陕北沟壑区雨水管道最小设计流速与坡度的确定

熊家晴　易亮亮　王晓昌

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院,西安　710055)

摘要　为了控制城市雨水管道淤积,《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)给出了雨水管道的最小设计流速和最小设计坡度,而规范中的最小设计流速和最小设计坡度是根据典型雨水管道中泥沙特性而确定的经验值。通过对陕北沟壑区雨水管道泥沙特征及沟壑区的地形特点的分析,利用排水管道泥沙运动方程,给出了陕北沟壑区雨水管道的最小设计流速和最小设计坡度的参考值。

关键词　沟壑区　雨水管道　设计流速　设计坡度

1　雨水管道泥沙淤积问题概述

城市径流雨水中挟有大量泥沙与其他杂质,雨水排水系统要求这些颗粒能随水流出,并且自清畅通,所以对水流流速有一定要求[1]。在考虑泥沙淤积问题上,现行的排水管道设计标准一般是以自清流速作为管道设计最小流速来控制,最小流速往往是仅根据典型的污水管、雨水管或合流管中的泥沙特性提出的经验值,如在《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)(以下简称"规范")中,污水管道的最小设计流速为 0.6 m/s,雨水和合流制管道的最小设计流速为 0.75 m/s。这种设计标准在日常运用中存在一定的问题,因为管道淤积受泥沙特性(泥沙浓度、粒径、重度及粘性等)的影响,而排水管道的泥沙特性随排水管道的类型、不同城市和汇水区域特征、雨水收集方式等的不同有极大的差异[2]。

近年来,越来越多的城市排水系统应用了 PVC 管、PE 管等新型材料,新型材料的糙率值(0.008～0.01)远小于传统的钢筋混凝土管(0.013～0.014),输水能力较混凝土管强,同时管道的输沙能力也增加了。因此,设计时必须考虑当地的泥沙特性和所采用的管材,对排水管道中泥沙的运动规律进行研究,选择符合当地实际情况的最小设计流速和设计坡度,尽可能防止排水管道的淤积。

2　陕北沟壑区泥沙特性分析

陕北黄土高原丘陵沟壑区属干旱半干旱地区,地貌属于梁峁为主体的黄土梁峁丘陵沟壑区,其特点是地表支离破碎,梁峁密布,沟壑纵横。年降雨量较少而蒸发量大,植被稀少,区域内 2/3 地面遍覆黄土,土质松软,水土流失严重,泥沙含量大。

为了说明陕北沟壑区雨水管道泥沙特性与一般雨水管道泥沙的差异,这里根据相关资料分析整理得出了一般雨水管道泥沙的基本特性[3～5],见表 1。根据对陕北沟壑区雨水管道中泥沙含量及泥沙特性取样分析,该地区泥沙的质量浓度、颗粒密度和中值粒径都较大,特别是质量浓度非常高。结果见表 2。

表 1　典型的雨水管道中泥沙性质

泥沙类型		雨水颗粒
质量浓度/g/L	低	0.35
	中	0.50
	高	1
中值粒径 d_{50}/mm	低	0.02
	中	0.06
	高	0.10
密度 r/g/cm^3	低	1.1
	中	2.0
	高	2.5

表 2　陕北沟壑区径流雨水中泥沙特性

取样	降雨量/mm	质量浓度/g/L	密度 r/g/cm^3	中值粒径 d_{50}/mm
1	207.9	1.78	1.88	0.068
2	177.2	1.50	1.72	0.059
3	262.1	2.08	2.02	0.083
平均	215.7	1.79	1.87	0.070

3　陕北沟壑区管道不淤临界流速的确定

3.1　无泥沙底床管道不淤临界流速的确定

刘成[2]等人对管道泥沙运动方程的比较分析,

国家重大水专项课题(2008ZX07317-004)。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

推荐使用 Ab Ghani (1993) 在其博士论文中提出的无泥沙底床临界不淤流速方程确定管道的临界不淤流速,其方程为[5]:

$$\frac{v_s}{\sqrt{gd(s-1)}} = 3.08 D_{gr}^{-0.09} C_V^{0.21} \left(\frac{d}{R}\right)^{-0.53} \lambda_s^{-0.21} \quad (1)$$

式中 D_{gr} ——无量纲粒径,$D_{gr} = d\left[\frac{(s-1)g}{\nu^2}\right]^{1/3}$;

ν——运动粘滞系数,m^2/s;

d ——泥沙中值粒径,mm;

g ——当地重力加速度,m/s^2;

s ——泥沙相对密度:$s = r_s/r = \rho_s/\rho$;

$r_s(\rho_s)$,$r(\rho)$ ——分别为泥沙和水的密度,kg/m^3;

v_s ——临界不淤流速,m/s;

C_V ——泥沙体积浓度;

λ_s ——总沿程阻力系数,$\lambda_s = 1.13\lambda^{0.98} C_V^{0.02} D_{gr}^{0.01}$;

λ——沿程阻力系数。

根据陕北沟壑区泥沙特性,选取具有代表性的钢筋混凝土管和 PE 管对陕北沟壑区管道的临界不淤流速进行分析,利用式(1)可计算出各管道的临界不淤流速(见图 1)。其中,钢筋混凝土管粗糙率取 0.013、PE 管粗糙率取 0.01。根据流速与水力坡度(管底坡度)之间的关系,可以得出各管道临界不淤流速所对应的水力坡度(管底坡度),见图 2。

从图 1 可见,陕北沟壑区雨水管道临界不淤流速较大,无论是采用钢筋混凝土管还是 PE 管,都大于"规范"规定的最小值 0.75 m/s,管径越大,临界不淤流速越大,d200 管道最小不淤临界流速约 1.2 m/s,d2 000 管道的最小不淤临界流速达到 5 m/s,若按此临界不淤流速作为最小流速的设计依据,雨水势必会对管道及其附属构筑物产生冲刷。从图 2 可知,随着管径的增大,管道相应的最小设计坡度逐渐减少,但总体来说管道坡度较大,基本在 6‰~14‰。对于钢筋混凝土管而言,d200 管道埋设坡度需要达到 13‰,d2 000 的管道坡度也达到近 9‰。PE 管的设计坡度略小于钢筋混凝土管,但仍然很大,两者均大于 4‰。这对于城市竖向设计的要求太高,难以完全达到。

陕北沟壑区属于山地城市,由于道路坡度起伏较大,部分区域可充分利用较大纵坡带来的坡降来满足排水管道的敷设坡度要求,但流速过大会对管道及其附属构筑物造成损坏。此外,对于那些位于河谷地带特别是道路坡降较小的平坦区域,要实现这么大的坡降是很困难的。

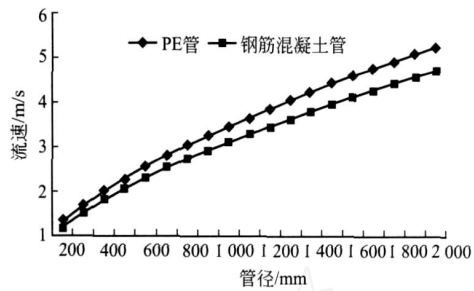

图 1 各管道临界不淤流速

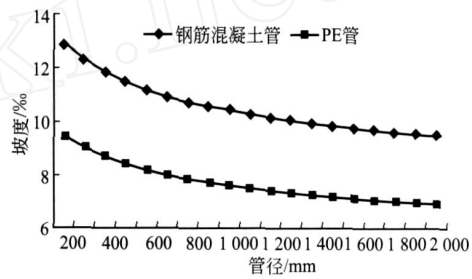

图 2 各管道临界不淤水力坡度

3.2 有泥沙底床管道临界不淤流速的确定

利用无泥沙底床管道不淤临界公式计算管道的临界流速和坡度是一种理想情形,因为城市径流雨水中挟有的泥沙与其他杂质颗粒大小不一、密度不同、流量波动较大,实际工程中要设计流速能使沟道无任何沉积物显然是不可能也不必要的。利用无泥沙底床管道不淤临界流速公式计算出的管道最小设计流速和坡度太大,显然在工程实践中难以实现,特别是对于道路坡降较小及较平坦的区域,考虑到工程造价等方面的原因,不可能埋设得太深。因此采用无泥沙底床临界不淤流速进行管道设计不符合实际要求,根据 Ackers[6] 提出的具有一定浓度泥沙底床管道临界不淤流速公式,对陕北沟壑区管道进行分析,各管道所需的临界不淤流速显然要比无泥沙底床管道临界不淤流速小(见图 3),各管道流速所对应的水力坡度(管底坡度)如图 4 所示。

由图 3 可知,采用 PE 管时,有泥沙底床的雨水管道的不淤临界流速基本在 1.2~2.3 m/s。采用钢筋混凝土管时,有泥沙底床的雨水管道的不淤临

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

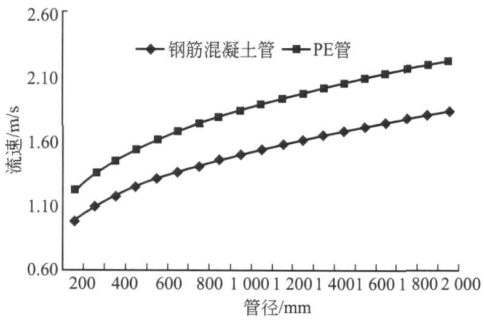

图 3　有泥沙底床各管道临界不淤流速

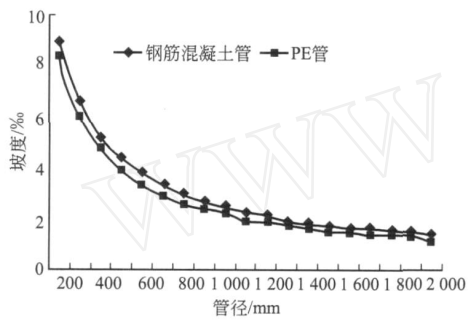

图 4　有泥沙底床各管道临界不淤水力坡度

界流速基本在 1.0～1.8 m/s,也都大于"规范"中规定的最小流速要求。从图 2～图 4 可以看出,管径较小的管道临界不淤设计坡度仍然很大,如 *d*200 管道设计最小坡度达到 9‰,而"规范"规定最小设计坡度为 4‰,其他管径也存在同样的问题,也高于"规范"的最小坡度要求。当然除几个小管径的管底坡度较大外,其余管底坡度均相对较小。

3.3　结果与讨论

(1) 陕北沟壑区雨水中含沙量大,管道在运行过程中容易淤积,而按照"规范"确定的最小设计流速和最小坡度进行雨水管道设计,难以满足管道不淤的要求。

(2) 该地区城市雨水管道完全不淤是不可能的,采用无泥沙底床管道不淤临界流速公式计算得出临界流速和临界坡度作为最小流速和最小设计坡度依据不现实。

(3) 该地区的雨水管道最小设计流速和最小设计坡度可以参照有泥沙底床管道临界流速公式计算的结果,条件允许时适当提高管道设计坡度。

(4) 塑料管的临界不淤流速大于钢筋混凝土管,但其设计坡度小于钢筋混凝土管。采用 PE 管可以提高管道的输水能力,但并不能很明显地降低管道设计坡度,因此,设计人员在设计时一定要对此有清醒的认识,不要认为塑料管的摩阻小就可以大大降低管道设计坡度。

(5) 小管径最小设计坡度较大,大管径最小设计坡度较小,而陕北沟壑区城市地形特点往往是流域上游地形坡度大,下游地势平坦,因此,应充分利用地势特点设计雨水管道。

(6) 最小设计流速与坡度的合理值为:当采用塑料管时,*d*200～2 000 管道最小设计流速 1.2～2.3 m/s。当采用钢筋混凝土管时,为 1.0～1.8 m/s。*d*200～2 000 管道的最小设计坡度在 1‰～9‰,管径越小,最小设计坡度越大,反之亦然。

4　结语

陕北沟壑区管道泥沙具有含量高等特点,最小设计流速和最小设计坡度应高于现行的排水管道设计流速和最小设计坡度值,考虑到工程施工、运行管理与造价等因素,在坡度敷设有困难时,在设计时需要考虑有效的防止管道中泥沙淤积的措施,如设置沉泥井、改善出水口设计、设置合理的雨水箅、适当的地方设置钢丝网、设置水力冲刷装置等,因此,需要加强防淤和清淤方面的研究工作。

参考文献

1　邓培德. 城市排水沟道中泥沙运动流速分析. 给水排水,2000,26(6):19～22

2　Verbanck M A, Ashley R M, Backoc A. International workshop on origin, occurrence and behaviour of sediments in sewer systems; summary and conclusions. Wat Res, 1994, 28(1):187～194

3　Butler D, May R W P, Ackers J C. Sediment transport in sewers part 1: background. Pro Instn Civ Engrs Wat Mant & Energy, 1996, 118(6):102～113

4　刘成,何耘,韦鹤平. 城市排水管道泥沙问题浅议. 给水排水,1999,25(12):7～13

5　Nalluri C, Ab Ghani A, El-Zaemey A K S, Sediment transport over deposited beds in sewers, Water Sci Tech, 1994, 29 (1-2): 125～133

6　Ackers P. Sediment aspects of drainage and outfall design. Environmental Hydraulics, Lee & Cheung(eds), 1991, 19～30

& 电话:(029) 82205455
E-mail:xiongjiaqing@xauat.edu.cn
收稿日期:2008-11-11

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net