

ICS 27.120.20

F 65

备案号: 57427—2017

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20424—2017

核电厂限流孔板设置要求

Set requirement for flow restrictors in nuclear power plant

2017 - 02 - 10 发布

2017 - 07 - 01 实施

国家能源局 发布

目次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 限流孔板的结构型式和选用原则 1

 4.1 分类 2

 4.2 孔数的确定 2

 4.3 级数的确定 2

 4.4 确定级间距离 2

 4.5 核级孔板的要求 3

5 孔板压降的计算方法 3

 5.1 单级孔板 3

 5.2 多级孔板 3

6 布置要求 3

附录 A（资料性附录） 有斜角孔板的计算方法 4

附录 B（资料性附录） 无斜角孔板的计算方法 4

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国核电工程有限公司、中广核工程有限公司、上海核工程研究设计院。

本标准主要起草人：刘长亮、杨廷、刘冰、郎瑞峰、朱京梅、曲昌明、李军、吴明、王晓江。

核电厂限流孔板设置要求

1 范围

本标准规定了压水堆核电厂用限流孔板的设置要求和压降计算方法。
本标准适用于压水堆核电厂工艺系统管道中限流孔板的设置。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2624.2—2006 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量 第2部分：孔板。

3 术语和定义

3.1

流量 flowrate

单位时间内流过节流孔的流体质量或体积，用 q 表示。

3.2

雷诺数 Reynolds number

表示惯性力与粘性力之比的无量纲参数，用 Re 表示。

3.3

节流孔 orifice

限流孔板上的开孔。

3.4

直径比 diameter ratio

限流孔板节流孔直径与其上游管道的内径之比，用 β 表示。

3.5

有斜角孔板 sharp-edged orifice

节流孔下游切有斜角的孔板，即节流孔最小截面积处有一窄边。

3.6

无斜角孔板 thick orifice

节流孔不切斜角的孔板。

3.7

标准孔板 standard orifice

满足GB/T 2624.22006第5.1节定义的孔板。

4 限流孔板的结构型式和选用原则

4.1 分类

限流孔板按孔板上的节流孔数分为单孔孔板和多孔孔板，按板数可分为单级孔板和多级孔板。

4.2 孔数的确定

4.2.1 管道内径小于或等于 150 mm 的管道，宜采用单孔孔板；管道内径大于 150 mm 的管道，宜采用多孔孔板，但在保证性能的条件下，仍可采用单孔孔板。

4.2.2 在计算多孔孔板时，首先按单孔求出孔径（ d ），然后按公式（1）求取选用的多孔孔板的孔数（ N ）。多孔孔板的孔径（ d_0 ）一般可选用 8 mm，12.5 mm，20 mm，25 mm。如果计算出的 N 为小数，则应向上取整为整数。

$$N = d^2 / d_0^2 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

N ——多孔孔板的孔数，单位为个；

d ——单孔限流孔板的孔径，单位为毫米（mm）；

d_0 ——多孔限流孔板的开孔孔径，单位为毫米（mm）。

4.3 级数的确定

4.3.1 气体、蒸汽

为了避免使用限流孔板的管路出现阻塞流，限流孔板后的压力（ P_2 ）不宜小于板前压力（ P_1 ）的 55%，即 $P_2 \geq 0.55 P_1$ 。当 $P_2 < 0.55 P_1$ 时，宜采用多级孔板，其板数要保证每板的板后压力大于等于板前压力的 55%。

4.3.2 液体

4.3.2.1 一般原则

当液体压降小于等于 2.5 MPa 时，一般可选用单级孔板；当液体压降大于 2.5 MPa 时，宜选用多级孔板。

4.3.2.2 汽蚀准则

孔板设计应避免发生汽蚀，有些特殊情况下已考虑孔板汽蚀，并采取了防护措施的除外。附录 A 给出了判断孔板汽蚀的一种推荐的方法。

4.3.3 汽液两相

分别按汽相和液相公式计算出 d_v 和 d_l ，然后按公式（2）计算汽液两相孔板的孔径。

$$d = \sqrt{d_v^2 + d_l^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

d ——汽液两相孔板的孔径,单位为毫米(mm);

d_v ——汽相孔板的孔径,单位为毫米(mm);

d_l ——液相孔板的孔径,单位为毫米(mm)。

4.4 确定级间距离

级间距离应不小于孔板后的压力恢复距离,压力恢复距离可查图A.2。

4.5 核级孔板的要求

4.5.1 在限流孔板设计制造前,应进行鉴定试验。

4.5.2 限流孔板的详细设计应满足相应设备规格书的要求。

4.5.3 限流孔板的材料、焊接、制造、检验等应满足相关标准的要求。

4.5.4 设备规格书有要求时,限流孔板应进行性能试验。

5 孔板压降的计算方法

5.1 单级孔板

如果孔板为标准孔板,则宜采用GB/T 2624.2—2006中的方法计算孔板压降。

如果孔板为有斜角的非标准孔板,介质为液体时可按附录A的方法进行计算。介质为气体时可按GB/T 2624.2—2006中的方法进行计算。

如果孔板为无斜角的非标准孔板,则可按附录B的方法进行计算。

5.2 多级孔板

多级孔板的压降可按单级孔板计算,然后代数相加。方法可参考附录A中多级孔板设计。

设备规格书有要求时,多级限流孔板应进行性能试验,以验证是否满足工艺的要求。

6 布置要求

6.1 限流孔板的安装位置应考虑维修或更换的可达性。

6.2 限流孔板应安装在介质流动处于平稳状态的位置,同时为防止对下游设备的不利影响,其上下游的直管段应足够长。若设计文件对孔板上下游直管段长度无特殊规定时,上下游的直管段应大于或等于5倍的管道内径。

6.3 限流孔板宜安装在水平管道上。

附录 A
(资料性附录)
有斜角孔板的计算方法

A.1 汽蚀准则

汽蚀准则数 σ 的计算见式A.1。

$$\sigma = (Pd - Pvg) / \Delta P \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- σ ——汽蚀准则数；
- Pd ——孔板下游压力（表压），单位为帕（Pa）；
- Pvg ——汽化压力（表压），单位为帕（Pa）；
- ΔP ——孔板压降，单位为帕（Pa）。

根据图A.1，查出孔板临界汽蚀数 σ_c 。如果 $\sigma_c < \sigma$ ，则孔板未发生汽蚀；如果 $\sigma_c > \sigma$ ，则孔板可能发生汽蚀。为避免孔板汽蚀，应增加孔板级数。

A.2 单级孔板设计

A.2.1 已知流量和压降，根据式A.2计算出阻力系数，从图A.3查出孔板尺寸。

$$\Delta P = K \rho (v^2 / 2) \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

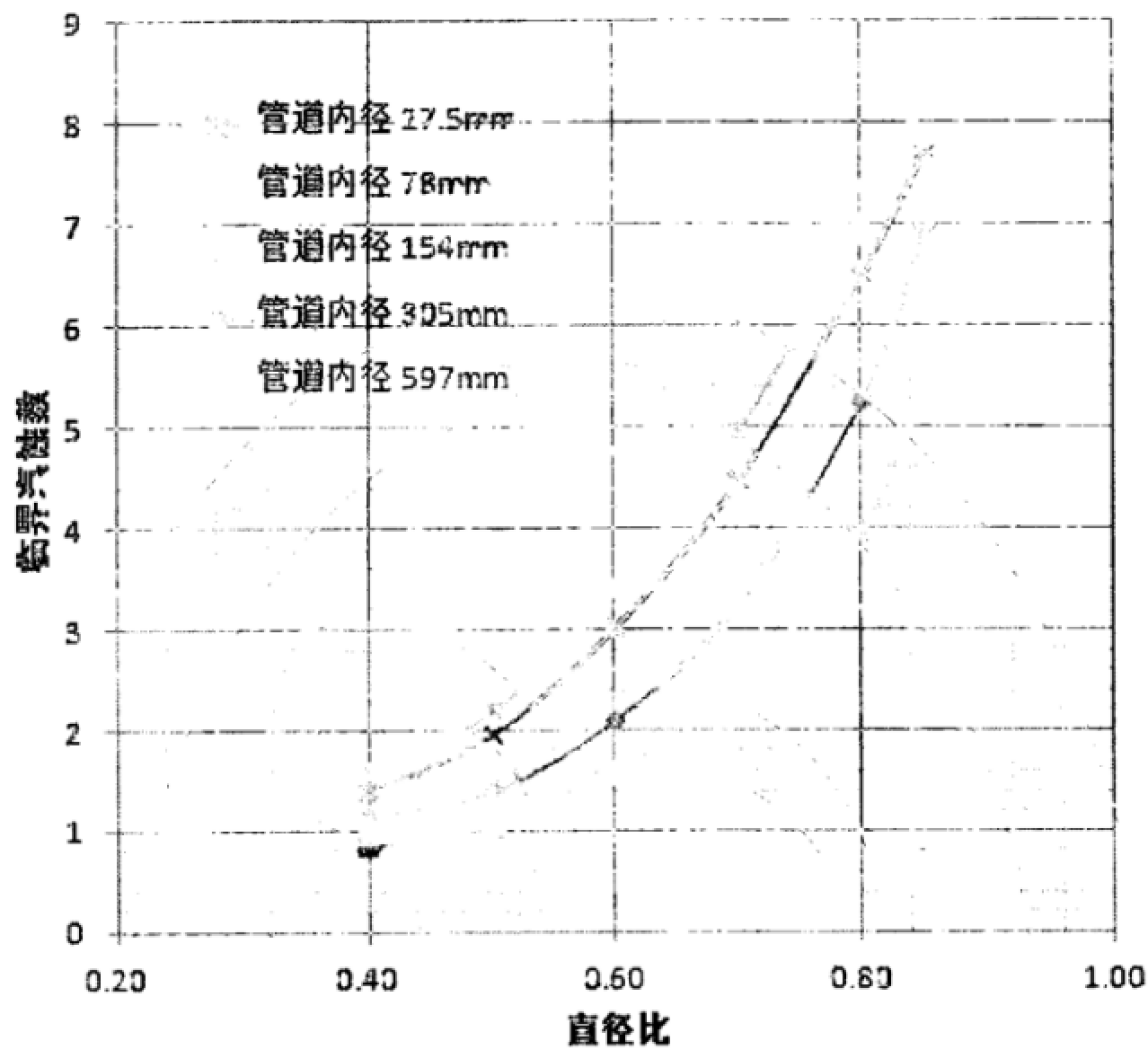
- ΔP ——压降，单位为帕（Pa）；
- K ——阻力系数；
- ρ ——流体密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；
- v ——流体速度，单位为米每秒（m/s）。

A.2.2 验证尺寸是否会发生汽蚀，如果 $\sigma_c \leq \sigma$ ，则单级孔板可接受，如果 $\sigma_c > \sigma$ ，则应选用多级孔板。

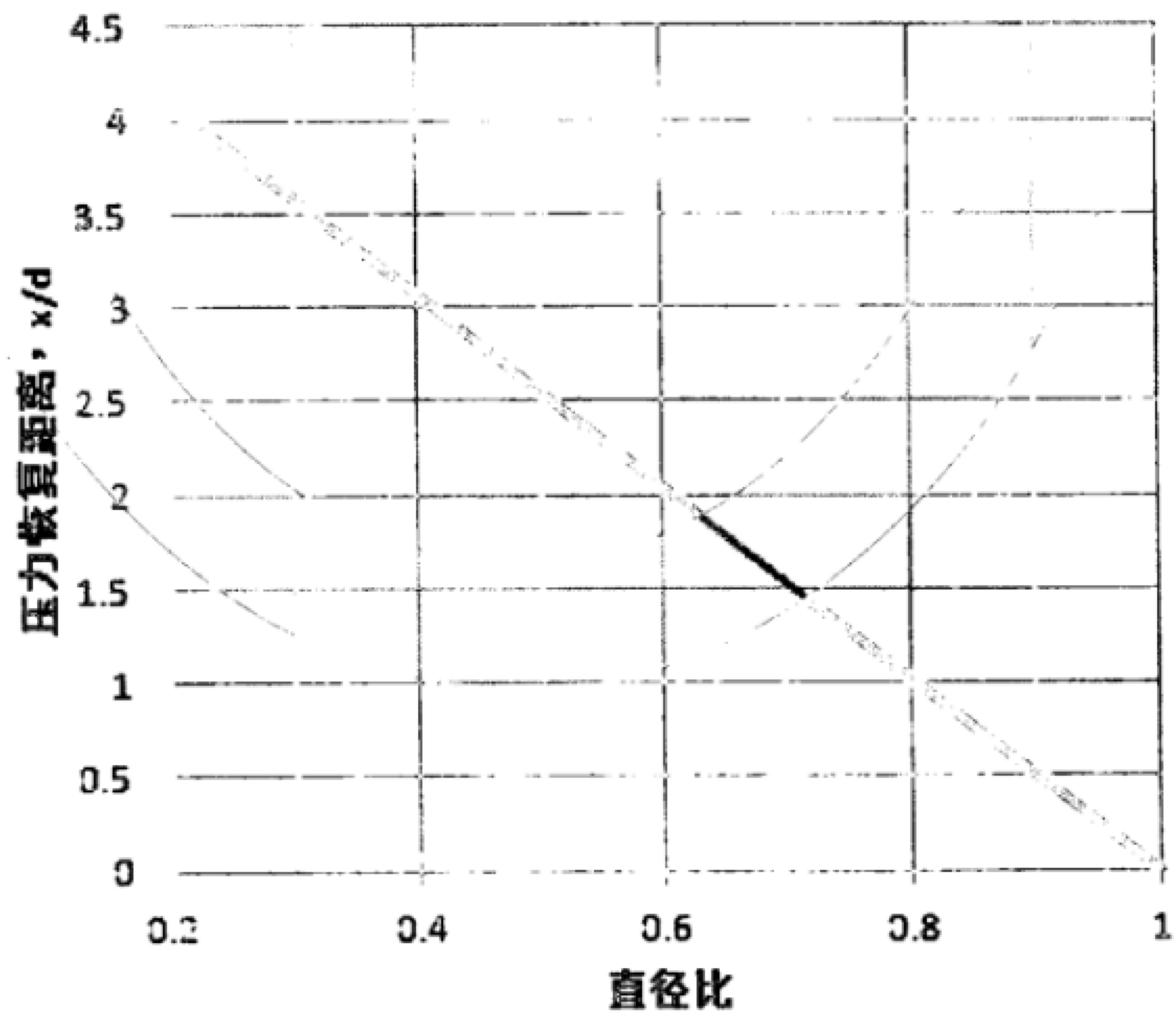
A.3 多级孔板设计

- 每一级的孔板均需通过汽蚀验证，验证步骤如下：
- 根据第一级直径比 β 和图A.3，得出阻力系数 K ；
 - 将阻力系数 K 代入式A.2，求出压降 ΔP ；
 - 将压降 ΔP 代入式A.1，求出第一级的汽蚀准则数 σ ；
 - 根据第一级直径比 β 和图A.1，得出临界汽蚀数 σ_c ；
 - 比较 σ 和 σ_c ，直到 $\sigma > \sigma_c$ 。

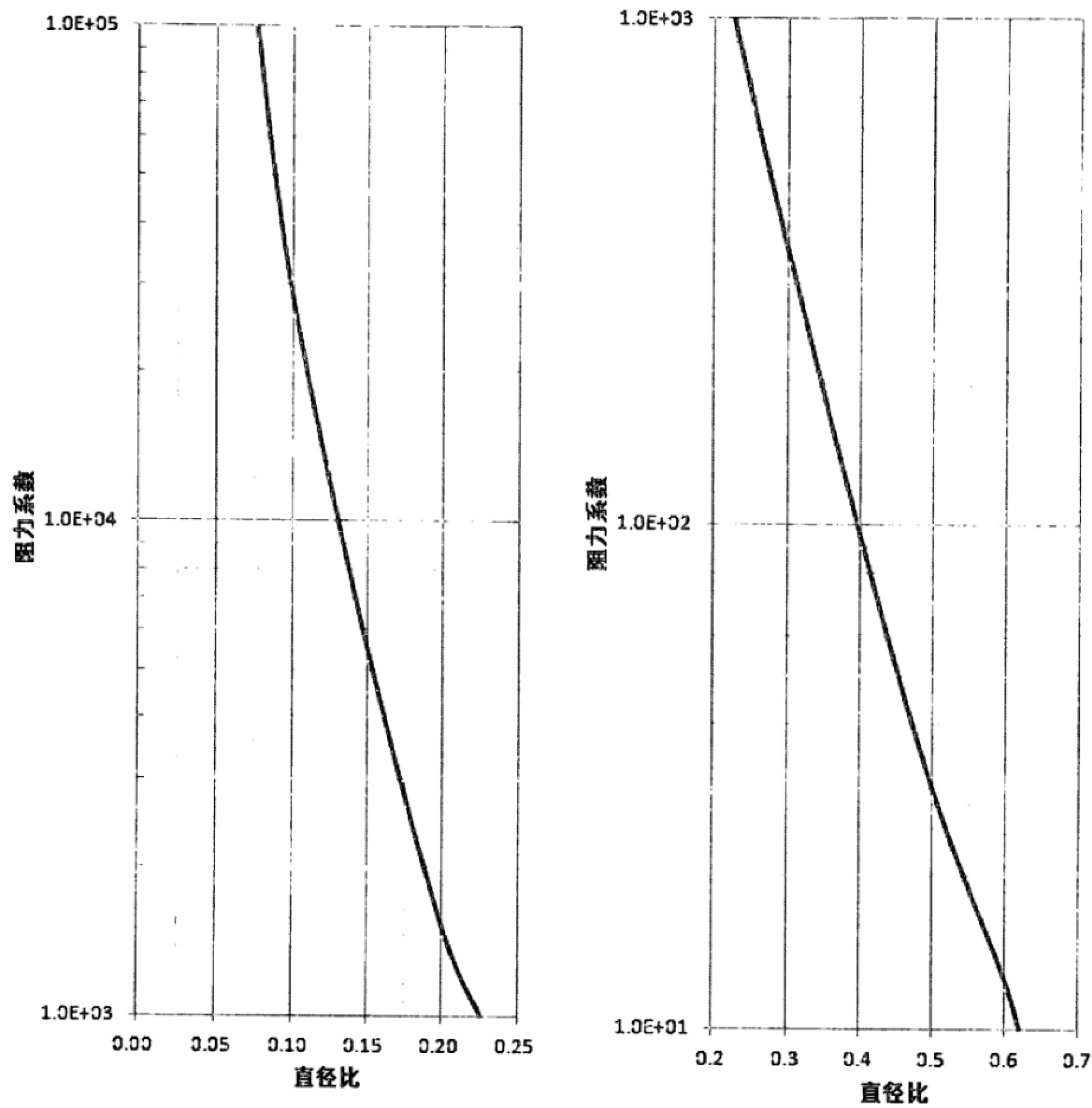
多级孔板设计中，第二级孔板的下游压力等于第一级孔板的上游压力，如图A.4所示。最后一级（最上游）孔板的尺寸的确定与单级孔板尺寸计算一致。各级孔板尺寸确定后，根据图A.2计算级间距离。



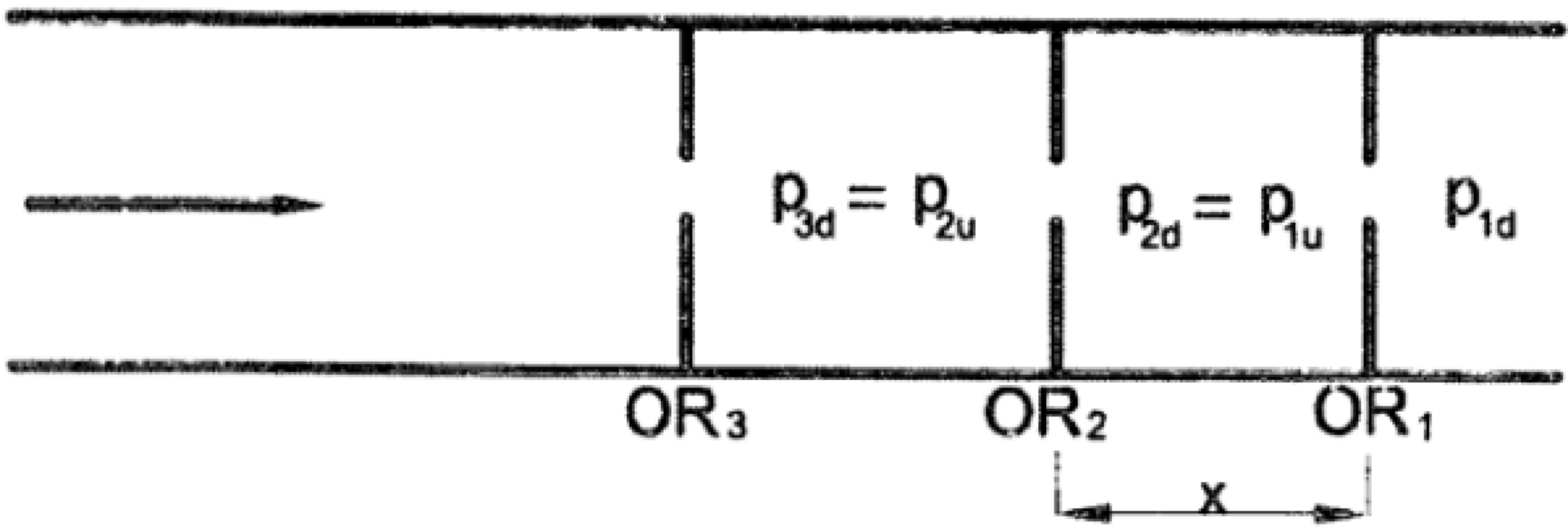
图A.1 临界汽蚀数 σ_c



图A.2 孔板后压力恢复距离 (x 表示压力恢复距离, d 管道内径)



图A.3 锐边孔板阻力系数



图A.4 多级孔板压降

A.4 孔板计算实例

以设计有斜角孔板为例,假设管道内水的质量流量为186 kg/s,孔板上游压力和温度分别是2.34 MPa和138 ℃,下游压力为0.69 MPa。138 ℃时水的密度和饱和压力分别是928 kg/m³和0.34 MPa。管道内径为0.29 m,流通面积为0.066 m²。

根据上述参数可得管道内水的平均流速 $V=186 / (928 \times 0.066) = 3.0$ (m/s)。假设为单级孔板,验证是否发生汽蚀:

——由公式A.2,可得阻力系数 $K=395$,由图A.3,查出直径比 $\beta=0.275$;

——由公式A.1,可得 $\sigma = (0.69 - 0.34) / (2.34 - 0.69) = 0.212$;

——根据直径比 β 和图A.1,可得临界汽蚀数 $\sigma_c = 1.2$;

——汽蚀检验, $\sigma < \sigma_c$,不满足汽蚀准则,所以应选用多级孔板。

多级孔板计算首先从下游开始,具体如下:

——如图A.4所示的多级孔板,假设第一级直径比 $\beta_1=0.4$,根据图A.3,可得阻力系数 $K=90$;

——由公式A.2,得 $\Delta P = 90 \times 928 \times (3^2 / 2) = 0.376$ (MPa);

——由公式A.1,得 $\sigma = (0.69 - 0.34) / 0.376 = 0.93$;

——根据第一级直径比 $\beta_1=0.4$,查图A.1,可得 $\sigma_c = 1.3$;

——汽蚀检验, $\sigma < \sigma_c$,不满足汽蚀准则,考虑增大第一级孔板节流孔孔径;

——假设 $\beta_1=0.45$,重复上述步骤,可得 $\sigma = 1.62$, $\sigma_c = 1.6$, $\sigma > \sigma_c$,满足汽蚀准则;

——根据第一级直径比 $\beta_1=0.45$,可得节流孔孔径 $d_1=0.29 \times 0.45 = 0.13$ (m);

——其他级的孔板尺寸同样依据上述步骤进行计算;

——得出第二级节流孔孔径 $d_2=0.085$ m,且刚好能满足不发生汽蚀的条件;

——根据图A.2确定级间距离 $x=3.5 \times d_1 = 1.015$ (m)。

因此,该处需要设置一个两级孔板,从下游开始第一级节流孔孔径0.13 m,第二级节流孔孔径0.085 m,两板之间的距离为1.015 m。

附 录 B
(资料性附录)
无斜角孔板的计算方法

B.1 无斜角孔板压降计算方法

对于单板无斜角孔板,可采用式B.1~式B.4进行计算:

$$\xi = \frac{\Delta H}{v_0^2/2g} = \frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{S_0}{S_1}\right) + \left(1 - \frac{S_0}{S_1}\right)^2 + \tau \left(1 - \frac{S_0}{S_1}\right)^{\frac{3}{2}} + \frac{\lambda e}{d} \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

$$\Delta P = \rho g \Delta H = \frac{1}{2} \times \xi \rho v_0^2 \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

$$\tau = \frac{e}{d} \dots\dots\dots (\text{B.3})$$

$$\lambda = \frac{1}{(1.82 \times \lg \text{Re} - 1.64)^2} \dots\dots\dots (\text{B.4})$$

式中:

d ——孔板孔径,单位为米(m);

ΔP ——孔板压力损失,单位为帕(Pa);

ρ ——流体介质密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

e ——节流孔厚度(孔板厚度),单位为米(m);

ξ ——以孔径为特征的孔板阻力系数;

ΔH ——压头损失,单位为帕(Pa);

v_0 ——孔内流速,单位为米每秒(m/s);

S_0 ——节流孔流通面积,单位为平方米(m^2);

S_1 ——管道流通面积,单位为平方米(m^2);

τ ——孔板外形调整系数;

λ ——孔内沿程阻力系数;

Re ——以节流孔内径为特征值的雷诺数。

孔板外形调整系数 τ 的取值见表B.1。对于核电厂核岛系统用孔板,孔内沿程阻力系数 λ 根据经验可以直接取0.02。

表B.1 孔板外形调整系数 τ 取值表

孔板厚度与孔径之比 e/d	孔板外形调整系数 τ
0	1.35
0.2	1.22
0.4	1.1
0.6	0.84
0.8	0.42
1.0	0.24
1.2	0.16
1.6	0.07
2.0	0.02
2.4	0

B.2 计算实例

管道内水质量流量 $111\text{ m}^3/\text{h}$ ，上游压力 0.5 MPa ，温度 $15\text{ }^\circ\text{C}$ ，管道内径 107 mm 。设计无斜角的孔板，压降要求 0.2 MPa 。经过力学分析及经验，孔板的厚度设为 10 mm ，假设节流孔孔径为 50 mm ，以节流孔为特征的雷诺数 Re 为 6.9×10^4 ，孔内沿程阻力系数 $\lambda=0.02$ ，则：

- 节流孔内水的平均流速 $v_1=0.157\text{ m/s}$ ；
- 由公式 B.1，以节流孔为特征的阻力系数 $\xi=1.85$ ；
- 由公式 B.2，得孔板压力损失 $\Delta P=0.228\text{ MPa}$ ；
- 重新假设节流孔孔径为 51 mm ，重复上述步骤，得 $\Delta P=0.206\text{ MPa}$ ；
- 根据附录 A.1 中方法进行汽蚀验证，该孔板不会发生汽蚀；
- 从而确定无斜角孔板厚度为 10 mm ，节流孔孔径为 51 mm 。

1
2
3

4
5
6

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
核电厂限流孔板设置要求
NB/T 20424—2017

*

核工业标准化研究所出版发行
北京海淀区骚子营 1 号院
邮政编码: 100091
电 话: 010-62863505
原子能出版社印刷
版权专有 不得翻印

*

2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷
印数 1—50 定价 28.00 元