河北石津灌区渠道防渗防冻胀技术应用

1.灌区概况

石津灌区地理位置处在北纬37° 30′ ～38° 18′ 和东经114° 19′ ～116° 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。

2.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。

2.1 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。

2.2 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≤0.4W/(m.K),密度≥20kg/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。

2.3　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^2，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。

2.4　806 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,粘结力强,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。

2.5　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。我灌区在一干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。

2.6 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。

3.典型渠道（渠段）防渗防冻胀技术措施案例分析

3.1 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。军齐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 17.24 km，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 35.2 m^3/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^3），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。

3.2 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^3/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^3 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^2）。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。

3.3 案例三：混凝土+保温板+土工膜+树脂油膏伸缩缝

此种结构形式在四干二分干、四干三分干等渠道防渗工程中均有应用，以四干二分干（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 5.5m^3/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≥20kg/m^3），板厚 3cm,保温板下铺设两布一膜防渗土工膜(860g/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。详见四干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。

3.4 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 年在一干五分干（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 4.27m^3/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。详见一干五分干“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。

4.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 1/3～1/2；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，但抗冻性能的表观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

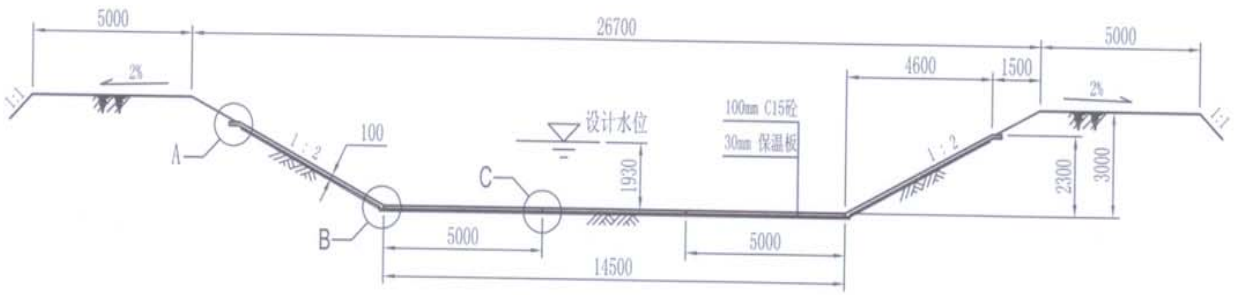
板）的形式；对于支渠以下小型渠道，受资金等因素影响，在没有铺设保温板等材料的情况下，我们常根据冻胀裂缝规律，在渠道阴坡 1/3 处弹线割冷缝一道，割缝宽度为混凝土板厚 1/4—1/2 为宜，以释放冻胀应力，使之成为线条整齐的通缝，保障渠道的整体美观；同时，我们也在小型渠道混凝土防渗工程中开始尝试混凝土+土工膜的结构形式，该形式有较为理想的防渗效果，同时土工膜防渗也可减少水的渗漏从而大大缓解混凝土板下土体的冻胀力。

5.存在问题及建议

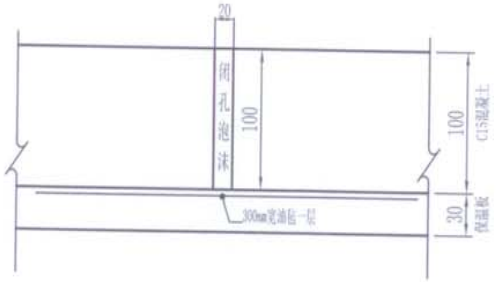
石津灌区已经实施了十四期续建配套与节水改造项目，成效显著，特别是以混凝土衬砌为主的渠道防渗工程产生了良好的节水效果，但也存在一些具体问题，如：对渠道防渗抗冻胀没有进行系统而科学的研究，现有结论仅停留在表观印象上，防渗抗冻效果的实际数据还很缺乏，很难定量说明问题；对于聚乙烯闭孔泡沫塑料板、双组份聚硫密封胶以及聚苯乙烯保温板等新型接缝、保温材料，目前在使用上还缺乏规范指导等。基于这些问题，建议行业内多进行业务交流，组织科研部门与灌区共同就渠道防渗抗冻相关问题进行系统的测试与研究；建议渠道防渗相关规程规范等能够及时对各种新材料新技术的使用进行规范说明与指导。

军干渠混凝土防渗工程实景图

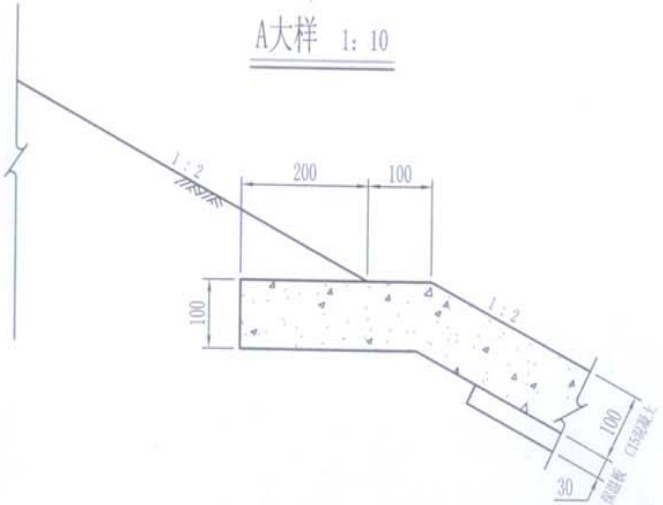
军干渠防渗工程横断面图



C大样 1:5



A大样 1:10



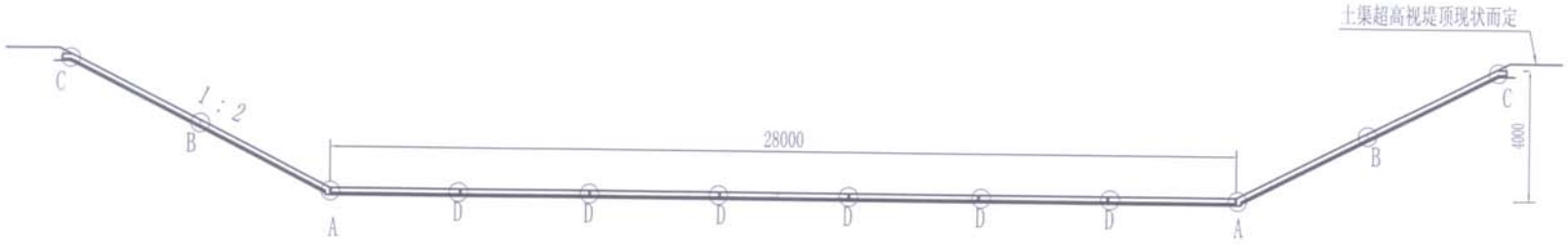
B大样 1:5

说 明

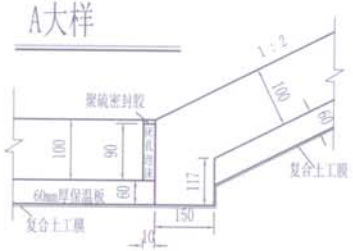
1. 本图纵断尺寸单位为m，横断及大样尺寸单位mm。
2. 沿水流方向每4m设一道横向伸缩缝，详见大样图C；
3. 渠底设4道纵向伸缩缝，详见大样图B、C；
4. 混凝土板下铺设30mm厚泡沫保温板，边坡延坡长铺设5m；
5. 混凝土板强度等级C20，抗冻等级F150，抗渗等级W6，伸缩缝砂浆标号M10。

总干渠田庄段混凝土防渗工程实景图

总干渠田庄段防渗工程横断面图

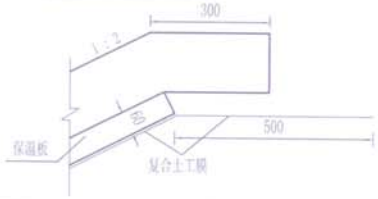


A大样



B（D）大样及横缝大样

C大样

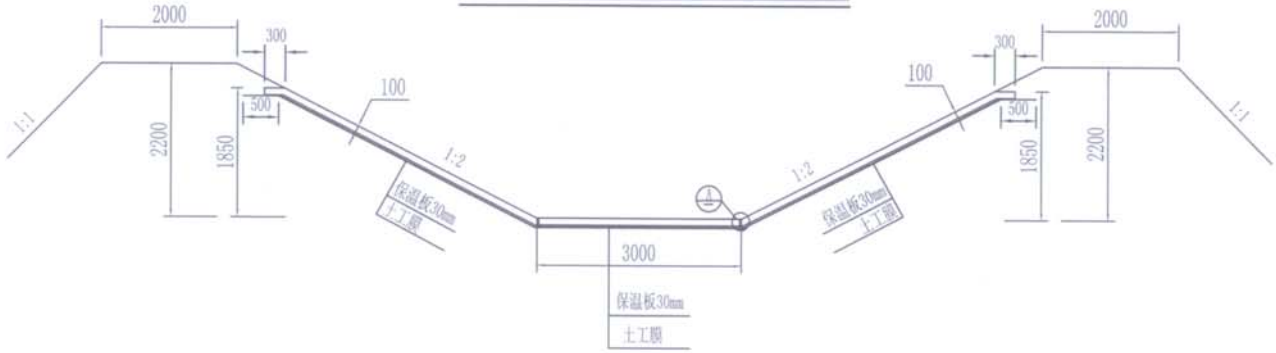


说　明：

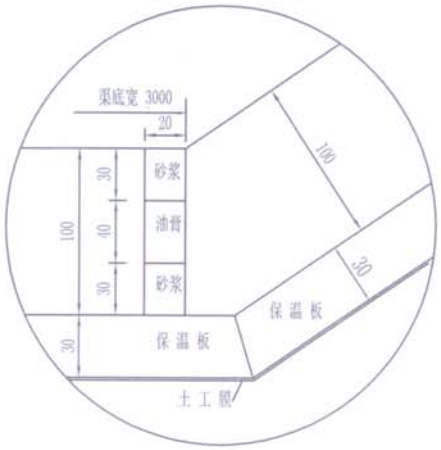
1. 本图尺寸单位mm。
2. 设计纵坡为1/10000，由田庄节制闸闸底板向上游推算。
3. 衬砌混凝土强度等级C20，抗冻等级F150，抗渗等级W6。
4. 混凝土板下铺设保温板(60mm厚，密度不小于30kg/㎥)；保温板下铺设两布一膜复合防渗土工膜（1000g/㎡），幅宽>=6m，幅长25m左右（按需方要求酌定），搭接宽度>=20cm 。
5. 沿水流方向，每4m设一道横向伸缩缝；两边坡中央位置各设一条纵向伸缩缝，渠底纵向伸缩缝设置：间距4m；伸缩缝形式为L600闭孔塑料+聚硫密封胶。

四干二分干渠混凝土防渗工程实景图

四干二分干渠防渗工程横断面图



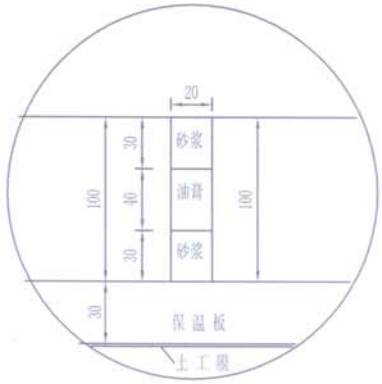
大样A



说 明

1. 本图尺寸单位mm。
2. 沿水流方向，每4m设一道横向伸缩缝；两坡脚各设一条纵向伸缩缝。
3. 混凝土板等级C20 F50 W6，伸缩缝砂浆等级M10。
4. 混凝土板下铺设苯乙烯保温板(30mm厚，密度>=20kg/m³)；保温板下铺设防渗土工膜（两布一膜，密度为860g/m²；PE膜为0.5mm）。

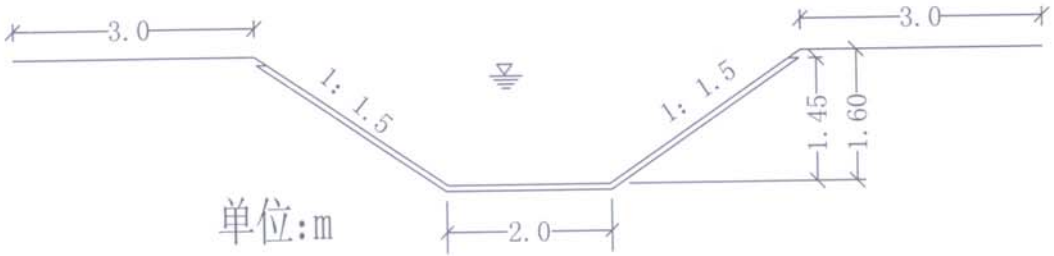
横缝大样



一干五分干渠混凝土防渗工程实景图（6cm 厚）

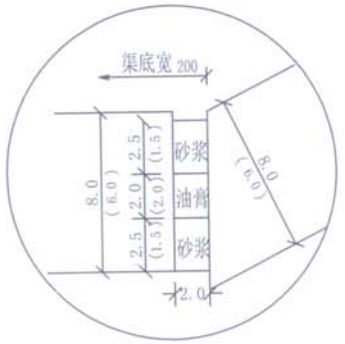
一干五分干渠混凝土防渗工程实景图（8cm 厚）

一干五分干渠“丹强丝”段防渗工程横断面图



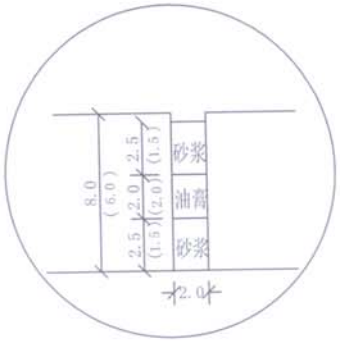
单位:m

纵缝大样



单位:cm

横缝大样



单位:cm

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。