

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.15.019

雨水管道积泥及水力不确定性对过水能力的影响

张子贤, 刘家春

(江苏建筑职业技术学院 建筑智能学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 考察了雨水管道积泥及水力不确定性对其过水能力的影响,导出了管道积泥后过水能力变化率的计算式。计算表明,既有雨水管道在《城镇排水管道与泵站运行、维护及安全技术规程》(CJJ 68—2016)允许的疏通前、后的积泥深度情况下,过水能力将分别下降 20% 以上和近 15%。另外,分别导出了管径、糙率单独变化以及两者均变化时新建雨水管道过水能力变化率的计算式。计算表明,对管径为 100 ~ 1 500 mm 的新建雨水管道,在《混凝土和钢筋混凝土排水管》(GB/T 11836—2009)规定的管径允许负偏差情况下,相应过水能力的变化率为 -19.9% ~ -1.8%;当管径的允许负偏差与糙率的常见变化或与管道允许积泥深度组合出现时,均将使过水能力下降的幅度更大,最大值达 40%。上述结果表明,按现行的水力设计方法无法实现雨水管道的预期功能。因此,对既有雨水管道,建议减小允许积泥深度,并加强维护与管理;对新建雨水管道,建议修订管径的允许负偏差,并改进水力设计方法。

关键词: 雨水管道; 积泥深度; 管径允许偏差; 水力不确定性; 过水能力

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)15-0115-06

Effects of Silt and Hydraulic Uncertainty on Discharge Capacity of Storm Sewer

ZHANG Zi-xian, LIU Jia-chun

(School of Building Intelligence, Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Effects of silt and hydraulic uncertainty on the discharge capacity of storm sewer were investigated, and the formula for calculating the change rate of storm sewer discharge capacity after silt deposition was derived. Under the condition of the allowable silt depth before and after dredging in *Technical Specification for Operation, Maintenance and Security of Sewers & Channels and Pumping Stations in City and Town* (CJJ 68 - 2016), the discharge capacity of the existing storm sewer decreased by more than 20% and nearly 15%, respectively. The formulas for calculating the change rate of new storm sewer discharge capacity in the case of the diameter and roughness change separately and simultaneously were derived, respectively. For new storm pipes with diameter of 100 - 1 500 mm, the change rate of the corresponding discharge capacity was between -19.9% and -1.8% under the condition of allowable negative deviation of pipe diameter stipulated in *Concrete and Reinforced Concrete Sewer Pipes* (GB/T 11836 - 2009). When the allowable negative deviation of pipe diameter combined with the common variation of roughness or the allowable pipe silt depth appeared, the decreasing range of

基金项目: 住房和城乡建设部科学技术项目(2015 - K7 - 009)

the discharge capacity became larger, and the maximum value reached 40%. The results showed that the current hydraulic design method could not realize the expected function of storm sewer. Therefore, it was suggested to reduce the allowable silt depth and strengthen the maintenance and management for existing storm sewers, revise the allowable negative deviation of pipe diameter and improve the hydraulic design method for new storm sewers.

Key words: storm sewer; silt depth; allowable deviation of pipe diameter; hydraulic uncertainty; discharge capacity

在进行城镇雨水管道水力设计时,设计目的是,当发生小于或等于设计重现期的降雨时,雨水管道能够排泄相应的设计流量 Q_0 ,且不发生漫溢。但当雨水管道积泥后,其过水能力 Q 必定小于设计流量 Q_0 ,因而不能实现预定功能。在雨水管道的设计、制造及运行环节,影响过水能力的各水力因子(管径或过水断面面积、糙率、底坡)具有不确定性,通常称为水力不确定性。按现行的水力设计方法,未考虑水力不确定性对雨水管道过水能力 Q 的影响,认为 $Q = Q_0$,这势必也会导致设计出的雨水管道不能实现其预定功能。

在降雨导致城镇积水或内涝的诸多原因中,雨水管道未达到预定功能则是其中之一,应当引起足够的重视。为此,本研究分析了雨水管道积泥以及水力不确定性对其过水能力的影响,并针对《城镇排水管道与泵站运行、维护及安全技术规程》(CJJ 68—2016)和《混凝土和钢筋混凝土排水管》(GB/T 11836—2009)中规定的有关技术指标,以及各水力因子客观存在的不确定性,计算过水能力的变化率。基于理论分析与计算成果,针对现状雨水管道水力设计、制造和运行中有关水力要素不一致的事实,提出建议与措施,以期对雨水管道的水力设计、制造与运行管理提供依据。

1 既有雨水管道积泥对过水能力的影响

1.1 积泥后过水能力变化率的计算式

设计条件下雨水管道的水力计算常按满流无压均匀流计算,常用的断面形式大多为圆形,以此种情况为例进行研究,其计算式为:

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} = 0.3117 D^{8/3} \frac{1}{n} I^{1/2} \quad (1)$$

式中: A 为过水断面面积; R 为水力半径; n 为管道糙率; I 为水力坡度; D 为管径。与设计流量 Q_0 相对应的设计管径、糙率和水力坡度分别记作 D_0 、 n_0 、 I_0 。在本研究中,各水力因子和过水能力的变

化,均是与其各自的设计值进行比较。现针对常用的钢筋混凝土圆管雨水管道,分析其积泥后过水能力变化率的计算式。

如图1所示,积泥断面和过水断面均为弓形,各几何要素和水力要素不能再按圆管进行计算。设积泥深度即弓形高为 h 、弦长为 b ,积泥断面相应的圆心角为 θ (弧度)。

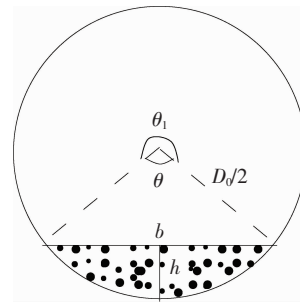


图1 管道积泥示意

Fig. 1 Schematics of silt in pipe

由弓形几何要素公式可得:

$$\frac{h}{D_0} = \sin^2 \frac{\theta}{4} \quad (2)$$

$$b = D_0 \sin \frac{\theta}{2} \quad (3)$$

积泥后过水断面面积 A_1 、水力半径 R_1 、过水能力 Q_1 的计算式分别为:

$$A_1 = \frac{1}{8} D_0^2 (\theta_1 - \sin \theta_1) \quad (4)$$

$$R_1 = \frac{1}{4} D_0 \left(1 - \frac{\sin \theta_1}{\theta_1} \right) \quad (5)$$

$$Q_1 = A_1 R_1^{2/3} \frac{1}{n_z} I_0^{1/2} = \frac{D_0^2}{8} (\theta_1 - \sin \theta_1) \left[\frac{D_0}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta_1}{\theta_1} \right) \right]^{2/3} \frac{1}{n_z} I_0^{1/2} \quad (6)$$

式中: θ_1 为过水断面相应的圆心角,如图1所示, $\theta_1 = 2\pi - \theta$; n_z 为积泥后过水断面相应的综合糙率, $n_z = n_0 + \Delta n = n_0 (1 + \Delta n / n_0)$, Δn 为管道积泥后

糙率的变化量。

设管道积泥使过水能力减小 ΔQ_{An} , 导致过水能力的变化率为:

$$\frac{\Delta Q_{An}}{Q_0} = \frac{Q_1 - Q_0}{Q_0} \quad (7)$$

利用式(1)、式(6)及式(7), 分析可得雨水管道积泥后过水能力变化率的计算式为:

$$\frac{\Delta Q_{An}}{Q_0} = \frac{(\theta_1 - \sin\theta_1)^{5/3}}{2\pi\theta_1^{2/3}(1 + \frac{\Delta n}{n_0})} - 1 \quad (8)$$

1.2 规程中积泥深度的规定与积泥现状

《城镇排水渠与泵站运行、维护及安全技术规程》(CJJ 68—2016)规定, 排水渠的允许积泥深度为管内径(即水力计算时的管径 D_0 , 以下统称管径)或渠净高度的 $1/5$; 疏通清捞养护质量标准: 疏通后积泥深度不应超过管径或渠净高的 $1/8$ 。在下文中, 积泥深度用相对值 h/D_0 表示。

目前国内外众多城市的排水管道都存在不同程度的堵塞淤积问题^[1]。北京市城区某区域雨水管道沉积物状况调查表明, 调研区域内近 80% 的雨水管道存在不同程度的沉积现象, 积泥深度最大值为 66.7%; 在所调研的雨水管道中, 4.16% 的管道积泥深度 > 50%, 41.67% 的管道积泥深度为 10% ~ 30%^[2]。天津市中心城区排水系统沉积物状况调查发现, 研究区域内约 65% 的排水管道存在沉积物(积泥深度为 3% ~ 20%); 调查管径 ≤ 600 、700、800、900 ~ 1 200、 $\geq 1 300$ mm, 相应沉积物平均厚度分别为 3、9、12、20、16 cm^[3], 可计算出上述管径范围的平均积泥深度在 5% ~ 20% 之间。广州市某区域雨水管道沉积物状况调查发现, 该区域积泥深度为 3% ~ 20%、> 20% 的雨水管道分别占 36.7%、11.7%, 甚至存在积泥深度达 70% 的情况^[4]。潘伟亮等^[5]调查发现, 重庆市沙坪坝区主城排水管道中普遍存在不同程度的沉积现象。吴慧英等^[6]列出 G 市不同管径的 28 根雨水管道两场降雨的实测淤积深度, 其中, 积泥深度为 11% ~ 20% 的雨水管道占 43%。实际上, 我国排水管道的管理运行水平不及上述直辖市或省会城市的城镇应该不在少数。

基于规程 CJJ 68—2016 中对排水渠允许积泥深度的规定, 以及当前我国许多城市的排水系统几乎都存在不同程度沉积物淤积的事实^[1-6], 充分说明大多数排水渠的实际过水断面小于设计过水

断面、实际糙率大于设计糙率, 这必然降低排水管道的过水能力和系统的排水效率。

1.3 综合糙率及过水能力变化率的计算

设排水管道积泥后钢筋混凝土壁面湿周为 χ_1 ; 积泥壁面的湿周为 χ_2 , 即图 1 中所示弦长 b 。 χ_1 和 χ_2 的计算式分别为:

$$\chi_1 = \theta_1 D_0 / 2 = \pi D_0 - \theta D_0 / 2 \quad (9)$$

$$\chi_2 = b = D_0 \sin \frac{\theta}{2} \quad (10)$$

依据 2016 年版的《室外排水设计规范》(GB 50014—2006), 钢筋混凝土壁面糙率为 0.013 ~ 0.014, 目前设计时一般取糙率 $n_0 = 0.013$ 。以下分别按运行时钢筋混凝土壁面糙率 $n_{1,1} = n_0 = 0.013$ 、 $n_{1,2} = 0.014$ 两种情况计算。图 1 中积泥壁面按土明渠壁面处理, 依据现行的《室外排水设计规范》, 该壁面糙率为 0.025 ~ 0.030, 保守起见, 按该壁面糙率 $n_2 = 0.025$ 计算。关于积泥后过水断面相应综合糙率 n_z 的计算, 可采用加权平均值公式和巴甫洛夫斯基公式, 经计算, 两个公式求得的 n_z 结果非常接近。有学者认为^[7], 当 $n_{\max}/n_{\min} < 1.5 \sim 2.0$ 时(n_{\max} 、 n_{\min} 分别为壁面周界各部分糙率中的最大值和最小值), 采用加权平均值公式比较合适。由于本研究中 $n_2/n_{1,1} = 0.025/0.013 = 1.92$ 、 $n_2/n_{1,2} = 0.025/0.014 = 1.79$, 故采用加权平均值公式计算 n_z , 即:

$$n_z = \frac{\sum n_i \chi_i}{\sum \chi_i} \quad (11)$$

当求得综合糙率 n_z 后, 则可计算式(8)中 $\Delta n = n_z - n_0$ 。

对规程 CJJ 68—2016 中规定的疏通前、后的允许积泥深度, 即 $h/D_0 = 1/5$ 、 $h/D_0 = 1/8$, 及当前许多城市排水系统中常见的积泥深度 $h/D_0 = 1/20$ ^[2-4] 进行计算。由式(2)计算圆心角 θ , 并计算 θ_1 ; 由式(9)、式(10)分别计算 χ_1 和 χ_2 ; 对钢筋混凝土壁面, 按运行时糙率 $n_{1,1} = n_0 = 0.013$ 、 $n_{1,2} = 0.014$ 两种情况, 由式(11)和式(8)分别计算相应的综合糙率与过水能力变化率, 并分别记作 n_{z1} 与 $\Delta Q_{An1}/Q_0$ 、 n_{z2} 与 $\Delta Q_{An2}/Q_0$, 结果见表 1。可知, 当管道中出现规程 CJJ 68—2016 的允许积泥深度(管径的 $1/5$)时, 将导致过水能力下降超过 20%; 当疏通后积泥深度为规程 CJJ 68—2016 的允许积泥深度(管径的 $1/8$)时, 将导致过水能力下降近 15%。根据北京、天津等城市的调查结果发现^[2-4], 实际积泥深度还存在

大于规程 CJJ 68—2016 中允许积泥深度的现象。我国众多城镇的排水管道养护工作远远满足不了实际需要,甚至都没有养护队伍^[8]。实际上,排水管

道的管理运行水平不及北京、天津等城市的城镇应该不在少数。因此,城镇排水管道由于积泥而导致过水能力下降的问题是比较严重的。

表1 不同积泥深度相对应的综合糙率与过水能力变化率计算结果

Tab.1 Calculation results of comprehensive roughness and change rate of discharge capacity corresponding to different silt depths

h/D_0	θ/rad	θ_1/rad	χ_1/m	χ_2/m	钢筋混凝土壁面 运行时糙率 $n_{1,1} = n_0 = 0.013$			钢筋混凝土壁面 运行时糙率 $n_{1,2} = 0.014$		
					n_{z1}	$\frac{\Delta n_1}{n_0}/\%$	$\frac{\Delta Q_{An1}}{Q_0}/\%$	n_{z2}	$\frac{\Delta n_2}{n_0}/\%$	$\frac{\Delta Q_{An2}}{Q_0}/\%$
1/5	1.855	4.428	$2.214D_0$	$0.800D_0$	0.016	23.08	-20.6	0.017	30.80	-25.3
1/8	1.445	4.838	$2.419D_0$	$0.661D_0$	0.016	23.08	-14.6	0.016	23.10	-14.6
1/20	0.902	5.381	$2.691D_0$	$0.436D_0$	0.015	15.38	-6.9	0.016	23.10	-12.7

综上所述,尽管雨水管道运行中难以避免积泥,但规程 CJJ 68—2016 中的允许积泥深度导致过水能力下降值较大,因此,建议该规程中适当减小允许积泥深度,并加强既有雨水管道的维护与管理。

2 新建雨水管道过水能力的研究

2.1 水力不确定性影响过水能力的基本公式

设管径、糙率的变化量分别为 ΔD 、 Δn ,则变化后的管径、糙率分别为 $D_0(1 + \Delta D/D_0)$ 、 $n_0(1 + \Delta n/n_0)$ 。由管径、糙率各自的变化而导致过水能力的变化率分别记作 $\Delta Q_D/Q_0$ 、 $\Delta Q_n/Q_0$ 。根据式(1)进行分析,并利用微分中的近似计算式:当 $|\Delta x|$ 较小时, $\sqrt[n]{1 + \Delta x} \approx 1 + \Delta x/n$, $1/(1 + \Delta x) \approx 1 - \Delta x$,可得管径与糙率各自变化导致过水能力的变化率分别为:

$$\frac{\Delta Q_D}{Q_0} = \left(1 + \frac{\Delta D}{D_0}\right)^{8/3} - 1 \approx \frac{8}{3} \frac{\Delta D}{D_0} \quad (12)$$

$$\frac{\Delta Q_n}{Q_0} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta n}{n_0}} - 1 \approx -\frac{\Delta n}{n_0} \quad (13)$$

式(12)、式(13)中约等号部分旨在表述更为直观的结论。因此,过水能力的变化率分别约为管径、糙率变化率的 $8/3$ 倍和 -1 倍。例如,设计中若糙率取值为 0.013 ,而实际运行时为 0.015 (变化量很小),其增大 15.38% (变化率很大),将导致过水能

力降低约 15.38% (变化率很大),这就是糙率对过水能力影响很大的原因。

设管径与糙率同时变化导致的过水能力变化率为 $\Delta Q_{Dn}/Q_0$,则可导出:

$$\frac{\Delta Q_{Dn}}{Q_0} = \left(1 + \frac{\Delta D}{D_0}\right)^{8/3} \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta n}{n_0}\right)} - 1 \approx \frac{8}{3} \frac{\Delta D}{D_0} - \frac{\Delta n}{n_0} \quad (14)$$

由式(14)中约等号部分可直观看出, $\Delta Q_{Dn}/Q_0$ 约为管径与糙率分别变化所导致过水能力变化率的叠加。

2.2 水力不确定性与积泥影响的应用研究

2.2.1 管径允许偏差导致过水能力的变化率

雨水管道制造时的公称内径,也即水力计算时的管径,为与水力计算中“管径”术语相统一,以下将管道制造时的公称内径也称为管径。在现行规范 GB/T 11836—2009 中,不同类型接口的管道,当管径相同时,规定的管径允许偏差是相同的。因此,本研究所得结论适用于不同类型接口的雨水管道。针对大型管道及其以下规模相应的管径范围 $100 \sim 1\,500\text{ mm}$,利用式(12)的等号部分计算管径允许偏差导致过水能力的变化率,结果见表2。

表2 管径的允许偏差导致过水能力的变化率

Tab.2 Change rate of discharge capacity caused by allowable deviation of pipe diameter

管径/mm	允许负、正偏差/mm	允许负偏差		允许正偏差	
		$\frac{\Delta D}{D_0}/\%$	$\frac{\Delta Q_D}{Q_0}/\%$	$\frac{\Delta D}{D_0}/\%$	$\frac{\Delta Q_D}{Q_0}/\%$
100 ~ 800	-8, 4	-8.0 ~ -1.0	-19.9 ~ -2.6	4.0 ~ 0.5	11.0 ~ 1.3
900 ~ 1 500	-10, 6	-1.1 ~ -0.7	-2.9 ~ -1.8	0.7 ~ 0.4	1.8 ~ 1.1

对管径为 $100 \sim 1\,500\text{ mm}$ 的雨水管道,表2中

的结果表明,当管径出现允许负偏差时,过水能力将

降低 19.9% ~ 1.8% (管径越小,过水能力下降越大)。现行的水力设计方法未考虑管径的偏差,这意味着仅由制造环节则可导致管道的过水能力小于设计流量,并且,该规范规定管径允许负偏差的绝对值大于允许正偏差,这对排水是不利的。

2.2.2 两种组合出现时导致过水能力的变化率

以下针对实际中容易出现的两种组合,分别计算其导致的过水能力变化率。

组合 1:管径允许负偏差与糙率的常见变化组合。基于规范 GB/T 11836—2009,实际中必定存在管径偏差等于允许负偏差的情况;依据 2016 年版《室外排水设计规范》(GB 50014—2006),钢筋混凝土壁面糙率为 0.013 ~ 0.014,目前在设计时一般取 $n_0 = 0.013$,而运行时糙率 $n = 0.014$,或者运行时糙率增大为 0.015,这两种情况在实际中较常见。当管径出现允许负偏差与上述糙率的两种变化组合时,根据式(14)等号部分计算过水能力变化率,分别记作 $\Delta Q_{Dn1}/Q_0$ (设计 $n_0 = 0.013$,运行 $n = 0.014$)、 $\Delta Q_{Dn2}/Q_0$ (设计 $n_0 = 0.013$,运行 $n = 0.015$),其结果如表 3 所示。

表 3 组合 1 出现时导致过水能力的变化率

Tab.3 Change rate of discharge capacity caused by combination one

管径/mm	$\frac{\Delta D}{D_0}/\%$	$\frac{\Delta Q_{Dn1}}{Q_0}/\%$	$\frac{\Delta Q_{Dn2}}{Q_0}/\%$
100	-8.00	-25.66	-30.61
200	-4.00	-16.72	-22.27
300	-2.67	-13.60	-19.36
400	-2.00	-12.01	-17.88
500	-1.60	-11.05	-16.98
600	-1.33	-10.41	-16.38
700	-1.14	-9.95	-15.95
800	-1.00	-9.60	-15.63
900	-1.11	-9.87	-15.88
1 000	-1.00	-9.60	-15.63
1 100	-0.91	-9.38	-15.42
1 200	-0.83	-9.19	-15.25
1 350	-0.74	-8.97	-15.03
1 400	-0.71	-8.90	-14.97
1 500	-0.67	-8.78	-14.87

组合 2:管径允许偏差与管道允许积泥深度组合。由于规范 GB/T 11836—2009 规定了管径的允许偏差、规程 CJJ 68—2016 规定了管道的允许积泥深度,因而客观上存在组合 2 对过水能力影响的情

况。将管径出现允许偏差导致的 $\Delta Q_D/Q_0$ 与管道出现允许积泥深度导致的 $\Delta Q_{An}/Q_0$ 相加,即得组合 2 相应的 $\Delta Q/Q_0$ 。表 4 中的 $\Delta Q/Q_0$ 由表 2 中 $\Delta Q_D/Q_0$ 与表 1 中 $\Delta Q_{An1}/Q_0$ 相加所得(同理,可与 $\Delta Q_{An2}/Q_0$ 相加,导致过水能力下降更大,具体数据文中略)。结果表明,对于 100 ~ 1 500 mm 的管径,当管径允许负偏差分别与管道允许积泥深度为管径的 1/5、1/8 组合出现时,将分别导致过水能力下降 40.5% ~ 22.4%、34.5% ~ 16.4% (管径越小,过水能力下降值越大);即使管径出现允许正偏差,与淤积后的允许积泥深度组合出现时,仍将导致过水能力下降 3.6% ~ 13.5% (管径越小,过水能力下降值越小)。

表 4 组合 2 出现时导致过水能力的变化率

Tab.4 Change rate of discharge capacity caused by combination two

$\frac{\Delta Q_D}{Q_0}/\%$ (相应管径为 100 ~ 1 500 mm)		h/D_0	$\frac{\Delta Q_{An1}}{Q_0}/\%$	$\frac{\Delta Q}{Q_0}/\%$ (相应管径为 100 ~ 1 500 mm)	
管径允许负偏差	管径允许正偏差			管径允许负偏差	管径允许正偏差
-19.9 ~ -1.8	11.0 ~ 1.1	1/5	-20.6	-40.5 ~ -22.4	-9.6 ~ -19.5
-19.9 ~ -1.8	11.0 ~ 1.1	1/8	-14.6	-34.5 ~ -16.4	-3.6 ~ -13.5

由表 3 和表 4 可知,对于新建雨水管道,按现行的水力设计方法,无法应对管道制造偏差、糙率的常见变化与运行中管道积泥对过水能力的影响,实际过水能力远小于设计流量,故无法实现雨水管道的预期功能。

3 结论与建议

① 针对常见的圆形断面雨水管道,导出了过水能力的变化率与管道积泥后各影响因子的关系式。对既有雨水管道,计算表明,当出现规程 CJJ 68—2016 中规定的允许积泥深度和疏通后的允许积泥深度时,过水能力将分别下降 20% 以上和近 15%,均远小于设计流量,故该规程中规定的允许积泥深度是偏大的。另一方面,有关城市雨水管道积泥数据表明,我国大多数既有雨水管道因积泥而无法达到其预定功能,特别是相当一部分既有雨水管道的实际积泥深度等于甚至超过了该规程中规定的允许积泥深度。因此,建议适当减小现行规程 CJJ 68—2016 中规定的允许积泥深度,并加强既有雨水管道的维护和管理。

② 分别导出了圆形断面雨水管道管径、糙率单独变化以及同时变化时过水能力变化率的计算公式,同时指出了现行规范 GB/T 11836—2009 中规定的管径允许负偏差的不足之处。对于管径为 100 ~ 1 500 mm 的新建雨水管道,计算表明,在该规范规定的管径允许负偏差情况下,相应过水能力的变化率为 $-19.9\% \sim -1.8\%$;当管径的允许负偏差与糙率的常见变化或与管道允许积泥深度组合出现时,均将使过水能力下降的幅度更大,最大值达 40%。而现行的水力设计方法,未考虑客观存在的水力不确定性与管道积泥等的影响,因而无法实现雨水管道的预定功能。因此,提出如下建议:a. 将现行规范 GB/T 11836—2009 中管径的允许偏差修订为对称的正负允许偏差,并取允许负偏差的绝对值等于目前规定的允许正偏差;b. 在雨水管道水力设计时考虑未来管道积泥及水力不确定性,采用基于可靠性的水力设计方法或能够应对管道制造与运行等环节中不利影响的设计方法,以便将雨水管道的水力设计与其制造及运行联系起来,实现设计目的以及雨水排除的提质增效。

③ 城镇雨水管道建成后要服务几十年,其功能的实现是一个复杂的系统工程,需要设计、制造与运行管理等方面通力协作。基于制造环节管径存在负偏差、运行时管道糙率将增大与存在积泥等事实,以及我国雨水管道的管理现状,本研究所列各种组合在实际中较常见,由此所导致的管道过水能力的下降是比较严重的,希望能引起足够的重视。

参考文献:

- [1] 王俊岭,杨明霞,张亚琦,等. 排水管道堵塞试验及影响因素分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(6): 2305–2311.
WANG Junling, YANG Mingxia, ZHANG Yaqi, *et al.* Drainage pipe blockage test and analysis of influencing factors[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(6): 2305–2311 (in Chinese).
- [2] 李海燕,梅慧瑞,徐波平. 北京城市雨水管道中沉积物的状况调查与分析[J]. 中国给水排水, 2011, 27(6): 36–39.
LI Haiyan, MEI Huirui, XU Boping. Investigation and analysis of storm sewer sediments in Beijing[J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(6): 36–39 (in Chinese).
- [3] 周英,徐瑾,侯齐敏. 天津市排水系统沉积物的沉积状况及影响因素[J]. 中国给水排水, 2018, 34(17): 116–118.
ZHOU Ying, XU Jin, HOU Qimin. Sedimentary condition and influence factors of sediments in drainage system of Tianjin City[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(17): 116–118 (in Chinese).
- [4] 张伟,余健,李葳,等. 广州市排水管道沉积现状研究分析[J]. 给水排水, 2012, 38(7): 147–150.
ZHANG Wei, YU Jian, LI Wei, *et al.* Research and analysis on the current situation of drainage pipeline deposition in Guangzhou [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(7): 147–150 (in Chinese).
- [5] 潘伟亮,何强,李果,等. 重庆市主城区排水管道沉积物性质研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(6): 1485–1490.
PAN Weiliang, HE Qiang, LI Guo, *et al.* Study on characteristics of sewer sediments in a mountainous city [J]. China Environmental Science, 2014, 34(6): 1485–1490 (in Chinese).
- [6] 吴慧英,江凯兵,李天兵,等. 排水管道泥沙淤积深度估算方法研究[J]. 中国给水排水, 2020, 36(1): 117–122.
WU Huiying, JIANG Kaibing, LI Tianbing, *et al.* Estimating method of sediment deposition depth in drainage pipeline[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(1): 117–122 (in Chinese).
- [7] 李炜. 水力计算手册[M]. 2版. 北京:中国水利水电出版社, 2006.
LI Wei. Handbook of Hydraulic Calculation [M]. 2nd ed. Beijing: China Water & Power Press, 2006 (in Chinese).
- [8] 唐建国,张悦,梅晓洁. 城镇排水系统提质增效的方法与措施[J]. 给水排水, 2019, 45(4): 30–38.
TANG Jianguo, ZHANG Yue, MEI Xiaojie. Strategies and methods for improving the quality and efficiency of the urban drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(4): 30–38 (in Chinese).

作者简介:张子贤(1958—)女,河北丰南人,本科,教授,从事水利工程、给水排水工程技术等专业的教学与研究工作。

E-mail: zzzxian66@126.com

收稿日期: 2020-04-29

修回日期: 2020-05-31

(编辑:刘贵春)