

变宽度明渠水面线的分析*

高双聚 杨玲霞

(郑州工学院水环系)

摘 要: 本文针对模型实验中实测水面线与常规理论分析结果的矛盾, 提出了变宽度明渠水面线分析的理论方法, 不仅合理地解释了矛盾的原因, 也为变宽度明渠水面线的分析计算提供了理论依据。

关键词: 变宽度、明渠、水面线。

中图分类号: TV13

在大峡导流明渠模型实验中, 我们曾遇到一个特殊的水力学问题, 该导流明渠宽 40m, $q = 125 \text{ m}^3/\text{s-m}$, 单宽流量大, 为了与下游原河道衔接, 在尾部做了一段扩散段, 其布置形式见图 1, 明渠前一段为棱柱体渠道, 其水面线计算与分析为众所周知; 后一段为扩散段, 其水面线分析与计算还不曾有过详细论述, 对实际问题难以解决, 例如

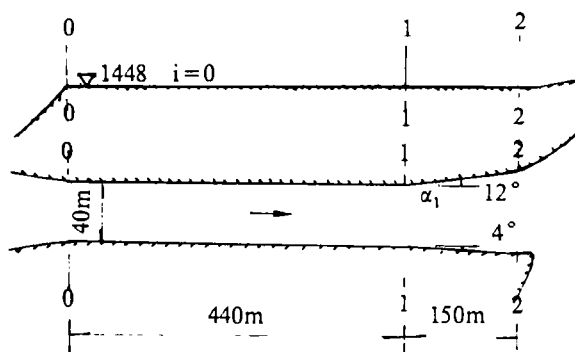


图 1 大峡施工导流明渠剖面及平面图

在实验中发现 b 区有壅水而 C 区有降水曲线发生, 这与常规分析结果是矛盾的, 更严重的是在通过设计流量时, 按常用的分段法根本算不出水面线, 因此对变宽度明渠水面线的理论分析方法有必要进一步深入研究。

1 变宽度直线扩散明渠水面变化的微分方程

变宽度明渠为非棱柱体明渠, 对此水深沿流程变化的微分方程已知如下:

$$\frac{dh}{ds} = \left\{ i - \frac{Q^2}{K^2} \left[1 - (\alpha + \zeta) \frac{C^2 R}{gA} \frac{\partial A}{\partial s} \right] \right\} / \left\{ 1 - (\alpha + \zeta) \frac{Q^2 B}{gA^3} \right\} \quad (1)$$

式中: h 为水深; s 为流程; k 为流量模数; A 为过水断面面积; B 为水面宽度; α

* 收稿日期: 1994-02-27

为动能修正系数; ζ 为扩散引起的局部水头损失系数。

当为棱柱体明渠时: $\frac{\partial A}{\partial s} = 0$, $\zeta = 0$, 取 $\alpha = 1.0$ 得:

$$\frac{dh}{ds} = [i - \frac{Q^2}{K^2}] / [1 - F_r^2] \quad (2)$$

式 (2) 中 $F_r^2 = \frac{Q^2 B}{g A^3}$ 为佛汝德数的平方。

相应于方程 (2) 有 12 种水面线, a 区壅水、 b 区降水、 c 区壅水。对 $i \neq$ 常数的棱柱体明渠参考文献 [2] 曾以 *Singular Point* 方法作了简介, 而对 $i = 0$, $\frac{\partial A}{\partial s} \neq 0$ 的扩散明渠却不曾有过文献讨论, 以下针对直线扩散明渠进行分析。

对直线扩散段:

$$\frac{\partial A}{\partial s} = \frac{\partial B}{\partial s} = \sin \alpha_1 + \sin \alpha_2 = \text{const.}$$

α_1 、 α_2 为两侧扩散角。方程 (1) 又可写成:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \frac{Q^2}{K^2} [1 - (\alpha + \zeta) \frac{C^2 R}{g A} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)]}{1 - (\alpha + \zeta) F_r^2} \quad (3)$$

令 $\lambda = (\alpha + \zeta) \frac{C^2 R}{g A} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)$, 显然 $\lambda > 0$

将 Q 写成 $Q = K_o \sqrt{i}$

因 $Q = \text{const.}$, $i = \text{const.}$, 故 $K_o = \text{const.}$, 但 h_o 为变数。方程 (3) 又可改写为:

$$\frac{dh}{ds} = i \frac{1 - (1 - \lambda) (\frac{K_o}{K})^2}{1 - (\alpha + \zeta) F_r^2} \quad (4)$$

方程 (4) 可作为变宽度直线扩散明渠水面线分析的基本微分方程。

2 直线扩散明渠水面变化的定性分析

值得注意: 对非棱柱体明渠 N-N 线及 K-K 线不是直线, 以下仍沿用棱柱体明渠水面线分析的思路分为 a 、 b 、 c 三区讨论, 只是把 N-N 线、K-K 线画成曲线就行了。

2.1 对缓坡明渠 $i_k > i > 0$

用 $Q = K_o \sqrt{i}$ 计算出各断面的 $h_o = f_o(s)$, 再用 $h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g B^2}}$ 计算出各断面的

$h_k = f_k(s)$, 得两条曲线 N-N 及 K-K, 如图 2 所示, 两曲线将流动分为 a 、 b 、 c 三

区。

$$a \text{ 区: } h > h_o, K > K_o \frac{K_o}{K} < 1, F_r^2 < 1$$

一般有 $(\alpha + \zeta)F_r^2 < 1$

$$\text{当 } \lambda > 1 \text{ 时 } 1 - (1 - \lambda)(\frac{K_o}{K})^2 = (+)$$

$$\text{故 } \frac{dh}{ds} = (+) \frac{(+)}{(+)} = (+), \text{ 为壅水曲线。}$$

$$\text{当 } \lambda < 1 \text{ 时 } 1 - (1 - \lambda)(\frac{K_o}{K})^2 = (+)$$

$$\text{故 } \frac{dh}{ds} = (+) \frac{(+)}{(+)} = (+), \text{ 仍为壅水曲线。}$$

可见a区只有壅水, 这与棱柱体明渠结论相同。

$i_k > i > 0$

$$b \text{ 区: } h_o > h > h_k, K_o > K, \frac{K_o}{K} > 1$$

图2 缓坡分区示意图

$$\text{当 } (1 - \lambda)(\frac{K_o}{K})^2 > 1 \text{ 时, 可得: } \frac{dh}{ds} = (+) \frac{(-)}{(+)} = (-), \text{ 故形成降水曲线}$$

$$\text{当 } (1 - \lambda)(\frac{K_o}{K})^2 < 1 \text{ 时, 可得: } \frac{dh}{ds} = (+) \frac{(-)}{(+)} = (+), \text{ 故形成 } b \text{ 型降水曲线}$$

, 而在棱柱体明渠中不会发生这种情况。

$$c \text{ 区: } h < h_k, K < K_o, F_r^2 > 1, (\frac{K_o}{K})^2 > 1$$

$$\text{当 } (1 - \lambda)(\frac{K_o}{K})^2 > 1 \text{ 时, 可得: } \frac{dh}{ds} = (+) \frac{(-)}{(-)} = (+), \text{ 形成 } C \text{ 型壅水曲线。}$$

$$\text{当 } (1 - \lambda)(\frac{K_o}{K})^2 < 1 \text{ 时, 可得: } \frac{dh}{ds} = (+) \frac{(+)}{(-)} = (-), \text{ 形成 } C \text{ 型降水曲线,}$$

在棱柱体明渠中, 这是不可能存在的。

2.2 对平坡明渠

$i = 0, h_o \rightarrow \infty$, 无a区, 见图3所示。

方程(3)可写成:

$$\frac{dh}{ds} = - \frac{\frac{Q^2}{K^2}(1 - \lambda)}{1 - (\alpha + \zeta)F_r^2} \quad (5)$$

$$b \text{ 区: } h > h_k, (\alpha + \zeta)F_r^2 < 1$$

$$\text{当 } 1 - \lambda > 0 \text{ 时, 得 } \frac{dh}{ds} = (-) \frac{(+)}{(+)} = (-), \text{ 形成 } b_o \text{ 型壅水曲线。}$$

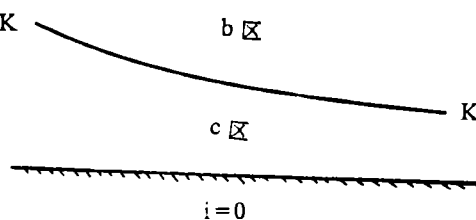
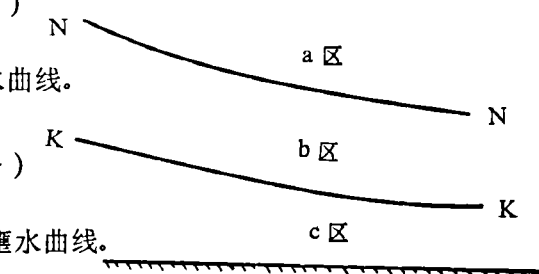


图3 平坡分区示意图

当 $1 - \lambda < 0$ 时, 得 $\frac{dh}{ds} = (-) \frac{(-)}{(+)} = (+)$, 形成 b_o 型壅水曲线。

这在棱柱体明渠中不会发生。

C 区: $h < h_k, F_r^2 > 1$

当 $1 - \lambda > 0$ 时, 得 $\frac{dh}{ds} = (-) \frac{(+)}{(-)} = (+)$, 形成 c_o 型壅水曲线。

当 $1 - \lambda < 0$ 时, 得 $\frac{dh}{ds} = (-) \frac{(-)}{(-)} = (-)$, 形成 C_o 型壅水曲线。

按照上述方法可对其它坡度的水面线进行定性分析。

3 结语

综上所述, 可对直线扩散非棱柱体明渠水面线的规律总结如下:

a 区总是壅水的, b 区和 c 区可以壅水也可以降水。存在 b 区壅水和 c 区降水是非棱柱体明渠的特有现象, 在大峡导流明渠实验中发现 c 区降水, b 区壅水现象与上述理论分析结论是吻合的, 这说明对非棱柱体明渠应采用上述分析方法。

参 考 文 献

- 1 丁.T.C. 用数值计算方法研究压力管道出口段的水力学情况. 1981.1P19.
- 2 Ven Te Chow, Open Channel Hydraulics, 1959

Water Profile Analysis for Varied-width Open Channel

Gao Shuang-ju Yang Ling-xia
(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: To counter the contradictory between experimental result and theoretical one for prismatic open channel, a theoretical analysis method for varied-width open channel flow has been put forward. Not only is the contradictory explained resonally, but also an important theoretical basis for the water profile analysis of non-prism open channel is presented.

Keywords: Varied-width, Open Channel, Water-Profile