

U 形衬砌渠道冻胀机理与防渗技术研究

李学军^{1,2}, 费良军¹, 穆红文¹

(1. 西安理工大学水资源研究所, 陕西 西安 710048; 2. 西安市灞河管委会生态管理局, 陕西 西安 710032)

摘 要: 用薄壳结构理论分析 U 形衬砌渠道抗冻胀机理, 认为在冻胀力作用下, U 形砌体发生整体上抬时, 不象梯形渠道在渠底中部沿渠道轴线方向和在两渠坡距渠坡底 1/3 处沿渠线方向各形成一条冻胀裂缝, U 形衬砌渠道破坏的主要原因是受渠基土壤水分以及不良气象条件影响, 同时与渠道走向及受力状态有关, 所有这些将使衬砌体发生不均匀冻胀而破坏。依据水力最佳断面条件求解 U 形渠最佳断面参数, 分析我国南北灌区的三种断面形式不同衬砌材料、不同结构形式及不同嵌缝材料的大中型 U 形衬砌渠道的设计及施工技术, 认为在无冻害地区 U 形衬砌渠道具有良好的防渗性能, 在冻胀量不超过 5 cm 的Ⅱ级基土冻胀性工程地区, 在采取适当的防冻措施后, U 形衬砌渠道仍然是一种完全适用的、良好的防渗方案。针对 U 形衬砌渠道目前存在的问题提出了今后应研究的方向。

关键词: U 形衬砌渠道; 冻胀机理; 防渗理论
中图分类号: S275 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)03-0194-06

渠道防渗不仅可以提高渠系水利用系数, 防止土壤盐碱化及沼泽化, 而且可以防止渠道冲刷、淤积及坍塌, 同时节约运行管理费用。对工业和生活排污渠道, 采用防渗技术, 还可以防止污水渗漏污染地下水, 保护水资源可持续开发利用^[1]。

U 形渠是我国 20 世纪 70 年代在陕西率先发展起来的一种新型断面渠道。它整体性强, 防渗效果优于梯形渠道; 水力条件好, 近似水力最佳断面; 输沙能力强, 有利于输送高含沙水流; 在冻胀性和湿陷性地基上有一定适应地基不均匀变形的能力; 渠口窄, 节省土地, 减少挖填方量, 减少衬砌工程量; 便于

机械化施工^[2,3]。

混凝土 U 形渠较梯形渠每公里输水损失减小 3.7%, 较土渠可以减少渗漏损失 97%^[4]。U 形渠断面形式有标准 U 形、弧底梯形和弧形坡脚梯形等 (分别见图 1、2、3), 衬砌材料有混凝土、沥青混凝土、砌石等, 结构形式有混凝土等厚板、变厚板、等厚加肋板、板膜复合、板与保温材料复合、板与垫层以及砌石与砂砾石垫层复合等, 施工方法有人工预制安装 (包括人工砌石)、人工木 (钢) 模现浇、喷混凝土和渠底现浇侧壁预制吊装相结合等。

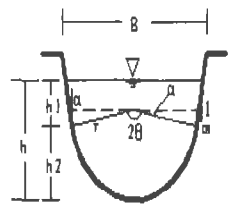


图 1 标准 U 形
Fig. 1 Standard U

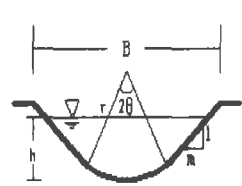


图 2 弧形坡脚梯形
Fig. 2 Trapezoidal with
curved arc bottom

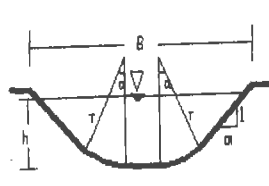


图 3 弧底梯形
Fig. 3 Trapezoidal
with arc foot

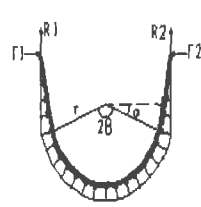


图 4 U 形渠冻胀受力图示
Fig. 4 The frost-heave
force of U canal

实践证明, U 形衬砌渠道不但在无冻害地区是非常成功的, 在冻胀量不超过 5cm 的Ⅱ级基土冻胀性工程地区, 在采用适当的防冻措施后, 也是一种完全适用的、良好的防渗方案。U 形渠的应用不但显示了我国渠道防渗工程技术水平的提高, 而且已取得了可喜的社会、经济效益。依据土质、地下水位、

气候条件和流量大小及施工水平选择 U 形渠断面形式, 依据水流特性和当地材料选择 U 形渠结构形式及嵌缝材料, 探讨 U 形渠抗冻胀机理, 优化其断面参数, 对进一步推广应用大中型 U 形渠具有重要的指导意义。

收稿日期: 2006-01-20
基金项目: 陕西省重点实验室重点科研项目 (03JS041); 陕西省教育厅科研计划项目 (03JK153)
作者简介: 李学军 (1964—), 男, 甘肃会宁人, 在职博士, 高级工程师, 研究方向为水资源管理及利用。E-mail: lixuejun_1@163.com。
通讯作者: 费良军, 博导, 教授, E-mail: feiliangjun@163.com。

1 U 形渠抗冻胀机理及最佳水力断面计算

1.1 抗冻胀机理

U 形渠道下部的半圆土槽处于稳定状态,上部直线段土壤侧压力也较小。混凝土砌体下部为反拱,整体性较好,在地基土壤冻胀力作用下,能适应整体上抬,能充分利用混凝土良好的抗压性能,其适应基础冻胀的性能显然较梯形衬砌的为佳。分析 U 形渠道断面受力与变形,因其下部为半圆形,冻胀压力均匀分布在圆弧上。按薄壳结构理论,作用在底部的压力分解,抵挡一部分后,最后合成为向上的力(R_1 、 R_2)和水平分力(f_1 、 f_2)。所以,这种结构在受冻胀力作用下,使 U 形渠衬砌面发生整体上抬(见图 4),而不会象梯形渠道在渠底中部沿渠道轴线方向和在两渠道边坡距渠底 $1/3$ 处沿渠线方向各形成一条冻胀裂缝^[5~7]。分析 U 形衬砌渠道冻胀破坏的原因有:① U 形渠道改变了渠基土壤水分、微气象、受力状态,加之走向不同,因而各部位的日照及温度状况不同,冻结锋面方向也不同。上部冻深稍大,底部冻深较小;阴坡冻深较大,阳坡则较小;冻胀方向是渠侧向里渠底向上,从而产生不均匀冻胀破坏。② 渠基不同部位的高程不同,使各部位的地下水位埋深不同,即使同样温度状况,各部位也产生不同的冻胀变形。因渠底地下水埋深较浅,渠底自由冻胀量大,渠坡底部冻胀量大于上部,冻胀变形分布不均匀。③ 衬砌结构整体冻胀上抬是由于弧底板向上的冻胀变形及渠坡板的法向冻胀变形而产生;当这两种冻胀变形能自由释放时,渠底板及渠坡板的冻胀破坏则大为减少。相反,当这些非均匀冻胀变形被约束时,如由于渠坡板直线段对弧底板的约束使弧底板成为压弯构件,也由于弧底板及渠坡直线段冻土冻结力的约束使渠坡板成为偏心受压构件,在法向冻胀力作用下就易使弧底板及坡板在弯矩最大处发生折断破坏。

1.2 U 形渠最佳水力断面计算

U 形渠水力最佳断面是指在纵坡 i ; 边壁糙率 n 及通过流量 Q 一定时过水断面面积 ω 最小,或水力半径 R 最大。设 h_2 为底弧弦线处水深; r 为底弧圆心角之半径(见图 1), h_2 、 r 为过水断面的两个特征长度,其比值为 $\eta = \frac{h_2}{r}$,则过水断面面积 ω 及湿周 χ 可表示成 η 及 r 的函数:

$$\omega = f(\eta, r)$$
$$= h_2(\frac{2r}{\sqrt{1+m^2}} + mh_2) + r^2(\theta - \frac{m}{1+m})$$

$$= r^2[\eta(\frac{2}{\sqrt{1+m^2}} + m\eta) + (\theta - \frac{m}{1+m^2})] \quad (1)$$

$$\chi = f(\eta, r) = 2(r\theta + \sqrt{1+m^2} \cdot h_2)$$
$$= 2r(\theta + \sqrt{1+m^2} \cdot \eta) \quad (2)$$

根据水力最佳断面条件,对(1)、(2)式求导并令为零,则得:

$$\frac{d\omega}{d\eta} = \frac{\partial \omega}{\partial \eta} + \frac{\partial \omega}{\partial r} \frac{dr}{d\eta}$$
$$= 2r[\eta(\frac{2}{\sqrt{1+m^2}} + m\eta) + (\frac{\theta}{2} - \frac{m}{1+m^2})] \frac{dr}{d\eta}$$
$$+ r^2(\frac{2}{\sqrt{1+m^2}} + 2m\eta) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d\chi}{d\eta} = \frac{\partial \chi}{\partial \eta} + \frac{\partial \chi}{\partial r} \frac{dr}{d\eta}$$
$$= 2(\theta + \sqrt{1+m^2} \cdot \eta) \frac{dr}{d\eta} + 2r(\sqrt{1+m^2})$$
$$= 0 \quad (4)$$

联立求解方程(3)、(4),可得

$$\eta = \frac{m}{\sqrt{1+m^2}} = \cos \theta \quad (5)$$

U 形渠水力最佳断面的水面过底弧圆心,根据最佳过水断面水力要素: $\omega_m = r_m^2(m + \theta)$ 、 $\chi_m = 2r_m(m + \theta)$ 、 $B_m = 2r_m \sqrt{1+m^2}$ 和以曼宁公式 $C = \frac{1}{n}R^{1/6}$ 表示的明渠均匀流公式 $Q = \frac{i^{1/2}}{n} \cdot \frac{\omega^{5/3}}{\chi^{2/3}}$ 可得 U 型渠道水力最佳断面底弧半径的计算公式:

$$r_m = \frac{2^{1/4}}{(m + \theta)^{3/8}} (\frac{nQ}{\sqrt{i}})^{3/8} \quad (6)$$

式中 $m(m = \text{ctg} \theta)$ 可根据 r 的大小参照文献[8]确定。

2 U 形渠衬砌材料

U 形渠采用的衬砌材料主要是砌石、混凝土、沥青混凝土等。砌石防渗按材料及砌筑方法分干砌卵石、干砌块石、浆砌料石、浆砌块石、浆砌石板等多种,浆砌石衬砌具有能就地取材、抗流速大、耐磨能力强、抗冻和防冻害能力强,并具有一定的防渗效果和较强的稳定性等优点^[9],是我国采用最早、应用较广泛的渠道防渗材料。混凝土具有防渗效果好、糙率低、强度高、便于管理等优点,是目前我国广泛采用的一种渠道防渗材料,其缺点是适应变形能力差,在缺乏砂石料的地区造价较高。沥青混凝土具有良好的不透水性、耐久性和柔性等优点,国外在渠道防渗工程中应用较多。我国于 1951 年首次在甘肃武威黄羊河干渠进行了沥青混凝土渠道防渗^[10]。随后西北水利科学研究所山东打渔张灌区也开展

了沥青混凝土渠道防渗试验研究。陕西、青海、新疆、山东等省区,在中小型渠道上进行了现浇和预制法施工试验,并在生产中推广应用。但该材料应用发展较慢,究其原因,主要是存在料源不足、植物穿透和施工工艺严格等问题。目前,土壤固化剂等新型衬砌材料在 U 形渠上也有应用,但其抗冻性能差、施工工艺不完善,因而制约了土壤固化剂的推广应用。

3 U 形渠结构形式

我国已试验并应用的 U 形渠的结构形式有混凝土等厚板、变厚板、肋梁板、板膜复合、板与保温材料复合、板与垫层以及砌石与砂砾石垫层复合等。

3.1 混凝土板

为最常见的一种结构形式。等厚板因施工方便、质量易控制而得到普遍应用。在没有特殊地质问题的地基上,只要施工得当,完全可以满足防渗和安全运行的要求。我国北方地区,为防止混凝土防渗层冻胀破坏,发展了一些新型的结构型式,如变厚板、肋梁板、板膜复合、板与保温材料复合。

3.2 混凝土肋梁板

宝鸡峡渠下北干渠等 U 形渠道大量采用了肋梁弧形板,流量 $25.8 \text{ m}^3/\text{s}$,渠口宽 6.9 m ,板厚仅 6 cm ,梁间距为 1.0 m 。冯家山在总干渠流量为 $58 \text{ m}^3/\text{s}$ 的退水渠上也采用了 U 形肋梁板。两年实际观测,衬砌板的最大变位值为 1 cm ,多年后检查除在渠内阴坡 45° 处有一些微裂纹外,无其它问题。

3.3 混凝土板膜复合

美国、前苏联在 20 世纪 50 年代开始研究应用土工膜料做渠道防渗^[9],我国 20 世纪 60 年代在河南人民胜利渠和陕西渭高干渠上采用土工膜料防渗,南方各省 20 世纪 90 年代初开始推广应用土工膜料防渗^[12,13]。应用研究表明,土工膜料防渗具有防渗性能好,可减少渗漏损失达 $90\% \sim 95\%$ 以上;适应变形能力强;质量轻、用量少、运输量小、施工简便、工期短、耐腐蚀、造价低等优点。但由于土工膜较薄,在施工和运行管理期易被刺破,使其防渗性能大为降低,所以与砌石或混凝土复合做防渗材料。随着土工膜料的开发应用,复合式土工膜及复合式防渗结构已成为我国渠道防渗最广泛的技术措施之一。如土工合成材料粘土垫 GCL,它是由天然钠基膨润土与土工布经特殊工艺制成的新型复合防渗材料,具有质量均匀、抗渗能力强、柔性好、能适合地基不均匀沉降,且可防止土料漏失,对裂缝等缺陷有良好的愈合能力,产品用编织、针织土工布复合保证产

品的整体性、平稳性,也增强了产品的强度,施工简便,是新一代的防渗材料。过去这一产品主要依靠从国外进口,现经过我国科研单位和开发商的共同攻关,已有了鉴定的新产品,其渗透系数 $1.25 \sim 3.54 \times 10^{-11} \text{ m/s}$,CBR 顶破强度 1.2 kN ,刺破强度 0.34 kN ,综合特性优良。又如土工膜料防渗层、过渡层和刚性材料保护层复合式防渗结构,已在我国渠道上有广泛的应用。

3.4 混凝土板与保温材料复合

在冻土地区,当地下水位浅埋时,在混凝土板下可增设聚苯乙烯泡沫板、土工织物等,并用其作铺垫、保温以及排水反滤等^[14]。主要优点是可削减或消除冻胀,延长工程寿命。但其缺陷是由于聚苯板具有一定的吸水性,长期应用,保温效果逐年下降;土工膜和聚苯板之间的摩擦系数较小,易造成边坡滑动;防渗、保温两种材料施工繁琐,造价偏高。因此,防渗、抗冻双重功效新材料研制是今后的方向,并且有了专利产品的报道^[15]。

3.5 混凝土板、砌石与砂砾石垫层复合

新疆三屯河东干渠采用混凝土板、砌石与戈壁垫层复合的弧底梯形渠防渗工程。设计方案是 25 cm 厚垫层上,在渠底和边坡下部为 $15 \sim 30 \text{ cm}$ 厚的干砌卵石灌 C15 细粒混凝土抹平,边坡上部用混凝土预制板安砌而成。运行证明其抗冲、抗磨、抗冻和防渗效果都良好。类似防渗措施在呼图壁河灌区西一支渠采用后也取得满意的效果。

4 U 形渠嵌缝材料

嵌缝材料是渠道防渗成败的关键,国外很重视嵌缝材料的研究,在嵌缝材料方面的投资约占工程费的 13% ^[16]。美国用弹性人造橡胶、聚氯乙烯止水带作嵌缝材料,日本多采用橡胶止水板、沥青、沥青玛蹄脂及弹性玛蹄脂或密封胶^[17]。我国以往曾用沥青油麻、玛蹄脂、沥青油毡、沥青砂浆、甚至有木板条、锯末水泥等做嵌缝材料。20 世纪 70 年代后期发展到聚氯乙烯油膏和改型焦油塑料胶泥等,性能大有提高,如耐热度可达 90°C ,与混凝土的粘接力 0°C 时为 $0.9 \sim 1.0 \text{ MPa}$,在 $-12.5^\circ\text{C} \sim -17^\circ\text{C}$ 时变形率达 $190\% \sim 200\%$ 。但多年的实践证明,改型焦油塑料胶泥的两大缺点是必须加热施工和粘结性能差,低温收缩时二者易被拉开,成为漏水的通道。90 年代初冷填料相继出现,如弹性聚氨脂涂料(油膏)、聚硫密封膏等。这些材料性能性好,配制简单,双组份材料按比例混合搅拌即可灌入清净的伸缩缝中,弹性聚氨脂涂料的粘接强度 $\geq 2.1 \text{ MPa}$,延伸

率 $\geq 450\%$, 低温柔性在 -35°C 下无裂纹, 不透水性 $\geq 0.3\text{ MPa}$ 不漏水。聚硫密封膏的粘接强度 $\geq 0.5\text{ MPa}$, 延伸率 $\geq 350\%$, 低温柔性 -35°C 无裂纹。还有一种可直接嵌入缝中的硫化型和非硫化型(腻子型)遇水膨胀橡胶止水条, 其特点是遇水后发生膨胀对混凝土板侧壁产生接触而止水, 主要技术指标是遇水最大体积膨胀率为 $200\%\sim 300\%$, 粘接伸长率 $\geq 500\%$, 粘接强度 $\geq 0.15\text{ MPa}$, 耐低温 -40°C 不发脆。再就是改进型适用于渠道的小规格的橡胶或塑料止水带等。冷填料、止水条和止水带是目前性能最好的填料, 缺点是造价较高。

为节省费用并获得满意的效果, 建议对现浇混凝土板最好采用止水带, 施工简便止水效果好, 其他嵌缝材料都存在施工时粘接力不理想的问题, 而预制安装板则用冷填料为最好。

5 U 形渠施工方法

小型 U 形渠已有 D40、D60、D80、D100、D120 等系列浇筑机械, 这些工程机械设备的研制和应用, 对提高 U 形渠防渗工程质量、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, 使我国渠道防渗工程施工技术向机械化方向跨出了可喜的一步。但目前大中型 U 形渠施工机械尚无研制, 所以大中型 U 形渠的衬砌施工方法仍然采用人工预制安装、人工砌石、人工木(钢)模现浇、喷混凝土和渠底现浇侧壁预制吊装相结合等方法施工。

大中型 U 形渠道混凝土预制与现浇相结合施工法吸取国外的经验, 在流量为 $26\text{ m}^3/\text{s}$ 的宝鸡峡灌区 U 形混凝土渠道上采用边坡用大型预制件机械吊装就位, 渠底段用现场浇筑法施工。该法较喷射施工法设备投资少、造价低, 同时又解决了一般现场浇筑施工和预制安砌法施工质量不易保证的缺点。用喷射混凝土施工法经在流量为 $2.4\sim 58\text{ m}^3/\text{s}$ 的 U 形渠道上使用, 有效地改变了混凝土表面糙率大的状况, 证明可以推广。

6 U 形渠防渗效果调查分析

对我国南北灌区不同断面形式, 不同衬砌材料, 不同断面参数、不同结构形式及不同施工方法的大中型 U 形衬砌渠道防渗进行了调查(见表 1、表 2)。

表 1 陕西灌区 U 形渠的主要设计参数、嵌缝材料和施工方法
Table 1 The main parameter, fillet material and construction method of U canals in Shaanxi

灌区名称 Irrigated area	渠道名称 Canal name	断面形式 Section form	断面水力要素 Hydraulic parameter of section					断面衬砌尺寸 Liner size of section				嵌缝材料 Fillet material	施工技术 Construction technology
			流量 Discharge (m ³ /s)	半径 Radius (m)	渠深 Canal depth (m)	渠宽 Canal width (m)	比降 Gradient	厚度 Thickness (cm)	肋高 Rib high (cm)	肋宽 Rib width (cm)	伸缩缝 Expansion joint (m)		
冯家山 Fengjiashan	总干退水 Main discharge canal	标准 U 型 Standard U	58	2.9	5.2	6.65	1/2000	10,15,17	26	10~20	2	三层油毡 Three-layer linoleum	喷混凝土 Shotcrete
宝鸡峡 Baojixia	塬下北干 Yuanxia north trunk	标准 U 型 Standard U	25.8	3	3.77	6.9	1/3100	6,8,10	20	10~20	5	橡皮板 沥青砂浆 Sheet rubber asphalt mortar	底现浇壁预制 吊装 Bottom cast-in-situ wall precast installation
泾惠渠 Jinghuiqu	南干四支渠 South trunk 4 branch	弧形坡脚 Trapezoidal with arc foot	6	1.2	1.8	5.02	—	8	—	10~20	4~8	沥青砂浆 Asphalt mortar	人工滑模 Rrtificial slipform
		弧底梯形 Trapezoidal with curved bottom	8	2.83	1.7	6.34	1/2583	6,8	—	—	4.5		现浇预制安装 Cast-in-situ Precast installation
交口 Jiaokou	南干渠 South trunk canal	标准 U 型 Standard U	8.7	1.7	2.3	3.5	1/3000	8,10,12	10	10~20	10	沥青砂浆 Asphalt mortar	人工现浇 Rrtificial Cast-in-situ
褒河 Baohu	南干一支 South trunk 1 branch	标准 U 型 Standard U	3.5	1.1	1.8	2.4	1/2000	7,8	5~25	12~15	10	沥青砂浆 Asphalt mortar	人工现浇 Rrtificial Cast-in-situ

表 2 我国一些灌区 U 形渠的主要设计参数、嵌缝材料和施工方法

Table 2 The main parameter, fillet material and construction method of U canals in China

灌区名称 Irrigated area	渠道名称 Canal name	断面形式 Section form	断面水力要素 Hydraulic parameter of section					断面衬砌尺寸 Liner size of section		嵌缝材料 Fillet material	施工技术 Construction technology
			流量 Discharge (m ³ /s)	半径 Radius (m)	渠深 Canal depth (m)	渠宽 Canal width (m)	比降 Gradient	厚度 Thickness (cm)	肋高 Rib high (cm)		
甘肃武威 Gansu Wuwei	西营总干 Xiying maintrunk canal	弧形坡脚 Trapezoidal with arc foot	2.0	2.0	2.0	6.0	1/100	砌石 30 Placed rockfill 垫层 30 Cushion layer	—	—	人工砌筑 Rrtificial Placed rockfill
甘肃永昌 Gansu Yongchang	西金干渠 Xijin trunk canal	弧底梯形 Trapezoidal with curved bottom	4.9	2.3	2.5	7.87	1/170 1/200	混凝土板 15 Concrete slab 垫层 45 Cushion layer	10	—	人工施工 Rrtificial construction
新疆三屯河 Xinjiang Sandonghe	东干渠 East trunk canal	弧底梯形 Trapezoidal with curved bottom	15	2.0	2.0	6.83	1/111	混凝土板 8 Concrete slab 砌石 25~30 Placed rockfill 垫层 25 Cushion layer	—	—	人工施工 Rrtificial construction
辽宁刘大 Liaonin Liuda	总干渠 Main trunk canal	弧底梯形 Trapezoidal with curved bottom	11.7	3.24	2.8	8.79	1/2000	15	4	沥青砂浆 Asphalt mortar	人工现浇 Rrtificial Cast in-situ
河南万金 Henan Wanjin	六六渠 Liuliu canal	弧形坡脚 Trapezoidal with arc foot	4.5	1.0	2.0	3.5	1/5000	15~30	—	沥青 油麻砂浆 Asphalt Oil hemp mortar	人工施工 Rrtificial construction
广东电白 Guangdong Dianbai	博贺支渠 Bohe branch canal	标准 U 型 Standard U	1.8	1.1	1.26	2.2	1/300	5	10	沥青油麻 Asphalt Oil hemp	人工现浇 Rrtificial Cast in-situ

分析我国南北省市灌区大中型 U 形渠多年的运行经验,可以看出:

- 1) 不仅小 U 形渠而且大中型 U 形渠,在无冻害地区采用是非常成功的。在冻胀量小于 20 mm 的Ⅰ级冻胀性工程地区是完全适用的。在冻胀量小于 50 mm 的Ⅱ级冻胀性工程地区,采用一定的防冻措施如膜料、肋梁、横撑、设垫层和保温板等后,仍然是一种良好的防渗抗冻衬砌方案。在膨胀性和湿陷性土壤地区,试验证明采取防水、隔水和排水以及结构加强等措施后,大中型 U 形渠同样可以发挥它优良的输水作用。与梯形渠相比 U 形渠在抗冻防渗效果具有明显的优势。
- 2) 在选择断面形式时应根据土质、流量、地下水位和气候条件以及施工水平来决定。如土质差、流量大、地下水位高和气候寒冷等地区,宜采用宽底、宽口 U 形渠,或者弧底梯形渠;条件好的地区则可采用标准 U 形渠。
- 3) 在结构形式和材料的设计方面,除考虑第二点条件外,水流特性和当地材料等是决定的因素。无冻害地区可采用单一结构,冻害地区则应考虑复

合结构。流速大、推移质多则砌石优于混凝土。在地下水位高于渠底或渠道旁侧有渗透水压时如稻田地区等采用 U 形渠时要慎重考虑。一般的结构形式难以适用,必须采用排水或加固措施才行。

4) 在施工工艺方面试验说明,只要加强管理,重视质量,不同的施工方法都是可行的。采用混凝土衬砌方案时若现浇,最好是机械化程度高的钢震动台模和喷混凝土方案,若预制安装则应采用底现浇和侧壁预制吊装大块板相结合的方式,全部采用小块预制板安砌的办法是不够成功的。采用砌石或混凝土板与垫层等复合方案时,严格按砌石规范进行施工,并保证垫层的纯度和铺设质量等。

5) 从加强管理的角度看,除勤于检查维修外,作好渠堤降雨和灌溉跑水的排泄工程是很必要的,以防水毁产生。渠堤行车加载虽经我们实测看对 U 形渠侧壁的压力不大,但为保证安全,行车压力线仍应在渠口 0.5 m 以外为好。

7 U 形衬砌渠道的研究方向

虽然 U 形渠较梯形渠有显著特点,但无论梯形

渠还是 U 形渠,目前都存在着衬砌体冻胀破坏的危害。冻胀产生裂缝,裂缝诱发渗漏,渗漏加剧冻胀,恶性循环将导致衬砌体最终破坏。尽管水利工作者在衬砌材料、结构形式、断面形式、施工工艺、嵌缝材料等方面进行了大量的渠道防渗技术研究,但 U 形衬砌渠道仍然有以下课题亟待研究。

1) U 形衬砌渠道冻胀机理研究。冻融对 U 形衬砌渠道渠基土壤水分迁移规律影响研究。U 形衬砌渠冻胀破坏力学模型研究。

2) U 形渠新型衬砌材料研究,如土壤固化剂抗冻性能及施工工艺的研究。

3) 在冻胀量大于 50mm 的冻胀性工程地区,防渗、抗冻双重功效的新型复合保温材料应用研究。

4) 嵌缝材料的粘接性能尤其是与混凝土板的粘结性能研究,冷嵌缝材料及其施工工艺的研究。

5) 大中型 U 形渠施工机械的研制。

参 考 文 献:

[1] 李安国. 我国渠道防渗工程技术综述[J]. 防渗技术, 2000, 6(1):1—5.

[2] 周维博,李立新,何武权,等. 我国渠道防渗技术与进展[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(5):60—63.

[3] 建 功. 发展节水农业推广渠道防渗新成果[J]. 防渗技术, 1997, 3(3):1—4.

[4] 任之忠,李学军. 我国大中型 U 型防渗渠道应用总结[J]. 防

渗技术, 1996, 2(4):40—48.

[5] 王正中. 梯形渠道混凝土衬砌冻胀破坏的力学模型[J]. 农业工程学报, 2004, 3(20):24—29.

[6] 王希尧. 论梯形渠道的冻胀破坏[A]. 第二届全国冻土学术会议论文集[C]. 兰州:甘肃人民出版社, 1983.

[7] 孙庆铨. 素混凝土板衬砌渠道地基冻胀土壤的分级及防冻害措施[A]. 第二届全国冻土学术会议论文集[C]. 兰州:甘肃人民出版社, 1983.

[8] 陕西省水利水保厅. U 形渠道[M]. 北京:水利电力出版社, 1986.

[9] 建 功. 旧砌石防渗渠道老化破坏的原因及其改造的措施[J]. 防渗技术, 1998, 4(4):1—5.

[10] 陈发义,建 功. 沥青混凝土渠道防渗技术的探讨[J]. 防渗技术, 1991(1):8—16.

[11] 建 功. 膜料渠库防渗有关技术问题的探讨[J]. 防渗技术, 1995, 1(1):1—10.

[12] 艾树衡,陈清芬,余祥全. 混凝土及膜料复合渠道防渗技术的研究[J]. 防渗技术, 1996, 2(3):9—12.

[13] 肖振中,陈发科. 膜料在广西渠道防渗中的应用[J]. 防渗技术, 1993(2):7—12.

[14] 任之忠,李学军. 土工织物透水性能的研究[J]. 西北水资源与水工程, 1997, 8(4):24—27.

[15] 张海燕,周遂宝,梁志勇. 渠道工程防渗保温新材料[J]. 水利与建筑工程学报, 2004, 2(4):44—45.

[16] 李学军. 建筑涂料的选择及施工技术[J]. 西北建筑与建材, 2002, (10):34—36.

[17] 任之忠,张少宏. 对渠道防渗工程设计有关问题的商榷[J]. 防渗技术, 2002, 4(8):1—4.

The study of frost-heave mechanism and seepage technical control on U canal

LI Xue-jun^{1,2}, FEI Liang-jun¹, MU Hong-wen¹

(1. Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. Xi'an Chan-Ba He Management Commission Ecological Bureau Xi'an, Shaanxi 710032, China)

Abstract: Mechanism of frost of U canal is studied through shell structure theory and it is found that under the frost—heave force, the lining of U canal will be lifted overall, unlike ladder-shaped canals, which will crack in the middle of canal bottom and along the line locating in 1/3 the length of the slope of two side to the bottom line. The main reason of canal destroyed are soil moistures, meteorological phenomena, canal move to-wards and strength state on canal, all of these which evenly cause frost heave to canal. The parameter of opti-mized section of U canal is determined according to water dynamics conditions for sections. All these are ana-lyzed, which include three sections of canals in the north and south china irrigated areas, different lining materi-als, structure forms, filling materials which are used in the designing and building large or medium sized U canals and it is suggested that U canals have good seepage control in frost free areas, and in areas of heaving bot-tom, where the value of frost heave does not exceed 5 cm, U canal is a feasible and excellent solution for seepage control provided that proper anti-frost measures are implemented. Some problems about the lining of U Canal to be solved are discussed.

Keywords: the lining of U Canal; mechanism of frost; theory of seepage control