

泵测试实用技术

郑梦海 编

BENG CESHI SHIYONG JISHU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

泵测试实用技:

郑梦海 编



机械工业出版社

本书比较全面系统地介绍了泵试验知识,包括:基础知识、泵的各种试验、试验回路、试验用仪表与标定、具体试验方法、测量不确定度和测量数据表达、计算机辅助测试、试验中常见的故障、特殊泵试验、潜水泵用电动机试验、泵的振动和噪声测量与评价。

本书可供泵的设计、制造、试验、研究、选用、管理人员阅读,也可供相关专业的大学师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

泵测试实用技术/郑梦海编. —北京:机械工业出版社, 2006.6

ISBN 7-111-19061-0

I. 泵... II. 郑... III. 泵—测试技术 IV. TH3

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第041360号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:郑铤 版式设计:霍永明

责任校对:陈延翔 封面设计:王伟光 责任印制:李妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2006年7月第1版第1次印刷

169mm×239mm·7.625印张·294千字

0 001—4 000册

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)68351729

封面防伪标均为盗版

前 言

我国泵制造业从无到有，从小到大，从只能生产普通简易小泵，到目前能够生产大功率、高压、科技含量很高的大型火电站超临界机组的高压锅炉给水泵，核电站主冷却剂泵和超大型南水北调用泵，特别是改革开放使我国经济模式向市场经济模式转型以来，我国的泵行业得到了更迅速的发展，泵制造厂遍及全国各地。由于泵这种产品，从设计到制造，在很大程度上依靠实物检测来验证是否到达预期目的，所以泵产品从科研到设计制造都离不开试验。一个泵的科研机构或泵制造厂，如果没有泵试验室（站），那是件难以想象的事情。全国目前具有一定规模的泵制造厂，起码有几千家。从事泵试验的工作人员数量很大，而且从事泵的科研和设计选用及部分从事管理的广大技术人员，也应了解一些有关泵试验方面的知识。而到目前为止，还没有一本比较全面、系统地介绍泵试验方面知识的书籍。为此，编者愿将自己从事泵试验工作几十年中积累的经验、碰到的问题、收集到的资料介绍给大家，望可为广大从事泵的设计、研究和测试工作的同仁，在工作中参考。

这本书在编写过程中得到了沈阳水泵股份有限公司、沈阳水泵研究所领导和广大同仁的大力支持，特别是得到沈阳水泵厂核泵开发公司的领导和同仁的大力支持。为此，编者表示衷心感谢。这里还要感谢沈阳水泵研究所陈静同志和国家工业泵质量监督检验中心陶洁宇同志在百忙之中，帮助编者收集资料。

本书在编写过程中，由于时间仓促，在有关资料搜集的深度和广度方面还做得不够。再加上编者水平所限，书中难免有不少缺点和错误，希望广大读者批评指正。

编 者
2006.4

目 录

前言

第一章 基础知识	1
第一节 水力学与流体力学基础知识	1
第二节 泵的基础知识	18
第二章 泵的试验	28
第一节 泵的验收试验	28
第二节 泵的出厂试验	28
第三节 泵的运行试验	29
第四节 泵的性能试验	30
第五节 泵的汽蚀试验	35
第六节 泵的四象限试验	40
第七节 泵的模型试验	46
第三章 试验回路	49
第一节 试验回路的类型	49
第二节 开式试验回路	55
第三节 闭式试验回路	58
第四节 开式试验回路与闭式试验回路的特点	60
第五节 高温高压试验回路	61
第六节 试验室(站)对电气设备的要求	64
第四章 测量仪表与标定	65
第一节 流量测量仪表与标定	65
第二节 扬程(压力、差压)测量仪表与标定	98
第三节 转速测量仪表与标定	106
第四节 功率测量仪表与标定	108
第五节 测量数据量值传递系统	121
第五章 试验方法	123
第一节 试验台位、测量仪表、驱动电动机和联轴器的选择	123
第二节 安装与起车	124
第三节 性能试验具体方法	127
第四节 汽蚀试验具体方法	138
第五节 泵高温高压试验的具体方法	142
第六章 测量不确定度的估算和测量数值的表述	145
第一节 测量不确定度基础知识	145
第二节 泵试验各性能参数测量不确定度的估算	149

第三节	测量不确定度估算实例	156
第四节	测量数值的表述	158
第七章	泵试验计算机的辅助测试	160
第一节	计算机技术在泵试验中的应用	160
第二节	计算机辅助测试系统的分类	160
第三节	泵计算机辅助测试系统的构成	161
第四节	测量仪表的现场标定	162
第五节	计算机辅助测试软件程序的几点要求	162
第六节	测量数据的集中显示与辅助测试系统	165
第八章	泵试验中常见的主要故障及其原因分析	166
第一节	在泵的性能试验中常见的主要故障及其原因分析	166
第二节	汽蚀试验中常见的主要故障及其原因分析	168
第九章	特殊泵的试验	169
第一节	水环真空泵的试验	169
第二节	回转式容积泵的试验	180
第十章	潜水电泵的电动机试验	188
第一节	绝缘试验	188
第二节	耐压试验	188
第三节	负载试验	189
第四节	温升试验	191
第五节	堵转试验	192
第十一章	泵的振动测量与评价	195
第一节	专用名词解释	195
第二节	测量仪器	196
第三节	测量方法	196
第四节	环境条件的评价	201
第五节	振动的评价	202
第十二章	泵的噪声测量与评价	206
第一节	测量仪器	206
第二节	泵的声压级测定方法	206
第三节	环境影响与修正	210
第四节	噪声的评价	211
附录	214
附录 A	常用数据	214
附录 B	差压装置的流量系数	221
附录 C	湿空气密度 ρ 计算图表	223
附录 D	试验报告	228
参考文献	236

第一章 基础知识

第一节 水力学与流体力学基础知识

一、流体的压缩性

流体是液体和气体的统称。其体积随压力和温度的变化很小，可视为不变的，如液体，称为不可压缩流体，而其体积随压力和温度有显著变化的，如气体，称为可压缩流体。

二、流体的连续性

流体是由无数分子所组成的，分子与分子之间有间隙，然而，对于工程实际，常把它们看作是由无数流体质点（流体微团）组成的连续介质。我们可以认为表征流体质点的各种物理量（如速度、压力等）应是空间坐标的连续函数。其对于不可压缩流体的一元定常流动的连续方程式为

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = vA \quad (1-1)$$

式中 Q ——通过有效断面的流量；

v ——有效断面的平均流速；

A ——有效断面的面积。

三、流体的粘性

流体是由无数不断运动着的分子所组成，分子之间相互有作用力。所以，当流体作相对运动时，就会产生阻止这种相对运动的摩擦切应力。流体的这种特性，称为流体的粘性。表示粘性程度大小的量，是（动力）粘度 μ 和运动粘度 ν 。

四、流体的表面张力

流体分子之间存在着相互作用力。所以位于自由表面的液体，由于分子之间力的相互作用的结果，就产生了表面张力。

五、理想流体和实际流体

理想流体是所谓假想的不具有粘性的流体。而在大自然中，实际存在的流体都是有粘性的，所以都称实际流体。

六、流体的定常流动和非定常流动

流体运动时，流体的运动参数（如密度、压力、速度）不随时间改变的流动称为定常流动；反之，随时间而改变的流动，称为非定常流动。

七、流体静力学基本方程式

$$p = p_0 + p' = p_0 + \rho gh \quad (1-2)$$

式中 p ——静止重力流体内任何一点处的静水压力；

p_0 ——自由表面上的流体静压力；

$$p' = \rho gh \quad (1-3)$$

ρ ——液体的密度；

g ——重力加速度；

h ——任何点的淹没深度。

图 1-1 为静力学定律的图解法，压力分布图。

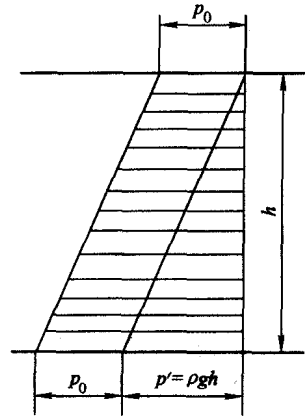


图 1-1 压力分布图

八、静止流体体积的边界面上各点压力之间的关系——巴斯噶定律

关系——巴斯噶定律

巴斯噶定律——静止不可压缩的流体，由于平衡流体部分边界面上的外力作用而产生的压力，将均匀传递到该流体体积中的所有各点上（图 1-2）。

九、流体能量方程式——伯努利方程式

实际流体中总流的任意两个缓变有效截面（图 1-3）上的能量方程式为

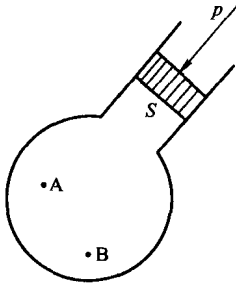


图 1-2 静止液体压力传递

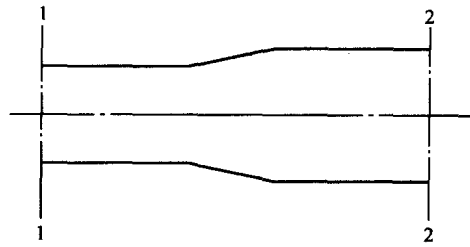


图 1-3 缓变截面

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2} \quad (1-4)$$

式中 Z_1 、 Z_2 ——两个有效截面中心距离基准面的垂直高度；

p_1 、 p_2 ——在两个有效截面处的压力；

v_1 、 v_2 ——在两个有效截面处的平均流速；

ρ ——流体密度；

g ——重力加速度；

ΔH_{1-2} ——两个有效截面间的能量水头损失。

十、层流和紊流、光滑管和粗糙管

1. 层流和紊流

当流速小于某一确定值时，流体是有规律的层状流动，流体质点互不干扰，流体的这种运动称为层流运动；当流速大于该确定值时，流体质点有规律的运动就受到破坏，流体质点相互干扰，而变成混乱地运动，流体的这种运动称为紊流运动。

2. 层流和紊流的判别

流动状态是层流还是紊流，与管径 D 、速度 v 和流体的运动粘度系数 ν 有关。由雷诺数 Re 来判别，其雷诺数的表达式为

$$Re = \frac{vD_d}{\nu} \quad (1-5)$$

式中 D_d ——截面当量直径（圆管 $D_d = D$ 管径）。

在工程技术上，对圆管流动，判别标准为

$$Re < 2000 \text{ 层流}$$

$$Re > 2000 \text{ 紊流}$$

3. 层流底层、光滑管和粗糙管

紊流运动中，在靠近管壁处，由于管壁的限制和吸附，以及粘性力的作用，存在着一层很薄的流体保持层，称为层流底层。距离管壁越远，管壁的这种限制和吸附作用的影响也就越小，流体质点的混杂能力也变强。因此，紊流中的流体是由层流底层、过渡区和紊流核心区所组成，如图 1-4 所示。

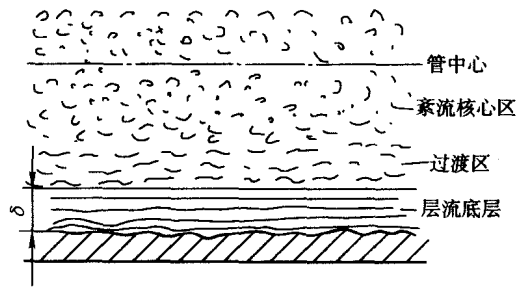


图 1-4 流动图

层流底层的厚度 δ 与流体的运动速度、流体的粘度、管子直径等有关，可以用下式计算

$$\delta = 30 \times \frac{d}{Re \sqrt{\lambda}} \quad (1-6)$$

式中 d ——圆管直径；

λ ——紊流时的沿程阻力系数。

层流底层的厚度很小，通常只有十分之几毫米，但是对沿程水头损失的影响很大。

任何管子，由于材料、加工和使用条件、年限等因素的影响，管壁总是凹凸不平的。如图 1-5 所示，以 h 表示其凸起高度，称为管壁的表面粗糙度。如图 1-5a 所示，这时管壁的凹凸不平部分完全淹没在近壁层流底层中，即 $\delta > h$ ，可以认为 h 对沿程水头损失没有影响，流体就好像在光滑的壁面上流动，故称光滑管。反之如图 1-5b 所示，这时管壁的凹凸不平部分完全暴露在近壁层流底层之外，当流体流过凸起部分时，便随之产生旋涡，这样，管壁对液流有较大影响，即 h 对沿程水头损失有较大影响，故称为粗糙管。

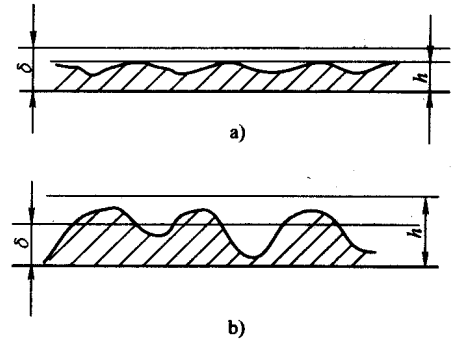


图 1-5 管壁的表面粗糙度

a) $\delta > h$ b) $\delta < h$

十一、沿程水头损失和局部水头损失

由于实际流体都具有粘性，所以在流动中一定会产生阻力。要克服阻力就要消耗能量，这就称水头损失（又称水力损失），以 ΔH 表示。

水头损失分两大类，即沿程水头损失和局部水头损失。

沿程水头损失——流体沿着管道的整个长度上流动时克服摩擦阻力而损失的水头，以 ΔH_f 表示。

局部水头损失——流体流经管道中的局部障碍时，改变了速度分布，产生旋涡、脱流、冲击等而损失的水头，以 ΔH_g 表示。

1. 沿程水头损失

沿程水头损失的普遍计算公式为

$$\Delta H_f = \lambda \frac{l}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (1-7)$$

式中 λ ——沿程阻力系数（可查图 1-6、图 1-7、表 1-1 得到）；

l ——管道的长度；

D ——管道的直径。

2. 局部水头损失

局部水头损失的普遍计算公式为

$$\Delta H_g = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (1-8)$$

式中 ζ ——局部阻力系数（可查表 1-2）。

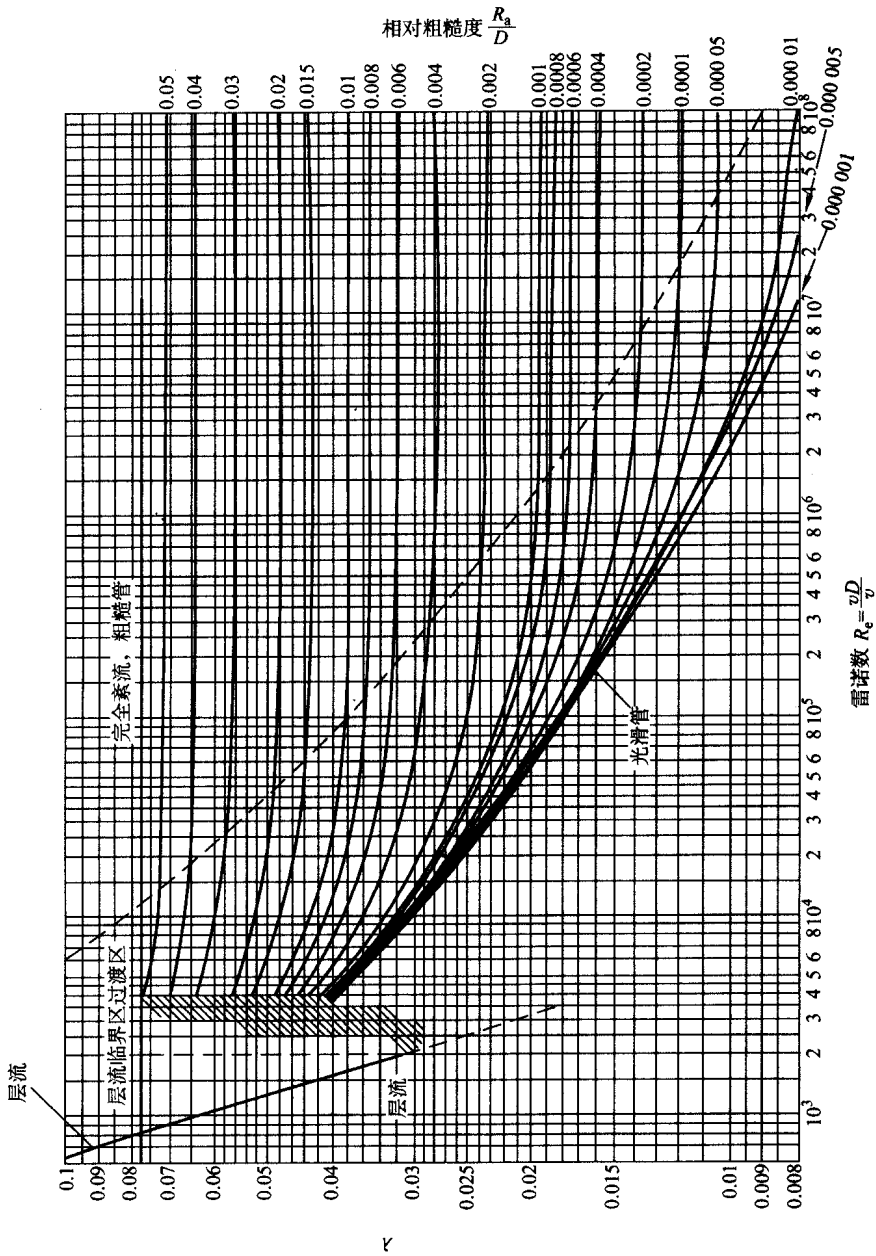
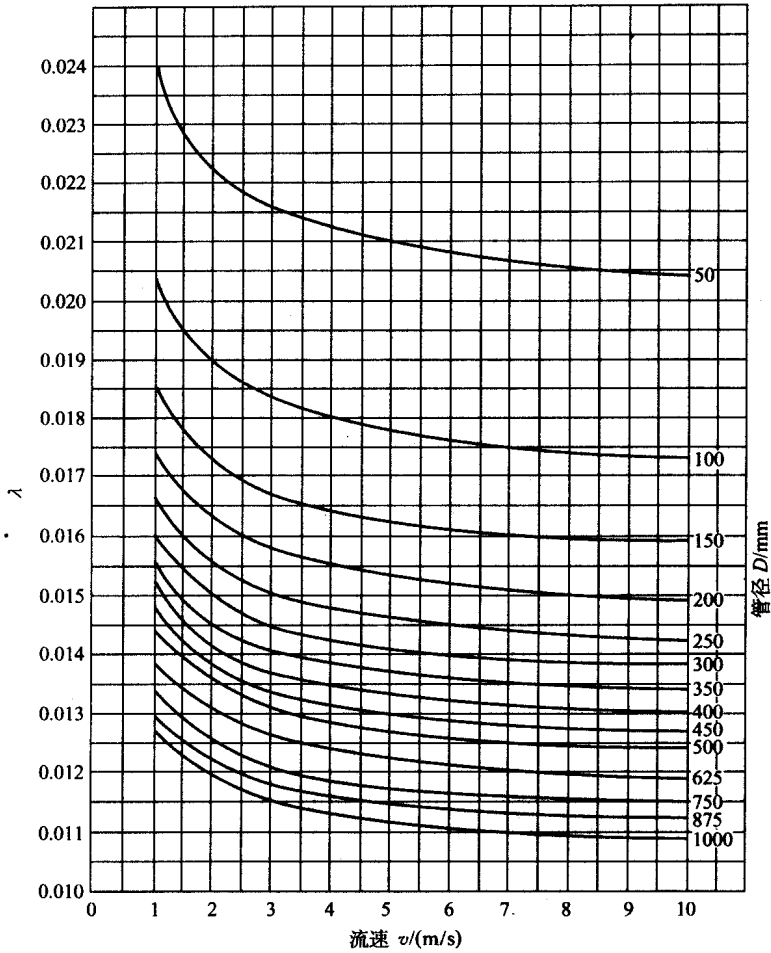







图 1-6 沿程阻力系数 λ 值 (1)

图 1-7 沿程阻力系数 λ 值 (2)注: 表面粗糙度 $R_a = 5.186 \times 10^{-5} \text{m}$ 运动粘度 $\nu = 1.022 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 表 1-1 管道壁的表面粗糙度 R_a

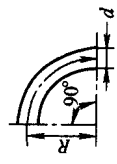

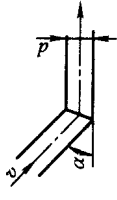
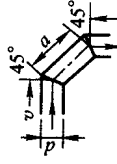
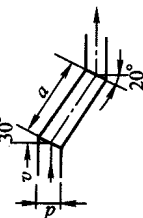
管道壁的种类	表面粗糙度 R_a/mm	管道壁的种类	表面粗糙度 R_a/mm
玻璃管、拉制黄铜管、铝制管	0.0015~0.01	普通新铸铁管	0.25~0.42
新的无缝钢管	0.05	旧铸铁管	0.45
新的精铸钢管	0.05	旧的生锈钢管	0.60
普通铸钢管	0.19	普通镀锌钢管	0.39
使用几年后的整体钢管	0.19	混凝土管	0.30~3.00
焊接钢管	0.38	铆接钢管	1.00~10.00

表 1-2 局部阻力系数

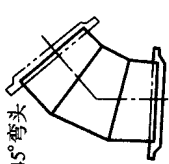
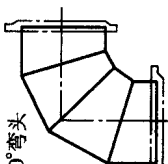
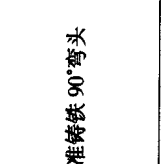
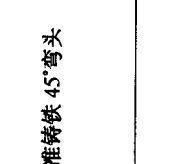
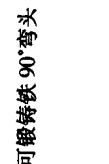
名称	简图	局部阻力系数 ζ				计算公式	名称	简图	局部阻力系数 ζ				计算公式			
		规格 D/mm	规格 d/mm	扩散管	收缩管				规格 D/mm	规格 d/mm	扩散管	偏收缩管				
异径管	 <p>扩散</p>	100	75	0.03	0.16	0.16	 <p>偏收缩</p>	$\Delta H_g = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$	250	300	0.32	0.21	0.20	$\Delta H_g = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$		
		150	100	0.08	0.17	0.17			300	0.29	0.20	0.20				
		200	100	0.19	0.18	0.18			400	0.21	0.20	0.19				
		250	150	0.06	0.17	0.17			450	0.12	0.19	0.18				
		300	100	0.27	0.20	0.19			500	0.04	0.17	0.17				
		350	150	0.18	0.19	0.18			600	0.34	0.21	0.21				
	异径管	 <p>收缩</p>	200	200	0.06	0.17	0.17		$\Delta H_g = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$	400	450	0.32	0.21		0.21	$\Delta H_g = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$
			250	150	0.26	0.20	0.19			450	0.30	0.21	0.20			
			300	200	0.16	0.19	0.18			500	0.26	0.20	0.20			
			350	250	0.05	0.17	0.17			550	0.18	0.20	0.19			
			400	150	0.30	0.20	0.20			600	0.11	0.19	0.18			
			450	200	0.25	0.20	0.19			700	0.32	0.21	0.21			
异径管	 <p>收缩</p>	250	250	0.15	0.19	0.18	$\Delta H_g = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$	800	800	0.21	0.21	0.21	$\Delta H_g = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$			
		300	300	0.05	0.17	0.17		850	0.24	0.20	0.20					
		350	150	0.33	0.21	0.20		900	0.10	0.19	0.18					
		400	200	0.24	0.20	0.19		1000	0.34	0.22	0.21					
		450	250	0.13	0.19	0.18		1100	0.29	0.21	0.21					
		500	300	0.04	0.17	0.17		1200	0.21	0.20	0.20					
异径管	 <p>收缩</p>	200	200	0.33	0.21	0.20	$\Delta H_g = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$	1300	700	0.07	0.19	0.18	$\Delta H_g = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$			
		250	250	0.30	0.20	0.20		1400	0.34	0.22	0.21					
		300	300	0.24	0.20	0.19		1500	0.29	0.21	0.21					
		350	350	0.13	0.19	0.18		1600	0.21	0.20	0.20					
		400	400	0.04	0.17	0.17		1700	0.08	0.19	0.18					
		450	450	0.33	0.21	0.20		1800	0.37	0.22	0.21					

注: 管长
 $L = 2(D - d) + 150\text{mm}$

(续)




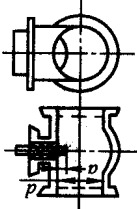
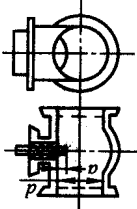
名称	简图	局部阻力系数 ζ										计算公式			
		$\frac{R}{d}$	0.5	1.5	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0						
弯管	 90° 弯管	ζ_{90°	1.20	0.80	0.60	0.48	0.36	0.30	0.29			$\Delta H_g = \zeta_{90^\circ} \frac{v^2}{2g}$			
		α	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	120°	140°	160°	180°
管	 任意角度的弯管	$\zeta_\alpha = \alpha \zeta_{90^\circ}$													
		ζ_α	0.40	0.55	0.65	0.75	0.83	0.88	0.95	1.00	1.05	1.13	1.20	1.27	1.33
钢制焊接弯管	 急转弯	α	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°						
		ζ	0.20	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90	1.10						
钢制焊接弯管	 90° 弯管	a/d	0.710	0.943	1.174	1.420	1.500	1.850	2.560	3.140	3.720	4.890	5.590	6.280	$\Delta H_g = \zeta \frac{v^2}{2g}$
		ζ	0.51	0.42	0.38	0.38	0.38	0.39	0.43	0.43	0.46	0.46	0.46	0.44	
钢制焊接弯管	 乙字管	a/d	1.23										3.77		
		ζ	0.30										0.26		

(续)

名称	筒图	局部阻力系数 ζ												计算公式				
		d/mm	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500		600	700	800	900
钢制焊接弯管	 45°弯头	d/mm	0.26	0.32	0.33	0.36	0.36	0.44	0.39	0.45	0.45	0.51	0.48	0.51	0.51	0.53	0.54	0.54
		ζ																
铸铁弯头	 90°弯头	d/mm	0.51	0.63	0.65	0.72	0.72	0.78	0.87	0.89	0.90	0.96	1.01	1.01	1.02	1.05	1.07	1.08
		ζ																
标准铸铁90°弯头	 标准铸铁90°弯头	d/mm	0.34	0.42	0.43	0.48	0.48	0.52	0.58	0.59	0.60	0.64	0.64	0.67	0.67	0.68	0.70	0.71
		ζ																
标准铸铁45°弯头	 标准铸铁45°弯头	d/mm	0.17	0.21	0.22	0.24	0.24	0.26	0.29	0.30	0.30	0.32	0.32	0.34	0.34	0.34	0.35	0.36
		ζ																
标准可锻铸铁90°弯头	 标准可锻铸铁90°弯头	d/mm	0.95	1.00	1.03	1.04	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.12	1.13	1.14	1.16	1.18	1.18	1.18
		ζ																

$$\Delta H_g = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

(续)

名称	简图	局部阻力系数 ζ											计算公式	
组合弯头		ζ 为每个弯头的 2 倍												
		ζ 为每个弯头的 3 倍												
		ζ 为每个弯头的 4 倍												
升降式单向阀		7.5												
旋启式单向阀		d/mm	150	200	250	300	350	400	500	≥ 600				
		ζ	6.6	5.5	4.5	3.5	3.0	2.5	1.8	1.7				
闸		当全开时(即 $a/d=0$)												
		d/mm	15	20~50	80	100	150	200~250	300~450	500~800	900~1000			
		ζ	1.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0.08	0.07	0.06	0.05			
		当各种开启度时												
闸		a/d	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$					
		$A_{\text{开启}}/A_{\text{总}}$	0.948	0.856	0.740	0.609	0.466	0.315	0.159					
		ζ	0.15	0.26	0.81	2.06	5.52	17.0	97.8					

$$\Delta H_g = \zeta \frac{v^2}{2g}$$