

## 塑料排水立管的通水能力问题

赵世明

**[提要]**塑料排水立管内壁光滑、水流速大一直被视为优点。本文从理论和实践两方面进行分析得出:内壁光滑水流速大会导致排水立管内负压值增大,使卫生器具的水封更易遭受破坏,从而使立管的通水能力降低。文章依据公式分析的结果,对塑料排水立管的设计规范制定、工程设计中特殊配件的设置以及立管的生产制造三个方面提出了相应的对策。文章还对我国传统的排水立管通水能力理论提出了不同看法,并分析了该理论的局限性及它面对塑料管材所遇到的矛盾。

**[关键词]**建筑排水 立管 塑料管 通水能力

我国目前正在大力推广建筑塑料排水管的应用。塑料管在水力学上的一个重要特点就是内壁光滑、阻力小、水流速度大。对于这一特点引起的排水立管最大通水能力的变化,我国建筑给排水领域存在着两种截然相反的观点。传统的观点认为此为有利因素,其最大通水能力将比铸铁立管的大。另一观点正好相反,认为其通水能力将比铸铁管小。甚至有的工程<sup>[1]</sup>,在塑料立管上设消能装置,减小立管中的水流速度。

塑料排水立管的上述分歧看法实际上所涉及的是排水立管的最大通水能力理论。此理论是建筑排水中重要的研究课题,要健康持久地发展和推广建筑塑料排水管,必须首先解决好这个理论问题。

### 一、两个基本前提

在分析、讨论此理论问题之前,需要确认两个基本前提条件。

#### 1. 立管最大通水能力的定义

排水立管内有水流通过时,会在立管内造成负压,并在立管的底部形成正压,且随着流量的增加不断增大。立管的最大排水能力就是:在这种负压不致使卫生器具的水封遭受破坏的前提下,立管所能通过的最大水流量。

实验证明,当立管内的最大负压  $P_m$  超过某一临界值  $P_c$  时,水封即可被其破坏。由此立管的最大通水能力可具体表述为  $P_m \leq P_c$  条件下的最大流量,或(1)式被满足时的立管流量。

$$P_m = P_c \quad (1)$$

有资料指出,水封破坏的临界值  $P_c$  约为 441Pa (45mmH<sub>2</sub>O)。

#### 2. 附壁水膜流的终限流速和流量

排水立管内附壁水膜流的终限流速  $V_t$  (m/s) 为<sup>[2][3]</sup>

$$V_t = \alpha(g^3/K_p)^{1/10}(Q/D)^{2/5} \quad (2)$$

式中  $\alpha$  为系数;  $g$  为重力加速度(m/s<sup>2</sup>);  $K_p$  为管道内壁粗糙度(mm),对铸铁管材  $K_p = 0.25\text{mm}$ ,对塑料管材  $K_p = 0.015\text{mm}$ ;  $Q$  为立管内水流量(L/s),  $D$  为立管内径(cm)。

排水立管内水流量  $Q$  为

$$Q = \omega_t / V_t \quad (3)$$

式中  $\omega_t$  为水膜流断面积。

### 二、塑料管通水能力增大的理论依据

塑料排水立管通水能力比铸铁管的大,其理论依据是我国传统的立管排水理论。此理论有一个重要的设定,就是:立管在水流充满立管断面小于或达到 1/4~1/3 时,压力波动不大,不致破坏器具水封。而一旦超过 1/3,水封

就会破坏。因此,  $1/4 \sim 1/3$  充满度时的流量应是立管设计流量的负荷极限值, 即立管的最大通水能力。

根据(2)式, 可得

$$Q = (\pi/4)(\omega_i/\omega)D^2V_i \quad (4)$$

式中  $\omega$  为立管断面积,  $\omega = \pi D^2/4$ 。

把  $V_i = Q/\omega_i$  代入(2)式, 并整理及统一单位, 得

$$Q = (\pi\alpha/40)^{5/3}(g^3/K_p)^{1/6}(\omega_i/\omega)^{5/3}D^{8/3} \quad (5)$$

把  $\omega_i/\omega = 1/4 \sim 1/3$  代入(4)、(5)两式, 即得立管最大通水能力  $Q_c$  的计算式(6)和(7)

$$Q = (\pi/4)(1/4 \sim 1/3)D^2V_i \quad (6)$$

或

$$Q = (\pi\alpha/40)^{5/3}(g^3/K_p)^{1/6}(1/4 \sim 1/3)^{5/3}D^{8/3} \quad (7)$$

根据(7)式, 可求出不同管材、各种管径  $D$  所对应的最大通水能力  $Q_c$ 。由(6)、(7)两式可以看出, 立管最大通水能力  $Q_c$  与水膜终限流速  $V_i$  成正比, 与管壁粗糙度  $K_p^{1/6}$  成反比。即水膜终限流速越大, 管壁越光滑, 则立管的通水能力越大。塑料管的粗糙度  $K_p$  较铸铁的小, 自然同一管径的立管所对应的通水能力就比铸铁的大, 并据计算可高出近 60%。

以下把此理论简称为“立管排水传统理论”。

### 三、塑料管通水能力减小的理论依据

此理论<sup>[4][5]</sup>的特点是运用伯努利方程建立起立管内膜流状态最大负压  $P_m(P_a)$  的数学式(8)。

$$P_m = \rho[1.5 + \lambda(l/d) + K] \cdot (V_a^2/2g) \quad (8)$$

式中  $\rho$  为空气密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $\lambda, l, d$  分别为通气管段(伸顶通气或专用通气)的阻力损失系数、管长(m)、管径(m),  $K$  为横管水进入立管时所形成的水舌的局部阻力系数,  $V_a$  为排水立管中心被水膜“托拽”的气核流的速度(m/s)。式(8)成立的条件是立管中心的空气流连续。

可认为气核流速  $V_a$  与水膜终限流速  $V_i$  近似相等, 于是用(2)式的  $V_i$  取代(8)式的  $V_a$  得

$$P_m = \rho[1.5 + \lambda(l/d) + K]V_i^2/2g \\ = 0.5\rho\alpha^2[1.5 + \lambda(l/d) + K](g^3/K_p)^{1/5} \cdot (Q/D)^{4/5} \quad (9)$$

根据(9)式可得

$$Q = (2P_m/\rho\alpha^2)^{5/4}(K_p/g^3)^{1/4} \\ \times D/[1.5 + \lambda(l/d) + K]^{5/4} \quad (10)$$

把式(1)代入式(10), 即得立管的最大通水能力  $Q_c$ 。

$$Q_c = (2P_c/\rho\alpha^2)^{5/4}(K_p/g^3)^{1/4} \\ \times D/[1.5 + \lambda(l/d) + K]^{5/4} \quad (11)$$

对于单立管排水系统,  $1.5 + \lambda(l/d) \ll K$ , 最大通水能力公式简化为

$$Q_c = (2P_c/\rho\alpha^2)^{5/4}(K_p/g^3)^{1/4}(D/K^{5/4}) \quad (12)$$

对于通气排水系统, 气流不通过水舌, 水舌局部阻力系数  $K \rightarrow 0$ , 最大通水能力公式简化为

$$Q_c = (2P_c/\rho\alpha^2)^{5/4}(K_p/g^3)^{1/4} \\ \times D/[1.5 + \lambda(l/d)]^{5/4} \quad (13)$$

根据(12)、(13)两式, 可计算不同管材各种管径所对应的最大通水能力。

式(11)表明  $Q_c$  与  $K_p^{0.25}$  成正比: 管壁越光滑, 粗糙度  $K_p$  越小, 则立管最大通水能力  $Q_c$  越小。塑料立管的管壁粗糙度比铸铁的小, 自然其通水能力就小。

以下把此理论简称为“立管排水普遍理论”。

由单立管排水系统公式(12), 上述两种管材的立管通水能力比值为

$$\frac{Q_{c, \text{塑}}}{Q_{c, \text{铁}}} = \frac{[(2P_c/\rho\alpha^2)^{5/4}(K_p/g^3)^{1/4}D/K^{5/4}]_{\text{塑}}}{[(2P_c/\rho\alpha^2)^{5/4}(K_p/g^3)^{1/4}D/K^{5/4}]_{\text{铁}}} \\ = \frac{Q_{c, \text{塑}}}{Q_{c, \text{铁}}} = \frac{[K_p^{1/4}D/K^{5/4}]_{\text{塑}}}{[K_p^{1/4}D/K^{5/4}]_{\text{铁}}}$$

当两种管材的内径  $D$  完全相等, 则

$$\frac{Q_{c, \text{塑}}}{Q_{c, \text{铁}}} = \frac{[K_p^{1/4}/K^{5/4}]_{\text{塑}}}{[K_p^{1/4}/K^{5/4}]_{\text{铁}}} \quad (14)$$

把铸铁管材的  $K_p = 0.25\text{mm}$ 、塑料管材的  $K_p = 0.015\text{mm}$ <sup>[6]</sup>代入上式, 得

$$Q_{c, \text{塑}}/Q_{c, \text{铁}} = 0.495[(K_{\text{铁}}/K_{\text{塑}})]^{5/4} \quad (15)$$

当两种管材的立管使用完全一样的支管三通, 则水舌阻力系数  $K$  是进入立管流量  $Q$  的增函数<sup>[4]</sup>。根据 45°三通  $K$  与  $Q$  的关系的试验资料推测,  $Q_{c, \text{塑}}/Q_{c, \text{铁}} \approx 0.77$ 。

### 四、对两种理论的分析

## 1. 立管排水传统理论

我们首先根据一些客观事实着手进行分析。南宁南方大酒店(24层)使用塑料排水立管,为减小管中水流速度和负压,防止水封遭受破坏,在立管上装设“消能装置”,使用中取得较好效果<sup>[1]</sup>。前述的传统理论是与这一结果相矛盾的。因为按照该理论,减小立管中的水流速度只能使该立管的通水能力降低,只会恶化而不是改善系统的运行状态。

单立管排水系统,立管最大通水能力比我国传统理论值小得多(我国规范只取该值的一半),与该理论相矛盾。以前,该理论一直用实际污水含有固体、出流不稳定、短时高峰流量等理由进行解释。然而,使用清水、保持水流稳定和流量稳定所做的试验结果,最大通水能力值仍是如此。我国前三门的现场试验、清华大学实验室的试验、国外大量的试验资料报道无一例外,传统理论不能解释这些事实。

六十年代初就在欧洲兴起来的苏维脱配件,一方面通过挡板削弱支管进水水舌,一方面通过流线型弯曲减小立管中的水流速度 $V_L$ ,结果极大地提高了单立管系统的通水能力;另外,立管上三通的角度、通气管设置的完善程度等等,也都会影响立管的通水能力。这些事实都是我国传统的理论所不能解释的,该理论中, $Q_L$ 并不与这些因素发生关系。

既然有这么多的客观现象与之相矛盾,作者感到有必要对该理论的建立过程重新审视,看到底在建立的过程中什么地方出现了问题。

### a. 基本设定不成立

该理论在建立的过程中设定水膜流(充满度小于 $1/4 \sim 1/3$ )阶段,立管内压力不大,不致破坏水封。其实,这一设定并没有国内或国外的试验资料支持,相反与前述的各试验结果相矛盾,因此该设定是没有根据的是不成立的。

### b. 在引用国外的结论时发生了误解

该理论实际上是从国外资料、特别是从美国 Manas 所著《National Plumbing Code Handbook》一书引伸来的。此书论述了美国通

气排水系统的设置依据及计算方法,其主要内容为:

排水立管内的负压由通气立管控制,水膜中心的气核流由通气立管供给,通气管在与排水立管连接处的压力即代表立管中的压力,压力计算式为(16)式,立管内的负压 $h$ 的大小由调解通气管的尺寸 $l/d$ 控制。

$$h=r[1.5+\lambda(l/d)](V_a^2/2g) \quad (16)$$

式中 $r$ 为气水密度比, $V_a$ 为空气流速,一般取水膜终限流速 $V_L$ 。

在美国,水封上允许作用的最大负压为 $25\text{mmH}_2\text{O}$ 。立管中的负压 $h$ 亦取此值,以确保水封不被破坏。如上控制立管内压力,必须保证立管中心的气核流上下贯通,不被水塞隔断。美国 Hunter、Dawson 和 Wyly 等人做了大量试验,发现在水流充满立管断面的 $1/4 \sim 1/3$ 之前,立管内一直未出现水塞及其相伴随的猛烈压力波动(violent pressuer fluctuation)。因此,美国便把排水立管的最大设计流量(即最大通水能力)限定在 $1/4 \sim 1/3$ 之间,以防止塞流的出现。R. S. Wyly 1976 年在国际室内给排水会议(CIB-W62)上,发表论文总结<sup>[7]</sup>,以往美国的排水系统设计及其试验研究,几乎均是通气排水系统。

上述美国的立管通水能力理论与我国的传统理论存在着重要差别:前者只用于通气排水系统,后者推广为排水系统的普遍原则。其间误把“猛烈压力波动”等同成了水封破坏临界压力,事实上附壁水膜流阶段波动并不猛烈的压力照样会破坏水封。

由于立管通水能力理论在引进过程中做了不适当的范围推广,因此当它面对前述那些本不应属于它的范围的问题——如普通单立管、塑料立管及特殊配件接头系统时,便出现了尴尬的局面。

## 2. 立管排水普遍理论

公式(9)~(13)所代表的立管排水普遍理论可圆满地解释前述的传统理论所不能解释的现象:据(9)式,立管中水流速 $V_L$ 越小,管内负压 $P_m$ 就越小。塑料立管上设“消能装置”及普

通立管上设苏维脱配件,  $V_t$  减小, 负压  $P_m$  就相应减小, 使运行状态改善。

据 (11)~(13) 式, 水舌阻力系数  $K$  越大, 通水能力  $Q_c$  就越小。传统的通气排水系统,  $K \rightarrow 0$ , 且通气管径  $d$  又不能取值太大 (规范不允许), 而单立管排水系统  $K$  值却很大, 即  $K > 1.5 + \lambda l/d$ , 所以后者的  $Q_c$  必然小于前者的  $Q_c$ ; 苏维脱及旋流器排水系统, 支管来水水舌被消弱, 系数  $K$  减小, 故通水能力得到提高; 单立管排水系统中, 小角度三通的水舌较大角度三通的弱, 系数  $K$  较小, 故通水能力  $Q_c$  较大。

对于通气排水系统, 据 (13) 式当排水立管的管径、管材、通气管的长度、管材确定后, 其通水能力  $Q_c$  是通气管径  $d$  的增函数,  $d$  大则  $Q_c$  大。当  $d$  取值足够大,  $Q_c$  的计算值可以很大。但  $Q_c$  的最大极限值只能取附壁膜流态 (中心空气流连续) 尚未消失的临界流量 (用  $Q_m$  表示), 因为超过此流量即进入塞流态, 式 (8) 继而式 (13) 就不再成立。这里  $Q_m$  需要由试验判定, 其意义与美国的立管极限通水能力吻合。立管排水普遍理论在这一特定条件下转变成了美国的通水能力排水理论, 而后者作为一种特例包括在了 (9) 和 (11) 式所代表的排水理论之中。

(9) 和 (11) 式, 不仅能描述各种单立管系统的排水规律, 还把通气排水系统的规律包含于其中, 它统一了排水系统的立管排水规律。

上述的普遍理论不仅能解释现象, 更能指导排水系统的改革方向。据式 (12), 要提高单立管系统的通水能力  $Q_c$ , 主要有两种途径: 一是消弱支管进水水舌, 使  $K$  减小; 一是增加管内壁的粗糙度  $K_p$ , 比如塑料立管内壁面要尽量做粗糙些。又根据式 (13), 当工程设计中立管设计流量较小时 (比规范值  $Q_m$  小) 则通气管径  $d$  可以 (比规范值) 缩小, 以节省管材。据此, 可构造出一种缩小通气管径的通气排水系统。

## 五、小结

由上述的分析可知, 塑料排水立管的排水规律应该用统一公式 (9)~(11) 阐述。根据该理论, 可得如下结果:

### 1. 塑料单立管排水系统立管的通水能力

将比铸铁的小, 所以在制定塑料排水管的规范时, 其立管通水能力就不能取用铸铁立管的值;

2. 若要提高塑料立管的通水能力, 或是减小立管中的负压值, 就应该增加立管内壁面的粗糙度。所以, 在生产塑料排水立管时, 应把内壁制造得粗糙些;

3. 立管上设类似于乙字弯的“消能装置”, 固然会取得减小负压值的效果, 但若设“消弱水舌装置”, 效果会更佳, 因为立管中气核流的负压 (或称压能损失) 主要部分是由水舌 (系数  $K$ ) 造成的。

从本文的分析还可总结出: 建筑排水系统立管排水的普遍规律可用 (9)~(11) 式描述; 我国传统的立管通水能力理论是美国通气排水系统通水能力理论的一种不适当推广。

## 参考文献

- [1] 曲申酉等, “UPVC 排水管在高层建筑中的应用”, 《中国给水排水》, No. 1, Vol10, 1994。
- [2] V. T. Manas, 《National Plumbing Code Handbook》, 1957。
- [3] 高明远等, 《室内给水排水工程 (第二版)》(高等学校试用教材), 1986。
- [4] 王继明, 赵世明, 《单立管排水系统通水能力的研究》, 清华大学研究生论文, 1984。
- [5] 赵世明, “建筑排水立管中的压力”, 《中国给水排水》, No. 1, 1988。
- [6] 胡鹤钧, “排水立管通水能力计算中的  $\lambda$  和  $K$  值”, 《建筑给水排水新技术》, 湖南大学出版社, 1989。
- [7] R. S. Wyly, 《Hydraulics of Gravity Drainage System》, PB8001470。

▽作者通讯处: 100044 北京车公庄大街甲 19 号

建设部建筑设计院

电话: (010) 8312266-2082

收稿日期: 1995-11-27

## 通 知

为了满足部分读者的需要, 我部装订了少量 1995 年《给水排水》精装合订本, 每本 50 元整。欲购者可直接汇款我部, 汇时请用正体注明详细通讯地址 (含邮编)、姓名、合订本数量等, 我们将按购者要求办理。汇款请寄本编辑部。

《给水排水》编辑部

---

not reduce the organic matters and mutagenicity in water effectively compared with traditional process. In a word, PAC and GAC combination process are very useful to control water quality of drinking water.

#### A/O BIOLOGICAL TO TREAT HIGHTLY POLLUTED WASTEWATER FROM

CHEMICAL INDUSTRY ..... Wang Linbin (21)

**Abstract:** The A/O facility in the wastewater plant at Yangtze Petro-chemical Company in Nanjing was originally designed to treat mixed wastewater of PTA production with capacity of 350 cubic meters per hour and COD level of 1500 mg/l and domestic sewage with capacity of 150 cubic meters per hour and COD level of 150 mg/l, so the total capacity and COD level of mixed wastewater were calculated as 500 cubic meters per hour and 1100 mg/l. Under the retention time in A/O tank was 40 hours, the COD level of treated effluent was estimated small than 100 mg/l. Due to the actual COD level of influent reached 1500 mg/l (eventually maximum 3000 mg/l), the A/O process was changed from serious to parallel to assure the COD removal ability and good result has been obtained.

#### DECOLOURIZING TEST OF ACTIVATED DYESTUFF PRINTING WASTEWATER

..... Si Chaohui (24)

#### STUDY ON OZONIZATION TO TREAT CIRCULATED COOLING WATER

..... Wang Yeyao et al (28)

#### ON THE CAPACITY OF PLASTIC STACK ..... Zhao Shiming (32)

**Abstract:** The smooth internal surface and high designed velocity are always thought as the advantages of plastic pipes. But the theoretical analysis and practical observations show that too smooth surface and too big velocity will increase the vacuum inside the sewer stack and cause the water seals of the sanitary equipments out of order and then the designed flowrate has to be reduced. In this paper measures to deal with the issues in drawing up of design standard, installation of special accessories in engineering design and the production of plastic pipes for sewer stacks are proposed on the basis of calculation formula analysis. Also some different opinions related to the theory on discharge capability of sewer stacks accepted traditionally in this country are raised and the limitations and insufficiency of this theory applied to the plastic pipes are indicated.

#### DESIGNING OF THE SEWER SYSTEM OF UNDERGROUND PARKING AREA

..... Zhao Yongliang (36)

---

• • •