

# 新疆呼图壁灌区渠道防渗防冻胀技术应用

新疆呼图壁河流域管理处 工程科 屈军

## 1 灌区概况

### 1.1 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<sup>2</sup>。其中南部天山山地及前山丘陵 3559.9 km<sup>2</sup>，占总面积的 34.71%；中部平原 4058.3 km<sup>2</sup>，占总面积的 39.58%；北部沙漠 2636.48 km<sup>2</sup>，占总面积的 25.71%。

### 1.2 气象水文

呼图壁河灌区年平均气温 6.5℃，极端最低气温-36.8℃，极端最高气温 41℃。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。

这次工作我们选用了《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<sup>3</sup>、4.822 亿 m<sup>3</sup>、4.002 亿 m<sup>3</sup>。

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 $0.48\text{g}/\text{m}^3$ ，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。

### 1.3 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‰。

### 1.4 社会经济状况

#### 1.4.1 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 2409.5km；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。

#### 1.4.2 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。

#### 1.5 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  $\text{m}^3$ ，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<sup>3</sup>，通过工程的实施，2005 年地下水开采量为 3088.9 万 m<sup>3</sup>，可减少地下水开采量为 6511.1 万 m<sup>3</sup>，地下水的开采费按 0.037 元/m<sup>3</sup> 计算，据核算可节约地下水的开采费用为 243.44 万元。

## 2 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℃；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。

### 2.1 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℃ 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。

### 2.2 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。

### 3 典型渠道防渗防冻胀技术措施案例分析

#### 3.1 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（一—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  $Q_{3-4}$  期卵砾石层及现代河床  $Q_4$  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。

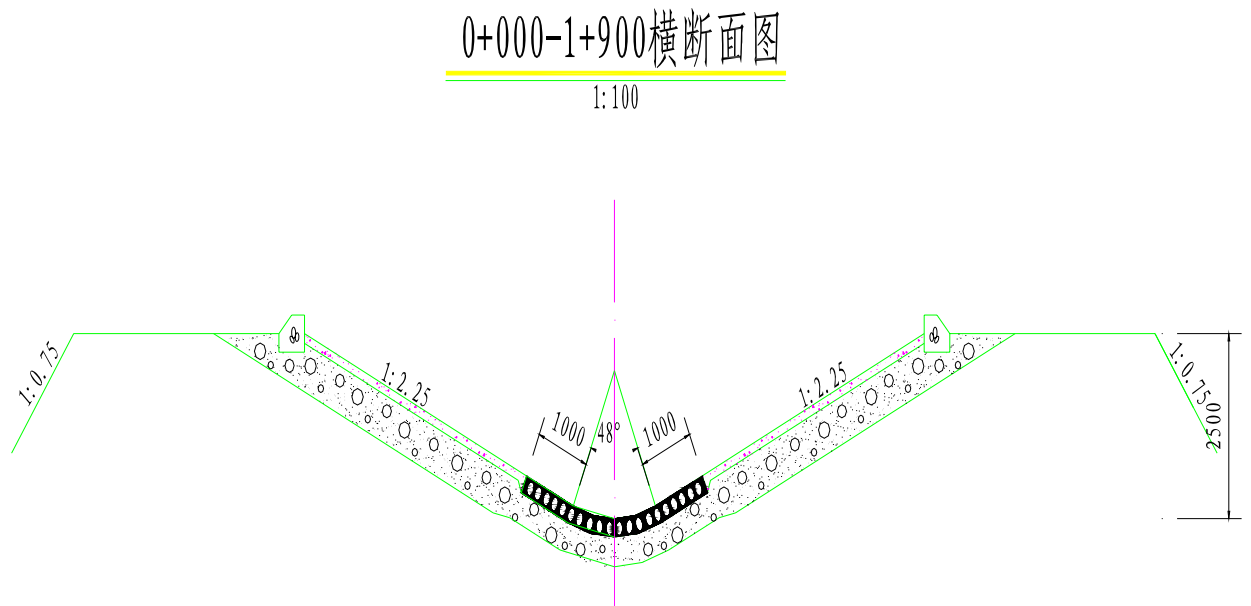
工程场区上游一带卵砾石为结构松散的含水岩组，地下水为河道潜流，水位埋深 0.5-2m 不等，平均渗透系数 50-60m/d，单井涌水量 10-15L/S；工程场区下游一带（县城一带），地下水类型为上部潜水，下部承压水，水位埋深大于 20m，平均渗透系数 10-60m/d，单井涌水量 5-15L/S；

##### 3.1.1 防渗措施

渠底采用 30cm 厚 C20F200 细石砗浆砌石砌筑，护坡采用 8~10cm 厚 C20F200 砗衬砌。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。

### 3.1.2 横断面设计标准图(一)



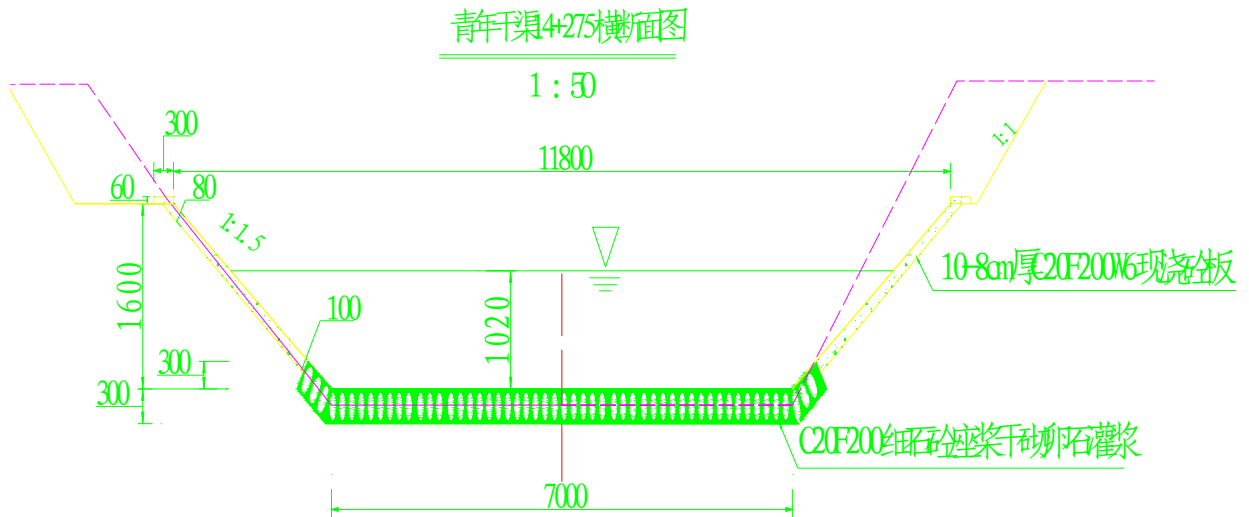
### 3.2 青年干渠(铁路桥以下段)地层岩性及水文地质概况

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  $f_1$ (为 350—400KPa,渗透系数  $K$  为 40—50m/d,天然容重  $\gamma$  为 2.3T/m<sup>3</sup>。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。

#### 3.2.1 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。

#### 3.2.2 横断面设计标准图(二)



## 4 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。

## 5 存在的问题及建议

### 5.1 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。

## 5.2 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。