公路排水输沙渠道和涵洞水力最优断面分析

艾翠玲[1],沈 波[2]

(1.福州大学,福建福州 350002;2.长安大学,陕西西安 710064)

摘 要:该文对公路矩形断面渠道及涵洞具有净空高度条件下排水、输沙水力最优断面理论进行了分析,得出最佳宽深比设计参数。

关键词:公路工程;排水;排沙;水力最优;渠道;涵洞;最佳宽深比

中图分类号:U412 **文献标识码**:A **文章编号**:1009-7716(2007)01-0048-03

1 问题的提出

公路工程中大量存在较多砌石或混凝土衬砌矩形断面排水渠道与过流涵洞,一定长度渠道其工程费用主要由土方与衬砌两部分费用组成,涵洞主要由砌体费用组成。土方费大体上与过水输沙断面面积成正比,衬砌费大体上与湿周成正比。

一般满足过流过水断面一定条件下,断面湿周达到极小值时,砌衬体费用才能达到极小,总工程费支出也达到极小,即:达到水力最优断面。

$$Q=\frac{A^{\frac{5}{3}}i^{\frac{1}{2}}}{nx^{\frac{2}{3}}} \tag{1}$$

式中:Q——流量(m^3/s)

n——粗糙系数

i——渠道底坡

A——过流面积(m^2)

$A=bh$,b 为渠底宽度,h 为渠道高度,湿周 $x(m)=b+2h$。现行水力学教科书中对明渠均匀流等腰梯形或矩形渠道在满足(1)式满槽条件水力最优断面设计讲解较多,矩形水力最优断面特征 $b/h=2$[1]。

但在实际工程中,实际渠道排水需预留一定的净空高度,并不是满槽的条件;同时,自然特殊环境条件下,不仅对排洪有所要求,同时对输沙也有一定的要求。

洪水多含沙地区,渠道或过流涵洞,过沙更应优先作为水力最优考虑条件,即:不仅满足式(1)的过流要求,还应满足输沙公式(2),要求湿周最小,总工程费最小。

$$g_s=\frac{Q^3x}{g\omega A^4} \tag{2}$$

式中:g——重力加速度 (m/s^2)

ω——一定粒径泥沙颗粒沉速 (m/s)

g_s——输沙率(kg/m^3)。

本文对此进行理论分析,对公路排水设计具有一定参考意义。

2 矩形渠道宽深比与均匀流水深

2.1 排洪条件下宽深比与均匀流水深

对于矩形过水断面面积 $A=bh_0$,湿周 $x=b+2h_0$,代入(1)式简化得:

$$Q=\frac{(bh_0)^{\frac{5}{3}}i^{\frac{1}{2}}}{n(b_0+2h_0)^{\frac{2}{3}}} \tag{3}$$

式中:b——渠道底宽(m)

h_0——正常水深(m)

其它符号意义同(1)式。

现定义矩形过水断面宽度 b 与均匀流水深 h_0 之比为宽深比,用 β 代表,即

$$\beta=b/h_0 \tag{4}$$

代入(3)式得:

$$h_0=\left(\frac{nQ}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{3}{8}}\frac{(\beta+2)^{\frac{1}{4}}}{\beta^{\frac{5}{8}}} \tag{5}$$

由上式可知,当 Q,n,i 一定时,矩形渠道的均匀流水深仅取决于宽深比,对于最佳宽深比,也必定有相应的均匀流水深。

2.2 输沙条件下宽深比与均匀流水深

对于矩形过水断面,$A=bh_0$,$x=b+2h_0$,代入式(2)简化得:

$$g_s=\frac{Q^3}{g\omega}\frac{b+2h_0}{(bh_0)^4} \tag{6}$$

式中:b——渠道底宽(m)

h_0——正常水深(m)

其它符号意义同式(1)。

现定义矩形过水断面宽度 b 与均匀流水深 h_0

收稿日期:2006-04-26

作者简介:艾翠玲(1969-),女,陕西华县人,博士,讲师,主要从事水力学教学与研究工作。

之比为宽深比,用 β_s 代表,即

$$\beta_s=b/h_0$$

代入式(3)得

$$h_0=\left(\frac{Q^3}{g\omega}\right)^{\frac{1}{7}}\left(\frac{\beta_s+2}{\beta_s^4}\right)^{\frac{1}{7}} \tag{8}$$

由上式知,当 Q,n,i 一定时,矩形渠道的均匀流水深仅取决于宽深比,对于最佳宽深比,也必定有相应的均匀流水深。

3 明渠的最佳宽深比

3.1 明渠排洪的最佳宽深比

明渠如图 1 示,假定断面平均衬砌厚度为 Δ,按衬砌物中心线计算的衬砌周长就是

$$p=b+2\Delta+2kh_0 \tag{9}$$

式中:p——断面上的衬砌周长

Δ——断面平均衬砌厚度

k——断面上的净高与均匀流水深比值

k 为已知常数,据文献[1]推荐 $k=\frac{6}{5}$ 或 $\frac{4}{3}$。

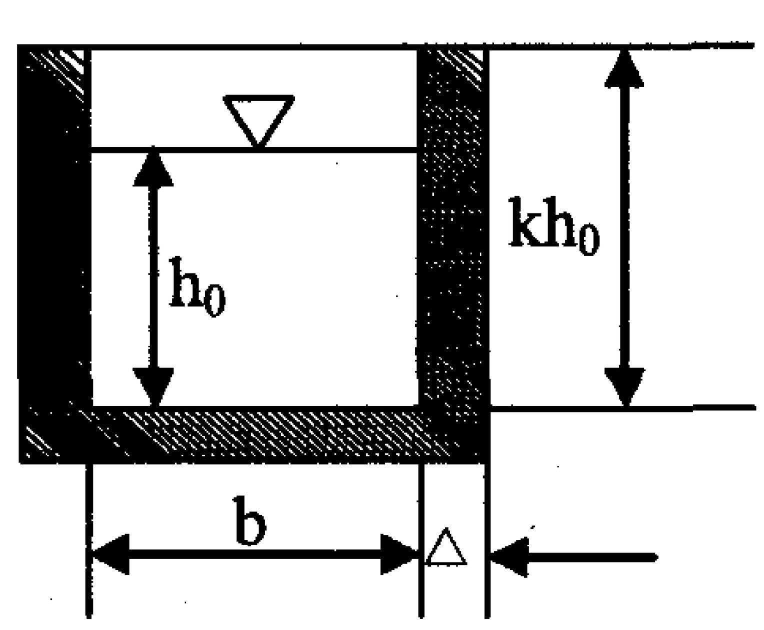

图 1 明渠示意图

将式(5)代入式(9)得:

$$p=(\beta+2k)\left[\frac{nQ}{\sqrt{i}}\right]^{\frac{3}{8}}\frac{(\beta+2)^{\frac{1}{4}}}{\beta^{\frac{5}{8}}}+2\Delta \tag{10}$$

Q、k、n、i、Δ 一定时,断面上衬砌周长 p 是宽深比 β 的函数,为求得衬砌周长 p 极小值,将式(10)对 β 求导,化简后得:

$$\frac{dp}{d\beta}=\left[\frac{nQ}{\sqrt{i}}\right]^{\frac{3}{8}}\frac{(\beta+2)^{\frac{1}{4}}}{\beta^{\frac{5}{8}}}+\left[\frac{5\beta^2+6(1-k)\beta-20k}{8(\beta+2)\beta}\right] \tag{11}$$

令 $\frac{dp}{d\beta}=0$,考虑 $\beta>0$,整理得:

$$\beta^2+1.2(1-k)\beta-4k=0 \tag{12}$$

解方程,使 p 最小的最佳宽深比方程正实数根 β^*:

$$\beta^*=\sqrt{4k+0.36(1-k)^2}-0.6(1-k) \tag{13}$$

$k=\frac{6}{5}$ 带入得:$\beta^*=2.314$,$\frac{b}{kh_0}=\beta^*/k=1.928$

$k=\frac{3}{4}$ 带入得:$\beta^*=2.518$,$\frac{b}{kh_0}=\beta^*/k=1.889$

3.2 明渠输沙的最佳宽深比

将式(8)代入式(9)得:

$$p=(\beta+2k)\left(\frac{Q^3}{g\omega}\right)^{\frac{1}{7}}\left(\frac{\beta_s+2}{\beta_s^4}\right)^{\frac{1}{7}}+2\Delta \tag{14}$$

Q、k、n、i、Δ 一定时,断面上衬砌周长 p 是宽深比 β_s 的函数,为求得衬砌周长 p 极小值,将式(14)对 β_s 求导,化简后得:

$$\frac{dp}{d\beta_s}=4\left(\frac{Q^3}{g\omega}\right)^{\frac{1}{7}}\frac{\beta_s^2+1.5(1-k)\beta_s-4k}{7\beta_s^{\frac{11}{7}}(\beta_s+2)^{\frac{6}{7}}} \tag{15}$$

令 $\frac{dp}{d\beta}=0$,考虑 $\beta_s>0$,整理得:

$$\beta_s^2+1.5(1-k)\beta_s-4k=0 \tag{16}$$

解方程,使 p 最小的最佳宽深比方程正实数根 β^*_s:

$$\beta_s^*=\sqrt{4k+0.75^2(1-k)^2}-0.75(1-k) \tag{17}$$

$k=\frac{6}{5}$ 带入得:$\beta_s^*=2.346$,$\frac{b}{kh_0}=\beta_s^*/k=1.955$

$k=\frac{4}{3}$ 带入得:$\beta_s^*=2.573$,$\frac{b}{kh_0}=\beta_s^*/k=1.930$

4 涵洞的最佳宽深比

4.1 涵洞排洪的最佳宽深比

涵洞如图 2 示,假定断面平均衬砌厚度为 Δ,按衬砌物中心线计算的衬砌周长就是

$$p=2b+2kh_0+4\Delta \tag{18}$$

将式(5)代入式(18),得

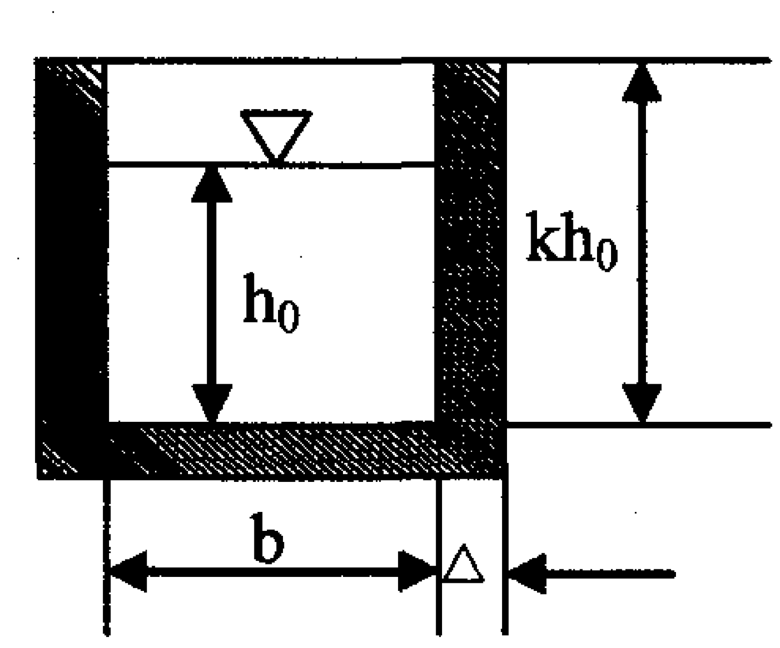

图 2 涵洞示意图

$$p=2(\beta+k)\left(\frac{nQ}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{3}{8}}\frac{(\beta+2)^{\frac{1}{4}}}{\beta^{\frac{5}{8}}}+4\Delta$$

$$=2\left(\frac{nQ}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{3}{8}}(\beta+k)\frac{(\beta+2)^{\frac{1}{4}}}{\beta^{\frac{5}{8}}}+4\Delta \tag{19}$$

将式(19)对 β 求导，化简后得

$$\frac{dp}{d\beta}=2\left(\frac{nQ}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{3}{8}}\frac{(\beta+2)^{\frac{1}{4}}}{p^{\frac{5}{8}}}\left[\frac{8(\beta+2)\beta-(\beta+k)(3\beta+10)}{8(\beta+2)\beta}\right] \tag{20}$$

令 $\frac{dp}{d\beta}=0$，考虑 $\beta>0$，整理得：

$$\beta^2+(1.2-0.6k)\beta-2k=0 \tag{21}$$

解方程，使 p 最小的最佳宽深比方程正实数根 β^*：

$$\beta^*=\sqrt{2k+(0.6-0.3k)^2}-0.3(2-k) \tag{22}$$

$$k=\frac{6}{5}\text{带入得}:\beta^*=1.328,\ \frac{b}{kh_0}=\beta^*/k=1.106$$

$$k=\frac{4}{3}\text{带入得}:\beta^*=1.445,\ \frac{b}{kh_0}=\beta^*/k=1.084$$

4.2　涵洞输沙的最佳宽深比

将式(8)代入式(18)，得

$$p=2(\beta_s+\mathrm{k})\left(\frac{Q^3}{g\omega}\right)^{\frac{1}{7}}\left(\frac{\beta_s+2}{\beta_s^4}\right)^{\frac{1}{7}}+4\Delta$$

$$=2\left(\frac{Q^3}{g\omega}\right)^{\frac{1}{7}}(\beta_s+k)\left(\frac{\beta_2+2}{\beta_s^4}\right)+4\Delta \tag{22}$$

将式(19)对 β 求导，化简后得

$$\frac{dp}{d\beta_s}=2\left(\frac{Q^3}{g\omega}\right)^{\frac{1}{7}}\frac{1}{7}\left(\frac{\beta_s+2}{\beta_s^4}\right)^{\frac{1}{7}}\frac{4\beta_s^2+3(2-\mathrm{k})\beta_s-8\mathrm{k}}{(\beta_s+2)\beta_s} \tag{23}$$

令 $\frac{dp}{d\beta_s}=0$，考虑 $\beta_s>0$，整理得：

$$\beta_s^2+\frac{3(2-k)}{4}\beta_s-2k=0 \tag{24}$$

解方程，使 p 最小的最佳宽深比方程正实数根 β_s^*：

$$\beta_s^*=\sqrt{2k+\left(\frac{3}{8}\right)^2(2-k)^2}-\frac{3}{8}(2-k) \tag{25}$$

$$k=\frac{6}{5}\text{带入得}:\beta^*=1.278,\ \frac{b}{kh_0}=\beta^*/k=1.065$$

$$k=\frac{4}{3}\text{带入得}:\beta^*=1.402,\ \frac{b}{kh_0}=\beta^*/k=1.052$$

5　两种设计方法应用实例比较

某矩形临界水力最优断面，渠宽度为 b，临界水深为 hk，流量为 Q，要求预留安全高度为 H_0(m)，试进行渠道断面设计，确定最小层砌长度。

(1) 按常规渠道设计方法——先考虑水力最优，再考虑预留净空高度。

水力最优条件：$b/h_k=2$　$x_{min}=\mathrm{b}+2h_k=4h_k$

临界流特性：$Q=bq_k=bg^{\frac{1}{2}}h_k^{\frac{3}{2}}$

则：$Q=2g^{\frac{1}{2}}h_k^{\frac{5}{2}}$，$h_k=[Q/(2g^{0.5})]^{\frac{2}{5}}$

得：$p_{\min}=x_{\min}+2H_0=4[Q/(2g^{0.5})]^{\frac{2}{5}}+2H_0=4\psi+2H_0$

式中 x_{min} 为最小湿周，如 $\psi=10$，$H_0=1$，$p_{min}=42$

(2) 按本文方法设计方法——将预留净空统一考虑

$$Q=bq_k=bg^{\frac{1}{2}}h_k^{\frac{3}{2}}$$

$$p=b+2h_k+2H_0=Q/\left(g^{\frac{1}{2}}h_k^{\frac{3}{2}}\right)+2h_k+2H_0$$

同样，如 $\psi=10$，$H_0=1$

$$\frac{dp}{dh_k}=-\frac{3}{2}\frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}}h_k^{-\frac{5}{2}}+2=0\text{时}$$

$$h_{kc}=\left(\frac{3}{4}\frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{2}{5}}=\left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{2}{5}}\psi=11.76$$

$$b/h_{kc}=\frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}h_{kc}^{\frac{5}{2}}}=\frac{4}{3}$$

$$p_{min}=x_{min}+2H_0=\left(\frac{Q}{g^{\frac{1}{2}}h_{kc}^{\frac{5}{2}}}\right)h_{kc}+2H_0=\frac{10}{3}h_{kc}+2H_0=40.67$$

可看出，两种设计方法宽深比发生了大的变化，即渠道的单宽流量发生了大的变化，衬砌量也发生了变化。

6　结语

本文将水力最优断面扩展至具有一定安全净空高度的渠道及涵洞，同时将满足排洪水力最优条件扩展至满足排沙水力最优条件，使水力最优断面宽深比更加切合实际，主要结论见表 1。

表 1　水力最优断面宽深比主要结论表

	类型	最佳宽深比($\beta=b/h_0$)	β^*/k		
			$k=1$	$k=6/5$	$k=4/3$
矩形明渠	排洪	$\beta^*=\sqrt{4k+0.36(1-k)^2}-0.6(1-k)$	2	1.928	1.889
	输沙	$\beta_s^*=\sqrt{4k+0.75^2(1-k)^2}-0.75(1-k)$	2	1.955	1.930
矩形涵洞	排洪	$\beta^*=\sqrt{2k+(0.6-0.3k)^2}-0.3(2-k)$	1.146	1.106	1.084
	输沙	$\beta_s^*=\sqrt{2k+\left(\frac{3}{8}\right)^2(2-k)^2}-\frac{3}{8}(2-k)$	1.088	1.065	1.052

实际工程运用中应说明的问题：

(1)如渠道或涵洞降雨洪水，泥沙量很少，则应按过洪水力最优断面考虑；

(2)如渠道或涵洞降雨洪水，泥沙量很大，则

黄河兰州市区段河道景观综合治理

王立新
(兰州交通大学,甘肃兰州 730070)

摘 要:城市河道景观在一个城市中发挥着特殊的作用。在追求情趣及丰富的精神世界的今天,我们需要对滨水地区所具有的价值进行重新的认识和评价。河道两侧以水滨地域为特定对象的开发建设,日益受到人们的关注。该文分析了黄河兰州市区河道景观设计的背景、类型和特点,并对我国城市水滨景观设计提出了若干思考。

关键词:城市河道;景观;综合治理;黄河;兰州市
中图分类号:TV85 **文献标识码**:B **文章编号**:1009-7716(2007)01-0051-03

0 前言

河川同人类社会一起共同经历了漫长的历史过程。水域空间对人类最原始也是最基本的作用和价值,直接体现在生存层面上,因此,历史上产生了发源于河流流域的古代四大文明。自古以来,江河流域、河口、湖岸和海岸就是城市选址的首选地段。

自2000年以来,兰州市对黄河市区段河道沿岸进行了城市设计,引导了城市的建设及河道沿岸景观的综合整治。经过几年的努力,取得了可喜的成果,形成了今天人们交口称赞的百里黄河风情线。

1 城市的地域环境分析

兰州属于典型的大陆性干旱气候,雨量少而集中,年变化率大,蒸发量大,气候干燥,自然生态系统较为脆弱。由于城市具有良好的黄河水系资源,在西北地区的黄河河谷形成相对宜人的人居环境,也使兰州成为中国西北干旱地区难得的滨水城市。

黄河在兰州蜿蜒曲折,贯穿全市长达百里,南北两山对峙,时近时远,其中有变化多样、形状各异的川谷滩地,城市在南北群山之间、黄河河谷之中交错分布,依山傍水。河流在城市整体空间结构中占据着十分重要的地位。

黄河兰州市区段河道景观综合治理范围即西起西固区柳沟,东至城关区桑园峡,东西长约38.4 km。

2 景观综合整治的背景

建国以来,兰州市曾对黄河河道进行了多次治理,但都没有从根本上解决河道淤积、两岸环境脏乱等问题,沿河部分街区建筑面貌差,违章建筑有待清理。

兰州黄河湿地遭盲目开发和非法占用,黄河河道兰州市区段湿地资源已遭到严重破坏,亟待保护和修复。种种现象已严重影响了城市发展。

黄河兰州市区段水质已轻度污染,在一定程度上破坏了黄河两岸地区的生态环境和生活环境。黄河两岸地区无规划的开发和经济活动,也对本地区的生态具有潜在的危险。

黄河两岸地区城市景观的系统性不强,缺乏市民活动的公共空间,公共设施严重不足。

收稿日期:2006-10-09
作者简介:王立新(1966-),男,河北涿州人,讲师,国家注册城市规划师,研究方向为城市设计。

应按输沙水力最优断面考虑,并按谢才-满宁公式对过流设计,特别对上游含大量的泥沙来流,可能造成淤积的渠道及涵洞,更应该注意。从表1看出,本文输沙率按全沙输沙公式考虑,排洪与输沙水力最优宽深比基本接近,一般情况下可认为相等,如果只考虑推移质输沙则输沙水力最优宽深比会发生较大的变化;

(3) 先考虑排洪排水水力最优,再考虑预留安全高度,与直接将预留安全高度纳入水力最优计算考虑相比,直接将预留安全高度纳入水力最优计算更切合工程实际情况,设计更为准确;

(4) 本文虽然只进行了矩形断面水力最优分析,对于其它断面形式水力最优特性,可以此为参考分析出相应的结论。

参考文献

[1]沈 波. 梯形渠道工程及水力最佳断面的研究[J]. 重庆交通学院学报, 2001(1).
[2]朱首军,武永昌,朱德兰,等. 有顶盖衬砌渠道、涵洞及卧管的最佳宽深比研究[J]. 水土侵蚀与水土保持学报.1997(4).
[3]叶镇国.实用桥涵水力水文计算原理与习题解法指南[M]. 北京:人民交通出版社,2001.