

# 甘肃兴电灌区

## 渠道防渗防冻胀技术应用

(白银市兴电工程管理局 白广文)

### 1、 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  $\text{m}^3$ ，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  $8.7^{\circ}\text{C}$ ，最高气温  $35.7^{\circ}\text{C}$ ，最低气温  $-30^{\circ}\text{C}$ ，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



## 2、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砼或砌石等防渗材料,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,又采用了砼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,导致上部砼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,便于安砌或浇注砼板。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 C<sub>15</sub> 砼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

#### a. 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  $1.55\text{T/m}^3$ ，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  $\pm 0.5\text{cm}$ 。

#### b.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，其表面摩擦力大，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 50m-60m，大中型渠道可选 20m-40m。

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。

### c. 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 C<sub>15</sub> 砼现浇，坡板为预制板。厚度一般 7-8cm。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。

## 3、 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，以及砗板自身收缩产生的拉应力等影响，使砗板产生裂缝。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，极易造成砗板断裂。



(3) 断裂。砗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。





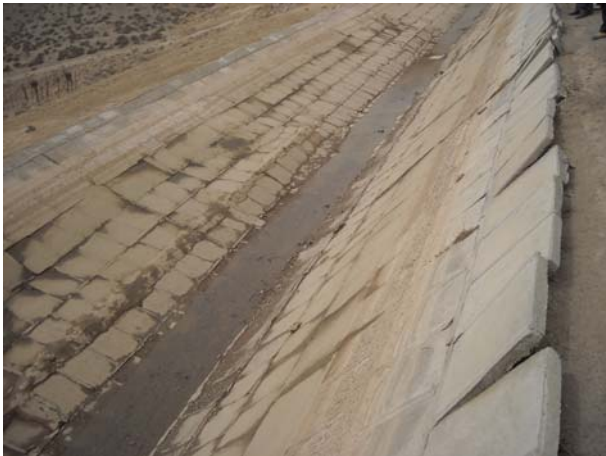
(4) 隆起架空。表现为在渠道某衬砌部位，砼板被基土抬高，具有明显的垂直位移。与裂缝和断裂的区别是砼板已完全失去连接作用。在地下水较高的渠段，渠床基土距地下水近，含水量大，冻胀量大，而渠顶冻胀量小，造成砼衬砌板大幅度隆起、架空。这种现象一般出现在坡脚和渠底中部，有时也顺坡向上形成数个台阶状。



(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降和不能恢复原位，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。



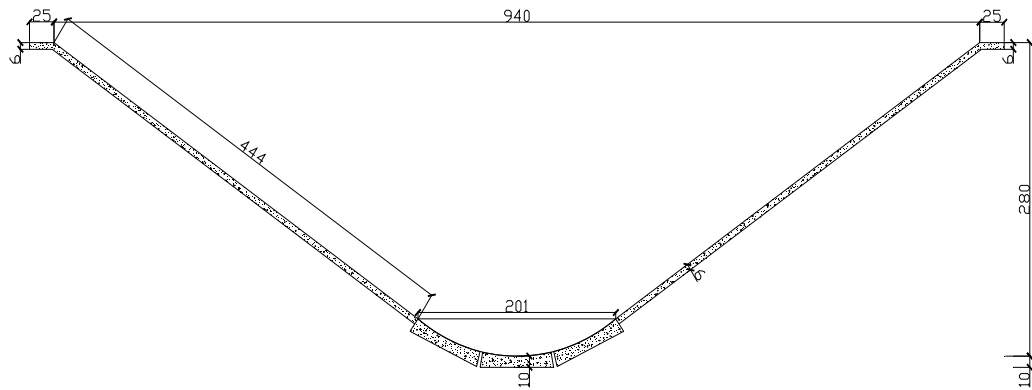
(7) 综合类型。表现为同时具有上述几种类型的破坏，多为渠道破坏严重，已影响渠道的正常使用。



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 厚的反拱底砼板衬砌，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 10 cm，内弧长 69.9 cm，底边长 74.6 cm，宽度 37 cm，梯弧型断面详见下图。



总干明渠防渗改造衬砌断面图

#### 4、 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。

#### 5、 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。