

偏离水力最佳断面渠道运行效益分析计算

常发强

(山西水利职业技术学院 山西 太原 030027)

摘要 根据矩形和梯形断面的水力最佳断面条件,在保持过水断面面积、渠道底坡、边壁粗糙系数不变的情况下,推导出偏离水力最佳断面的矩形渠道和梯形渠道运行效率计算公式,绘出偏离量与效率的变化关系曲线,分析了偏离程度、过水断面面积、运行效率之间的相互变化关系,提出了由于偏离而影响运行效益的一般计算方法,并给出了算例。该方法在渠道设计方案选择时能快速、准确地计算出各方案的运行效益影响值。该方法也可对已建渠道进行评价。

关键词 矩形断面 梯形断面 水力最佳断面 断面偏离程度 效益分析计算 渠道

中图分类号 :TV133 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2009)03-0014-03

Operating benefit analysis and calculation of the channel with deviation of the best hydraulic cross section//CHANG Fa-qiang Shanxi Hydrological Vocational Technology Institute , Taiyuan 030027 , China)

Abstract :Based on the best hydraulic cross section condition of a rectangular section and trapezoid section , and holding the channel bottom slope , the wetted area and the roughness coefficient constant , the calculation formula for the operational benefit of rectangular and trapezoid channels with deviation of the best hydraulic cross section is deduced . The relationship between deviation extent , water through the sectional area , and operational benefit are analyzed . Meanwhile , the common method for calculating operational benefit affected by deviation is put forward , and an example is given . This method can calculate the operational benefit 's influence value quickly and exactly during design scheme selection . The method can also be used to evaluate channels that have been built .

Key words : rectangular cross section ; trapezoid cross section ; best hydraulic cross section ; section deviation extent ; benefit analysis calculation ; channel

在保持过水断面面积、渠道坡降、边坡系数、衬砌材料不变的条件下,由于诸多因素的影响,渠道设计断面往往与水力最佳断面形成一定偏差,影响过水能力,降低运行效益。在渠道断面设计中,按传统的设计方法是在经验比值范围内选择几组 b (渠道底宽)和 h (渠中水深)值进行方案比较,忽略运行效益对方案选择的影响。

水力最佳断面是单纯从水力学观点出发而引出的概念,它的定义是:在渠道底坡 i 、糙率 n 以及过水断面面积 A 一定的情况下,通过的流量最大;或者说在输水能力 Q 、渠道底坡 i 、糙率 n 一定的情况下,过水断面面积最小,使得工程量最小,投资较少,这样的断面称为水力最佳断面^[1]。

渠道设计中, i 一般由地形条件决定, n 由边壁的衬砌材料和施工质量所决定。由公式(1)^[2]可知当渠道的 A 、 i 及 n 一定时,湿周 χ 最小的断面其 Q

最大。

$$Q = AC \sqrt{Ri} = A \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{\chi^{2/3}} i^{1/2} \tag{1}$$

式中: C 为谢才系数; R 为水力半径。

在 A 相等的所有几何图形中,半圆形过水断面的湿周最小,但对于大中型明渠来说半圆形断面不易施工,尤其是无衬砌的土渠或浆砌石衬砌的渠道,两侧边坡往往达不到稳定的要求,实际渠道大多做成矩形断面或梯形断面。

矩形渠道水力最佳断面条件为^[2]

$$b = 2h \tag{2}$$

梯形渠道水力最佳断面条件为^[2]

$$b = 2h(\sqrt{1 + m^2} - m) \tag{3}$$

式中 m 为边坡系数。

1 运行效率分析计算

1.1 矩形断面

用浆砌石衬砌的梯形渠道在使用过程中浆砌石易形成裂缝,渠水外渗,周围地基湿陷、沉降,破坏浆砌石衬砌面,因此不少浆砌石衬砌的渠道都做成矩形断面。使用混凝土或钢筋混凝土衬砌的渠道及岩石中开挖的渠道一般都做成矩形断面,使用预制板衬砌的小型渠道为防止湿陷变形往往都做成近似矩形的渠道。矩形渠道是比较常见的一种渠道。

在矩形渠道设计中由于受各方面因素的影响,譬如岩基渠道挖深遇到施工困难、填方渠道填土过高或挖方渠道挖深较大造成施工和养护困难,或者为了节省占地面积等因素,过水断面往往不是按水力最佳断面进行设计,而是与水力最佳断面相比存在一些偏差,因而影响渠道的过水能力。

对于矩形渠道,有

A = bh (4)

χ = b + 2h (5)

Q = \frac{1}{n} \frac{A^{\frac{5}{3}}}{(b + 2h)^{\frac{2}{3}}} i^{1/2} (6)

设 K = \frac{1}{n} A^{\frac{5}{3}} i^{\frac{1}{2}} (7)

则 Q_{佳} = K \frac{1}{(2b_{佳})^{\frac{2}{3}}} (8)

Q_{偏} = K \frac{1}{(b + 2h)^{\frac{2}{3}}} (9)

\eta = \frac{Q_{偏}}{Q_{佳}} = \left(\frac{2b_{佳}}{b + 2h} \right)^{2/3} (10)

经变换得 \eta = \left(\frac{2\sqrt{2A}}{b + \frac{2A}{b}} \right)^{2/3} (11)

式中:Q_{佳} 为水力最佳断面渠道通过的流量;Q_{偏} 为偏离水力最佳断面渠道通过的流量;b_{佳} 为最佳断面渠道底宽;\eta 为运行效率。

式(11)即为偏离水力最佳断面的矩形渠道运行效率计算公式。

选取不同的过水断面面积列表计算并绘制 b ~ \eta 关系曲线如图 1 所示。

从图 1 可以看出,随着断面面积变大,曲线图形由瘦变胖,即过水断面面积较大的渠道与过水断面面积较小的渠道相比,当 b 都偏离水力最佳断面底宽相同长度时,过水断面面积大的渠道对过水能力的影响较小,过水断面面积小的渠道对过水能力的影响较大,每条曲线的 b 值都是左边低于右边,即 b 小于 b_{佳} 时比其大于 b_{佳} 时对运行效率的影响程度

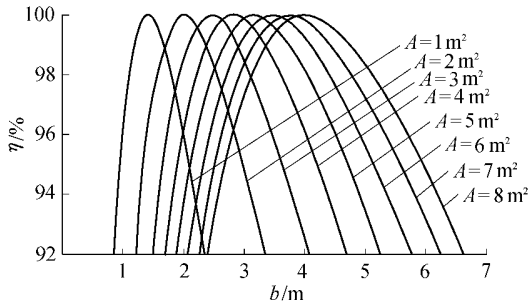


图 1 矩形渠道偏离水力最佳断面效率曲线

大。以 A = 2 m² 的曲线为例:当 b 比 b_{佳} 减少 0.2 m 时曲线上对应点的斜率为 0.039, b 比 b_{佳} 增加 0.2 m 时曲线上对应点斜率的绝对值为 0.029;当 b 比 b_{佳} 减少 0.4 m 时曲线上对应点的斜率为 0.090, b 比 b_{佳} 增加 0.4 m 时曲线上对应点斜率的绝对值为 0.050。

在渠道设计过程中可将供选择的几个断面偏离水力最佳断面从而影响过水能力的情况作为一个比较条件。首先由笔者提出的公式计算效率,按该渠段投资占总投资的比例折算出该渠段单位收益所占的比例,然后根据年影响总量计算出年影响收益,根据设计年限按动态分析法计算出运行效益影响量折算现值。该现值可作为方案比较的一个条件,同时考虑其他一些条件,从而得出最优设计断面。

1.2 梯形断面

梯形渠道由于施工简单、衬砌材料用量少、造价低,是广泛使用的一种渠道。梯形渠道设计中考虑各方面的因素,实际断面一般都偏离水力最佳断面,偏离引起的运行效益降低值往往被人们忽略。

梯形渠道设计中边坡系数 m 是根据土壤种类、衬砌材料和施工要求决定的。对于梯形渠道,有

A = (b + mh)h (12)

χ = b + 2h\sqrt{1 + m^2} (13)

Q_{佳} = K \frac{1}{(b_{佳} + 2h_{佳}\sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}} (14)

Q_{偏} = K \frac{1}{(b + 2h\sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}} (15)

得 \eta = \frac{Q_{偏}}{Q_{佳}} = \left(\frac{b_{佳} + 2h_{佳}\sqrt{1 + m^2}}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}} \right)^{2/3} (16)

设 c_1 = 2\sqrt{1 + m^2} - m (17)

c_2 = \frac{2}{\sqrt{c_1}} (18)

c_3 = \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}} (19)

经变换得

\eta = \left[\frac{c_1 c_2 \sqrt{A}}{b + c_3 \sqrt{b^2 + 4mA} - b} \right]^{2/3} (20)

式(20)即为偏离水力最佳断面的梯形渠道运行效率计算公式。

选取经常使用的边坡系数 $m = 1.0$ 的渠道进行分析,其他边坡系数的渠道也可进行类似分析。

$$Q_{\text{佳}} = K \frac{1}{[(\sqrt{2} + 3)b_{\text{佳}}]^3} \quad (21)$$

$$Q_{\text{偏}} = K \frac{1}{(b + 2\sqrt{2}h)^3} \quad (22)$$

则
$$\eta = \frac{Q_{\text{偏}}}{Q_{\text{佳}}} = \left[\frac{(\sqrt{2} + 3)b_{\text{佳}}}{b + 2\sqrt{2}h} \right]^{2/3} \quad (23)$$

或
$$\eta = \left(\frac{2.704\sqrt{A}}{\sqrt{2b^2 + 8A} - 0.414b} \right)^{2/3} \quad (24)$$

选取不同的过水断面面积绘制 $b \sim \eta$ 关系曲线,如图2所示。

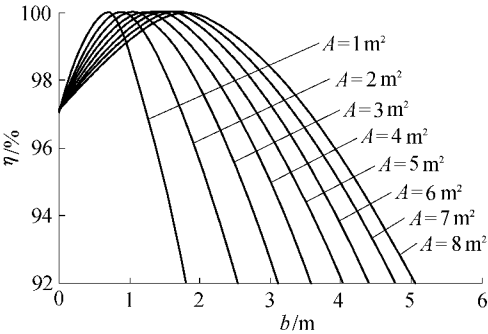


图2 梯形渠道偏离水力最佳断面效率曲线

将图1和图2进行比较,可知:①梯形断面曲线的变化规律类似于矩形断面曲线的变化规律。②断面面积相同时梯形断面的曲线比矩形断面的曲线更肥胖,说明由于 m 的影响,梯形断面 b 偏离 $b_{\text{佳}}$ 和矩形断面 b 偏离 $b_{\text{佳}}$ 相同值时,梯形断面对过水能力的影响较小。③随着过水断面面积的增大,水力最佳断面的梯形渠道底宽增加缓慢。④当 m 值一定、梯形断面 b 趋于零时, η 趋于常数。即V形断面运行效率与过水断面面积无关,只是 m 的函数, m 确定后 η 即为定值, $\eta = \left(\frac{c_1 c_2}{2c_3 \sqrt{m}} \right)^{2/3}$ 。仍以 $m = 1.0$ 为例,当 $b = 0$ 时所有曲线交于一点, $\eta = 0.971$ 。

使用该方法计算时根据已定的 m 值求出 c_1, c_2, c_3 ,由不同方案的 b 和 A 值根据式(20)求得不同的 η 值,用不同的 η 值求出不同的运行效益影响量折算现值。现值的求法同矩形断面,各值可参与不同方案进行比较。

2 运行效益应用举例

山西某电灌站由于黄河改道,需修建一级站和1条长8 km的引水渠。一级站设计投资350万元。引水渠设计流量为 $2.84 \text{ m}^3/\text{s}$,边坡系数选为1.2,当

底宽选为9.6 m时水深为2.7 m,需投资1600万元。原二级站和其他输水设施折价560万元,每方水的纯利润为0.20元,渠道利用率为50%。根据以上条件计算得 $A = 34.668 \text{ m}^2, c_1 = 1.924, c_2 = 1.442, c_3 = 1.302, \eta = 0.936$,年影响收益为36.54万元,影响运行效益折算现值 $P = 496.58$ 万元。

另外几种方案也可进行类似计算,同时考虑其他一些条件,从中选出最优设计方案。

3 结 语

a. 矩形断面是梯形断面中 $m = 0$ 时的一个特例,这2种断面偏离水力最佳断面引起的效率变化规律基本相同,但矩形断面偏离水力最佳断面效率降低较快,梯形的较慢。同时随着过水断面面积的增大,水力最佳断面的矩形断面底宽增加较快,梯形断面底宽增加较慢,因此梯形水力最佳断面多数是窄深式断面。

b. 一个成功的渠道设计方案应满足造价低、运行效益高、达到使用要求、管理方便等条件,其中运行效益是方案选择的一个主要因素。笔者对矩形渠道、梯形渠道偏离水力最佳断面影响过水能力的大小进行了理论分析,并推导了计算公式,提出了计算方法。该方法可作为渠道设计人员选择断面时考虑运行效益这一因素的快捷、简便计算方法,也可作为工程管理人员评价已建渠道的一种方法。

参考文献:

[1] 杨复刚. 梯形渠道水力最佳断面应用浅析[J]. 水利经济 2003 21(4) 35-36.
[2] 吴持恭. 水力学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1982: 249-251. (收稿日期 2008-07-25 编辑 高建群)

· 简讯 ·

2009年“世界环境日”主题

联合国环境规划署将2009年“世界环境日”的主题确定为:“你的地球需要你——联合国际力量,应对气候变化”。

为提高人们的环境保护意识,1972年6月5日联合国在瑞典首都斯德哥尔摩举行首次人类环境会议,通过了著名的《人类环境宣言》及保护全球环境的“行动计划”。同年10月第27届联合国大会根据斯德哥尔摩会议的建议,决定成立联合国环境规划署,并将正式将6月5日定为“世界环境日”。从1974年起,联合国环境规划署每年都为“世界环境日”确立一个主题,并开展相关宣传活动。(本刊编辑部供稿)