

热力管道和压缩空气管道 水力计算表

国营汉光机械厂水暖三结合小组

11/10

国防工业出版社

内 容 简 介

本书所列的饱和蒸汽、压缩空气、过热蒸汽、凝结水、汽水混合物凝结水及冷、热水等十二种管道水力计算表，主要是供热力管道及压缩空气管道水力计算应用的。但在无专用计算资料的情况下，本表也可作为其它一些气体（如氢、氧、氮、乙炔等）液体（如氨、氟里昂、盐水等）的水力计算。

本书简述了水力计算公式的选取，计算表的构成及应用方法并列有若干计算例题；书末附有压缩空气容重，水蒸汽热力学性质及几种管道允许流速的参考数据。

本书可供热力管道、压缩空气管道设计、管理人员使用，也可供大专院校有关专业师生教学参考。

热力管道和压缩空气管道水力计算表

国营汉光机械厂水暖三结合小组

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 6 151千字

1979年6月第一版 1979年6月第一次印刷 印数：00,001—32,000册

统一书号：15034·1764 定价：0.78元

前 言

各种管网的水力计算在管网设计中是一个非常重要的环节，水力计算成果直接影响整个管网设计的技术经济效果。同时，由于这一工作比较复杂和烦琐，因此在管网设计中，往往水力计算占用很大一部分时间。为了适应我国社会主义革命和社会主义建设发展的需要，为了加快设计进度，提高设计计算工作的准确程度，为了便于广大设计、施工和运行管理人员的现场应用，我们根据我国现在生产的管材规格、品种，计算编制了饱和蒸汽、压缩空气、过热蒸汽、凝结水、汽水混合物的凝结水及热水管网水力计算表。考虑目前热水供应系统中，有的不完全是软化水，管道内壁易生水垢，因此，也将《给水排水设计手册》中考虑水垢影响的热水管水力计算表及冷水的钢管水力计算表编入本手册内。

本计算表的编制，主要是供各种压力下热力管道及压缩空气管道水力计算应用的。但这里需要特别指出的是，由于本计算表是以重量流量为单位计算的管内流速和沿程摩擦阻力损失，又因为在稳定的粗糙管区内，流体摩擦阻力系数 λ 值仅取决于管内相对粗糙度 $\frac{K}{d}$ ，而与流体的运动粘滞系数 ν 无关，因此，在无专用计算资料并考虑容重修正的情况下，饱和蒸汽、压缩空气管道水力计算表也可作为其它一些气体（如氢、氧、氮、氨、氟利昂及乙炔等）各种压力情况下的水力计算；冷水管水力计算表也可作为其它一些液体（如制冷系统中氨、水混合溶液，氯化钙、氯化钠盐水等）的水力计算。为了使用方便，书中列举了一些管道的允许流速和计算例题。但由于目前有关国家标准尚未颁发，因此，这里所提出的允许流速范围，暂供当前设计参考。

管网水力计算从线解图发展到水力计算表，不仅加快了设计进度，而且提高了计算成果的准确性，但如何进一步简化水力计算，使其更加准确完善，还有待在今后的实践中继续研究解决。伟大的领袖和导师毛主席指出：“一个正确的认识，往往需要经由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。”虽然在编制计算表的过程中，尽了很大努力，作了许多工作，力争使计算表尽量完善和适用，但是，由于水平和时间所限，书中的缺点和错误仍在所难免，我们热诚地希望广大读者提出宝贵意见。

参加本书编写工作的有花贵、韩喜禄、蔡荣泉、张洪共、夏永仁、李兴哲等同志。

编 者

目 录

一、水力计算的任务	1
二、水力计算的基本公式	1
(一) 沿程压降	2
(二) 局部阻力压力损失	12
(三) 管道总压降	25
三、水力计算表编制说明	26
四、水力计算表	30
表 1-1 饱和蒸汽管道压缩空气管道水力计算表(水煤气管)	30
表 2-1 饱和蒸汽管道压缩空气管道水力计算表(无缝钢管)	40
表 3-1 过热蒸汽管道水力计算表(水煤气管)	52
表 4-1 过热蒸汽管道水力计算表(无缝钢管)	62
表 5-1 凝结水管水力计算表(水煤气管)	73
表 6-1 凝结水管水力计算表(无缝钢管)	80
表 7-1 汽水混合物的凝结水管水力计算表(水煤气管)	87
表 8-1 汽水混合物的凝结水管水力计算表(无缝钢管)	97
表 9-1 热水管水力计算表(水煤气管)	104
表10-1 热水管水力计算表(无缝钢管)	113
表11-1 热水管水力计算表(考虑水垢影响)	120
表12-1 冷水管水力计算表(水煤气管)	128
附 录	138
一、压缩空气容重	138
二、饱和水蒸汽的热力学性质表	142
三、水和过热蒸汽的热力学性质表	147
四、压力由 P_1 降到 P_2 时汽水混合物的容重表	182
五、几种管道允许流速参考表	183
六、压缩空气管道常用钢管规格	185
参考资料	186

一、水力计算的任务

热力管网的水力计算在各种不同的情况下根据其不同的目的要求，它的主要任务是：

- (1) 根据已知的带热体流量及流速决定管子直径；
- (2) 根据已知带热体的流量和管子直径决定管道的压力降(阻力)；
- (3) 根据已知的管子直径和管道终点工作压力校核管道的输送能力(流量)；
- (4) 根据已知带热体流量，管道经济压力降(单位管长经济压降)决定管子的直径。

在输送过热蒸汽的管道内，还需要确定每段管道末端的蒸汽温度。

第一项计算是不够完整的，因为它并不能表达管道的压力降。仅仅用流速来确定管径，有时终点的压力不能满足用户的要求，因此它仅适用于一些临时性质的管道或管段截面不大、距离不长、用户对压力要求不严的情况下，作为确定管道直径的近似方法。

一般管网的计算都是按第四种方法进行的。

二、水力计算的基本公式

管道内的总压降为沿程压降与局部压降之和，即：

$$\Delta P = \Delta P_{yc} + \Delta P_{jp} \text{ 公斤/米}^2 \quad (1)$$

式中 ΔP_{yc} ——管道的沿程压降，公斤/米²；

ΔP_{jp} ——管道的局部压降，公斤/米²。

沿程压降 ΔP_{yc} 为直线管段内的压力损失；局部压降 ΔP_{jp} 则

是流体通过管道的附属设备（如阀门、伸缩器、过滤器以及分支管、弯头等）所造成的压力损失。

（一）沿程压降

沿程压降可以用单位管长压力降（或称比压降）与管道长度的乘积来表示：

$$\Delta P_{yc} = R_{yc} l \text{ 公斤/米}^2 \quad (2)$$

式中 R_{yc} ——单位管长压力降（或沿程比压降），公斤/米²·米；

l ——管道长度，米。

单位管长压力降 R_{yc} 可用下式计算：

$$R_{yc} = \lambda \frac{w^2}{2g} \frac{\gamma}{d} \text{ 公斤/米}^2 \cdot \text{米} \quad (3)$$

式中 λ ——摩擦系数；

w ——流体流动速度，米/秒；

g ——自由落体的重力加速度，米/秒²；

γ ——流体容重，公斤/米³；

d ——管道内径，米。

为了计算方便，将流速 w 换算为流量的函数，根据水力学的基本公式可以求出：

$$w = 0.354 \frac{G}{\gamma d^2} \text{ 米/秒} \quad (4)$$

式中 G ——流量，吨/小时。

将(4)式代入(3)式后得：

$$R_{yc} = 0.638 \times 10^{-2} \lambda \frac{G^2}{d^5 \gamma} \text{ 公斤/米}^2 \cdot \text{米} \quad (5)$$

摩擦系数 λ 取决于管道内流体的流动状况及管道内表面的性质。

在层流范围内摩擦系数 λ 与管道内表面的性质无关，仅取决于流动状况：

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (6)$$

式中 Re ——雷诺数。

$$Re = \frac{wd}{\nu} \quad (7)$$

式中 ν ——流体运动粘滞系数， $\text{米}^2/\text{秒}$ 。

在热力网及压缩空气管网中，流体在管内的流动很少出现层流状态（只有在膜式换热器内以及水或凝结水在重力作用下流动时，才产生层流现象），通常都是紊流。

在紊流范围内，摩擦系数演变的规律性取决于管道内表面的性质。

现代采用的区分法是把管道内表面分为“光滑的”和“粗糙的”两种。通常我们所使用的钢管均属“粗糙管”；无缝的铜管、黄铜管和玻璃管则属于“光滑管”之类。实际上，这种区分法不是绝对的，而是相对的。同一种管壁，在某些流动情况下可以列入光滑表面的一类，而在另一种流动情况下则被看成是粗糙表面。

流体在光滑管内作紊流运动时，摩擦系数 λ 值可用下式计算：

当 $Re < 10^5$ 时：

$$\lambda = 0.3164 Re^{-0.25} \quad (8)$$

当 $Re > 10^5$ 时：

$$\lambda = 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}} \quad (9)$$

由以上两式可以看出：此时摩擦系数 λ 仅与雷诺数有关。

在图 1 上表示出光滑管的摩擦系数与雷诺数之间的关系。

在层流范围内，光滑管的摩擦系数随雷诺数的增加而急速下降。当流体的流动由层流形式向紊流形式转变时，摩擦系数剧烈地增加。

在紊流范围内，摩擦系数也是随着雷诺数的增长而下降。但是，在紊流范围内函数 $\lambda = f(Re)$ 的坡度较层流范围的为小。当雷诺数由 $Re < 10^5$ 向 $Re > 10^5$ 转变时，函数 $\lambda = f(Re)$ 的坡度更小。

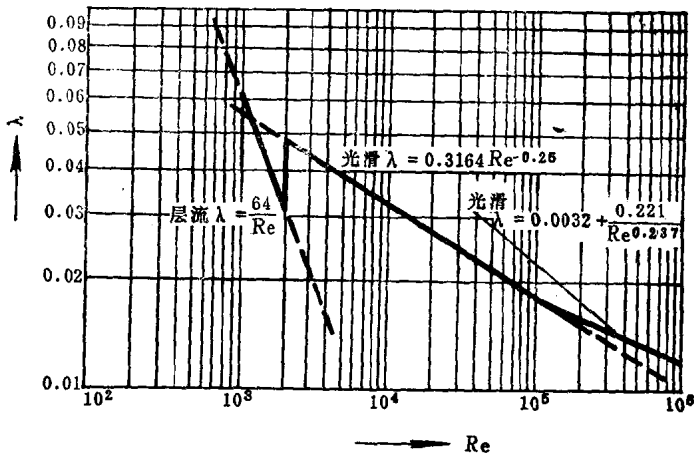


图1 光滑管的摩擦系数 λ 与雷诺数 Re 的关系

当流体在粗糙管中作紊流流动时，其阻力变化规律较光滑管复杂的多。

图2表示出均匀粗糙管的摩擦系数 λ 与流动形式及管壁相对粗糙度 $\frac{K}{r}$ 由 $\frac{1}{15}$ 到 $\frac{1}{507}$ 范围内的关系。

在这里用管壁的凸起高度 K 来表示管壁的绝对粗糙度(见图3)。管壁的绝对粗糙度 K 与管道内壁半径 r 的比率即是所谓管壁的相对粗糙度。

图2的横座标为 $\lg Re$ ，纵座标为 $\lg(100\lambda)$ 。我们在图的左方按公式(6) $\lambda = \frac{64}{Re}$ 画一条直线 A ，在稍右方按公式(8) $\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$ 作一条直线 B ，在图的右部根据各种定值的相对粗糙度 $\frac{K}{r}$ 画一族曲线。

由图2中实验曲线可以看出，当雷诺数 $Re < 2100 \sim 2200$ ($\lg Re < 3.3 \sim 3.4$) 时(即在层流范围内)，粗糙管的摩擦系数 λ 服从公式(6)，它随着 Re 的增长而降低，而与管道内表面的粗糙度无关。

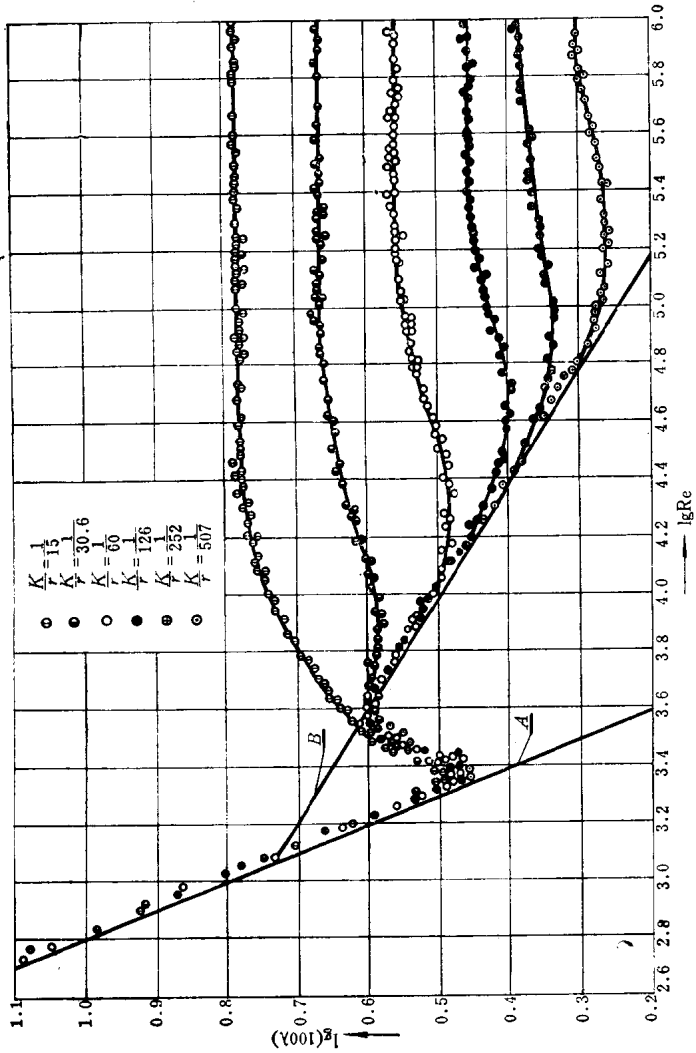


图2 粗糙管的摩擦系数与流动形式及管壁相对粗糙度的关系



图3 粗糙管内壁断面放大示意图

当 Re 再行增加时，流动形式就由层流变成紊流。这就影响到摩擦系数 λ 的急速增加。随着 Re 的增加，使 $\lambda = f(Re)$ 的规律性化分成为相当于各不同的相对粗糙度的一系列曲线。

当相对粗糙度 $\frac{K}{r}$ 在较小的情况下 $\left(\frac{K}{r} = \frac{1}{507} \sim \frac{1}{60}\right)$ ，函数 $\lambda = f(Re)$ 起初服从光滑管直线 B (公式 8)，然后经过某些过渡区后即成为常量，此时摩擦系数仅与相对粗糙度 $\frac{K}{r}$ 有关，而不受 Re 的影响。我们把这一范围称为稳定的粗糙管区。由图 2 可以看出，相对粗糙度愈大，函数 $\lambda = f(Re)$ 服从直线 B 的范围愈短。在 $\frac{K}{r} \geq \frac{1}{15}$ 的情况下，函数 $\lambda = f(Re)$ 不经过光滑管范围(不在直线 B 上)而直接过渡到稳定的粗糙管区。

上述实验曲线完全证明了所谓“光滑管”与“粗糙管”的概念是相对的。同一管在一种范围内服从光滑管定律，而在另一种范围内则服从粗糙管定律。例如：相对粗糙度 $\frac{K}{r} = \frac{1}{252}$ 的管，在 $\lg Re = 3.6 \sim 4.6$ 范围内服从光滑管定律，当 $\lg Re > 4.6$ 时，转而服从粗糙管定律。

摩擦系数 λ 取决于雷诺数 Re 的这种演变性质，可以给予如下的物理解释。

管壁表面的性质对于流动阻力的影响由管壁上层流流体层的厚度决定。

在低的 Re 值时，层流层的厚度掩盖了表面上全部的凸起，因此与光滑管比较，管壁表面的凸起也不会产生附加的阻力，故

粗糙管的摩擦系数也服从着光滑管所依从的同一规律。

随着 Re 的增长, 层流层的厚度减小, 突出在层流上的管壁面就裸露出来。与光滑管比较, 此裸露表面造成旋涡和附加的流动损失。

Re 愈大, 管壁上的层流层愈薄, 突出在层流层上的粗糙性的高度愈大, 粗糙性的“扰动”影响愈猛烈。在这些情况下, 摩擦系数 λ 随 Re 的增加而增加。

在 Re 增加到某一定值时, 粗糙性的凸起就完全的裸露出来。这时 λ 值就达到自己的最大值。此后, 摩擦系数 λ 值与 Re 的增长无关。摩擦系数 λ 值不取决于 Re 的范围, 称为稳定粗糙管区。由于在这一范围内, λ 值对任何速度均为定值, 单位管长压力降 R_{y_0} 与流量或流速的平方成正比, 所以这一管区亦称为平方阻力区。

当流体的流动处于稳定的粗糙管区(平方阻力区)时, 摩擦系数 λ 值可用下式计算:

$$\lambda = \frac{1}{\left(1.14 + 21g \frac{d}{K}\right)^2} \quad (10)$$

按照式(10)计算的摩擦系数 λ 值列于表 2-1。

由于公式(10)的分母是二项式, 往往应用不够方便。为了简化计算, 在稳定的粗糙管区内, 粗糙管的摩擦系数亦可用如下的单项式进行计算:

$$\lambda = 0.093 \left(\frac{K}{r}\right)^{0.25} = 0.11 \left(\frac{K}{d}\right)^{0.25} \quad (11)$$

当 $\frac{K}{r} = \frac{1}{200} \sim \frac{1}{1000}$ 的宽广范围内, 式(11)的计算结果与式(10)极为接近。

介于稳定粗糙管区与光滑管区之间, 被称为过渡区。在过渡区内摩擦系数 λ 值可用下式计算:

$$\lambda = 0.1 \left(\frac{K}{d} + \frac{100}{Re}\right)^{0.25} \quad (12)$$

表2-1 摩擦系数 λ

管道内径 d (毫米)	绝对粗糙度 K (毫米)						
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0
10	0.0379	0.0437	0.0488	0.0572	0.0714	0.101	0.155
15	0.0332	0.0379	0.0419	0.0488	0.0599	0.0819	0.120
20	0.0304	0.0346	0.0379	0.0438	0.0532	0.0714	0.101
25	0.0294	0.0321	0.0352	0.0359	0.0485	0.0645	0.0893
32	0.0264	0.0297	0.0325	0.0371	0.0442	0.0581	0.0793
40	0.0249	0.0279	0.0304	0.0345	0.0408	0.0532	0.0714
50	0.0234	0.0262	0.0284	0.0321	0.0379	0.0485	0.0645
70	0.0215	0.0238	0.0258	0.0290	0.0339	0.0447	0.0559
80	0.0207	0.0230	0.0250	0.0279	0.0325	0.0408	0.0532
100	0.0196	0.0217	0.0234	0.0262	0.0304	0.0379	0.0485
125	0.0191	0.0205	0.0222	0.0246	0.0284	0.0352	0.0446
150	0.0178	0.0196	0.0211	0.0234	0.0270	0.0332	0.0418
200	0.0167	0.0183	0.0196	0.0217	0.0249	0.0304	0.0379
250	0.0159	0.0174	0.0186	0.0203	0.0234	0.0284	0.0352
300	0.0153	0.0167	0.0178	0.0196	0.0223	0.0270	0.0332
350	0.0148	0.0161	0.0172	0.0187	0.0215	0.0258	0.0316
400	0.0144	0.0156	0.0167	0.0183	0.0207	0.0249	0.0304
450	0.0140	0.0153	0.0164	0.0179	0.0201	0.0240	0.0293
500	0.0137	0.0149	0.0159	0.0174	0.0196	0.0234	0.0284

为了进行管道水力计算，选取相应的 λ 值，必须预先确定流体的流动所处的区域。为此，必须找出各个区域的临界判别值。

对于粗糙管，相当于过渡区到稳定粗糙管区之间的临界判别值 Re_p ，可用式 (11) 与式 (12) 联立求解后得出。

$$\text{令 } 0.1 \left(\frac{K}{d} + \frac{100}{Re} \right)^{0.25} = 0.11 \left(\frac{K}{d} \right)^{0.25} \quad (13)$$

解方程 (13) 求得临界判别值 Re_p ：

$$Re_p = 218 \frac{d}{K} \quad (14)$$

将 $Re = \frac{wd}{\nu}$ 代入式 (14)，求得过渡区与稳定粗糙管区之间的临界判别值 w_p ：

$$w_p = 218 \frac{\nu}{K} \text{ 米/秒} \quad (15)$$

根据临界速度可直接判断流体流动所处的区域。

由式 (15) 可以看出：临界速度 w_p 与流体的运动粘滞系数 ν 及管壁的绝对粗糙度 K 有关，而与管道的直径 d 无关。

水的临界速度参看表 2-2。

表2-2 水的临界速度 w_p (米/秒)

温 度 (°C)	绝 对 粗 糙 度 K (毫米)			
	0.2	0.5	1.0	2.0
20	1.09	0.436	0.218	0.109
50	0.6060	0.2424	0.1212	0.0606
70	0.4524	0.1809	0.0905	0.0452
100	0.3216	0.1286	0.0643	0.0322
150	0.2202	0.0881	0.0440	0.0220
200	0.1744	0.0698	0.0349	0.0174

水蒸汽的临界速度参看表 2-3。

表2-3 水蒸汽的临界速度 w_p (米/秒)

绝对大气压 P (公斤/厘米 ²)	温 度 t (°C)	绝 对 粗 糙 度 K (毫米)			
		0.2	0.5	1.0	2.0
1.0	100	22	8.6	4.3	2.2
	150	30	12	6	3.0
	200	39	15	7.6	3.8
5.0	160	6	2.5	1.3	0.6
	200	7.6	3.1	1.5	0.76
	250	9.6	3.8	1.9	1.0
10.0	180	3.0	1.3	0.65	0.33
	200	3.8	1.5	0.76	0.38
	250	4.7	1.9	0.93	0.46
	300	5.4	2.2	1.10	0.55

压力为 1 公斤/厘米² 的干空气的临界速度参看表 2-4。

表2-4 压力为 1 公斤/厘米² 时干空气的临界速度 w_{p1} (米/秒)
($K = 0.0002$ 米)

温度(°C)	20	40	60	80	100	120	140
临界速度(米/秒)	17.11	19.18	21.96	23.65	25.92	28.56	31.01

表 2-4 列出了干空气在绝对压力 $P_1 = 1$ 公斤/厘米² 时几种温度下的临界速度值。实际上, 压缩空气管道的压力都大于 1 公斤/厘米², 为此, 我们必须求出临界速度 w_{p_2} 与压力 P_2 的关系式。

由式 (15) 可以得出:

$$\frac{w_{p_1}}{w_{p_2}} = \frac{v_1}{v_2} \quad (16)$$

$$v = \frac{\mu g}{\gamma} \text{米}^2/\text{秒} \quad (17)$$

式中 μ —— 空气的绝对粘度, 公斤·秒/米²。

当空气的压力低于 60 绝对大气压时, 空气的绝对粘度随压力的升降, 其变化很小, 只有在较高的压力下, 其变化才比较大 (如图 4)。

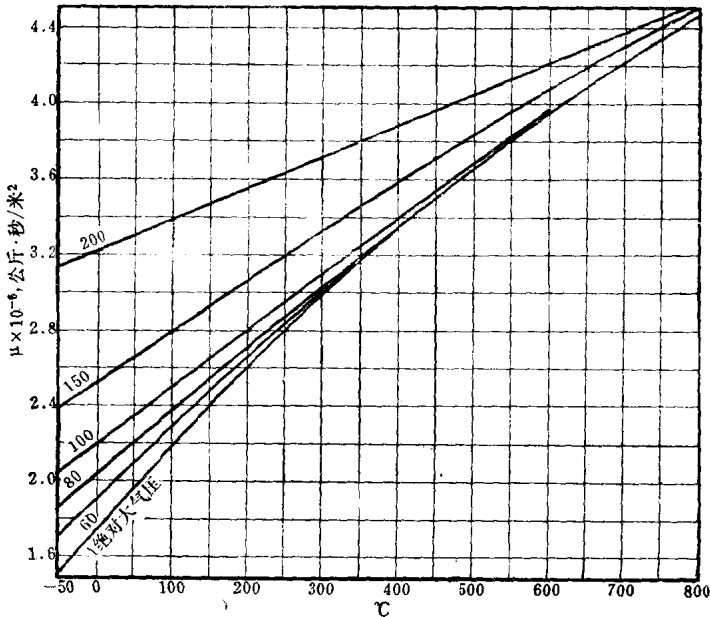


图 4 空气的绝对粘度与压力温度的关系

为了计算方便，可以把在同一温度下 $P \leq 60$ 公斤/厘米² 压缩空气的绝对粘度视为常数，这样由式 (17) 可以得出：

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \quad (18)$$

在等温条件下，空气的容重取决于压力，即：

$$P_1 v_1 = P_2 v_2 = \text{常数} \quad (19)$$

式中 $v_{1,2}$ ——压力为 P_1 、 P_2 条件下的比容，米³/公斤。

或

$$\frac{P_1}{\gamma_1} = \frac{P_2}{\gamma_2} = \text{常数} \quad (20)$$

所以

$$\frac{w_{p2}}{w_{p1}} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{P_1}{P_2} \quad (21)$$

$$w_{p2} = w_{p1} \frac{P_1}{P_2} \quad (22)$$

当 $P_1 = 1$ 公斤/厘米² 时，

$$w_{p2} = \frac{w_{p1}}{P_2} \quad (23)$$

由式 (23) 可知，压力 P_2 愈高，临界速度 w_{p2} 愈小。按照式 (23) 计算的压缩空气临界速度 w_{p2} 参看表 2-5。

表 2-5 压缩空气的临界速度 w_{p2} (米/秒)

($K = 0.0002$ 米)

绝对压力 P (公斤/厘米 ²)	温 度 (°C)						
	20	40	60	80	100	120	140
5	3.42	3.84	4.39	4.73	5.18	5.71	6.20
10	1.71	1.92	2.20	2.37	2.60	2.86	3.10
15	1.14	1.28	1.46	1.58	1.73	1.90	2.07
20	0.86	0.96	1.10	1.18	1.30	1.43	1.55

在压缩空气管网设计中，压缩空气管道的流速，厂区管网一般取 8~10 米/秒；用气车间压缩空气管道流速一般取 8~15 米/秒。在供热管网中，蒸汽的流速常大于 30 米/秒，热水的流速一般亦大于 1 米/秒。从临界速度判别值可知，这种流速范围，基本处于稳定粗糙管区。

为此，本手册所编管道水力计算表所采用的摩擦阻力系数 λ 值，均按稳定粗糙管区摩擦阻力系数计算公式计算编制的。

(二) 局部阻力压力损失

管道局部阻力压力损失可用下式计算：

$$\Delta P_{j_p} = \sum \zeta \frac{w^2}{2g} \gamma \text{ 公斤/米}^2 \quad (24)$$

式中 $\sum \zeta$ ——局部阻力系数总和。

管道的局部阻力系数 ζ 是通过实验决定的。一般在实际计算中，用局部阻力当量长度 l_d (或称等值长度) 来代替局部阻力系数是比较方便的。

所谓局部阻力当量长度，就是把管道的局部阻力压力降用直线管段的压力降来表示，它所相当的这个直线管段的长度，就称为局部阻力当量长度。据此，可以列出下列等式：

$$\begin{aligned} \Delta P_{j_p} &= \sum \zeta \frac{w^2}{2g} \gamma = R_{j_c} l_d \\ &= \lambda \frac{w^2}{2g} \cdot \frac{\gamma}{d} l_d \text{ 公斤/米}^2 \end{aligned} \quad (25)$$

由上式可以求得：

$$l_d = \sum \zeta \frac{d}{\lambda} \text{ 米} \quad (26)$$

表 2-6、表 2-7、表 2-8、表 2-9 分别列出了饱和蒸汽和压缩空气管道、过热蒸汽管道、凝结水管、水管的局部阻力当量长度。