

采用概率法计算生活排水管道设计秒流量

陈和苗, 马林海, 毛科峰, 蔡瑞环

(宁波市建筑设计研究院有限公司, 浙江 宁波 315012)

摘要: 提出采用概率法计算生活排水管道设计秒流量。把水流在管道内的行为模拟为绳子下落或火车行驶,论述了卫生器具的排水概率的计算方法。运用泊松分布模型计算排水设计秒流量,分别采用积分计算和正态分布逼近来构建设计秒流量的计算公式。分析了保证率、卫生器具使用频率、水流实际形态等因素对排水设计秒流量的影响。对概率法、《建筑给水排水设计规范》中的平方根法、美日概率法进行了对比分析,结果表明,采用概率法计算生活排水设计秒流量科学、准确、简洁且便于使用。

关键词: 生活排水管道; 设计秒流量; 概率法

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)02-0070-12

Calculation of Design Flow in Domestic Sewer by Probability Method

CHEN He-miao, MA Lin-hai, MAO Ke-feng, CAI Rui-huan

(Ningbo Architecture Design and Research Institute Co. Ltd., Ningbo 315012, China)

Abstract: A probability method for calculation of design flow of domestic sewer was introduced. The behavior of sewage flow in the sewer was modeled as a falling rope or a running train. The calculation method for the drainage probability of plumbing fixture was discussed. The drainage design flow was calculated using the Poisson distribution model, and the calculation formula of design flow was created by the integral calculation and the normal distribution approach. Factors affecting the design flow, including guarantee rate, usage frequency of fixture, the actual flow morphology and others were analyzed. It is concluded that the proposed probability method is scientific, accurate, simple and feasible after comparative analysis with the square-root method from the *Code for Design of Building Water Supply and Drainage* and the probability method used in the US and Japan.

Key words: domestic sewer; design flow; probability method

1 我国排水设计秒流量公式存在的问题

建筑排水管道的设计流量是确定各管段管径的依据,是排水系统中最重要的技术参数之一。《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003, 2009年版,以下简称《建水规》)所列计算式(4.4.5)为住宅、宾馆、医院、旅馆和其他公共建筑内的生活排水管道的设计秒流量计算公式,谓平方根公式,由斯维什尼科夫(亦译为斯威史尼考夫,以下简称斯氏)所提出,载于19世纪50年代前苏联设计规范。现行的俄罗斯规范已经摒弃此公式。

业内普遍认为《建水规》计算所得的设计秒流量值偏小,以至于所选用的排水立管管径偏小。以33层高层住宅厨房排水管为例,按每个洗涤盆1个当量计算,设计秒流量为1.34 L/s,只需DN75普通排水立管,显然偏小;如对大于40层住宅的厨房的给水、排水进行秒流量计算,所得的排水设计秒流量会小于给水设计秒流量,令人不解。

排水系统的大便器、洗涤盆、浴盆等因为排水口有塞,因而卫生器具的瞬时排水流量,大于其对应的瞬时给水流量。按生活给水上的概念,最高日流量

<最大时流量<设计秒流量,考察时间越短暂则流量越大。在排水系统也存在此概念,且因为排水系统的考察时间(即高峰负荷的持续时间)可认为是10 s,相比给水设计秒流量的5 min持续时间更为短暂,理应排水秒流量为更大。

《建水规》中的生活给水,已经采用概率法计算。概率法计算生活给水设计流量科学、准确,由概率法计算的流量与实测流量相符。建筑排水与给水都是通过卫生器具来完成,给水是卫生器具对水的接收,排水是卫生器具对水的排出,它们的工作是相辅相成,不可分割的,因此排水设计秒流量的计算方法完全可以采用概率法计算。

2 概率法计算的模型选择

人们何时使用何种卫生器具属随机事件,符合离散型随机变量的一般特征。正态分布、二项分布、泊松分布都是描述离散变量的概率分布。

笔者采用泊松分布来计算排水设计秒流量。从理论与实际计算可知,按泊松分布计算所得的排水设计秒流量,大于按二项分布计算所得。

3 模型的建立

3.1 卫生器具的排水特性

假如有一幢 n 层的住宅类高层建筑,层数为 3 m,每层有 1 户,每户含有一个卫生间[一个洗脸盆、一个淋浴器(或浴盆)和一个大便器]、一个家用洗衣机、一个厨房用洗涤盆。当一户内存在多个卫生间或多个厨房时,按一卫一厨计;或当一户多层时,按每户一层计。此举把原可能分散排入多条排水管的排水,简化为排入一条卫生间排水管或厨房排水管;或人为增加每个卫生间的使用人数。显然按此简化计算所得的设计秒流量数值较大、比较可靠。取每个卫生间的服务人口数为 4 人;超过 4 人的住宅,往往有多个卫生间。有些人数超过 4 人而只有一个卫生间的家庭,往往有人错峰使用卫生间。卫生器具排水流量见表 1。表 1 依据张森数据^[1],补充了淋浴器数据。不同的季节高峰时段存在变化,统一按夏季考虑,因为夏季容易产生最大日的给水流量、给水设计秒流量,理应产生排水设计秒流量。根据张森的数据 6:00—7:00 是一天中卫生间排水高峰期,卫生间排水立管的最大流量,应该产生于此时段,因此模型仅考虑此一小时内卫生器具的排水情况。厨房等排水立管最大的排水设计秒流量应该产生于其他时段。

表 1 卫生器具排水流量

Tab. 1 Drainage flow rate of plumbing fixture

项 目	排水流量/ (L · s ⁻¹)	一次排 水时 间/s	高峰时段	当量 d	使用概 率 p
大便器	1.50	4	6:00—7:00	4.5	1/150
淋浴器	0.15	333	6:00—7:00	0.45	5/27
洗脸盆	0.25	60	6:00—7:00	0.75	1/30
家用洗衣机	0.50	240	8:00—9:00	1.5	1/15
厨房用洗涤盆	0.33	970	17:00—18:00	1	80/297

按《建水规》,厨房和卫生间的排水立管应分别设置。在此按不同时段、不同卫生器具的组合来计算排水秒流量。

3.1.1 各卫生器具在高峰排水时段的排水概率

① 大便器的高峰排水概率 p 的确定

按使用习惯在 6:00—7:00,每人完成一次便溺后冲洗。

综合考虑以上因素,得到确定 p 的计算公式:

$$p = \frac{\beta \cdot t \cdot s \cdot r}{T \cdot 3600} \quad (1)$$

式中 t ——大便器单次排水时间, s

s ——大便器用水高峰时间段人均使用次数,次/人

r ——每户使用人数

β ——考虑有可能二次冲洗的安全系数

T ——用水高峰时间长度, h

$t = 4$ s, $s = 1$ 次/人, $r = 4$, $\beta = 1.5$, $T = 1$ h。考虑有 50% 的冲厕需要二次补充冲洗,故取 $\beta = 1.5$ 。计算得 $p = 1/150$ 。

这个概率 p 是排水流出大便器的概率;此处尚不能证明等同于最终与其他排水水流交汇形成排水设计秒流量的概率。

② 淋浴器、洗脸盆、浴盆高峰概率排水 p

不考虑此两类器具的二次排水问题,即 $\beta = 1$ 。

考虑一户内有 2 人晨起淋浴,另外 2 人洗脸。因为 4 人中有 2 人使用,故 $s = 2/4 = 0.5$ 。

参照坐便器的排水概率计算法,淋浴器耗水 50 L, $t = \frac{50}{0.15} = 333$ s, $s = 0.5$ 次/人, $r = 4$, $\beta = 1$, $T = 1$ h。经计算得到淋浴器在 6:00—7:00 的 $p = 5/27$ 。

洗脸盆一次排水量为 15 L, $t = \frac{15}{0.25} = 60$ s, $s = 0.5$ 次/人, $r = 4$, $\beta = 1$, $T = 1$ h。经计算得到 $p = 1/30$ 。

浴盆的排水高峰在 20:00—22:00, 4 人中有 2 人盆浴。一次排水量为 125 L, $t = 125/1 = 125$ s, $s = 0.5$ 次/人, $r = 4$, $\beta = 1$, $T = 1$ h。经计算得到 $p = 5/72$ 。

③ 洗衣机高峰概率排水 p 的确定

洗衣机的排水高峰为 8:00—9:00, 洗衣用水量占生活用水量的 12%^[2]。按人均用水定额为 250 L 计, 洗衣机的排水量为 $250 \times 12\% = 30$ L。假定洗衣排水都在此时段内完成。 $t = 30/0.5 = 60$ s, $s = 1$ 次/人, $r = 4$, $\beta = 1$, $T = 1$ h。经计算得到 $p = 1/15$ 。

④ 厨房洗涤盆高峰排水概率 p 的确定

厨房洗涤盆的排水高峰为 17:00—18:00, 厨房用水量占生活用水量的比例为 32%^[2]。按人均用水定额为 250 L 计, 厨房洗涤盆的排水量为 $250 \times 32\% = 80$ L。假定厨房排水都在此时段内完成。 $t = 80/0.33 = 242$ s, $s = 1$ 次/人, $r = 4$, $\beta = 1$, $T = 1$ h。经计算得到 $p = 80/297$ 。

⑤ 其他排水概率 p 的确定

除上述生活排水外, 尚有洗脚排水、拖地排水, 也有可能在厨房洗涤盆处洗脸。一般洗脚、拖地排水倒入大便器, 其排水时段不在 6:00—7:00 大便器的高峰排水时段内, 不会参与大便器系统的排水设计秒流量。同理在厨房洗涤盆处的洗脸排水, 不会参与厨房洗涤盆的排水设计秒流量, 因而不计算此类排水的概率。

3.1.2 各卫生器具在非高峰排水时段的排水概率

大便器排水的高峰时段为 6:00—7:00, 此时不可能会有洗衣机、浴盆的排水汇入。

在洗衣机排水高峰时段 8:00—9:00, 可能有大便器、洗脸盆、淋浴、浴盆的排水排入; 此类排水的概率取其高峰时段排水概率的 50%, 如大便器概率为 $1/300$ 。

3.2 排水行为的数学简化

为方便计算, 对排水行为进行了简化, 以大便器排水为例。

横管长度不计入, 即不考虑排水在横管内的行为。经测量大便器排水在立管中的大致平均流速 (均是指垂直下流的流速) 约为 2 m/s, 假设此流速为均匀恒速。即把大便器的排水水流简化为一条绳子。计算表明, 排水设计秒流量与此流速无关。

大便器冲洗水箱容量 $W = 6$ L。假定单股排水在立管内下流时形成的流量, 等同于大便器排水口

排出时的流量 q_d , 即单股排水在立管内的流量为 $q_d = 1.5$ L/s = 0.0015 m³/s, 则一次排水时间 $t_1 = W/q_d = 6/1.5 = 4$ s。

此水环在 DN100 的立管中所占的面积 $S = q_d/v = 0.0015/2 = 0.00075$ m²。

此水环在 DN100 的立管中的大致厚度 $\delta = 0.00075/(\pi \cdot 0.1) = 0.00024$ m = 0.24 mm。

水环 (即绳子) 的长度为 $L = W/S = W/(q_d/v) = W \cdot v/q_d = 0.006 \times 2/0.0015 = 8$ m。

若某建筑物为 n 层, 因为绳子自顶层至底部落下的速度均持续相同, 因而在最低楼层, 交汇的绳子的数量为最多。若交汇的绳子的数量为 m , 则相当于排水设计秒流量 $q_p = 1.5m$ (L/s)。

在建筑排水理论中, 排水立管的允许通水能力与排水在管道截面的充满率有关。因而互相交汇在一起的绳子, 才能组成排水设计秒流量。那些同时发生的水流, 若没有交汇, 则不会组成设计秒流量。

整条绳子从头到尾经过最底层立管时, 所需时间为 $t = L/v = (W \cdot v/q_d)/v = W/q_d = 0.006/0.0015 = 4$ s。

则绳子经过排水点时的概率为 $p_0 = t/3600 = (W/q_d)/3600 = 1/900$ 。

从 p_0 的计算过程可见, 各股水流 (绳子) 交汇在最底层的概率与绳子下落的速度无关, 与建筑物的高度无关, 与排水容积 W 、流量 q_d 有关。若排水在管道内落下时, 其 q_d 变小, 则绳子的长度会变长, 这个规律符合常识, 也被张哲等^[3]验证。

因为每户有 6 次大便器的排水, 因而大便器水流在最底层与其他水流交汇形成排水秒流量的概率 $p = 6p_0 = 1/150$ 。

此处证明得到: 排水流出大便器的概率, 等同于最终与其他排水水流交汇形成排水秒流量的概率。可见表 1 中的概率, 即为各股水流形成排水设计秒流量的概率。

4 概率法计算单一器具排水设计秒流量

4.1 大便器单一器具系统的排水设计秒流量

4.1.1 按泊松分布计算

若排水系统有 n 个大便器, 单个大便器的排水概率为 p 。按泊松分布, 大便器的排水行为服从参数为 λ 的泊松分布, $\lambda = n \cdot p$ 。则在这 n 个大便器中, 有 k 个大便器同时排水的概率为 P :

$$P\{X = k\} = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

λ 既是泊松分布的均值,也是泊松分布的方差;参数 λ 是单位时间(或单位面积)内事件的平均发生次数。对于 n 层的建筑,若认为在高峰排水时段排水 n 次,每次概率为 $p = 1/150$;或对于 n 层的建筑,若认为在高峰排水时段排水 $6n$ 次,每次概率为 $p = 1/900$,两者的设计秒流量计算值相同。

如果确定了保证率 P_m ,由式(2)就可以求出设计用的最大排水器具数 m :

$$\sum_{k=0}^m P\{X = k\} \geq P_m \quad (3)$$

由下式可得排水设计秒流量 q_p :

$$q_p = m \cdot q_d \quad (4)$$

当管道系统只有大便器($p = 1/150$)时,不同保证率下的排水设计秒流量见表 2,绘制为图 1。

表 2 大便器不同保证率 P_m 下的 q_p 值($p = 1/150$, $q_d = 1.5 \text{ L/s}$)

Tab. 2 Design flow q_p of squatting pan under variety guaranteed rate P_m $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$

大便器个数 n	泊松分布 $P_m = 0.99$	泊松分布 $P_m = 0.997$	泊松分布 $P_m = 0.999$	按《建水规》所得流量	概率法通式所得流量	修正的概率法通式所得流量
7	1.5	1.5	3	2.5	2.6	3.5
10	1.5	1.5	3	2.7	2.8	3.7
15	1.5	3	3	3.0	3.1	4.0
20	1.5	3	3	3.2	3.4	4.3
30	3	3	4.5	3.6	3.9	4.8
40	3	3	4.5	3.9	4.3	5.2
50	3	4.5	4.5	4.2	4.7	5.6
60	3	4.5	4.5	4.5	5.0	5.9
80	4.5	4.5	6.0	4.9	5.7	6.6
100	4.5	6.0	6.0	5.3	6.3	7.2

注:《建水规》的计算流量,系按《建水规》式(4.4.5), α 取值为 1.5。概率法计算所得流量系按式(7)计算所得。修正的概率法计算所得流量系按式(8)计算所得。

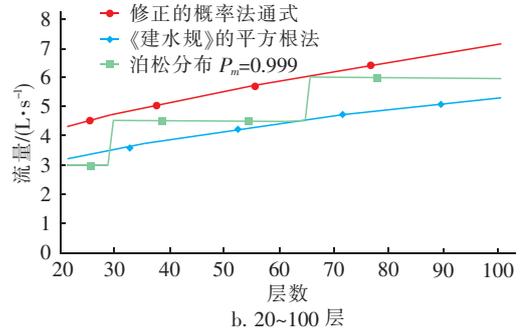
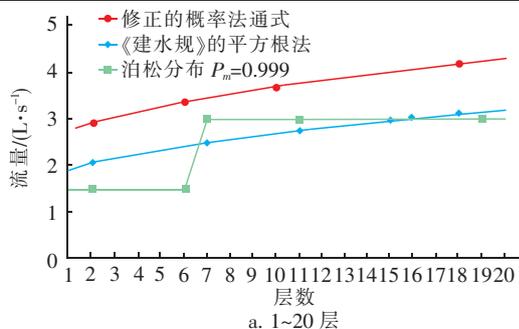


图 1 单一大便器采用概率法与《建水规》方法的对比
Fig. 1 Comparison of design flow on unitary squatting pan between probability method and square-root method

4.1.2 按正态分布的近似计算

按泊松分布的计算式(3)是离散型公式,计算麻烦,使用不便。概率论认为,可分别利用正态分布和泊松分布来近似代替二项分布。可见在一定的条件下或一定的允许误差时,正态分布、泊松分布、二项分布可互相代替计算。

根据棣莫弗-拉普拉斯极限定理,当 N 很大且 $N \cdot p > 5, N \cdot p(1-p) > 5$ 时,服从二项分布 $B(N, p)$ 的随机变量 X 可用正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 近似计算。

采用正态分布近似计算二项分布计算得到^[4]:

$$m = x \sqrt{np(1-p)} + np + 1 \quad (5)$$

x 为正态分布的标准差 σ 的倍数。积分表中查得 P_m 与 x 的关系(见表 3)。

表 3 P_m 与 x 的关系

Tab. 3 Relationship between P_m and x

P_m	0.95	0.99	0.995	0.997	0.999
x	1.645	2.33	2.58	2.75	3.09

若存在 n 个大便器, $p = 1/150, q_d = 1.5 \text{ L/s}$ 。当 $P_m = 0.999, x = 3.09$,数据代入式(5):

$$m = 0.25\sqrt{n} + 0.0067n + 1 \quad (6)$$

式(6)两边乘上卫生器具的额定排水流量 q_d ,则得到单一大便器的排水秒流量计算式:

$$q_p = 0.377\sqrt{n} + 0.01n + q_{\max} \quad (7)$$

按单一大便器通式(7)计算的结果见表 1,绘制图 1。可见,按式(7)计算所得,与按泊松分布 $P_m = 0.999$ 计算所得吻合良好或完全相当;只是在局部数据(在层数 = 30、65 等处)按通式所得小于按泊松分布 $P_m = 0.999$ 计算所得,其差值最大为 0.9 L/s 。造成此差值的原因:①正态分布近似计算二项分布,存在误差;②按二项分布计算的累积概率有时小于

按泊松分布的累积概率。

在式(7) q_{\max} 前乘上一个 > 1 的系数(采用 1.6 q_{\max}),即可解决此问题。

即单一大便器的排水秒流量计算式(单一大便器通式)为:

$$q_p = 0.377\sqrt{n} + 0.01n + 1.6q_{\max} \quad (8)$$

从表 1 可见,按单一大便器流量计算式(8)计算,可达到 $P_m = 0.999$ 的保证率,可靠性很高。式(8)因为是数学通式,便于使用。

4.1.3 与《建水规》计算公式的对比

单个大便器的当量为 4.5,则排水管道中大便器的个数 n ,与总当量数符合 $n = N_p/4.5$ 。

把 $n = N_p/4.5$ 代入式(8)可得:

$$q_p = 0.18\sqrt{N_p} + 0.0022N_p + 1.6q_{\max} \quad (9)$$

《建水规》中第 4.4.5 条规定住宅、旅馆等建筑排水设计秒流量,应按下式计算(a 为根据建筑物种类而定的系数,住宅取 1.5):

$$q_p = 0.12a\sqrt{N_p} + q_{\max} \quad (10)$$

对比式(9)与式(10),可见概率法与平方根法的流量计算所得,大致相当(见表 2)。

4.2 厨房洗涤盆单一器具系统的排水设计秒流量

按《建水规》,大便器产生的设计秒流量远大于厨房洗涤盆(以下简称洗涤盆)的秒流量。若按概率法分析,则恰恰相反。

按 4.1.1 节的计算方法,可得表 4。

表 4 洗涤盆不同保证率 P_m 下的 q_p 值($p = 80/297$, $q_d = 0.33 \text{ L/s}$)

Tab. 4 Design flow q_p of sink under variety guaranteed rate

洗涤盆个数 n	P_m			《建水规》计算流量	概率法通式计算流量	修正的概率法通式计算流量
	泊松分布 $P_m = 0.99$	泊松分布 $P_m = 0.997$	泊松分布 $P_m = 0.999$			
7	1.98	1.98	2.31	0.81	2.12	2.65
10	2.31	2.64	2.97	0.90	2.65	3.19
15	2.97	3.3	3.96	1.03	3.42	4.01
20	3.63	3.96	4.62	1.13	4.14	4.78
30	4.95	5.28	5.94	1.32	5.48	6.20
40	6.27	6.6	7.26	1.47	6.76	7.54
50	7.59	7.92	8.58	1.6	7.99	8.83
60	8.58	8.91	9.90	1.72	9.18	10.1
80	10.8	11.2	12.2	1.94	11.5	12.5
100	13.2	13.5	14.5	2.13	13.77	14.8

注:《建水规》的计算流量,系按《建水规》式(4.4.5), a 取值为 1.5。概率法所得流量系按式(12)计算。修正概率法所得流量系按式(15)计算。

若存在 n 个洗涤盆, $p = 80/297$, $q_d = 0.33 \text{ L/s}$ 。当 $P_m = 0.999$, $x = 3.09$ 时代入式(5),可以得到下式:

$$m = 1.37\sqrt{n} + 0.27n + 1 \quad (11)$$

单个洗涤盆的流量为 0.33 L/s,则单独洗涤盆排水管道的设计秒流量为:

$$q_p = 0.453\sqrt{n} + 0.0891n + 0.33 \quad (12)$$

计算中发现,按式(5)、式(12)计算所得结果小于按式(3)计算结果。究其原因,是因为泊松分布的方差为 $\lambda = np$,而不是 $\lambda = np(1-p)$ 。以下均去除式(5)中的 $(1-p)$ 项。

仿照式(8)增大尾数为 1.9,则修正为:

$$m = x\sqrt{np} + np + 1.9 \quad (13)$$

若存在 n 个洗涤盆, $p = 80/297$, $q_d = 0.33 \text{ L/s}$ 。当 $P_m = 0.999$, $x = 3.09$ 时代入式(13),得到下式:

$$m = 1.61\sqrt{n} + 0.27n + 1.9 \quad (14)$$

式(14)两边乘上洗涤盆的额定排水流量 $q_d = 0.33$,则得到修正的单一洗涤盆的概率法排水秒流量计算式(单一洗涤盆通式):

$$q_p = 0.53\sqrt{n} + 0.0891n + 1.9q_{\max} \quad (15)$$

按修正后计算式(15)计算,与按泊松分布 $P_m = 0.999$ 计算所得吻合良好或完全一致。可见在 $P_m = 0.999$ 时,可用正态分布简化计算泊松分布的累积概率。

同理,也可验证 $P_m = 0.99 \sim 0.999$ 时,可用正态分布简化计算泊松分布的累积概率。

在洗涤盆排水流量中,按修正的概率法计算法与平方根计算法的比较如下。

单个洗涤盆的当量为 1,则排水管道中洗涤盆的个数 n ,与总当量数符合 $n = N_p$ 。

把 $n = N_p$ 代入式(15)可得到按当量计算的单一洗涤盆的概率法排水秒流量通式:

$$q_p = 0.53\sqrt{N_p} + 0.0891N_p + 1.9q_{\max} \quad (16)$$

《建水规》中第 4.4.5 条规定住宅洗涤盆的排水设计秒流量,应按下式计算(p 为根据建筑物种类而定的系数,住宅取 1.5):

$$q_p = 0.12a\sqrt{N_p} + q_{\max} = 0.18\sqrt{N_p} + q_{\max} \quad (17)$$

对比式(16)与式(17),可见对于单一洗涤盆排水系统概率法与平方根法的流量计算所得结果差异巨大。具体见表 4、图 2。

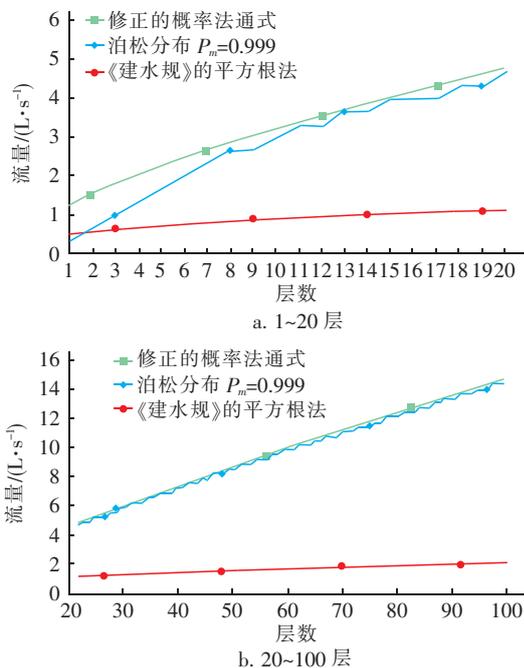


图 2 单一洗涤盆时概率法与《建水规》方法的对比
Fig. 2 Comparison of design flow on unitary sink fixture between probability method and square-root method

4.3 淋浴器单一器具系统的排水设计秒流量

按第 4.1.1 节的计算方法,可得表 5。

表 5 淋浴器不同保证率 P_m 下的 q_p 值 ($p=5/27$, $q_d=0.15$ L/s)

Tab. 5 Design flow q_p of shower under variety guaranteed rate P_m $L \cdot s^{-1}$

淋浴器个数 n	泊松分布 $P_m=0.99$	泊松分布 $P_m=0.997$	泊松分布 $P_m=0.999$	《建水规》计算流量	概率法通式计算流量
7	0.75	0.75	0.9	0.47	1.04
10	0.9	0.9	1.05	0.53	1.23
15	1.05	1.2	1.35	0.62	1.62
20	1.35	1.5	1.65	0.69	1.77
30	1.8	1.95	2.1	0.81	2.25
40	2.1	2.4	2.55	0.91	2.70
50	2.55	2.85	3	1.0	3.12
60	3	3.15	3.45	1.1	3.54
80	3.6	3.9	4.2	1.2	4.33
100	4.35	4.65	4.95	1.4	5.10

注:《建水规》的计算流量,系按《建水规》式(4.4.5), a 取值为 1.5。概率法通式流量系按式(20)计算。

仿第 4.2、4.3 节,修正式(5),去除其根号内的 $(1-p)$,且仿照式(8)增大尾数为 2.1,则得:

$$m = x \sqrt{np} + np + 2.1 \quad (18)$$

若存在 n 个淋浴器, $p=5/27, q_d=0.15$ L/s。当 $P_m=0.999, x=3.09$ 时代入式(18):

$$m = 1.3 \sqrt{n} + 0.185n + 2.1 \quad (19)$$

式(19)两边乘上淋浴器额定排水流量 $q_d=0.15$,则得修正的单一淋浴器排水秒流量计算通式:

$$q_p = 0.2 \sqrt{n} + 0.0278n + 2.1q_{max} \quad (20)$$

按修正后的计算式(20),与按泊松分布 $P_m=0.999$ 计算所得吻合良好或完全一致。

在淋浴器排水流量中,概率法算法与平方根算法的比较如下。单个淋浴器的当量为 0.45,则排水管道中淋浴器的个数 n ,与总当量数符合 $n=N_p/0.45$ 。把 $n=N_p/0.45$ 代入式(20)可得按当量计算的单一淋浴器的排水秒流量通式:

$$q_p = 0.3 \sqrt{N_p} + 0.062N_p + 2.1q_{max} \quad (21)$$

《建水规》中第 4.4.5 条规定淋浴器的排水设计秒流量,应按下式计算(a 为根据建筑物种类而定的系数,住宅取 1.5):

$$q_p = 0.12a \sqrt{N_p} + q_{max} = 0.18 \sqrt{N_p} + q_{max} \quad (22)$$

对比式(21)与式(22),可见对于单一淋浴器排水系统,概率法与平方根法的流量计算结果差异很大。具体见表 5、图 3。

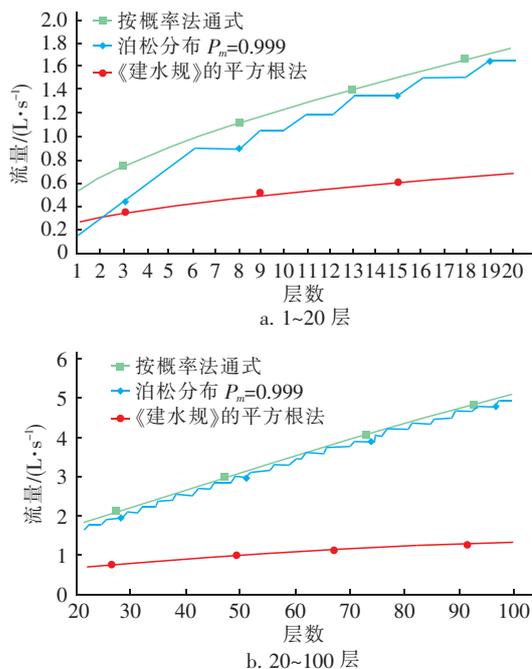


图 3 单一淋浴器采用概率法与《建水规》方法的对比
Fig. 3 Comparison of design flow on unitary shower fixture between probability method and square-root method

4.4 单一器具系统的概率法排水设计秒流量通式

对于单一器具系统,器具数为 n ,额定排水流量 q_d 排水概率为 p ,按概率法计算所得的同时排水的数量 m ,排水设计秒流量的 q_p 通式(泊松分布, $P_m = 0.999, x = 3.09$):

$$m = 3.09 \sqrt{np} + np + 2.1 \quad (23)$$

$$q_p = m \cdot q_d \quad (24)$$

仿照给水系统的概念,引入排水系统的最大小时流量的概念。计给水系统(系指排水系统所对应的给水系统)的最大小时流量的平均秒流量为 Q_s ,则排水管道的最大小时内的平均秒流量为 Q_g ,则:

$$Q_s = q_d \cdot n \cdot p \quad (25)$$

则式(24)可转换为:

$$q_p = x \sqrt{q_d} \sqrt{Q_s} + Q_s + 2.1q_d \quad (26)$$

对应的给水管道系统设计秒流量通式^[4]:

$$q_g = 0.2\sqrt{d} \cdot x \sqrt{Np(1-p)} + 0.2 \cdot N \cdot p + k \quad (27)$$

因为 $0.2 \cdot N \cdot p = Q_s$,因而给水管道系统的设计秒流量通式亦为:

$$q_g = x \sqrt{q_d} \cdot \sqrt{Q_s} + Q_s + k \quad (28)$$

式(27)中的 d 为给水系统水龙头的当量。式(28)中的 q_d 为给水系统水龙头的额定流量。

对比式(26)与式(28)可知,单一器具的排水设计秒流量公式,形式上与给水流量公式完全相同,意义上也完全相同。从物理意义上可以理解为:与给水设计秒流量相比,排水设计秒流量是保证率更高、单个器具出流量更大的流量。在混合器具系统中,也可以得出相同的结论。

5 概率法计算混合器具排水设计秒流量

按概率论,若多个独立随机变量 X_i 服从参数为 λ_i 的泊松分布,则多个独立变量之和也服从参数为 $\sum \lambda_i$ 泊松分布。

5.1 多个独立变量泊松分布离散型模型精确计算

多个泊松分布的联合分布的累积概率计算:

$$\begin{cases} \sum_{q=0}^{q_p} P_q \geq 0.999 \\ q = 1.5m_1 + 0.15m_2 + 0.25m_3 \\ P_q = \prod_{i=1}^3 e^{-\lambda_i} \cdot \lambda_i^k \cdot \frac{1}{k!} \end{cases} \quad (29)$$

式(29)第一排的含义: \geq 设计流量 q_p 的使用概率的总和 $P_m \geq 99.9\%$;第二排含义:流量 q 由 m_1 个

大便器、 m_2 个淋浴器、 m_3 个洗脸盆的同时排水而产生;第三排含义:在流量 q 发生时的概率 P 。

表 1 中的排水系统,若共有 20 层,大便器单个流量为 1.5 L/s,使用概率为 1/150;洗脸盆单个流量为 0.25 L/s,使用概率为 1/30;淋浴器单个流量为 0.15,使用概率为 5/27。产生 1.5 L/s 的排水,有以下 A、B、C、D 不同的排水组合可能:

组合 A, $1 \times 1.5 + 0 \times 0.25 + 0 \times 0.15$

组合 B, $0 \times 1.5 + 0 \times 0.25 + 10 \times 0.15$

组合 C, $0 \times 1.5 + 3 \times 0.25 + 5 \times 0.15$

组合 D, $0 \times 1.5 + 6 \times 0.25 + 0 \times 0.15$

流量为 1.5 L/s 的组合 A 概率为 $P = \prod_{i=1}^3 e^{-\lambda_i} \cdot \lambda_i^k \cdot \frac{1}{k!} = e^{-0.133} \times 0.133^1 \times \frac{1}{1!} \times e^{-0.666} \times 0.666^0 \times \frac{1}{0!} \times e^{-3.704} \times 3.704^0 \times \frac{1}{0!}$ 。

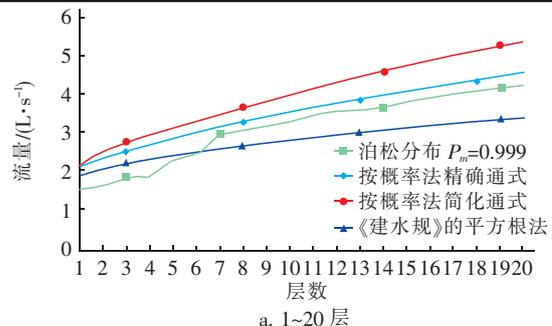
把 A、B、C、D 各组合时的概率相加,即为流量 1.5 L/s 时的概率,计算量巨大,结果见表 6、图 4。

表 6 混合器具不同 P_m 下的 q_p 值

Tab. 6 Design flow q_p of mixed fixture under variety guaranteed rate P_m L · s⁻¹

楼层数 n	泊松分布 $P_m = 0.99$	泊松分布 $P_m = 0.997$	泊松分布 $P_m = 0.999$	《建水规》计算流量	概率法简化通式所得流量	概率法精确通式所得流量
7	1.95	2.2	3	2.64	3.6	3.16
10	2.15	2.5	3.3	2.86	4.0	3.53
15	2.55	3.45	3.80	3.17	4.7	4.08
20	3.05	3.85	4.25	3.42	5.4	4.58
30	4.05	4.6	5.25	3.85	6.5	5.49
40	4.75	5.45	6.15	4.21	7.5	6.34
50	5.45	6.25	6.9	4.54	8.5	7.14
60	6.15	7	7.7	4.83	9.4	7.90
80	7.5	8.4	9.2	5.34	11.1	9.36
100	8.75	9.75	10.6	5.8	12.7	10.8

注:按概率法精确通式所得流量,系按式(33)计算;按概率法简化通式所得流量,系按式(40)计算。



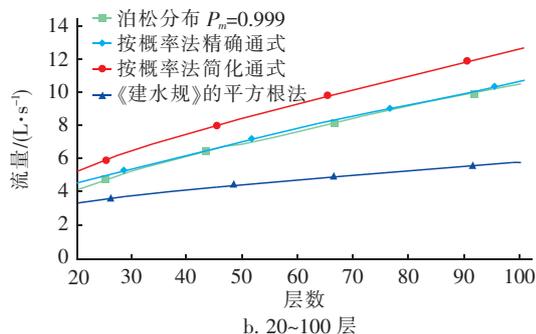


图4 混合器具的概率法与《建水规》方法的对比

Fig. 4 Comparison of design flow on mixed fixture between probability method and square-root method

5.2 采用正态分布近似计算泊松分布的联合分布

第4.1.2节的计算表明,在一定的条件下,可利用正态分布来计算泊松分布。

若各类卫生器具 $X_i (i=1, 2, 3, \dots)$ 是服从泊松分布的独立随机变量,则其联合分布也服从泊松分布。若各类器具的额定排水流量为 q_i , 个数为 n_i , 概率为 p_i ; 按正态分布描述时,其参数分别为 $\mu_i, \sigma_i^2 (i=1, 2, 3, \dots)$, μ_i 为均值, σ_i^2 为方差。

则混合器具中排水流量的总和 q_p 也服从正态分布,其参数分别为:

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^3 q_i^2 \cdot \sigma_i^2 = \sum_{k=1}^3 q_i^2 \cdot n_i \cdot p_i \cdot (1 - p_i) \quad (30)$$

按第4节的计算,略去式(30)中的 $(1 - p_i)$ 项,把方差修正为:

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^3 q_i^2 \cdot n_i \cdot p_i \quad (31)$$

$$\mu = \sum_{k=1}^3 q_i \cdot n_i \cdot p_i \quad (32)$$

可得到混合器具系统的概率法排水设计秒流量公式的通式:

$$q_p = x \cdot \sigma + \mu + 1.1 q_{\max} \quad (33)$$

x 为正态分布的标准差 σ 的倍数。

经过验算,混合器具系统的“斯氏尾数”取值为1.1时,按正态分布通式(33)计算所得的流量,与按泊松分布的联合分布的计算式[即式(29)]所得流量,完全吻合或基本一致。

可见也可运用正态分布来近似计算泊松分布,且精度良好,此论点未曾见于概率论的教材。

若有一个管道系统,共有 n 层,每层设置大便器、洗脸盆、淋浴器各一个。大便器单个流量为1.5

L/s,使用概率为1/150;洗脸盆单个流量为0.25 L/s,使用概率为1/30;淋浴器单个流量为0.15 L/s,使用概率为5/27。

$$\begin{aligned} \mu &= \sum_{k=1}^3 q_i \cdot n_i \cdot p_i = 1.5 \cdot n/150 + 0.25 \cdot \\ & n/30 + 0.15 \cdot n \cdot 5/27 = 0.046 11n \quad (34) \\ \sigma^2 &= \sum_{k=1}^3 q_i^2 \cdot n_i \cdot p_i = 1.5^2 \cdot n/150 + 0.25^2 \cdot \\ & n/30 + 0.15^2 \cdot n \cdot 5/27 = 0.021 25n \end{aligned} \quad (35)$$

则有 $P_m = 0.999$ 保证率的组合的排水流量为:

$$\begin{aligned} q_p &= 3.09\sigma + \mu + 1.1q_{\max} = 0.45\sqrt{n} + \\ & 0.046 1n + 1.1q_{\max} \end{aligned} \quad (36)$$

按式(36)计算所得,与按(29)计算所得,基本相等(见表6、图4)。

可见多个器具存在的混合器具系统,也可用正态分布简化计算其排水设计秒流量。

式(36)是住宅类生活排水流量公式的通式,适合于卫生间内设置大便器、洗脸盆、淋浴器(或浴盆)的住宅。排水系统的使用人数、使用习惯、用水量标准、卫生器具的完善程度,体现在式(34)、(35)中。当实际工程中排水系统的参数与本节的算例不同时,可按式(34)、(35)计算实际工程中的 σ, μ 值,再按式(36)计算排水设计秒流量。

5.3 混合器具系统的概率法排水设计秒流量公式

5.3.1 通式

混合器具系统的概率法排水设计秒流量通式:

$$q_p = x \cdot \sigma + \mu + k \cdot q_{\max} \quad (37)$$

式(37)是工业与民用建筑生活排水流量公式的通式。排水系统的使用人数、使用习惯、用水量标准、卫生器具的完善程度,体现在式(31)、(32)中。利用式(37)可精确计算出各类生活排水管道的设计秒流量。

k 是斯氏尾数,在混合器具计算时可取1.1。

但是对于具体的工程,利用式(37)计算,还是不太方便,需简化其形式。

5.3.2 通式的简化

若假定排水系统中各类排水设备的流量,大致为1 L/s,即 $q_i = 1$,显然式(31)可近似为:

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^3 q_i^2 \cdot n_i \cdot p_i \approx Q_s \quad (38)$$

从式(32)显然可推知:

$$\mu = \sum_{k=1}^3 q_i \cdot n_i \cdot p_i = Q_s \quad (39)$$

则混合器具系统的排水设计秒流量公式为:

$$q_p = x \cdot \sqrt{Q_s} + Q_s + k \cdot q_{\max} \quad (40)$$

当混合器具中某类器具具有优势使用概率时、或某类器具的排水总容积大、或某类器具占比较大时(如公共卫生间内,卫生器具中大便器占比较大、排水总量较大),从式(31)可知,此类器具(额定流量为 q_d)对方差有重要的贡献,流量计算式需为:

$$q_p = x \cdot \sqrt{q_d} \sqrt{Q_s} + Q_s + k \cdot q_{\max} \quad (41)$$

式(41)即为混合器具系统的排水设计秒流量公式的简化通式,也是单一器具系统的通式。此式是把排水系统中不同额定流量的卫生器具,简单均一化为单一的器具。

在第5.2节算例,三类卫生器具占比相当,大便器的额定流量 >1 ,其余器具的额定流量 $\ll 1$ 时,可采用式(40)简化计算,则为($P_m = 0.999$):

$$q_p = x \cdot \sqrt{Q_s} + Q_s + q_{\max} = 0.66\sqrt{n} + 0.04611n + q_{\max} \quad (42)$$

把式(42)与式(36)对比,可见两者的形式接近;按简化计算时假定各类排水设备的流量,大致为 1 L/s (即 $q_i = 1 \text{ L/s}$),会得到更大的标准差 σ ;可见算例中三类卫生器具并存的混合器具系统,按式(40)、(42)简化计算所得流量略大。按式(42)与式(36)的计算结果见表6、图4。

在混合器具系统中,卫生器具(或大多数卫生器具)的额定流量 <1 时(如洗涤盆、淋浴器、洗脸盆混合的系统),当按式(41)简化计算,应选其中额定流量较大的 q_d (此处为洗涤盆 $q_d = 0.33 \text{ L/s}$),代入式(41),以避免简化后计算所得的流量畸大。

6 与美国、日本计算法的比较

6.1 与美国计算法的比较

美国采用器具排水负荷单位法^[5]:以洗脸盆排水作为标准,在排水管径为 32 mm 时,排水量为 0.475 L/s ,作为一个器具排水负荷单位,定为1。某器具的最大排水流量除以洗脸盆的标准排水流量 0.475 L/s 即为该器具的单位。同时考虑该器具的同时使用形态,使用频率等因素定出器具排水负荷单位。因此各种器具排水负荷单位并不完全单纯是洗脸盆标准排水流量的倍数,而是用来表示排水系统在假定的最大使用频率条件下器具排水负荷的大小,这样使一个有几种不同种类卫生器具的排水系统能较方便地直接累加其器具排水负荷单位,以计

算其排水负荷单位的总量。按排水负荷单位总量,查表决定横管和立管的管径。

从上述分析可知,美国计算法是按式(39)计算平均组合的负荷单位总量,并不是计算设计秒流量。大致相当于按中国的 Q_s (而不是进一步计算 q_p)作为选定管径的依据,可见此计算法略显粗糙。

考虑到接入立管的上下层支管间距过小,上下层水流会未经“整流”而产生干扰,美国计算法中有“支管间隔”的概念,有其合理成分。

6.2 与日本计算法的比较

日本过去采用美国的器具排水负荷单位法来确定室内污水管径,到20世纪70年代,日本给排水设备规范中提出新的室内污水系统排水负荷流量的计算方法——“固定流量法”^[5]。

固定流量法三个概念,即器具排水流量 q_d ,器具一次排水量 W 和器具平均排水间隔 T_0 。

则对于有 n 个同类型卫生器具的排水系统,平均同时排水器具数 μ 可用下式表达:

$$\mu = \frac{nW}{T_0 q_d} \quad (43)$$

r 个卫生器具同时排水的概率分布如下:

$$P_r(\mu) = \frac{\mu^r}{r!} e^{-\mu} \quad (44)$$

如果确定了超负荷危险率 a_c ,由下式就可以求出设计用的最大排水器具数 m (即在 $1 - a_c$ 的保证率下的最大排水器具数, a_c 取 0.01):

$$\sum_{r=0}^m P_r(\mu) \geq 1 - a_c \quad (45)$$

由下式可得排水设计秒流量 Q_L :

$$Q_L = m q_d \quad (46)$$

可见日本采用泊松分布计算排水设计秒流量,保证率取 0.99 。

若对式(43)进行分拆,可转化为:

$$\mu = \frac{nW}{r_0 q_d} = n \left(\frac{W}{q_d T_0} \right) = np \quad (47)$$

在式(47)中, $\frac{W}{q_d}$ 为卫生器具的排水时间, $\frac{W}{q_d T_0}$ 为卫生器具的排水概率 p 。此处 n, p 物理意义与本文中的 n, p 完全相同。可见日本的固定流量法与本文的计算方法,其数学方法完全一致。

日本的计算法,计算得到固定流量 μ 后,需查“选定图”查得设计流量。选定图是在同一张图中按不同 q_d 绘制有数条曲线的诺模图,横管、立管有

不同的选定图。可见图线只能计算“单一器具”系统,此算法相当于式(26)。

在系统有不同种类的卫生器具时,排水负荷流量采用合计的固定流量以及选用最大的器具排水流量求出;在排水流量较小的器具占多数,但其中有少数几个较大排水流量的器具时,应采用占比例多的器具排水流量^[5]。可见日本对“混合器具”的排水流量的计算,相当于按式(41)计算。

毕竟查图线麻烦且存在误差,而本文的数学通式法更加简洁、方便。

7 概率法生活排水流量计算公式探讨

7.1 生活排水设计秒流量计算公式的通式

混合器具系统、单一器具系统的通式:

$$q_p = x \cdot \sqrt{q_d} \sqrt{\sum n_i \cdot P_i} + q_i \cdot n_i \cdot p_i + k \cdot q_{\max} \quad (48)$$

$$\text{或 } q_p = x \cdot \sqrt{q_d} \sqrt{Q_s} + Q_s + k \cdot q_{\max} \quad (49)$$

式(48)适合各类卫生器具排水概率 p 已知的情形;式(49)适合于 p 未知的情形。当混合器具中某类器具具有优势使用概率时或某类器具的排水总容积大或某类器具个数权重大时,需在式(49)中设置 $\sqrt{q_d}$ 以考虑此类器具(额定流量为 q_d) 的影响。

7.2 影响排水流量的因素

由第3.2节的分析、式(41)可知,各股水流(绳子)交汇在最底层的概率,与水流下落的速度、建筑物的高度无关;与排水容积 W 、管道内的流量 q_d 及最大小时流量的平均秒流量 Q_s 有关。使用卫生器具的人员减少、用户采用节水型卫生器具或节水措施,将会导致排水设计秒流量的减小。

7.3 排水横管的流量计算

在此以绳子模型模拟排水在立管中的行为,若以一系列火车模拟排水在横管内的行为,同样可以证明横管的长度(水流在横管内的行为)与设计秒流量无关,同样可以得出排水横管的设计秒流量公式。可见所推导的流量公式,既适合于立管,也适合于横管。

7.4 通式中“斯氏尾数”问题

设置“斯氏尾数 k ”使得按概率法通式计算曲线,包络在泊松分布曲线之上。

设置“斯氏尾数 k ”有利于消除小型规模的管道系统中概率因素以外的因素对排水管道运行造成的不利影响。

运算中发现“斯氏尾数 k ”与保证率 P_m 有关;越高的保证率需要越大的 k 值以保证概率法通式与离散型计算的包络。在相同的 P_m 条件下, k 值随着卫生器具的排水概率 p 的变化而摆动。在单一变量的泊松分布计算中,当 $P_m = 0.999$ 时,发现 k 最大取值为 2.1。在混合器具系统,当 $P_m = 0.999$ 时,发现 k 最大取值为 1.1。

查阅日本的“固定流量法”的图线,可以看出日本设置了 $\gg 1$ 的斯氏尾数。

7.5 给水排水流量公式的统一

对比式(28)、式(41)可知,排水设计秒流量公式,形式上与给水流量公式完全相同,意义上也完全相同。从物理意义上可以理解为:与给水设计秒流量相比,排水设计秒流量是保证率更高、器具出流量更大的流量。

7.6 排水设计秒流量的证实

按概率法生活给水设计秒流量计算所得的流量,符合实测数据^[4]。从第7.5节可以推论,排水设计秒流量同样也符合实测数据。

7.7 保证率

保证率 P_m 的意义:0.99 的保证率是 Hunter 提出并使用至今。其物理意义:在观测时段内(在此为在最大一小时用水时段),在 $\geq 99\%$ 的时间内,同时排水的大便器 $\leq m$ 个;或者说 $> m$ 个龙头同时使用的时间 $< 1\%$,即 $3\,600 \times (1 - 0.99) = 36$ s;在此 36 s 时间内有可能存在比 m 个大便器同时排水更大的流量,这个更大的流量在持续 36 s 时间内极有可能对排水系统造成破坏。对于 0.997 的保证率,仅有 $3\,600 \times (1 - 0.997) = 10.8$ s 时间的流量不能保证。

近几年排水测试塔测量了排水系统在不同流量和排水方式下的排水器具水封损失值、压力波动值,获取在水封损失值不超过规定值时的立管系统最大排水流量,确定系统安全运行的设计流量值。测试中发现随着排水持续时间增加,水封损失值会随之增加。吴克建等^[6]在排水测试塔上实测了 5~60 s 不同排水持续时间下水封损失与流量、压力波动的关系,验证得到水封损失是一个随着系统压力作用于水封时间长短变化的变量。

行业标准《地漏》(CJ/T 186—2003)中规定:“水管道负压为 (-400 ± 10) Pa 并持续 10 s 时,地漏中水封深度应不小于 20 mm。”

若取 0.997 的保证率,即取设计秒流量的持续时间为 10.8 s,即仅有 10.8 s 时段内的流量不能保证。若取 0.999 的保证率,即取设计秒流量的持续时间为 3.6 s,即仅有 3.6 s 时段内的流量不能保证。

不同的保证率对流量的影响,体现在式(48)、式(49)的 x 系数上。保证率取 0.997 与取 0.999,对流量的影响很小。在此取保证率为 0.999。

7.8 排水设计秒流量的含义

《建水规》中“设计流量”的定义是:给水或排水某种时段的平均流量作为建筑给排水管道系统设计依据。由计算依据得知,在此计算所得的设计秒流量,是最大高峰 3.6 s 时间内的平均流量。

由计算过程可知,此流量是排水管道最下游处某处的流量,其他各处的流量均小于此流量。

从表 2 可见,当 $P_m = 0.999$ 时,40 层的住宅,同时排水的大便器有 3 个(总流量为 4.5 L/s)。这 3 个有下列可能的组合:

① 有可能是出现在最上部第 38 至第 40 层大便器的排水的组合,即第 0 s 投下第 40 层的绳子;第 1.5 s 后投下第 39 层的绳子;第 3 s 后投下第 38 层的绳子……最终这些绳子在排水立管的底部重合或部分重合。

② 也有可能是第 13、第 26、第 40 层的排水组合,即第 0 s 投下第 40 层的绳子;第 22.5 s 后投下第 26 层的绳子;第 43.5 s 后投下第 13 层的绳子……。

③ 也有可能是出现在最下部第 1 至第 3 层大便器的排水组合。

按数学中 C_{40}^3 的组合计算,即有 9 880 种组合。

当出现第一种组合时,组合时压力波动最大,相当于排水测试塔测试中的瞬间流法,此组合流量造成的排水管道压力波动最大,但是这种可能只有 1/9 880。因为排水系统最大负压值与大便器的排水高度存在线性关系^[3],因而其他组合时的负压值均小于第一种组合。按此分析,在此计算的设计秒流量,是安全可靠的流量。

按 $P_m = 0.999$,在 1 h 内只有 3.6 s 时间内是高峰流量,其余时间流量很小,甚至没有流量。没有达到设计流量的横管与立管,具有储存调蓄水量、削减尖峰流量的作用。大便器排出口的流量为 1.5 L/s,经过横管的储存调蓄后,流入立管的流量时间变长、

流量小于 1.5 L/s。

张哲等^[3]的研究表明,瞬间流量排水方式的排水量一定,水流自坐便器流出时流量随时间而变化,因此在最低排水层下部,不同坐便器水流充分混合后,管道内的水流流量小于各股水流简单数学相加之和。排水在管道中下落类似水珠在玻璃上流落的过程,前锋水流需要不断润湿干燥的管壁表面,后尾有部分水流粘附在管道表面,水流的长度不断拖长。这样的过程使本来集中在较短距离内的水流不断拉长,在排水量一定的情况下,最大流量不断变小。按此分析,可见绳子模型足够安全可靠,按数学计算的设计秒流量若为 7 个大便器的流量 10.5 L/s,实际管道上发生的流量小于此值。

张哲等^[3]的研究表明,排水器具的高度越高,则排水最大组合流量越小,水流流动时间越长;同时排水系统最大负压值与排水器具的排水高度存在线性关系。因而发生在排水管道高端的流量,实际小于设计秒流量;发生在管道低端的流量,实际水压波动会更小。因而理论计算所得的流量,实际上偏于安全。

7.9 卫生器具排水概率的计算

从式(48)、式(49)可见,可按最大小时流量的平均秒流量 Q_s 来计算排水设计秒流量,而不用实测各类卫生器具的排水概率。在第 3.1.1 节,按人员使用卫生器具的习性计算洗脸盆、大便器、淋浴器的排水概率,或按洗涤盆、洗衣机的分项给水的百分数计算洗涤盆、洗衣机的排水概率,并不是真实的排水概率,可能具有一定的误差,但不失为一种可行的计算方法。

8 《建水规》算法存在的问题

《建水规》中的平方根只考虑排水的不均匀性,没有全面反映出影响排水量的各种实际因素,如卫生器具的设置场所、单位器具负荷人数、给水定额、不同类型卫生器具组合形式、使用频率与设计流量的关系。虽然通过 α 值反映了不同类型用户的卫生器具使用形态之差异,但用户类型划分比较粗糙,公式中的参数 α 、 q_{\max} 的取值需进一步推敲。

平方根法公式与概率法公式相比,只有 \sqrt{n} 项与“斯氏尾数”项没有 n 项。因为当 n 较大时, n 项为流量的主要贡献者,所以当卫生器具较多时,按平方根法计算结果更小、误差更大。

《建水规》中的同时系数法,其中卫生器具同时

排水百分数对不同的企业和工厂有不同的数值,如实测工作量很大,不经实测则靠经验确定,往往有盲目性。且同时系数法对不同规模的卫生器具,采用同一个系数,不符合概率法原理。依据概率法的原理,当只有一个卫生器具时,同时使用系数为100%;当存在无穷多个卫生器具时,同时使用系数为卫生器具的排水概率 p 。

依据上述分析,《建水规》中的排水秒流量计算公式的通用性不强,准确性不高。

9 结语

① 应用概率法计算生活排水流量,全面考虑影响用水量的多种因素,计算结果更加符合实际情况。提出以绳子落下模拟立管中的排水、以火车流模拟横管中的排水,更具有物理意义。采用概率法计算,具有观察优势。

② 对于要求高的建筑物,可采用较高的 $P_m = 0.999$;对于普通的建筑物,取 $P_m = 0.99 \sim 0.997$ 即可。

③ 将给水与排水的设计秒流量采用概率法紧密联系。

④ 所推导的排水流量计算式(48)、式(49)适用于各类工业与民用建筑,适合于各种不同规模的管网。公式为连续型通式,便于使用。该算法优于美国、日本的算法。

⑤ 可以采用连续的正态分布模型简化计算离散的泊松分布。

致谢:承蒙中山大学张俊玉副教授审阅,谨表谢忱。

参考文献:

- [1] 张森. 生活排水管道通水能力测试方法及相关问题探讨[J]. 给水排水, 2015, 41(1): 65-73.
- [2] 陈耀宗. 建筑给水排水设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [3] 张哲, 郑培壮, 李军, 等. 伸顶通气排水系统定流量与瞬间流量排水方式的不同区域汇合流量对比[J]. 给水排水, 2014, 40(8): 94-99.
- [4] 陈和苗. 概率法计算生活给水管道设计流量[J]. 给水排水, 2007, 33(2): 122-126.
- [5] 钱维生. 高层建筑给水排水工程[M]. 上海: 同济大学出版社, 1989.
- [6] 吴克建, 赵世明, 袁玉梅, 等. 瞬间流和定常流两种排水方式对水封损失的影响[J]. 给水排水, 2016, 42(8): 91-94.



作者简介:陈和苗(1968-), 男, 浙江宁波人, 大学, 高级工程师, 院副总工程师, 从事建筑给排水工程技术研究。

E-mail: 179250301@qq.com

收稿日期: 2016-06-03

大力推行节约用水, 全面建设节水型社会