

抗冻胀刚性渠道衬砌层断面设计的探讨

张 宏^{1,2}, 张伯平¹, 牟过斌³

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100;

2. 中交远洲交通科技有限公司, 石家庄 050000; 3. 渭南市石堡川水库管理局, 陕西 渭南 715200)

摘要: 为找到渠道刚性衬砌层最优断面, 作者从理论上进行了受力分析。结果表明: 圆弧底 U 应为理论最佳断面; 并在不同的地下水埋深情况下, 给出了计算公式。而且在实践中证明了其正确性。

关键词: 渠道; U 形断面; 理论分析; 冻胀

中图分类号: TU443

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)01-0256-03

Study of the Anti-freezing Rigid Channel Liner Layer Section Design

ZHANG Hong^{1,2} ZHANG Bo-ping¹, MOU Guo-bin³

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Zhongjiao Yuanzhou Communication Technology Co., Ltd, Shijiazhuang 050000, China;

3. Shibuchuan Reservoir Management Department of Weinan City, Weinan, Shaanxi 715200, China)

Abstract: In order to find out the superior section of the rigid channel liner layer, the analysis of press from the theories was made. The result showed: the arc bottom U should be the best section in theories; under different groundwater deepness, the calculation formula was given. And its accuracy was proved in fact.

Key words: channel; U shape section; analysis of theory; anti-freezing

以前, 由于对渠道含水体发生冻胀时护砌层的受力状态没有明确认识, 只知道护砌面板因土体的冻胀而受力, 从而破坏, 却给不出冻胀时的受力模型。因此, 使得刚性护砌渠道的设计就只考虑水力学及由工程实践获得的各种构造要求, 这对非寒区是可行的, 因为它所受的外力很小, 结构一般不会破坏; 而在寒区, 即不考虑冻胀, 也不进行结构设计, 这明显不合理。事实上, 在季节性冻土地区的混凝土渠道护面, 都会因地基冻胀变形而产生裂缝乃至破坏, 这主要由于以往设计的刚性护砌层的承载力往往小于实际冻胀力。解决问题的核心就是要确定刚性护砌层的在基础冻胀时的受力情况, 给出力学模型, 找到最佳断面, 并求解, 以此作为设计的依据。

高, L 为 1/2 弧长, 则:

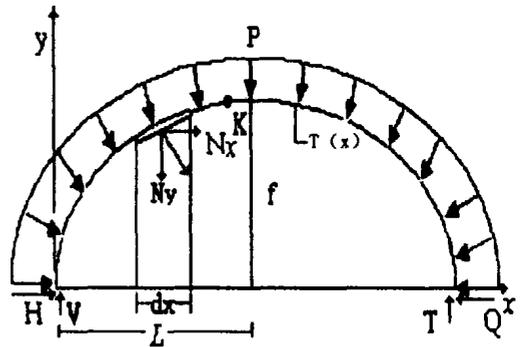


图 1 渠道断面图

$$V = \int_0^L P f(x) dx = P f(L) = P f \quad (2)$$

把(2)代入(1)得:

$$H = P(fL - f^2/2 - L^2/2)/f = P(2L - f - L^2/f) \quad (3)$$

因为 K 点是 f(x) 上得任一点, 所以把(2)(3)式代入(1), 则方程形式可变为:

$$y^2 + (2L - f - L^2/f)y + x^2 - 2fx = 0$$

可见最佳曲线与 P 无关, 也就是说无论 P 如何变化, 最佳曲线都是圆形, 且圆在面积一定时, 其断面得湿周最小, 水力半径最小, 因为半圆的过水断面截面与圆形水力半径相同, 所以, 在明渠的各种断面形状中, 半圆形断面是水力最佳, 并且使用材料也最省。这时:

$$f(x_k)^2 + 2H f(x_k)/P + (x_k)^2 - 2V_{xk}/P = 0 \quad (1)$$

由公式(1)及实际可知 f(x) 应是对称曲线。设 f 为弧

¹ 收稿日期: 2005-01-22

作者简介: 张宏(1977-), 男, 河北人, 在读研究生, 研究方向为岩土工程。

$$L = f; H = P(fL - f^2/2 - L^2/2) = 0$$

此时, 在半圆上, 只有轴力 N 与 P , 没有弯矩, 而且 P 是垂直于 $f(x)$ 的切线, 所以它对 N 并不会产生影响, 即 N 处处相等, 为一定值。所以 $N = V = PL$ (P 为定值时)。而在实际中 N 的反力是由圆弧上的一段混凝土板来提供, 并且 P 是在变化的。混凝土板上所产生的切向力提供反力, 如图 2。

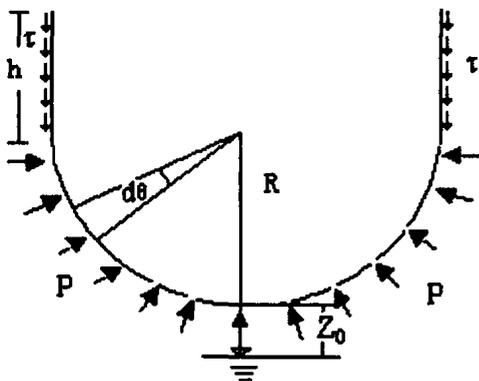


图 2 渠道断面受力图

1.1 剪切力的计算

混凝土竖直板与板下的冻土是紧紧地冻结在一起而形成一个整体, 因板是刚性的, 变形量为 0, 当它的底端受到轴力 N 时, 板与板下冻结土体间要产生相对的滑移, 这时板与冻结土体之间的冻结力将变成剪应力阻碍二者间的相对滑移, 剪应力的合力 F 就是板下冻结土体对板的约束力, 为了便于施工, 我们选择 h 段为直线段, 且切于半圆。

$$\tau = \alpha + \beta(t) \tag{4}$$

$$F = \tau h \tag{5}$$

式中: τ ——板与冻结土体间的剪应力; α, β ——参数(与土质有关); t ——负温绝对值; h ——混凝土板的长度。

1.2 法向冻胀力计算

在实际中 P 是在变化的, 由相关资料可得, 法向冻胀力 P 与冻胀强度 η 有如下关系^[1,2,3]:

$$P = A\eta^B \tag{5}$$

关于地下水深度与浅埋的分界一般按冻胀强度与地下水埋深关系曲线上, 取 $d\eta/dZ < 0.05$ 时的地下水埋深值。

①对地下水深埋时:

$$\eta = C(w - Dw_p) \tag{6}$$

④对地下水浅埋时:

$$\eta = Ee^{-FZ} \tag{7}$$

A, B, C, D, E, F 均为系数, 与土质有关。取值见表(1)

(2)(3)。 Z ——地下水埋深。 W ——土层冻前含水量。 w_p ——塑限含水量。

表 1 A, B 取值^[5]

冻深/cm	A/kN	B
150	11.194	0.877
140	11.172	0.854
130	11.162	0.819
120	10.906	0.799
110	9.313	0.821
100	8.862	0.805
90	6.742	0.866
80	6.56	0.836
70	6.765	0.782
60	5.45	0.820
50	5.08	0.813
40	5.568	0.729

表 2 C, D 取值^[4]

试验地点	C	D
甘肃靖会总干	0.45	0.73
辽宁省	0.5	1.0
西北水科所	0.36	0.82
规范	0.4~0.5	0.7~1.0

表 3 E, F 取值^[4]

土质	地下水埋深	E	F
黏土	0 $Z < 1$	40~30	1.25
重粉质壤土	1 $Z < 2.5$	27~21	0.85
重, 中壤土	0 $Z < 2.5$	30~19	1.1
轻, 砂壤土	0 $Z < 1.5$	19~14	1.2

1.3 竖直板长度计算

① 当地下水浅埋时: 由(6)(8)可得: $P = A\eta^B = Ae^{BFZ}$, 设 $Ae = a, BF = b$, 则:

$$P = ae^{bz} \tag{9}$$

即 P 随 Z 得变化而变化, 则轴力 N 为:

$$N = aR \int_0^{\pi/2} (\cos\theta \cdot e^b \cdot [Z_0 + R(1 - \cos\theta)]) d\theta$$

式中: R ——半径, Z_0 ——渠底距水面距离。即

$$N = aRe^{b(Z_0+R)} \int_0^{\pi/2} (\cos\theta) \cdot e^{-bR\cos\theta} d\theta \tag{10}$$

因为 $N = F$, 则:

$$N = \tau h = (\alpha + \beta t)h \tag{11}$$

由(10)(11)可得:

$$h = N / (\alpha + \beta t) = aRe^{b(Z_0+R)} \int_0^{\pi/2} (\cos\theta) \cdot e^{-bR\cos\theta} d\theta / (\alpha + \beta t) \tag{12}$$

④ 当地下水深埋时:

$$\eta = m(w - nw_p) \tag{13}$$

$$w = w_0 - kz \tag{14}$$

式中: m, n ——系数; w_0 ——弧底含水量; k ——系数。

根据(5)和(6)式, 则轴力

$$N = \int_0^{\pi/2} m[w_0 - nw_p - KR(1 - \cos\theta)] \cos\theta d\theta = m(w_0 - nw_p - kR) + mkR\pi/4 \tag{15}$$

这时混凝土竖向板长度

$$h = N / (\alpha + \beta t) = [4m(w_0 - nw_p - kR) + mkR\pi] / 4(\alpha + \beta t) \tag{16}$$

不论那种情况, 渠道衬砌层的厚度可以取同一个值, 并根据 N 确定混凝土的抗压强度。

2 试验与结论

2.1 试验方法

作者选了四种不同形式的渠道断面 4 m^2 , 渠深都为 2.0 m , 衬砌厚度都为 8 cm 。试验在相同的地质条件下进行: 地下水水位为 3 m (浅埋)和 5 m (深埋), 土为轻粉质壤土, 干容重为 1.5 g/cm^3 , 塑限为 15% ; 最大的冻结指数为 $580.2 \cdot \text{d}$, 渠底含水量为 25% 。渠道为南北走向。

(1) 梯形平板式: 渠底宽 1 m , 顶宽 3 m , 边坡 $2:1$, 混凝土当场现浇, 渠底两侧边角处设冻胀缝。

(2) 弧底梯形: 渠底采用半径为 1 m , 中心角为 90° 圆弧, 边坡为 $2:1.25$, 渠顶宽为 3 m , 渠底中心线及板与弧衔接处设冻胀缝, 就地现浇。

(3) U形: 半径为 1.16 m , 中心角为 180° 的圆弧, 渠顶宽为 2.32 m , 渠底中心设冻胀缝。

(4) 抛物线形: 方程为: $y = 0.75x^2$, 顶宽为 4 m, 混凝土当场现浇, 渠底中心设冻胀缝。

表 4 试验结果

地下水埋深	断面形式	冻深/m	冻胀量/cm	残余变形/cm	不均匀系数 $k(10^{-3})$
3 m	直板 渠坡	153.7	4.63	1.8	10.2
	梯形 渠底	96.1	12.6	3.6	96
	弧底 渠坡	148.7	4.57	1.2	4.8
	梯形 渠底	95.5	11.02	1.9	31.1
	U 渠坡	156.6	3.14	0.8	1.45
	形 渠底	97.2	6.53	1.5	11.3
	抛物 渠坡	149.3	4.64	1.1	13.4
	线形 渠底	93.2	10.8	2.1	25.6
5 m	直板 渠坡	70.2	3.02	1.3	8.6
	梯形 渠底	55.3	6.03	2.4	85
	弧底 渠坡	71.9	3.06	1.0	2.3
	梯形 渠底	54.8	5.98	1.8	20.6
	U 渠坡	69.6	2.86	0.6	0.68
	形 渠底	53.5	4.56	0.9	6.13
	抛物 渠坡	72.1	2.98	0.9	7.9
	线形 渠底	56.2	5.43	1.6	12.3

2.2 试验结果

试验结果如表(4)。由于渠道各部位表面温度的差异, 含水量及地下水位不同, 冻深分布是不均匀的, 但不同形式的参考文献:

- [1] 徐 祖. 中国冻胀研究进展[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 13- 19.
- [2] 刘鸿绪. 法向冻胀力计算[A]. 冰川冻土, 1981, 3(2): 13- 17.
- [3] 徐绍新. 论季节冻土区基础的冻胀力[A]. 第三届全国冻土学术会议选集[C]. 北京: 科学出版社, 1989. 175- 178.
- [4] 朱强. 我国渠道冻胀防治综述[J]. 防渗技术, 1996, 2(3): 7- 17.
- [5] 刘鸿绪. 再论冻胀量与冻胀力之关系[J]. 冰川冻土, 2001, 23(1): 63- 66.

(上接第 183 页)

山脉两侧。牵引式滑坡大多分布在狭窄的河谷两侧, 推移式滑坡主要是分布在张性断裂带下部、公路沿线。土质滑坡与岩质滑坡几乎各占一半。地裂缝多为地震地裂缝, 也有地面塌陷引起的地裂缝。地面塌陷主要出现在地热集中开采的羊八井盆地以及拉萨市地下水集中开采的地段。

该区面积占全区 20% 强, 灾害数量占整个自治区灾害数量的 35%, 分布密度较大。由于本区是由高山、湖盆相间分布, 在藏南山原湖盆宽谷区内, 分布着许多现代湖盆和古湖盆, 地形平缓, 海拔相对较低, 是西藏农牧业比较集中的地区, 灾害分布相对稀疏; 而分布在雅鲁藏布江中游流域的河谷区, 包括尼洋曲、拉萨河、年楚河和多雄藏布等大支流在内, 为西藏高原的一个“低槽”。沿雅鲁藏布江干流谷地, 海拔高度从萨葛附近的 4 500 m 以上至米林县派乡附近降至 2 800 m。沿江高山海拔都在 6 000 m 左右, 地形起伏较大, 该区灾害分布相对密集。

5.3 DL——低危险度区

西藏自治区的低危险度区主要指藏西、藏北地区, 包括两个面积最大的地区阿里和那曲。灾害类型以冻胀融沉、小参考文献:

- [1] 乔建平. 滑坡危险度区划[A]. 滑坡减灾理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 119- 146.
- [2] 乔建平. 长江上游滑坡危险度区划及分区研究[A]. 滑坡研究与防治[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1996. 29- 47.

渠道断面冻深差异不大。但渠底的冻胀量大于渠坡, 同一部位, 地下水位深的, 冻胀量小; 而且在不同形式渠道断面中, 在不同的地下水埋深情况下(深埋和浅埋), U 形无论从渠坡或渠底, 它的冻胀量都是最小; U 形渠残余变形渠坡和渠底在地下水浅埋情况下分别仅为 0.8 cm 和 1.5 cm, 在地下水深埋时为 0.6 cm 和 0.9 cm, 都是不同截面残余变形中最小的, 并且没有逐年累加现象; 各断面的最大不均匀系数都发生在渠底, 在地下水深埋和浅埋时, 直板梯形的最大 k 值分别为 85×10^{-3} 和 96×10^{-3} , 弧底梯形最大 k 值分别为 20.6×10^{-3} 和 31.1×10^{-3} , 而 U 形最大 k 值仅为 6.13×10^{-3} 和 13.4×10^{-3} , 抛物线形最大 k 值为 12.3×10^{-3} 和 25.6×10^{-3} , 可见 U 形渠的不均匀系数也是最小的。

由于 U 形在理论上, 它的力学性能是最好的, 并且在实践中也证明了这一点。可见它相对其它断面来说, 即节省了建筑材料, 同时也具有最优的力学特性。但在这里我们忽略了 U 形上面竖向混凝土板所受的垂直冻胀力的影响, 而这是有一定范围的, 在力学上很难计算, 但在实践中, 试验证明 U 形渠流量小于 $4 \text{ m}^3/\text{s}$, 半径不大于 1.5 m 为宜。

3 结 论

(1) 从理论证明了半圆应是最佳渠道。断面, 但在实际中, 要用混凝土竖向板提供反力, 作者给出了它的长度计算公式, 以及渠道衬砌厚度的计算方法。

(2) 通过试验, 作者也证明了 U 形断面。在流量小于 $4 \text{ m}^3/\text{s}$, 半径不大于 1.5 m 时, 是最优截面。

型降雨泥石流、小型滑坡、小型崩塌、土地沙(荒)漠化、盐渍化更为突出。

由于本区主要是面积广大的高原宽谷区, 该区的灾害数量占整个自治区灾害数量的不到 15%, 而其面积却占到总面积的将近 60%, 分布密度非常稀疏。

6 结 语

(1) 本文采用因子叠加法 and 专家打分法对西藏自治区地质灾害进行了危险度区划, 区划结果和实际情况相当吻合, 达到了预期的效果, 发挥了这种评价方法的优势。不足之处是过多地依赖于主观赋值, 而没有客观地对每个指标进行量化。

(2) 在评价过程中应用了行政单元采样法, 该方法非常简单明了, 同时也是可行的。但是这样分区略显粗略, 这主要是由于所掌握的资料限制, 尤其是图件比例尺(1:150 万)过小造成的。

(3) 该区划结果仅能供政府做宏观决策使用。