

减压孔板水力特性的数值模拟

钱 玲

(盐城市消防技术服务事务所, 江苏 盐城 224001)

摘要:减压孔板是消防系统中不可缺少的减压设施,对其正确的设置与计算是消防系统设计中重要的环节。借鉴前人基于设计手册中水头损失公式进行改进的做法,采用数值模拟方法,对减压孔板的水力特性进行了较为系统的研究。结果表明,随着出流流量的增加,减压孔板作用增强,压降幅度增大,孔径 d 与管径 D 比(d/D)越小降压效果越明显。

关键词:减压孔板;数值模拟;压降

中图分类号: TU998.13

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2013)01-0071-04

高层建筑由于层数较多,高低层所承受的静水压力不一样,实际出水量相差很大,底层的自动喷水设备和消火栓出水量,远远超过顶层的设计流量,减压孔板对水流的动压力具有减压功能。当流动的水经过减压孔板时,由于局部的阻力损失,在减压孔处产生压力降,从而满足消火栓的出口压力及流量的需要。《高层建筑设计防火规范》(GB50045-95)第7.4.6.5条规定“消火栓口处应设置减压装置”,以防止扑救火灾时,低层消防水带往往爆裂,消防水枪的发作用力过大以致不易操作,流量过大导致水箱等储水量被提前用完对扑灭火灾不利。

对于消防系统,减压孔板的置设都应作为重要的问题予以重视,国内很多设计者对减压孔板问题进行了专门的研究。陈松华^[1]对减压孔板的技术要求提出了自己的看法,他认为标准孔板的直径 d 与管径 D 之比应满足 $0.2236 \leq d/D \leq 0.8366$,减压孔板前后都应设置直线段,壁面壁面弯头、阀门产生的干扰;陈礼洪^[2]认为减压减压孔板的水头损失表应采用计算内径编制,若采用设计手册中减压孔板的水头损失表,修正流速需用公称直径计算;郝秦峰^[3]总结了消防系统中减压孔板孔径确定原则,推导出室内消防栓栓后、自动喷水灭火系统水管入口安装减压孔板是,孔径的计算公式;滕莉梅^[4]对比两种圆形孔板计算公式,并分析计算结果差异的原因,孔径的微小变

化会导致水头损失较大的差异。

本文采用CFD方法,对减压孔板的水力特性进行了较为系统的研究。包括:模拟减压孔板附近水流流线、流速、压力等水力特性;不同出流量对压降的影响;不同孔径 d 与管径 D 之比 d/D 对压降的影响。

1 数学模型

1.1 控制方程

连续方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{Du_i}{Dt} = f_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + v_i) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

k 方程:

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(v + \frac{v_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + p_k - \varepsilon \quad (3)$$

ε 方程:

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(v + \frac{v_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} p_k - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

其中湍动能生成项 $p_k = v_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$, 湍流粘

收稿日期:2013-02-18

作者简介:钱玲(1958-),女,江苏盐城人,高级工程师,主要研究方向为消防工程及给排水。

性系数 $\nu_i = c_\mu k^2 / \varepsilon$, 上述 4 式中: t 为时间; f_i 为质量力; p 为修正压力; u_i, u_j 和 x_i, x_j 分别为速度分量和坐标分量, $i, j = 1, 2, 3$; ν 为运动黏性系数; 经验常 $c_\mu = 0.09$, $\sigma_\varepsilon = 1.33$, $\sigma_k = 1.0$, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92^{[5]}$ 。

1.2 伯努利 (Bernoulli) 方程:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad (5)$$

对于水平放置的内径相同的圆管, 取孔板前后两断面, $Z_1 = Z_2$, $v_1 = v_2$, 对于两断面间的水头损失 h_f 可由公式 (5) 得:

$$h_f = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \quad (6)$$

式中: p_1, p_2 分别为两断面的压强, v_1, v_2 为两断面的平均流速, h_f 为水头损失。

1.3 数值求解方法

控制方程可以写成以下通用格式:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \Delta \cdot (U\phi) - \Delta \cdot (\Gamma_\phi \Delta \phi) = S_\phi \quad (7)$$

式中: t 和 U 分别为时间和速度矢量; S_ϕ 为方程的源项; ϕ 为通用变量, 代表 u, v, w, k 等变量; Γ_ϕ 为变量 ϕ 的扩散系数。

在任意控制体积 V 上作积分, 利用高斯定理将体积分化成面积分。可得方程如下:

$$\int \rho \phi U dA = \int \Gamma_\phi \Delta \phi \cdot dA + \int S_\phi dV \quad (8)$$

对控制体积单元取平均, 得到:

$$\sum_f U_f \phi_f A_f = \sum_f \Gamma_\phi (\Delta \phi)_n A_f + S_\phi V \quad (9)$$

式中: A 为表面矢量; f 为某一个面; N_f 为围成单元面的个数; V 为控制体体积; A_f 为 f 面的面积; $(\Delta \phi)_n$ 为 ϕ 的梯度在 f 面法线方向的投影大小, U_f 和 ϕ_f 分别为穿过面的法向速度 ϕ 值。

采用有限体积法对数学模型控制方程进行离散, 动量方程采用二阶迎风离散格式, 速度压力耦合校正采用 PC - SIMPLE 方法, 所有参量的残差控制标准取为 $1.0 \times 10^{-3[6]}$ 。

1.4 计算边界条件

进口边界: 孔板上游边界设定为压力进口, 紊动能 k 和耗散率 ε 由下列经验公式得出:

$$K = 0.0037u^2 \quad \varepsilon = K^{3/2}/0.4L \quad (10)$$

其中 L 为紊流特征长度。

出口边界: 出口边界根据实验资料设定, 由流量控制, 故出口设为速度出口。

壁面条件: 粘性底层采用避免函数法处理。

1.5 计算区域与网格的划分

减压孔板计算区域如图 1 所示, 管道内径为 $D = 60$ mm, 孔板孔径为 d , 孔板前管道长度为 100 mm, 孔板后管道长度为 200 mm。

采用结构网格划分计算区域, 单位网格尺寸为 1 mm, 为提高壁面计算的准确性, 对近壁面网格细化, 第一层网格厚度为 0.005 mm, 使 $30 < y^+ < 60$ 。计算区域总网格数为 1.8 万, 节点数约为 2 万。

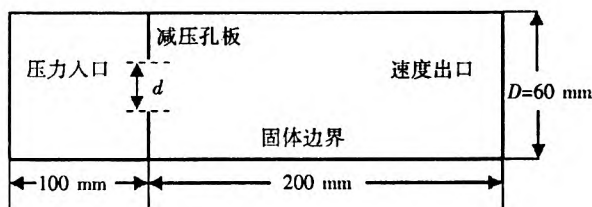


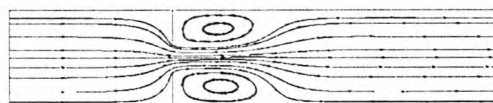
图 1 计算区域示意图

Fig. 1 Schematic diagram of calculation area

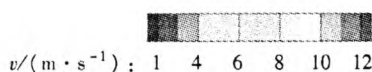
2 数值模拟结果与讨论

2.1 减压孔板水流水力特性

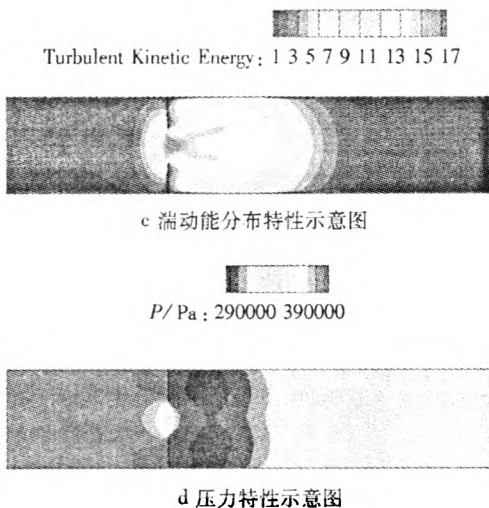
图 2 为 $d = 20$ mm, $Q = 3.6$ L/s 减压孔板水流水力特性示意图。由图 (a) 流线示意图可以看出, 受到孔板的作用, 水流经过孔口突然收缩, 接着又突然扩大, 如图 (b)、图 (c), 水流过孔板后湍动能、流速增加, 形成淹没射流, 湍动能较大, 紊动较为剧烈, 主流与管壁之间形成强烈的回流漩涡区, 由于水流收缩、扩散和分离漩涡, 水流产生能量损失, 即水头损失。水流经过紊动较剧烈的区域后, 流速逐渐恢复到孔板上游管道流速, 水头损失体现在孔板前后断面平均压强减小, 如图 (d) 所示。



a 流线示意图

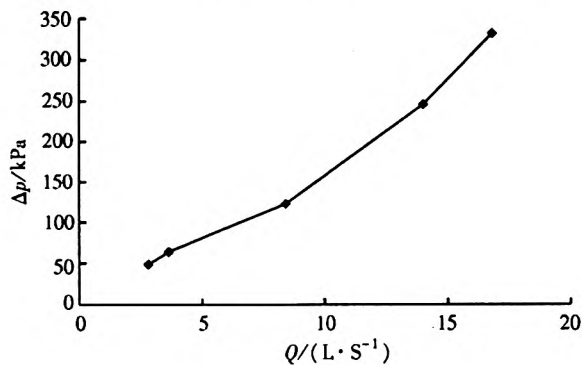


b 流速特性示意图

图2 $d=20\text{ mm}$, $Q=3.6\text{ L/s}$ 减压孔板水流水力特性Fig.2 The hydraulic characteristics of $d=20\text{ mm}$, $Q=3.6\text{ L/s}$ decompression orifice plate flow

2.2 出流流量对压降的影响

水流经过减压孔板,孔板前后断面平均压强降低。对于相同尺寸的减压孔板,管道内不同流量下压降 Δp 不同,为研究出流流量 Q 对压降 Δp 的影响,取孔径 $d=10\text{ mm}$,孔板前压力为 400 kPa ,出流流量分别为 $Q=2.8、3.6、8.4、14、16.8\text{ L/s}$ 。图3为压降 Δp 随出流流量 Q 的变化,可以

图3 压降 Δp 随出流流量 Q 的变化Fig.3 The pressure drop Δp with changes in flow Q

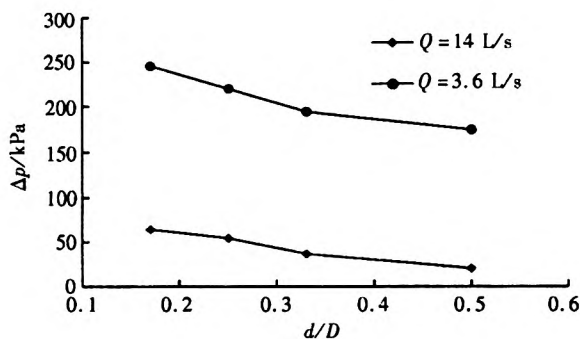
参考文献:

- [1] 陈松华. 减压孔板的设计与计算[J]. 给水排水, 1997, 23(10): 42-43.
- [2] 陈礼洪. 减压孔板设计选型应注意的一个问题[J]. 给水排水, 2003, 29(11): 93-96.
- [3] 郝秦峰. 建筑消防给水减压孔板的设计[J]. 消防技术与产品信息, 2008, (5): 17-19.
- [4] 滕莉梅. 消防冷却水系统减压孔板的水力计算[J]. 石油化工安全环保技术, 2009, 25(6): 42-44.
- [5] 金忠青, 王玲玲. N-S 方程的数值解及紊流模型[M]. 南京: 河海大学出版社, 2005.
- [6] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2005: 262-264.

看出,管道出流流量较低时,减压孔板的作用较低,压降较小;随着出流流量的增加,减压孔板作用增强,压降幅度增大;当出流流量达到 16.8 L/s 时,压降已达至 350 kPa ,压降幅度约为 87% 。

2.3 孔径与管径比 d/D 对压降的影响

减压孔板的孔径大小变化能极大的影响压力水头损失的变化,取孔径分别为 $d=10、15、20、25\text{ mm}$,孔板前压力为 400 kPa ,出流流量分别为 $Q=3.6、14\text{ L/s}$,模拟结果绘制于图4,在两种出流流量 Q 下压降 Δp 随 d/D 的变化,由图4可知,两条不同出流流量下的曲线基本平行,即压降 Δp 随 d/D 变化的趋势相同;孔径越大,孔板的压降越小;孔径越小降压效果越好,但是在大量流量的情况下,管道内容易形成低压区。

图4 压降 Δp 随孔径比 d/D 的变化Fig.4 The pressure drop Δp with aperture ratio changes in d/D

3 结语

(1) 本文运用 CFD 方法模拟出减压孔板的水力特性,为消防系统减压设施的设计计算提供新的思路。

(2) 随着出流流量的增加,减压孔板作用增强,压降幅度增大;孔径 d 与管径 D 比 d/D 越小,压降效果越明显。

Numerical Simulation of Hydraulic Characteristics about Orifice Plate Relief

QIAN Ling

(Yancheng Fire Technology Services Firm, Yancheng Jiangsu 224001, China)

Abstract: Orifice plate relief is indispensable in the fire protection system decompression facilities. It is important to design and calculate in fire protection system. The previous research of orifice plate relief was based on head loss formula about design manual. In this paper, the numerical simulation method were applied to discuss hydraulic characteristics about orifice plate relief. The results showed that with the increase of flow, pressure drop increased. The effect of pressure drop is obvious as lower d/D .

Keywords: orifice plate relief; numerical simulation; pressure drop

(责任编辑:沈建新)

(上接第 55 页)

- [3] 郝二军,张慧勇,李伟. 高效液相色谱法测定普卢利沙星片的含量[J]. 中国现代应用药学杂志,2006,23(2):162 - 164.
- [4] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. II 部. 北京:化学工业出版社,2010.
- [5] 徐耀华,欧艳,马宁. 普卢利沙星胶囊的含量及有关物质的 HPLC 测定[J]. 湖南中医药大学学报,2010(8):21 - 23.
- [6] 陈蓓,张奇华,肖凯. 反相高效液相色谱法测定普卢利沙星的含量及有关物质[J]. 中南药学,2011(1):28 - 32.

Quality Research of Prulifloxacin Tablets

SUN Jine¹, CHEN Hong-yan², ZHU Jian-jun³, JIA Hong-sheng²

- 1. Nanjing Suzhong Pharmaceutical Research Co Ltd, NanJing Jiangsu 210016, China;
- 2. Taicang Agricultural Technology Promotion Center, Taicang Jiangsu 215411, China;
- 3. Shaxi people's Hospital of Taicang City, Taicang Jiangsu 215421, China;
- 4. Chien - shiung Institute of Technology, Taicang Jiangsu 215411, China

Abstract: To establish the quality standard for Prulifloxacin tablets. Methods: Utilizing high performance liquid chromatography (HPLC) to determine the content of Prulifloxacin and the relevant components in tablets. The measurement method of dissolution rate is UV - Vis spectrophotometry method. Results: In the content measurement, tablets of three concentrations all have good recovery rates, $RSD = 0.015\%$, blank materials have no impact on the determination of medicine. The relevant materials in 3 batches of the tablets were less than 1.0% . The concentration of the solution is in good linear with the absorbance value. In the range of $1 \sim 10 \text{ g/ml}$, the linear equation is $A = 0.0978C + 0.002$, the correlation coefficient $r = 1$. In 45 min, this product dissolves more than 85% of the initial amount. Conclusion: The essay method and dissolution determination method are simple, quick and accurate. It could be applicable in quality control.

Keywords: Prulifloxacin tablets; quality control; related substances; dissolution; content

(责任编辑:沈建新)