

# 机械技术手册

中

机械工业出版社

# 机械技术手册

中

〔日〕日本机械学会编



机械工业出版社

这部手册是根据日本机械学会编辑出版的《机械技术手册》1977年修订第6版翻译的。译本分上、中、下三卷出版。第1篇至第7篇为上卷，第8篇至第15篇为中卷，第16篇至第22篇为下卷。

本书为中卷，包括：水力学与流体力学，水力机械与液压传动，空气机械，热与热力学，燃料、燃烧与燃烧炉，蒸汽动力，内燃机，交通运输。内容广泛，可供广大工程技术人员参考使用。

## 機 械 工 学 便 覧

日本機械学会 編

日本機械学会改訂第6版昭和50年

\* \* \*

## 机 械 技 术 手 册

中

日本机械学会 編

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张 70 · 插页 2 · 字数 2107 千字

1984年12月北京第一版·1984年12月北京第一次印刷

印数 00,001—45,500 · 定价 12.75 元

\*

统一书号: 15033·5465

# 单 位 换 算 表

SI、CGS 制和重力制单位对照表

| 单位制 \ 量 | 长 度<br>$L$ | 质 量<br>$M$            | 时 间<br>$T$ | 加 速 度            | 力   | 应 力                 | 压 力                 | 能     | 功 率     | 温 度 |
|---------|------------|-----------------------|------------|------------------|-----|---------------------|---------------------|-------|---------|-----|
| SI      | m          | kg                    | s          | m/s <sup>2</sup> | N   | Pa或N/m <sup>2</sup> | Pa                  | J     | W       | K   |
| CGS     | cm         | g                     | s          | Gal              | dyn | dyn/cm <sup>2</sup> | dyn/cm <sup>2</sup> | erg   | erg/s   | °C  |
| 重力制     | m          | kgf·s <sup>2</sup> /m | s          | m/s <sup>2</sup> | kgf | kgf/m <sup>2</sup>  | kgf/m <sup>2</sup>  | kgf·m | kgf·m/s | °C  |

## 基 本 单 位

|     |     |    |           |       |     |
|-----|-----|----|-----------|-------|-----|
| 长 度 | 米   | m  | 热 力 学 温 度 | 开 尔 文 | K   |
| 质 量 | 千 克 | kg | 物 质 的 量   | 摩 尔   | mol |
| 时 间 | 秒   | s  | 发 光 强 度   | 坎 德 拉 | cd  |
| 电 流 | 安 培 | A  |           |       |     |

## SI 词 头

|                  |      |    |                   |       |   |
|------------------|------|----|-------------------|-------|---|
| 10 <sup>12</sup> | (太拉) | T  | 10 <sup>-2</sup>  | 厘     | c |
| 10 <sup>9</sup>  | (吉咖) | G  | 10 <sup>-3</sup>  | 毫     | m |
| 10 <sup>6</sup>  | 兆    | M  | 10 <sup>-6</sup>  | 微     | μ |
| 10 <sup>3</sup>  | 千    | K  | 10 <sup>-9</sup>  | (纳诺)  | n |
| 10 <sup>2</sup>  | 百    | h  | 10 <sup>-12</sup> | (皮可)  | p |
| 10 <sup>1</sup>  | 十    | da | 10 <sup>-15</sup> | (飞姆托) | f |
| 10 <sup>-1</sup> | 分    | d  | 10 <sup>-18</sup> | (阿托)  | a |

注：词头带括号者为汉字近似读音——译者注。

## 对 SI 单 位 的 换 算

| 量   | 单 位 名 称                     | 符 号                            | 对 SI 的换算系数                                                                                           | SI 单 位 名 称 | 符 号            |
|-----|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|
| 角 度 | 度<br>分<br>秒                 | °<br>'<br>"                    | $\pi/180$<br>$\pi/1.08 \times 10^4$<br>$\pi/6.48 \times 10^5$                                        | 弧 度        | rad            |
| 长 度 | 米<br>微米<br>埃<br>X射线单位<br>费密 | m<br>μ<br>Å<br>X-unit<br>Fermi | 1<br>10 <sup>-6</sup><br>10 <sup>-10</sup><br>$\approx 1.00208 \times 10^{-13}$<br>10 <sup>-15</sup> | 米          | m              |
| 面 积 | 平方米<br>公顷                   | m <sup>2</sup><br>a            | 1<br>10 <sup>2</sup>                                                                                 | 平方米        | m <sup>2</sup> |
| 体 积 | 立方米<br>升                    | m <sup>3</sup><br>l            | 1<br>10 <sup>-3</sup>                                                                                | 立方米        | m <sup>3</sup> |
| 质 量 | 千克<br>吨<br>原子质量单位           | kg<br>t<br>u                   | 1<br>10 <sup>3</sup><br>$\approx 1.66057 \times 10^{-27}$                                            | 千克         | kg             |

(续)

| 量                     | 单位名称                                        | 符号                                                                     | 对 SI 的换算系数                                                                                                                        | SI 单位名称             | 符号                  |
|-----------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 时 间                   | 秒<br>分<br>时<br>日                            | s<br>min<br>h<br>d                                                     | 1<br>60<br>3600<br>86400                                                                                                          | 秒                   | s                   |
| 速 度                   | 米每秒<br>节                                    | m/s<br>kn                                                              | 1<br>1852/3600                                                                                                                    | 米每秒                 | m/s                 |
| 频率、振动数                | 周                                           | s <sup>-1</sup>                                                        | 1                                                                                                                                 | 赫 兹                 | Hz                  |
| 转 速                   | 转每分                                         | rpm                                                                    | 1/60                                                                                                                              |                     |                     |
| 角 速 度                 | 弧度每秒                                        | rad/s                                                                  | 1                                                                                                                                 | 弧度每秒                | rad/s               |
| 加 速 度                 | 米每二次方秒                                      | m/s <sup>2</sup><br>G                                                  | 1<br>9.80665                                                                                                                      | 米每二次方秒              | m/s <sup>2</sup>    |
| 力                     | 千克力<br>吨力<br>达因                             | kgf<br>tf<br>dyn                                                       | 9.80665<br>9806.65<br>10 <sup>-5</sup>                                                                                            | 牛 顿                 | N                   |
| 力 矩                   | 千克力米                                        | kgf·m                                                                  | 9.80665                                                                                                                           | 牛·顿米                | N·m                 |
| 应 力                   | 千克力每平方米<br>千克力每平方厘米<br>千克力每平方毫米             | kgf/m <sup>2</sup><br>kgf/cm <sup>2</sup><br>kgf/mm <sup>2</sup>       | 9.80665<br>9.80665 × 10 <sup>4</sup><br>9.80665 × 10 <sup>6</sup>                                                                 | 帕斯卡或牛顿每平方米          | Pa或N/m <sup>2</sup> |
| 压 力                   | 千克力每平方米<br>米水柱<br>毫米汞柱<br>托<br>标准大气压<br>巴   | kgf/m <sup>2</sup><br>mmH <sub>2</sub> O<br>mmHg<br>Torr<br>atm<br>bar | 9.80665<br>9806.65<br>101325/760<br>101325/760<br>101325<br>10 <sup>5</sup>                                                       | 帕斯卡                 | Pa                  |
| 能                     | 尔格<br>卡路里<br>千克力米<br>千瓦小时<br>米制马力小时<br>电子伏特 | erg<br>cal<br>kgf·m<br>kW·h<br>PS·h<br>eV                              | 10 <sup>-7</sup><br>4.18605<br>9.80665<br>3.600 × 10 <sup>6</sup><br>≈ 2.64779 × 10 <sup>6</sup><br>≈ 1.60219 × 10 <sup>-19</sup> | 焦 耳                 | J                   |
| 功率、动力                 | 瓦特<br>米制马力<br>千卡路里每小时                       | W<br>PS<br>kcal/h                                                      | 1<br>735.5<br>1.1630                                                                                                              | 瓦 特                 | W                   |
| 粘度、粘性系数               | 泊<br>厘泊<br>千克力秒每平方米                         | P<br>cP<br>kgf·s/m <sup>2</sup>                                        | 10 <sup>-1</sup><br>10 <sup>-3</sup><br>9.80665                                                                                   | 帕斯卡秒                | Pa·s                |
| 运动粘度                  | 斯托克斯<br>厘斯托克斯                               | St<br>cSt                                                              | 10 <sup>-4</sup><br>10 <sup>-6</sup>                                                                                              | 二次方米每秒              | m <sup>2</sup> /s   |
| 温 度                   | 度                                           | °C                                                                     | + 273.15                                                                                                                          | 开尔文                 | K                   |
| 活 度<br>射 量<br>吸 收 剂 量 | 居里<br>伦琴<br>拉德                              | Ci<br>R<br>rd                                                          | 3.7 × 10 <sup>10</sup><br>2.58 × 10 <sup>-4</sup><br>10 <sup>-2</sup>                                                             | 贝可勒尔<br>库仑每千克<br>戈瑞 | Bq<br>C/kg<br>Gy    |
| 磁 通                   | 麦克斯韦                                        | Mx                                                                     | 10 <sup>-8</sup>                                                                                                                  | 韦伯                  | Wb                  |
| 磁通密度                  | 伽马<br>高斯                                    | Y<br>Gs                                                                | 10 <sup>-9</sup><br>10 <sup>-4</sup>                                                                                              | 特斯拉                 | T                   |
| 磁场强度                  | 奥斯特                                         | Oe                                                                     | 10 <sup>3</sup> /4π                                                                                                               | 安培每米                | A/m                 |
| 电 量                   | 库仑                                          | C                                                                      | 1                                                                                                                                 | 库仑                  | C                   |
| 电 位                   | 伏特                                          | V                                                                      | 1                                                                                                                                 | 伏特                  | V                   |
| 电 容                   | 法拉                                          | F                                                                      | 1                                                                                                                                 | 法拉                  | F                   |
| 电 阻                   | 欧姆                                          | Ω                                                                      | 1                                                                                                                                 | 欧姆                  | Ω                   |
| 电 导                   | 西门子                                         | S                                                                      | 1                                                                                                                                 | 西门子                 | S                   |
| 电 感                   | 亨利                                          | H                                                                      | 1                                                                                                                                 | 亨利                  | H                   |
| 电 流                   | 安培                                          | A                                                                      | 1                                                                                                                                 | 安培                  | A                   |

## 序

本会发行的《机械技术手册》修订第6版，终于从第1分册开始出版了，对此不胜喜悦。大型合订本的完成之日也为期不远了。

本手册的初版是在1934年2月以32开版本发行的。从初版到现在，每次修订无论其内容的质量和数量都得到了补充和提高。在此期间，本手册对日本机械工程学科和机械工业的发展所起的作用，是难以用语言表达的，本书从初版到现在已销售20万册这一事实就是最有说服力的证明。

这次发行的第6版，正如修订经过报告中所指出的，对全书内容的二分之一进行了修订，其中某些篇甚至作了全面修改，版面也改成了16开的大开本，从而更新了第5版的面貌，使之成为一部崭新的手册。在内容上，既保持了手册无遗漏地记载最新工业技术和设计资料的固有特点，同时在阐述有关专业基础知识方面，又具有教科书的特色。这是本手册历次修订中锤炼出来的传统特色，因此，受到工厂、研究部门、设计部门和学校等的广泛欢迎。

我们深信，这次竭尽全力修订的第6版，一定能满足读者的希望。在此，首先向本会会员，并向广大的机械工程界及其他工业界的有关人员推荐，衷心希望这部手册能作为各位身边的工具书，在日常业务工作中得到运用。

最后，值此修订版发行之际，对各位主编及时提供的建议，以及改编工作以来，历届会长和各位负责人，出版部会长，修订分科委员会主任审查委员和其他各位委员，各位编写人员等的辛勤工作，深表敬意和感谢。此外，对本会事务局的各位为完成本手册付出的辛勤劳动，以及各位会员有形无形地给予的巨大支援，在此一并表示谢意。

社团法人 日本机械学会

第53届会长 曾田範宗

1975年9月

## 修 订 经 过 报 告

《机械技术手册》修订第5版发行到现在已为时7年了,在本会第50届第三出版部会议上征求了包括规划部委员会等许多有关方面的意见后,拟定了进一步充实手册内容的修订方案,并上报第50届理事会,理事会对上报修订方案作了进一步审议,确定了下述修订方案及出版计划:

(1) 修订原手册中分类重叠的部分,使其更加完善而简明。

(2) 在方针(1)的范围内,根据工程学科和工业的发展,对内容进行修改和补充;

a. 尽量删除陈旧的内容;

b. 重点放在预计长期不变,而且利用率较高的通用性、基础性、定论性内容及资料上;

c. 考虑多数使用者的方便,手册应编得通俗易懂;

d. 单位方面适当考虑国际单位制(SI);

e. 除特别指定者外,对原有篇章等不作大幅度变动。

(3) 合订本采用全书一册(现行)的形式,但注意不要使其过厚,总页数的增加量不宜超过10%(约2200页)。

(4) 修订本先以分册形式出版,出齐后再出版合订本。合订本完成日期定为1976年底。

按照上述方针成立了机械技术手册第6版修订分科委员会,并委托下列各位分工负责:

主任审查委员 竹中規雄

干 事 益子正巳

委 员 井田富夫 石川二郎 石原智男 植田辰洋 浦田 星 塩崎 進

芹沢良夫 寺野寿郎 丸山弘志 水野正夫 山家讓二

分科委员会于1973年6月召开第一次会议,以后又通过几次会议,按照修订方针制定了审查大纲和编写日程等。

之后,该委员会为每篇的修改均委任了几名(全书共134名)审查委员,到1973年9月收到了具体修订事项的审查报告,根据这份报告,委员会调整了各篇的编写项目,确定了承担页数的比例及执笔人员,整理出编写期限、编写提纲、编写内容等资料,1974年4月向全体执笔人员委托编写原稿。在此期间,为了密切各篇章之间的关系,各篇的审查委员与分科委员会委员进行了充分研究,有时还根据需要邀请委员以外的人士协助,力求把修订工作做好。

要求执笔人员在分配的篇幅内,遵照讨论结果编入丰富的内容。依据对原稿的审阅,找出各篇章之间的重复内容,再对原稿进行补充、修改和删节等繁重的加工。

第6版,由于进行了上述的充分讨论和审议,采取了通篇修改二分之一的方针,详细内

容以方针(2)为准则,某些篇甚至作了全面修改,从而更新了旧版的面貌。关于篇名,这次只作了使其符合内容的变更。此外,关于 SI 单位,则与现在惯用单位一并列入。考虑到不久即将普及国际单位制(SI),因而在各分册中均列入了全书通用的 SI 单位换算表。

这次修订是从谷口 修任第 50 届会长时开始的,以后又经过第 51 届会长藤木俊三、第 52 届会长鹤户口英善,直到曾田範宗任第 53 届会长时才得以出版,在此期间,由于各位主编的及时指导,以及审查委员、执笔人员、审校人员、分科委员会委员和学会工作人员共同努力,才使修订版得以顺利完成。借此机会,表示深切谢意。

第 53 届第三出版部 会长 佐藤 豪

机械技术手册第 6 版修订分科委员会

主任审查委员 竹中規雄

1975 年 9 月

## 第8篇 水力学与流体力学

[illegible]

# 目 录

## 第1章 水力学基础 .....8-1

### 1.1 主要流体的物理性质.....8-1

#### 1.1.1 重度 (单位体积流体的重量)

$\gamma$  和密度  $\rho (= \gamma / g)$  .....8-1

#### 1.1.2 压缩率 $\beta$ 和比容 $v$ .....8-2

#### 1.1.3 流体中压力波的传播速度

(声速)  $a$  .....8-2

#### 1.1.4 动力粘度 $\mu$ 与运动粘度 $\nu$ .....8-3

#### 1.1.5 表面张力 $H$ .....8-4

#### 1.1.6 水的饱和蒸汽压 $p_s$ .....8-5

#### 1.1.7 气体对于水的溶解度.....8-5

### 1.2 水静力学.....8-5

#### 1.2.1 压力.....8-5

#### 1.2.2 压力的单位.....8-6

#### 1.2.3 深度压力的大小与方向.....8-6

#### 1.2.4 水头.....8-6

#### 1.2.5 压力的传递 (帕斯卡原理) .....8-6

#### 1.2.6 深度压力与压力中心

(平面).....8-7

#### 1.2.7 深度压力与压力中心

(曲面).....8-8

#### 1.2.8 均匀压力的合力.....8-8

#### 1.2.9 浮力.....8-9

#### 1.2.10 浮体 .....8-9

#### 1.2.11 浮体的稳定性 .....8-9

#### 1.2.12 流体静力学的基本方程式 .....8-9

#### 1.2.13 等压面.....8-10

#### 1.2.14 力线.....8-10

#### 1.2.15 相对静止 (相对平衡).....8-10

### 1.3 一般水动力学 .....8-10

#### 1.3.1 层流与湍流 .....8-10

#### 1.3.2 流线, 定常流.....8-12

#### 1.3.3 流量, 连续性定理.....8-13

#### 1.3.4 伯努利定理 .....8-13

#### 1.3.5 动压和总压 (滞止压力).....8-14

#### 1.3.6 两流线间的总水头差 .....8-14

## 第2章 流道与流体阻力 .....8-14

### 2.1 流体的摩擦 .....8-14

#### 2.1.1 流体的摩擦与切应力 .....8-14

#### 2.1.2 圆管的管摩擦 .....8-15

#### 2.1.3 铁管的老化效应 .....8-17

#### 2.1.4 非圆形断面管 .....8-18

#### 2.1.5 组合管 .....8-18

### 2.2 管路 .....8-19

#### 2.2.1 管路的损失水头 .....8-19

#### 2.2.2 起始段内的流动 .....8-19

#### 2.2.3 管路进口 .....8-19

#### 2.2.4 管路出口 .....8-20

#### 2.2.5 扩散管与收缩管 .....8-20

#### 2.2.6 弯管 .....8-21

#### 2.2.7 肘形弯管 .....8-22

#### 2.2.8 分流管 (分歧管).....8-22

#### 2.2.9 汇流管 .....8-23

#### 2.2.10 管接头.....8-24

#### 2.2.11 阀和旋塞.....8-24

#### 2.2.12 孔口、喷嘴和文丘里管.....8-24

#### 2.2.13 管路的总损失和流量.....8-25

#### 2.2.14 管道输送流体的动力.....8-25

#### 2.2.15 管路流速.....8-26

### 2.3 明渠 .....8-26

#### 2.3.1 明渠断面和流速不变时的流

动 .....8-26

#### 2.3.2 明渠的最佳断面形状 .....8-27

#### 2.3.3 明渠的适宜流速 .....8-27

#### 2.3.4 流速分布 .....8-27

#### 2.3.5 流速变化时的流动 .....8-27

### 2.4 流体中的物体阻力 .....8-27

#### 2.4.1 阻力系数 .....8-27

#### 2.4.2 球的阻力 .....8-28

#### 2.4.3 圆柱阻力 .....8-29

#### 2.4.4 各种物体的阻力系数 .....8-30

#### 2.4.5 圆管束的阻力 .....8-31

#### 2.4.6 卡门涡列 .....8-32

### 2.5 两相流动 .....8-33

|                             |      |                                |      |
|-----------------------------|------|--------------------------------|------|
| 2.5.1 固气两相流动 .....          | 8-33 | 3.4.7 蒸汽的流量测定 .....            | 8-57 |
| 2.5.2 固液两相流动 .....          | 8-35 | 3.5 流动的可视化 .....               | 8-57 |
| 2.5.3 气液两相流动 .....          | 8-36 | 3.5.1 涂敷法 .....                | 8-57 |
| 2.6 动量定理 .....              | 8-37 | 3.5.2 贴附法 .....                | 8-57 |
| 2.6.1 动量守恒和物体所受的力 .....     | 8-37 | 3.5.3 示迹法 .....                | 8-57 |
| 2.6.2 动量矩守恒和物体所受的力 .....    | 8-38 | 3.5.4 化学反应法 .....              | 8-58 |
| 2.7 管内非定常流,水击 .....         | 8-38 | 3.5.5 电控法 .....                | 8-58 |
| 2.7.1 水击作用 .....            | 8-38 | 3.5.6 光学法 .....                | 8-58 |
| 2.7.2 管内压力波的传播速度 .....      | 8-38 | <b>第4章 流体力学</b> .....          | 8-59 |
| 2.7.3 水击的基本方程式 .....        | 8-39 | 4.1 流体力学基础 .....               | 8-59 |
| 2.7.4 水击的图解法 .....          | 8-40 | 4.1.1 符号 .....                 | 8-59 |
| 2.7.5 水击特征线法 .....          | 8-42 | 4.1.2 运动方程式(直角坐标) .....        | 8-59 |
| 2.7.6 油压管路的非定常流动 .....      | 8-42 | 4.1.3 运动方程式(圆柱坐标) .....        | 8-59 |
| 2.7.7 流体系统中的特殊振动 .....      | 8-44 | 4.1.4 运动方程式(球面坐标) .....        | 8-59 |
| <b>第3章 压力、流速与流量测定</b> ..... | 8-45 | 4.1.5 连续性方程式(直角坐标) .....       | 8-60 |
| 3.1 压力测定 .....              | 8-45 | 4.1.6 连续性方程式(圆柱坐标) .....       | 8-60 |
| 3.1.1 各种液柱压力计 .....         | 8-45 | 4.1.7 连续性方程式(球面坐标) .....       | 8-60 |
| 3.2 流速测定 .....              | 8-46 | 4.1.8 能量方程式 .....              | 8-60 |
| 3.2.1 流速计 .....             | 8-46 | 4.1.9 状态方程式 .....              | 8-61 |
| 3.2.2 皮托管 .....             | 8-47 | 4.1.10 涡量,环量 .....             | 8-61 |
| 3.2.3 热线流速仪 .....           | 8-48 | 4.1.11 斯托克斯定理 .....            | 8-61 |
| 3.2.4 其他测定法 .....           | 8-48 | 4.1.12 旋涡性质 .....              | 8-61 |
| 3.3 流体的流量测定 .....           | 8-49 | 4.1.13 涡丝的诱导速度 .....           | 8-61 |
| 3.3.1 容器法 .....             | 8-49 | 4.1.14 流函数 .....               | 8-61 |
| 3.3.2 翼式流量计 .....           | 8-49 | 4.2 理想、不可压流体的流动 .....          | 8-62 |
| 3.3.3 速度分布法 .....           | 8-49 | 4.2.1 无旋流动,速度势 .....           | 8-62 |
| 3.3.4 节流装置 .....            | 8-49 | 4.2.2 复变函数的应用、复势、复速<br>度 ..... | 8-62 |
| 3.3.5 堰 .....               | 8-52 | 4.2.3 简单势流举例 .....             | 8-62 |
| 3.3.6 盐水速度法 .....           | 8-54 | 4.2.4 保角变换 .....               | 8-63 |
| 3.3.7 盐水浓度法 .....           | 8-54 | 4.2.5 保角变换举例 .....             | 8-63 |
| 3.3.8 吉布生法 .....            | 8-54 | 4.2.6 布拉修斯公式 .....             | 8-63 |
| 3.3.9 指数法(弯管流量计的应用) .....   | 8-55 | 4.2.7 不连续流动,瑞利公式 .....         | 8-64 |
| 3.3.10 电磁流量计 .....          | 8-55 | 4.2.8 射流 .....                 | 8-64 |
| 3.3.11 超声波流量计 .....         | 8-55 | 4.2.9 表观质量 .....               | 8-64 |
| 3.3.12 油的流量测定法 .....        | 8-55 | 4.3 流体的振动,波动 .....             | 8-65 |
| 3.4 气体流量的测定 .....           | 8-55 | 4.3.1 长波,重力波 .....             | 8-65 |
| 3.4.1 容器法 .....             | 8-55 | 4.3.2 满槽水的固有频率 .....           | 8-65 |
| 3.4.2 容积式流量计 .....          | 8-56 | 4.3.3 水滴的振动 .....              | 8-65 |
| 3.4.3 面积式流量计 .....          | 8-56 | 4.3.4 流体中物体振动的表观质量 .....       | 8-66 |
| 3.4.4 速度分布法 .....           | 8-56 | 4.4 小雷诺数的流动 .....              | 8-66 |
| 3.4.5 节流法 .....             | 8-56 | 4.4.1 斯托克斯近似 .....             | 8-66 |
| 3.4.6 托马氏计 .....            | 8-57 |                                |      |

|                                  |      |                                            |      |
|----------------------------------|------|--------------------------------------------|------|
| 4.4.2 奥森近似 .....                 | 8-66 | 5.3 激波 .....                               | 8-79 |
| 4.4.3 数值解 .....                  | 8-66 | 5.3.1 激波的发生 .....                          | 8-79 |
| 4.5 边界层 .....                    | 8-67 | 5.3.2 正激波 .....                            | 8-79 |
| 4.5.1 边界层 .....                  | 8-67 | 5.3.3 斜激波 .....                            | 8-79 |
| 4.5.2 层流边界层方程式 .....             | 8-67 | 5.4 二元流动 .....                             | 8-80 |
| 4.5.3 湍流边界层方程式 .....             | 8-67 | 5.4.1 凹面中的压缩波 .....                        | 8-80 |
| 4.5.4 边界层的动量方程式 .....            | 8-68 | 5.4.2 凸面上的膨胀波 .....                        | 8-80 |
| 4.5.5 边界层理论应用举例 .....            | 8-68 | 5.4.3 特征线法 .....                           | 8-81 |
| 4.5.6 边界层的分离 .....               | 8-69 | 5.5 细长体绕流 .....                            | 8-81 |
| 4.5.7 边界层的控制 .....               | 8-69 | 5.6 空气动力加热 .....                           | 8-82 |
| 4.6 油膜润滑 .....                   | 8-70 | 5.7 边界层与激波的干扰 .....                        | 8-82 |
| 4.7 相似律 .....                    | 8-71 | 5.7.1 边界层与激波的干扰 .....                      | 8-82 |
| 4.7.1 相似条件 .....                 | 8-71 | 5.7.2 模拟激波 .....                           | 8-82 |
| 4.7.2 雷诺数 .....                  | 8-71 | <b>第6章 翼型, 叶栅和螺旋桨</b> .....                | 8-83 |
| 4.7.3 马赫数 .....                  | 8-71 | 6.1 翼型 .....                               | 8-83 |
| 4.7.4 弗劳德数, 格腊晓夫数, 韦伯<br>数 ..... | 8-72 | 6.1.1 翼型的命名法 .....                         | 8-83 |
| 4.7.5 斯特劳哈尔数 .....               | 8-72 | 6.1.2 翼型的各种系数 .....                        | 8-83 |
| 4.7.6 普朗特数, 派克勒数, 厄加特<br>数 ..... | 8-72 | 6.1.3 性能曲线 .....                           | 8-83 |
| 4.7.7 模型实验 .....                 | 8-72 | 6.1.4 跨声速翼型 .....                          | 8-83 |
| 4.7.8 风洞实验 .....                 | 8-72 | 6.1.5 超声速翼型 .....                          | 8-84 |
| 4.8 湍流 .....                     | 8-72 | 6.1.6 超气蚀(SC)翼型 .....                      | 8-84 |
| 4.8.1 湍流 .....                   | 8-72 | 6.2 叶栅 .....                               | 8-85 |
| 4.8.2 运动方程式, 连续性方程式 .....        | 8-73 | 6.2.1 关于叶栅的名称与符号 .....                     | 8-86 |
| 4.8.3 传递理论 .....                 | 8-73 | 6.2.2 二元叶栅的性能 .....                        | 8-86 |
| 4.8.4 统计理论 .....                 | 8-73 | 6.2.3 叶栅的临界负荷 .....                        | 8-88 |
| 4.8.5 射流, 尾流 .....               | 8-74 | 6.3 回转流面的径向平衡 .....                        | 8-88 |
| 4.8.6 扩散现象 .....                 | 8-75 | 6.3.1 轴流式回转机械的内部流动 .....                   | 8-88 |
| 4.8.7 湍流噪声 .....                 | 8-76 | 6.3.2 流线分析 .....                           | 8-89 |
| <b>第5章 可压缩流体</b> .....           | 8-76 | 6.3.3 作动圆盘理论 .....                         | 8-89 |
| 5.1 可压缩流体的流动 .....               | 8-76 | 6.4 翼型和叶栅的气蚀性能 .....                       | 8-89 |
| 5.1.1 状态方程式 .....                | 8-76 | 6.5 翼和叶栅的振动与噪声 .....                       | 8-90 |
| 5.1.2 马赫数 .....                  | 8-76 | 6.5.1 振动 .....                             | 8-90 |
| 5.2 一元流动 .....                   | 8-77 | 6.5.2 噪声 .....                             | 8-90 |
| 5.2.1 可压缩流体一元流动的基本<br>方程式 .....  | 8-77 | 6.6 螺旋桨 .....                              | 8-91 |
| 5.2.2 基准状态 .....                 | 8-78 | 6.6.1 动量理论 .....                           | 8-91 |
| 5.2.3 亚声速流动与超声速流动的<br>差别 .....   | 8-78 | 6.6.2 简单叶素理论 .....                         | 8-91 |
| 5.2.4 喷嘴与喉管的流动 .....             | 8-78 | 6.6.3 无限叶片旋涡理论 .....                       | 8-91 |
| 5.2.5 范诺线和瑞利线 .....              | 8-79 | 6.6.4 升力线理论 .....                          | 8-91 |
|                                  |      | 6.6.5 升力面理论 .....                          | 8-91 |
|                                  |      | <b>第7章 非牛顿流体, 电磁流体,<br/>稀薄气体, 其他</b> ..... | 8-91 |
|                                  |      | 7.1 非牛顿流体 .....                            | 8-91 |

|                               |      |                                  |      |
|-------------------------------|------|----------------------------------|------|
| 7.1.1 按流型分的流体分类 .....         | 8-91 | 7.3 稀薄流体 .....                   | 8-96 |
| 7.1.2 基本方程组 .....             | 8-92 | 7.3.1 稀薄化的影响 .....               | 8-96 |
| 7.1.3 纯粘性流体 .....             | 8-92 | 7.3.2 努森数 .....                  | 8-96 |
| 7.1.4 塑性流体 .....              | 8-93 | 7.3.3 稀薄流体的流动分类 .....            | 8-96 |
| 7.1.5 时间相关流体(时间依存<br>流体)..... | 8-93 | 7.3.4 分子速度分布函数和玻耳兹<br>曼方程式 ..... | 8-96 |
| 7.1.6 粘弹性流体 .....             | 8-93 | 7.3.5 适应系数 .....                 | 8-97 |
| 7.2 电磁流体 .....                | 8-94 | 7.3.6 作用于自由分子流中的物<br>体上的力 .....  | 8-97 |
| 7.2.1 电磁流体力学的基本方程式 .....      | 8-94 | 7.3.7 圆管内的流动 .....               | 8-98 |
| 7.2.2 相似律 .....               | 8-95 |                                  |      |
| 7.2.3 哈特曼流动 .....             | 8-95 |                                  |      |

# 第1章 水力学基础

## 1.1 主要流体的物理性质<sup>(1)</sup>

$$\gamma = \frac{1.293}{1 + 0.00367 t} \frac{h}{760} \text{ kgf/m}^3$$

1.1.1 重度 (单位体积流体的重量) $\gamma^{(2)}$  和密度 $\rho (= \gamma/g)$

式中  $t$  —— 温度 $^{\circ}\text{C}$ ;

$h$  —— 以 $0^{\circ}\text{C}$ 水银柱高度 mm 表示的压力值。

a. 水 1 atm (大气压)、 $4^{\circ}\text{C}$ 纯净的水,  $\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3 (= 9806.65 \text{ N/m}^3)$ ,  $\rho = 101.97 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 (= 1000 \text{ kg/m}^3)$ 。不同温度下的  $\rho$ 、 $\gamma$  列在表 1 中。

湿空气的  $\gamma$  (以  $\gamma_w$  表示), 若设饱和水蒸汽在  $t^{\circ}\text{C}$  时的压力为  $F \text{ mm Hg}$ , 相对湿度为  $\varphi$ , 则可由同温同压下干燥空气的  $\gamma$  求得:

$$\gamma_w = \gamma [1 - (0.377 \varphi F/h)]$$

b. 空气 干燥空气一般为

$F = p_s/s_m$  ( $p_s$ ——见表 1,  $s_m$ ——水银的比重, 见

表 1 1 atm 下水的  $\gamma \text{ kgf/m}^3$ ,  $\rho \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ,  $\mu \text{ kgf} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ,  $\nu \text{ m}^2/\text{s}$  和饱和蒸汽压  $p_s \text{ kgf/m}^2$   
(表中  $\mu$ ,  $\nu$  的值均需乘上  $10^{-8}$ )

| 温度 $^{\circ}\text{C}$ | 0                      | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     | 40     |
|-----------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\gamma$              | 999.8                  | 1000.0 | 999.7  | 999.1  | 998.2  | 997.1  | 995.7  | 992.2  |
| $\rho$                | 101.96                 | 101.97 | 101.94 | 101.88 | 101.79 | 101.67 | 101.53 | 101.18 |
| $\mu$                 | $182.7 \times 10^{-8}$ | 155.0  | 133.3  | 116.0  | 102.2  | 90.8   | 81.3   | 66.6   |
| $\nu$                 | $1.792 \times 10^{-6}$ | 1.520  | 1.307  | 1.139  | 1.004  | 0.893  | 0.801  | 0.658  |
| $p_s$                 | 62                     | 89     | 125    | 174    | 238    | 323    | 432    | 752    |

| 温度 $^{\circ}\text{C}$ | 50                     | 60     | 70    | 80    | 90    | 100   | 温度 $^{\circ}\text{C}$ | $p_s$  |
|-----------------------|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|--------|
| $\gamma$              | 988.1                  | 983.2  | 977.8 | 971.8 | 965.3 | 958.4 | 110                   | 14609  |
| $\rho$                | 100.75                 | 100.26 | 99.71 | 99.10 | 98.44 | 97.72 | 120                   | 20245  |
| $\mu$                 | $55.9 \times 10^{-8}$  | 47.6   | 41.2  | 36.2  | 32.1  | 28.8  | 140                   | 36848  |
| $\nu$                 | $0.554 \times 10^{-6}$ | 0.475  | 0.413 | 0.365 | 0.326 | 0.295 | 180                   | 102240 |
| $p_s$                 | 1257                   | 2031   | 3177  | 4829  | 7149  | 10332 | 250                   | 405600 |

表 2 干燥空气的  $\gamma \text{ kgf/m}^3$ ,  $\rho \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ,  $\nu \text{ m}^2/\text{s}$  (表中  $\nu$  值均需乘上  $10^{-5}$ )

| $t^{\circ}\text{C}$ | $\gamma \text{ kgf/m}^3$ |       |       |       | $\rho \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ |        |        |        | $\nu \text{ m}^2/\text{s}$ |       |       |       |
|---------------------|--------------------------|-------|-------|-------|------------------------------------------------|--------|--------|--------|----------------------------|-------|-------|-------|
|                     | 720                      | 740   | 760   | 780   | 720                                            | 740    | 760    | 780    | 720                        | 740   | 760   | 780   |
| -10                 | 1.271                    | 1.307 | 1.342 | 1.377 | 0.1297                                         | 0.1333 | 0.1369 | 0.1405 | 1.317                      | 1.281 | 1.247 | 1.215 |
| 0                   | 1.225                    | 1.259 | 1.293 | 1.327 | 0.1249                                         | 0.1284 | 0.1318 | 0.1353 | 1.407                      | 1.369 | 1.333 | 1.299 |
| 10                  | 1.182                    | 1.215 | 1.247 | 1.280 | 0.1205                                         | 0.1238 | 0.1272 | 0.1305 | 1.500                      | 1.460 | 1.421 | 1.385 |
| 20                  | 1.141                    | 1.173 | 1.205 | 1.237 | 0.1164                                         | 0.1196 | 0.1229 | 0.1261 | 1.595                      | 1.552 | 1.512 | 1.473 |
| 30                  | 1.104                    | 1.134 | 1.165 | 1.196 | 0.1126                                         | 0.1157 | 0.1188 | 0.1219 | 1.693                      | 1.647 | 1.604 | 1.563 |
| 40                  | 1.069                    | 1.098 | 1.128 | 1.158 | 0.1090                                         | 0.1120 | 0.1150 | 0.1180 | 1.792                      | 1.744 | 1.698 | 1.654 |

(1) 主として Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen, (1923~1935), Springer-Verlag, International Critical Tables, (1928), McGraw-Hill, Kiesskalt, S., Forsch. Geb. Ing.-Wesen., 291, (1927); 芝 亀吉, 物理常数表, (昭23), 岩波書店, 東京天文台, 理科年表, 丸 善; JIS Z 8803-1965.

(2) 在表 1 和表 2 中, 欲求以  $\text{N/m}^3$  为单位的  $\gamma$ 、以  $\text{kg/m}^3$  为单位的  $\rho$  时, 只要把表中的  $\gamma$ ,  $\rho$  值乘以 9.80665  $\text{m/s}^2$  即可。

表3)。干燥空气的 $\gamma$ 、 $\rho$ 分别列于表2中。

表3 1 atm时压力计用液体的比重  
(以4°C的水作为基准值)

| 温度°C | 0       | 10      | 15      | 20      | 30      |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 水银   | 13.5955 | 13.5708 | 13.5585 | 13.5462 | 13.5216 |
| 酒精   |         |         |         |         |         |
| 100% | 0.8063  | 0.7978  | 0.7936  | 0.7893  | 0.7808  |
| 90%  | 0.8354  | 0.8267  | 0.8224  | 0.8180  | 0.8093  |
| 80%  | 0.8606  | 0.8520  | 0.8477  | 0.8434  | 0.8348  |
| 甲醇   |         |         |         |         |         |
| 100% | 0.8102  | 0.8009  | 0.7958  | 0.7917  |         |
| 90%  | 0.8374  | 0.8287  | 0.8246  | 0.8202  |         |
| 80%  | 0.8634  | 0.8551  | 0.8505  | 0.7469  |         |
| 四氯化碳 | 1.6326  | 1.6135  | 1.6039  | 1.5944  | 1.5754  |
| 四氯乙烷 | 1.6360  | 1.6200  | 1.6120  | 1.6040  | 1.5880  |

c. 水银 设温度为 $t$ °C, 在1 atm、 $t > 0$ °C的范围内

$$\gamma = 13595.46 / [1 + (18.182 t + 0.00078 t^2) 10^{-5}] \text{ kgf/m}^3 \text{ (表3)}$$

d. 其他流体(表3、表4) 以1 atm为基准, 对20°C以上的油, 大体上

$$\gamma_t = \gamma_{20} [1 - 0.00065 (t - 20)]$$

式中,  $\gamma_t$ 、 $\gamma_{20}$  分别表示 $t$ °C和20°C时的 $\gamma$ 。

表4 1 atm时液体的比重  
(以4°C的水作为基准值)

| 物质     | 温度°C | 比重        | 物质   | 温度°C | 比重        |
|--------|------|-----------|------|------|-----------|
| 海水     | 15   | 1.01~1.05 | 汽油   | 15   | 0.66~0.75 |
| 10%食盐水 | 20   | 1.0707    | 原油   | 15   | 0.7~1.0   |
| 20%食盐水 | 20   | 1.1478    | 植物性油 | 15   | 0.91~0.97 |
| 甘油     | 15   | 1.264     | 动物性油 | 15   | 0.86~0.94 |
| 甘油     | 20   | 1.261     | 纯硫酸  | 20   | 1.831     |
| 苯      | 15   | 0.884     | 纯硝酸  | 20   | 1.513     |
| 苯      | 20   | 0.879     | 纯醋酸  | 20   | 1.049     |

### 1.1.2 压缩率 $\beta$ 和比容 $v$

若作用于体积为 $V$ 的液体上的压力增大 $\Delta p$ 时, 其体积就减少 $\Delta V$ , 则

$$\begin{aligned} \beta &= \Delta V / (V \Delta p) \\ &= \Delta v / (v \Delta p) \rightarrow - (1/v) (dv/dp) \end{aligned}$$

式中,  $v$  为比容(单位重量的体积),  $v = 1/\gamma$ 。各

种液体的 $\beta$ 值列于表5、表6中; 而水的 $v$ 值列于表7中<sup>(3)</sup>。

表5 水的压缩率 $\times 10^8 \text{ m}^2/\text{kgf} \ominus$

| 压力范围 atm  | 温度°C | 0     | 10    | 20    | 50    |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1~25      |      | 0.508 | 0.484 | 0.475 |       |
| 25~50     |      | 0.499 | 0.476 | 0.461 |       |
| 50~75     |      | 0.493 | 0.458 | 0.441 |       |
| 75~100    |      | 0.486 | 0.455 | 0.438 |       |
| 1~500     |      | 0.460 | 0.433 | 0.420 | 0.403 |
| 500~1000  |      | 0.403 | 0.382 | 0.368 | 0.354 |
| 1000~1500 |      | 0.346 | 0.337 | 0.327 | 0.315 |

表6 液体的压缩率 $\beta \times 10^8 \text{ m}^2/\text{kgf} \ominus$

| 物质  | 温度°C | 压力范围 kgf/cm <sup>2</sup> | 压缩率    |
|-----|------|--------------------------|--------|
| 海水  | 10   | 1~150                    | 0.44   |
| 水银  | 20   | 1~100                    | 0.0393 |
| 甘油  | 14.8 | 1~10                     | 0.221  |
| 酒精  | 14   | 9~38                     | 1.01   |
| 甲醇  | 14.7 | 8~37                     | 1.04   |
| 苯   | 16   | 8~37                     | 0.9    |
| 橄榄油 | 20   | 1~10                     | 0.6    |

表7 水的比容 $v$

(单位: 1 atm 4°C的水为1)

| 压力 kgf/cm <sup>2</sup> | 温度°C | 0      | 20     | 50     | 100    | 200    | 300    |
|------------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 50                     |      | 0.9977 | 0.9995 | 1.0099 | 1.0409 | 1.1532 |        |
| 100                    |      | 0.9952 | 0.9973 | 1.0077 | 1.0385 | 1.1485 | 1.3979 |
| 200                    |      | 0.9905 | 0.9929 | 1.0035 | 1.0337 | 1.1395 | 1.3612 |
| 500                    |      | 0.9774 | 0.9815 | 0.9921 |        |        |        |
| 1000                   |      | 0.9579 | 0.9631 | 0.9744 |        |        |        |
| 2000                   |      | 0.9261 | 0.9328 | 0.9446 |        |        |        |
| 4000                   |      | 0.8808 | 0.8881 | 0.8997 |        |        |        |

### 1.1.3 流体中压力波的传播速度(声速) $a$

流体中压力波的传播速度为

$$a = \sqrt{dp/d\rho} = \sqrt{g/(\gamma\beta)}$$

式中  $p$  —— 压力;

(3) 蒸汽性质表, (1935), 1359, VDI, Bridgman und Trantz, Forsch. Geb. Ing.-Wesen., 2 (1931), 45; Amagatの表。

⊖、⊕ 原文误漏 $\times 10^8$ ——译者。

$\rho$ ——密度。

对于  $t^\circ\text{C}$  的纯水

$$a = 1404.4 + 4.8215t - 0.047562t^2 + 0.00013541t^3 \text{ m/s}$$

对于干燥空气

$$a = 331.68 \left( \frac{273 + t}{273} \right)^{1/2} \text{ m/s}$$

各种流体中的  $a$  值列在表 8 中。

表 8 流体中压力波的传播速度  $a/\text{m/s}$

| 物质 \ 温度 $^\circ\text{C}$ | 0     | 20    | 50    |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| 干燥空气                     | 331.7 | 343.6 | 360.8 |
| 水                        | 1404  | 1483  | 1544  |
| 水 银                      | 1460  | 1451  | 1437  |
| 甘 油                      |       | 1923  | 1869  |
| 酒 精                      | 1242  | 1168  | 1067  |
| 甲 醇                      | 1187  | 1121  | 1024  |
| 苯                        |       | 1324  | 1184  |

#### 1.1.4 动力粘度 $\mu$ 与运动粘度 $\nu$

当流体作层状流动时，设平行于流线的两平行平面间的距离为  $dy$ ，速度差为  $du$ ，则在两侧流面上作用着与流动平行的剪应力（单位面积的粘性阻力） $\tau$  与  $du/dy$  成正比，即

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

比例常数  $\mu$  称为流体的动力粘度（动力粘性系数）。

液体的  $\mu$  随温度的上升而减小，随着压力的增加而增大。但  $30^\circ\text{C}$  以下水的  $\mu$  值，在定温下，以压力为  $1000\text{kgf/cm}^2$  左右时为最小。对于水，麦耶（Meyer）给出  $\mu = \mu_0 / (1 + c_1 t + c_2 t^2)$ 。气体的  $\mu$  值随温度的上升而增加，萨瑟朗（Sutherland）给出

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + c}{273 + t + c} \left( \frac{273 + t}{273} \right)^{3/2}$$

式中  $\mu_0$ —— $0^\circ\text{C}$  时的  $\mu$ ；

$t$ ——温度  $^\circ\text{C}$ ；

$c_1, c_2, c$ ——实验常数<sup>(4)</sup>。

再者，对于油类，大致为

$$\mu_p = \mu_1 e^{\alpha p}$$

式中  $\mu_p$ ——压力为  $p\text{kgf/cm}^2$  时的  $\mu$ ；

$\mu_1$ ——在  $1\text{atm}$  时的  $\mu$ ；

$\alpha$ ——油的种类常数，约为  $0.002 \sim 0.003\text{cm}^2/\text{kgf}$ 。

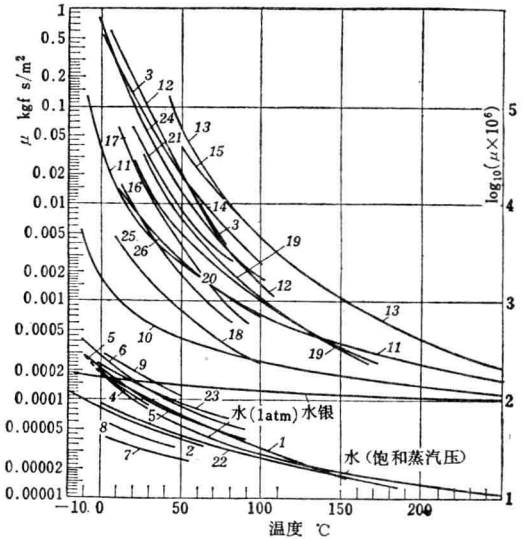


图 1 粘度与温度的关系(液体)

1—酒精 2—甲醇 3—甘油 4—海水(1.025) 5—10% 食盐 6—20% 食盐 7—汽油(0.694) 8—汽油(0.717) 9—煤油(0.813) 10—原油(0.855) 11—原油(0.925) 12—原油(0.96) 13—燃料油(0.984) 14—汽缸油(0.89) 15—汽缸油(0.928) 16—机械油(0.904) 17—机械油(0.91) 18—锭子油(0.88) 19—西方润滑油 SAE30 20—东方润滑油 SAE30 21—ガールモビル油 BB 22—苯 23—松节油 24—蓖麻油(0.964) 25—花生油 26—橄榄油(0.913) 括弧内的值是相对于  $4^\circ\text{C}$  水的比重

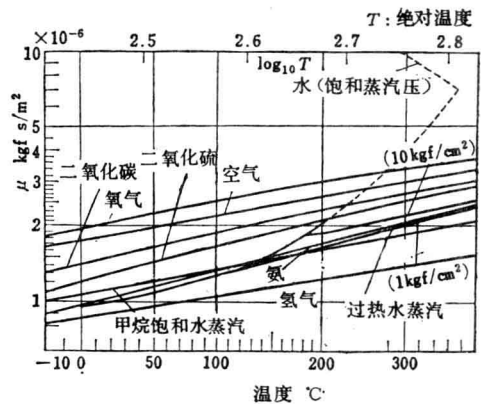


图 2 动力粘度与温度的关系(气体)

(4) 常数因适用的温度范围和实验公式的作者的 不同而多少有所差异。表 1、表 2 中不用此值。

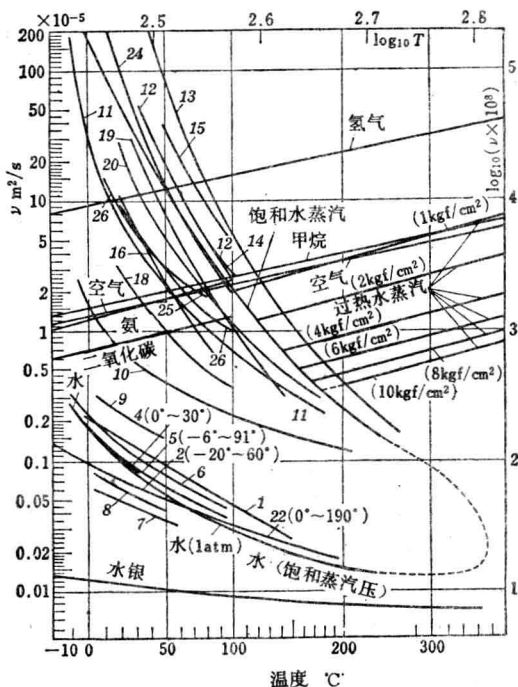


图3 运动粘度与温度的关系(图中符号与图1同)

$\mu$  的工程单位为  $\text{kgf} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ , 在 SI 单位制中为  $\text{Ns} / \text{m}^2$ , 在 CGS 单位制中为泊 (P)

$$\begin{aligned} 1 \text{ P} &= 1 \text{ g} / (\text{cm} \cdot \text{s}) \\ &= 1 \text{ dyn} \cdot \text{s} / \text{cm}^2 \\ &= 100 \text{ 厘泊 (cP)} \\ &= 0.1 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 (\text{Pas}) \\ &= 1/98.1 \text{ kgf} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \end{aligned}$$

运动粘度 (运动粘性系数)  $\nu = \mu / \rho$  的单位为  $\text{m}^2 / \text{s}$ , 单位  $\text{cm}^2 / \text{s}$  称为 沱, St, 0.01 沱 称为 厘沱

(cSt)。

各种流体的  $\mu$ 、 $\nu$  值见表 1、表 2 和图 1~图 4<sup>(5)</sup>。图中未特别注明的系 1 atm 时的值。

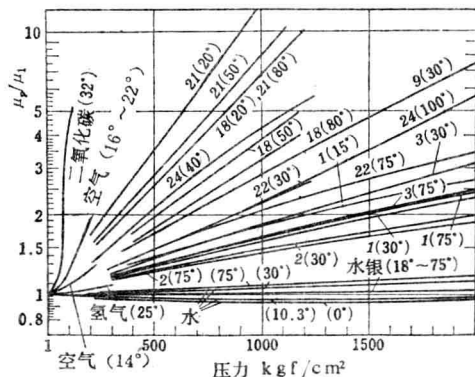


图4 动力粘度与压力的关系[图中符号与图1同, ( ) 中的值为温度°C]

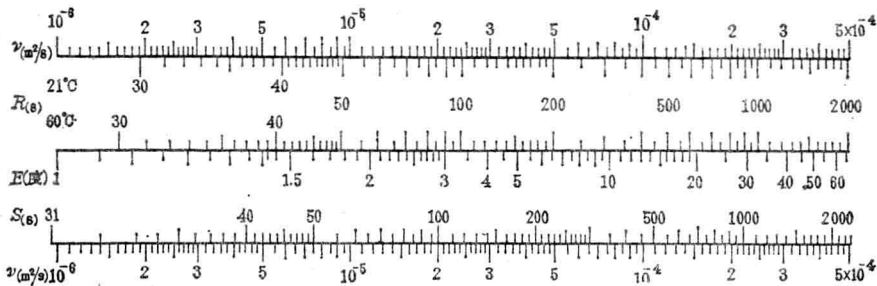
若用工业粘度计测定液体的粘性, 则工业粘度数与  $\nu$  之间大体上有如图 5 所示的关系。

商用雷氏秒 R, 恩氏粘度<sup>°E</sup>, 国际赛氏秒 S, 其数值间有如下的近似关系式:

$$\begin{aligned} \nu (\text{m}^2 / \text{s}) &= 0.245 \times 10^{-6} R \\ &= 7.60 \times 10^{-8} E \\ &= 0.220 \times 10^{-6} S \end{aligned}$$

#### 1.1.5 表面张力 H

液体的表面由于分子引力作用而收缩呈张紧的薄膜, 设想将此膜切开时, 则作用在单位长度上的牵引力称为表面张力。各种液体的 H 值列在表 9<sup>(6)</sup> 和表 10 中。H 值随温度的上升而减少, 在临界温度时为零。而且随表面生成后的时间而减少。在内半

图5 工业粘度与  $\nu$  的关系

(5) 脚注(1)および Trans. ASME, 57(1935), 193, 399; Wien, W. und Harms, F., Handbuch der Experimentalphysik, IV, 4 Teil(1932), Akademische Verlagsgesellschaft.

(6) 脚注(5)および Wien, W. und Harms, F., Handbuch der Experimentalphysik, VI (1928), Akademische Verlagsgesellschaft.