



普通高等教育“十二五”规划教材

油气储运工程专业 实验指导

周锡堂 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)



教育部“十三五”规划教材

油气储运工程专业 实验指导

张明 主编

中国石化出版社

CHINA PETROLEUM & CHEMICAL PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

油气储运工程专业实验指导

周锡堂 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

油气储运工程专业通常开设有“工程流体力学”、“传热学”、“储运油科学”、“储运设备的腐蚀与防腐”、“油库设计与管理”及“管输工艺”等课程。这些课程都有与理论课相对应的实验课,多数学校将它们集中开设,以“油气储运工程专业实验”等来命名。本书即为该实验课的同名教材,其主要内容有:油气储运工程专业实验基本知识、流体力学与传热实验、油品性质实验、腐蚀与防腐实验、小呼吸蒸发损耗实验和管输模拟实验等。

本书适用于指导油气储运工程专业实验,也可以供相关专业师生、企业技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气储运工程专业实验指导/周锡堂主编.

—北京:中国石化出版社,2012.6
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5114-1548-6

I. ①油… II. ①周… III. ①石油与天然气储运-实验-高等学校-教材 IV. ①TE8-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 101152 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 8.25 印张 184 千字

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

前 言

油气储运工程是连接油气生产、加工、分配、销售诸环节的纽带,它主要包括油气田集输、长距离输送管道、储存与装卸及城市输配系统等。可以说,油气储运工程专业是随着我国石油和天然气工业及城市燃气事业的发展而快速发展起来的一个本科专业。

该专业以热能工程为基础、以服务石油石化和燃气行业为目标,是石油、机械、化工和土建等多个学科相交叉的产物。正因为如此,油气储运工程专业课程及其实验所涉及的范围很广。同一个专业,不同学校的培养目标各有所侧重,因此各学校油气储运工程专业的实验教材也体现出各自的特色。

本教材涉及与油气储运工程专业部分技术基础课和专业课相配套的实验内容,包括油气储运专业实验基础知识、流体力学实验和传热实验、油品性质实验、管输模拟实验、油库小呼吸蒸发实验和储运设备的腐蚀与防腐实验等内容。

周锡堂负责全书统稿及第一章至第十二章的编写,洪晓璘负责第十三章至第二十四章的编写,俞志东负责第二十五章至第三十二章的编写。郑秋霞、黄钦炎和张树文对全书进行了细致的审阅,并提出了许多宝贵的意见。对于他们的无私奉献,本书编者表示深深的感谢!

本书适合作为油气储运工程专业本专科实验指导书,也可供相关专业技术人员培训使用。书中难免存在不当之处,编者恳请读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

第1篇 油气储运工程专业基本实验方法与理论

1 油气储运工程专业实验概要	(1)
1.1 油气储运工程专业实验特点	(1)
1.2 实验教学目的	(1)
1.3 实验教学内容	(1)
1.4 实验教学的基本要求	(1)
2 实验参数测量	(3)
2.1 流体压力的测量	(3)
2.2 流量的测量	(5)
2.3 温度的测量	(9)
3 实验数据误差分析	(10)
3.1 数据的真值和平均值	(10)
3.2 误差分析	(11)
3.3 误差的表示方法	(11)
3.4 错误数据的剔除	(12)
3.5 精密度、正确度和准确度(精密度)	(13)
3.6 实验的有效数据	(13)
4 实验数据的处理方法	(17)
4.1 实验数据列表法	(17)
4.2 实验数据图示法	(18)
4.3 实验数据函数式	(20)
5 基本操作技能	(23)
5.1 单元设备基本操作技能	(23)
5.2 仪器设备的使用	(24)
5.3 实验异常现象、原因及处理方法	(25)
5.4 实验安全基本知识	(26)
6 雷诺演示实验	(28)
6.1 实验目的	(28)
6.2 实验原理	(28)
6.3 实验装置与设备参数	(29)
6.4 实验方法	(29)
6.5 实验数据记录	(30)
6.6 思考题	(30)

第2篇 流体力学和传热实验

7 流体流动能量转换实验	(31)
7.1 实验目的	(31)
7.2 实验原理	(31)
7.3 实验分析	(32)
7.4 实验装置与设备参数	(33)
7.5 实验方法及注意事项	(33)
7.6 实验数据记录	(34)
7.7 思考题	(34)
8 流体流动阻力测定实验	(35)
8.1 实验目的	(35)
8.2 实验原理	(35)
8.3 实验装置与设备参数	(35)
8.4 实验方法与注意事项	(37)
8.5 实验数据记录	(37)
8.6 思考题	(38)
9 离心泵综合实验	(39)
9.1 实验目的	(39)
9.2 实验原理	(39)
9.3 实验装置与设备参数	(41)
9.4 实验方法与注意事项	(41)
9.5 实验数据记录	(41)
9.6 思考题	(42)
10 对流传热系数与导热系数测定实验	(43)
10.1 实验目的	(43)
10.2 实验原理	(43)
10.3 实验装置	(45)
10.4 实验方法	(46)
10.5 实验数据整理	(47)
10.6 思考题	(48)
11 气-汽对流传热实验	(49)
11.1 实验目的	(49)
11.2 实验原理	(49)
11.3 实验装置与设备参数	(50)
11.4 实验方法与注意事项	(51)
11.5 实验数据记录	(51)
11.6 思考题	(52)
12 洞道干燥实验	(53)
12.1 实验目的	(53)
12.2 实验原理	(53)
12.3 实验装置与设备参数	(55)

12.4	实验方法与注意事项	(55)
12.5	实验数据记录	(56)
12.6	思考题	(57)

第3篇 油品性质实验

13	石油产品馏程测定实验	(58)
13.1	实验目的	(58)
13.2	实验原理	(58)
13.3	实验内容和步骤	(58)
13.4	实验数据处理	(59)
13.5	实验报告要求	(60)
13.6	思考题	(60)
	附录 馏程测定实验相关内容	(60)
14	石油和液体石油产品密度计测定实验	(62)
14.1	实验目的	(62)
14.2	实验原理	(62)
14.3	实验内容和步骤	(62)
14.4	实验数据处理	(63)
14.5	实验报告要求	(63)
14.6	思考题	(63)
	附录 石油和液体石油产品密度计测定实验相关内容	(64)
	附表 14-1 石油视密度换算表	(64)
	附表 14-2 石油密度温度系数表	(67)
15	液体比重天平测定实验	(68)
15.1	实验目的	(68)
15.2	测定原理	(68)
15.3	实验内容和步骤	(68)
15.4	实验数据处理	(68)
15.5	实验报告要求	(69)
15.6	思考题	(69)
	附表 15-1 水的密度表	(69)
	附表 15-2 $d_{15.6}^{15.6}$ 与 Δd 的换算表	(70)
16	发动机燃料饱和蒸气压测定实验	(71)
16.1	实验目的	(71)
16.2	雷德饱和蒸气压	(71)
16.3	实验内容和步骤	(71)
16.4	实验数据处理	(72)
16.5	实验报告要求	(72)
16.6	思考题	(73)
	附表 16-1 饱和蒸气压的修正数	(73)
	附表 16-2 不同温度下水的饱和蒸气压	(74)

17 石油产品闭口闪点测定实验	(75)
17.1 实验目的	(75)
17.2 实验原理	(75)
17.3 实验内容和步骤	(75)
17.4 实验数据处理	(76)
17.5 实验报告要求	(76)
17.6 思考题	(76)
附录 石油产品闪点测定实验相关内容	(76)
附表 17-1 大气压力对闪点影响的修正	(77)
18 石油产品开口闪点与燃点测定实验	(78)
18.1 实验目的	(78)
18.2 测定原理	(78)
18.3 实验内容和步骤	(78)
18.4 实验数据处理	(79)
18.5 实验报告要求	(79)
18.6 思考题	(79)
附表 18-1 小于 760mmHg(101.3kPa)大气压力时的闪点修正数	(80)
19 石油产品凝点测定实验	(81)
19.1 实验目的	(81)
19.2 测定原理	(81)
19.3 实验内容和步骤	(81)
19.4 实验数据处理	(82)
19.5 实验报告要求	(82)
19.6 思考题	(82)
附录 石油产品凝点测定的影响因素	(83)
20 石油产品倾点测定实验	(84)
20.1 实验目的	(84)
20.2 实验原理	(84)
20.3 实验内容和步骤	(84)
20.4 实验数据处理	(85)
20.5 实验报告要求	(85)
21 石油产品运动黏度测定实验	(86)
21.1 实验目的	(86)
21.2 测定原理	(86)
21.3 实验内容和步骤	(86)
21.4 实验数据处理	(87)
21.5 实验报告要求	(87)
21.6 思考题	(88)
附录 运动黏度测定的影响因素	(88)
22 深色石油产品黏度测定实验	(89)
22.1 实验目的	(89)

22.2	测定原理	(89)
22.3	实验内容和步骤	(89)
22.4	实验数据处理	(90)
22.5	实验报告要求	(90)
23	动力黏度测定实验	(91)
23.1	实验目的	(91)
23.2	实验原理	(91)
23.3	实验内容和步骤	(91)
23.4	实验数据处理	(92)
23.5	思考题	(92)
附录	旋转黏度测定实验相关内容	(92)
附表 23-1	动力黏度转子及转速选用范围(量程表)	(93)
24	石油产品酸值测定实验	(94)
24.1	实验目的	(94)
24.2	实验原理	(94)
24.3	实验内容和步骤	(94)
24.4	实验数据处理	(94)
24.5	实验报告要求	(95)
24.6	思考题	(95)
附录	酸值测定实验的影响因素	(95)

第 4 篇 管输模拟和油库小呼吸蒸发实验

25	等温输油管路实验	(97)
25.1	实验目的	(97)
25.2	实验原理	(97)
25.3	实验内容和步骤	(98)
25.4	数据采集系统	(100)
25.5	实验数据处理	(101)
25.6	实验报告要求	(101)
25.7	思考题	(102)
26	气液两相流流型测试	(103)
26.1	实验目的	(103)
26.2	实验原理	(103)
26.3	实验内容和步骤	(103)
26.4	实验数据处理	(104)
26.5	实验报告要求	(104)
26.6	思考题	(104)
27	气液两相流压降及截面含液率的测量	(105)
27.1	实验目的	(105)
27.2	实验原理	(105)
27.3	实验内容和步骤	(106)

27.4	实验数据处理	(106)
27.5	实验报告要求	(108)
27.6	思考题	(108)
28	量气法测定小呼吸蒸发损耗实验	(109)
28.1	实验目的	(109)
28.2	实验原理	(109)
28.3	实验内容和步骤	(112)
28.4	实验数据处理	(113)
28.5	实验数据处理要求	(113)
28.6	思考题	(113)

第5篇 储运设备的腐蚀与防腐实验

29	阳极接地电阻测定实验	(114)
29.1	实验目的	(114)
29.2	实验原理	(114)
29.3	实验内容和步骤	(115)
29.4	实验数据处理	(116)
29.5	实验报告要求	(116)
29.6	思考题	(116)
30	土壤电阻率测定实验	(117)
30.1	实验目的	(117)
30.2	实验原理	(117)
30.3	实验内容和步骤	(118)
30.4	实验数据处理	(118)
30.5	实验报告要求	(118)
30.6	思考题	(119)
31	极化曲线法测土壤腐蚀性	(119)
31.1	实验目的	(119)
31.2	实验原理	(119)
31.3	实验内容和步骤	(120)
31.4	实验数据处理	(120)
31.5	实验报告要求	(120)
31.6	思考题	(120)
32	管地电位差测量	(121)
32.1	实验目的	(121)
32.2	实验原理	(121)
32.3	实验内容和步骤	(121)
32.4	实验数据处理	(122)
32.5	实验报告要求	(122)
32.6	思考题	(122)
参考文献		(122)

第1篇 油气储运工程专业基本实验方法与理论

1 油气储运工程专业实验概要

1.1 油气储运工程专业实验特点

油气储运工程专业实验是一门实践性强的技术(基础)课,它属于工程实验范畴,不同于基础实验。基础实验面向基础科学,处理的对象简单、基本、甚至是理想的,实验方法讲究理论性、严密性。而工程实验面对的是错综复杂的工程问题,实验涉及的物料千变万化,设备形式大小悬殊,实验研究结果能由小见大,可应用于石油化工、油气储运生产单元设备的设计及单元过程操作条件的确定。因此,不能将一般的物理实验或化学实验的方法套用于油气储运工程专业实验。

油气储运工程专业实验能培养学生的动手能力,使学生掌握流体输送、传热、油品性质检验和油品储运的基本操作技能并学会理论联系实际,解决各类单元设备及相关工艺的实际问题。

1.2 实验教学目的

(1) 使学生巩固和强化对流体力学、传热学、油料学、储运设备防腐和管输工艺等课程内容的认识和理解。

(2) 培养学生的动手能力,使学生熟练掌握典型设备及相关工艺的操作技能。

(3) 培养学生良好的操作习惯。

1.3 实验教学内容

油气储运工程专业实验课程内容包括基本实验方法与理论及实验内容。基本实验方法与理论主要包括实验参数的测量、实验数据的误差与分析、实验数据(含有效数字)的处理、实验的基本操作技能等。实验内容在第2~5章叙述。

1.4 实验教学的基本要求

(1) 熟悉实验数据的基本测试方法和技术,例如温度、压力、流量的测量。

(2) 学会组织实验,以测试到必要的数据,如油品参数的测定和设备特性参数的测定等。

(3) 掌握影响生产过程的操作参数，并懂得调节控制。

(4) 掌握实验数据的处理方法(列表法、图示法、图解法)。

(5) 实验预习。实验前学生必须认真阅读实验指导书，弄清实验目的、实验原理，根据实验的具体要求，讨论实验内容、步骤及应测数据，分析实验数据的测定方法，并预测实验数据的变化规律。结合实验任务到实验室现场认真查看实验流程、设备结构及仪器、仪表的种类，了解实验操作过程和操作的注意事项，经过充分的预习，写出实验预习报告，方可进行实验。

(6) 提交实验报告。实验报告是实验工作的全面总结和概括，它包括实验目的、实验原理、装置流程、操作方法和注意事项，还包括原始数据记录、数据处理、列表和作图、数据计算过程举例以及对实验结果进行分析讨论并作出结论。通过书写实验报告，使学生在实验数据的处理、作图、误差分析、问题归纳等方面得到全面提高。实验报告是实验者个人理解的再创造过程，而不是实验教科书的翻版，每一名实验者都应认真对待，独立完成。

2 实验参数测量

流体压力、流量、温度等是石油石化生产中的主要测量参数，是分析生产操作过程的重要信息。而对这些参数的正确测量和控制，直接关系到产品质量或实验的研究结果。因此，本章着重介绍上述参数的测量。

2.1 流体压力的测量

流体压力测量可分成流体静压测量和流体总压的测量。压力的表示方法可根据测量压力的基准不同分为两种。其中以绝对零压为基准的称为绝对压强，简称为绝压，是流体的真实压强；以大气压为基准可表示为表压强或真空度。如图 2-1 所示。

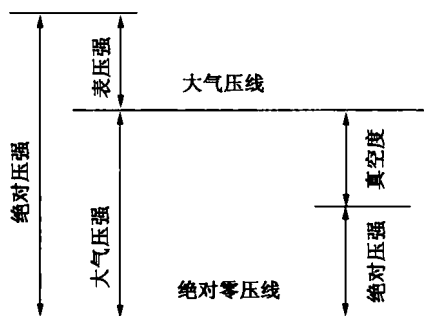


图 2-1 绝压、表压、真空度之间的关系

在石化生产和实验过程中所测压力的范围很广，要求的精度也各不相同，所以使用的压力测量仪表的种类也很多。下面简要介绍常用的液柱式压差计和弹簧管压强计。

2.1.1 液柱式压差计

液柱式压差计是根据流体静力学原理，把被测压差转换成液柱高度。这种压差计结构比较简单，精密度较高。既可用于测量流体的压力，又可用于测量流体的压差。液柱式压计差的基本形式有：U 形管压差计、倒 U 形管压差计、单管式压差计、斜管压差计、U 形管双指示液柱压差计等。但是，这种压差计测量范围小，不耐高温。

(1) U 形管压差计

这是一种最常见的压差计，它是一根弯制而成的 U 形玻璃管，也可用两支玻璃管做成连通器形式。玻璃管内充入水、水银或其他液体作为指示液。

在使用前指示液液面处于同一水平面，当作用于 U 形压差计两端的压力不同时，管内一边液柱下降，而另一边则上升，直至达到新平衡状态。这时两个液面存在着一定的高度差 R ，如图 2-2 所示。

若被测介质是液体，平衡时压差为：

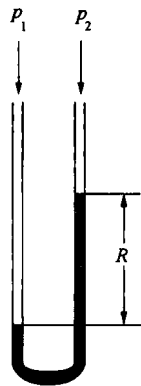


图 2-2 U 形管压差计

$$p_1 - p_2 = (\rho' - \rho)gR \quad (2-1)$$

若被测介质是气体，由于 $\rho' \gg \rho$ ，压差可表示为：

$$p_1 - p_2 = \rho' gR \quad (2-2)$$

式中 ρ' ——指示液体的密度， kg/m^3 ；

ρ ——被测流体的密度， kg/m^3 。

(2) 倒 U 形管压差计

倒 U 形管压差计的优点是玻璃管内不需充入指示液而是以待测流体为指示液。使用前以待测流体赶净测压系统空气，待倒 U 形管充满待测流体后调节倒 U 形管上部为空气，这种压差计一般用于测量液体压差较小的场合。如果与倒 U 形管两端相通的待测流体的压力不同，则在倒 U 形管的两根支管中待测流体上升的液柱高度也不同，如图 2-3 所示，其压差为：

$$p_1 - p_2 = (\rho - \rho_{\text{空}})gR \approx \rho gR \quad (2-3)$$

(3) 单管压差计

单管式压差计是用一只杯形容器代替 U 形压差计中的一根管子，如图 2-4 所示。由于杯的截面远大于玻璃管的截面，所以在其两端不同压强作用下，细管一边的液柱从平衡位置升高 h_1 ，杯形一边下降 h_2 。根据等体积的原理， $h_1 \gg h_2$ ，故 h_2 可忽略不计，在读数时只要读一边液柱高度即可。

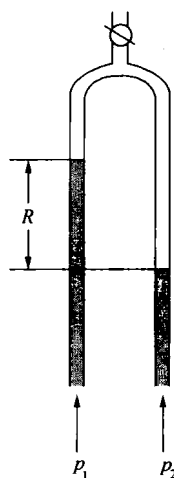


图 2-3 倒 U 形管压差计

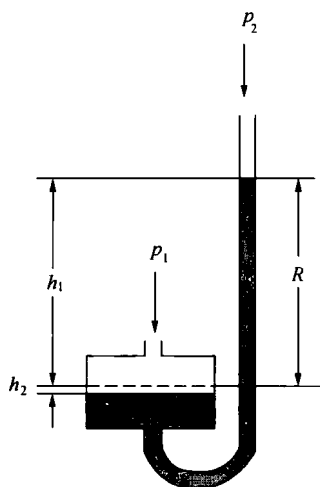


图 2-4 单管式压差计

$$\Delta p = h_1 \rho g \quad (2-4)$$

2.1.2 弹簧管压强计

弹簧管压强计是根据弹性元件受压后产生弹性变形的原理制成的，其结构如图 2-5 所示。这是目前生产及实验室中常用的一种压强计，其表面小圆圈中的数字代表表的精度，数值越小其精度越高，一般常用 1.5 级或 1 级，测量精度要求较高的可用 0.4 级以上的表。

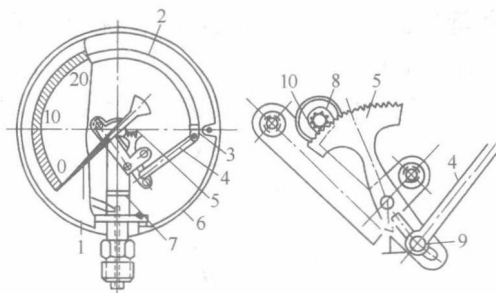


图 2-5 弹簧管压强计

1—指针；2—弹簧管；3—接头；4—拉杆；5—扇形齿轮；6—壳体；
7—基座；8—齿轮；9—铰链；10—游丝

2.1.3 测压点的选择

测压点应选择在受流体流动干扰最小的地方，如在管路上测压，测压点应选在离流体上游的弯头、阀门或其他障碍物 40~50 倍管内径的距离，使紊乱的流线经过该稳定段后在靠近壁面处的流线与管理面平行，从而避免了动能对测量的影响。若条件所限，可设置整流板或整流管，以消除动能的影响。

2.2 流量的测量

流量测量和控制石化生产与实验中是必不可少的。流量是指单位时间内流体流过管截面的量。若流量以体积表示，称为体积流量 V ，以质量表示，称为质量流量 w 。它们之间的关系为

$$w = \rho V \quad (2-5)$$

式中 ρ ——被测流体的密度， kg/m^3 。

被测流体的密度随流体的状态而变。因此，以体积流量描述时，必须同时指明被测流体的压强和温度。

流量测量的方法很多，目前实验室所用的流量计主要有：测速管、孔板流量计、文丘里流量计、转子流量计、涡轮流量计等。

2.2.1 测速管

测速管又名毕托管，如图 2-6 所示。它是由两根弯成直角的同心套管所组成，外管的管口是封闭的，在外管前端壁面四周开有若干测压小孔，测量时，测速管可以放在管截面任一位置上，并使管口正对管道中流体的流动方向，外管与内管的末端分别与液柱压差计的两臂相连接。

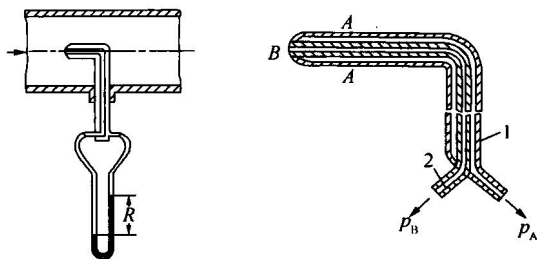


图 2-6 测速管

1—静压力导压管；2—总压力导压管

测速管只能测出流体在管道截面上某一点处的局部流速，欲想得到管截面上的平均流速，可将测速管口置于管道的中心位置，测出流体的最大流速 $u_{\max}$ ，根据最大流速 $u_{\max}$ 计算出雷诺数 $Re_{\max}$ ，然后利用图 2-7，计算出管截面的平均流速 u 。

$$u_{\max} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \tag{2-6}$$

$$Re_{\max} = \frac{du_{\max}\rho}{\mu} \tag{2-7}$$

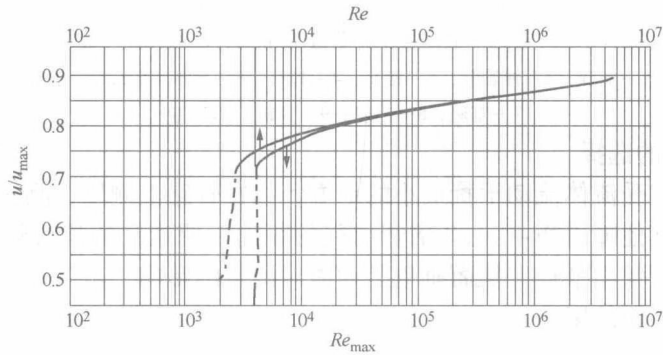


图 2-7 $u/u_{\max}$ 与 Re 、 $Re_{\max}$ 的关系

测速管的优点是对流体的阻力小，适用于测量大直径管路中的气体流速，但它不能直接测出平均流速。当流体含有固体杂质时，容易堵塞测压孔，因此，气体含有固体杂质时，不宜采用测速管。

2.2.2 孔板流量计

孔板流量计是基于流体的动能和静压能相互转化的原理设计的，是以孔板作为节流元件的节流式流量计。如图 2-8 所示，孔板流量计结构简单，具有成本低，使用方便的特点，可用于高温、高压等场合，但流体流经孔板时能量损耗较大，不能使用于含固体颗粒或带有腐蚀性的介质，否则会造成孔口磨损或腐蚀。

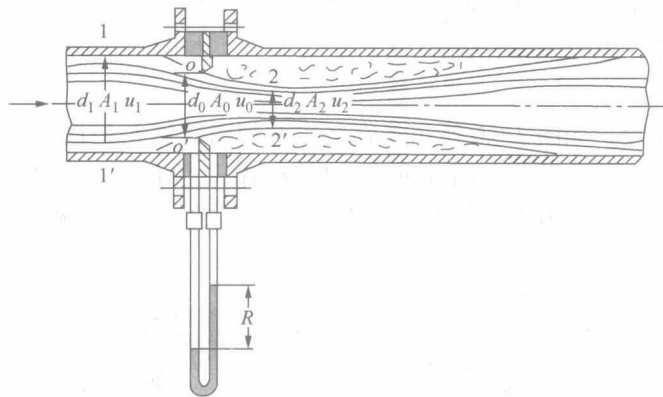


图 2-8 孔板流量计

2.2.3 文丘里流量计

文丘里流量计具有能量损失小的特点，但是文丘里流量计的制造复杂，成本比较高。其结构如图 2-9 所示。

孔板流量计和文丘里流量计是利用测量压强差的方法来测量流量的。