

新型建筑给水塑料管应用技术综述

张 森

(上海建筑设计研究院, 上海 200032)

摘要 针对各种塑料给水管替代传统镀锌钢管遇到的应用技术问题进行探讨, 包括塑料给水管的管材性能、适用范围、水力计算、敷设等。新型塑料给水管具有金属给水管所没有的许多特性, 工程中应正确运用, 使其更好地发挥作用。

关键词 建筑给水 塑料管 应用技术

1 塑料给水管替代镀锌钢管的原由

建筑物内供水管道采用传统的镀锌钢管已有近百年的历史。在中国建立第一个水厂的同时, 镀锌钢管也从国外进入中国, 从此中国的饮用水有了质的飞跃。20 世纪 90 年代末的今天, 随着经济的迅猛发展, 人们的生活质量不断提高, 对自来水的水质要求日趋提高。人们对自来水的“红水”、“黑水”等现象反映强烈。据大量水质监测数据表明: 导致管网水质恶化的主要原因是建筑物内给水管道的锈蚀严重。特别采用冷镀锌钢管后, 一般使用寿命不到 5 年就锈蚀, 铁腥味严重。从个别用户水龙头的水样化验细菌总数、大肠菌群严重超标, 居民纷纷向政府部门投诉, 造成一种社会问题。为此, 解决建筑物内管道水质问题, 提高城镇居民生活质量已迫在眉睫。

2 建筑塑料给水管材蓬勃发展

随着我国有机化学工业发展以及中央和地方对化学建材的推广应用的重视, 各种建筑塑料给水管材纷纷在建筑市场登台亮相。至今有以下管材: 硬聚氯乙烯(PVC-U); 高密度聚乙烯(HDPE); 交联聚乙烯(PE-X); 聚丁烯(PB); 丙烯晴-丁二烯-苯乙烯(ABS); 氯化聚氯乙烯(CPVC); 铝塑复合管(PE-Al-PE, PE-X-Al-PE-X); 改性聚丙烯(PP-R, PP-C); 钢塑复合管。

除了建筑塑料给水管外, 传统的铜管仍不失为建筑给水的选用管材; 薄壁不锈钢管经久耐用, 已被工程界公认。在铝矾土资源丰富的省份, 开发研制成功的铝合金供水管, 也是一种新型管材。

由于各种建筑给水管道的材质不一样, 它们的性能也各异, 详见表 1。

表 1 建筑给水管材性能

品种	优点	缺点
PVC-U	抗腐蚀力强, 易于粘合, 价廉, 质地坚硬	有 UPVC 单体和添加剂渗出, 不适用于热水输送; 接头粘合技术要求高, 固化时间较长
HDPE	韧性好, 较好的抗疲劳强度, 耐温度性能较好, 质轻, 可挠性和抗冲性能好	熔接需要电力, 机械连接, 连接件大
PE-X	耐温性能好, 抗蠕变性能好	只能用金属件连接; 不能回收重复利用
PB	耐温性能好, 良好的抗拉、压强度, 耐冲击, 低蠕变, 高柔韧性	国内还没有 PB 树脂原料, 依赖进口, 价高
PP-R	耐温性好	在同等压力和介质温度的条件下, 管壁最厚
CPVC	耐温性最好, 抗老化性能好	价高, 仅适用于热水系统
PE-X-Al-PE-X	易弯曲成形, 完全消除氧渗透, 线胀系数小	管壁厚薄不均匀
ABS	强度大, 耐冲击	耐紫外线差, 粘接固化时间较长

3 适用范围

建筑给水管道, 可适用于工业与民用建筑物内冷水、热水和饮用水系统, 但由于其材质差异, PVC-U 和 PE-Al-PE 管道, 不能用于热水系统, 只适用于冷水供水系统。即使可应用于热水系统的管材, 其压力与温度亦与寿命关系密切, 详见图 1。

3.1 塑料管的耐温性能(见表 2)

根据《建筑给水排水设计规范》(GBJ 15—88) 及其局部修订稿中规定配水点的热水温度不超过 60℃, 因此上述大多数管材都可以用在建筑热水供应系统。

3.2 耐压性能(见表 3)

3.3 塑料管的胀缩率 α

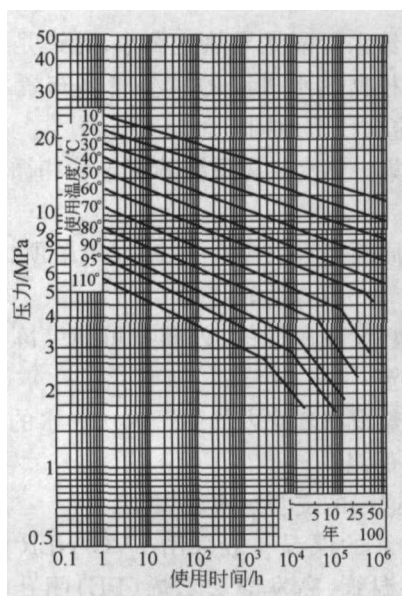


图1 建筑给水管道性能

表2 耐温性能

管材	长期使用温度 /℃	短期使用温度 /℃	软化温度 /℃
HDPE	≤60	≤80	121
PB	≤90	≤95	124
ABS	≤60	≤80	94
(PP-R, PP-C)	≤60	≤90	140
PE-X	≤90	≤95	133
CPVC	≤90	≤95	125
PE-X-Al-PE-X	≤60	≤90	133
PVC-U	≤40	—	90
PE-Al-PE	≤40	—	—

注:①长期使用温度系指管道在此温度范围内使用寿命达30~50 a;
②短期使用温度系指管道在此温度范围内使用寿命达10~20 a。

表3 耐压性能

管材	工作压力 /MPa	试样试验压力 /MPa	接头密封试验 /MPa	爆破压力 /MPa
PVC-U	1.6	42/h	$De \leq 90, 4.2 \text{ PN}$ $De > 90, 3.36 \text{ PN}$	
PE-X	1.0/95℃, 1.6/常温	1.2 2.5	3.5 5.6	
ABS	1.0	3.8/h		4~8
PB	1.6~2.5/冷水, 1.0/热水			
PP-R	2.0/常温,	20℃, 11 h, 16 MPa		
PP-C	0.6/75℃	80℃, 48 h, 4.8 MPa 80℃, 170 h, 4.2 MPa		
HDPE	1.0/热水, 1.6/冷水			
PE-X-Al-PE-X	1.0	2.1~3.0/95℃, 1h		3.5~7.0
CPVC	0.6/热水, 1.0/冷水			

塑料管的胀缩系数比金属管大得多,表4列举了各种管道的线胀系数 α 。

表4 各种材质给水管的 α [m/(m·℃)]

钢	1.14×10^{-5}	PVC-U	7×10^{-5}	PE-X	15×10^{-5}
铸铁	1.05×10^{-5}	PP-R	11×10^{-5}	ABS	11×10^{-5}
铜	1.7×10^{-5}	HDPE	22×10^{-5}	PB	13×10^{-5}
PE-Al-PE	2.5×10^{-5}	MDPE	10×10^{-5}	CPVC	6×10^{-5}

塑料管比金属管有很大的线胀系数,因此在设计中应予以重视,管道伸缩长度可按式计算:

$$\Delta L = \Delta T \cdot L \cdot \alpha \quad (1)$$

式中 ΔL ——管道伸缩长度,mm;

ΔT ——计算温差,℃;

α ——线胀系数,m/(m·℃);

L ——管道长度,m。

管道计算温差可按式确定:

$$\Delta T = 0.65 \Delta t_s + 0.1 \Delta t_g \quad (2)$$

式中 ΔT ——计算温度差,℃;

Δt_s ——管道内水的最大变化温度差,℃;

Δt_g ——管道外空气的最大变化温度差,℃;

对于明装和暗设管道,直线距离较长时,则应考虑用折角自然补偿,见图2。其中

$$L_2 = K \cdot \sqrt{\Delta L \cdot De} \quad (3)$$

式中 L_2 ——为自由臂长度,mm;

ΔL ——自固定支承点起管道伸缩长度,mm;

De ——管道外径,mm;

K ——材料比例系数。

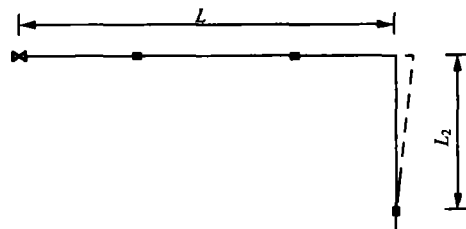


图2 管道的折角补偿

材料比例系数与管材弹性模量有关。按塑料管品种,排列如下:CPVC,PVC-U,ABS,PP-R,HDPE,PE-X,PB。

建议:CPVC、PVC-U、ABS K 取值为30;

PP-R、HDPE K 取值为20;

PE-X、PB K 取值为10。

在管道布置时,应有意折角,使管道有伸缩余地,如图3所示。

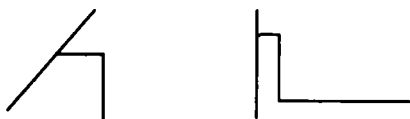


图3 管道布置方式

如果管道明管布置且管径较大、直线距离较长、用折角自由臂补偿有困难,建议采用伸缩器。装置伸缩器的直线管段的两端,需设置固定支承支架。

伸缩器应是平衡式(见图4),不致于在管道水压力的作用下,对管段产生轴向推力。

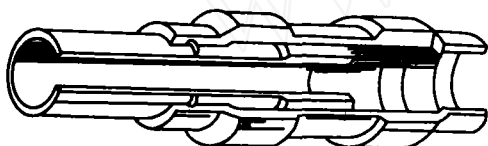


图4 平衡式伸缩器

对于嵌墙敷设的管道,由于墙槽最后是用水泥砂浆嵌实,管道受水泥砂浆摩擦阻力,塑料管道特有的良好的蠕变性,使轴向伸缩转化成径向变化。虽然塑料管道的胀缩率比金属管道大好几倍至十多倍,但其膨胀力却是金属管的几十分之一。以 $De25$ 的 PE-X 塑料管与管径 $DN20$ 的镀锌钢管为例,在管长 1 m ,温度变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,PE-X 胀缩力是镀锌钢管胀缩力的 $1/32$,但实际胀缩力还低于这个数值。因此,嵌墙敷设的塑料管只要施工得当,其胀缩绝不会将嵌实并经过固化的水泥砂浆崩裂,也不必在墙槽内预留塑料管伸缩的空间。

3.4 塑料给水管的导热性能

据有关资料报道,塑料给水管导热率约是钢的 $1/100$,是铜的 $1/1\ 000$ 。表5列举了各种塑料给水管的导热率 λ 值。

表5 塑料给水管的导热率 λ 值 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

管材	λ 值
PB	0.22
PE-X	0.41
PP-R	0.24
CPVC	0.14
PE-X-Al-PE-X	0.45
ABS	0.26
HDPE	0.48
PVC-U	0.16

塑料给水管既然导热这么小,管道是否需要保温?这要根据热水供应的系统管路布置和长度而定,一般遵循以下原则:

- (1) 集中热水供应系统的主干管和循环回水管应保温;
- (2) 局部热水供应系统,暗设于吊顶、管道井或管窿内的管子宜保温;
- (3) 敷设在屋面的、外露有可能结冻的塑料给水管应保温;
- (4) 敷设在套管内的用于输送热水的塑料给水管可不必保温;
- (5) 嵌墙的支管可不必保温。

塑料管的保温一般采用 PVC/NBR 闭孔型橡塑海绵保温管、高发泡聚乙烯 (PE) 闭孔型的保温管、硬质聚氨酯泡沫塑料管和现场喷聚氨酯多元脂发泡剂。管径 $De \geq 50$ 的管道也可采用玻璃纤维双合管保温。

3.5 塑料给水管的抗水锤性能

在给水管系统中,通常由于下列原因造成水锤:①水泵的关闭;②给水管系统压力过高,阀门、龙头突然关闭。

$$P = \frac{SV}{g} \quad (4)$$

式中 P ——水锤压力,MPa;

S ——水锤波速,m/s;

V ——水流速度,m/s;

g ——重力加速度, m/s^2 。

水锤波速 S 由以下公式求得:

$$S = \frac{\sqrt{E_0/\rho}}{\sqrt{1+(E_0/E)D_j/\delta}} \quad (5)$$

式中 $\sqrt{E_0/\rho}$ ——声音在水中传播速度,一般取 $1\ 435\text{ m/s}$;

E_0 ——水的弹性系数,取 $2.1 \times 10^5\text{ N}/\text{cm}^2$;

ρ ——水的密度, $1\ 000\text{ kg}/\text{m}^3$;

E ——管道材料的弹性系数。

由上式可知,水锤波速 S 越大,则水锤压力越高,而水锤波速 S 与管材的弹性模量有关,与管径和管壁厚度有关。管材弹性模量小,管径大,壁厚薄,均可使水锤波速减小,也就使水锤压强减小。

以镀锌钢管 DN20 和塑料管 De25 比较:

镀锌钢管 DN20: 外径 26.15 mm, 内径 21.25 mm, 壁厚 2.75 mm;

PB 管 De25: 外径 25 mm, 内径 20.40 mm, 壁厚 2.3 mm。

镀锌钢管的弹性模量为 $206 \times 10^5 \text{ N/cm}^2$, $E_0/E=0.01$;

PB 管的弹性模量为 $0.35 \times 10^5 \text{ N/cm}^2$, $E_0/E=6$ 。

$S_{\text{钢管}}/S_{\text{塑料PB}}=7$

在相同的管系条件下, De25 塑料(PB)管产生的水锤压力相当于镀锌钢管 DN20 产生的水锤压力的 1/7。

由此推算, 其他塑料管的水锤压力与镀锌钢管之比值, 见下:

$S_{\text{钢管}}/S_{\text{PP-R}}=4.74$

$S_{\text{钢管}}/S_{\text{PEX}}=5.45$

$S_{\text{钢管}}/S_{\text{UPVC}}=2.58$

4 塑料管的水力计算

由于塑料管均以外径×壁厚表示, 各种塑料管道壁厚不一样, 因此它们的水力计算中水力坡降也不一致, 故应通过计算确定。塑料管在尼古拉兹(J. Nikuradse)试验曲线中属于光滑管(smooth-pipes), 它们通过水流时, 属紊流状态, 应按式(6)计算。

$$i = \lambda \frac{1}{d_j} \times \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

式中 i ——水力坡降;

λ ——摩阻系数;

d_j ——管道计算内径, m;

V ——平均水流速度, m/s;

g ——重力加速度, 一般为 9.81 m/s^2 。

塑料管的水力计算关键在于 λ 值确定。 λ 值在紊流时, 与管道内壁的粗糙度无关, 而只与雷诺数 Re 有关。从尼古拉兹曲线中这条光滑曲线的斜率是 -0.25 , 因此 Re 在 $3000 \sim 100000$ 之间, 勃拉修斯(H. Blasius)建议光滑管 λ 采用下式计算。

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (7)$$

也有手册上建议采用:

$$\lambda = \frac{0.25}{Re^{0.225}} \quad (8)$$

由于塑料管与 Re 有关, 雷诺数 Re 又与水流速

度 V 和管径 d_j 以及水的粘滞度 γ 有关:

$$Re = \frac{V d_j}{\gamma} \quad (9)$$

从公式中可以看出: 水流速度大, 水流紊流大, Re 也大。水的运动粘滞度 γ 与温度有关: 水在 10°C 时, 水的运动粘滞度为 $1.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; 而在 60°C 时, 水的运动粘滞度为 $0.475 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; 热水管道 λ 值比冷水管道小, 沿程阻力小。

塑料管的局部阻力与管道的连接方式有关。

ABS、CPVC、PVC-U 管为粘接连接, 它们与镀锌钢管相仿, 过水断面不缩小;

PE-X-Al-PE-X 和 PE-X 卡环和夹紧嵌入式机械连接接头, 过水断面缩小至原内径的 $73\% \sim 80\%$, 故局部阻力较大;

PP-R、PP-C、PB 管热熔式承插式接头, 因熔断时有熔瘤产生, 内壁有 1 mm 左右突出;

PB 管用胶圈密封连接时, 内衬 0.5 mm 不锈钢支承套管, 内径缩小极微。

塑料管的局部阻力还与管道布置方式有关。PP-R、PB、ABS、CPVC、PVC-U 管道一般布置成枝状, 大都用三通弯头配件。住宅的给水管道局部阻力损失, 建议采用枝状管道系统的沿程阻力损失的 30% , 而采用夹紧嵌入式机械连接头的 PE-X、PE-X-Al-PE-X 枝状管道系统, 建议管道系统的局部阻力损失约占沿程阻力的 $50\% \sim 60\%$ 。

而采用分水器, 以数根单管布置到每个卫生器具配水点, 则局部阻力就在配水点和分水器两个点, 而这些管道一般是 $De16 \sim 20$, 则可粗略估计在该管段的局部阻力为每一个连接接头等效于该管段 1.5 m 的沿程阻力。

5 给水塑料管的敷设

5.1 明敷暗设

在国外给水塑料管的敷设已不成问题, 可是在我国他已经成为该种管道推广应用的关键。给水支管由于可弯曲, 在国外一般敷设在吊顶、地板和壁龛内, 而且各种配件、附件、支架、固定件、套管均配套齐全, 因此施工十分方便; 而中国现有房屋的卫生间、厨房间设计除卫生间装饰时有吊顶外, 一般均无地板和壁龛。管道如明设, 则由于塑料管的胀缩系数大, 管道呈弯曲状态, 影响美观, 故建议塑料给水

管宜暗设(钢塑复合管除外)。

暗设有几种敷设方法:①如果是砖墙,对于支管来说,则宜在砖墙上开管槽,管道直接嵌入并用管卡将管子固定在管槽内。管槽宽度宜为管子外径 $De+20\text{ mm}$,槽深为管外径 De ,只要使管子不露出砖坯墙面即可。嵌槽的管道尽量不用管配件,槽弯曲半径应满足管道最小弯曲半径。②如果是钢筋混凝土剪力墙,则支管应敷设贴于墙表面,并用管卡固定于墙面,待土建墙面施工时,用高标号水泥砂浆抹平,或用钢板网包裹于管道外侧(敷设管道局部墙面或敷设管道的全部墙面)用水泥砂浆抹平,然后在外表面贴磁砖等装饰材料。③在吊顶内敷设时,应有意弯曲走向,并作支承架。④对于一户二卫、三卫且穿过客厅的情况,一种办法是将管道直埋于地坪找平层(只适用于 $De\leq 20$)。埋于找平层中的管子,不得有任何连接件。或者埋设在钢筋混凝土的楼板中,但必须有套管,并且有防止混凝土捣捣时流入套管的措施。⑤立管应敷设在管道井中。⑥厨房中的管道宜敷设在柜后,可不必嵌入墙内。

以上暗设管道均需在试压后无渗漏的情况下才能进行土建施工。

5.2 管道支架

管道支承间距与管径和壁厚有关,还与管道的弹性模数 E 有关。而管道输送水的温度对管道的弹性模数 E 有影响。管道的最大支承间距可按下式计算:

$$L_{\max} = \alpha \times \sqrt{\frac{EJ_R}{q}} \quad (10)$$

式中 α ——与管材有关的系数,视管道允许弯曲挠度而定;

E ——在设计温度 T 下的管材弹性模数, N/mm^2 ;

J_R ——管道惯性矩, mm^4 , 可按 $(De - d_i) \frac{\pi}{64}$ 计算;

q ——管道单位长度负载, N/mm 。

一般塑料给水管不进行支承间距计算,而是用查表方式进行,推荐见表 6。

暗敷的立管,宜在穿越楼板处做成固定支承点,以防止立管累积伸缩在最上层支管接出处产生位移应力。立管 $De \leq 40\text{ mm}$ 的管道除穿越楼板处为固定支承点外,宜在每层中间设两个支承点, $De \geq 50\text{ mm}$ 立管,层间只设一个支承点。支承点不必等距离设置,希望在立管引出支管的三通配件处设置一个支承点。

立管布置在管道井中时,则应在立管上引出支管的三通配件处设固定支承点,中间支承仍按上述原则设置。

5.3 配水点固定处理

建筑给水系统的终端是各配水点安装的水龙头,如果龙头是固定在卫生洁具上,则角阀是塑料给水管与金属配件相连接,必有一内衬内螺纹的镶铜塑料件作为一个过渡配件。这些塑料管的配水点,以前沿用镀锌钢管施工安装方法,在配水点处由于塑料管的刚性差,造成水龙头处柔软可动。这样一方面使人们心理上对塑料管感觉不牢靠,另一方面由于水龙头处是人们施力的地方,人身体上部掀压上面,再加之盛水容器之重量,往往造成损坏漏水。在国外均有适合于他们装饰条件的专用配件,可以固定在板壁上,也有在砖坯墙的固定钢板。而在我国,卫生间的装饰没有专门为给排水横支管修筑的壁龛,因此配水点处塑料管与水龙头拉驳件不是嵌装在墙体内(暗设),就是明敷于墙体外。对于嵌装在砖墙内的给水栓配件,除将其固定在砖墙体上外,还应用高标号的水泥砂浆或环氧胶泥将其牢牢地窝嵌在墙体内。对于明装的塑料给水管,则终端必须要有一个金属件(一般为铜件)接驳。此件与砖墙如何固定是关键,如果支管末端为水龙头,按常规做法是装一弯头。但为了与墙体固定改用三通件,但通件中有一通不通,在不通的一端接上镀锌钢管短管,尾

表 6 横 管 支 架 最 大 间 距/m

管道外径/mm	20	25	32	40	50	63	75	90	110
冷水	600~700	650~800	700~950	900~1 100	1 000~1 200	1 200~1 400	1 300~1 500	1 450~1 600	1 600~1 800
热水	500~600	600~700	700~800	800~900	900~1 000	1 000~1 200	1 200~1 400	1 400~1 500	1 500~1 600

注:①明敷管道取低值;②弹性模量小的如 PB、PEX、PP-R、HDPE 宜采用低值,反之亦然;③暗敷管道取高值;④嵌墙管道取高值。

塑料排水立管的通水能力问题

赵世明

(中国建筑设计研究院, 北京 100044)

摘要 塑料排水立管内壁光滑、水流速大一直被视为优点。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。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。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其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运用。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^[1], 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。

1 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。

部砸偏, 扎入墙体内, 并用水泥砂浆填实。如支管中间用三通接出配水栓, 则应用四通件, 四通件中有一通不通水, 做法同上。通过工程实践和用户使用说明, 此办法适合中国国情, 并保证塑料给水管的推广应用顺利进行。

6 结语

新型塑料给水管具有金属给水管所没有的许多特性, 了解和掌握它们的这些特征, 并在工程中正确地处理运用, 做到安全供水, 使化学建材在工程中发

1.1 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。立管的最大通水能力就是: 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。

试验证明, 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 441 Pa (45 mmH₂O)。

1.2 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_i (m/s) 为^[2,3]:

挥更大作用。

参考文献

- 1 INSTAFLEX 技术手册. 乔治·费歇尔公司, 1995 年
- 2 周善生主编. 水力学. 北京: 人民教育出版社, 1981
- 3 楼宇内部供水设备喉管物料一般资料. 香港水务署, 1995

收稿日期: 1998-12-18

首次刊登日期: 1999 年 4 月