个盆地沉降带。盆地两侧有次一级的断裂构造带。主要工程地质问题是黄土湿陷性问题。

由于灌区处在沉陷带上，不同时期和地段堆积了不同厚度的湖积物、河湖积物、冲洪积物，分布的多层砂砾石层为地下水储存、运移创造了条件。在水

平方向和垂直分带上差异较大。地下水类型为松散层孔隙水。据埋深不同，含水层时代和水动力特征可分为浅层水、中层水和深层水。埋深一般在 20m 以下，地下水运移方向大致为北东~南西向。

浅层水质类型水平分带性很强，其水质类型主要为  $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\sim\text{Na}$  与  $\text{SO}_4\sim\text{Na}$  型水以及  $\text{Cl}\sim\text{Na}$  型水，矿化度 1~5g/l，局部可达 10g/l，属于半咸水和咸水，而且从区域四周到中间，水质越来越差。据评价，不符合灌溉标准。

中深层水水质类型以  $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4$  型水为主，矿化度 1~2.5g/l，盐湖区最高达 6.2g/l，据评价，除盐湖区外均符合灌溉标准。本区内部分地区，如盐湖区新郭、寨里，永济青渠屯等地，氟离子、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NO}_4^-$  均有不同程度超标。

尊村灌区范围包括永济、临猗、盐湖区、夏县、闻喜五县（市、区），37 个乡镇，596 个行政村，农业人口 71 万人，农业劳力 40.45 万人。农业机械约 3 万台，以拖拉机、三轮车、收割机为主。农业总产值 16.93 亿元，人均年收入 3015 元。区内工业主要有钢铁、化工、机械、轻纺、建材及食品等大中型工矿企业 158 个，其中海鑫钢铁集团公司、南风化工集团公司最为著名。灌区总土地面积 269.86 万亩，总耕地面积 187.08 万亩，设计灌溉面积 166 万亩，有效灌溉面积 84.19 万亩，2009 年实灌面积 51.79 万亩。

尊村一级站工程于 1976 年 2 月破土动工，随后二至九级站工程亦相继动工上马。1979 年为贯彻国民经济调整方针，六至九级站停工缓建，集中力量进行一至五级灌区工程施工，由此形成了一、二期工程。

截止目前，尊村灌区已建成 9 级 23 站，总干渠 133.92km（其中海鑫供水管道 31.62km），分干渠四条 107.27km，支渠 81 条 504.02km，斗渠 3290 条，长 3319km，配套面积 84.19 万亩。

尊村灌区的防渗技术除条山分干 0+000~16+800 为砌石矩形渠、海鑫供水为 31.62km 预应力砼管道、八干一支为 5.4 km 双壁波纹塑料管外，其余的一至五灌区干、支、斗渠均为衬砌砼预制板，六至八干、支渠为现浇砼梯形渠，砼下铺设土工布，斗渠为现浇 U 形渠。据《渠道工程抗冻胀设计规范》（SL23—91）3.2.1 条规定，选取渠道断面上的冻胀量最大值 2.29cm 为衬砌渠道的最大冻胀位移值。据规范表 3.2.3，整体式 U 形渠允许位移值为 4~5cm，而计算得渠道的最大冻胀位移值 2.29cm，小于规范允许值，满足抗冻胀要求，不需采取防

冻胀工程措施。

## (二) 灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

一至五灌区工程由于年久失修，渠道老化严重，勾缝脱落，渠水渗漏，渠床塌陷，防渗板悬空，决口跑水经常发生，渠道路漏损严重，用水效率低下，严重影响灌区效益的发挥。1999年，国家实施大型灌区节水改造工程项目，我们紧紧抓住机遇，进行灌区节水改造。改造的项目主要是老化淤积无法运行的干支渠，取得了一定的效果。截止2009年底，完成29条支渠长度161.491km改造，改造形式为现浇C15砼U形、及弧底梯形渠（渠首段50~80m）。改造段每4m设一横向伸缩缝，缝宽2cm，采用聚氯乙烯胶泥填塞和1:1:4沥青水泥砂浆封口。U型渠的主要优点是：①水利条件好，近似最佳水力断面，可减少衬砌工程量，输沙能力强，有利于高含沙水流。②在冻胀性和湿陷性地基上具有一定的适应地基不均匀变形的能力。③渠口窄，节省土地，减少挖填方量。④整体性强，防渗效果优于梯形断面。⑤便于机械化施工，可加快施工进度。⑥砼U形渠抗磨蚀、防渗均优于其他防渗渠，伸缩缝的设置能较好适应气候变化、湿陷黄土地基下沉的影响，因而延长渠道使用寿命。

## (三) 典型渠道防渗防冻技术措施案例分析

### 1、 一千三支及分支渠

尊村灌区一千三支及分支渠建于1978年，进口位于一千渠011+010处（永济市张营太吕村），全长5.0km，原设计流量 $0.48\text{m}^3/\text{s}$ ，灌溉面积1.06万亩，受益范围为永济市张营乡黄河滩涂地。渠道走向分为“东~西”和“南~北”向，土壤为沙壤土，土的干密度为 $17\sim 18\text{KN}/\text{m}^3$ ，天然含水量16%，土的塑限含水量为20%，多年平均冻土深29.1cm，最大冻深42cm，属季节性冻土，地下水埋深5m。原渠道为梯形预制板防渗，由于原渠底高程过低，设计断面过大，渠道纵坡较缓，再加上渠水含沙量较大（ $10\text{kg}/\text{m}^3$ ），实际过水流量较小（ $0.15\text{m}^3/\text{s}$ ），导致泥沙淤积严重，难以过水，另外工程年久失修，防渗板损坏严重，造成农作物得不到适时灌溉。

2005年10月~2006年5月份，完成了该渠3.93km的D100、D80“U”型

改造。渠道设计采用较优断面，流速在不冲不淤泥之间。渠道水利要素：一千三支渠为 D100，纵坡为 1/1500~1/2000，渠深 1m，口宽 1.28~1.1m，流速 0.76m/s，衬砌厚度 7cm，设计流量 0.47m<sup>3</sup>/s。为避免壅水，影响量水精度，将 0+000~0+050 段改为弧底梯形渠，口宽 2.42m。分支渠为 D80，纵坡为 1/1000，渠深 1m，口宽 0.8m，流速 0.76m/s，衬砌厚度 7cm，设计流量 0.2m<sup>3</sup>/s。

施工工艺：拆除原梯形渠预制板后，清扫干净，将现渠坡开挖成台阶状（30×30cm），用粘性土分层夯实，压实度不小于 0.93，达到设计标高，反铲挖掘机开挖渠槽，人工精修符合 U 型标准断面后，用 U 型衬砌机浇筑砼，原浆收面，洒水养维。每 4m 留伸缩缝一道。冬季施工，按冬季施工要求进行，如加热水，加防冻剂，覆土保温等。

该渠改造后，满足了灌溉输水要求，2006 年，当年配水 15 万 m<sup>3</sup>，浇地 1700 亩地。经抗冻胀计算，渠道的最大冻胀位移量为 2.29cm，小于规范允许值，满足抗冻要求，不需要采取防冻胀工程措施。

## 2、 四千二支渠

该渠建于 1979 年，进口位于四千渠 69+750 处，全长 11.55km，大部分为挖方渠段，原设计流量 1.2m<sup>3</sup>/s，灌溉面积 3.5 万亩，受益范围为运城市盐湖区金井乡。渠道走向分为“东~西”和“南~北”向，土壤为轻壤土，土的干密度为 15~16KN/m<sup>3</sup>，天然含水量 18%，土的塑限含水量为 20%，多年平均冻土深 29.1cm，最大冻深 42cm，属季节性冻土，地下水埋深 20m。原渠道为梯形预制板防渗，纵坡 1/4000，由于渠道纵坡较缓，再加上渠水含沙量较大（10kg/），渠道仅能过 0.15m<sup>3</sup>/s 流量，每年清淤需耗费大量人力和财力，给工程管理带来极大不便，造成农作物得不到适时灌溉，严重挫伤了群众用水的积极性。

2004 年 8 月~2005 年 12 月份，完成了该渠 5.6km 的 D160 “U”型改造，渠道水利要素：渠深 1.3m，口宽 1.98m，流速 0.76m/s，衬砌厚度 10cm。设计流量 0.9m<sup>3</sup>/s，灌溉面积调整为 2.6 万亩。

施工工艺：同上。

该渠改造后，无论输水能力、灌溉面积和抗冻害能力、耐久性都有明显提高。改造前输水能力只有 0.15m<sup>3</sup>/s，从干渠进水口到王南村的输水时间长达 5

小时左右，配水不到 10 万亩，灌溉面积只有 1000 余亩。改造后，输水流量达  $0.8\text{m}^3/\text{s}$ ，输水时间只有 2 小时，2006 配水 67.35 万方，灌溉面积 1 万亩，随后几年一直居增不减，产生了较好的经济效益和社会效益。由于渠道断面、纵坡设计合理，流速在不冲和不淤流速之间，防渗防冻胀效果明显提高。改造完成至今已过 5 个年头，渠道仍完好无损。

### 3、 二千五支渠

该渠建于 1979 年，进口位于四千渠 49+502 处（开张镇高淮村），全长 8.82km，大部分为半挖半垫渠段，原设计流量  $1.5\text{m}^3/\text{s}$ ，灌溉面积 2.86 万亩，受益范围为永济市开张镇。渠道走向分为“东~西”和“南~北”向，土壤为轻壤土，土的干密度为  $15\sim 16\text{KN}/\text{m}^3$ ，天然含水量 18%，土的塑限含水量为 20%，多年平均冻土深 29.1cm，最大冻深 42cm，属季节性冻土，地下水埋深 15m。原渠道为梯形预制板防渗，纵坡 1/3000，由于渠道纵坡较缓，再加上渠水含沙量较大（ $10\text{kg}/\text{m}^3$ ），渠道仅能过  $0.15\text{m}^3/\text{s}$  流量，每年清淤需耗费大量人力和财力，给工程管理带来极大不便，造成农作物得不到适时灌溉，严重挫伤了群众用水的积极性。

2005 年 11 月~2006 年 6 月份，完成了该渠 8.5km 的 D160、D100 “U” 型改造，渠道水利要素：D160 为渠深 1.3~1.1m，口宽 1.33~1.98 m，流速  $0.8\text{m}/\text{s}$ ，衬砌厚度 7cm，纵坡为 1/800~1/1500，设计流量  $1.27\text{m}^3/\text{s}$ ；D100 为渠深 0.9m，口宽 1.23m，流速  $0.76\text{m}/\text{s}$ ，衬砌厚度 7cm，纵坡为 1/800~1/1500；设计流量  $0.62\text{m}^3/\text{s}$ 。

施工工艺：同上。

该渠改造后，无论输水能力、灌溉面积和抗冻害能力、耐久性都有明显提高。2006 配水 37.79 万方，灌溉面积 5000 亩，随后几年一直居增不减，产生了较好的经济效益和社会效益。由于渠道断面、纵坡设计合理，流速在不冲和不淤流速之间，防渗防冻胀效果明显提高。改造完成至今已过 5 个年头，渠道仍完好无损。

#### （四） 防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

防渗防冻胀技术措施在本地区灌区节水改造中显得尤为重要，若不能采取



有效防冻措施，遇到严寒季节运行，必然引起防渗渠道的损坏。比如，2009年11份七干渠防渗板冻坏就是一例。七干渠总长740m，其中为高填方渠段500m。经过多年运行（1994年建成），渠道淤积严重，高水位运行，渠堤防渗压顶下沉，伸缩缝沥青砂浆剥落，渠水渗漏，另外压顶板不均匀沉陷，与渠床回填土不能很好结合，雨水灌渗，板后淘空。2009年11份，我市遭受到50年一遇的极端寒冷天气。在向海鑫集团供水中，渠道基土中含水量比较高，在冬季负温作用下，土壤中的水分发生冻结而造成土体膨胀，使衬砌体开裂，隆起而折断冻结膨胀，造成多处阴坡上部防渗板折坏、塌陷。为了不影响今年上水，我局立即对破损部分进行了修复，板后夯填土，破损处拆除重新浇筑砼，渠坡衬砌体顶部做好封顶，不被雨水灌入。采取以上措施后，保证了今年供水生产。

在渠道设计中，要严格按照《渠道工程抗冻胀设计规范》（SL23—91）进行抗冻胀验算，根据不同地区气候特点、自然条件、土质，经过技术经济比较，采用合理的防渗防冻胀技术措施；针对渠道不同的部位（阴坡、阳坡，坡顶、坡底）受冻程度不同分别采取相应措施。实践证明，根据工程具体条件，从渠系规划布置，渠床处理，排水，保温、衬砌的结构型式、材料、施工质量、管理维修等方面着手，全面考虑，采取适宜的防冻害措施，能有效地防止防渗工程的冻胀破坏。

采取适宜的削弱冻胀的措施，将渠床基土的最大冻胀量削减到衬砌结构允许变位范围内，达到保护渠道的目的。

## 1、 防渗（隔水）、排水

防止渠水和渠堤水的地表水入渗，隔断水分对冻层的补给，以及排除地下水，是防止地基土冻胀的根本措施。

（1）防止渠水渗漏：防止衬砌体的伸缩缝或结构缝漏水，填缝采用聚氯乙烯胶泥，性能较好，基本上能满足工程要求，但造价较高，可适当采用。

（2）为防止渠堤上的地面径流入渗，需作好沿渠的防洪、排水工程（如截、排水沟，纳水口等），另外渠坡衬砌体顶部应做好封顶，以防来水浸入板后。

（3）隔断水分对冻结层的补给。采用塑料膜，油毡，人造橡胶膜等膜料，设置隔水层，隔断渠道渗水，大气降水和地下水对冻结层的补给，使渠基土的

含水量低于起始冻胀含水量，从而削减或消除冻胀。一般是设置深浅两层封闭层隔膜，中填当地夯实土，填土厚应等于设计冻深，上层隔膜与衬砌体之间应设置过渡层。

## 2、 压实

压实法可使土的干密度增加，孔隙率降低，透水性减弱。密度较高的压实土冻结时，具有阻碍水分迁移，聚集，从而削减甚至消除冻胀的能力。因此，可以通过渠床的压实处理，来达到防止冻害的目的。

就湿陷性黄土区的渠床而言，常采用泡水一翻松压实法。方法是：先放水浸泡，使土层逐步湿陷，而又不会发生过大的冲刷、崩塌，并对湿陷产生的洞穴及时回填，这样反复多次，再逐渐加大注水量，直到不产生湿陷为止。然后，凉干已基本稳定了的土基，使土壤含水量利于夯实。最后用适宜含水量的黄土或灰土回填。并逐层夯实。

## 3、 隔热保温

将隔热保温材料（如炉渣、石蜡渣、沥青草、泡沫水泥，玻璃纤维，聚苯乙烯泡沫板等）布设在衬砌体背后及地表面，以减轻或消除寒冷因素，并可减少置换深度，隔断下层土的水分补给，从而减轻或消除渠床的冻深和冻胀。一般在采用其他防冻办法不经济或到一些特殊地段时才采用。

## 4、 化学处理

利用化学材料注入或埋入渠床基土中，使土中水的冰点降低或者增强土的憎水性，使冻结时不会发生（或很少发生）水分迁移现象，从而大大减轻或消除冻胀。常用的有食盐、氯化钙、氯化镁等。化学处理的耐久性较低，所需费用较大，尚在进一步研究中。

## 5、 置换

在冻结深度内将衬砌板下的冻胀性土换成非冻胀性材料（纯净的砂砾、砂卵石及中、粗砂）的一种方法。通常又称铺设砂砾石垫层。砂砾石垫层不仅本身无冻胀，而且能排除渗水和阻止下卧层水分向表层冻结区迁移。所以它能有效地减少冻胀，防止冻害现象的发生。

置换法虽然能有效地防止衬砌板的冻胀，但由于一般灌区的内砂砾石料极缺，垫层工程量大，造价高，衬砌施工不便，所以除地下水位较高的渠段和砂砾石料丰富的地区可采用外，一般很少采用。

## 6、 优化结构

在设计渠道断面和衬砌时采用合理的形式和尺寸，使其具有消减适应或回避冻胀的能力，常用的有梯形，弧形坡脚梯形、弧形、矩形和U型等，还有浆砌石弧形渠底，混凝土板砌渠坡等综合形式，也有的矩形渠，底为反拱砌石，两侧为预制空箱内填砂砾石的挡墙形式。

### （五） 存在问题及建议

1、我国地域辽阔，各地气候条件相差较大，渠道防冻胀目前无统一的防冻胀标准。应根据不同地区的气候条件进行分区，如：温带地区、寒冷地区、严寒地区，归属不同的防冻胀等级。根据不同的防冻胀等级，制定不同的防冻胀措施。在渠道设计中，执行防冻胀设防标准，规范渠道防冻胀设计。

2、加大渠道防冻胀技术应用宣传力度，不论在设计、施工和运行管理中，都要引入渠道防冻胀技术，延长渠道使用寿命。

3、要像建筑节能设计一样，北方灌区在渠设计必须有防冻胀设计，进行经济技术比较，选择节约投资，效果较好的防冻胀设计方案。

4、成立专门机构，从事渠道防冻胀技术研究。

### 三、河北石津灌区渠道防渗防冻胀技术应用

#### (一) 灌区概况

石津灌区地理位置处在北纬  $37^{\circ} 30' \sim 38^{\circ} 18'$  和东经  $114^{\circ} 19' \sim 116^{\circ} 30'$ ，位于滹沱河与滏阳河之间，地貌类型可分为山麓平原、倾斜平原和冲积平原三个较大的地貌单元。灌区属温带大陆性季风气候区，多年平均降水量为 507.2mm，年最大冻土深 47cm。气象条件适宜冬小麦、玉米、棉花等多种农作物及苹果、梨、桃等果树生长。

灌区的水源工程为滹沱河上的岗南水库和黄壁庄水库，按照《河北省石津灌区续建配套与节水改造规划报告》，设计渠灌面积 200 万亩，支渠以上（含支渠）骨干渠道总长度 1442km；通过多年的建设，特别是 1997 年以来的灌区续建配套项目与节水改造项目的实施，共完成支渠以上骨干渠道混凝土防渗 221.8km，灌区工程条件和农业生产条件得到了很大程度的改善。

#### (二) 灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

在渠道防渗防冻胀措施的探讨方面，近几年，我们以规范为基础，在满足规范设计要求的前提下，推广适用了聚乙烯闭孔泡沫塑料板、806 树脂油膏、聚苯乙烯泡沫保温板、土工膜、丹强丝（K.V Fiber 抗裂合成纤维）等新型填缝、保温、抗渗、抗裂材料。

##### 1、聚乙烯闭孔泡沫塑料板

近年实施的续建配套项目中，在总干渠险工段、军干渠等渠道混凝土衬砌工程中均使用聚乙烯闭孔泡沫塑料板作为混凝土防渗板接缝材料。该材料具有密度小、回复率高、具有独立的气泡结构；表面吸水率低，防渗透性能好；耐老化性能优良；低温不脆裂，高温不流淌等特点；同时该材料可按断面形状裁剪或粘结，施工非常方便。为提高板缝的抗渗能力，可在接缝混凝土板下部铺设油毡条。

##### 2、聚苯乙烯泡沫保温板

考虑到混凝土板防冻胀的需要，我灌区先后在军干渠、四干渠等渠道防渗

工程中使用聚苯乙烯泡沫保温板，保温防冻胀效果良好。聚苯乙烯泡沫保温板的主要技术指标一般控制在：热导系数 $\leq 0.4\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，密度 $\geq 20\text{kg}/\text{m}^3$ 。保温板厚度根据冻土深度并结合渠道走向等因素确定。

### 3、 复合防渗土工膜

复合防渗土工膜为土工织物与土工膜复合而成的不透水材料，分为一布一膜和两布一膜，宽幅 4-6m，重量为 200-1500g/m<sup>2</sup>，防渗效果好，抗拉、抗撕裂、抗顶破等物理力学性能指标高；同时土工膜防渗也可减少水的渗漏，从而大大缓解混凝土板下土体的冻胀力。

### 4、 806 树脂油膏填缝材料

与传统的沥青油膏相比，新型防水油膏——806 树脂油膏具有韧性好,粘接力强,低温不易裂等特点,且使用寿命长,施工简单。自 1997 年灌区续建配套工程使用以来，806 树脂油膏已经在灌区得到了全面推广应用,止水效果良好。

### 5、 丹强丝（K.V Fiber 抗裂合成纤维）

丹强丝（K.V Fiber 抗裂合成纤维）是一种新型高分子建筑材料，施工时，可根据配比直接将整袋纤维投入搅拌机，适当延长搅拌时间即可，对混凝土骨料、外加剂、掺合剂、水泥都不会有任何影响，对搅拌设备也没有特别的要求；主要作用是应用于各类混凝土/砂浆制品，能够显著提高制品的抗裂、抗渗、抗冲磨、耐冻融等功效。我灌区在一千五分干混凝土防渗工程中选取了部分渠段布置丹强丝纤维混凝土试验段。

### 6、 聚硫密封胶

双组份聚硫密封胶适用于长期浸水建筑接缝密封，与混凝土粘接性能好，具有耐老化性、耐久性、气密性和防水性以及良好的粘接性，是防水止渗不可缺少的密封材料。

下面通过几个实例进行具体阐述。

### （三）典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施案例分析

#### 1、 案例一：混凝土+保温板+闭孔泡沫塑料板伸缩缝

此种结构形式的典型渠道为军干渠。军济南干渠进水闸位于石津总干渠 101+805 处，基本沿着辛集市与深州市的交界自北向南延伸，控制行政区域为辛集市、深州市、冀州市的部分地区以及衡水桃城区，干渠全长 29.32km，耕地面积 69.31 万亩，设计灌溉面积 49.13 万亩。是我灌区的一条重要输水渠道，土质以粉砂壤质和轻壤质土为主，在近几年的续建配套工程中已完成军干渠混凝土防渗 17.24km，衬砌结构形式采用混凝土+保温板+闭孔泡沫塑料板伸缩缝的方式，渠道主要技术指标为：设计流量 35.2m<sup>3</sup>/s，设计渠底宽度 14.5m，边坡 1:2，衬砌高度 2.30m，护肩宽 0.30m，护肩厚 0.10m，衬砌厚度 0.1m；衬砌混凝土强度等级 C20、抗冻等级 F150、抗渗等级 W6；混凝土板下铺垫聚苯乙烯保温板（密度 ≥20kg/m<sup>3</sup>），板厚 3cm。沿渠道每 4m 设横向伸缩缝，纵向伸缩缝共设 4 条。渠底设 2 条，沿坡脚设 2 条；缝中填充闭孔泡沫塑料，接缝混凝土板下部铺设 300mm 宽的油毡条。详见军干渠混凝土防渗工程实景图及横断面结构图。

通过运行观测，渠道衬砌效果整体较好，防冻胀效果较为理想，渠道混凝土板无明显裂缝；少量闭孔泡沫伸缩缝出现闭孔泡沫塑料板与混凝土结合不紧密现象，可能影响缝止水效果，但尚未进行定量观测。

#### 2、 案例二：混凝土+保温板+土工膜+闭孔泡沫塑料板伸缩缝+聚硫密封胶

此种结构形式为灌区衬砌渠道中目前采用的最高标准，典型渠道为总干渠田庄段。该渠段位于石家庄市区，铁路枢纽货运系统及石太高速公路均跨越该渠段。渠道土质为壤土，主要技术指标为：设计流量 115m<sup>3</sup>/s，设计底宽 28m，边坡 1:2，混凝土衬砌厚度 0.1m，强度等级 C20、抗冻等级 F150、抗渗等级 W6，衬砌高度 4.0m，混凝土板下铺垫密度不小于 30kg/m<sup>3</sup> 聚苯乙烯保温板进行防冻，板厚 6cm，保温板下铺设两布一膜防渗土工膜（密度 1000g/m<sup>2</sup>）。伸缩缝采用闭孔泡沫塑料，缝顶部用聚硫密封胶封堵。详见总干渠田庄段混凝土防渗工程实景图及横断面结构图。

此工程完工不久，尚未经灌溉运行，聚硫密封胶的使用从完成效果看，与

混凝土结合密实，应具有良好的止水效果。

### 3、 案例三：混凝土+保温板+土工膜+树脂油膏伸缩缝

此种结构形式在四千二分干、四千三分干等渠道防渗工程中均有应用，以四千二分干（20+068-22+124）段为例，该渠段土质以壤土为主，主要技术指标为：设计流量  $5.5\text{m}^3/\text{s}$ ，混凝土强度等级 C20、抗冻等级 F50、抗渗等级 W6；渠道底宽 3.0m，衬砌高度为 1.85m，渠深 2.2m，纵坡 1/5000，内边坡 1:2，混凝土衬砌厚度 0.1m，堤顶宽度 2.0m。混凝土板下铺设聚苯乙烯保温板（密度  $\geq 20\text{kg}/\text{m}^3$ ），板厚 3cm，保温板下铺设两布一膜防渗土工膜（ $860\text{g}/\text{m}^2$ ）。伸缩缝的填料为下部 3.0cm 厚水泥砂浆，中部 4.0cm 厚树脂油膏，上部填筑 3.0cm 厚水泥砂浆。详见四千二分干渠混凝土防渗工程实景图及横断面结构图。

经运行后观测，渠道混凝土板外观均匀密实，渠坡无明显裂缝；树脂油膏伸缩缝未见开裂处防渗效果较好。

### 4、 案例四：混凝土+丹强丝（K.V Fiber 抗裂合成纤维）+树脂油膏伸缩缝

我灌区于 2002 年在一千五分干（9+882—10+082）渠段防渗设计中，采用了混凝土+丹强丝（K.V Fiber 抗裂合成纤维）+树脂油膏伸缩缝的方式。丹强丝混凝土护砌段长 200m，分别为 8cm 厚丹强丝混凝土护砌段，和 6cm 厚丹强丝混凝土护砌，两段相邻，各长 100m。

该渠段设计流量  $4.27\text{m}^3/\text{s}$ ，混凝土护砌底宽 2.0m，衬砌高度为 1.45m，渠深 1.60m，纵坡 1/3000，内边坡 1:1.5，混凝土衬砌厚度 0.08（0.06）m，堤顶宽度 2.0m；混凝土强度等级 C15、抗冻等级 F50、抗渗等级 W4；沿渠道每 4m 设横向伸缩缝，缝中填充树脂油膏及砂浆，坡脚设 2 条纵向伸缩缝。详见一千五分干“丹强丝”试验段设计图。

经过 8 年的运行，目前，6cm 厚混凝土板外观均匀密实，仅有 4% 的混凝土板有约 30cm 长细微裂缝，较细，无贯穿；8cm 厚混凝土板外观均匀密实，仅有 2% 的混凝土板有细微裂缝，无贯穿。树脂油膏伸缩缝未见开裂防渗效果较好。

#### （四）防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

对以上几种结构形式混凝土防渗渠道的防渗抗冻胀效果，我灌区尚未进行系统的测试研究与分析，但总体来看，较之以往的素混凝土护砌，将保温板、土工膜等新型材料运用到渠道护砌工程中，防渗防冻胀效果非常明显，大大提高了混凝土衬砌渠道的使用寿命。

对比以上几种结构形式，防渗抗冻胀效果最好的应属案例二，即同时铺设保温板和防渗土工膜，并采用聚硫密封胶密封伸缩缝；案例三用树脂油膏伸缩缝取代了案例二的闭孔塑料+聚硫密封胶伸缩缝，伸缩缝的止水效果逊于聚硫密封胶密封的伸缩缝，但缝的单位造价也大大降低，大体相当于案例二伸缩缝单价的 $1/3 \sim 1/2$ ；案例一是近年在灌区渠道防渗工程中采用较多的形式，该方案抗冻胀效果较好，施工简单，性价比较为理想；案例四仅作为一种对比试验，尽管未进行定量观测，但抗冻性能的表现效果还是比较理想的。

对于大中型渠道的混凝土防渗，我们认为采用案例二或案例三的形式（即混凝土+保温板+土工膜）最为理想，若综合考虑性价比等因素，则采用案例一（混凝土+保温板）的形式；对于支渠以下小型渠道，受资金等因素影响，在没有铺设保温板等材料的情况下，我们常根据冻胀裂缝规律，在渠道阴坡 $1/3$ 处弹线割冷缝一道，割缝宽度为混凝土板厚 $1/4 \sim 1/2$ 为宜，以释放冻胀应力，使之成为线条整齐的通缝，保障渠道的整体美观；同时，我们也在小型渠道混凝土防渗工程中开始尝试混凝土+土工膜的结构形式，该形式有较为理想的防渗效果，同时土工膜防渗也可减少水的渗漏从而大大缓解混凝土板下土体的冻胀力。

#### （五）存在问题及建议

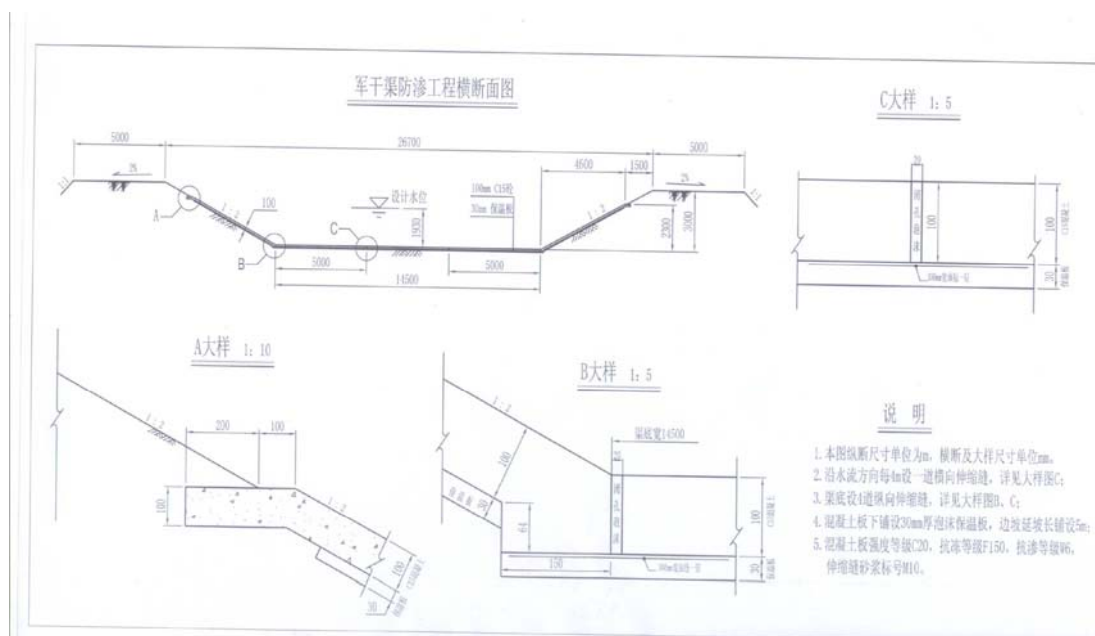
石津灌区已经实施了十四期续建配套与节水改造项目，成效显著，特别是以混凝土衬砌为主的渠道防渗工程产生了良好的节水效果，但也存在一些具体问题，如：对渠道防渗抗冻胀没有进行系统而科学的研究，现有结论仅停留在表观印象上，防渗抗冻效果的实际数据还很缺乏，很难定量说明问题；对于聚乙烯闭孔泡沫塑料板、双组份聚硫密封胶以及聚苯乙烯保温板等新型接缝、保温材料，目前在使用上还缺乏规范指导等。基于这些问题，建议行业内多进行



业务交流，组织科研部门与灌区共同就渠道防渗抗冻相关问题进行系统的测试与研究；建议渠道防渗相关规程规范等能够及时对各种新材料新技术的使用进行规范说明与指导。



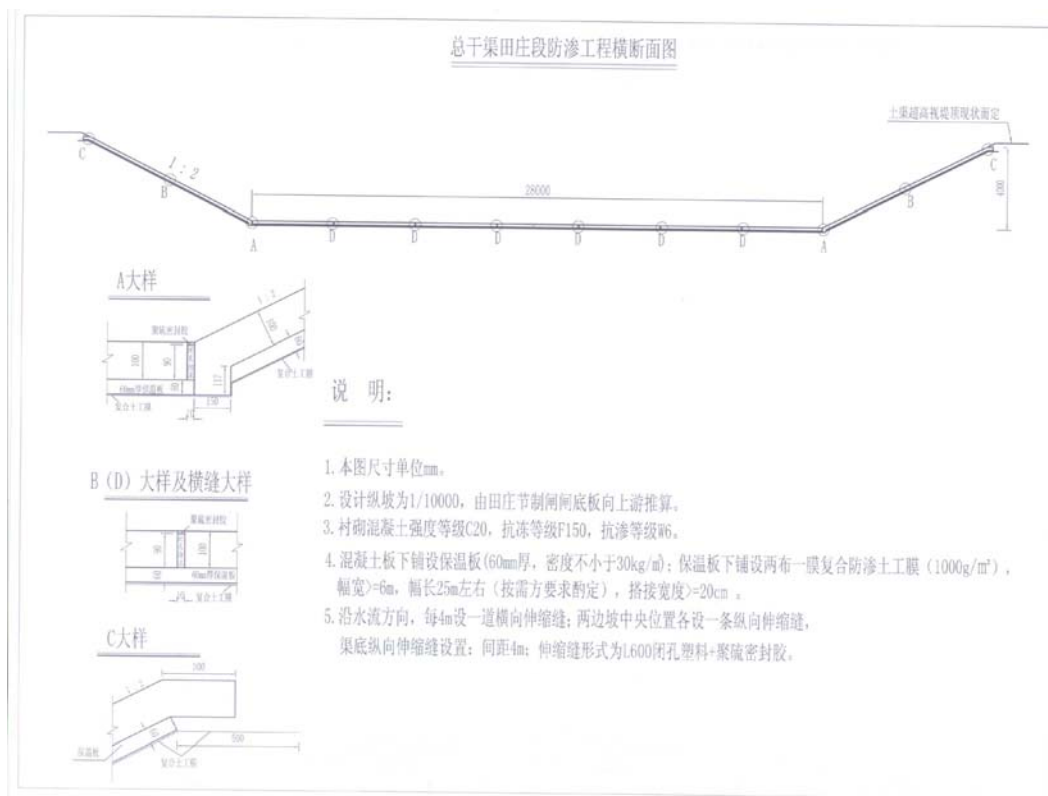
军干渠混凝土防渗工程实景图



军干渠混凝土防渗工程横断面图



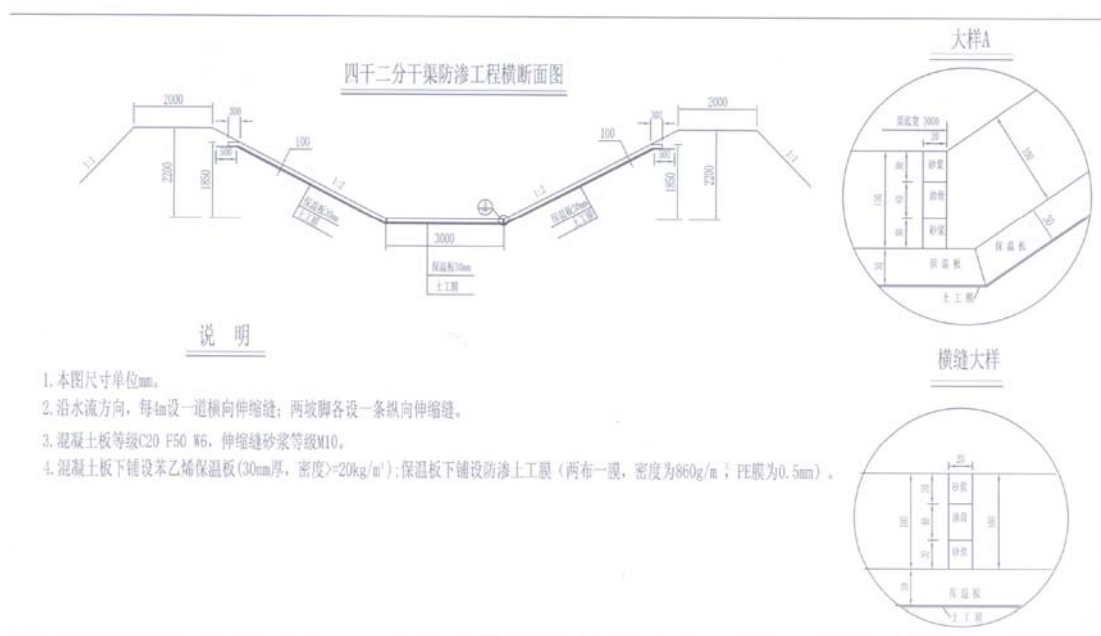
总干渠田庄段混凝土防渗工程实景图



总干渠田庄段混凝土防渗工程横断面图



四千二分干渠混凝土防渗工程实景图



四千二分干渠混凝土防渗工程横断面图

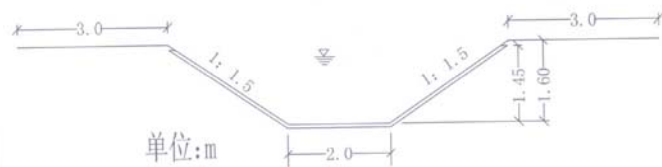


一千五分干渠混凝土防渗工程实景图（6cm 厚）

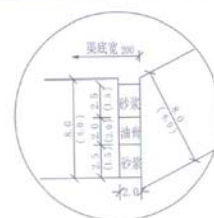


一千五分干渠混凝土防渗工程实景图（8cm 厚）

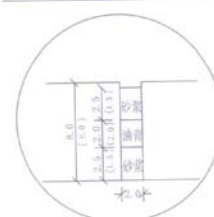
一千五分干渠“丹强丝”段防渗工程横断面图



纵缝大样



横缝大样



注:

1. 横缝:沿水流方向,每4m设一道垂直水流方向的伸缩缝。
2. 纵缝:两坡脚设纵缝。
2. 纵断图另附。

一千五分干渠“丹强丝”段防渗工程横断面图

## 四、河北冶河灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 灌区概况

1.冶河灌区位于石家庄市西部的山地与山前平原结合部，自北向南贯穿平山、鹿泉和元氏三县。灌区大部分为低山丘陵或丘陵台地地带。地势西高东低，起伏较大，自然沟谷较多，土壤多为砂壤土，地质肥沃，适合农作物生长。除耕地外，大部分面积被杂草树森覆盖。

2.冶河灌区属大陆性季风半干旱气候，四季分明，春季干燥、多风少雨，夏季炎热多雨，秋季晴朗湿润，冬季寒冷少雪。灌区内多年平均气温 13.3℃，极端最高气温 40.9℃，最低气温-18.4℃，最大冻结深度 56cm。年平均日照 2734 小时，有霜期 155 天，一般发生在 10 月 24 日至次年 3 月 27 日左右。冬季以西北风为主，夏季东南风较多，风力一般为 2-3 级，最大风力 6-7 级，最大风速 17m/s。多年平均降水量 565.2mm，最大积雪厚度 21mm。降水量多集中在 6-9 月，占全年降水量的 70-80%，并常以暴雨形式出现，洪灾是该区主要灾害之一，据不完全统计仅建国后就发生洪灾 20 多次，其中较严重有 3 次，每次都使建筑物遭到不同程度的损坏，给人民的生命财产造成损失；冬春两季降水量不足全年降水量的 10%，致使春旱经常发生。

平山、鹿泉的低山区为裂隙水贫水区，地下水埋深在 15 以内；引岗总干渠以东平原为洪积冲积原孔隙水中等富水亚区，为浅层潜水，地下水埋深 7-20m。在元氏县境内，范庄段为上覆冰残积层的基岩，岩溶裂隙较弱，含水区地下水埋深 10-15m，水层厚 5-10m，南佐段为太古界片麻岩，裂隙均匀，属弱贫水区，地下水埋深 3-5m，含水量厚 10-20m。

3.渠道通过的地层有太古界阜平群，元古界滹沱群和新生界第四层。

(1) 太古界阜平群 (Ar): 由一套普遍经受中等变质作用和中级混合岩化作用的各种片麻岩、斜长角闪岩及少量片岩、板岩类等岩石组成，成层性稳定，部分岩石保持着层状结构，所以这套岩石称为变质岩。但局部见花岗片麻岩及辉绿岩，而显示了正变质岩特性。变质岩具有结晶颗粒下粗上细，角闪石含量下少上多，而斜长石却下多上少的变化趋势。构造节理一般不发育，风化节理普遍发育。风化后岩石多沿节理、层理面破碎呈小块状，易坍塌。

(2) 元古界滹沱群 (Pt): 由轻微变质的片岩、板岩及硅质岩组成, 具有岩石颗粒较细, 局部硅化程度较高、致密、性脆等特点, 薄层理发育, 构造节理不发育, 风化节理发育, 风化后多沿层理, 节理面破裂呈小块及小板块, 岩坡多小坍塌或小坍塌。

(3) 新生界第四层: 沿线断续堆积了大量第四系地层, 其中包括全新统、上更新统及中更新统。没有一定分布规律各具不同特点。

①中更新统 (Q2): 为洪积的粘土质粉砂及亚粘土。具有结构稍密、可塑、低压缩、强度较高、微透水、边坡较陡、见水易化、小坍塌的特点。

②上更新统 (Q3): 为冲积、洪积的粉砂土及少量砂砾土。其特点: 稍密——中密, 可塑、中压缩、透水性好、中湿陷、边坡稍陡、易被水冲刷、坍塌。

③全新统 (Q4): 为人工回填及河流冲积的粉砂土、砂砾石土堆积, 具有松软、可塑、高压缩、强透水、强湿陷、见水易坍塌流失的性质。

4. 冶河灌区位于石家庄市西方部丘陵平原衔接地带, 是一个由岗南水库和冶河双重水源统一调配并具有灌溉、输水双项功能的灌溉工程。灌区原设计灌溉面积 42.54 万亩, 有效灌溉面积 39.9 万亩, 同时担负着为元氏八一水库暨蟠龙湖和鹿泉市韩家园水库暨龙凤湖输水的任务, 年输水量 2000-3200 万立方米, 不仅为八一灌区补充水源, 为旅游和水产养殖提供了水面, 还为侯村和八一两座电站提供水源。

灌区设有管理局, 行政上隶属石家庄市水利局, 负责对全灌区的行政、业务及各干渠引配水调度管理工作; 灌区总控制面积 67.3 万亩, 原设计灌溉面积 42.54 万亩, 规划面积 42.54 万亩, 区内总人口 47.4 万人, 其中农业人口 35.8 万人, 劳动力 16 万人, 灌区工农业生产总值 31.6 亿元。农业总产值 2.78 亿元, 农民人均收入 1998 年 2205 元, 2001 年增至 2741 元。共使三县 (市) 58 个乡镇 369 个村受益。

自灌区建成后, 不仅扩大灌溉面积, 复种指数达到了 180%, 还使灌区内农业和乡镇企业得到迅猛发展, 耕地利用率和农技水平相对提高, 粮食平均亩产达到 810kg, 是灌区建成前的 5.5 倍, 成为河北省及石家庄市的粮棉高产基地。

## (二) 石家庄市冶河灌区渠道防渗防冻胀技术措施

在“灌区续建配套与节水改造项目”的工程设计中，为了防止渠道冻胀，减少渠道渗漏损失，解决灌区渠道防渗衬砌的冻害问题，探索合理可行的衬砌形式，结合续建工程的更新改造，采取不同的衬砌形式和技术措施，减少渠道因冻胀而发生的渗漏。

### 1、 防渗技术措施

#### (1)梯形断面浆砌石重力墙结构形式

在灌区续建配套工程施工中，因地制宜，合理选择渠道结构形式。明渠防渗土方段断面为梯形断面，边墙为重力式浆砌石挡土墙。浆砌石重力墙稳定性好，抗冲能力强，就地取材，适合本灌区特点。

#### (2)渠底板采用 0.22m 厚浆砌石衬砌，表面采用 0.08mC15 素砼护面

采用 0.08mC15 素砼护面，有效提高了渠道防渗效果；减少渠道糙率，提高过水能力；方便了渠道清淤。

#### (3)渠道填方段渠底板增加 0.5m 三七灰土垫层

从已建成的渠道看，能适应当地自然条件，应用管理适应性都很好，未发生异常现象。

#### (4)渠道施工工艺及施工技术

其采取机械化和半机械化操作模式，预制混凝土采用半机械工厂化生产，现浇渠道采用移动式发电机组，混凝土拌和均采用拌和机拌制，人工填料，机械振捣，人工养护。

#### (5)渠道伸缩缝填实

大体有三种：第一种为沥青砂浆；第二种为二毡三油；第三种为聚乙稀胶泥，效果都比较理想。本灌区采用二毡三油。



## 2、 防冻胀技术措施。

### (1)采取加防冻剂法

有效避免冬季施工冻胀问题。

### (2)采用干硬性砂浆

干硬性水泥砂浆是塌落度比较低的水泥砂浆，即拌和时加的水比较少，“手握成团，落地开花”。配制砂浆按水泥:砂子 = 1:2~1:3 配制干硬性水泥砂浆、加水量以砂浆手握成团、落地开花为宜。

收缩率减小，抗裂性能提高，抗压强度与抗冲磨性明显优于普通砂浆。将其应用于小型水利工程混凝土表面缺陷处理，技术可靠，工效高，造价低，施工效果良好。

## (三) 结论

以上的防渗措施，在近年来渠道改建中，得到了广泛应用，防渗效果较好，不但减少了渠道渗漏损失和渗漏发生决堤事故，而且缩短了灌水周期，保证了农业适时灌溉。

附防渗图片



## 五、黑龙江龙头桥灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 工程概况

黑龙江省三江平原地区是我国重要的商品粮基地，龙头桥灌区位于三江平原腹地，是三江平原的重要组成部分。2010年4月21~23日考察的渠道防渗防冻胀典型工程就是该灌区的青山总干渠。

#### 1、地理位置

灌区在挠力河中上游地区，行政区划包括宝清县的6个乡、五九七国营农场二分厂、八五二国营农场三分场等。灌区东西宽约40km，南北长约58km，地理坐标为北纬 $132^{\circ}00'$ ~ $132^{\circ}40'$ ，东经 $46^{\circ}15'$ ~ $46^{\circ}45'$ 。灌区总面积为66.84万亩，设计净灌溉水田面积为43.10万亩。

#### 2、气象水文

灌区属于寒温带大陆季风气候区，夏季高温多雨，冬季干冷而漫长。最高气温出现在7月份，极温为 $36.6^{\circ}\text{C}$ ，最低气温出现在1月份，极温为 $-37.2^{\circ}\text{C}$ 。冬季结冰期长达150d~180d，最大冻深可达2.53m。灌区多年平均降水量为518mm，属于半干旱地带。

龙头桥灌区位于挠力河中上游两岸的平原地带，灌溉水源为龙头桥水库及挠力河区间径流。流域内有7个水文站，采用宝清水文站为本工程设计的代表站，水文资料精确可靠。

#### 3、工程地质

灌区内渠道沿线地形平缓，地貌属高漫滩。局部有冲沟、泡沼等地貌。青山总干渠段地表岩性为高液限粘土和级配不良粗砂，表层粘性土仅局部分布，岩性以粗砂为主。粗砂层渗透性好，分布连续，地下水埋深在1.5~3.6m，因此成渠条件较差，渠道过水必将产生渗漏，必须作防渗处理。

### (二) 渠道工程设计

龙头桥灌区青山总干渠道长5065m，渠道防渗衬砌形式为梯形断面半铺全防的复合防渗衬砌结构。即边坡、渠底全部铺重量为 $400\text{g}/\text{m}^2$ 二布一膜复合土

工膜防渗，边坡为 50cm X 75cm X 10cm 预制混凝土板，预制板下铺 5cm 厚砂垫层。渠底为复合土工膜上加 50cm 回填土，坡脚设梯形混凝土固脚。渠道大多为挖方渠道，其水利要素见下表。

龙头桥灌区青山总干渠道水利要素表

渠道名称	桩号	流量 (m <sup>3</sup> /s)		水深 (m)		流速 (m)		底宽 (m)	边坡	糙率	比降	备注
		Q 设计	Q 加大	h 设计	h 加大	v 设计	v 加大					
青山总干渠	0+000 ~ 0+246	24.56	29.47	1.85	2.05	0.71	0.75	15	2.0	0.021	8000	防渗
	0+246 ~ 5+065	11.8	14.75	1.56	1.76	0.75	0.8	7.0	2.0	0.021	5000	防渗

### (三) 渠道施工技术要求

#### 1、 施工前准备

根据设计图纸进行渠道平面位置放样，确定渠道设计中心线，然后根据设计提供的每 100m 一个横断放样，渠道转弯处按曲线放样，曲率半径 300m。在此基础上进行渠道开挖和填筑。施工过程中应经常复测以保证渠道的顺直。

#### 2、 渠道开挖

(1) 一定按照施工图进行开挖，渠道超挖不允许超过 10cm，不允许欠挖，开挖边坡不允许出现塌腰和胀肚现象，要求表面平整顺直，渠道横向高程也要水平。

(2) 开挖后的渠道中心线应与设计线吻合，不得有偏差。

(3) 施工完的渠道纵、横断面应符合设计纵、横断面。

#### 3、 渠堤施工

(1) 渠堤的填筑质量应严格按照《堤防工程施工规范》(SL260-98) 执行。

(2) 清基：凡筑堤渠段，堤基与取土场均需清基，清基厚度 30cm。以利于取土与堤基很好的结合。

(3) 堤身填筑: 堤身填筑分层回填, 分层碾压, 分层填土厚度不得超过 30cm, 碾压后的干容重不得小于  $1.55\text{kg/m}^3$ , 堤段与堤段之间的施工缝不得留有垂直缝, 衔接时其坡度不应小于 1:3, 否则不宜结合。堤身填筑土料, 不得含有草皮、垃圾、树根、苇根等杂物。

#### 4、渠道衬砌施工

(1) 整坡: 铺设护坡材料时, 先按设计边坡进行整形, 整形过程中不允许找斜面坡添补, 如非添补不可时, 需沿轴线方向, 分层平铺, 进行碾压, 碾压后将多余浮土消除, 整形后的坡面应光洁平整。

(2) 土工膜的铺设: 二布一膜复合土工膜的性能指标, 单位面积质量不小于  $400\text{g/m}^2$ , 经纬向断裂强度不小于  $200\text{N}/5\text{cm}$ , 经纬向断裂伸长率不小于 40%, 梯形撕裂强度不小于  $100\text{N}$ , 圆球顶破强度不小于  $300\text{N}$ , CBR 顶破强度不小于  $600\text{N}$ , 渗透系数小于  $1 \times 10^{-10}\text{cm/s}$ 。

铺设土工膜的注意事项及保护措施:

1) 为防止太阳紫外线照射, 影响土工膜寿命, 应边铺土工膜、边铺混凝土预制板, 避免土工膜长时间曝晒。

2) 铺设土工膜期间工作人员不得穿有钉子的鞋, 应穿胶底或布底鞋进入施工现场。

3) 土工膜整卷铺设时, 应在自由状态下铺设平直, 不允许强拉硬扯, 以免土工膜意外伸长变形。

(3) 预制混凝土板的要求

混凝土板的标号为 C20、F200。

水泥: 护坡混凝土板处于水位变化区, 并有抗冻要求, 因此, 应首选硅酸盐水泥。

骨料: 要求粗骨料力学性能良好, 抗风化, 抗冻融, 骨料要进行冲洗, 选用符合混凝土级配要求的骨料。

砂料: 应质地坚硬, 清污级配良好, 含泥量不超过规范规定, 不应含有粘土团块。

水: 凡适于饮用的水, 都可以用以拌制和养护混凝土。

#### (四) 青山总干渠道工程经验总结

渠道工程于 2005 年建成,除个别渠段因渠基施工质量没掌握好而有一、二处小面积塌陷外(并已及时维修),其余渠道至今仍运行很好,没有冻胀破坏现象。从青山总干渠典型工程运行效果看,以下几点是致使渠道工程运行良好的重要因素:

##### 1、 混凝土预制板的应用

青山总干渠道大多为挖方渠道,且渠底宽又在七米以上,因此设计采用边坡为 50cm X 75cm X 10cm 预制混凝土板衬砌。施工时为了加快施工进度,提高混凝土预制板的产量,也为了保证预制板的质量,共分四个工地进行预制板的生产加工,每天四个工地可生产标号为 C20、F200 的 5000 块预制板以供渠道工程使用。

采用混凝土预制板不但可以提高施工速度,而且可以保证混凝土的质量。同时,它可以适应渠基产生的冻胀变形,当冻融消失时,预制板也基本复原,不会象现浇的大块混凝土板那样产生冻胀裂纹甚至断裂。混凝土预制板的完好无损,也就保证了下边的砂垫层和防渗膜的整体完好性,达到了渠道防渗放冻胀的效果,发挥了输水渠道工程的应有效益。

##### 2、 坡脚与齿墙的连接

为了防止坡脚混凝土预制板下滑,经过请示批准,把原设计略有改动。在浇筑坡脚下方混凝土齿墙时,同时沿渠坡方向向上一米也现场浇筑厚 10cm 的混凝土,并与齿墙连接一体。这样坡脚和齿墙就形成了一个连续的整体,增强了坡脚渠基的稳定性,也防止了渠坡混凝土块的下滑。事实证明,这种施工方法确实解决了以往渠坡坡脚混凝土块下滑的问题,保证了渠道工程的整体连续性,也是促使渠道工程能良好运行的主要因素。

##### 3、 防渗防冻胀结构选择

青山总干渠道防渗衬砌形式为梯形断面半铺全防的复合防渗衬砌结构。即边坡、渠底全部铺重量为 400g/m<sup>2</sup> 二布一膜复合土工膜防渗,边坡为预制混凝土板防护,预制板下铺 5cm 厚砂垫层,起到保护防渗膜和使预制板平整的作用,

渠底为复合土工膜上加 50cm 厚回填土，即保护了防渗膜又不怕渠基冻胀。采用这种防渗防冻胀结构措施，不但节省工程投资还可以提高渠道防冻胀能力，延长了工程使用寿命，是最经济合理的渠道防渗防冻胀工程结构措施。



青山总干渠



混凝土预制板（1）



混凝土预制板（2）

## 六、 黑龙江悦来灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 灌区概况

#### 1、 地理位置

桦川县悦来灌区位于黑龙江省东部，松花江下游右岸的桦川县境内，是黑龙江省已建大型抽水灌区之一，地理坐标为东经  $130^{\circ} 35'$  ~  $130^{\circ} 49'$ ，北纬  $46^{\circ} 51'$  ~  $47^{\circ} 07'$ ，灌区北起松花江，南至桦川县羊草川地区和苏家店营子岗下，西隔铃铛麦河与星火灌区相望，东以丰收沟为界，与江川、宝山农场相邻，总面积 41.47 万亩。本区水陆交通便利，哈同公路由灌区北部穿过，桦集公路贯穿南北，乡级公路四通八达。区内悦来镇为桦川县政府所在地，是桦川县政治、经济、文化中心。悦来镇码头可停泊千吨货轮，在松花江畅流期，上可通佳木斯、哈尔滨，下可达富锦、同江、抚远，远可及我国和俄罗斯沿黑龙江、乌苏里江诸港口，方便快捷的交通网络对全区的生产建设起到了巨大的推动作用。

#### 2、 地形地貌

灌区西部为松花江高漫滩，地面高程在 74.00m ~ 80.00m 之间，地势东南高西北低，地面比降在  $1/2500$  ~  $1/4500$  之间，除局部林地外均已开垦为耕地，主要种植水稻和旱作物。灌区东部为松花江低漫滩，地面高程在 72.00m ~ 74.00m 之间，地势南高北低，地面比降在  $1/7000$  ~  $1/10000$  左右，地势低平，土壤肥沃，粘土层较厚，适宜发展水田生产。

#### 3、 气候条件

本区属中温带大陆性季风气候区。其主要特点是：春季干燥风大，气温回升快；夏季暂短，温热多雨；秋季气候凉爽，降温急骤；冬季严寒漫长。

根据气象资料分析，桦川县多年平均气温  $2.6^{\circ}\text{C}$  左右，极端最低气温为  $-41.1^{\circ}\text{C}$ （1970 年 1 月 3 日）；极端最高气温为  $36^{\circ}\text{C}$ （1977 年 7 月 20 日）；多年平均  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的有效积温为  $2600^{\circ}\text{C}$ 。本区春季气温上升快，一般 3 月上旬冰雪开始融化，土壤在 3 月下旬开始解冻，4 月 1 日前后能稳定地通过  $0^{\circ}\text{C}$ ；9 月份进入秋季，气温下降急骤，变幅也较大，9 月 22 日前后有初霜，10 月底开始结冰，夜



冻昼融，11月8日前后开始封冻，进入冬季，冻土层深达2.5m，冻结期在7个月左右。

本区多年平均无霜期135d，多年平均降水量498mm，降水年内分布不均，多集中在6~9月份，6~9月份降水占全年总降水的70%左右，暴雨多发生在7、8月份，7月中旬至8月上旬为大暴雨集中期，实测1968年7月25日24h降雨达120.8mm。

本区冬季受蒙古高压和极地大陆团控制，多偏北风，天气寒冷干燥；夏季受太平洋副热带高压和蒙古、华北低压控制，多偏南风；春季盛行西南风，4~5月份多年平均风速在4.5~4.8m/s。

#### 4、土壤条件

悦来灌区内主要土壤有：暗棕色森林土、白浆土、草甸土、沼泽土和、暗砂土等五类土壤，根据成土条件、物理粘料含量及砂层深浅，进一步划分为15个亚类。

#### 5、水源情况

松花江佳木斯站畅流期平均流量为 $3500\text{m}^3/\text{s}$ ，灌溉期保证率 $P=80\%$ 的枯水流量为 $1370\text{m}^3/\text{s}$ ， $P=95\%$ 的枯水流量为 $686\text{m}^3/\text{s}$ ，水资源丰富，灌区灌溉用水由渠首泵站抽取松花江水供给。

灌区内其它各业用水（工业用水、农村生活用水，畜牧业用水等）全部采用地下水。本地区地下水埋藏浅，储量丰富，补给充分，单井出水量在50t~100t/h左右，地下水年可开采量约为 $1300 \times 10^4\text{m}^3$ ，水质以碳酸钙型为主，矿化度 $0.1\text{g/L} \sim 0.6\text{g/L}$ ，PH值在6.0~6.5之间，水质较好，满足各业用水要求。

#### 6、工程地质与水文地质

##### (1)工程地质

悦来灌区位于三江平原西部，第四系松散堆积，基底为第三系砂砾岩。根据黑龙江省大地构造单元划分表，本地区为兴凯湖-布列亚山地块区、老爷岭地块、三江新断陷带，其特征表现为自新生代以来形成的四面环山的盆地，盆地地势低洼平坦，有零量孤丘隆起。新构造运动以沉降为主，形成了广阔的平原。

本灌区内第四系地层分布广泛，发育连续，厚度大，富水性强，除残丘附近第四系地层厚度不足 50m 外，大部分地区厚度为 100m 左右。

各级渠道地层岩性组成主要为：表层为黑色粘土、黄褐色壤土及砂壤土，厚度 0.5~2.0m 不等，下部为浅黄色粉细砂及细砂。根据钻孔资料分析，高漫滩区北部，佳桦公路以南创业乡拉拉街村至万宝村地区表层为粘土及壤土，厚度在 0.5~1.5m 左右，土壤渗透系数在 0.01m/昼夜，属“中等”渗漏强度。由以上分析可见，各级渠道工程地质条件较好，无软基等不利地层结构，但由于筑渠土质主要为粘性土和壤土，粘料含量较少，渠体土壤的渗漏强度较大，为“中等”——“中强”渗漏强度，因此需要采取必要的防渗措施。

## (2)水文地质

区内含水层为第四纪沉积砂层，赋予了丰富的松散岩类孔隙水，地下水类型为孔隙潜水，含水层厚度较大，分布稳定，结构单一，富水性好。由于前第四纪在底起伏变化，松散岩含水层的厚度不均，由西南部残丘边缘到漫滩区，含水层厚度由几十米变至百米左右。地下水埋深随地形变化差异较大，高漫滩区地下水埋深 2m~5m，苏家店一带 5m~7m，低漫滩区埋深 1m~2m。地下水补给主要为大气降水及灌溉回归水，沿江河地下水与江、河水力关系密切，常呈互补关系，丰水期地下水接受江水、及邻近地区地下水的补给。地下水径流微弱，其排泄方式以松花江径流排泄为主，其次为蒸发和人工开采。

本区地下水以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CA}_2^+$ 、 $\text{MG}_2^+$ 、 $\text{NA}^+$  为主，水化学类型多为  $\text{HCO}_3^-$ — $\text{CA}+\text{NA}$  型，矿化度 0.2~0.3G/T，PH 值 6.3~6.5，总硬度小于 15，对砼不具有侵蚀作用。地下水温 4~10 摄氏度，钠吸附比 (A) 小于 8，灌溉系数 (ka) 大于 18，水质较好，为适宜灌溉型水，但水温偏低。

## 7、社会经济状况

悦来灌区是桦川县主要水稻产区之一，区内现有耕地面积 36.28 万亩。灌区位于桦川县悦来镇附近，行政区划包括悦来、创业、苏家店等 3 个乡镇，34 个村屯；区内总人口 5.87 万人，其中农业人口 5.61 万人，农业劳动力 1.9 万人；役畜 3414 头；农用机械 373 标准台；年产粮  $9100 \times 10^4\text{kg}$ ，粮食商品率 48.4%。

桦川县素有“鱼米之乡”的美称，是国家重要的商品粮基地县，主要种植

水稻、大豆、玉米、小麦、烤烟、甜菜、亚麻、黑加仑、马铃薯等。桦川县依山傍水，历史悠久，风景秀丽，是我省朝鲜族聚集地。

## 8、灌区工程状况

### (1)固定渠、沟道工程现状

悦来灌区现有灌溉干、支渠 12 条，干渠 1 条没有衬砌，在今年秋季停水后进行 3.0 公里衬砌，支渠 11 条中已经完全衬砌的有 4 条，部分衬砌的 2 条，斗、农渠道也进行了部分衬砌。多数的田间的斗渠、农渠都无节水措施，渠道经过多年的运行，冲淤变化较大，问题较多。

灌溉渠道年久失修，冲刷严重，渠道断面偏大，渠底高程偏低，无法满足供水水位要求，只能靠加大供水流量来壅高水位，不但浪费了水资源，增加了供水成本，而且加重了渠道的冲刷；渠道沿线土质疏松，土料粘粒含量偏少，斗、农渠道渗漏量较大，又无防渗措施。

灌区沟道经多年运行淤积严重，且斗、农沟较少，田间排水出路不清。

### (2)渠系建筑物现状

悦来灌区原规划设计干、支以上渠系建筑物 178 座，由于受资金等因素限制，只实施了 69 座，由于渠系建筑物少，给灌区内洪水、配水、交通等造成严重困难。斗农级缺少配水建筑物及量测水设施。

## (二) 灌区渠道防渗冻胀技术措施应用情况

悦来灌区渠道防渗有两种形式，即现浇混凝土板和预制混凝土板，都是采用梯形渠道。现浇混凝土板的冻胀技术措施为渠道整形夯实后铺 5 厘米砂垫层，其上铺每平方米 400 克的防渗膜，最后进行现浇混凝土，混凝土分缝有的采用 1 厘米厚的浸沥青分缝板，有的现浇时用钢板隔开浇筑，待钢板拿出后既为一个缝。板块根据渠道的大小，采用 1 米\*1 米或 1 米\*1.5 米的板块，小型农渠有的采用每 2 延长米 1 个施工缝进行分缝，浇筑时隔 2 米进行支模浇筑，待混凝土上强度后在进行堵空浇筑，之间的施工冷缝即为分缝。现浇混凝土形式经几年运行没有发现断裂、冻胀等现象，而且板缝中间不长草，比较平整光滑，感观较好。

预制混凝土板多为 50 厘米（长）\*50 厘米（宽）\*8 厘米（厚），渠道整形夯实后铺每平方米 400 克的防渗膜其上铺 5 厘米砂垫层，然后进行铺板，这种形式也比较好，但在时间长了以后在板缝之间长出蒿草，感观上不如现浇混凝土。但现浇混凝土受工期限制，只能在灌区停水后进行，工期短。预制混凝土板可以在任何时间预制，灌区停后铺装，工期长。

### （三）典型渠道防渗冻胀技术案例分析

西三支渠 0+000-0+150 段为 8 厘米+现浇混凝土,1 厘米厚的浸沥青分缝板,板块采用 1 米\*1.5 米,渠道整形夯实后铺 5 厘米砂垫层,其上铺每平方米 400 克的防渗膜,最后进行现浇混凝土,为梯形渠道,底宽 4 米,边坡长 3 米。2006 年秋季施工到现在运行保持良好,没有发现冻胀现象。

西三支 0+150-4+500 段为 8 厘米厚预制混凝土板衬砌,渠道整形夯实后铺每平方米 400 克的防渗膜其上铺 5 厘米砂垫层,然后进行铺板,局部段由于当时施工土方压实不够出现塌陷,但整体还是较好。在板缝间长出杂草,感观上不如前一段好。

哈同公路北侧的农渠道采用 6 厘米厚、每 2 延长米 1 个施工缝进行分缝,浇筑时隔 2 米进行支模浇筑,待混凝土上强度后在进行堵空浇筑,之间的施工冷缝即为分缝。在 2008 年秋季施工到现在,状况也是较好,出现几处断裂缝也是土方不实的原因。此处现浇灌混凝土每块板内加了 4 毫米粗的冷拔丝钢筋网,冷拔丝间距为 30 厘米,起到了防止断裂的作用。

### （四）防渗冻胀技术措施应用的体会、经验及建议

1、灌区目前没有技术能力和设备能力进行渠道的防渗冻胀观测,只能从感观上进行评价和分析,不够准确,还要有专门的检测机构来进行这方面监测。

2、建议研发一种新型的材料来进行渠道防渗防冻胀,混凝土衬砌造价和所产生的效益之间不一定能成比例。

3、渠道防渗防冻胀要想达到效果好,设计是一方面的因素,而施工更是重要的因素,一定要把好施工质量关。

4、建后管理是渠道防渗防冻胀能不能达到效果的一个因素,渠道工程往往存在重建轻管的问题,投入资金进行改造的渠道防渗防工程没有后期管护维修费用。



现浇混凝土渠道



预制混凝土板衬砌渠道



农渠衬砌

## 七、黑龙江江东灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 灌区概况

#### 1、地理位置及行政区划

江东灌区位于嫩江左岸，齐齐哈尔市东部城郊。北起富裕县塔哈乡，南至大庆市杜尔伯特蒙古族自治县，东、西分别以乌裕尔河堤防及齐齐哈尔市为界。区内辖富裕县塔哈乡、建华区、铁锋区、昂昂溪区、省种畜场、车辆厂农场、崔门种畜场等一县三区的七个乡镇和五个农牧场。灌区总土地面积 81.56 万亩，其中耕地面积 53.89 万亩，受益区人口 6.84 万人。

#### 2、气象

灌区属温热半干旱农业气候区，春季多风少雨，蒸发量大；夏季温热多雨，空气湿润；秋季降温急骤，冬季漫长寒冷。该区年平均气温 3.2℃，夏季最高气温 41.5℃，冬季最低气温 -39℃，年温差高达 70℃ 以上。区内多年平均降水量 420mm 左右，降雨年内分配不均，70% 集中在 7-9 月，春季 4~5 月干旱风大，雨量偏少，不能满足农作物生长需要，常发生春旱。区内多年平均蒸发量 1485mm，为降水量的 3.5 倍。平均年日照时数 2840 小时，气温大于或等于 10℃ 的活动积温 2700℃，无霜期 140~144 天。灌区多西南风，年平均风速 3.6m/s，历年 4、5 月份最大平均风速 20m/s，从而加重了本区的春旱程度，本区最大冻深 2.2m。

#### 3、地形、地貌

江东灌区位于松嫩平原西部，地形由西北向东南逐渐降低，海拔高程在 151-140m，地面坡降 1/8000~1/10000，地质构造属于松辽拗陷的西部倾斜区，自白垩纪以来，沉积了巨厚的碎屑岩和松散沉积物，上覆较厚的第四纪堆积物。按其形成特点可划分四个地貌单元：

**江东高漫滩：**位于嫩江东岸城防堤内侧，北起小哈柏，南止南山泡，目前此区的主要工程有西塔哈排干、铁锋水师排干、南湖水源及南湖出口排干等工程，局部地形较复杂，多砂岗自然堤、风积砂土和蝶形洼地。

**边榆高漫滩：**位于嫩江古河道以东，包括省种畜场、铁锋区、昂昂溪区，

地势由东北向西南倾斜，南部和并部多砂岗和浅碟形洼地，中部较为平坦。

乌裕尔河低漫滩：位于边榆高漫滩以东，乌裕尔河西岸。该区地势低洼，多泡沼，七干渠和团结干渠及连环湖补水干线位于此区。

嫩江低漫滩：地势东北高、西南低，南北坡降 1/4000，东西坡降 1/6000，地面高程在 143.75-142.0，地貌类型简单。

#### 4、水文地质及工程地质

##### (1)水文地质

根据省黑龙江省水文工程地质队普查成果，灌区可划分为上部孔隙潜水和下部孔隙承压水两大分区。

###### ①上部孔隙潜水区

主要分布在二道桥、扎龙屯、库木台、理建屯一线以西及嫩江漫滩大昂灌溉范围内，含水层岩性主要以砂砾石为主，水位埋深 2-5m，厚度 20-40 m，单井涌水量 1000-3000t/d，补给来源充沛，主要为大气降水及地下径流补给。

###### ②下部孔隙承压水区

该区主要分布在二道桥-理建屯一线以东地区。含水层为第四系砂、砂砾石，厚度 100m，上部隔水层为 30-40m 的青灰色淤泥质亚粘土。含水层埋深 60-70m，单井涌水量 1200-2000t/d，补给来源主要为地下水径流和深层地下水的越流补给。

灌区地下水属低矿化度、中性、微硬的重碳酸盐水，PH 值 7-8.4，矿化度 0.38 ~ 1.64g/L，总硬度 4-13 德国度，灌溉指数 8 ~ 18，适宜农业灌溉。

##### (2)工程地质

六干分区：由地质钻孔揭露，六干上游段表层为粘土，厚度为 1-5m，下游段表层为砂壤土，厚 0.5m-3.0m，个别地段有细砂直接露出地表。中层分布有细砂或淤泥夹砂，厚 2-3m，下层为中粗砂及砾石，砂砾石一般距地表 4-10m。

大昂分区：对拟建大昂泵站进行了地质钻探，共布钻孔 3 个，孔深 10m-25m，进尺 50m。钻孔揭露深度内，均为第四系松散堆积物，按地层岩性、成因、物理力学性质自上而下分为五层：



①层级配不良细砂：分布于岸上，厚度 3.20m，黄色稍湿、稍密。

②层低液限粘土：分布于岸上，厚度 1.8m，黄褐色、呈坚硬状态、含砂。

③层级配不良细砂：分布普遍，厚度 4.0-4.6m，黄色稍湿~饱和稍密。

③1 层低液限粘土：分布于 ck2 和 ck3 两孔，关于③层级配不良细砂中，厚度 2.0m，灰色、黄灰色，呈软~流塑状态，具有高压缩性，夹粉细砂。

④层级配不良砾砂：分布普遍，揭露标高 136.90-137.90m，最大揭露厚度 11.90m。黄灰色、灰色，颗粒呈圆~次圆状，级配较好，中密、饱和。

④1 层级配不良细砂：夹于④层中，饱和中密。

④2、④3 层级配良好（不良）砾：夹于④层中，饱和、中密。

⑤层级配不良中细砂：灰色、饱和、中密。

地基土承载力评价结果为：① $f_k=140\text{KPa}$ ，② $f_k=250\text{KPa}$ ，③ $f_k=140\text{KPa}$ ，④ $f_k=300\text{KPa}$ ，⑤ $f_k=250\text{KPa}$ 。

## 5、 社会经济状况

江东灌区位于齐齐哈尔市东南部，行政区划包括齐市铁锋区的扎龙乡、铁锋乡、昂昂溪区的水师乡、榆树屯乡、昂昂溪乡、建华区的建华乡以及富裕县的塔哈乡，还有省种畜场、车辆厂农场、崔门种畜场等单位，共七个乡镇和五个农牧场，总土地面积 81.56 万亩，现有耕地 53.89 万亩。

灌区内共 49 个村，总户数 15600 户，总人口 6.84 万人，乡村劳动力 2.8 万人。灌区内农业以种植粮食为主，及部分草原、水面发展养殖业和渔业。粮食作物以水稻、玉米为主，2006 年-2008 年旱田平均单产 350kg/亩，水稻平均单产 450kg/亩，粮食总产 14368 万公斤，经济作物主要以蔬菜为主，单产 1000 kg/亩，总产 330 万公斤，农业总产值 23652 万元，人均纯收入 2075 元。

## 6、 渠道防渗工程现状

江东灌区已有灌溉干渠 6 条，长 65.07km，主要包括六干渠、七干渠、四千渠、西塔哈干渠、大昂东、西干渠；分干渠、支渠 24 条，长 100.26km。已建设六干渠防渗工程 30.524km，支渠防渗工程 7.116km，斗渠防渗 6.41km，干、支渠道衬砌率 22.77%。

## （二）灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

江东灌区用水渠道多为填方渠道，沿程输水渗漏损失比较严重，因此提高渠系水利用系数的重要途径就是进行渠道防渗。参照“渠道防渗工程技术”一书所列的七种防渗措施，结合本地区实际情况，灌区节水改造项目采用的防渗方式为砼板底铺防渗膜的防渗型式。

遵照“渠道防渗工程技术”渠道防渗采用全铺式复合土工膜作为防渗材料。防渗顶高程为设计水位以上超高 50cm。边坡采用现浇砼板为保护层，护坡板横缝平行于设计堤顶，竖缝错开分缝，护坡板下设现浇砼齿墙固脚，齿墙顶高程与设计渠底齐平。为防止冻胀，坡面防渗体在复合土工膜下作 10cm 砂垫层，齿墙下设 20cm 砂垫层。现浇混凝土板之间及齿墙之间充填三毡。从近几年已实施的防渗效果来看，该种防渗防冻胀措施经济可行。

## （三）典型渠段防渗防冻胀技术措施案例分析

江东灌区到目前为止已完成 1999 至 2008 十个年度灌区节水灌溉续建配套项目实施方案，各年度护砌渠段运行多年，稳定性良好。

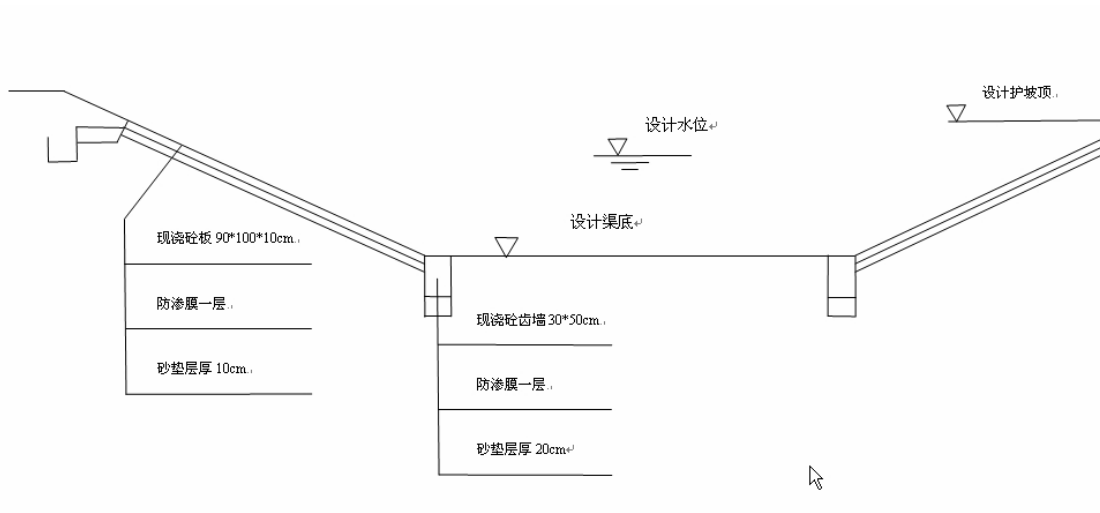
灌区防渗主要是六干渠防渗，渠底土质为粘性土，渗漏很小，因此对渠底不采取防渗措施，只对渠坡进行防渗护砌。渠道防渗采用全铺式复合土工膜作为防渗材料，坡比 1:2。防渗顶高程为设计水位以上超高 50cm。边坡采用现浇砼板为保护层，现浇砼板规格为 90cm × 100cm × 10cm，不够此规格的板放在护坡最下端，护坡板横缝平行于设计堤顶，竖缝错开分缝。护坡板下铺 10cm 砂垫层，复合土工膜放于二者之间。护坡板下设现浇砼齿墙固脚，齿墙顶高程与设计渠底齐平，规格为 30 cm × 50 cm，每 5m 分缝，缝间充填三毡，齿墙下设 20cm 砂垫层。详见附件（六干渠防渗工程横断面结构示意图）。

根据本区土质情况，渠坡复合土工膜采用单位面积 400g/m<sup>2</sup>，膜厚 0.3mm，0.5Mpa 水压下不渗水的复合土工膜（PE 膜），接缝焊接长度不小于 10cm，焊接强度不能低于复合土工膜本身强度。混凝土强度等级 C20，抗冻等级为 F150。抗冻砼必须使用有引气剂作用的外加剂，其质量应符合国家标准 GB8076-87《混凝土外加剂》的规定，抗冻砼配比应通过试验确定，水泥应选用硅酸盐水泥，水泥强度等级不应小于 32.5。砂垫层选用中粗砂，施工中要求洒水整平，用平

板振捣器震实，密度达到中密以上。

#### (四) 防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

结合灌区实际，从已实施的防渗效果来看，我灌区采取的防渗防冻胀措施经济可行。防渗工程建设以前由于渠道土质不好，渠道两侧冲刷、渗漏严重。渠道防渗后，防渗、防冲效果较好，不仅解决了渠道渗漏问题，而且提高渠道的输水能力，缩短输水时间，起到了防冲、减淤、防坍塌、稳定渠床以及保障输水安全的作用。从运行情况看，没有变形、沉陷等现象发生。在工程建设过程中严格按照施工图纸和相应的技术规范进行施工，严把质量关。



## 八、 黑龙江音河灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 灌区概况

音河灌区位于黑龙江省甘南县境内，为音河水库配套工程，行政归音河水库管理处管辖。

音河灌区地处嫩江右岸一级支流音河中下游两岸，东北为双河农场，南与齐齐哈尔梅里斯区相连，西南为龙江县哈拉海乡。

灌区范围包括甘南镇、长山乡、音河镇、青年林场、县良种场和向日葵研究所等 6 个乡（场），14 个村。总人口 9.23 万人，其中农业人口 2.72 万人。灌区总面积 55 万亩，耕地面积 40.92 万亩。

灌区内交通便利，齐甘公路（301 国道）南北贯通，东南向有甘音公路、甘双公路，其它等级公路四通八达。水库自有电站，装机容量 1000kw，多年平均发电量 323 万度，能够保证电力供应，为灌区全面配套打下电力基础。

灌区地处高纬度，属于寒温带大陆性季风气候，季节变化明显，冬季漫长，严寒少雪；春季多风少雨，气候干旱；夏季温热多雨，空气湿润；秋季降温急速。年平均温度 2℃~3℃，年平均降水量 470 mm，年平均蒸发量 1350 mm，冻土深度为 2.0~2.4m，多年平均风速 3.0m/s。

区域地势西北高、东西低，由扇形平原和河谷平原两部分组成，河谷平原呈条带状分布于音河河床两侧，地面平坦开阔，河曲、沼泽、湿地发育。

区内土壤主要土类为草甸土，砂底或砂砾底，质地为中壤，黑土层 20~40 cm，PH 值 6.6~7.0，耕作层有机质含量丰富，土层结构及透水性好，保水、肥能力强，适宜种植水稻。

地下水类型为音河河谷冲积潜水，含水层为混合砂砾石构成，潜水埋深 1~3m，呈季节性变化，含水层厚度 25~50m，储量丰富。地下水补给水源主要是大气降水及地下径流侧向补给，其次为干渠渗漏及田间补给。由于地下水补给及排泄条件好，形成良好的地下水水质。

音河灌区环围甘南县城，灌溉面积占甘南县耕地总面积的八分之一，区内人口 9.23 万人，占全县总人口的三分之一，上缴商品粮占全县粮食征购任务的五分之一，是甘南县的重要商品粮产区和重要水稻产区，因此对甘南县国民经

济发展和人民生活水平提高起着重要作用。

音河灌区与音河水库同时兴建于 1958 年。灌区始建初期虽然修建了用排水渠道骨干工程，并在用水干渠上修建了部分半永久性建筑物工程，但始终没有进行彻底续建配套和改造，渠系及建筑物工程不能配套完善，原有的建筑物也年久失修，不能满足计划用水和节约用水的要求，使土地资源和水资源的潜力未得到充分利用和发挥，必须进行续建配套与节水改造。

音河灌区 2000 年 4 月纳入大型灌区管理。在灌区原有规划设计基础上，甘南县音河灌区工程建设管理处委托齐齐哈尔水利勘测设计院于 2000 年初提出了以续建配套与节水改造为中心的灌区规划设计方案。经省水利厅文件黑水政字[2000]85 号文的批复，并经水利部规划总院审查通过，报水利部批准。2002 年 7 月齐齐哈尔市水利勘测设计院完成了灌区初步设计，经省水利厅以黑水发[2003]138 号文件批复，报水利部批准。确定灌区规模为 32 万亩，其中水田 12.6 万亩，旱田 18.26 万亩，菜田 0.56 万亩，果树 0.58 万亩。

音河灌区续建配套与节水改造工程 2000 年列入国家投资计划，工程于 2001 年 8 月开工，至目前共完成干渠防渗 19.357 公里，支渠防渗 31.36 公里，干渠土方达标 3.246 公里，六支渠土方达标 3.694 公里，五支沟土方工程 8.855 公里，坡水截流沟工程 6.743 公里，建筑物 130 座。已完成的渠道防渗工程运行状况良好。

## （二）灌区渠道防渗防冻胀技术措施应用情况

### 1、用水一干渠防渗措施

已完成的 19.357km 用水一干渠防渗桩号为 0+000 ~ 19+357，防渗措施基本上为渠底及边坡均采用复合土工膜（两布一膜，400g/m<sup>2</sup>）防渗；渠底膜上铺 50cm 砂砾石作为保护层；边坡采用现浇或预制砼板为保护层，厚 10cm，板下设 10cm 砂垫层，下铺复合土工膜，膜下设 10cm 砂垫层，边坡比为 1:2；堤脚为 80\*30cm 砼固脚，下垫 20cm 砂垫层。砼设计强度 C20，抗冻等级 F200，砼外加剂采用黑龙江省水利科学研究院研制的 SB-G 液体引气剂，掺量为水泥用量的 2%。

以下几段渠道由于特殊情况，防渗措施有所改变。

0+000~3+800段，由于该段渠道右侧为丘陵坡脚，坡水发生时水位较高，当干渠内水位较低时，坡水对护坡砼板产生压力，容易造成滑坡，因此在该段坡脚处增设排水钢管，间距每40m一个，坡脚纵向加一排钢筋笼，外裹一层无纺布，护坡板上部设排水孔，间距40m一个。渠道坡脚处增设排水钢管，间距每40m一个，坡脚纵向加一排钢筋笼，外裹一层无纺布，护坡板上部设排水孔，间距40m一个。

7+350~8+700段渠道基本为挖方渠道，地下水位较高，当渠内无水时，渠道边坡受地下水侧向水压力顶托，对渠道边坡稳定不利。因此，边坡防渗只采用预制砼板，板下无纺布一层，砂、砾垫层各厚10cm，边坡比为1:2；渠底仍采用复合土工膜（两布一膜，400g/m<sup>2</sup>）防渗，上垫50cm厚砂砾石作为保护层，两侧设砼齿墙，尺寸80\*40cm，下垫20cm砂垫层。

12+050~14+199段渠道右侧坡水截流沟的水在此段进入干渠，考虑此段干渠稳定，渠底及边坡均采用复合土工膜（两布一膜，400g/m<sup>2</sup>）防渗、预制砼板为保护层，板厚10cm，板下设10cm砂垫层，下铺复合土工膜，膜下设10cm砂垫层，边坡比为1:2，堤脚为50\*30cm砼固脚，下垫20cm砂垫层。

## 2、用水支渠防渗措施

已完成的31.36km用水支渠防渗，防渗措施为渠底及边坡均采用复合土工膜（两布一膜，400g/m<sup>2</sup>）防渗，现浇或预制砼板为保护层，边坡板厚8cm，渠底板厚10cm，板下设砂垫层10cm，下铺一层复合土工膜，膜下砂垫层10cm，边坡比为1:1.5。

### （三）防渗防冻胀技术措施应用的体会和经验

灌区渠道防渗防冻胀技术措施，要考虑渠段自然水文、地质等情况具体制定。

1、当渠段外侧为丘陵坡脚，坡水发生时水位较高时，要考虑当渠内无水或水位较低时，渠道边坡受坡水侧向水压力顶托，对渠道边坡稳定不利，容易造成滑坡，需在坡面设排水设施。

2、当渠段为挖方渠道，地下水位较高时，当渠内无水或水位较低时，渠道边坡受地下水侧向水压力顶托，对渠道边坡稳定不利，容易造成滑坡，因此，

边坡不可采用复合土工膜防渗，只采用预制砼板护砌，板下无纺布一层反滤，渠底仍采用复合土工膜防渗。

3、渠道防渗采用复合土工膜做防渗材料，砼护砌板做保护层。对于用水干渠，防渗前断面大、渠底宽，渠底复合土工膜上可采用 50cm 厚砂砾石作为保护层，可加大渠底糙率，减小流速，使设计流速满足渠道不冲、不淤流速要求，可节省工程投资。

4、为防止冻胀造成复合土工膜及砼板毁坏，渠堤回填土以砂性为好，施工时要严格按设计要求分层压实达到设计干容重；砂垫层选用中粗砂，施工时要洒水整平、夯实；严格控制砼外加剂掺量及水灰比，含气量控制在 3.5% ~ 4.1%。

#### **（四） 存在的问题及建议**

国家对大型灌区续建配套与节水改造投资，只用于干、支渠以上渠道骨干工程建设，目前，音河灌区有一定数量的流量在一个量以下的供水渠系及支渠以下末级渠系的斗、农渠，这些渠系都亟待维修改造。而我县作为国家级贫困县无力解决这部分渠系维修改造的资金投入问题。建议将这一部分供水渠系纳入国家续建配套和节水改造投资计划或采取民办公助的办法，国家给予一定的补贴，使灌区所有渠系相互配套，充分发挥整体效益。

## 九、黑龙江引汤灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 概况

引汤灌区处于松花江下游左岸的汤原县境内，位于汤旺河以东、松花江以北的平原区，地理位置是东经  $129^{\circ} 40'$  至  $130^{\circ} 30'$ ，北纬  $46^{\circ} 40'$  至  $47^{\circ} 12'$ 。灌区内多年平均气温  $2.2^{\circ}\text{C}$ ，极端最高气温  $35.4^{\circ}\text{C}$ ，极端最低气温  $-39.6^{\circ}\text{C}$ ，多年平均降雨量  $555\text{mm}$ ，多年平均蒸发量  $1278\text{mm}$ （ $20\text{cm}$  蒸发皿），无霜期 130 天，多年平均风速  $3.9\text{m/s}$ ，最大风速  $22\text{m/s}$ ，最大冻土深  $2.0\text{m}$ 。灌区靠近佳木斯市，现有人口 6.02 万人，灌区内交通便利，哈尔滨-罗北公路、哈尔滨-佳木斯铁路横贯其中，松花江在灌区南部流过成为灌区交通水道。

灌区总面积 72.56 万亩，现状播种面积 35.39 万亩，其中水田 10.97 万亩，粮食总产量 1.25 亿 kg，其中水稻总产量 0.55 亿 kg。引汤灌区始建于 1958 年，引汤旺河水进行灌溉，后继不断地对其进行了灌区配套工程建设。汤旺河是松花江一级支流，河流全长  $509\text{km}$ ，流域面积  $20838\text{km}^2$ 。目前灌区灌溉工程有总干渠、汤原干渠、伏胜干渠、太平川抽水干渠、荣丰干渠和北干渠。汤旺河流域内有汤旺、晨明等 8 个水文站，距引汤渠首最近的水文站为晨明站，引汤灌区的来水计算是以晨明站 1953-1996 年实测资料为依据。引汤灌区地处低山丘陵与冲积平原的交汇区，该区内大部分为第四系松散堆积物所覆盖，侵入岩出露很少。岩性为粉质粘土、粉质壤土及砂壤土等。

### (二) 渠道防渗防冻胀结构形式

引汤灌区自建设以来采取的渠道防渗防冻胀结构措施基本都是预制混凝土板加复合土工膜防渗的 T 形渠道方案。只在 2009 年修建了一小段混凝土 U 形槽渠段。预制混凝土板尺寸为  $60\text{cm} \times 60\text{cm} \times 10\text{cm}$ ，混凝土标号为 C20F200，复合膜为两布一膜，重量为  $400\text{g/m}^2$ 。渠道防渗防冻胀结构自上而下依次为预制混凝土板、混凝土板下铺  $5\text{cm}$  砂垫层和复合防渗膜。对于超过底宽  $5\text{m}$  的渠道设置了混凝土固脚，固脚结构尺寸根据渠底宽度可选为  $0.3\text{m} \times 0.5\text{m}$  或  $0.5\text{m} \times 0.8\text{m}$ 。引汤灌区部分渠道水利要素见下表：



引汤灌区渠道水力要素表

渠道名称	设计底宽 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	水深 (m)	流速 (m/s)	设计边坡 m	糙率 n	比降 1/i
		Q <sub>设</sub>	h <sub>设</sub>	v <sub>设</sub>			
引汤总干	14.2.0	32.64	2.0	0.82	2.0	0.016	8000
伏胜干渠	3.0	3.36	1.12	0.64	1.5	0.018	5000
太平川抽水引渠	3.5	3.47	1.04	0.63	1.75	0.018	5000

### (三) 运行效果好的渠道防渗防冻胀典型工程

2010年6月6~7日对该灌区所有运行好的干、支渠段都进行了现场调研考察，详细记录了各典型渠道工程的地点、建成时间、断面结构及地质情况等，并分析了渠道运行效果好的原因，现汇总如下：



引汤总干渠照片



引汤总干解放岗渠段



伏胜干渠照片

引汤灌区渠道防渗防冻胀典型工程情况汇总表

序号	渠道名称	建成时间	防渗防冻胀结构形式			工程水文地质条件	渠道形式	运行效果分析
			断面	固脚	防渗防冻胀结构			
1	引汤总干	2005年	T形	有	半铺全防	自上而下4~8米均为含壤土的细砾层,垂直渗透系数0.0865厘米/秒,渗透损失较大。	挖方渠道	非冻胀性渠基,半铺全防的防冻胀结构致使运行效果很好。
2	引汤总干解放岗渠段	2000年	T形	有	半铺全防	地面下1~5米为粉质粘土及粉质壤土,下部为含粉质壤土的砂层。地下水位较深。	大挖方渠道	固脚尺寸较其他渠段加大,局部强冻胀渠基处设有排水体。运行十年防渗防冻胀效果很好。
3	伏胜干渠	2001年	T形	无	全铺全防	地下水埋深1.7~1.8米,地面下1~4米为粉质粘土及粉质壤土,其下为粗砂或细砂。	半挖半填	混凝土预制板全铺全防结构使得防渗防冻胀效果较好。
4	太平川抽水干渠	2005年	T形	无	全铺全防	由粘性土及砂砾石组成。	填方渠道	大部分为填方渠道,又是预制板全铺全防结构,使防渗防冻胀效果很好。

注:半铺全防结构即为渠坡渠底全铺设复合土工膜,渠坡铺设混凝土预制块,渠底是在复合土工膜上回填50cm的原装土。

全铺全防结构即为渠坡渠底全部都铺设复合土工膜及混凝土预制块。

## （四）存在的问题及解决办法

### 1、 预制板冻胀起鼓下滑

#### (1)局部预制板下滑

渠坡上某部几块预制板块下滑。这种现象大多发生在渠坡中下部，主要是因这段渠床土中含水量过高，遇低温冻胀导致混凝土块起鼓下滑。解决的办法一是杜绝渠床中外来水的水源，二是把冻胀渠床中的水份用排水管排出来，减少渠床冻胀因素，保证渠基稳定。

#### (2)预制板大面积下滑

某段渠坡混凝土预制板大面积整体下滑。引起的原因是：一是渠道固脚发生了位移，致使渠坡不稳定，坡面混凝土块下滑；二是渠道施工时渠床基土密度不够，形成渠坡坍塌使坡面混凝土块下滑。解决的办法是处理好固脚或重新夯实渠坡，提高施工质量。

### 2、 渠道坍塌

本次调研中发现太平川抽水干渠某段渠道及引汤总干吉成岗段渠道，都发生了渠坡大面积塌陷、削坡现象。不但太平川抽水干渠衬砌后的渠坡混凝土块滑塌，吉成岗段没衬砌的土渠也发生渠坡坍塌、削坡下滑现象，影响渠道正常输水。经过查看相关地质资料，可知这种现象的渠道其土质都是膨胀土，需改良治理才行。建议灌区管理部门与掌握该技术的单位联合解决渠道塌陷问题，使渠道正常运行发挥应有的灌溉效益。

附：太平川抽水干渠渠道及引汤总干吉成岗段渠道发生的渠坡大面积塌陷、削坡现象照片。



太平川抽水干渠坍塌渠段



引汤总干吉成岗脱坡现象 1



引汤总干吉成岗脱坡现象 2

## 十、 陕西泾惠渠灌区渠道防渗防冻胀技术应用

陕西省泾惠渠管理局隶属于陕西省水利厅管理，管理的泾惠渠灌区位于关中中部，是一个自泾河自流引水的大型灌区。灌区农作物以小麦、玉米为主，在灌溉的保证下粮食持续高产稳产。灌区灌溉引水为黄河水系渭河支流泾河水源，在泾河张家山出山口设坝引水。但是每年汛期，泾河高含沙水严重影响了灌区的夏灌工作。管理局自 1958 年开始对渠道高含沙引水灌溉进行不断研究，对各干支渠的挟沙能力进行计算分析，取得了显著成效，有力的指导了灌区的灌溉管理工作。同时，针对灌区冬季渠道易产生冻胀破坏的特点，结合历年渠道衬砌改造工程的实施，摸索探讨出了适合灌区特点的渠道衬砌结构形式，为灌区渠道衬砌改造工程效益的长久发挥奠定了科学基础。现就灌区泾河泥沙特性级渠道冻胀破坏试验研究情况汇报如下：

### （一） 灌区概况

陕西省泾惠渠灌区，位于陕西省八百里秦川腹地，是一个自泾河自流引水的大型灌区。灌区所辖咸阳、西安、渭南三市的三原、泾阳、高陵、临潼、闫良和富平六个县(区)的 48 个乡镇，602 个行政村，总人口 120 万人，其中农业人口 97.9 万人。灌区规划灌溉面积为 145.3 万亩，有效面积 131 万亩。

泾惠渠灌区是我国最古老的三大水利工程之一，秦·郑国渠的延续，历经二千多年的兴衰变化，由近代水利大师李仪祉先生主持规划设计，于 1932 年 6 月建成通水。渠首设于泾阳县王桥镇的泾河张家山峡谷，为低坝自流引水枢纽，渠首设计引水流量  $46\text{m}^3/\text{s}$ ，加大流量  $50\text{m}^3/\text{s}$ 。

#### 1、 自然概况

灌区北依仲山，西起泾河，东至石川河西岸，南临渭河，地理坐标介于东经  $108^{\circ} 34' 34''$  至  $109^{\circ} 21' 35''$ ，北纬  $34^{\circ} 25' 20''$  至  $34^{\circ} 41' 40''$ ，东西长约 70km，南北宽约 27km，总面积  $1180\text{km}^2$ ；地形总趋势是自西北向东南倾斜，海拔标高 450—350m，地面坡降一般为 3.33‰—1.66‰，平均坡降 2.5‰左右；灌区北邻黄土台塬，西、南、东三面有泾河、渭河、石川河环绕，清峪河由灌区北部自西向东穿越，为一较完整的水文地质单元，地面和地下径流

排泄条件好,地下水(潜水)平均埋深 15.8m,最大埋深 40.2m,最小埋深 5.0m (2008 年观测统计资料);第四纪河流冲积成因的黄土状亚粘土在灌区广为分布,土层自然容重 1.4—1.6t/m<sup>3</sup>,空隙率为 40—50%;土壤物理性状基本良好,土壤耕层容重、孔隙度比较适宜。

灌区属大陆型半湿润半干旱季风气候,多年平均降水量 538.9mm,年平均降水 77.5 天,降水时空分布极不均匀,7—9 月降水量占年降水总量的 50—60%;年蒸发量 1212mm(E80—E20 观测值),总日照时数 2200 小时,无霜期 232 天,年平均气温 15℃,最低气温-4℃—-23℃,属季节性冻土区,土层冻深 20—40cm。

灌区自然灾害以旱灾为主,据建国 60 年来统计,灌区共发生干旱 15 次,成灾 10 次,有三年一早的规律。同时,近二十年来,灌区大量开采地下水,地下水位呈连续大幅度下降趋势,部分地区机井大多“吊空”,致使灌区三水平衡失调。

## 2、灌区水土资源及工程设施概况

### (1)水资源状况

灌区由泾河张家山自流引水,张家山引水枢纽以上流域面积占总流域面积的 95%。据渠首张家山水文站 1956~2005 年水文观测资料,该段系列多年平均实测径流量 16.88 亿 m<sup>3</sup>,按水利年度统计,实测年最大径流量发生在 1963 年 9 月~1964 年 8 月,为 31.086 亿 m<sup>3</sup>,实测年最小径流量发生在 1999 年 9 月~2000 年 8 月,为 0.683 亿 m<sup>3</sup>,大于均值的年份有 21 年,小于均值的年份有 29 年。连续大于均值的有 1962~1971 年,共 10 年系列,平均年径流量 22.97 亿 m<sup>3</sup>,连续小于均值的有 1995~2003 年,共 9 年系列,平均年径流量 10.52 亿 m<sup>3</sup>。实测最大洪峰流量 9200m<sup>3</sup>/s(1933 年 8 月 8 日),最小枯水流量 0.7m<sup>3</sup>/s(1954 年 6 月 29 日),常流量 15—20m<sup>3</sup>/s;在夏灌期的 7、8、9 三个月,呈大流量、高含沙同步出现,径流量占全年 63%,年输砂达 2.65 亿吨,最大含沙量 1040kg/m<sup>3</sup>。与灌区灌溉用水相匹配,灌区日平均含沙量小于等于 13%的河源来水量,其多年平均值为 12.68 亿 m<sup>3</sup>。

灌区地下水 80%以上为重碳酸盐水,矿化度 1-3g/L,宜于灌溉,埋深一般在 5-30m,最大埋深 38m,主要靠灌溉回归水和大气降水入渗补给。灌区现有

机井 1.39 万眼。地下水宜开采量 1.5-2.0 亿  $m^3$ ，多年平均实际开采量为 2.29 亿  $m^3$ 。

全灌区在扣除井灌面积后，25%、50%、75%保证率计算全年渠灌需水量分别为 16322、30110、46082 万  $m^3$ 。75%保证率亩均须渠灌水量 317.15  $m^3$ /亩。

采用长系列操作法逐日计算 1976~2005 年 30 年水文系列，灌区多年平均灌溉需水量 37468 万  $m^3$ ，供水量 28522 万  $m^3$ ，占需水量的 76.1%，缺水量 8946 万  $m^3$ 。

## (2)土地资源状况

泾惠渠灌区设施灌溉面积 145.3 万亩，有效灌溉面积 131.0 万亩，其中自流灌溉面积 111.02 万亩，抽水灌溉面积 19.98 万亩，渠井双灌面积 110 万亩，中低产田面积 99.3 万亩，田间节水工程灌溉达到标准的只有 36.5 万亩。排水工程控制面积 103 万亩。

## (3)水利设施状况

灌区水利设施包括：水源工程、灌溉渠系骨干工程、排水渠系骨干工程和其他工程等。

### ①水源工程

灌区渠首有张家山水库一座，大坝为微拱砗溢流重力坝，坝高 35.7 米，坝顶加设  $10.3 \times 8m$  拦河闸 6 孔。总库容 1060 万  $m^3$ ，有效库容 427 万  $m^3$ ，防洪标准按 30 年设计，200 年校核，系 II 等 II 级建筑物。设计灌溉引水流量 46 $m^3$ /s，加大流量 50 $m^3$ /s，属低坝自流引水。

另有泾惠渠西郊水库一座，位于三原县城以西约 2km 的清河干流上，是一座渠库结合的中型水库，处于灌区北干渠的末端。水库大坝为均质土坝，坝高 42m，坝顶宽度 15.0m，坝顶长度 208m。溢洪道布置在大坝右岸，为岸边开敞式，导流排沙泄洪洞布置在大坝与溢洪道之间。总库容 3405 万  $m^3$ ，有效库容 1984 万  $m^3$ ，水库充库水量主要是利用泾惠渠引泾河来水，通过灌溉渠道进行充库，水库年调节水量 3050 万  $m^3$ ，设计正常蓄水位 420.0m。抽水站位于坝上游右岸 400m 处，为岸坡斜拉式抽水站，安装 6 台高压潜水泵，装机容量 1680kw，设计扬程 25.2m，设计抽水流量 4.8 $m^3$ /s，最大抽水流量 5.67 $m^3$ /s。



### ②灌溉渠系骨干工程

现有干渠 5 条，长 80.6km，支渠 25 条，长 336.21km，有各类建筑物 2520 座，目前衬砌渠道占干支渠总长的 64.8%。斗渠 593 条，长 1477.5km，已衬砌 511 公里，占斗渠总长的 34.6%。分渠 4787 条，长 2042.07km，已衬砌 693.32 公里，占分渠总长的 34%。

沿灌区总干渠、北干渠、一支渠建有张家山、官苗、寨子沟、云阳、徐木等 5 座抽水站，总装机 10933KW，设计抽水总流量  $11\text{m}^3/\text{s}$ 。

### ③排水渠系骨干工程

灌区排水渠系工程比较完善，有泾永、雪河、仁村、陵雨、大寨、滩张、清河北等 7 个排水系统，干沟 10 条，长 118.7km，支沟 75 条，长 377.1km，分毛沟 334 条，长 375.1km，配套各类建筑物 1913 座，控制排水面积  $686.7\text{km}^2$ ，占灌区总面积的 58.2%。

### ④其他工程

灌区有坝后电站一座，安装 3 台水力发电机组，总装机容量 7500kw，单台满载发电需水流量为  $16\text{m}^3/\text{s}$ ，年平均发电量 2000-2200 万度。另有渠道水力发电站一座，位于南干渠进口段，装机 2 台共 1600kw，年发电量 580 万度，单台发电需水流量为  $7\text{m}^3/\text{s}$ 。

## 3、社会经济状况

灌区地处陕西关中平原中部，素有关中“白菜心”之美誉，灌区经济基础条件好。据统计，2009 年灌区国内生产总值达 959630 万元，农业总产值 469706 万元。灌区辖 602 个行政村，止 2004 年底，总人口 120 万人，其中农业人口 97.9 万人，农户 24.09 万户。农民人均纯收入已达 2703.5 元。耕地面积 146.9 万亩，人均耕地 1.50 亩，人均水浇地 1.36 亩。灌区农作物以种植小麦、玉米为主。粮经比 7.6:2.4，两年三熟，复种指数 1.75，灌区 2009 年作物种植面积 237.66 万亩。其中小麦 103.1 万亩，玉米 99.8 万亩，棉花 7.31 万亩，经济作物种植面积 14.8 万亩，果林种植面积 10.4 万亩，其它粮食作物 2.2 万亩。

泾惠渠灌区开灌以来，灌区农业生产条件明显改善，社会效益十分显著，灌区粮食平均亩产目前已达 560 公斤。据灌区 1949 - 2009 年间的 60 年资料统

计，灌区已累计生产粮食 215.3 亿公斤。灌区以仅占全省 2.5% 的耕地，却生产出了占全省 5.8% 的粮食，对我省农业生产乃至国民经济的发展做出了巨大的贡献。

## （二）泾河泥沙特性

泾河系多泥沙型河流，河水暴涨暴落，泥沙时大时小，来水含沙量大极高，而且颗粒细，粘粒含量多。泾河水流含沙量极高，张家山站 1932—2001 年资料显示，其多年平均含沙量  $144.5\text{kg}/\text{m}^3$ ，汛期为  $252\text{kg}/\text{m}^3$ ，实测最大断面含沙量  $1430\text{kg}/\text{m}^3$ 。经沙量还原计算，其多年平均输沙量 2.86 亿 t，其中，实测悬移质 2.73 亿 t，推移质 0.03 亿 t，还原量 0.10 亿 t，输沙量在年纪间变化甚大，年内分部极不均匀。最大输沙量 11.44 亿 t，最小为 0.54 亿 t；汛期（7-9 月）平均输沙量 2.58 亿 t，占全年输沙量的 90.5%。

在泾河泥沙资料中，1964—1980 年有分析统计的数据，然而随着泾河上游的建设和发展，该数据有所变化。2007 年，为了建设渠首排沙漏斗工程，对泾河泥沙进行了详细的泥沙试验，泾河悬移质颗粒级配已有变化。1964 年—1980 年 17 年资料统计分析，泾河泥沙以悬移质为主，悬移质颗粒级配如下表：

泾河悬移质颗粒级配表

项目	平均小于某粒径含沙量百分数								中值 粒径 (mm)
	粒 径								
	0.005	0.010	0.025	0.05	0.10	0.25	0.5	1.0	
总数	6928730	911032	17370000	31700300	44029900	42649700	46597400	46724000	0.035
%	14.8	19.5	37.2	67.6	94.2	99	99.7	100	

2007 年，《泾惠渠渠首排沙漏斗工程泥沙原型观测报告》，泾河泥沙以悬移质为主，悬移质颗粒级配如下表：

泾河悬移质颗粒级配表

项目	平均小于某粒径含沙量百分数						中值 粒径 (mm)
	粒 径 (mm)						
泥沙组成	0.007	0.010	0.025	0.05	0.10	1.0	0.012
含量%	28	12.3	39.7	17.1	2.9	0	
泥沙沉降速度 (mm/s)	0.0252	0.0514	0.335	1.29	4.97		

### (三) 灌区渠道结构及冻胀破坏形式

#### 1、灌区渠道衬砌的结构形式和运用情况

灌区衬砌渠道中，从断面形式上主要分为两种，一是梯形断面，二是“U”型或变“U”型断面。结构形式主要有浆砌石和砼两种，在多年的实践中，管理局对不同的断面和结构进行了组合试验，分别介绍如下：

##### (1) 梯形断面衬砌形式

① 予制砼板护坡。1962年开始搞渠道衬砌时，为了施工方便，采用 $50 \times 25 \times 8$ 和 $50 \times 50 \times 8$ cm小块予制板护坡，缝的布置是水平通缝，垂直错缝，经过一年运行就发现水平缝裂开，而后鼓起，板块滑落。64年在南干渠永乐、庄头等段改用较大的砼予制块（予制板规格有： $75 \times 75 \times 8$ 、 $100 \times 60 \times 8$ 、 $110 \times 75 \times 7$ 、 $100 \times 100 \times 10$ 、 $150 \times 100 \times 10$ cm），缝的布置改为水平错缝垂直通缝。80年代以前，采用这种形式衬砌的干支渠长度达67km，但不论板块的大小和形状如何，阴坡均遭到冻胀破坏，而板块小的，破坏更早，更为严重。八十年代以后这种形式在干、支渠道上除翻修外，再没采用过。

② 现浇砼板护坡。64年开始在南干渠永乐、宝丰寺等段采用 $200 \times$ 斜长 $\times 10$ cm的等厚板和8—12，11—13cm的楔形板现场浇筑的试验。其中780m在护坡中间加设腰缝的，阴坡全部沿水平腰缝鼓裂，上部砼板下滑。其它一坡到顶的也相继冻胀断裂。

③ 砼梁板结合护坡。在现浇板也未能抵挡冻胀破坏的情况下，管理局先采

用了几种梁板结构。其形式主要有三种。

a、予制钢筋砼梁、现浇砼板。64年的南干渠永乐试验衬砌40m，运用至今，个别予制梁向渠中心有3—5cm位移，但钢筋砼梁完好无损，只是造价较高。

b、现浇砼梁结合予制砼板。现浇梁又分素砼土梁和钢筋砼梁。七十年代在南干、南二千渠采用的素砼梁压予制板已遭冻害。80年代在南二千朝李闸西改为现浇钢筋砼梁压予制板衬砌300多m，92年调查时仍然完好，又经过10年来运行，现表面已剥蚀严重，但渠道运行稳定。

c、现浇砼肋梁板。有素砼肋梁和钢筋砼肋梁两种。素砼肋梁板69年在南干渠衬砌1.2km，现衬砌高1/2以上部位均出现裂缝，80%已鼓起破坏。钢筋砼肋梁板，82年在四支渠衬砌200m，现基本完好，但相当一部分出现纵裂缝。

d、予制砼槽型板、78年以后曾在二支、三支、四支渠采用，至今已运行二十多年，基本完好。砼多孔板衬砌，八十年代开始应用于南干、北干、南二千、四支等渠段，九十年代应用于一支渠、南干等渠段，除南干磨子桥段局部出现纵向裂缝外，其余渠段均基本完好。

e、复合式板模衬砌结构，即在渠槽基土之上全断面（或阴坡半断面）铺设沥青玻璃丝布油毡，或塑料薄膜以及0.25mmPE100g/m<sup>2</sup>复合土工布膜，然后再安砌予制砼板。此种结构形式近些年来曾在北干、二支、三支、四支等渠段采用，运用效果较好。

f、浆砌石衬砌结构，浆砌石梯形衬砌，是早期普遍采用的一种衬砌形式，70年代在总干渠、南干渠、北干渠大部分采用，经过30多年运行，除水位变动区有少量脱缝外，无任何肉眼可见到的冻害。我们曾炸开砌石考察，其基土较为干燥，说明其防渗效果良好。

## (2) “U”型断面或变“U”型断面衬砌结构形式

① “U”型断面砼衬砌。78年以来先后用人工或半机械、机械施工，在二支、北干分支、六支、十支等流量小于2.5m<sup>3</sup>/s的支渠上衬砌4.4km。较早衬砌的二支渠、北干分渠的“U”型渠槽已运行二十余年，虽有裂缝但整体仍稳定，运行基本正常。但未设伸缩缝的渠段每隔5m左右不同程度的出现横向裂缝。

②“U”型断面浆砌石衬砌。90年代曾在十支渠采用,经91年冬季低温(-16.5℃)考验,未出现纵向裂缝。

③弧形坡角梯形断面,其衬砌结构形式有,现浇砼肋梁板、现浇砼板下铺沥青玻璃丝布油毡防渗膜料、预制砼板下铺沥青玻璃丝布油毡、现浇砼板下铺保温板(珍珠岩板或聚苯乙烯泡沫板)等,上述结构形式1990年开始,在四支渠进行衬砌试验,经过了1991年冬(20年一遇)的低温考验至今基本完好。自97年以来新村渠道,将原设计板下膜料改为0.25mmPE100g/m<sup>2</sup>复合土工布膜,从目前施工和运用效果来看,均比较理想。

另外,2000年在一支渠采用浆砌石弧脚梯形断面衬砌,由于所砌渠段地下水水位高,我们在砌体后增设了反滤排水体,经过两年运行观测,无冻害发生。但造价较高。

(3)伸缩缝的结构曾采用过矩形、三角形、楔形、梯形等,经多年观察,不同的缝,对护坡板和填料稳定、防渗效果没有显著的差别,后来选用矩形和楔形缝。过去,缝的填料采用沥青水泥砂浆、油毡涂沥青和沥青玛蹄脂等,这类填料夏天有被挤出流淌现象,效果不理想,近年来采用粘结力和伸缩性较强的煤焦油塑料胶泥填充材料,虽然施工方法采用了浇灌和安装成型煤焦油塑料胶泥两种形式,从渠道渗漏测验看,伸缩缝处理,仍是渠道衬砌的薄弱环节,需进一步对施工工艺和伸缩缝填缝材料进行研究。

## 2、不同衬砌结构的抗冻性能

渠道衬砌的冻害,缘于基土冻胀,而基土冻胀力与土质、水分、温度有关,在其它条件相同的情况下,由于冬季阴坡不易受到阳光照射,基土温度低、土壤冻胀力大,这是阴坡比阳坡冻害严重的原因。

经调查,阴坡裂缝出现的位置多在冬季水位变化范围,如南干渠冬季引用流量9—17m<sup>3</sup>/s,裂缝位置在0.9—1.55m范围,与渠道水位是相应的。这一带冻害较严重,其原因有二:一是外界温度。据气象资料,灌区元月份最低气温为-4℃—-23℃,二月份最低气温为-2.2℃—-16.2℃,常水位以下水温大于0℃,所以水位以上板后基土通过砼面散发热量比水下大,基土温度比水下的低。二是导热性能,砼的导热系数随含水量增大而增大,当渠道水位降低,导热系数

较大的饱和状态的砼板表面暴露于大气中，板下基土的热量通过砼板很快传导散失，形成“冷带”，因而冻层深，冻胀量大。这种不均匀的冻胀量会使衬砌板产生位移，直至破坏。

① 予制砼板：在泾惠渠灌区渠道阴坡衬砌中，予制板安砌是遭受冻害最严重的一种形式，这是因为它接缝多，而接缝是易遭冻害的薄弱环节，温度应力就可使之断裂，根据温度观测（夏季至春季），在渠水位以上，砼板面与板后温差达 6—12℃，由于两面温度不同，形成砼板的不均匀变形，使砼表面产生受拉现象，其强度虽小于砼抗拉强度，但大于砂浆的抗拉强度，更大于砂浆与予制板粘结面的抗拉强度，因此在砼板与砂浆接缝处首先产生裂缝，渠水由此渗入板下，增加了基土水分，遇到冬季低温，基土冻胀，薄弱的接缝首先破坏，这是予制板安砌比整体现浇板易遭受冻害的主要原因。

② 现浇砼板：现浇砼板比予制板安砌抗冻性稍强，原因是，现浇板施工缝少，整体性强；另一方面现场浇筑，经过振捣，砼与基土结合较好，而予制板安砌，板与基土间难免有空隙，易形成渗水串流，增加了基土水分和冻胀量。但这种现浇板在灌区连续低温行水的情况下，水位线以上的基土和砼板冻结成整体，产生冻胀量，向外鼓起，而水下未冻的板在自重、坡脚的静摩擦力及静水压力共同作用下，阻止板向外变形，当截面抗弯强度大于外荷产生的弯矩时，板就会弯曲、折断；另一方面，虽然基土温度回升可以融沉，但冻胀板产生相应的位移一般不能复原，而要剩留一部分变形量，被折断的上段又无外力作用，故无法复位，位移量逐年积累鼓起，导致滑落破坏。

③ 砼梁板衬砌结构：现浇素砼梁板的抗冻性强于平板，是因为梁增强了刚度，且梁卡入土槽中既加强了粘结作用，又阻隔了渗水串流，可削弱基土冻胀，但在冻胀量大的渠段仍然遭受冻害。

为了增强梁板结构的抗冻害能力，管理局改素砼为钢筋砼梁，梁的配筋计算是假设衬砌板的上部与基土冻结成整体，作为悬臂梁的支座，产生冻胀量为支座位移其下部砼板自重，坡角阻力和静水压力为下段悬臂梁的外荷，即把砼板由于受法向冻胀力产生断裂的计算简化为悬臂梁的结构计算，采用每 m 一根梁，梁高 20cm，梁宽 15cm，板厚 10cm，裂缝下段板的长度以 1/3 坡长计，用 100#砼，不计板的抗弯作用，安全系数取 1.0，计算得阴坡衬砌钢筋砼梁的配筋

值如下表，这种钢筋砼梁板结构，由于钢筋砼梁具有较强的抗弯、抗剪强度，故大大提高了抗冻性能。

梁板结构钢筋砼梁配筋值

渠名	流量 (m <sup>3</sup> /s)	衬砌高 (m)	坡长 (m)	1/3 坡长 弯矩 (t.m)	配筋量	备注
南二千	8.0	1.7	2.55	0.25	2 φ 6	现浇予制梁板 80 年建,完好。
四支	6.0	1.7	2.55	0.25	2 φ 6	现浇整体梁板 82 年建,完好。

④素砼槽型板：槽型板的四周肋梁具有增加抗冻胀的能力，板下空间空气导热系数小，对基土可起保温作用。同时，由于槽型板仅四周接触基土，槽腔内大面积板面呈悬空状，与基土不接触，可以减少由于基土作用于板面的冻胀力。

⑤砼多孔板：由于多孔板厚度大于同方量的砼实体板，又在迎水面加了 φ 4 钢筋 2—10 根，抗弯截面及抗弯强度增大，且多孔板有 4 孔直径 11cm 的空腔，我们又把多孔板的两端封闭，空腔内的空气不易对流，空气本身是导热的不良导体，可以对基土起到保温作用，减少或避免了基土的冻胀破坏。

⑥“U”型变“U”型衬砌断面：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，省地等优点外，还由于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，运用情况良好。

#### （四）针对泾河泥沙采取的措施

灌区近十年因高含沙影响灌溉生产天数年平均为 18.35 天，特别是 2000 年，因高含沙停水 8 次，共计 31.5 天。加之近年来农业结构的调整，灌区夏灌用水高度集中，水量供需矛盾日益突出，使灌区农业生产受到严重影响，主要农作物玉米得不到充分灌溉，部分面积遭到绝收。如 1995 年大旱，灌区下游近 20 万亩农田没有种上秋禾，12 万亩减产，3 万亩绝收。2001 年由于水源不足，秋

粮减产 7370 万 kg，直接经济损失约 6500 万元。泥沙问题已成为制约灌区灌溉生产的主要因素，严重制约着灌区的农业发展。为了消除泥沙对灌溉的影响，管理局主要采取了工程措施和运行管理措施。工程措施上修建了总干排沙漏斗工程，运行管理措施上根据各渠道具体情况限定行水沙限和抽取西郊水库库水进行掺清。

1、修建总干排沙漏斗工程。为了解决灌区夏灌引用泾河高含沙水源问题，灌区引进专利技术，修建了总干排沙漏斗工程。该工程的建成和投入使用，有效地降低了渠水含沙，提高了水源利用率和灌区年引水时间，极大程度地保证了灌区农田及时灌溉。

2、限定渠道行水沙限。泾惠渠灌区干支（分）渠道从上到下断面结构形式多样、设计比降不同、糙率系数不同、衬砌时间不同，灌区结合各级渠道实际，通过水力计算，计算出各级渠道的挟沙能力，确定了各级渠道的引、停水含沙率，通过配电站严格进行调度和控制。通过多年运行，这样可最大限度引用泾河高含沙水源进行农田灌溉，保证灌区农作物高产稳产，又可消除泥沙对灌溉渠道的淤积，保障各级渠道按照设计流量行水和减轻灌区渠道清淤工作量。

3、抽取西郊水库库水掺清。对于灌区西郊水库可以抽水灌溉的干支渠，如北干渠系一支渠、二支渠、北干分支渠及南干渠渠系下游的渠道，在引用泾河高含沙水时，同时抽取西郊水库清水进行掺清灌溉。以掺清的形式进行农田灌溉，可以大幅度提高渠首引水含沙率，最大程度引取泾河水源，保证灌区农田及时灌溉。

### （五）针对渠道冻胀破坏采取的措施

泾惠灌区多年来的渠道防渗衬砌，对减少渠道渗漏，提高渠道输水夹砂能力，保证渠道输水安全发挥了重要作用。采用合理的衬砌断面形式和防渗抗冻措施，是提高渠道抗冻能力和使用寿命的关键。为此，管理局积极借鉴以往试验研究成果，学习外地先进经验，主要采取了以下技术处理措施：

1、断面形式。灌区渠道防渗衬砌改造采用四种形式：第一种为梯形断面，适用于流量大于  $20\text{m}^3/\text{s}$ ，且不具备改造成弧脚梯形断面的大型渠道；第二种为弧脚梯形断面，对流量为  $8\text{m}^3/\text{s} \sim 20\text{m}^3/\text{s}$  的中型渠道，优先采用；第三种为弧



底梯形断面，对流量为  $2.5\text{m}^3/\text{s} \sim 8\text{m}^3/\text{s}$  的中型渠道，优先采用；第四种为 U 形断面，一般适合流量小于  $2.5\text{m}^3/\text{s}$  的小型渠道。

2、结构形式。主要采用砼板与防渗膜料结合的板膜复合结构。砼板一般采用等厚板，板下全断面铺设 PE 土工膜，膜厚  $0.18 \sim 0.3\text{mm}$ ，布厚  $100 \sim 200\text{g}$ 。大型渠道或渠基有较大冻胀或沉陷变形时，边坡多采用底厚顶薄的楔型板，个别渠段还采用钢筋砼空心板。现浇板厚度多为  $8 \sim 12\text{cm}$ ，预制板一般为  $6 \sim 8\text{cm}$ 。砼板伸缩缝横向间距为  $3 \sim 5\text{m}$ ，纵向  $5 \sim 6\text{m}$ ，宽度  $2\text{cm} \sim 3\text{m}$ 。缝内下部填充聚氯乙烯胶泥，上部水泥砂浆或细石砼填封。对整体现浇的“U”型渠道，多采用单一的砼板结构。对地下水位较高的渠段，多采用浆砌石衬砌，并设置有排水体。

3、提高渠基土夯实密度和砼标号。要求渠基土压实系数不小于 0.95，砼标号采用 R150、W4、D50。

4、施工方法。干、支渠采用分层外模板衬砌，插入式振捣器振捣和滑模法浇筑技术，该方法对保证砼衬砌质量，提高施工工效效果明显。

以上技术措施中，采用 U 形和弧底、弧脚梯形断面，提高了砼衬砌整体性和基土抗冻胀力，较好地缓解了冻胀变形；采用复合膜料、加大基土夯实密度及砼标号，减少了基土含水率和冻胀量，降低了基土负温，削弱了基土冻胀破坏，提高了防渗抗冻胀性能。

总之，在解决泾河水源含沙量高和灌区防冻胀破坏方面，管理局在多年试验研究总结的基础上，取得了一定经验和成效，但离彻底解决这一问题的困扰还有较长的路要走。期望水利部和省厅对我灌区加大支持力度，给予资金支持，使灌区能够加大对泾河高含沙水的引用试验研究，同时继续加快灌区各级渠道的冻胀破坏研究，尽快使灌区摆脱这些问题的困扰，快步走上可持续发展道路。

## 十一、 陕西宝鸡峡灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 灌区概况

宝鸡峡灌区位于陕西关中西部，西起宝鸡市以西 11km 的渭河峡谷，东至泾河右岸，与泾惠渠灌区隔河相望，南临渭水左岸，北抵渭北高塬腹地，与冯家山、羊毛湾灌区接壤，东西长 181km，南北平均宽 14km，总面积 2355km<sup>2</sup>。是一个多枢纽、引抽并举、渠库结合、长距离输水、大型建筑物多的特大型灌区，是陕西省目前最大的灌区。

灌区按自然地形和工程布局分塬上（黄土台塬）、塬下（渭河阶地）两大灌溉系统。塬下渭惠渠灌区属老灌区，1935 年动工，1937 年建成，1958 年扩建了渭高抽，渠首设于眉县魏家堡；塬上宝鸡峡灌区属新灌区，1958 年 11 月开工，1962 年 3 月工程缓建，1969 年 3 月全面复工，1971 年建成，渠首设于宝鸡县林家村。1975 年 4 月，为统一调配水源，两灌区合并统称宝鸡峡引渭灌区。水源以渭河径流为主，引水流量总计 95m<sup>3</sup>/s，灌溉宝鸡、杨凌、兴平、乾县、礼泉、秦都、渭城、泾阳、高陵等 14 个县(市区)97 个乡镇的 291.6 万亩农田。

灌区现有 6 座中型水库，总库容 3.37 亿 m<sup>3</sup>，有效库容 2.41 亿 m<sup>3</sup>，有总干、干渠 6 条，长 412.6km，截止 2009 年底，已衬砌 317.72km，衬砌率 77%，衬砌完好率为 91%；支(分支)渠 78 条，长 699.301km，已衬砌 342.66km，衬砌率 49%，衬砌完好率仅 65%；干、支渠共有各类建筑物 5107 座，渠道与建筑物配套基本齐全。

灌区属大陆性气候的半干旱地区，1954~2004 年长系列多年平均降水量 570mm，最大为 1146mm，最小为 243.3mm。年内分配不均，春夏多旱，秋季多涝，7~9 月降水量占全年的 50%左右，且多以暴雨形式出现，很难利用。年平均蒸发量 1100mm，年平均气温 14℃，最高 43℃，最低-21.5℃，日照 2140h，无霜期 220d，结冰期一般在 12 月上旬到翌年 3 月上旬，冻土深度一般在 10~30cm，最大冻土深度 50cm，灌区地下水埋深，渭河阶地区一般为 5~20m，黄土塬区 10~80m，最深达百米。灌区土壤大部为中壤、轻壤及少量沙壤土。

灌区开灌以来，灌区农业生产条件得到了极大改善，对陕西省国民经济发展与社会进步起到了举足轻重的作用。但是，由于灌区是一个新老结合的大型

灌区，工程布局线长面广，地质和水文地质条件十分复杂，加之受原技术水平和施工时经济条件所限，工程设计标准不高，工程不配套，部分干渠和大部分支渠未进行防渗处理。采用砼衬砌防渗的渠道经几十年运行，原衬砌的砼板大部分因冻胀遭到破坏而滑落渠底，成了滞水的主要因素，加之灌区灌溉水量严重不足，渠道长期引用渭河高含沙水，多年来渠道漏水、淤积非常严重。近年来，随着灌区续建配套与节水改造项目逐年实施，灌区在渠道抗冻胀及减轻淤积方面取得了一定的成效，灌区渠系水利用系数和灌区灌溉保证率大大提高，输水能力逐年增加，节水效果比较显著。现就一些技术问题和大家做一探讨。

## （二）冻胀因素分析及处理措施

衬砌渠道是一种线路性工程，沿渠的土质、水分补给条件和渠道走向往往有较大的变化，土、水、温是形成冻胀差异的基本因素，土的冻结深度与日照条件和遮阴程度密切相关。渠道衬砌因厚度小、自重轻而对冻胀作用十分敏感，而采取抵抗性措施难以达到防冻害的目的，而从适应、回避、削减或消除冻胀等方面选用措施，较为经济合理。灌区地下水位埋藏较深，土壤为非冻胀性土，属寒冷地区，排水、置换及保温措施不太适用，设计方面：遵循了因地制宜、安全可靠、技术可靠，经济合理的原则。宝鸡峡灌区东西长 181km，渠道多为东西走向，东胀破坏在阴坡面相对较为严重，根据衬砌渠道沿线的土质、水分条件和渠道走向，依照“渠系工程抗冻胀设计规范”分别计算渠底、坡脚、坡中、坡顶的冻胀量，一般在阴坡坡中渠道的冻胀位移值最大，在 3~5cm 之间，渠道冻胀性级别属 I、II 级，渠道的冻胀位移值与其断面结构形式所对应的允许位移值相差不大，设计中，主要从以下几个方面来解决渠道冻胀：

### 1、渠道断面形式

- （1）设计流量大于  $9.0\text{m}^3/\text{s}$ ，选择弧形坡脚梯形断面或梯形断面；
- （2）设计流量在  $3-9.0\text{m}^3/\text{s}$  时，选择弧形坡脚梯形断面或弧底梯形断面；
- （3）设计流量在  $1-3\text{m}^3/\text{s}$  时，选择弧底梯形断面或 U 型断面；
- （4）设计流量小于  $1.0\text{m}^3/\text{s}$  时，选择 U 型断面。

弧形坡脚梯形断面或弧底梯形断面在干、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；同时也能改善防渗渠

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，减少裂缝和移位。

U型断面较梯形断面每公里输水损失可减少 3.7%，防渗效果最好，它近似于最佳水力断面，水流条件好，流速大，输水输沙能力强；另外，其抗冻胀性能较高，冻胀程度仅为梯形的 1/3~1/4，又便于管理，投资少、占地少，机械化施工程度较高。在灌区较小的支渠工程及斗、分渠工程中广泛应用。

## 2、 渠道衬砌材料及结构形式

渠道衬砌采用 C15 砼整体现浇，衬砌厚度 8~14cm，砼的抗渗、抗冻指标根据渠道工程级别严格按执行“渠道防渗技术规范”。

渠道衬砌结构形式随着防渗膜料的发展，大多采用板膜复合结构，即在砼板下铺设一层复合土工膜防渗（一布一膜土工布），既减少了渠道渗漏，膜料防渗层又可以保温，从而减轻冻胀破坏，使砼保护层裂缝减少，延长了工程寿命。

另外，在较大的渠道上，砼坡板多采用楔形板，阴面厚度一般厚于阳面，也有利于减轻冻胀破坏。

## 3、 伸缩缝的设置及止水材料的选择

分缝是渠道衬砌结构适应、削减冻胀变形的关键措施。渠道衬砌板（块）的隆起、架空是冻胀破坏的主要型式之一。渠道衬砌结构的允许冻胀位移值与衬砌板块的大小、衬砌板块间的约束程度、衬砌板与基土间的冻结力、冻胀不均匀度和渠道边坡基土的稳定性等有关。设计中，一般沿水流方向每 4m 设一道横向伸缩缝，弧形坡脚梯形断面或弧底梯形断面在坡板与弧底交接处均设一道纵向伸缩缝；梯形断面在两坡脚处和渠道中心线均设一道纵向伸缩缝，一般采用矩形或梯形缝可，缝宽 20~30mm，以适应冻胀变形，防止板块间相顶而造成的隆起、架空现象。

止水材料的目前工程上大都采用充粘结力强、变形性能大、在当地最高气温下不流淌、最低气温下仍具柔性的止水材料—聚氯乙烯胶泥。其施工方便，造价低，止水效果良好，在灌区已得到了广泛应用。

### (三) 渠道淤积问题及防治措施

宝鸡峡灌区水源以渭河径流为主，辅以地下水。渭河林家村站以上多年平均年径流量 22.44 亿  $m^3$ ，最大年径流 48.82 亿  $m^3$  (1964 年)，最小年径流 3.17 亿  $m^3$  (1997 年)。多年平均含沙量 6.1%，最大含沙量为 55%，汛期输沙率占年输沙率的 95%。含沙量大于 15%(引水沙限)的天数最多为 30 天，最少为 6 天，平均在 17 天左右；魏家堡以上多年平均径流量 34.6 亿  $m^3$ ，常流量 40~50  $m^3/s$ ，最大流量 5970  $m^3/s$ (1954 年)，最小流量 0.23  $m^3/s$ (1979 年)，多年平均含沙量 6.3%，最大为 50%，年含沙量大于 15%的天数平均为 15.4d。

导致渠道淤积的主要因素有以下几个方面：

- 1、长年高含沙水引水 (引水沙限 15%)，导致渠道淤积逐年加剧；
- 2、原渠道衬砌率低，尤其是塬下总干渠和支渠，大部分为土渠运行，渠道糙率大，流速过小，加之部分部分渠道及渠段原设计比降过缓，加剧了渠道淤积；
- 3、塬边渠道弯道多，弯道半径过小，导致水流不畅，弯道外侧淤积十分严重，尤其是塬下北干渠最为显著；
- 4、灌溉管理方面，一是长时间小流量运行，二是渠内杂草较多等。

为减少渠道淤积，延长渠道使用寿命，近年来，主要有以下防治措施：

- 1、林家村渠首家闸加坝工程的竣工，减少引水含沙量 (含沙量最大 5%)；
- 2、渠道砼衬砌率逐年提高，防止了杂草生长，减小了渠道糙率，增大了水流流速；
- 3、在渠道水量调节上采取“小水集中”的办法，提高流速，减少落淤；
- 4、通过跌水调整，增大部分渠段比降，提高水流流速，减少落淤；
- 5、选择合理的、最优的断面形式，确保灌溉渠道的最小流量在不小于设计流量的 40%情况下，相应的最小水深不小于设计水深的 70%，满足渠道冲淤平衡，减少渠道淤积。

### (四) 建议

- 1、衬砌材料的强度、厚度宜提高；
- 2、加大投资力度，对塬下北干渠部分弯道段采用渡槽等建筑物裁弯取直，

增大比降，以减少渠道淤积；对干支渠道加大改造力度。

## 十二、 陕西东雷抽黄灌区渠道防渗防冻胀技术应用

### (一) 灌区情况

东雷抽黄灌区是陕西省利用黄河水源修建的多级高扬程大型电力提灌工程,总设计灌溉面积 102 万亩,有效面积 83.7 万亩,渠首设计饮水流量  $40\text{m}^3/\text{s}$ ,属大(2)型灌区。工程于 1975 年 8 月动工兴建,1979 年~1982 年相继投入运行。共设东雷、新民、南乌牛、加西四个提水灌溉系统和新民、朝邑两个滩地灌排系统。灌区建成总干渠 1 条,干渠 8 条,退水渠 2 条,支渠 73 条,总长 506.206km;修建各类渠道建筑物 1670 座,建成各级抽水站 28 座,总装机容量 11.627 万 kw。

灌区建成至今,累计渠首饮水量 57.96 亿  $\text{m}^3$ ,斗口用水 28.98 亿  $\text{m}^3$ ,灌溉农田 3623 万亩次,从而显著改善了灌区农业生产条件,加快了产业结构调整,对灌区农业生产、农民增收和区域经济条件发展做出了巨大贡献。

### (二) 灌区自然、水文、地质及地基土冻胀量、冻胀级别情况

东雷抽黄灌区位于陕西省关中东部,在东经  $109^{\circ} 53' \sim 110^{\circ} 22'$ 、北纬  $34^{\circ} 43' \sim 35^{\circ} 14'$ 之间,东起黄河漫滩,西抵塬边,北临徐水沟畔,南接洛惠灌区。灌区东西宽约 39km,南北长约 57km,总面积  $974\text{km}^2$ 。地势西北高东南低,海拔高程在 635m 与 349m 之间,地貌类型主要属渭北黄土塬区。

本区属于干旱半干旱季风气候,年积温  $3894.2^{\circ}\text{C}$ ,平均气温  $13.1^{\circ}\text{C}$ ,历年最高气温  $42^{\circ}\text{C}$ ,最低气温  $-26^{\circ}\text{C}$ 。年内以七月份温度最高,多年平均为  $26.9^{\circ}\text{C}$ ,一月份气温最低,多年平均为  $-0.6^{\circ}\text{C}$ 。由于受大气环流、纬度和地形的影响,该地区长期干旱少雨,素有“十年九旱”之说。蒸发量因受大陆性气候影响显著而大于降雨量,其多年平均为 1500mm,降雨量多年平均仅 542mm。

灌区位于祁吕山字型构造体系东部边缘,自第三纪末期喜马拉雅造山运动,地壳沉降,接受了广泛的第四纪沉积物,厚度达 300 余米。后期地壳连续升降,振荡性运动,形成现今河流阶地。据地质资料分析,灌区表层土壤属上更新统风积层黄土,颗粒以粉土为主,呈浅黄褐色至灰黄色,自然干容重  $1.52\text{g}/\text{cm}^3$ ,孔隙比 0.79,孔隙率 43.8%,在  $2\text{kg}/\text{cm}^2$  压力下相对下沉系数为 0.089,根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25-90)规定,湿陷系数大于 0.02,自重湿陷量大

于 15cm，属自重湿陷性黄土。

灌区塬下工程位于黄河一级阶地，土质为细粒土质砂土，部分地方地下水埋深 0.5-1.0m，其余现多为明水；塬上地下水埋深一般在 100m 以下。根据多年对冻土深探查并根据“中国北方季节冻土区标准冻深线”查知，灌区冻土深度 0.5-0.6m；根据塬上、塬下土质和地下水位情况及“渠系工程搞冻胀设计规范”(SL23-2006)3.2.2-2、3 图“粉土冻深与冻胀量关系内曲线”、“细粒土质砂、含细粒土砂冻深与冻胀量关系内曲线”知，塬下基土冻胀量  $h=6.5\text{cm}$ ，塬上基土冻胀量  $h=2\text{cm}$ 。根据灌区土冻胀量和规范 3.3.2 表查知，塬下地基土冻胀级别为 III 级，塬上地基土冻胀级别为 II 级。

### (三) 原渠系工程衬砌及防冻抗渗情况

灌区工程修建于上世纪七十年代，是一项边勘测、边设计、边施工的“三边”工程，建设标准低，施工质量较差。不过鉴于东雷抽黄灌区处于湿陷性黄土塬区，加之提水灌溉成本较大，为有效提高渠系水利用系数，所以初始设计时，对干、支渠大部分进行了砼衬砌，以提高抗冻防渗。灌区干、支渠多为梯形断面，边坡系数 1.0—1.25，采用 100 号砼预制板衬砌，厚 80-60mm，板缝均为梯形缝，采用 1:3 水泥砂浆勾缝；斗渠多为 100 号砼现浇，厚 50mm。渠道冻胀变形缝为 1:1:4 沥青砂浆板条。

灌区渠道工程衬砌分现浇和预制板衬砌两种形式，经三十年运行，工程设施老化失修、冻胀破坏水严重，特别是渠道衬砌老化、空鼓、破损、脱落，渠道渗漏、湿陷、淤积严重，输水能力严重下降。

灌区多年未对渠道衬砌进行专业的冻胀量、渗漏量检测，但经多年观察和灌溉量测水，总结发现冻胀破坏和渗漏有以下几种不同现象：

1、渠道现浇衬砌时，冻胀破坏有以下几种情况：(1)高填方渠段渠基填土压实开挖成型后，采用 150 号砼现浇衬砌，现浇板规格为  $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$ ，厚 10cm，板缝夹沥青油毡二层，缝底填沥青油毡一层宽 20cm，且每 4m 设一道冻胀变形缝，变形缝采用平板止水橡胶；渠堤外侧排水较好，现使用 23 年之久，效果很好，基本没发生冻胀破坏；(2)塬上干、支渠在高填方渠段，采用 100 号砼现浇衬砌，现浇板规格为  $1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$ ，厚 80mm，每 4m 设一道冻胀变形缝，



变形缝内夹 1:1:4 沥青砂浆板条，多年运用后发现渗水冻胀严重；(3) 塬下总干渠渠底板采用 100 号砼现浇衬砌，现浇板规格为 4.0m × 4.0m，厚 100mm，冻胀变形缝采用 1:1:4 沥青砂浆板条填塞，多年运用后发现渗水冻胀特别严重；

2、渠道砼预制板衬砌时，经观察发现，衬砌冻胀破坏存在以下几种情况：①在填方渠段，排水设施较好且两侧不灌溉情况下，衬砌板老化破坏、空鼓、错位、勾缝脱落等冻胀破坏现象较轻；②在挖方段，两侧耕地冬灌后，渠堤土含水量增大，衬砌冻胀破坏严重；③干、支渠砼预制板衬砌厚度越大，冻胀破坏越轻，厚度越小，冻胀破坏越大；④现浇与预制板衬砌比较，现浇冻胀破坏较小；⑤渠道内边坡坡度系数越大，衬砌冻胀破坏越大；⑥渠道冬灌次数越多，衬砌冻胀破坏越大；⑦超衬砌水位运行次数越多，衬砌冻胀破坏越大。⑧地下水水位越高。冻胀破坏特别严重；

3、塬上斗渠多为“U”形断面，100 号砼现浇，有木模板组合施工和“U”形滑模衬砌机滑模施工两种方法，但脱模后，衬砌表面麻面，小量蜂窝等现象很难避免，容易受冻胀破坏；

4、灌区渠道防渗虽没有专测量，但经对渠道衬砌改造前后配水测量，干渠在改造前水利用系数平均在 0.80，改造后达到 0.88；支、斗渠改造前为 0.82 左右，改造后达到 0.90，渠系水利用系数由原来的 0.54 提高到现在的 0.71 左右。

#### (四) 近年渠系衬砌改造措施及防冻抗渗情况

根据灌区地基土湿陷性特点和冻胀级别、冻胀量以及各渠段的具体情况，在对渠道衬砌改造时，我们分别采取了以下几方面防冻抗渗措施，经多年观察，具有一定防冻抗渗效果。

1、根据渠道设计流量优化渠道断面形式。 $Q > 6\text{m}^3/\text{s}$  时，选用弧角梯形断面；在  $3\text{m}^3/\text{s} < Q < 6\text{m}^3/\text{s}$  时，断面选用弧底梯形；在  $Q < 3\text{m}^3/\text{s}$  时，渠道断面选用弧底梯形或“U”形，改变了以前多数的梯形断面情况，从而提高衬砌抗冻胀破坏。

2、对渠道衬砌，提高砼标号为 C15，并增加干、支、斗渠砌厚度，现浇厚度均为 10cm，预制板厚均为 8cm，同时采用土工布，形成板膜复合结构，增强防冻抗渗效果；对现浇衬砌，脱模后表面麻面或微量蜂窝现象，增加 1:1 水泥砂浆刮浆处理，有效减小渗漏，提高抗冻胀破坏。

3、对塬上渠道，砼预制板衬砌缝改原梯形缝为矩形缝，将塬下渠道砼预制板衬砌缝改梯形缝为铰形缝，以增加填缝材料的镶钳牵固程度，避免脱落渗漏冻胀。

4、冻胀变形缝改夹沥青塑料胶泥板条为热灌，即严格对冻胀变形缝清缝、干燥后，采用沥青塑料胶泥填缝或热灌，确保可靠粘接；衬砌板缝清缝后刷素水泥浆结合层，再用 M10 水泥砂浆塞实勾缝，提高防渗抗冻效果。

5、对“U”形渠道采用 C15 砼滑模现浇，增加衬砌厚度，改 6cm 厚为 10cm，提高衬砌整体性能，同时适度扩大开口角度( $18^{\circ}$  ~  $20^{\circ}$ )，采用板膜复合结构，脱模后再表面刮浆处理，防渗抗冻效果较好，且边坡稳定性好。

6、在干渠外侧，严格控制灌溉范围，避免因灌溉产生渠道湿陷沉降，减小渠基土含水率，增强渠道衬砌的防渗抗冻。

7、针对灌区泥沙淤积问题，改造中适当加高渠道衬砌高度，避免超衬砌水位运行，防止冻胀破坏，提高抗渗能力。

### **(五) 今后渠系改造防冻抗渗的意见及建议**

1、对大型渠道，应加大衬砌厚度至 12cm，以较好抵抗地基土冻胀对衬砌产生的法向位移，保证衬砌稳定。

2、对“U”形渠道，尽可能增加开口角度，以便使用土工布或塑膜防渗，形成板膜复合结构，提高抗冻防渗效果。

3、由于冻胀变形缝处理的好坏直接影响防冻效果，建议在经济条件允许的情况下，对大型渠道衬砌，冻胀变形缝改沥青塑料胶泥热灌为止水橡胶夹缝处理。因为沥青塑料胶泥热灌对衬砌材料干燥度要求较高，否则将造成渗漏冻胀。

4、建议在投资允许情况下，对湿陷性黄土区重点渠段工程，采用基土换土处理，以有效减少土体含水率和湿陷量，减少衬砌变形、裂缝和冻胀破坏。

5、建议渠道现浇衬砌时，普遍增加原浆收面或刮浆处理，减少衬砌表面孔隙率，提高抗冻胀防渗效果。

6、建议在湿陷性黄土灌区和利用泥沙水为水源的灌区，渠道衬砌高度应采用规范规定上限值，甚至再适当加高，避免水位超衬砌运行而引发冻胀破坏和渗漏。