

# 大流量 U 形渠道设计初探

张洪恩

(洛阳水利勘测设计院)

**摘 要:** 本文对大断面 U 形渠道的断面设计、衬砌结构形式选择、施工方法等技术问题进行了初步分析和探讨。

**关键词:** U 形渠道、断面设计。

**中国图书分类号:** S27

在渠道设计和建设方面,从“减少水量损失节约土地资源”的原则出发,已逐步由土渠向衬砌渠道发展。众多的渠道衬砌结构形式中,混凝土 U 形渠道具有其它渠道无可比拟的优点。如:防渗效果明显,水力条件好;流速快,冲砂能力强;抗外力性能好,能减少或避免冻胀破坏;渠道占地少;省工省料;便于管理等。

目前,小型渠道采用 U 形断面的衬砌技术已比较成熟,并已在工程实践中得到了推广和应用。而大中型渠道 ( $Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) 采用 U 形断面的则很少,既使在一些大中型渠道中,部分渠段采用了 U 形断面,衬砌长度也都很短,并且都是试验性质的。如宝鸡峡原下北干渠,设计流量  $Q = 25.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ,衬砌长度只有 198m,陕西省冯家山退水渠,设计流量  $Q = 58 \text{ m}^3/\text{s}$ ,衬砌长度为 132m。因此,对于大流量 U 形渠道,目前尚无比较成熟的衬砌技术可以推广应用,还要进行大量的试验、实践和研究工作。本文对大中型 U 形渠道设计中遇到的几个问题进行了初步探讨。

## 1 过水断面设计

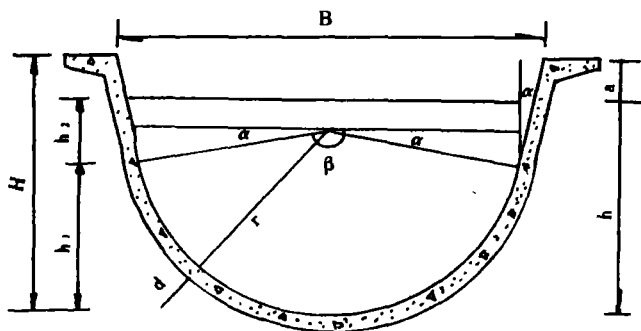


图1 U形断面图

## 1.1 水力计算基本公式

U 形渠道采用的基本形式如图 1 示, 水力计算基本公式为

$$Q = AC\sqrt{Ri}$$

C—谢才系数, 采用满宁公式  $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$  或巴甫洛夫斯基公式  $C = \frac{1}{n} R^y$  进行计算。

1.2 深宽比  $H/B$  和直线段外倾角  $\alpha$  的选择

U 形渠槽水力条件和节约占地两者兼优的一般条件是  $H/B = 0.7 \sim 0.75$ , 即园心以上直线段高度接近于  $(0.4 \sim 0.5)r$ , 其造型也比较美观。但对于大型渠道, 则宜采用宽浅式断面。如陕西省宝鸡峡原下北干渠, 设计流量  $Q = 25.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , 其深宽比  $H/B = 0.55$ ; 宝鸡峡东三支渠设计流量  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ , 其深宽比  $H/B = 0.42$ 。一般情况下, 对于大断面 U 形渠道, 其深宽比可以在  $H/B = 0.45 \sim 0.7$  范围内依地质情况灵活选用。采用宽浅式断面, 即采用较大的半径, 可使园心以上水深减小, 水力条件更趋于最佳水力断面的半园形, 对于渠槽稳定和减少衬砌工程量都有利。在一般的黄土地区应控制渠深不超过 4m, 最大也不能超过 5m。

基本 U 形断面的直线段是铅直的, 为了利于渠槽稳定和便于施工脱模, 使直线段稍向外倾斜, 下切于园弧, 直线段的外倾角  $\alpha$  随渠槽的加深而加大, 选择范围一般在  $0 \sim 20^\circ$ , 对于大中型渠道, 外倾角  $\alpha$  可选择  $15^\circ \sim 20^\circ$ , 甚至更大。

## 1.3 水力计算步骤

小型混凝土 U 形渠道的水力计算, 可采用查表法或查图法直接查出所求数值, 但对大中型混凝土 U 形渠道, 必需进行认真, 细致的精确计算。

已知流量  $Q$ , 糙率  $n$ , 渠道比降  $i$ , 求半径  $r$  和水深  $h$  的步骤如下:

①确定园弧以上水深  $h_2$   $h_2 = Nr$

$N = N_0 + \sin\alpha$  ( $N_0$  为  $r$  的倍数, 参照表-1 选择)

$N_0$  值 表

表 1

$r(\text{m})$	15~30	30~60	60~100	100~150	150~200	200~250
$N_0$	0.65~0.35	0.35~0.3	0.3~0.25	0.25~0.2	0.2~0.15	0.15~0.1

②求半径  $r$

由  $Q = AC\sqrt{Ri}$ ,  $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$ , 推出求半径  $r$  的公式如下:

$$r = \frac{\left[ \pi \left( 1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \right) + \frac{2N}{\cos\alpha} \right]^{1/4}}{\left[ \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \right) + (2N - \sin\alpha)\cos\alpha + N^2 \tan\alpha \right]^{5/8}} \left[ \frac{nQ}{\sqrt{i}} \right]^{3/8}$$

利用上式, 将有关数据代入, 可求出所需园弧半径。

③求水深  $h$   $h = r(N + 1 - \sin\alpha)$

④校核流速, 求出断面平均流速, 校核是否满足不冲不淤要求。

$$\text{即 } V' > V > V''$$

U形渠道水力计算, 除利用上述方法计算外, 还可利用迭代试算法进行计算, 本方法简便快速, 计算精度高。已知流量  $Q$ , 糙率  $n$ , 渠底比降  $i$ , 直线段边坡系数  $m = \text{Ctg}\alpha$ , 正常水深确定后, 求半径  $r$  的迭代试算公式为 (由  $Q = AC\sqrt{Ri}$  推出, 推导过程略)

$$r = \frac{\left[ \left( \frac{h}{r} - 2\sin^2\frac{\beta}{4} \right) \cdot 2\sqrt{1+m^2} + \beta \right]^{1/4} [nQ/\sqrt{i}]^{3/8}}{\left[ m\left(\frac{h}{r}\right)^2 + 2\frac{h}{r}\left(\sin\frac{\beta}{2} - 2m\sin^2\frac{\beta}{4}\right) - 4\left(\sin\frac{\beta}{2} - m\sin^2\frac{\beta}{4}\right)\sin^2\frac{\beta}{4} + \frac{1}{2}(\beta - \sin\beta) \right]^{5/8}}$$

$\beta$ —以 rad 计

计算时, 将假定初值  $r_0$  代入上式右端, 求得  $r_1$ , 再将  $r_1$  代入右端计算求得  $r_2$ , 如此反复, 经过若干次迭代计算, 直到满足一定精度为止, 即  $|r^{(k+1)} - r^k| < \varepsilon$ , 本法特别适合于函数功能计算器计算。

如果已知流量  $Q$ , 底坡  $i$ , 糙率  $n$ , 直线段边坡系数  $m$ , 圆弧半径  $r$  确定后, 求正常水深的迭代试算公式为 (由谢才公式推出):

$$h = \frac{\left[ \left( 1 - 2\frac{r}{h}\sin^2\frac{\beta}{4} \right) 2\sqrt{1+m^2} + \frac{r}{h}\beta \right]^{1/4} [nQ/\sqrt{i}]^{3/8}}{\left[ m + 2\frac{r}{h}\left(\sin\frac{\beta}{2} - 2m\sin^2\frac{\beta}{4}\right) - 4\left(\frac{r}{h}\right)^2\left(\sin\frac{\beta}{2} - m\sin^2\frac{\beta}{4}\right)\sin^2\frac{\beta}{4} + \frac{1}{2}\left(\frac{r}{h}\right)^2(\beta - \sin\beta) \right]^{5/8}}$$

$\beta$ —以 rad 计

计算方法同上。在实际设计工作中, 可利用迭代试算法求出若干组  $h$ 、 $r$  值。再经过技术经济比较, 选择最佳的  $h$ 、 $r$  值。

## 2 衬砌厚度及结构形式的确定

U形渠道衬砌结构形式分为板后无肋和板后有肋二种, 对大中型渠道, 一般采用板后加肋的结构形式, 以改善受力条件, 提高抗破坏的能力。

由于目前对地基弹性指标, 弹性抗力分布规律和弹性变形, 破坏机理以及外力测定等问题尚无定论, 因此用计算方法确定衬砌厚度尚有困难, 一般在工程设计中多采用现场综合试验, 统计分析, 或参照其它已成渠道来确定厚度。衬砌厚度一般随渠道断面的增大而增加, 对于大中型渠道, 其衬砌厚度一般在 (6~10) cm 范围内选择, 并且沿渠每 1.5m 左右加肋梁一条。板后加肋的结构形式已在许多工程中被采用, 收到了良好的使用效果。

当加肋板上、下端均受约束, 板中受外力向槽内鼓起时, 板面受拉区的抗弯断面系数较面积相等的等后板大, 发挥了经济断面的作用, 产生了更好的效果。

当板上端无约束, 板受正弯矩时, 板面变为受压区, 而受拉区则在肋梁一边。对板厚不变的加肋板拉应力变化情况计算分析如下。

图 2 为不同衬砌形式示意图, 利用  $\sigma = \frac{My}{I}$  计算肋梁最大拉应力。

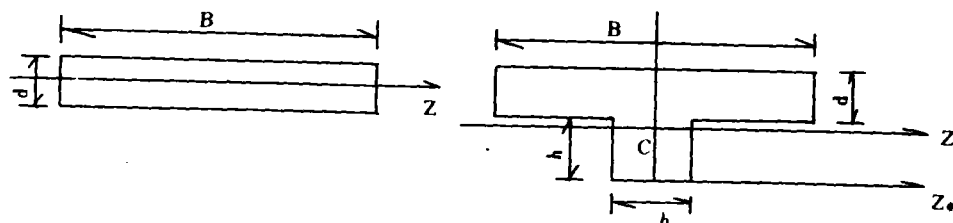
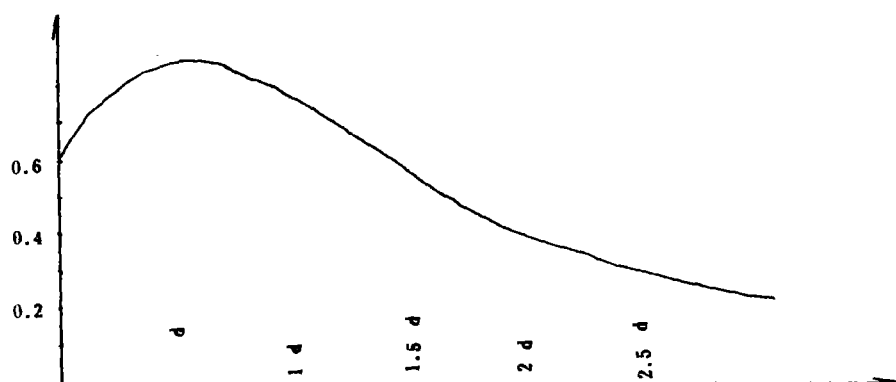


图 2 衬砌不同形式图

求出  $y_c$ 、 $I_z$  代入  $\sigma = \frac{My_c}{I_z}$  整理得

$$\sigma = \frac{6M(bh^2 + Bd^2 + 2Bdh)}{(bh^3 + Bd^3)(bh + Bd) + 3Bdbh(h + d)^2}$$

图 3  $\sigma$ - $h$  关系曲线图

为计算方便, 假定  $B = 10$ ,  $b = 1$ ,  $d = 1$ ,  $M = 1$ 。

$$\therefore \sigma = \frac{6(h^2 + 20h + 10)}{(h^3 + 10)(h + 10) + 30h(h + 1)^2}$$

利用上式计算  $\sigma$ - $h$  的对应值如表-2 示

$\sigma$ - $h$ 对 应 表							表 2
$h$	0	0.5d	1d	1.5d	2d	2.5d	3d
$\sigma$	0.6	0.87	0.77	0.58	0.38	0.32	0.25

由表中数值绘出  $\sigma$ - $h$  关系曲线如图 3 示

由  $\sigma$ - $h$  关系表及  $\sigma$ - $h$  关系曲线可显然看出, 在板厚不变只增加肋梁高度的情况下, 当梁高在  $(0 \sim 1.3)d$  范围内时, 结构的最大拉应力比无肋梁的情况下还要大。当梁高大于  $1.3d$  时, 才会出现最大拉应力比无肋梁情况下减小的现象。所以, 对于 U 形渠道板后加肋的衬砌形式, 梁高决不能小于 1.3 倍的板后, 否则, 将会起到相反的作用。对于

大中型渠道,一般取梁高等于2.5倍的板厚为宜,梁高愈大,抗弯效果愈明显,且能增大板的刚度,有利于稳定安全,对于喷射混凝土施工段,采用薄壁高梁的结构,效果更佳。

在设计U形渠道时,还必须重视伸缩缝的设计,伸缩缝间距过大,会使渠道产生不规则的裂缝,若伸缩缝内填料太差,会影响防渗效果和使用寿命。根据国内外的工程实践经验,U形渠道一般只设横向缝(垂直水流方向),间距为(2~4)m。缝内填料主要有:沥青,水泥砂浆,三毡四油,焦油塑料胶泥、聚氯乙烯胶泥等。焦油塑料胶泥和聚氯乙烯胶泥具有较好的耐热性、粘结性和低温拉伸性,所以,大中型渠道一般采用聚氯乙烯胶泥和焦油塑料胶泥作为伸缩的填料。

### 3 衬砌施工方法的选择

U形渠道是一种较好的结构形式,但砌体薄,需要搞好施工,才能保证技师,使其发挥作用。U形渠道混凝土衬砌的施工方法主要有三种,分别为预制安装衬砌;现场浇筑衬砌;喷射混凝土衬砌。

对于小型渠道多采用预制安装的施工方法;对于一般的渠道则采用现场浇筑的施工方法;而对于大中型渠道,特别是大型渠道则宜采用喷射混凝土衬砌的施工方法。喷射混凝土具有强度高,与基土粘结性好,施工速度快,省工省料等优点,特别适用于深挖高填的大断面施工,从已采用本法施工完成的渠道调查情况来看,一般运行很好,基本未发现裂缝,因此是衬砌大断面值得推广采用的一种施工方法。

喷射混凝土衬砌工艺流程如图4示

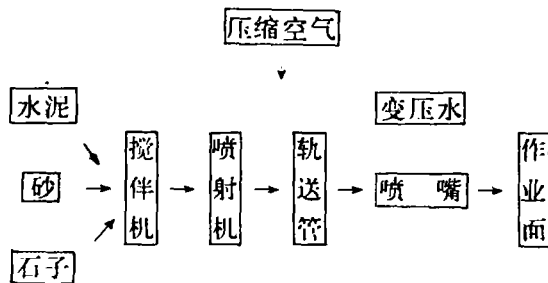


图4 喷射混凝土工艺流程图

采用喷射混凝土衬砌施工应注意以下几点

- ①在作业前,首先检查开挖断面是否符合设计要求,然后全面检查风、水、电、管路,并试运行。
- ②严格按设计要求配料,石子应冲洗干净,砂、石均应过筛。
- ③先喷射底部2~4cm一层,再由下向上喷射侧墙,一次喷够厚度,再将回弹材料加水泥铺于渠底,用平板振动器振实。
- ④作业完后,先停料,再停水,停风,然后立即原浆收面,先用木泥抹抹平,再用铁泥抹压光。

喷射混凝土是一种具有足够力学强度和耐久性的材料,结构密实,抗渗性,抗冻性均

较好,强度标号一般在  $160^{\text{#}}$ ~ $220^{\text{#}}$ 之间,衬砌厚度可比人工浇筑减薄 10%~20%,喷射混凝土总费用仅为人工浇筑的 80%左右。主要缺点是所需机械设备多,但可作为固定资产,长期使用。

## 4 结 语

大流量 U 形渠道毕竟还是新生事物,虽说有些大中型渠道也在部分段采用了 U 形断面,但数量太少,运用时间也不长,目前尚无成熟的理论和技术可以推广应用,特别是结构形式,设计计算方法,衬砌施工方法等,都还需进一步的试验、研究和实践。

## 参 考 文 献

- [1] 灌溉渠道衬砌.水利出版社,1980.2。
- [2] 甘肃水电技术.1990 年第二期。
- [3] U 形渠道.水利出版社,1986.9
- [4] 井巷喷射混凝土支护.冶金工业出版社,1973.6
- [5] 渠道防渗设计图集.水利出版社,1983.12

## The Preliminary Research of the "U"Shape Irrigati Ditch Design of large Flow

Zhang Hongen

(Luoyang Hydraulicand Surveging Design Institute)

**Abstract:** This paper preliminariy analyses the section design and the lining str uctuctural shape choice as well as the construction method of the "U"shape irrigation ditch with large section.

**Keywords:** "U"shape irrigation ditch, section design