

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 2624.1—2006/ISO 5167-1:2003  
代替 GB/T 2624—1993

## 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 1 部分：一般原理和要求

Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in  
circular cross-section conduits running full—Part 1: General principles and  
requirements

(ISO 5167-1:2003, IDT)

2006-12-13 发布

2007-07-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	I
引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
3.1 压力测量 .....	1
3.2 一次装置 .....	2
3.3 流量 .....	2
4 符号和下角标 .....	5
4.1 符号 .....	5
4.2 下角标 .....	6
5 测量原理和计算方法 .....	6
5.1 测量原理 .....	6
5.2 标准一次装置直径比的确定方法 .....	6
5.3 流量的计算 .....	7
5.4 密度、压力和温度的确定 .....	7
6 测量的一般要求 .....	8
6.1 一次装置 .....	8
6.2 流体的性质 .....	8
6.3 流动状态 .....	8
7 安装要求 .....	9
7.1 总则 .....	9
7.2 最短上游和下游直管段 .....	10
7.3 一次装置处流动状态的一般要求 .....	10
7.4 流动调整器(参见附录 C) .....	10
8 流量测量的不确定度 .....	12
8.1 不确定度的定义 .....	12
8.2 不确定度的实际计算 .....	13
附录 A(资料性附录) 迭代计算 .....	15
附录 B(资料性附录) 管壁等效均匀粗糙度 $k$ 值的实例 .....	17
附录 C(资料性附录) 流动调整器和流动整直器 .....	18
参考文献 .....	26

## 前 言

GB/T 2624《用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量》由以下部分组成：

- 第 1 部分：一般原理和要求；
- 第 2 部分：孔板；
- 第 3 部分：喷嘴和文丘里喷嘴；
- 第 4 部分：文丘里管。

本部分为 GB/T 2624 的第 1 部分。

本部分等同采用 ISO 5167-1:2003《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 1 部分：一般原理和要求》(英文版)。

本部分等同翻译 ISO 5167-1:2003。

本部分在制定时按 GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》和 GB/T 20000.2—2001《标准化工作指南 第 2 部分：采用国际标准的规则》的有关规定做了如下编辑性修改：

- 删除了 ISO 国际标准的前言；
- 将“ISO 5167 的本部分”改成“GB/T 2624 的本部分”；
- 原引用标准的引导语按 GB/T 1.1—2000 的规定改成规范性引用文件的引导语；
- 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”。

本部分更正了 ISO 5167-1:2003 的编辑性错误：

- 表 A.1 中第四行第三栏的“ $A_2 = \frac{\mu_1 Re(D)}{D \sqrt{2\Delta p \rho_1}}$ ”更正为“ $A_2 = \frac{\mu_1 Re_D}{D \sqrt{2\Delta p \rho_1}}$ ”；
- 附录 A 第 7 行中的“基本流量方程(3)”更正为“基本流量方程(1)”；
- C.2.2.1 的公式下补充了“ $\rho$ ”的说明；
- 图 C.8 的标题“Sprenkle 整直器”更正为“Sprenkle 流动调整器”；
- 图 C.9 中“e 孔径 0.077D, 节圆直径 0.90D, 4 个孔”更正为“e 孔径 0.077D, 节圆直径 0.90D, 8 个孔”。

本部分替代 GB/T 2624—1993《流量测量节流装置 用孔板、喷嘴和文丘里管测量充满圆管的流体流量》。

本部分与 GB/T 2624—1993 相比主要变化如下：

- a) 新标准分成 4 个部分，分别阐述孔板、喷嘴和文丘里管的加工技术要求以及使用时的安装要求。
- b) 安装时节流件前的直管段长度较 GB/T 2624—1993 有明显变化，标准中列举的节流件前的阻流件形式也比 GB/T 2624—1993 多。孔板与喷嘴的直管段长度分别阐述，不再使用同一表格。
- c) 特别强调流动调整器要进行配合性试验，并具体给出了配合性试验的方法。

本部分的附录 A、附录 B 和附录 C 为资料性附录。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国工业过程测量和控制标准化技术委员会第一分技术委员会归口。

本部分负责起草单位：上海工业自动化仪表研究所。

本部分参加起草单位：上海仪器仪表及自控系统检验检测所、上海仪昌节流装置制造有限公司、上海光华仪表有限公司、余姚市银环流量仪表有限公司、天津市润泰自动化仪表有限公司。

本部分主要起草人：李明华、彭淑琴、龙竹霖、叶斌、朱家顺、童复来、包国祥、吴国静。

本部分所替代标准的历次版本发布情况：GB 2624—1981；GB/T 2624—1993。

## 引 言

GB/T 2624 规定了孔板、喷嘴和文丘里管的几何形状及其安装在充满流体的管道中测量管道内流体流量的使用方法(安装和工作条件)。同时也给出了用于计算流量和其相应不确定度的必要资料。

GB/T 2624(所有部分)仅适用于在整个测量段内流体保持亚音速流动,并可认为是单相流的差压装置。本部分不适用于脉动流的测量。此外,每一种装置都只能在规定的管道尺寸和雷诺数极限范围内使用。

GB/T 2624(所有部分)对所涉及的装置做过大量直接校准实验,实验的数量、分布范围和质量足以使所取得的实验结果和系数能作为相关应用系统的依据,使其具有确定的可预测不确定度限值。

装入管道的装置称为“一次装置”。一次装置这个术语还包括取压口。测量所需的其他所有仪表或装置称为“二次装置”。GB/T 2624(所有部分)考虑的是这些一次装置,偶而也提到二次装置<sup>1)</sup>。

GB/T 2624 由下列 4 个部分组成:

- a) GB/T 2624 的第 1 部分给出了一般术语和定义、符号、原理和要求,以及 GB/T 2624 的第 2 部分、第 3 部分和第 4 部分使用的测量方法和不确定度。
- b) GB/T 2624 的第 2 部分详细说明孔板。孔板可以同角接取压口、 $D$  和  $D/2$  取压口<sup>2)</sup> 和法兰取压口配合使用。
- c) GB/T 2624 的第 3 部分详细说明形状和取压口位置各不相同的 ISA 1932 喷嘴<sup>3)</sup>、长径喷嘴和文丘里喷嘴;
- d) GB/T 2624 的第 4 部分详细说明经典文丘里管<sup>4)</sup>。

GB/T 2624 的第 1 到第 4 部分并未涉及安全方面的问题。用户有责任确保系统符合适用的安全规范。

---

1) 见 ISO 2186:1973《封闭管道中的流体流量 用于一次和二次装置之间压力信号传输的连接法》。

2) GB/T 2624 不考虑具有缩流取压口的孔板。

3) ISA 是“国家标准化协会国际联合会”(International Federation of the National Standardizing Associations)的简称,该组织于 1946 年由 ISO 替代。

4) 在美国,经典文丘里管有时称为 Herschel 文丘里管。

# 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1部分：一般原理和要求

## 1 范围

GB/T 2624 的本部分定义了术语和符号,确定了用安装在圆形截面管道中的差压装置(孔板、喷嘴和文丘里管)测量满管流体流量的一般原理和计算方法。本部分也规定了测量、安装和确定流量测量不确定度方法的一般要求。本部分还确定了这些差压装置所适用的管道尺寸和雷诺数的范围。

GB/T 2624(所有部分)仅适用于在整个测量段内保持亚音速的单相流。它不适用于脉动流的测量。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 2624 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

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 (ISO 5167-2:2003, IDT)

GB/T 2624.3—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3部分:喷嘴和文丘里喷嘴 (ISO 5167-3:2003, IDT)

GB/T 2624.4—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4部分:文丘里管 (ISO 5167-4:2003, IDT)

GB/T 17611—1998 封闭管道中流体流量的测量 术语和符号 (idt ISO 4006:1991)

## 3 术语和定义

GB/T 17611 确立的以及下列术语和定义适用于 GB/T 2624 的本部分。

注:以下定义的术语仅限于有特定意义或有必要强调其涵义的术语。

### 3.1 压力测量

#### 3.1.1

**管壁取压口 wall pressure tapping**

管壁上钻出的环状缝隙或圆孔,其边缘与管道内表面平齐。

注:取压口通常是圆孔,但在某些情况下也可以是环状缝隙。

#### 3.1.2

**流经管线的流体静压 static pressure of a fluid flowing through a pipeline**

$p$

由联接到管壁取压口的压力测量装置测得的压力。

注:GB/T 2624(所有部分)中只考虑绝对静压值。

#### 3.1.3

**差压 differential pressure**

$\Delta p$

当业已考虑上、下游取压口之间任何高度差时,在两个管壁取压口处测得的(静)压差。管壁取压口一个位于一次装置的上游侧,另一个位于一次装置的下游侧(或文丘里喷嘴或文丘里管的喉部内)。

注:在 GB/T 2624(所有部分)中,只有当取压口位于各种标准一次装置的规定位置时才使用“差压”这个术语。

### 3.1.4

**压力比 pressure ratio**

$\tau$

下游取压口处的绝对静压与上游取压口处的绝对静压之比。

## 3.2 一次装置

### 3.2.1

**节流孔 orifice**

**喉部 throat**

一次装置中横截面积最小的开孔。

注:标准一次装置的节流孔是圆形的,并与管线同轴。

### 3.2.2

**孔板 orifice plate**

机械加工出圆形穿孔的薄板。

注:把标准孔板描述成具有“锐利直角边缘”的“薄板”,是因为与测量段的直径相比板的厚度小,节流孔的上游边缘锐利且成直角。

### 3.2.3

**喷嘴 nozzle**

由收缩入口联接通常称为“喉部”的圆筒部分所组成的装置。

### 3.2.4

**文丘里喷嘴 Venturi nozzle**

由标准 ISA 1932 喷嘴作为收缩入口联接称为“喉部”的圆筒部分和称为“扩散段”的圆锥形扩展部分组成的装置。

### 3.2.5

**文丘里管 Venturi tube**

由圆锥形收缩入口联接称为“喉部”的圆筒部分和称为“扩散段”的圆锥形扩展部分组成的装置。

### 3.2.6

**直径比 diameter ratio**

$\beta$

一次装置节流孔(或喉部)的直径与一次装置上游测量管道的内径之比。

注:当一次装置上游圆筒段的内径与管道内径等值时(如经典文丘里管),直径比是喉部直径与上游取压口平面处圆筒段的内径之比。

## 3.3 流量

### 3.3.1

**流量 flowrate**

**流率 rate of flow**

$q$

单位时间内流过节流孔(或喉部)的流体质量或体积。

#### 3.3.1.1

**质量流量 mass flowrate**

**质量流率 rate of mass flow**

$q_m$

单位时间内流过节流孔(或喉部)的流体质量。

### 3.3.1.2

**体积流量** volume flowrate

**体积流率** rate of volume flow

$q_v$

单位时间内流过节流孔(或喉部)的流体体积。

注：在体积流量情况下，必需说明取得该体积流量时的压力和温度。

### 3.3.2

**雷诺数** Reynolds number

$Re$

表示惯性力与粘性力之比的无量纲参数。

#### 3.3.2.1

**管道雷诺数** pipe Reynolds number

$Re_D$

表示上游管道中惯性力与粘性力之比的无量纲参数。

$$Re_D = \frac{v_1 D}{\nu_1} = \frac{4q_m}{\pi \mu_1 D}$$

#### 3.3.2.2

**节流孔或喉部雷诺数** orifice or throat Reynolds number

$Re_d$

表示一次装置节流孔或喉部中惯性力与粘性力之比的无量纲参数。

$$Re_d = \frac{Re_D}{\beta}$$

### 3.3.3

**等熵指数** isentropic exponent

$\kappa$

在基本可逆绝热(等熵)转换条件下，压力的相对变化与密度的相对变化之比。

注1：等熵指数  $\kappa$  出现在可膨胀性[膨胀]系数  $\epsilon$  的不同公式中，随气体的性质以及随其温度和压力的变化而变化。

注2：到目前为止，尚有许多气体和蒸汽的  $\kappa$  值未发表过，尤其是在很宽的压力和温度范围内。在这种情况下，

GB/T 2624(所有部分)用理想气体的定压比热容与定容比热容之比代替等熵指数。

### 3.3.4

**焦耳—汤姆逊系数** Joule Thomson coefficient

**等焓温度—压力系数** isenthalpic temperature-pressure coefficient

$\mu_{JT}$

等焓下相对于压力的温度变化速率：

$$\mu_{JT} = \left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_H$$

或

$$\mu_{JT} = \left. \frac{R_u T^2}{p C_{m,p}} \frac{\partial Z}{\partial T} \right|_p$$

式中：

$T$ ——绝对(热力学)温度；

$p$ ——流经管线的流体静压；

$H$ ——焓；

$R_u$ ——通用气体常数；

$C_{m,p}$ ——定压摩尔比热容；

$Z$ ——压缩系数。

注：焦耳—汤姆逊系数随气体的性质以及随其温度与压力的变化而变化，并可计算。

### 3.3.5

**流出系数 discharge coefficient**

$C$

为不可压缩流体确定的表示通过装置的实际流量与理论流量之间关系的系数。它由下式表示：

$$C = \frac{q_m \sqrt{1 - \beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}$$

注1：利用不可压缩流体(液体)对标准一次装置进行校准表明，对于给定安装条件下的给定一次装置，流出系数仅与雷诺数有关。

对于不同的一次装置，只要这些装置几何相似，并且流体的雷诺数相同，则  $C$  的数值都是相同的。

GB/T 2624(所有部分)以实验确定的数据为依据给出求  $C$  值的方程式。

在适宜的实验室条件下校准流量，可以降低  $C$  值的不确定度。

注2：量  $1/\sqrt{1-\beta^4}$  称为“渐近速度系数”，而乘积  $C \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$  称为“流量系数”。

### 3.3.6

**可膨胀性系数 expansibility factor**

**膨胀系数 expansion factor**

$\epsilon$

考虑到流体的可压缩性所使用的系数：

$$\epsilon = \frac{q_m \sqrt{1 - \beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 C \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}$$

注：用可压缩流体(气体)对给定一次装置进行校准表明，比值

$$\frac{q_m \sqrt{1 - \beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}$$

取决于雷诺数值，也取决于气体的压力比和等熵指数值。

表示这些变化的方法是以可膨胀性(膨胀)系数  $\epsilon$  乘一次装置的流出系数  $C$ 。流出系数  $C$  利用雷诺数值相同的液体直接校准后确定。

当流体不可压缩时(液体)， $\epsilon$  等于 1，当流体可压缩时(气体)， $\epsilon$  小于 1。

实验表明  $\epsilon$  实际上与雷诺数无关。对于给定一次装置的给定直径比， $\epsilon$  只取决于压力比和等熵指数。因此本方法是可行的。

GB/T 2624.2 给出的孔板的  $\epsilon$  值是以实验确定的数据为依据。对于喷嘴(见 GB/T 2624.3)和文丘里管(见 GB/T 2624.4)， $\epsilon$  值是以适用于等熵膨胀的热力学通用方程为依据的。

### 3.3.7

**粗糙度廓形的算术平均偏差 arithmetical mean deviation of the roughness profile**

$R_a$

偏离被测廓形平均线的算术平均偏差。

注1：平均线为有效表面与平均线之间的距离的平方和为最小。实际上，对于机械加工表面， $R_a$  可用标准设备测量，但只能判断管道较粗糙的表面。参见 ISO 4288。

注2：管道也可采用等效均匀粗糙度  $k$ 。该值可由实验确定(见 7.1.5)或查表而得(见附录 B)。



## 4 符号和下角标

## 4.1 符号

表 1 符号

符号	量	量纲 <sup>a</sup>	SI 单位
$C$	流出系数	无量纲	—
$C_{m,p}$	定压摩尔比热容	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}mol^{-1}$	J/(mol·K)
$d$	工作条件下一次装置节流孔或喉部的直径	L	m
$D$	工作条件下上游管道内径(或经典文丘里管上游直径)	L	m
$H$	焓	$ML^2T^{-2}mol^{-1}$	J/mol
$k$	等效均匀粗糙度	L	m
$K$	压力损失系数(压力损失与动压 $\rho V^2/2$ 之比)	无量纲	—
$l$	取压口间距	L	m
$L$	相对取压口间距: $L=l/D$	无量纲	—
$p$	流体的绝对静压	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$q_m$	质量流量	$MT^{-1}$	kg/s
$q_v$	体积流量	$L^3T^{-1}$	m <sup>3</sup> /s
$R$	半径	L	m
$R_a$	(粗糙度)廓形的算术平均偏差	L	m
$R_u$	通用气体常数	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}mol^{-1}$	J/(mol·K)
$Re$	雷诺数	无量纲	—
$Re_D$	与 $D$ 有关的雷诺数	无量纲	—
$Re_d$	与 $d$ 有关的雷诺数	无量纲	—
$t$	流体温度	$\Theta$	℃
$T$	流体的绝对(热力学)温度	$\Theta$	K
$U'$	相对不确定度	无量纲	—
$v$	管道中流体的平均轴向速度	$LT^{-1}$	m/s
$Z$	压缩系数	无量纲	—
$\beta$	直径比: $\beta=d/D$	无量纲	—
$\gamma$	比热容比 <sup>b</sup>	无量纲	—
$\delta$	绝对不确定度	c	c
$\Delta p$	差压	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$\Delta p_c$	流动调整器两端之间的压力损失	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$\Delta \varpi$	一次装置两端之间的压力损失	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
$\epsilon$	可膨胀性[膨胀]系数	无量纲	—
$\kappa$	等熵指数 <sup>b</sup>	无量纲	—
$\lambda$	摩擦系数	无量纲	—

表 1(续)

符号	量	量纲 <sup>a</sup>	SI 单位
$\mu$	流体的动力粘度	$ML^{-1}T^{-1}$	$Pa \cdot s$
$\mu_T$	焦耳—汤姆逊系数	$M^{-1}LT^2\Theta$	$K/Pa$
$\nu$	流体的运动粘度: $\nu=\mu/\rho$	$L^2T^{-1}$	$m^2/s$
$\xi$	相对压力损失(压力损失与差压之比)	无量纲	—
$\rho$	流体的密度	$ML^{-3}$	$kg/m^3$
$\tau$	压力比: $\tau=p_2/p_1$	无量纲	—
$\phi$	扩散段的总的角度	无量纲	弧度

a M=质量,L=长度,T=时间, $\Theta$ =温度。  
 b  $\gamma$ 是定压比热容与定容比热容之比。对于理想气体,比热容比与等熵指数具有相同的值(见 3.3.3)。这些值取决于气体的性质。  
 c 量纲和单位是相应量的量纲和单位。

4.2 下角标

下角标	含义
1	在上游取压口平面
2	在下游取压口平面

5 测量原理和计算方法

5.1 测量原理

测量原理是以一次装置(如孔板、喷嘴、文丘里管)安装在充满流体的管线中为依据确立的。装入一次装置后装置的上游侧与喉部或下游侧之间产生一个静压差。根据该压差的实测值和流动流体的特性以及装置的使用环境,并假设该装置与经过校准的一个装置几何相似且使用条件相同(见 GB/T 2624.2、GB/T 2624.3 或 GB/T 2624.4)就可以确定流量。

质量流量与差压的关系符合 GB/T 2624 规定的不确定度限值,因此质量流量可用公式(1)确定:

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \epsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1} \dots\dots\dots(1)$$

同样,体积流量可用公式(2)确定:

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$\rho$ ——测定体积流量时的温度和压力下的流体密度。

5.2 标准一次装置直径比的确定方法

实际上,在确定安装在给定管道中的一次装置的直径比时,基本公式(1)中的 C 和  $\epsilon$  一般是未知的。因此事先应选择:

- 所要采用的一次装置的型式;
- 流量和相应的差压值。

然后将  $q_m$  和  $\Delta p$  的相关值引入公式(1)并改写成:

$$\frac{C\epsilon\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} = \frac{4q_m}{\pi D^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}}$$

式中所选一次装置的直径比可用迭代法确定(见附录 A)。

### 5.3 流量的计算

流量计算纯粹是一个算术运算过程,是将数值代入基本公式(1)右边的各个不同的项来实现的。

除了文丘里管的情况以外, $C$ 与 $Re$ 有关,而 $Re$ 本身与 $q_m$ 有关。在这种情况下, $C$ 和 $q_m$ 的最终值都必须利用迭代法获得。关于迭代法程序和初始估计的选择见附录A。

公式中提到的直径 $d$ 和 $D$ 是工作条件下的直径值。任何在其他条件下进行的测量,都必须对测量期间由于流体的温度和压力值变化所引起一次装置和管道任何可能的膨胀或收缩进行修正。

必须知道工作条件下流体的密度和粘度。对于可压缩流体,还必须知道工作条件下流体的等熵指数。

### 5.4 密度、压力和温度的确定

#### 5.4.1 总则

只要不以任何形式干扰测量横截面处的流动分布,可以采用任何方法确定流体的实际密度、静压和温度值。

#### 5.4.2 密度

必须知道上游取压口处的流体密度。它可以直接测得,亦可根据该处流体的绝对静压、绝对(热力学)温度和流体成分构成相应的状态方程计算出来。

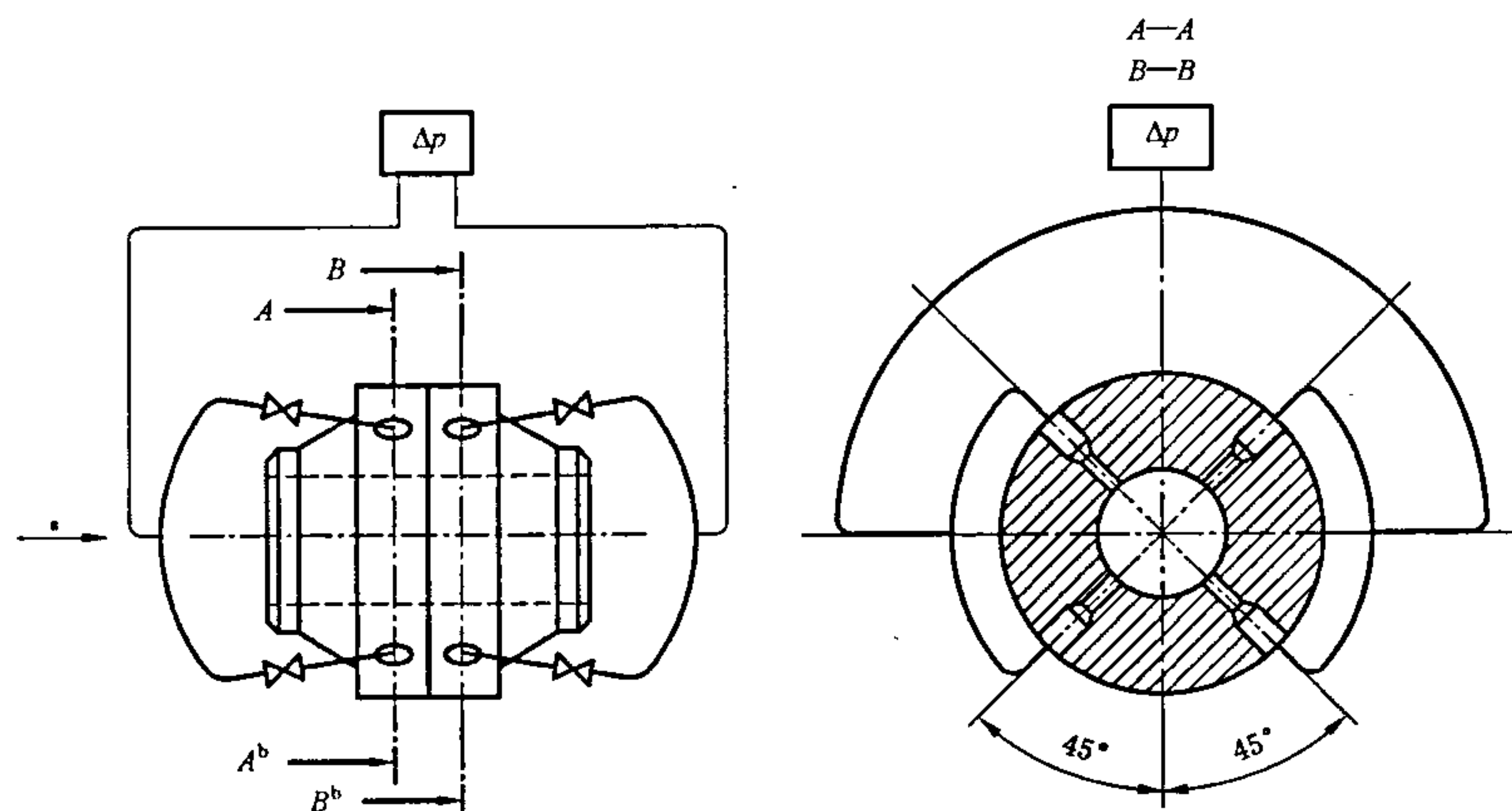
#### 5.4.3 静压

流体的静压应利用一个单独的管壁取压口或多个互相连接的此类取压口进行测量。对于特定一次装置,如果允许在取压平面内用夹持环测量差压,亦可采用夹持环测量静压。(见GB/T 2624.2—2006的5.2,GB/T 2624.3—2006的5.1.5、5.2.5或5.3.3,或GB/T 2624.4—2006的5.4。)

当把4个取压口互相连接取得一次装置的上游、下游或喉部的压力时,最好把它们互相连接成一个“三重T型”结构(见图1)。“三重T型”结构经常用于文丘里管的测量中。

静压取压口宜与测量差压的取压口分开。

允许一个取压口同时联接差压测量装置和静压测量装置,但要保证这种双重联接不会导致差压测量出现任何差错。



- a 流向。  
b 断面A—A(上游)与断面B—B(下游)相同。

图1 “三重T型”结构

#### 5.4.4 温度

5.4.4.1 流体温度最好在一次装置下游测量。测量时需特别小心。温度计套管或插套所占空间应尽

可能小。如果插套位于下游,其与一次装置之间的距离应至少为  $5D$ (当流体是气体时,最大为  $15D$ ), (对于文丘里管,这个距离从喉部取压口平面处量起,而插套应离扩散段末端至少  $2D$ )。如果套管位于上游,则根据一次装置的形式,分别采用 GB/T 2624.2、GB/T 2624.3 或 GB/T 2624.4 中规定的值。

在 GB/T 2624 的本部分的适用范围内,一般可以假设差压取压口上游和下游处的流体温度是相同的。然而,如果流体是非理想气体,而又需要最高的精确度,且上游取压口和一次装置下游测温处又存在较大压力损失,则假设两点之间是等焓膨胀,必须根据下游温度(距一次装置  $5D\sim 15D$  处测量)计算上游温度。计算时,应根据一次装置相应地按照 GB/T 2624.2—2006 的 5.4, GB/T 2624.3—2006 的 5.1.8、5.2.8 或 5.3.6, 或 GB/T 2624.4—2006 的 5.9 计算压力损失  $\Delta\varpi$ 。然后,可以采用 3.3.4 所述的焦耳-汤姆系数  $\mu_{JT}$  计算上游取压口到下游测温处的相应的温度下降  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \mu_{JT} \Delta \varpi$$

注 1: 实验工作<sup>[1]</sup>已表明这种方法适用于孔板。需要做进一步的工作来检验这种方法用于其他一次装置的正确性。

注 2: 虽然假设上游取压口与下游温度测量点之间是等焓膨胀,但这同上游取压口与缩流取压口或喉部之间是等焓膨胀并不矛盾。

注 3: 测量温度时,若管道内气体的流速高于约 50 m/s,可导致与温度恢复系数有关的附加不确定度。

5.4.4.2 一次装置的温度和一次装置上游流体的温度假定是相同的(见 7.1.7)。

## 6 测量的一般要求

### 6.1 一次装置

6.1.1 一次装置应根据 GB/T 2624 相应部分的规定制造、安装和使用。

当一次装置的制造特性或使用条件超出了 GB/T 2624 相应部分给出的极限时,一次装置可在实际使用条件下单独校准。

6.1.2 在每次测量或每一系列测量之后,或每隔一段时间,应检查一次装置的状况,使之与 GB/T 2624 相应部分的规定保持一致。

应注意到,即使明显是中性流体也可能在一次装置上形成沉淀或结壳。一段时间可能发生的流出系数变化可能导致其值超出 GB/T 2624 相应部分给出的不确定度。

6.1.3 一次装置应采用已知热膨胀系数的材料制造。

### 6.2 流体的性质

6.2.1 流体可以是可压缩的或者被认为是不可压缩的。

6.2.2 流体在物理学和热力学上可被认为是均匀的和单相的。高分散度的胶质溶液(例如牛奶),也只有这类溶液,被认为相当于单相流体。

### 6.3 流动状态

6.3.1 GB/T 2624(所有部分)不用于脉动流的测量,脉动流的测量是 ISO/TR 3313 的主题。流体的流量应该恒定,或者实际上只随着时间发生微小和缓慢的变化。

符合下列条件的流动被认为不是脉动流<sup>[2]</sup>:

$$\frac{\Delta p'_{rms}}{\overline{\Delta p}} \leq 0.10$$

式中:

$\overline{\Delta p}$ ——差压的时间平均值;

$\Delta p'$ ——差压的波动分量;

$\Delta p'_{rms}$ —— $\Delta p'$ 的均方根值。

$\Delta p'_{rms}$ 只能采用快速响应差压传感器进行精确测量;而且整个二次系统要符合 ISO/TR 3313 规定的设计建议。但通常并不要求检查是否满足此条件。

6.3.2 只有当一次装置内没有相变时,GB/T 2624 相应部分规定的 uncertainty 才是有效的。增大一次

装置的孔径或喉部会降低差压,这样可防止相变。对于液体,喉部处的压力应不低于液体的蒸汽压力(否则会产生空化)。对于气体,如果气体温度接近露点,只需计算喉部的温度。计算喉部温度时可以假设上游状态是等熵膨胀(上游温度也许需要根据 5.4.4.1 中的公式来计算)。喉部的温度和压力宜是流体处于单相区域中的温度和压力。

6.3.3 如果流体是气体,3.1.4 中定义的压力比应大于或等于 0.75。

## 7 安装要求

### 7.1 总则

7.1.1 测量方法仅适用于流过圆形截面管线的流体。

7.1.2 流体应充满测量段内的管道。

7.1.3 一次装置应安装在两个规定最小长度的等径圆筒形直管段之间。除了 GB/T 2624.2—2006、GB/T 2624.3—2006 或 GB/T 2624.4—2006 的第 6 章中为特定一次装置规定的管件之外,其间再无任何其他障碍物和联接支管。

当整段管道偏离轴线不超过 0.4%,可认为管道是直的。通常只需目测检查。一次装置的上游和下游直管段允许安装法兰。法兰应定中心,使其偏离轴线不超过 0.4%。特定安装所需的、符合上述要求的直管段的最小长度取决于一次装置的型式、规格以及所用管件的性质。

7.1.4 整个所需最短直管段的管孔都应是圆的。只要目测检查表明截面是圆的,就可以认定。除了紧邻一次装置处(2D)根据所用一次装置的型式有特殊要求外,一般检查可以管子外部的圆度为准。

可以使用有缝管,但其内部焊缝须与整个管段的轴线平行,以满足所用一次装置的安装要求。焊缝的高度应不大于允许直径台阶。除非采用环隙,否则焊缝不得位于与一次装置配合使用的任何单独取压口为中心的 $\pm 30^\circ$ 扇形区内。如果采用环隙,可不考虑焊缝的位置。如果采用螺旋焊接管,则必须对管孔进行机械加工,使其光滑。

7.1.5 管道内表面应始终保持清洁,应清除随时可能从管道上脱落的污物,除去所有金属起皮之类的金属瑕疵。

管道粗糙度的容许值取决于一次装置。每种一次装置对粗糙度廓形的算术平均偏差  $Ra$  值都有限制(见 GB/T 2624.2—2006 的 5.3.1, GB/T 2624.3—2006 的 5.1.2.9、5.1.6.1、5.2.2.6、5.2.6.1、5.3.1.9 和 5.3.4.1,或 GB/T 2624.4—2006 的 5.2.7~5.2.10 和 6.4.2)。测量管道内表面粗糙度的轴向位置与测定和验证管道内径的轴向位置大致相同。确定管道内表面的粗糙度至少需要测量 4 次。测量  $Ra$  应使用电子平均型表面粗糙度测量仪,该仪器的截止值不小于 0.75 mm,测量范围能满足测量管道  $Ra$  值的需要。如 6.1.2 中所述,粗糙度会随着时间而改变,在确定清洗管道或检查  $Ra$  值的周期时应予以考虑。

假设  $Ra$  等于  $k/\pi$ ,可得到  $Ra$  的近似值,其中  $k$  是从穆迪图中查得的等效均匀粗糙度(见参考文献 [3])。对样品管段做压力损失试验可直接获得  $k$  值,采用 Colebrook-White 公式(见 7.4.1.5)从摩擦系数被测值计算出  $k$  值。亦可从参考文献的各种表格中得到不同材料的近似  $k$  值。表 B.1 给出了各种材料的  $k$  值。

7.1.6 管道可设置排泄孔和(或)放气孔,用于排放固体沉积物和曳出流体,但在流量测量期间不得有流体通过排泄孔和放气孔。

排泄孔和放气孔不宜设在一次装置附近,若不能符合此要求,这些孔的直径应小于  $0.08D$ ,从任意一个孔到同侧一次装置取压口的最小直线距离应大于  $0.5D$ 。取压口轴线与排泄孔或放气孔轴线彼此之间应相对于管道轴线相差至少  $30^\circ$ 。

7.1.7 在环境温度与流体温度之间的温度差显著影响所要求的测量不确定度的情况下,仪表可能需要隔热。尤其是在被测流体接近其临界点的情况下,微小的温度变化会导致密度发生较大变化。这对于小流量的影响可能比较大,热传递效应可能引起温度剖面变形,例如从顶部到底部的温度分层现象。从

仪表的上游到下游侧的平均温度值亦可能发生变化。

## 7.2 最短上游和下游直管段

7.2.1 一次装置安装在管道中的位置应使其紧邻上游的流动状态近似于无旋涡和充分发展的管流。7.3中规定了满足此要求的条件。

7.2.2 安装在各种管件和一次装置之间的所需最短上游和下游直管段取决于一次装置。对于GB/T 2624.2—2006、GB/T 2624.3—2006或GB/T 2624.4—2006的第6章规定的一些常用管件,可以采用规定的最短直管段。然而,7.4所描述的流动调整器将允许使用短得多的上游管段。一次装置的上游没有足够长的直管段以达到希望的不确定度水平时,应安装这种流动调整器。

## 7.3 一次装置处流动状态的一般要求

### 7.3.1 要求

如果不能满足GB/T 2624.2—2006、GB/T 2624.3—2006或GB/T 2624.4—2006的第6章规定的条件,只要能够证明,在流量测量过程的整个雷诺数范围内,一次装置处的流动状态符合无旋涡充分发展流动的要求(如7.3.2和7.3.3的规定),则GB/T 2624的相应部分仍然有效。

### 7.3.2 无旋涡状态

当管道整个截面各点上的旋涡角均小于 $2^\circ$ 时,可以推断存在无旋涡状态。

### 7.3.3 容许流动状态

当横跨管道截面各个点上的局部轴向速度与截面上最大轴向速度之比在5%范围之内时,可以假设存在容许速度分布状态,而在位于相同管道(充分发展的流动)的十分长的直管段(超过 $100D$ )末端截面处相同径向位置上,可在无旋涡流动中实现这个条件。

## 7.4 流动调整器(参见附录C)

### 7.4.1 配合性试验

7.4.1.1 流动调整器只要通过7.4.1.2到7.4.1.6中与特定一次装置的配合性试验,就可以用于任何直径比在0.67以下的同类型一次装置。只要流动调整器与一次装置之间的距离以及上游管件与流动调整器之间的距离符合7.4.1.6的规定,同时下游直管段符合特定一次装置的要求(GB/T 2624.2—2006的表3中第14栏,GB/T 2624.3—2006的表3中第12栏,或GB/T 2624.4—2006的表1中正文)就不必为了考虑安装而增大流出系数的不确定度。

7.4.1.2 流动调整器安装在下列各种条件下时,使用直径比为0.67的一次装置取得的流出系数与使用长直管段取得的流出系数之间的偏差应小于0.23%:

- a) 在良好的流动状态中;
- b) 在半关闸阀(或D型孔板)的下游;
- c) 在一个产生高旋涡的装置的下游(该装置应在其下游 $18D$ 的管道处产生至少 $24^\circ$ 的最大旋涡角或在其下游 $30D$ 的管道处产生至少 $20^\circ$ 的最大旋涡角)。可采用旋流器或其他装置产生旋涡。图2所示的非专利Chevron旋流器就是一个实例。

b)和c)所述管件上游的直管段应足够长,使一次装置不受b)和c)所述管件上游任何其他管件的影响。

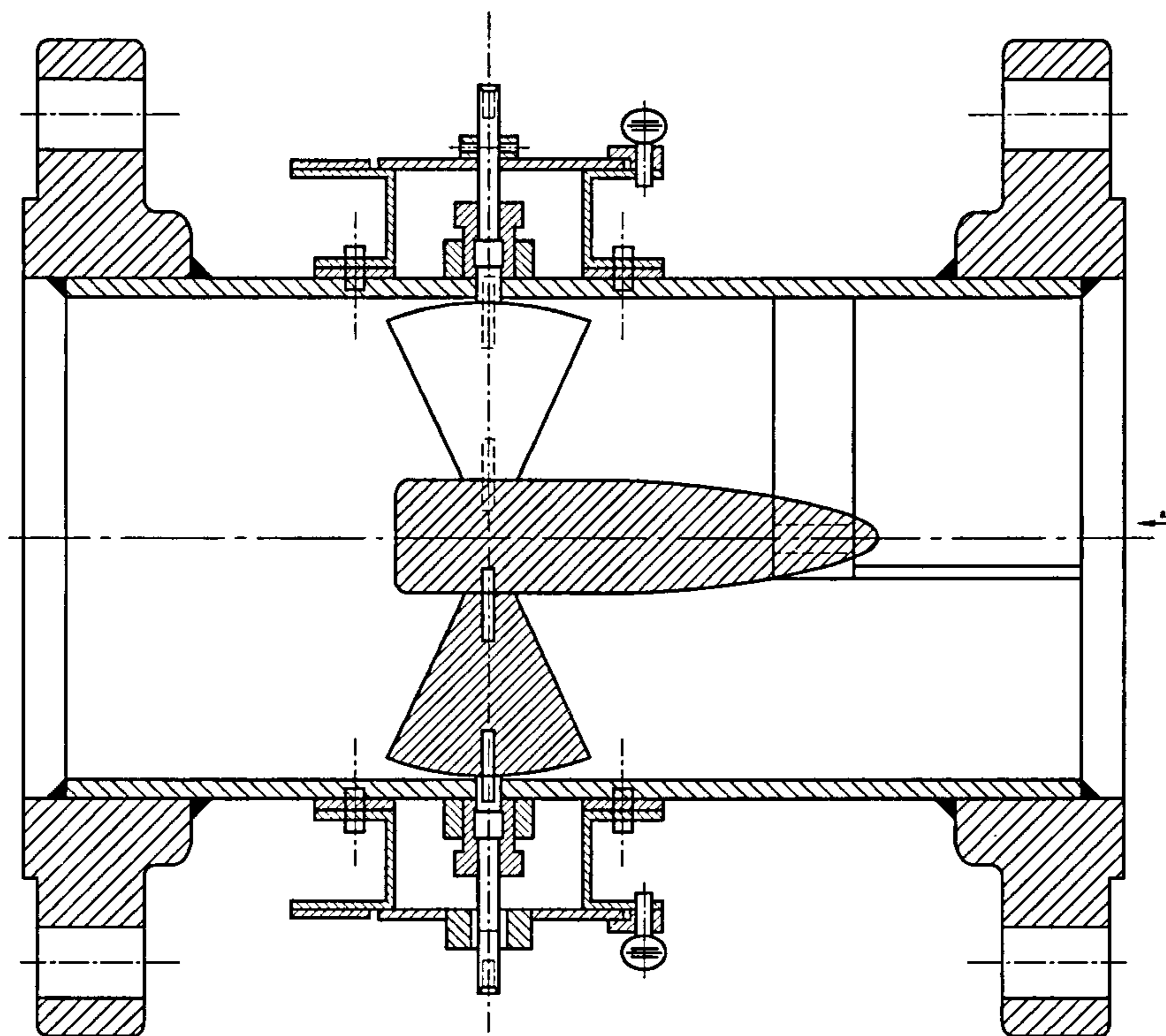
注:这些试验用于确定流动调整器:

- 在良好的流动状态中没有不利影响;
- 在高度非对称流中是有效的;
- 在强旋涡流中(例如在集流管下游)是有效的。

做此试验并非表示流量测量应在半关闸阀的下游进行。应在一次装置的下游控制流量。有关这个试验的基础工作和Chevron旋流器的信息见参考文献[4]和[5]。

7.4.1.3 流动调整器安装在7.4.1.2c)所述管件的下游时,使用直径比为0.4的一次装置取得的流出系数与使用长直管段取得的流出系数之间的偏差应小于0.23%。

注：如果调整器下游仍然存在旋涡应进行本试验。这种旋涡对  $\beta=0.4$  的流出系数的影响可能大于对  $\beta=0.67$  的流出系数的影响。



a 流向。

图 2 Chevron 旋流器

7.4.1.4 为了确定试验所用的试验设备和一次装置是否符合要求,可用一根长直管段在试验设备上测得各个一次装置的基准流出系数,它们应在下列条款所述未经校准一次装置流出系数方程的不确定度限值范围之内:

- 孔板:GB/T 2624.2—2006 的 5.3.2.1 和 5.3.3.1;
- ISA 1932 喷嘴:GB/T 2624.3—2006 的 5.1.6.2 和 5.1.7.1;
- 长径喷嘴:GB/T 2624.3—2006 的 5.2.6.2 和 5.2.7.1;
- 文丘里喷嘴:GB/T 2624.3—2006 的 5.3.4.2 和 5.3.5.1;
- “粗铸”收缩段文丘里管:GB/T 2624.4—2006 的 5.5.2 和 5.7.1;
- 机械加工收缩段文丘里管:GB/T 2624.4—2006 的 5.5.3 和 5.7.2;
- 粗焊铁板收缩段文丘里管:GB/T 2624.4—2006 的 5.5.4 和 5.7.3。

试验时,试验设备应首先消除旋涡,一次装置上游应有足够的长度。对于孔板来说,70D 长即可满足需要。

7.4.1.5 如果流动调整器要适用于任意一个雷诺数,则必须确定它不仅在第一个雷诺数时满足 7.4.1.2 和 7.4.1.3,而且在第二个雷诺数时也满足 7.4.1.2 的 a) 或 b) 或 c)。如果两个管道雷诺数为  $Re_{low}$  和  $Re_{high}$ ,则它们应满足下述条件:

$$10^4 \leq Re_{low} \leq 10^6 \text{ 和 } Re_{high} \geq 10^6$$

和

$$\lambda(Re_{low}) - \lambda(Re_{high}) \geq 0.0036$$

其中  $\lambda$  是管道摩擦系数(见参考文献[3]),它可以从穆迪图获得或从 Colebrook-White 公式获得:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.74 - 2 \lg \left( \frac{2k}{D} + \frac{18.7}{Re_D \sqrt{\lambda}} \right)$$

而  $k$  用  $\pi Ra$  计算。

如果仅希望把流动调整器用于  $Re_D > 3 \times 10^6$ , 则以  $Re_D > 3 \times 10^6$  的一个单值进行 7.4.1.2 的试验即可。

如果流动调整器要适用于任意一种管道尺寸,则必须确定它不仅在第一个管道尺寸时满足 7.4.1.2 和 7.4.1.3, 而且在第二个管道尺寸时也满足 7.4.1.2 的 a) 或 b) 或 c)。如果这两个管道直径为  $D_{small}$  和  $D_{large}$ , 则它们应满足下述条件:

$$D_{small} \leq 110 \text{ mm (公称 4 in)} \text{ 和 } D_{large} \geq 190 \text{ mm (公称 8 in)}$$

注 1: 对于孔板而言,为了使速度剖面充分地变化,使流出系数的变化至少是因安装引起的流出系数最大允许偏移的两倍,就要确定对摩擦系数的要求。根据参考文献[6]和[7],摩擦系数变化的影响由下式给出:

$$\Delta C = 3.134 \beta^{3.5} \Delta \lambda$$

取  $C$  等于 0.6,  $\beta \geq 0.67$  时  $C$  的最小要求变化为  $(1.26\beta - 0.384)\%$ , 得出

$$\Delta \lambda \geq \frac{0.00241\beta - 0.000735}{\beta^{3.5}}$$

注 2: 虽然对于喷嘴来说,  $\Delta \lambda$  对  $C$  的影响不同于孔板,但配合性试验所要求的雷诺数值看来依然是合适的。

因为对于文丘里喷嘴或文丘里管, GB/T 2624.2 或 GB/T 2624.3 只允许一个小的雷诺数范围,所以只要流动调整器在单个雷诺数时通过配合性试验,在此范围内是能满足要求的。

7.4.1.6 试验中使用的流动调整器与一次装置之间的距离范围以及上游管件与流动调整器之间的距离范围将决定使用流量计时的可接受距离范围。这些距离以管道内径的倍数表示。

7.4.1.7 如果希望对用于  $\beta$  值大于 0.67 的流动调整器进行配合性试验,首先应表明它符合 7.4.1.2 ~ 7.4.1.5, 然后应在流动调整器所要使用的最大  $\beta$  值 ( $\beta_{max}$ ) 下进行 7.4.1.2、7.4.1.4 和 7.4.1.5 所述的试验。此时流出系数的允许偏移增大到  $(0.63\beta_{max} - 0.192)\%$ 。在 7.4.1.5 情况下:

$$\lambda(Re_{low}) - \lambda(Re_{high}) \geq \frac{0.00241\beta_{max} - 0.000735}{\beta_{max}^{3.5}}$$

因此,只要流动调整器满足上述全部试验,就已经通过对于  $\beta \leq \beta_{max}$  的配合性试验。流动调整器与一次装置之间以及上游管件与流动调整器之间的距离范围按 7.4.1.6 确定。

## 7.4.2 特定试验

如果未能进行允许在任意上游管件的下游使用流动调整器的配合性试验,则可进行特定流量试验。如果该种装置的试验表明其流出系数与使用一根长直管取得的流出系数之间的偏差小于 0.23%, 则可认为该试验是符合要求的。对于  $0.67 < \beta \leq 0.75$  (或喷嘴为  $0.67 < \beta \leq 0.8$ , 文丘里喷嘴为  $0.67 < \beta \leq 0.775$ ), 流出系数的允许偏移可以增大到  $(0.63\beta - 0.192)\%$ 。在这种情况下,就没有必要为了考虑这种装置而增大流出系数的不确定度。

## 8 流量测量的不确定度

注: 有关流量测量不确定度计算的详细信息以及实例见 ISO/TR 5168。

### 8.1 不确定度的定义

8.1.1 GB/T 2624(所有部分)将不确定度定义为可以期望包含约 95% 被测量合理赋值分布的一个测量结果区间。

8.1.2 每当声明测量符合 GB/T 2624 的相应部分时,都应据此计算并给出流量测量的不确定度。



8.1.3 不确定度可用绝对值表示也可用相对值表示,因此流量测量的结果可以下列任何一种形式表示:

——流量 =  $q \pm \delta q$

——流量 =  $q(1 \pm U'_q)$

——流量 =  $q$ , 其不确定度在  $(100U'_q)\%$  之内

式中, 不确定度  $\delta q$  的量纲应与  $q$  相同, 而  $U'_q = \delta q/q$  应为无量纲。

8.1.4 为方便起见, 要区分使用者测量的不确定度与 GB/T 2624 相应部分所规定的各个量的不确定度之间的差别。后者是关于流出系数和可膨胀性(膨胀)系数的不确定度, 它们给出的是由于使用者没有掌握这些数值而使测量不可避免地受到影响的最小不确定度。产生这些不确定度的原因在于允许一次装置的几何尺寸有微小变化, 以及作为这些数值依据的研究不可能在“理想”条件下进行, 也不可能没有一点不确定度。

## 8.2 不确定度的实际计算

### 8.2.1 不确定度的分量

根据公式(1), 质量流量  $q_m$  由下式计算:

$$q_m = C\epsilon \frac{\pi}{4} d^2 \frac{\sqrt{2\Delta p\rho_1}}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

事实上, 出现在此公式右边的各个量并不是彼此无关的, 因此直接从这些量的不确定度来计算  $q_m$  的不确定度是不正确的。

例如,  $C$  是  $d$ 、 $D$ 、 $v_1$ 、 $\nu_1$  和  $\rho_1$  的函数, 而  $\epsilon$  是  $d$ 、 $D$ 、 $\Delta p$ 、 $p_1$  和  $\kappa$  的函数。

8.2.1.1 然而, 对于大多数实际应用, 假定  $C$ 、 $\epsilon$ 、 $d$ 、 $\Delta p$  和  $\rho_1$  的不确定度是彼此无关的就足够了。

8.2.1.2 因此可以导出  $\delta q_m$  的实用计算公式, 该公式考虑了  $C$  对  $d$  和  $D$  的互相依赖关系, 而  $D$  是作为  $C$  对  $\beta$  的依附关系的结果而引入计算中的。应该注意到,  $C$  还可能与雷诺数  $Re_D$  有关。但是这些影响造成  $C$  的偏差属于二阶性质而且包括在  $C$  的不确定度中。

同样, 由  $\beta$  值、压力比和等熵指数的不确定度造成的  $\epsilon$  的偏差也属于二阶性质并包括在  $\epsilon$  的不确定度中。由协变量项所造成的不确定度被认为可忽略不计。

8.2.1.3 因此  $\delta q_m$  的实用计算公式中应该包括的不确定度是  $C$ 、 $\epsilon$ 、 $d$ 、 $D$ 、 $\Delta p$  和  $\rho_1$  的不确定度。

### 8.2.2 实用计算公式

8.2.2.1 质量流量的不确定度  $\delta q_m$  的实用计算公式由公式(3)表示:

$$\frac{\delta q_m}{q_m} = \sqrt{\left(\frac{\delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\delta \epsilon}{\epsilon}\right)^2 + \left(\frac{2\beta^4}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \Delta p}{\Delta p}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \rho_1}{\rho_1}\right)^2} \dots\dots\dots (3)$$

公式(3)中, 流出系数和可膨胀性(膨胀)系数等的不确定度见 8.2.2.2 和 8.2.2.3, 而其他则必须由用户确定(见 8.2.2.4 和 8.2.2.5)。

8.2.2.2 公式(3)中,  $\delta C/C$  和  $\delta \epsilon/\epsilon$  的值应从 GB/T 2624 的相应部分中查得。

8.2.2.3 当由于直管段长度的缘故而需考虑 0.5% 附加不确定度时, 应按 GB/T 2624.2—2006、GB/T 2624.3—2006 和 GB/T 2624.4—2006 的 6.2.4 的要求算术相加这一不确定度, 而且不随上述公式中其他不确定度一起平方。其他附加不确定度(见 GB/T 2624.2—2006 的 6.4.4 和 6.5.3 及 GB/T 2624.3—2006 的 6.4.4)应按同样方法算术相加。

8.2.2.4 公式(3)中, 可采用 GB/T 2624.2—2006 的 6.4.1、GB/T 2624.3—2006 的 6.4.1、GB/T 2624.4—2006 的 5.2.2 以及 GB/T 2624.2—2006 的 5.1.8、GB/T 2624.3—2006 的 5.1.2.5、5.2.2.3、5.3.1.6 和 GB/T 2624.4—2006 的 5.2.4 中分别给出的  $\delta D/D$  和  $\delta d/d$  的最大值, 或者可由用户计算出的较小的实际值代替。(  $\delta D/D$  的最大值将不超过 0.4%, 而  $\delta d/d$  的最大值将不超过 0.1%。)

8.2.2.5 因为 GB/T 2624 的相应部分没有详细规定量  $\Delta p$  和  $\rho_1$  的测定方法, 所以应由用户确定  $\delta \Delta p/$

$\Delta p$  和  $\delta\rho_1/\rho_1$  的值。这两个量的测量不确定度可能包含制造厂以满标度百分数说明的分量。低于满标度的百分数不确定度的计算应反映出这个增大的百分数不确定度。

8.2.2.6 为了使  $q_m$  的总的不确定度达到约 95% 的置信度水平,用户确定的不确定度也应达到 95% 的置信度水平。

附录 A  
(资料性附录)  
迭代计算

当直接算法不能解题时,需要采用迭代算法。

以孔板为例,始终需要用迭代算法来计算:

- 流量  $q_m$  (在给定  $\mu_1, \rho_1, D, \Delta p$  和  $d$  值条件下);
- 节流孔直径  $d$  和  $\beta$  (在给定  $\mu_1, \rho_1, D, \Delta p$  和  $q_m$  值条件下);
- 差压  $\Delta p$  (在给定  $\mu_1, \rho_1, D, d$  和  $q_m$  值条件下);
- 直径  $D$  和  $d$  (在给定  $\mu_1, \rho_1, \beta, \Delta p$  和  $q_m$  值条件下)。

原则是把基本流量方程(1)中所有已知的值重新组合在一个项内,而将未知的值组合在另一项内:

$$q_m = C\epsilon \frac{\pi}{4} d^2 (1 - \beta^4)^{-0.5} (2\Delta p \rho_1)^{0.5}$$

因而已知的项是问题的“不变量”(表 A.1 中用“ $A_n$ ”表示)。

然后把第一个假定值  $X_1$  引入未知项,其结果是得到两个项之差  $\delta_1$ 。迭代计算能代入第 2 个假定值  $X_2$  从而得到  $\delta_2$ 。

然后把  $X_1, X_2, \delta_1, \delta_2$  代入弦截法中,计算出  $X_3, \dots, X_n$  和  $\delta_3, \dots, \delta_n$ ,直至  $|\delta_n|$  小于某规定值,或者直至看到  $X$  或  $\delta$  的两个逐次值在某个规定精确度内是“相等”的。

快收敛弦截法的实例是:

$$X_n = X_{n-1} - \delta_{n-1} \frac{X_{n-1} - X_{n-2}}{\delta_{n-1} - \delta_{n-2}}$$

在与 GB/T 2624 的本部分相关的应用计算中,如果是采用可编程序数字计算器进行计算,则采用弦截法只能略微简约逐次代换法产生的计算。

注意,代入计算的  $d, D$  和  $\beta$  的值主要是“工作条件”下的一般数值(见 5.3)。

对于孔板,如果孔板和测量管是用不同材料制作的,则由于工作温度造成的  $\beta$  的变化是不能忽略不计的。

迭代计算的完整方案实例见表 A.1。

表 A.1 迭代计算方案

问题	$q =$	$d =$	$\Delta p =$	$D =$
给定量	$\mu_1, \rho_1, D, d, \Delta p$	$\mu_1, \rho_1, D, q_m, \Delta p$	$\mu_1, \rho_1, D, d, q_m$	$\mu_1, \rho_1, \beta, q_m, \Delta p$
请找出	$q_m$ 和 $q_v$	$d$ 和 $\beta$	$\Delta p$	$D$ 和 $d$
不变量“ $A_n$ ”	$A_1 = \frac{\epsilon d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}}{\mu_1 D \sqrt{1-\beta^4}}$	$A_2 = \frac{\mu_1 Re_D}{D \sqrt{2\Delta p \rho_1}}$	$A_3 = \frac{8(1-\beta^4)}{\rho_1} \left( \frac{q_m}{C\pi d^2} \right)^2$	$A_4 = \frac{4\epsilon\beta^2 q_m \sqrt{2\Delta p \rho_1}}{\pi\mu_1^2 \sqrt{1-\beta^4}}$
迭代方程	$\frac{Re_D}{C} = A_1$	$\frac{C\epsilon\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} = A_2$	$\frac{\Delta p}{\epsilon^{-2}} = A_3$	$\frac{Re_D^2}{C} = A_4$
弦截法中的变量	$X_1 = Re_D = CA_1$	$X_2 = \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} = \frac{A_2}{C\epsilon}$	$X_3 = \Delta p = \epsilon^{-2} A_3$	$X_4 = Re_D = \sqrt{CA_4}$
精确度判据(其中 $n$ 由用户选择)	$\left  \frac{A_1 - \frac{X_1}{C}}{A_1} \right  < 1 \times 10^{-n}$	$\left  \frac{A_2 - X_2 C \epsilon}{A_2} \right  < 1 \times 10^{-n}$	$\left  \frac{A_3 - \frac{X_3}{\epsilon^{-2}}}{A_3} \right  < 1 \times 10^{-n}$	$\left  \frac{A_4 - \frac{X_4^2}{C}}{A_4} \right  < 1 \times 10^{-n}$

表 A.1(续)

问题	$q=$	$d=$	$\Delta p=$	$D=$
第一个假定值	$C=C_\infty$	$C=0.606$ (孔板) $C=1$ (其他一次装置) $\epsilon=0.97$ (或 1)	$\epsilon=1$	$C=C_\infty$ $D=\infty$ (如果是法兰取压)
结果	$q_m = \frac{\pi}{4} \mu_1 D X_1$ $q_v = \frac{q_m}{\rho_1}$	$d = D \left( \frac{X_2^2}{1 + X_2^2} \right)^{0.25}$ $\beta = \frac{d}{D}$	$\Delta p = X_3$ 如果流体是液体,则 $\Delta p$ 在第 1 循环获得	$D = \frac{4q_m}{\pi \mu_1 X_4}$ $d = \beta D$

附录 B  
(资料性附录)

管壁等效均匀粗糙度  $k$  值的实例表 B.1  $k$  值

单位为毫米

材 料	条 件	$k$	$Ra$
黄铜、紫铜、铝、塑料、玻璃	光滑无沉积物	$<0.03$	$<0.01$
钢	新的不锈钢管	$<0.03$	$<0.01$
	新的冷拔无缝管	$<0.03$	$<0.01$
	新的热拉无缝管 新的轧制无缝管 新的纵向焊接管	$\leq 0.10$	$\leq 0.03$
	新的螺旋焊接管	0.10	0.03
	轻微锈蚀	0.10~0.20	0.03~0.06
	锈蚀	0.20~0.30	0.06~0.10
	结皮	0.50~2	0.15~0.6
	严重结皮	$>2$	$>0.6$
	新的,涂覆沥青	0.03~0.05	0.01~0.015
	普通的,涂覆沥青	0.10~0.20	0.03~0.06
	镀锌的	0.13	0.04
	铸铁	新的	0.25
锈蚀		1.0~1.5	0.3~0.5
结皮		$>1.5$	$>0.5$
新的,涂覆沥青		0.03~0.05	0.01~0.015
石棉水泥	新的,有涂层或无涂层	$<0.03$	$<0.01$
	一般的,无涂层	0.05	0.015
注:本例中, $Ra$ 是根据 $Ra \approx \frac{k}{\pi}$ 算出的。			

附 录 C  
(资料性附录)  
流动调整器和流动整直器

### C.1 总则

流动调整器可分成真正的流动调整器和流动整直器。在 GB/T 2624(所有部分)中,除了本附录外,术语“流动调整器”指的是流动调整器和流动整直器两者。

本附录介绍了一些流动调整器和流动整直器,但这并非意味这些流动调整器或流动整直器已经在特定的场合用特定的一次装置通过了 7.4.1 的配合性试验。已经用特定一次装置通过了 7.4.1 配合性试验的流动调整器在 GB/T 2624 的有关部分中表述。

本附录介绍流动调整器和流动整直器并非打算限制使用其他经过试验已证明其流出系数与长直管段得到的流出系数相比偏移相当小的设计。

本附录列举了一些市场上有销售的流动调整器和流动整直器产品(见 C.2.2 和 C.3.2)。提供这个信息是为了方便 GB/T 2624 的本部分的用户,并不表示对这些产品的认可。

### C.2 流动整直器

#### C.2.1 一般描述

流动整直器能消除或显著减少旋涡,但不能同时产生 7.3.3 规定的流动状态。

流动整直器的实例有管束式流动整直器、AMCA 整直器和 Étoile 整直器。

#### C.2.2 实例

##### C.2.2.1 管束式流动整直器

管束式流动整直器由一捆紧固在一起平行相切并刚性地夹持在管道中的管子组成(见图 C.1)。保证各管子彼此平行且与管道轴线平行至关重要。如不满足此要求,整直器本身可能会引起流体产生旋涡。

管束式流动整直器至少宜有 19 根管子,其长度宜大于或等于  $10d_i$ ,管子的直径  $d_i$  见图 C.1。管子彼此贴合,管束靠在管道上。

GB/T 2624.2—2006 的 6.3.2 详细描述了一种特殊的管束式流动整直器[19 管管束式流动整直器(1998)]。

管束式流动整直器的压力损失系数  $K$  取决于管子的数量和管壁厚度,但对于 19 管管束式流动整直器(1998),其压力损失系数约等于 0.75,其  $K$  由下式给出:

$$K = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2}\rho v^2}$$

式中:

$\Delta p_c$ ——流动整直器的压力损失;

$\rho$ ——管道中流体的密度;

$v$ ——管道中流体的平均轴向流速。

管束式流动整直器的另一种设计是其管束外缘固定在一个法兰上,法兰稍微凸出在管道中。

##### C.2.2.2 AMCA 整直器

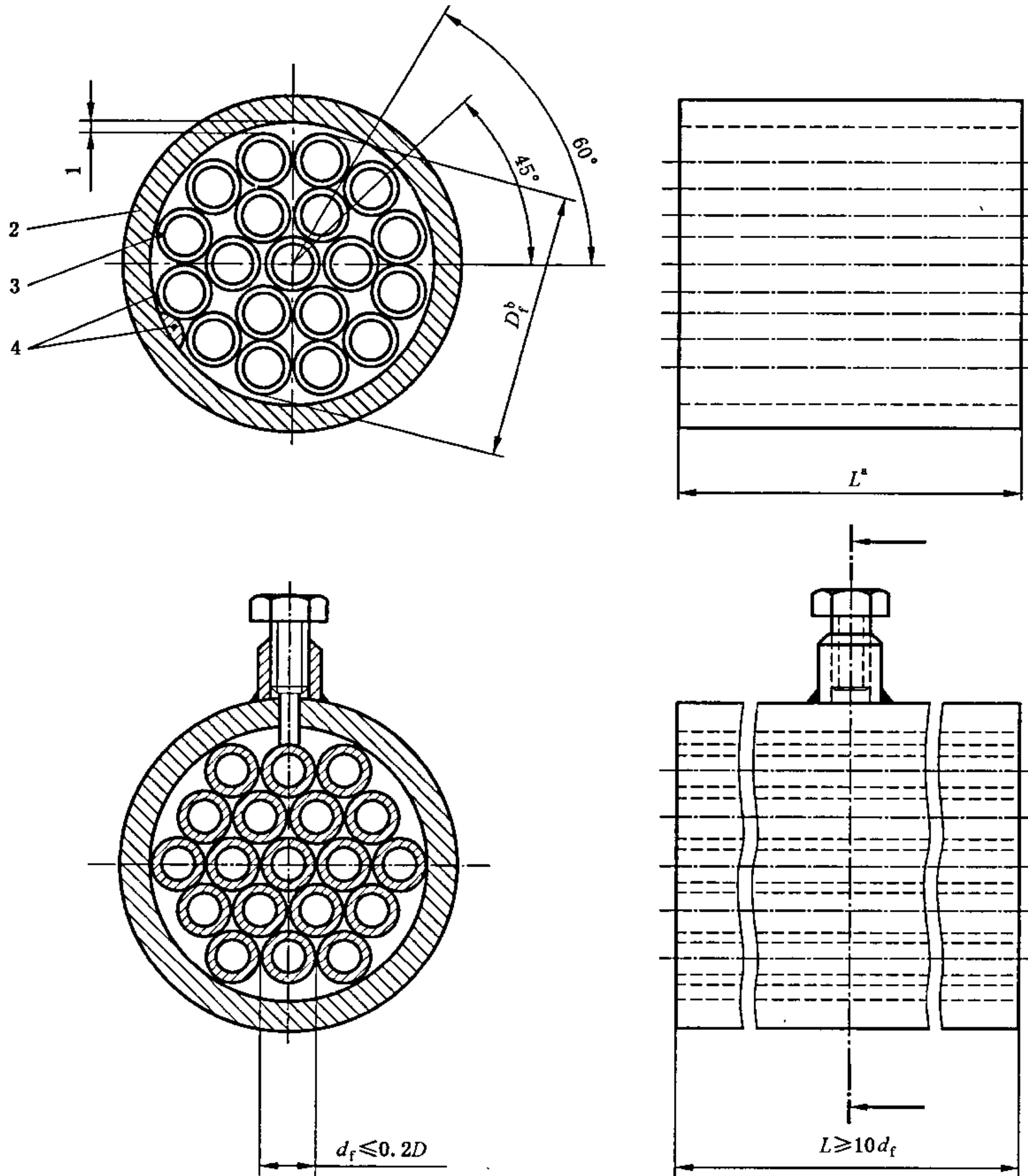
AMCA 整直器是由方形栅格组成的蜂巢结构,尺寸如图 C.2 所示。其叶片应尽可能薄并有足够强度。

AMCA 整直器的压力损失系数  $K$  约等于 0.25。

### C.2.2.3 Étoile 整直器

Étoile 整直器由 8 个径向叶片组成,叶片之间的角间距相等,其长度是管道直径的两倍(见图 C.3)。其叶片应尽可能薄并有足够的强度。

Étoile 整直器的压力损失系数  $K$  约等于 0.25。



图中:

- 1——最小间隙;
- 2——管道壁;
- 3——管壁厚度(小于  $0.025D$ );
- 4——定中心垫片选件(一般为 4 处)。
- a 管子的长度  $L$  应在  $2D \sim 3D$  之间,最好尽可能接近  $2D$ 。
- b  $D_f$  = 流动整直器外径,  $0.95D \leq D_f \leq D$ 。

图 C.1 管束式流动整直器实例

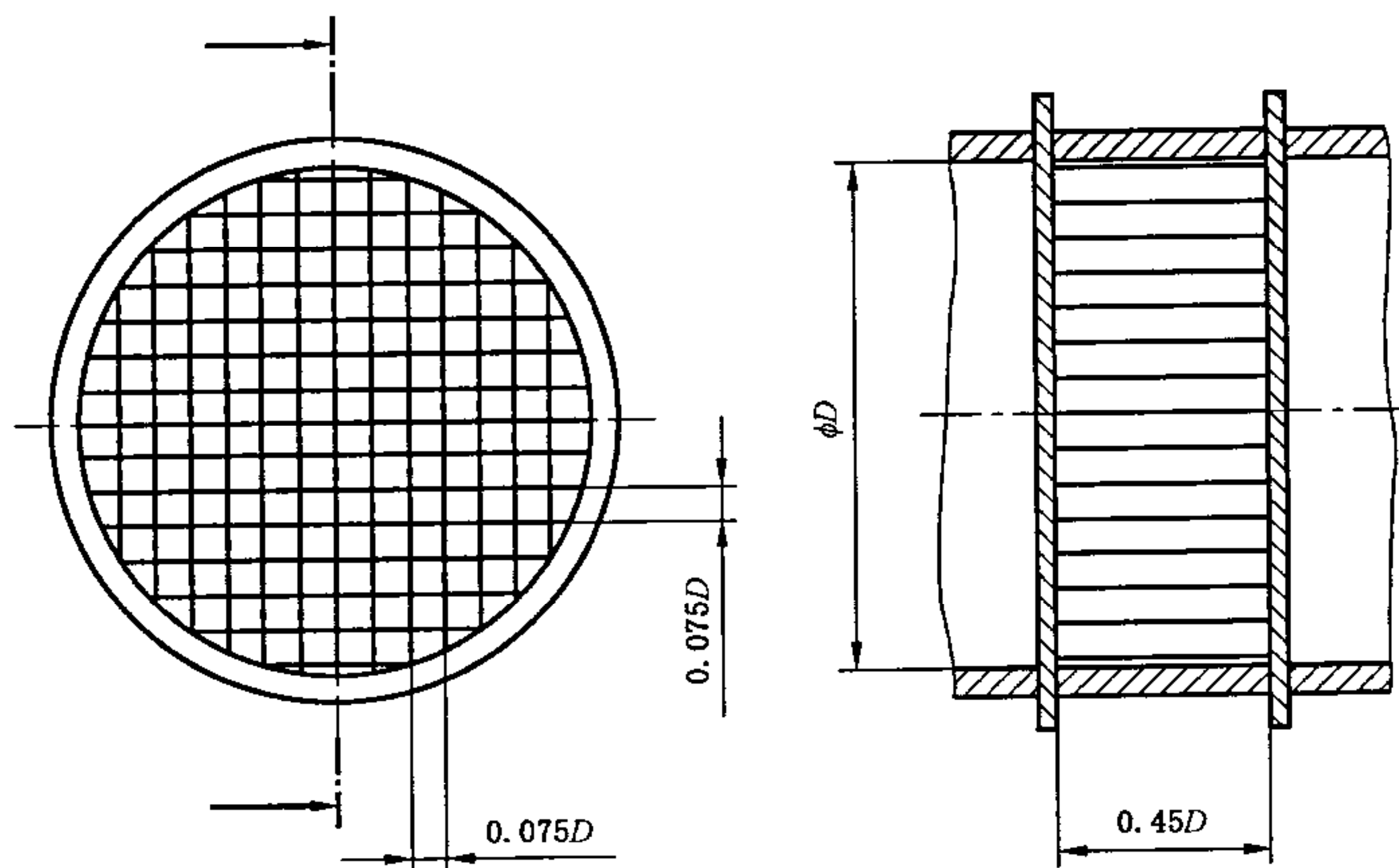


图 C.2 AMCA 整直器

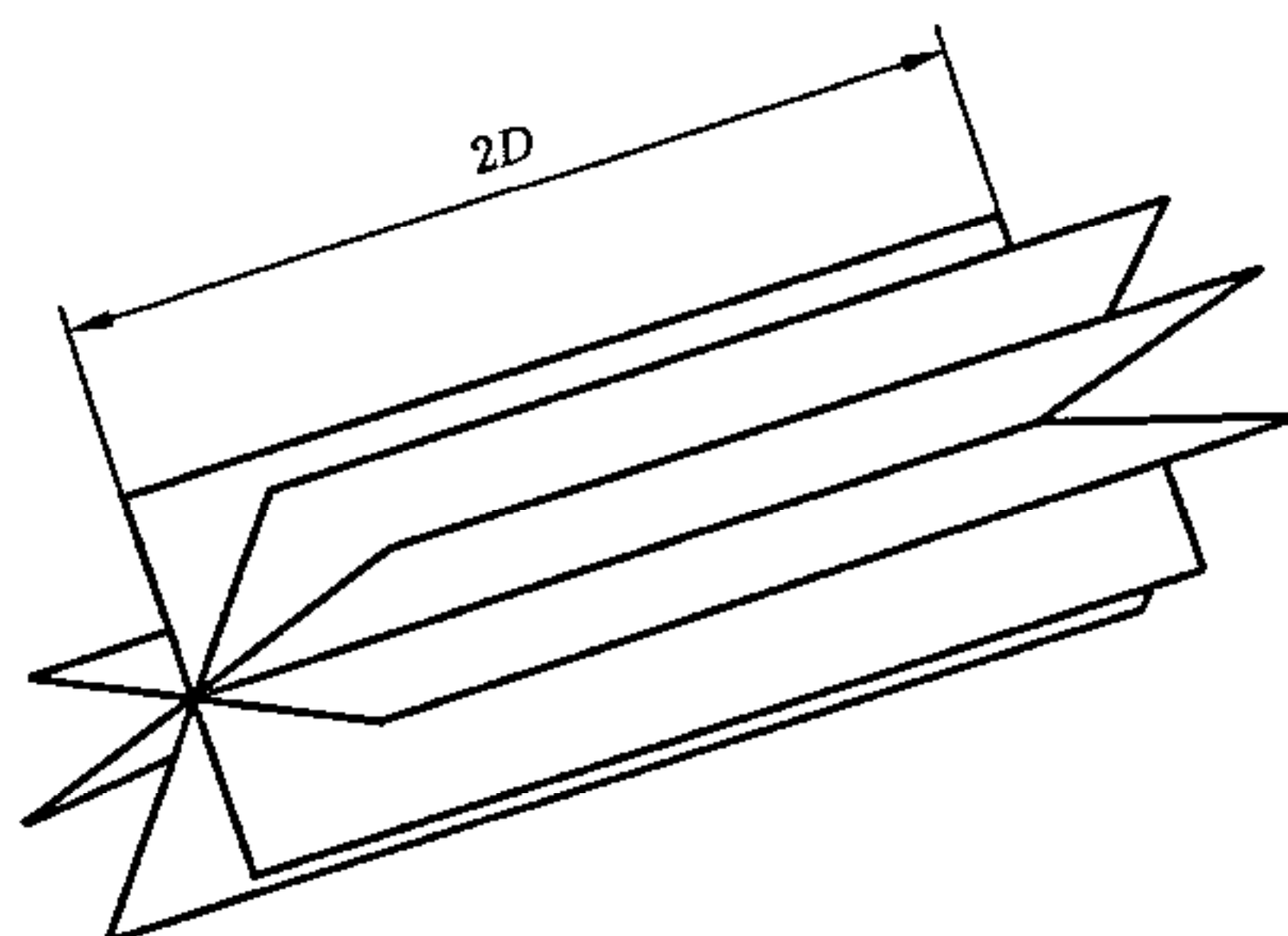


图 C.3 Étoile 整直器

### C.3 流动调整器

#### C.3.1 一般描述

流动调整器除了能满足消除或显著减少旋涡的要求之外,还被设计成能重新分配流速分布以产生接近 7.3.3 要求的流动状态。

很多流动调整器是一块穿孔板或者含有穿孔板。目前在一些技术文献中对这几种装置都有描述,总的来说它们要比管束式流动整直器容易制造、安装和调整。与管束式装置的长度至少  $2D$  相比,它们的优点是厚度一般为  $D/8$  左右。此外,由于它们可以在实体上钻孔而成而不是装配式的,所以可以做成一个更为坚实的装置,具有可复现的性能。

在这些装置中旋涡被减少,与此同时利用合理设置的孔洞和板的厚度使流速分布得到重新分配。GB/T 2624.2—2006 的附录 B 介绍了一些不同的设计。板的几何尺寸对其性能、效果和板的压力损失起决定性作用。

流动调整器的具体实例有 Gallagher、K-Lab NOVA、NEL(Spearman)、Sprenkle 和 Zanker 流动调整器。

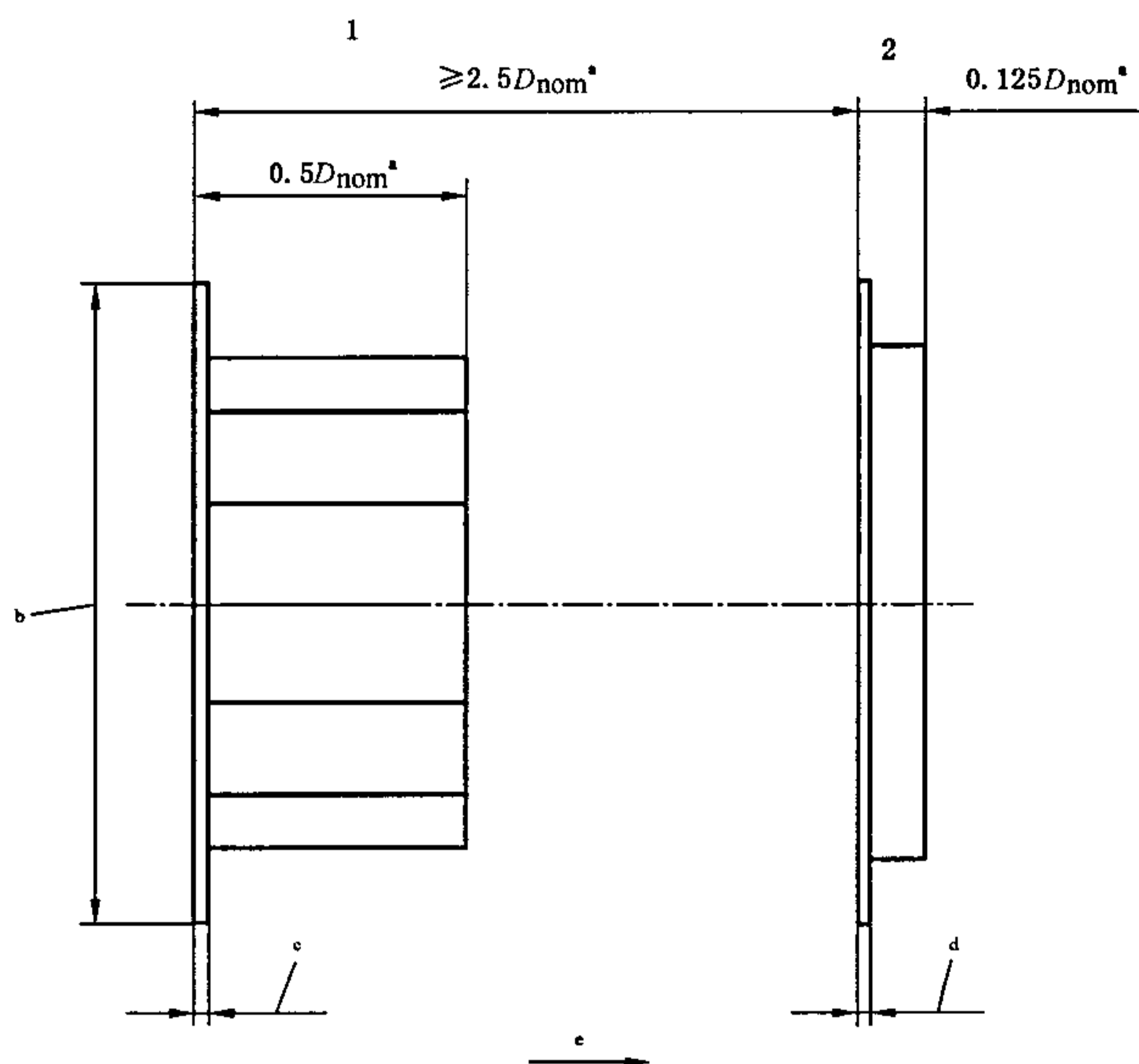


## C.3.2 实例

## C.3.2.1 Gallagher 流动调整器

Gallagher 流动调整器涉及一个现有专利。如图 C.4 和图 C.5 所示,它由一个抗旋涡装置、一个沉降室以及最后的一个成形装置组成。

Gallagher 流动调整器的压力损失系数  $K$  取决于调整器的制造规范,约等于 2。



图中:

1——抗旋涡装置;

2——成形装置。

a  $D_{nom}$  = 公称管径。

b 等于凸面直径的长度。

c 3.2 mm ( $D_{nom}$  = 50 mm ~ 75 mm 管子型);

6.4 mm ( $D_{nom}$  = 100 mm ~ 450 mm 管子型);

12.7 mm ( $D_{nom}$  = 500 mm ~ 600 mm 管子型);

12.7 mm ( $D_{nom}$  = 50 mm ~ 300 mm 叶片型);

17.1 mm ( $D_{nom}$  = 350 mm ~ 600 mm 叶片型)。

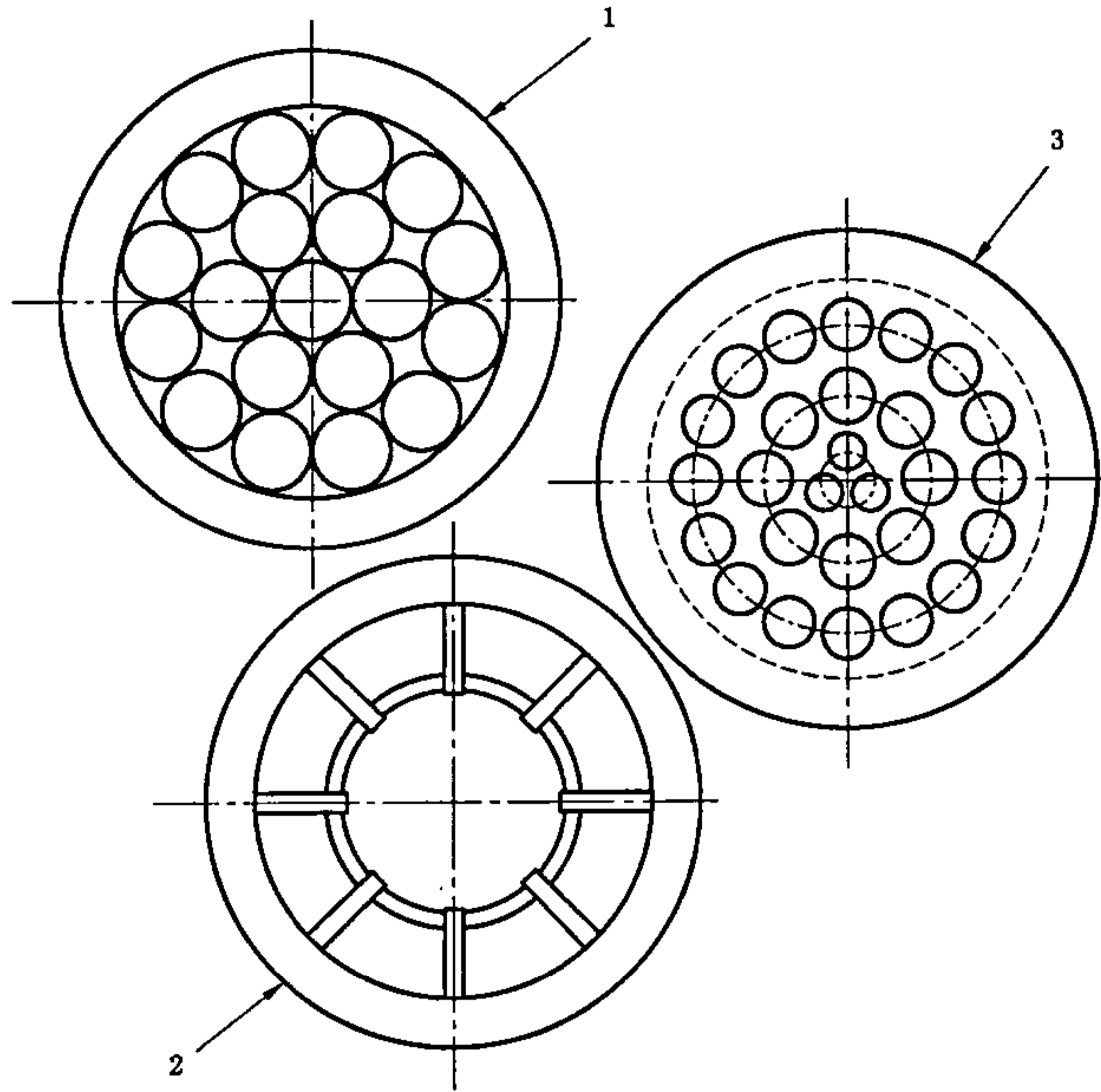
d 3.2 mm ( $D_{nom}$  = 50 mm ~ 75 mm);

6.4 mm ( $D_{nom}$  = 100 mm ~ 450 mm);

12.7 mm ( $D_{nom}$  = 500 mm ~ 600 mm)。

e 流动方向。

图 C.4 Gallagher 流动调整器典型配置



图中：

- 1 抗旋涡装置——管子型方案：19 管均匀同心管束（可采用销钉式安装）；
- 2 抗旋涡装置——叶片型方案：8 个长度  $0.125D \sim 0.25D$  的叶片，与管道同心（该装置可以安装在仪表管道入口）；
- 3 成形装置：3-8-16 模式（见注）。

注：成形装置的 3-8-16 模式为：

- 在  $0.15D \sim 0.155D$  节圆直径上为 3 个孔；孔的直径为孔的面积之和占管道面积的 3%~5%。
- 在  $0.44D \sim 0.48D$  节圆直径上为 8 个孔；孔的直径为孔的面积之和占管道面积的 19%~21%。
- 在  $0.81D \sim 0.85D$  节圆直径上为 16 个孔；孔的直径为孔的面积之和占管道面积的 25%~29%。

图 C.5 Gallagher 流动调整器典型部件（正面图）

### C.3.2.2 K-Lab 多孔板流动调整器的 NOVA 结构

K-Lab 多孔板流动调整器的 NOVA 结构，即 K-Lab NOVA 流动调整器，涉及一个现行专利。如图 C.6 所示，它是一块有 25 个钻孔对称环形排列的板。多孔板的厚度  $t_c$  为  $0.125D \leq t_c \leq 0.15D$ 。法兰的厚度取决于应用场合，外径和法兰端面取决于法兰形式和应用场合。孔的尺寸是管道内径  $D$  的函数，且取决于管道雷诺数。

如果  $Re_D \geq 8 \times 10^5$ ，就有：

- 一个直径  $0.186\ 29D \pm 0.000\ 77D$  的中心孔；
- $0.5D \pm 0.5\ \text{mm}$  节圆直径上，一圈 8 个直径  $0.163\ 09D \pm 0.000\ 77D$  的孔；
- $0.85D \pm 0.5\ \text{mm}$  节圆直径上，一圈 16 个直径  $0.120\ 3D \pm 0.000\ 77D$  的孔。

如果  $8 \times 10^5 > Re_D \geq 10^5$ ，就有：

- 一个直径  $0.226\ 64D \pm 0.000\ 77D$  的中心孔；
- $0.5D \pm 0.5\ \text{mm}$  节圆直径上，一圈 8 个直径  $0.163\ 09D \pm 0.000\ 77D$  的孔；
- $0.85D \pm 0.5\ \text{mm}$  节圆直径上，一圈 16 个直径  $0.124\ 22D \pm 0.000\ 77D$  的孔。

K-Lab NOVA 流动调整器的压力损失系数  $K$  约等于 2。

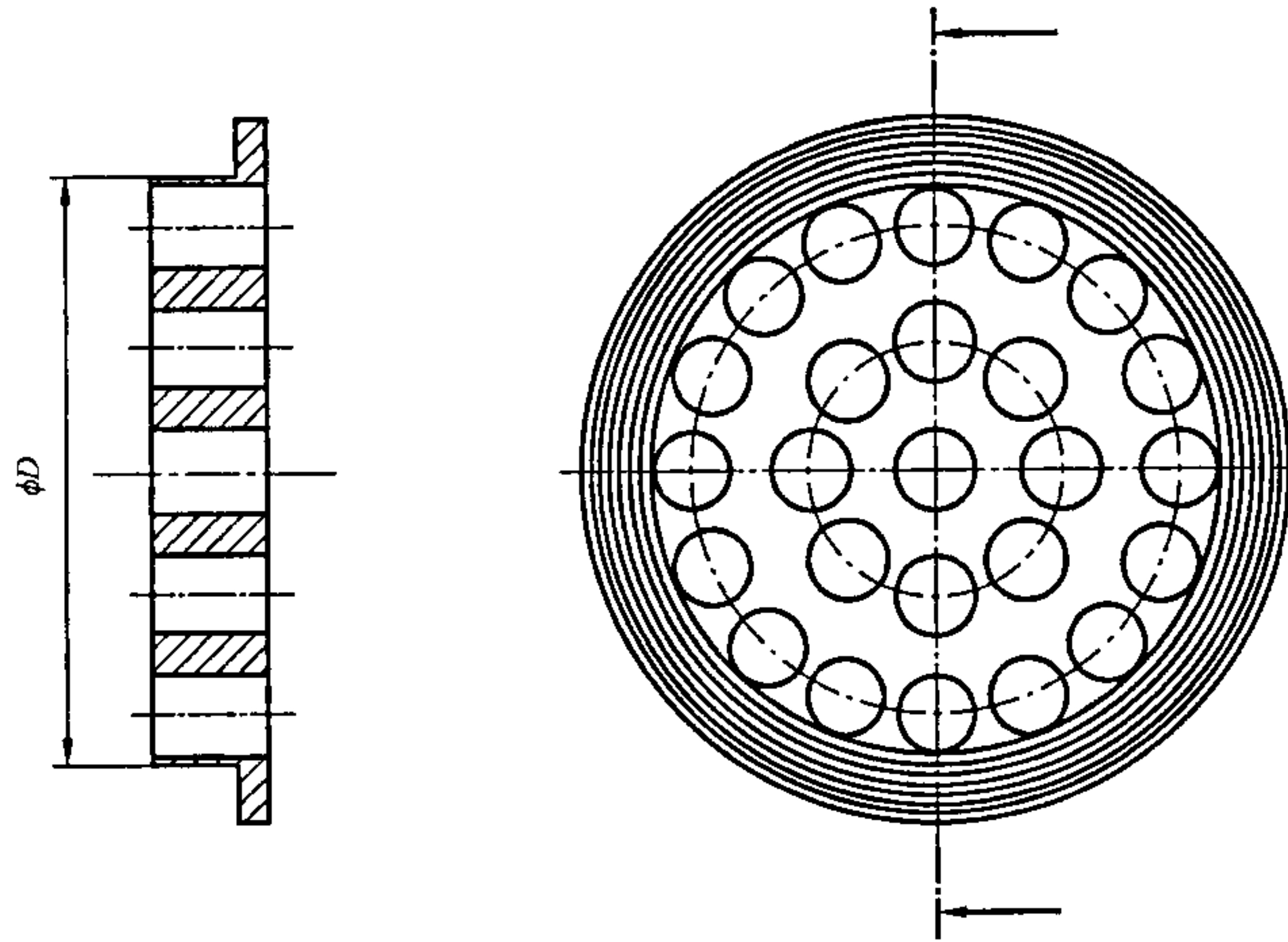


图 C.6 K-Lab NOVA 流动调整器

### C.3.2.3 NEL(Spearman)流动调整器

NEL(Spearman)流动调整器如图 C.7 所示。孔的尺寸是管道内径  $D$  的函数。板上有：

- $0.18D$  节圆直径上，一圈 4 个直径  $0.10D$  的孔( $d_1$ )；
- $0.48D$  节圆直径上，一圈 8 个直径  $0.16D$  的孔( $d_2$ )；
- $0.86D$  节圆直径上，一圈 16 个直径  $0.12D$  的孔( $d_3$ )。

多孔板的厚度为  $0.12D$ 。

NEL(Spearman)流动调整器的压力损失系数  $K$  约等于 3.2。

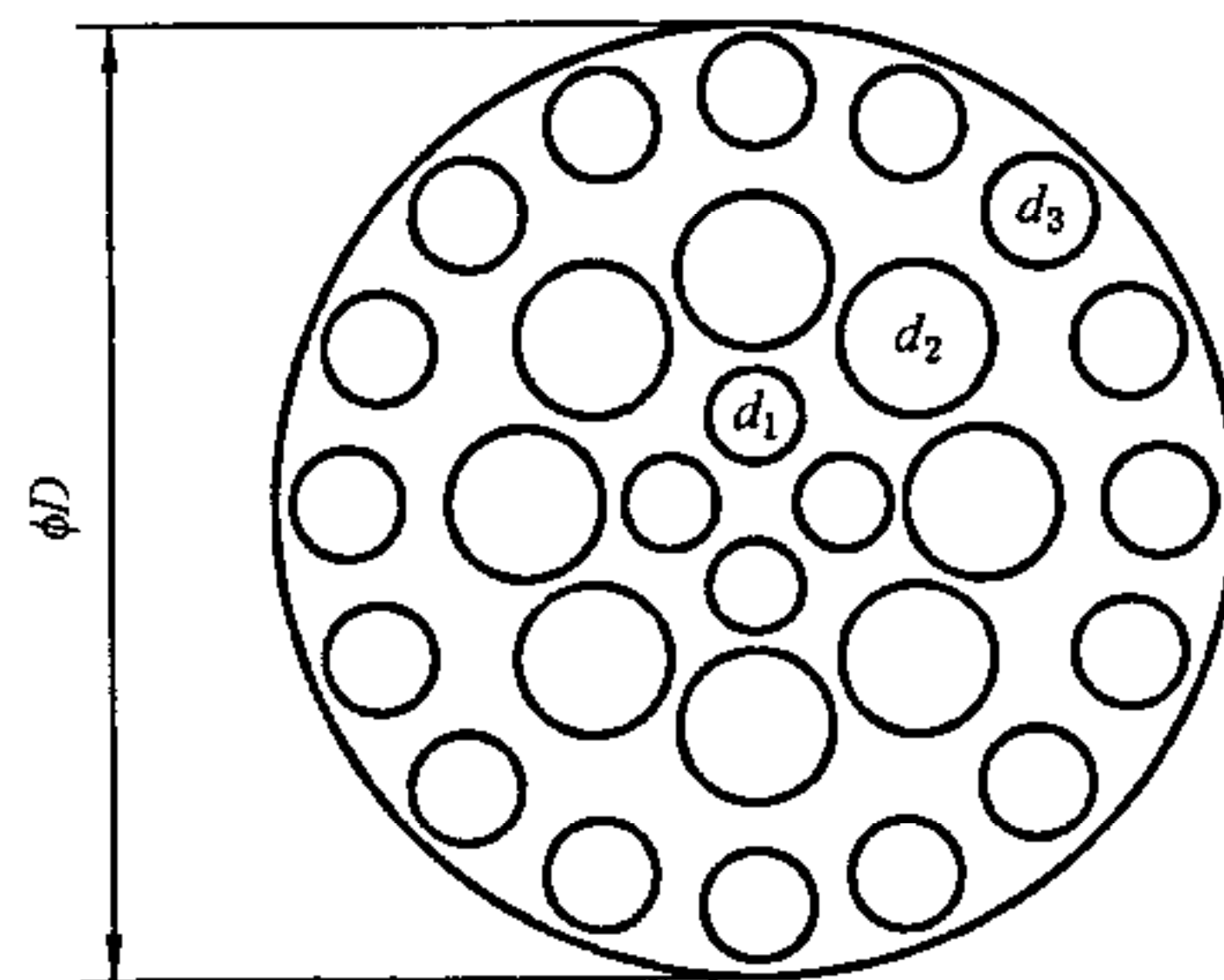


图 C.7 NEL(Spearman)流动调整器

### C.3.2.4 Sprengle 流动调整器

Sprengle 调整器由三块串接的多孔板组成，相邻两板之间的间距等于  $D \pm 0.1D$ 。上游侧的孔最好倒角  $45^\circ$ ，以降低压力损失。每块板上孔的总面积宜大于管道截面积的 40%。板厚与孔径之比至少为 1，且孔径宜小于或等于  $0.05D$  (见图 C.8)。

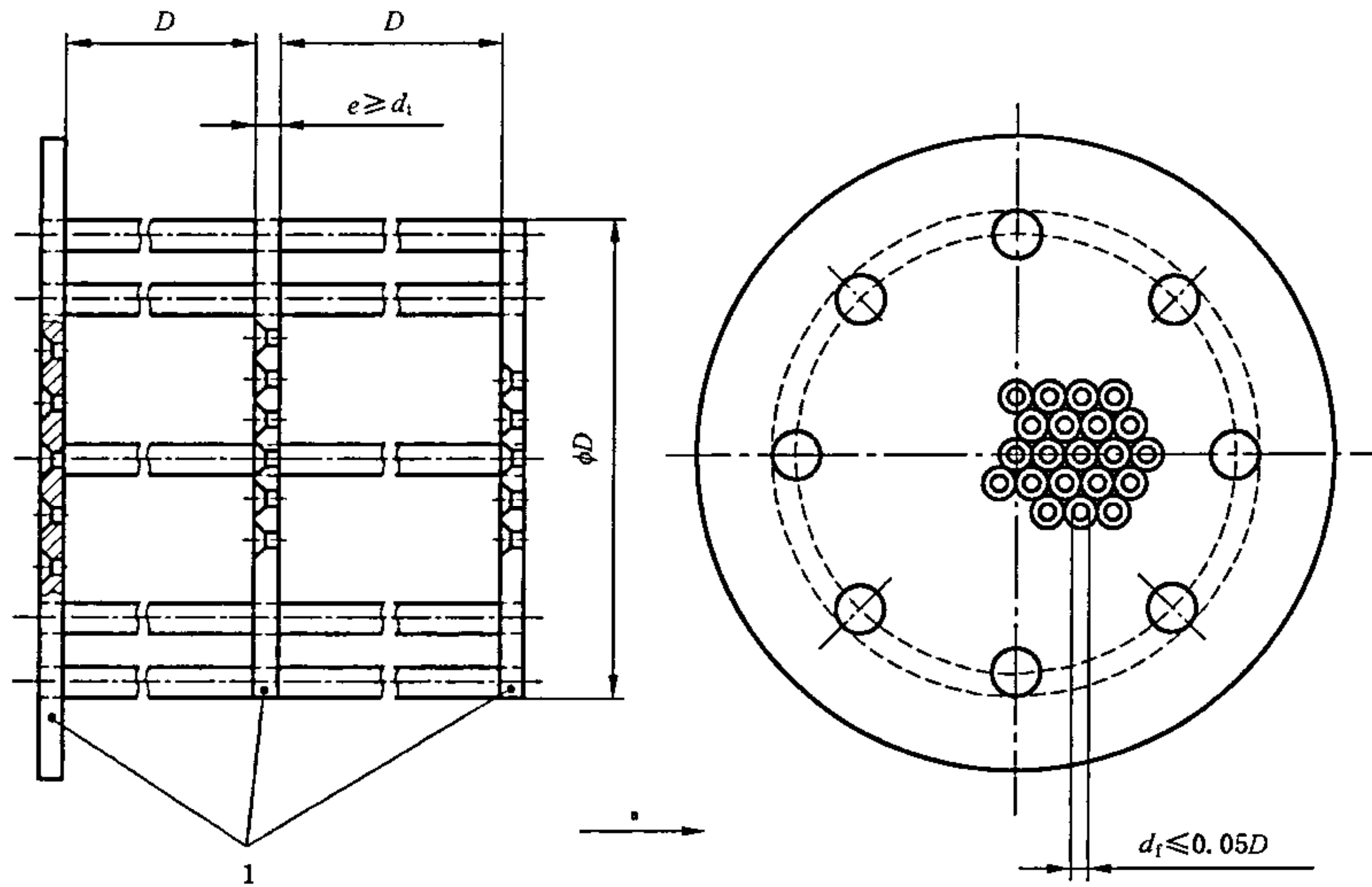
三块板用连接杆或螺栓固定在一起，连接杆或螺栓位于管道通孔的外圆，直径应尽可能小，但应具有要求的强度。

Sprengle 调整器的压力损失系数  $K$ ，入口倒角时约等于 11，入口不倒角时约等于 14。

### C.3.2.5 Zanker 流动调整器

Zanker 流动调整器由一块钻有规定尺寸孔的多孔板及其后面一些由平板交叉形成的通道(每个孔一个)组成(见图 C.9)。各块平板应尽可能薄，但应有一定的强度。

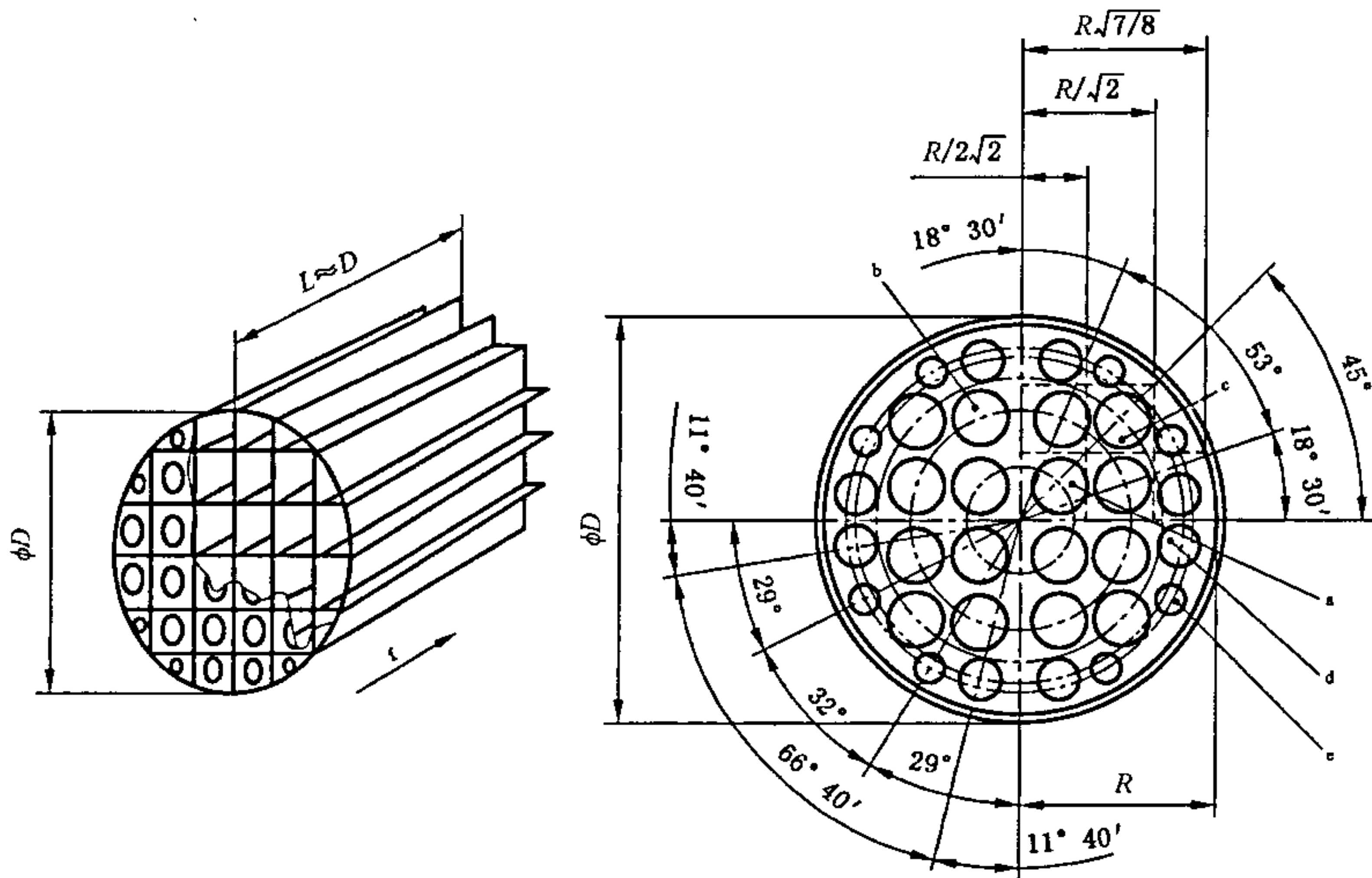
Zanker 流动调整器的压力损失系数  $K$  约等于 5。



图中：

- 1——多孔板。
- a 流动方向 2。

图 C. 8 Sprengle 流动调整器



- a 孔径  $0.141D$ , 节圆直径  $0.25D$ , 4 个孔；
- b 孔径  $0.139D$ , 节圆直径  $0.56D$ , 8 个孔；
- c 孔径  $0.1365D$ , 节圆直径  $0.75D$ , 4 个孔；
- d 孔径  $0.11D$ , 节圆直径  $0.85D$ , 8 个孔；
- e 孔径  $0.077D$ , 节圆直径  $0.90D$ , 8 个孔；
- f 流动方向。

图 C. 9 Zanker 流动调整器

C.3.2.6 Zanker 流动调整器板

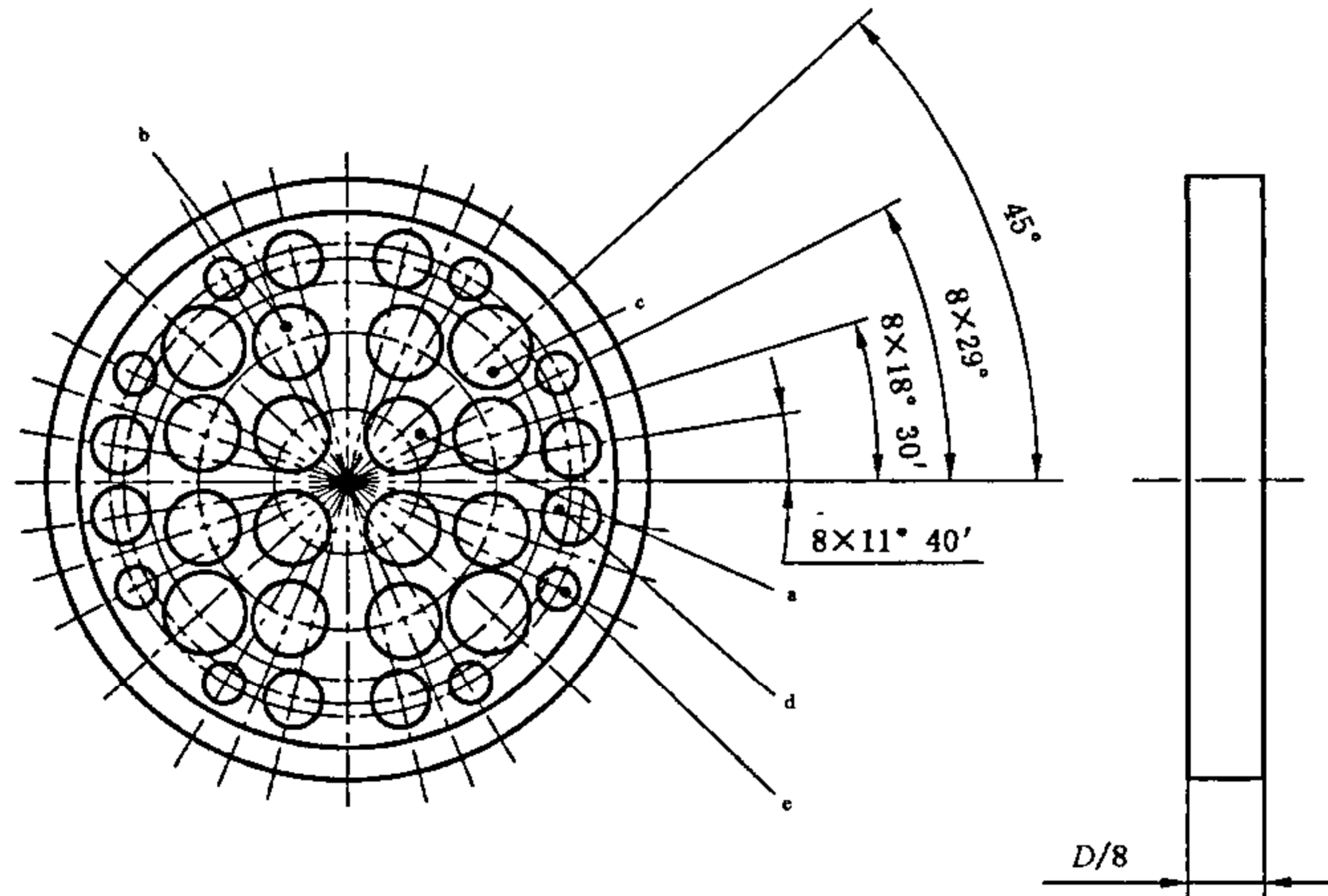
Zanker 流动调整器板是 C.3.2.5 所述 Zanker 流动调整器的一种改进。其孔的分布与 Zanker 流动调整器相同,但板上并没有附着蛋箱形蜂巢,而是将板的厚度增大到  $D/8$ 。

如图 C.10 所示,Zanker 流动调整器板由对称环形分布的 32 个钻孔组成,孔的尺寸是管道内径  $D$  的函数。板上有:

- a)  $0.25D \pm 0.0025D$  节圆直径上,一圈 4 个直径  $0.141D \pm 0.001D$  的孔;
- b)  $0.56D \pm 0.0056D$  节圆直径上,一圈 8 个直径  $0.139D \pm 0.001D$  的孔;
- c)  $0.75D \pm 0.0075D$  节圆直径上,一圈 4 个直径  $0.1365D \pm 0.001D$  的孔;
- d)  $0.85D \pm 0.0085D$  节圆直径上,一圈 8 个直径  $0.110D \pm 0.001D$  的孔;
- e)  $0.90D \pm 0.009D$  节圆直径上,一圈 8 个直径  $0.077D \pm 0.001D$  的孔;

每个孔的直径的允差,对于  $D < 100 \text{ mm}$ ,为  $\pm 0.1 \text{ mm}$ 。

多孔板的厚度  $t_c$  为: $0.12D \leq t_c \leq 0.15D$ 。法兰的厚度取决于应用场合;外径和法兰端面取决于法兰的类型和应用场合。



- a 孔径  $0.141D$ ,节圆直径  $0.25D$ ,4 个孔;
- b 孔径  $0.139D$ ,节圆直径  $0.56D$ ,8 个孔;
- c 孔径  $0.1365D$ ,节圆直径  $0.75D$ ,4 个孔;
- d 孔径  $0.11D$ ,节圆直径  $0.85D$ ,8 个孔;
- e 孔径  $0.077D$ ,节圆直径  $0.90D$ ,8 个孔。

图 C.10 Zanker 流动调整器板

Zanker 流动调整器板的压力损失系数  $K$  约等于 3。

参 考 文 献

- [1] NIAZI A. 和 THALAYASINGAM S. . 孔板仪表前后的温度变化, In Proc. of 19<sup>th</sup> North Sea Flow Measurement Workshop, Norway, Paper 13, October 2001.
  - [2] STUDZINSKI, W. and BOWEN, J. . 节流孔测量动态影响白皮书, Washington D. C. American Petroleum Institute, 1997.
  - [3] SCHLICHTING, H. . 边界层理论. New York, McGraw-Hill, 1960.
  - [4] STUDZINSKI, W. , KARNIK, U. , LANASA, P. , MORROW, T. , GOODSON, D. , HUSAIN, Z. and GALLAGHER, J. . 带或不带流动调整器的孔板仪表安装配置白皮书, Washington D. C. American Petroleum Institute, 1997.
  - [5] SHEN, J. J. S. . 旋涡流的表征及其对孔板计量的影响, SPE 22865. Richardson, Texas: Society of Petroleum Engineers, 1991.
  - [6] READER-HARRIS, M. J. . 孔板流出系数方程的管道粗糙度和雷诺数限值, In Proc. of 2<sup>nd</sup> Int. Symp. on Fluid Flow Measurement, Calgary, Canada, Arlington, Virginia: American Gas Association, June 1990, pp. 29-43.
  - [7] READER-HARRIS, M. J. , SATTARY, J. A. and SPEARMAN, E. P. . 孔板流出系数方程 Progress Report No PR14; EUEC/17(EEC005). East Kilbride, Glasgow: National Engineering Laboratory Executive Agency, May 1992.
  - [8] ISO/TR 3313:1998 封闭管道中流体流量的测量 脉动流对流量测量仪表的影响.
  - [9] ISO 4288:1996 几何产品范围(GPS) 表面结构 剖面法 表面结构的评定规则和程序.
  - [10] ISO/TR 5168:1998 流体流量的测量 不确定度的评估.
  - [11] ISO/TR 9464:1998 ISO 5167-1:1991 使用指南.
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
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 1 部分：一般原理和要求  
GB/T 2624.1—2006/ISO 5167-1:2003

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街 16 号  
邮政编码：100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话：68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 54 千字  
2007 年 5 月第一版 2007 年 5 月第一次印刷

\*

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话：(010)68533533



GB/T 2624.1-2006