

美国炼油厂仪表及调节系统 安装手册

(修订本)

[美] 美国石油学会编

石油工业出版社

美国炼油厂仪表及调节系统 安 装 手 册

(修 订 本)

〔美〕美国石油学会编

蒋照忠 廖明道 等译

石油工业出版社

本书是根据美国石油学会出版的炼油厂仪表安装手册翻译的。它介绍了流量、液位、压力和温度仪表的安装方法以及各种自动调节器、变送系统和仪表盘的安装方法。这些安装方法对各种化学工厂也同样适用。

本书可供我国炼油厂和化工厂的仪表技术人员在实际工作中参考借鉴。

本书在这次重印时，译者根据原书1965年版作了修订。

American Petroleum Institute
**MANUAL ON INSTALLATION OF REFINERY
INSTRUMENTS AND CONTROL SYSTEMS**

American Petroleum Institute 1963

*

美国炼油厂仪表及调节系统安装手册

(修订本)

[美]美国石油学会编
蒋照忠 廖明道 等译

*

(根据原石油化学工业出版社纸型重印)

石油工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

物探局印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $7^{3/8}$ 插页3 字数191千字印数1—7,050

1979年8月北京新1版 1979年8月北京第1次印刷

书号15037·2073定价1.05元

目 录

绪论	1	1. 所包括的类型	42
第一章 流量	2	2. 接近的可能	43
一、内容	2	3. 可见性	43
二、概述	2	4. 容器上的接头	43
1. 差压仪表	2	5. 多个仪表的安装	43
2. 面积式流量计	3	6. 切断阀	44
三、差压一次元件	3	7. 消除应变	44
1. 薄板孔板	3	九、就地安装的液位指示计	44
2. 流量喷嘴	8	1. 玻璃管液位计	45
3. 文丘利管和流量管	9	2. 透光式(透明)和反射 式玻璃板液位计	46
4. 比托管和比托式文丘利管	11	3. 浮子和钢绳式(自动) 油罐液位计	48
5. 仪表管段	12	4. 液压头式压力计	50
四、差压式测量仪表	26	5. 差压式液位指示计	50
1. 差压计	27	6. 各种各样的液位计	50
2. 机械式水银流量计	27	十、液位变送器	51
3. 波纹管式流量计	28	1. 浮筒式变送器	52
4. 膜式变送器	28	2. 外浮球变送器	57
5. 动力式流量计	31	3. 内浮球变送器	57
五、连接管	35	4. 差压变送器	57
1. 仪表位置	35	5. 液压头式变送器	59
2. 仪表引线	35	6. 电气式液位指示变送器	62
3. 仪表阀组	36	7. 电子式液位变送器	62
4. 隔离器、平衡器及分液器	37	十一、就地安装的调节器	62
5. 吹洗	37	1. 浮筒式调节器	62
六、面积式流量计	37	2. 外浮球和内浮球调节器	62
1. 概述	37	3. 直接膨胀式调节器	63
2. 安装	38	4. 液柱高度阀式(静压头 式)调节器	63
参考文献	41	十二、远传或盘上安装的受 讯器	64
第二章 液位	42	1. 安装	64
七、内容	42		
八、概述	42		

2. 范围	65
十三、液位警报器	65
1. 浮球警报器的安装	65
2. 其他警报器的安装	66
3. 信号传送	66
十四、附件	66
1. 隔离和吹洗	66
2. 玻璃板液位计的照明装置	66
3. 气候保护	66
第三章 温度	68
十五、内容	68
十六、测温保护套	68
1. 概述	68
2. 测温保护套的浸入深度	68
3. 测温保护套的材质	71
4. 测温保护套的结构	72
十七、就地测量温度的温 度计	73
1. 概述	73
2. 工业用玻璃水银温度计	73
3. 圆盘盘式温度计	73
十八、充灌式温度仪表	73
1. 概述	73
2. 直接作用式温度调节器	74
3. 温度变送器	74
4. 注意点	75
十九、热电偶式温度仪表	75
1. 应用	75
2. 概述	75
3. 管壁温度测量	78
4. 补偿导线	78
5. 温度仪表	78
6. 参比接点	79
二十、电阻管温度仪表	79

1. 应用	79
2. 信号传送	80
3. 连接	80
参考文献	80
第四章 压力	81
二十一、内容	81
二十二、概述	81
1. 注意点	81
2. 震动	81
二十三、接管	81
1. 尺寸	81
2. 清扫	82
3. 短接管	82
4. 长接管	82
5. 挠性	83
6. 吹洗和隔离	83
二十四、指示压力表	83
1. 接头的位置和尺寸	83
2. 支承	83
3. 安全设施	84
4. 脉动	84
5. 虹吸弯管	84
6. 波顿管材质	85
二十五、压力表以外的仪表	85
1. 支承	85
2. 就地指示	85
3. 电子仪表	86
4. 受讯器	86
5. 简单的压力调节器	86
6. 差压	86
7. 抽力计	88
第五章 自动调节器	89
二十六、内容	89
二十七、调节型式	89

1. 二位式调节	89
2. 比例式调节	90
3. 比例加重定调节	90
4. 比例加超越调节	90
5. 比例重定加超越调节	90
6. 比例重定加反超越调节	91

二十八、各种调节方式的

应用

1. 要求的调整范围	91
2. 流量	92
3. 压力	92
4. 温度	92
5. 液位	93

二十九、串级和比率调节

1. 串级调节	93
2. 比率调节	94

三十、调节器的安装位置

1. 概述	95
2. 影响调节器安装地点的因素	95
3. 时延	96
4. 推荐的几种减少气动时延的方法	96
5. 控制台的集中	97
6. 就地安装的气动调节器	97

三十一、安装

1. 概述	98
2. 就地调节器的安装	98
3. 架上或墙上安装	100

三十二、各种调节的要求

1. 副线板	100
2. 变送器的调节要求	101
3. 供手动调节用的就地指示测量仪表	101
4. 调节器的保护	101

第六章 调节阀和定位器

三十三、内容

三十四、概述

1. 接近的可能性	103
2. 安装地点	103
3. 间隙	103
4. 注意点	104

三十五、调节阀的型式

1. 二通阀	104
2. 三通阀	105
3. 蝶形阀	105
4. 各种阀体型式	105

三十六、调节阀驱动机构

1. 薄膜式	105
2. 直接作用式调节阀	106
3. 活塞式驱动机构	106
4. 马达式驱动机构	106

三十七、调节阀的阀组

1. 切断阀和旁路阀	106
2. 调节阀的大小头	109
3. 不用切断阀或旁路阀的接管	109
4. 阀组接管安装法	110

三十八、至调节阀驱动机构

的接管和接线

1. 动力源	120
2. 薄膜式驱动机构	120
3. 活塞式或缸式驱动机构	122
4. 马达式驱动机构	122

第七章 变送系统

三十九、内容

四十、概述

1. 基础	126
2. 设计和建设中的注意点	126

3. 信号型式	127
4. 线路和管路的安装位置和 铺设路线	127
四十一、气动系统	128
1. 标准气动变送范围	128
2. 接管	128
3. 管件	129
4. 接管的支撑和保护	129
5. 与仪表设备的连接	138
四十二、电气系统	138
1. 在大气中可能包含可燃蒸 汽的装置区	138
2. 本质安全防爆	139
3. 电线管系统的支承和布置	140
4. 电线管材料	140
5. 电线绝缘	141
6. 信号传送回路的布线	142
四十三、调节用的液压传送 系统	146
1. 类型	147
2. 管线材料	147
四十四、检查和校验	148
1. 气动变送系统	148
2. 电气变送系统	148
3. 液压变送系统	148
4. 警报装置及联锁作用	148
参考文献	149
第八章 隔离、吹洗及 防冻	150
四十五、内容	150
四十六、隔离	150
1. 概述	150
2. 膜片隔离	150
3. 液体隔离	151

4. 隔离器	152
5. 隔离液	152
四十七、吹洗	152
1. 概述	152
2. 吹洗流体	152
3. 流率	156
4. 缓冲器	158
四十八、防冻	158
1. 概述	158
2. 蒸汽伴热及加热	158
3. 电加热	162
4. 热水加热	162
5. 用生产过程的流体来加热	163
6. 仪表箱	163
7. 空气供给系统	165
第九章 空气供给系统	166
四十九、内容	166
五十、概述	166
1. 压缩机	166
2. 净化处理设备	166
3. 备用设备	166
4. 流程布置	167
5. 安全阀	168
6. 高压空气	168
五十一、容量	168
五十二、干燥及净化	168
1. 压缩机后冷却器	168
2. 分水器	168
3. 油气吸收器	169
4. 空气干燥器	169
5. 允许压力降	169
五十三、分配系统	169
1. 系统的型式	169
2. 管线大小	169

3. 仪表空气供给管线	170
五十四、备用系统的控制	170
1. 图108中的符号	170
2. 图109中的符号	174
3. 图110中的符号	174
4. 警报	174
5. 起动准备	174
6. 调节阀	174
五十五、空气干燥器	175
参考文献	175
第十章 液压系统	176
五十六、内容	176
五十七、设计的基础	176
五十八、泵	176
五十九、罐	176
1. 压力罐	176
2. 储罐	178
六十、压力	178
1. 最小压力	178
2. 正常操作压力	179
3. 惰性气体	179
六十一、安全阀及泄放阀	179
1. 泵的泄放阀	179
2. 安全阀	179
六十二、液位警报器	180
1. 储罐的低液位警报器	180
2. 压力罐的低液位警报器	180
3. 压力罐的高液位警报器	180
六十三、压力警报器	180
1. 压力罐的低压力警报器	180
2. 压力罐的高压力警报器	180
六十四、压力表及玻璃液位计	180

六十五、压力调节器	181
1. 压力罐的压力调节器	181
2. 蒸汽泵的压力调节器	181
六十六、过滤器	181
1. 位置	181
2. 型式	181
六十七、管线	181
1. 尺寸	181
2. 总管的连接管	182
六十八、液体	182
1. 温和的气候	182
2. 寒冷的气候	182
第十一章 供电	184
六十九、内容	184
七十、概述	184
1. 生产装置的类型及大小	185
2. 工厂电源注意事项	185
3. 仪表系统的型式和大小	186
七十一、供电回路的方案	188
1. 仪表回路的隔离	189
2. 接地的规定	190
3. 单电源	190
4. 警报回路及联锁装置	191
5. 断路开关	192
七十二、至负荷的电源	192
1. 需要调压	192
2. 不需要调压	193
3. 饱和的电抗器及电容器式 (共振式) 稳压器的特性	193
4. 其他稳压器的特性	194
七十三、由两个电源供给负荷	194
1. 两个正常回路	194
2. 备用线路	194

七十四、电力不足时的供电	195
七十五、仪表及其他有关负荷的事故电源	195
1. 事故发电机的特性	195
2. 蒸汽透平驱动	196
3. 燃气透平驱动	196
4. 汽油(及柴油)发动机	197
七十六、发电力不足和中断时用的组合式原动机	197
1. 电动机-发电机-发动机的组合	197
2. 电动机-发电机-蓄电池的组合	198
3. 事故电源的试验	199
第十二章 仪表盘	200
七十七、内容	200
七十八、概述	200
1. 仪表盘的间距	200
2. 仪表的布置	200
七十九、普通仪表盘	201
八十、流程图式仪表盘	202
1. 流程图式仪表盘的类型	202
2. 仪表盘的布置和设计	204
3. 铭牌	208
八十一、结构	209
1. 仪表盘材料	209
2. 仪表盘的框架	210
3. 局部组装件	210
4. 仪表盘基础	210

5. 仪表盘的树立	210
6. 仪表盘的公差	214
八十二、油漆	214
1. 仪表盘表面	214
2. 仪表盘背面	214
八十三、电气安装	214
1. 供电	215
2. 配线	215
3. 线路试验	215
4. 断路开关	215
5. 端子板	216
八十四、配管	216
1. 供给总管	216
2. 内部连接管	217
3. 气动管线接线板的接头	217
4. 试验	218
英文简写字索引	219

附录

一、靶式流量变送器	220
1. 概述	220
2. 安装	220
3. 校对	221
二、涡轮或螺旋桨式流量计	221
1. 概述	221
2. 安装	223
3. 校对	225
三、铠装热电偶	225
1. 概述	225
2. 安装	226
3. 管壁温度测量	226

绪 论

要搞好仪表工程，必须有一套能满足各种特殊要求的最简单的系统和方法。建设者要掌握足量的表格、图纸、草图和其他数据才能按照一定要求来安装仪表。有关调节对象的各种工业规范和标准以及定律和规则也必须遵守。

为了确保人身安全，推荐使用传送系统，避免将碳氢化合物、酸及其他危险或有害物质用管线引到控制室内的仪表。

在安装一套仪表时，各个组成部分必须接近，以便进行维护工作，其中某些仪表必须易于观看，以便很好地操作。孔板、调节阀、变送器、热电偶、液位计和就地安装的调节器必须装在地面、永久性平台或固定梯子易于接近的地方。在本手册内特别注意到仪表的安装位置、如何装得可以接近以及如何装得易于观看。

为了发挥仪表系统的全部效果，并且实现投资最大回收率，正确的安装是十分重要的。许多例子都说明，不正确的安装会导致仪表使用的困难。

第一章 流 量

一、内 容

本章介绍各种指示、记录、变送及控制流体流量的差压仪表和面积式流量计的实际安装方法。用途不广而未在本章内介绍的其他类型流量仪表是：

1. 容积式流量计；
2. 速度式或圆靶式流量计；
3. 涡轮式或透平式仪表；
4. 观察式流量指示器；
5. 堰式或落差面积式^①流量计（炼油厂很少用，仅用于废水处理、下水等）；
6. 电磁式流量计；
7. 声波式或超声波式流量计；
8. 热力学流量计；
9. 固体流量测量元件；
10. 直接作用式流量调节器（见第六章）。

上述这些仪表只在碰到特殊流量问题时才用，安装时要按照制造厂的说明书或按照专门为特殊要求而编的工程规定。

二、概 述

1. 差 压 仪 表

差压仪表是根据流体通过一次元件时产生的差压来测量流量。

① 即量水槽式。

的。这些一次元件有下列类型：

1) 孔板：通常用的是薄板同心孔板，但也可可是偏心、缺圆或者其他满足不同需要的特殊形式。

2) 流量喷嘴：用于容量较大处以及需要能比孔板更好地恢复压力处。

3) 文丘利管：用于高容量以及需要很好地恢复压力处，或者被测流束内含固体。

4) 流量管：用于主要考虑低压力损失，或者配管位置有限制处。

5) 比托管：通常用于流量很大而不容许有显著压力降时，如冷却水。

6) 弯头取压：用于流速足够大以及要求精确度不高处〔1〕。

有些试验数据选自伊利诺大学的资料〔2〕。

通过一次元件所产生的差压通常用下列仪表之一来测量：

- 1) 差压计；
- 2) 机械式水银流量计；
- 3) 波纹管式流量计；
- 4) 膜式变送器；
- 5) 动力式流量计。

2. 面积式流量计

炼油厂最常用的面积式流量计是转子流量计。

三、差压一次元件

1. 薄板孔板

1) 同心孔板：带尖锐边缘的同心孔板用得最多；因为它价格较低、适应性大，并可得到准确的系数。

多数情况下，孔板用抗腐材料制造，通常用304、316或430

型不锈钢。特殊情况下有时也用其他材料。

孔板的上游表面必须做得愈平愈好。任何孔板只要沿直径的平度误差对每吋堰高 $\frac{D-d}{2}$ ① 而言不超过 0.010 吋时便算平了。

孔板的上游表面必须光滑，至少要加工得象冷加工的薄钢板一样。

孔板锐边的厚度不得超过（各种情况下的最小要求）：

$$\frac{D}{30} \text{ 或者最好是 } \frac{D}{50} \text{（管径的五十分之一）；}$$

$$\frac{d}{8} \text{（锐孔直径的八分之一）；}$$

$$\frac{D-d}{8} \text{（堰高的四分之一）。}$$

不论如何，配 4 吋或更小管径的孔板厚度应该至少 1/16 吋，但不大于 1/8 吋。配公称直径 6 吋管子的孔板厚度应该至少 1/8 吋，但不大于 1/4 吋。管子大于 6 吋时，孔板厚度应该至少 1/8 吋，并不得大于管子内径的 1/30，不论如何，厚度应不超过 1/2 吋。

有时，孔板厚度超过锐边厚度的限制范围，在这种情况下，下游边缘要在反面钻孔或者在孔板锐边所需厚度处切成倾斜 45° 或更小角度的斜面。“上游”或“入口”字样要打印在孔板方边一侧的板柄上。

孔必须钻成圆的和同心的。锐孔直径的实际允许误差，采用 AGA 第三号报告的数据〔3〕，列于表 1。

每一锐孔的上游边缘应该是方形的和尖锐的，以使此边缘在不放大观察时也不会反射出一束光线来。在任何时候都要保持这

① D = 管子内径，d = 锐孔直径。

表 1 锐孔直径的实际允许误差

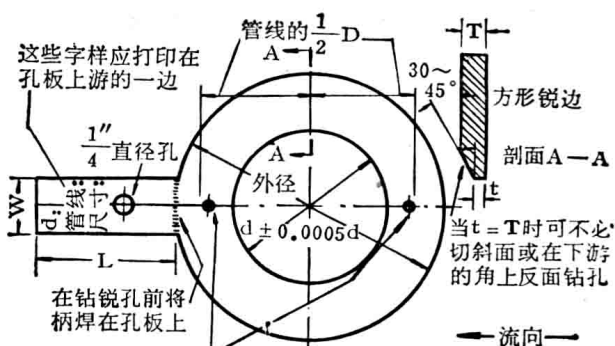
锐孔尺寸(吋)	允许误差+或- (吋)	锐孔尺寸(吋)	允许误差+或- (吋)
0.2500	0.0003	1.0000	0.0012
0.3750	0.0005	1.2500	0.0014
0.5000	0.0006	1.5000	0.0017
0.6250	0.0008	1.7500	0.0020
0.7500	0.0009	2.0000至5.0000	0.0025
0.8750	0.0010	大于5.0000	0.0005每吋直径

种状态。对二面流通的锐孔，二面的边缘都应方的。孔板的详图和厚度表见图 1。详细的允许误差在 AGA〔3〕和 ASME〔4〕文献中都有记载。锐边半径不应超过 0.0004 倍孔径。

用于湿气或湿蒸汽，冷凝液的量很小时，在锐孔底部有一排液孔以防止水平管线中积聚冷凝液。排液孔用作放空以防止在停工时冻结。管子顶部上的排气孔也可使少量气体随液流通过孔板。1/8 吋的排液（气）孔在锐孔直径 1.5 吋的孔板上会产生大约 1% 的误差。

由于薄板孔板的试验报告比其他一次元件易得到，有可能使锐孔板装置设计到很高的精确度。然而，现场安装不能总是得到最好的精确度。安装用于调节系统的孔板比安装用于核算、物料平衡、购买和销售的孔板可允许精确度差一些。经常误差的产生是由于取压嘴位置不正确、圆形边缘和粘度变化以及引线的压头差。孔板必须保持洁净，不得积聚外来物质。

2) $d:D$ (β) 比例：选择孔径时必须使孔径与真正管子内径之比 ($d:D$) 对液体而言不超过 0.75，对气体或蒸汽不超过 0.70，但最好也不小于 0.20。由于可能会给管垢和其他外来物质堵住，除了最干净的介质之外，在所有情况下最小锐孔直径不得小于 0.5 吋。



装在水平管线上的锐孔板上任意选定的
 $\frac{1}{8}$ 孔；管线底部的孔是用于气体或含小
 量水的碳氢化合物液体，管线顶部的
 孔是用于少量蒸汽或不冷凝物的液体

图 1 同心孔板

材料：316 型不锈钢或其他合适材料（所有单位都是吋）

公称管径	T	t	外径			L	W
			300psi ASA	600psi ASA	900psi ASA		
1 ①	1/8	1/32	2 ⁷ / ₈	2 ⁷ / ₈	3 ¹ / ₈ ②	4	3/4
1 ¹ / ₂ ①	1/8	3/64	3 ³ / ₄	3 ³ / ₄	3 ⁷ / ₈ ②	4	3/4
2	1/8	1/16	4 ³ / ₈	4 ³ / ₈	5 ⁵ / ₈ ②	4	3/4
2 ¹ / ₂	1/8	1/16	5 ¹ / ₈	5 ¹ / ₈	6 ¹ / ₂	4	3/4
3	1/8	1/16	5 ⁷ / ₈	5 ⁷ / ₈	6 ⁷ / ₈	4	3/4
4	1/8	1/16	7 ¹ / ₈	7 ⁵ / ₈	8 ¹ / ₈	6	1
6	1/8	1/8	9 ⁷ / ₈	10 ¹ / ₂	11 ³ / ₈	6	1
8	1/8	1/8	12 ¹ / ₈	12 ⁵ / ₈	14 ¹ / ₈	6	1
10	1/8	1/8	14 ¹ / ₄	15 ³ / ₄	17 ¹ / ₈	6	1
12	1/8	1/8	16 ⁵ / ₈	18	19 ⁵ / ₈	6	1
14	1/4	3/16	19 ¹ / ₈	19 ³ / ₈	20 ¹ / ₂	6	1
16	1/4	3/16	21 ¹ / ₄	22 ¹ / ₄	22 ⁵ / ₈	6	1
18	5/16	3/16	23 ¹ / ₂	24	25	6	1
20	5/16	3/16	25 ³ / ₄	26 ³ / ₄	27 ³ / ₈	6	1
24	3/8	3/16	30 ¹ / ₂	31	32 ⁷ / ₈	6	1

① 取消 1/8 吋钻孔。

② 与 ASA1,500psi 相同。

注：1. 孔板的外径(OD)要能配上标准 ASA 法兰的螺栓，外径等于螺栓圆直径减去螺栓公称直径 + 0 吋 ~ 1/32 吋；

2. 1 吋、1¹/₂ 吋和 2¹/₂ 吋时应避免采用。

3) 其他孔板: 在水平管段上, 不能使用同心孔板的特殊用途中; 可用偏心或缺圆孔板。偏心孔板用于气-液混合相。缺圆孔板推荐用于浆液, 因为它价格低, 对液-固比的变化不敏感而且具有较满意的精度 (孔板计算精度约 2.2%)。

偏心孔板的边缘通常与一个直径为 0.98 管径的圆相切。用于含汽的液体时, 切点在垂直中心线的顶部, 用于含液的汽体时, 切点在垂直中心线的底部。对于偏心孔板, 离切点 90° 至 180° 取压的流量系数都有。偏心及缺圆孔板示于图 2。缺圆孔板通常由一个直径 (D) 为 0.97 至 0.98 管内径的圆构成, 并且一般用于需要缺圆口位于管线底部的地方。为得到最好的精度, 取压点应位于离切线中心 180° 处。然而, 为了避免取压点处有气泡, 取压点位置可在缺圆口的弧与弦的一个交点以上 20° 至另一交点以上 20° 的范围之内。

象限-边缘 (即 $1/4$ 圆) 孔板是一种上游边缘研磨成 $1/4$ 圆的装置。接近锐孔处的孔板厚度等于 $1/4$ 圆的半径。

$1/4$ 圆孔板在测量粘性液流上有值得注意的优点, 因为它在低雷诺数的一个宽范围内有比较恒定的流量系数。它在粘度高而又常变的地方特别有用 (相反, 当孔板的雷诺数 R_d ① 低于 100,000 时, 方形边缘孔板的流量系数随 R_d 而增大。 R_d 约低至 25,000 时, 方形边缘孔板流量系数的校正因子还可以使用。)

当管线雷诺数 (R_D) 范围为 100,000 或更大至低到 3,000~5,000 时 (根据 β 比), 可用 $1/4$ 圆孔板, 其流量系数精度约为 0.5%。当 R_D 低于 3,000~5,000 的范围时, 系数曲线出现一个峰, 上游管段越长, 峰越高。即使 R_D 低于 1,000, 峰也可以压低, 方法是使流体从容器的接管嘴中直流出来, 经过孔板前只有

① 在一些数据中, 给出的是 R_D (管线的雷诺数); 在其他数据中, 用的是 R_d (节流处的雷诺数)。这两个数的区别经常没有清楚地表示出来, 其关系应为 $R_D = \beta R_d$ 。

几倍管径长的一段仪表管段，或采用隔板（如一个多板的流体整流器），放在上游几倍管径处。

超过最大雷诺数极限的流量读数可能有相当大的误差。1/4圆孔板的加工应该是高质量的，因为边缘的尺寸，形状以及平滑度是十分重要的。

还设计了其他特殊形式的孔板；其细节见最近的文献。

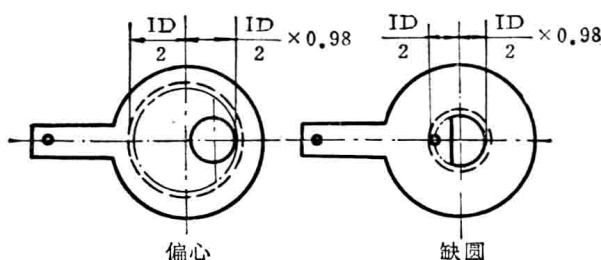


图2 偏心和缺圆孔板

4) 孔板规格：孔板尺寸通常按100吋水柱（干式刻度，并为用于液体的最大差压）来考虑。这样可允许在不同流率下不换孔板而增大或减小仪表的测量范围。对气体或蒸汽流量，一个主要的规律是测量范围（吋水柱）不超过流体压力（磅/吋²，绝对）。

计算孔板尺寸和通过孔板的流量的过程在很多书刊中可找到。有专门的计算尺可作孔板计算。这些计算尺用来校验繁复的计算及初步确定锐孔板的尺寸。孔板计算也可请孔板或流量计的制造厂来做。有时，在起动前只知道流体的近似物理性质；在这种情况下可用流量计算尺来决定孔板尺寸。可在晚些时候用真实的流体操作条件再来计算，或对用近似值做出的初步计算进行校正。

2. 流量喷嘴

流量喷嘴比孔板用得较少。流量喷嘴的主要优点是可得较好