

177310

TM621.2  
3395

地方电厂岗位运行培训教材

# 锅 炉 运 行

辽宁省电力工业局

中国电力出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

锅炉运行/辽宁省电力工业局编. -北京: 中国电力出版社, 1995. 3 (1996 重印)

地方电厂岗位运行培训教材

ISBN 7-80125-241-1

I. 锅… II. 辽… III. 锅炉运行-技术培训-教材 IV. T  
K227

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 09048 号

中国电力出版社出版、发行  
(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)  
北京市京东印刷厂印刷  
各地新华书店经售

\*

1995 年 3 月第一版 1996 年 6 月北京第二次印刷  
787×1092 毫米 16 开本 28.75 印张 651 千字  
印数 10591—16660 册 定价 30.00 元

**版 权 专 有 翻 印 必 究**

**电力工业部水电开发与农村电气化司**  
**关于推荐《地方电厂岗位运行培训教材》**  
**一 书 的 通 知**

办农电 [1993] 155 号

各省、市、自治区电力局（农电局）：

近些年来，一大批小型供热发电机组相继投产，运行岗位新人员迅速增加。尽快提高运行人员技术素质，是确保地方电厂和电网安全经济运行的当务之急。

为了搞好运行人员技术培训，按部颁发《电力工人技术等级标准》（火力发电部分）和《火力发电厂运行岗位规范》的要求，我司委托辽宁省电力工业局，组织有较深造诣和现场经验丰富的技术人员，经过三年多的时间，编写出一套《地方电厂岗位运行培训教材》，分为汽轮机、锅炉、电气、化学等四个专业分册。本教材在收集近年来许多电厂运行资料的基础上，结合地方电厂运行人员的实际水平。在理论上由浅入深，在实际上注重可操作性，是小型火力发电厂运行人员岗位培训的理想教材。本教材将配有初、中、高三个技术等级的考核题库，可作为认定和晋升技术等级的考核依据。

1993年6月2日

# 前 言

近几年来，有一大批地方及企业自备电厂的小型供热发电机组相继投产，运行岗位新职工迅速增加。尽快提高运行人员的技术水平，是确保地方电厂和电网安全经济运行的当务之急。

为了搞好运行人员的技术培训，我局受电力工业部水电开发与农村电气化司的委托，依据部颁《电力工人技术等级标准》（火力发电部分）和《火力发电厂运行岗位规范》的要求，组织大连电力学校具有丰富教学经验的教师和一些地方电厂具有丰富运行经验的工程技术人员，经过三年多的时间，编写了本套《地方电厂岗位运行培训教材》。全套教材分为锅炉运行、汽轮机运行、电气运行和电厂化学四个分册。

本套教材根据地方电厂发电设备运行的实际情况和运行人员的特点，从实用性出发，在系统全面的基础上，理论突出重点，实践注重技能操作，便于自学和培训，对地方电厂运行工人掌握应知专业理论知识和应会操作技能将起很大作用。

本套教材作为从事6~25MW火力发电机组运行工作、具有高中文化程度的运行人员培训教材，也可作为电力中等专业学校和技工学校的教学参考书。

为配合本套教材的教学、考核命题以及运行工人平时带着问题自学的需要，我们还将配套编写出版一套《地方电厂运行人员技术等级考核题库》。本套教材和考核题库可作为认定和晋升技术等级的考核依据。

在本书的编写中力求密切联系生产实际，突出地方中小型电厂锅炉的特点。由于地方中小型电厂的锅炉炉型较杂，为适应不同炉型运行人员培训的需要，本教材共分五篇，基础知识篇中介绍锅炉专业的基础知识和各种不同燃烧方式锅炉有共性的内容，其余各篇分别介绍煤粉炉、旋风炉、层燃炉燃烧设备及运行，余热锅炉设备及运行，循环流化床锅炉燃烧设备及运行。

本书由大连电力学校于临杰担任主编，李文艺负责编写第一、七章，徐百业负责编写第五、八、九、十章，刘早霞负责编写第二、三、四、六章；锦州热电公司韩维涛负责编写第十一、十二、十七至二十一章；大连热电公司张志万、门文安负责编写第十三至十六章，姚大成负责编写第二十二、二十三章；大连水泥厂杨喜芳负责编写第二十四、二十五章；大连热电公司崔洪双、邵国军负责编写第二十六至三十章。辽宁省电力工业局高级工程师张菊珍、庞经颢负责审稿，最后由庞经颢审定。

限于编者水平和经历有限，书中难免存在不妥之处，希望读者批评指正。

辽宁省电力工业局

1994年6月

# 目 录

前 言

## 第一篇 通用基础知识篇

第一章 锅炉专业基础知识 .....	1
第一节 流体力学基本知识 .....	1
第二节 热力学基本知识 .....	22
第三节 传热学基本概念 .....	30
第四节 热工测量仪表及自动调节 .....	33
第二章 中小型电站锅炉简介 .....	46
第一节 锅炉的组成及工作过程 .....	46
第二节 几种典型的燃烧方式 .....	47
第三节 锅炉的分类和型号 .....	50
第三章 燃料 .....	51
第一节 概述 .....	51
第二节 煤的成分及其性质 .....	51
第三节 煤的主要特性 .....	56
第四节 煤的分类 .....	59
第四章 制粉设备 .....	60
第一节 煤粉性质 .....	60
第二节 磨煤设备 .....	63
第三节 制粉系统 .....	71
第四节 制粉系统辅助设备 .....	74
第五章 燃烧原理及热平衡 .....	83
第一节 燃料的燃烧 .....	83
第二节 燃烧过程 .....	86
第三节 锅炉热平衡及热经济性分析 .....	90
第六章 蒸发设备及蒸汽净化 .....	98
第一节 蒸发设备 .....	98
第二节 自然水循环原理 .....	102
第三节 水循环故障 .....	106
第四节 蒸汽净化 .....	109
第七章 过热器与汽温调节设备 .....	121
第一节 概述 .....	121
第二节 过热器的结构与特性 .....	121

第三节	热偏差	125
第四节	汽温调节设备	127
第五节	过热器系统举例	131
第六节	过热器管损坏及处理	132
第八章	省煤器与空气预热器	133
第一节	省煤器	133
第二节	空气预热器	135
第三节	省煤器与空气预热器的故障及其预防	137
第九章	锅炉附件	140
第一节	安全门	140
第二节	水位计	142
第三节	吹灰器	146
第十章	锅炉的辅助设备	149
第一节	给水系统及其阀门	149
第二节	锅炉的通风设备	152
第三节	除尘设备	153
第四节	除灰设备	156
第十一章	新设备投产	161
第一节	概述	161
第二节	锅炉的水压试验	161
第三节	漏风试验	166
第四节	转动机械试运行	168
第五节	锅炉的保护及联锁试验	170
第六节	烘炉	171
第七节	煮炉	173
第八节	锅炉的化学清洗	177
第九节	锅炉并汽前的试验、调整及冲洗蒸汽管路工作	181
第十二章	锅炉运行管理简介	185
第一节	安全生产制度	185
第二节	岗位责任制	185
第三节	交接班制度	187
第四节	巡回检查制度	189
第五节	设备定期试验、维护、轮换制度	190
第六节	办理热力机械工作票和设备验收制度	191
第七节	操作联系制度	192
第八节	运行分析制度	193
第九节	经济工作制度	193
第十节	现场培训制度	194
第十一节	文明生产制度	194

## 第二篇 煤粉炉燃烧设备及运行

第十三章 煤粉炉燃烧设备 .....	196
第一节 概述 .....	196
第二节 炉膛 .....	197
第三节 燃烧器 .....	199
第四节 点火装置 .....	205
第十四章 煤粉炉整体布置 .....	207
第一节 煤粉炉的主要参数和整体布置 .....	207
第二节 煤粉炉的结构特点 .....	208
第十五章 煤粉炉的运行 .....	214
第一节 概述 .....	214
第二节 煤粉炉的启动 .....	214
第三节 煤粉炉的停运 .....	231
第四节 停炉后的保养 .....	234
第五节 煤粉炉的运行调节 .....	236
第十六章 煤粉炉的事故处理 .....	253
第一节 水位事故 .....	253
第二节 燃烧事故 .....	255
第三节 受热面损坏事故 .....	256
第四节 厂用电中断事故 .....	258

## 第三篇 旋风炉燃烧设备及运行

第十七章 立式旋风炉概况 .....	262
第一节 立式旋风炉的一般概念和特点 .....	262
第二节 立式旋风炉的燃烧过程 .....	264
第十八章 75t/h 液态排渣立式旋风炉的整体布置 .....	266
第一节 概述 .....	266
第二节 旋风筒 .....	267
第三节 二次室 .....	270
第四节 水循环回路的组成 .....	271
第五节 汽包 .....	272
第六节 过热器 .....	273
第七节 减温器 .....	273
第八节 省煤器和空气预热器 .....	274
第十九章 立式旋风炉对燃料的要求 .....	276
第一节 煤灰成分对灰的熔融特性的影响 .....	276
第二节 添加剂的掺量在现场的实际应用 .....	279
第三节 立式旋风炉对煤粉细度的要求 .....	280
第四节 立式旋风炉对燃料的适应性 .....	281

第二十章 立式旋风炉炉衬的养护、烘干与热处理 .....	283
第一节 炉衬的低温养护 .....	283
第二节 炉衬的烘干与热处理 .....	283
第二十一章 立式旋风炉的运行及常见故障 .....	286
第一节 旋风炉启动与停炉的特殊要求 .....	286
第二节 旋风炉的故障及其处理 .....	286

#### 第四篇 层燃炉燃烧设备及运行

第二十二章 层燃炉的燃烧设备 .....	299
第一节 层燃炉的工作特性及其在中小型电厂的应用 .....	299
第二节 层燃炉的燃烧设备 .....	302
第三节 层燃炉的整体布置 .....	316
第四节 层燃炉的燃烧过程 .....	321
第二十三章 层燃炉的运行及常见故障 .....	329
第一节 层燃炉的运行 .....	329
第二节 链条炉的燃烧调节 .....	329
第三节 链条炉的常见故障 .....	332

#### 第五篇 余热锅炉设备及运行

第二十四章 余热锅炉设备 .....	334
第一节 概述 .....	334
第二节 余热锅炉的分类 .....	335
第三节 HG-F 2900-1 型余热锅炉的结构 .....	338
第四节 余热锅炉设备的组成及作用 .....	341
第五节 余热锅炉的辅助设备 .....	352
第六节 余热锅炉的工作过程 .....	354
第二十五章 余热锅炉的运行及常见故障 .....	356
第一节 余热锅炉的启动与停炉 .....	356
第二节 余热锅炉运行的监视与调整 .....	358
第三节 余热锅炉事故的处理及预防 .....	362

#### 第六篇 循环流化床锅炉设备及运行

第二十六章 循环流化床锅炉基本概况 .....	364
第一节 循环流化床锅炉发展状况 .....	364
第二节 循环流化床锅炉的主要优缺点 .....	365
第三节 循环流化床锅炉的分类 .....	366
第二十七章 循环流化床锅炉基本原理 .....	368
第一节 基本概念 .....	368
第二节 流化床的形成 .....	373
第三节 炉内动力特性 .....	375



第四节	煤的燃烧与炉内传热 .....	379
第二十八章	循环流化床锅炉主要设备及作用 .....	386
第一节	燃烧设备 .....	386
第二节	物料循环系统 .....	391
第三节	燃煤制备系统 .....	400
第四节	风烟系统 .....	407
第五节	除渣除灰系统 .....	410
第二十九章	典型循环流化床锅炉介绍 .....	414
第一节	芬兰奥斯龙公司 Pyroflow 型循环流化床锅炉 .....	414
第二节	德国鲁奇公司鲁奇型循环流化床锅炉 .....	416
第三节	美国福斯特惠勒公司 FW 型循环流化床锅炉 .....	417
第四节	德国拔柏葛公司的 Circofluid 型循环流化床锅炉 .....	420
第五节	中国科学院工程热物理研究所研制的分级分离循环流化床锅炉 .....	422
第六节	清华大学热能工程系研制的具有 S 型平面流分离器的循环流化床锅炉 .....	428
第七节	哈尔滨工业大学研制的 75t/h 循环流化床锅炉 .....	433
第三十章	循环流化床锅炉的运行 .....	437
第一节	循环流化床锅炉的启动和停炉 .....	437
第二节	循环流化床锅炉的运行调节 .....	441
第三节	循环流化床锅炉运行中出现的问题与处理 .....	445

# 第一篇 通用基础知识篇

## 第一章 锅炉专业基础知识

### 第一节 流体力学基本知识

#### 一、流体的基本物理性质

流体是液体和气体的总称。流体力学是研究静止流体的力学规律和运动流体的能量转化及能量损失规律的一门学科。

在火力发电厂中，不但有很多热力设备的工作与流体力学有着密切关系，而且在这些设备和管路上还有不少压力计、流量计、测速表等测量仪器，也是根据水力学原理制成的。因此要学好专业课，必须掌握流体力学的基本知识。

流体的静止与运动规律不仅受到外部条件的制约，同时也与流体自身的物理性质有关。因此下面我们首先介绍一下流体的基本物理性质，其中包括：流体的流动性、惯性、压缩性、膨胀性和粘滞性。

#### （一）流体的流动性

流体的流动性是流体的基本特性。它是在流体自身重力或外力作用下产生的，也是流体容易通过管道输送的原因。流体之所以有这样的特性，是由构成它的分子决定的。液体和气体分子间的引力同固体分子间的引力相比都是很小的，这是流体在力作用下容易产生流动的根本原因。液体分子间的引力比气体大，其分子间隙小，排列紧密，在压力变化不十分大的情况下，体积基本保持不变，所以液体称为不可压缩流体；气体则不然，分子间隙大而且松散，在压力变化不大的情况下，体积就有明显的变化，所以气体称为可压缩流体。本书讲述的是不可压缩流体。

#### （二）流体的质量与惯性

物体的质量是指物体所含物质的多少，物体所含物质越多，其质量越大，所含物质越少，其质量也就越小。物体的质量与惯性有一定的关系：物体质量越大，惯性越大；物体质量越小，则惯性也越小。物体受力后运动状态要发生变化，改变物体运动状态的难易程度说明物体惯性的大小，物体受力后容易改变运动状态，说明它惯性小，反之，惯性就大。

力是使物体运动状态改变的原因，即产生加速度的原因。对一定质量的物体，对它施加的作用力越大，则产生的加速度也越大；当加速度一定时，质量越大，则所需的作用力也越大。作用力、质量与加速度的关系如下：

$$F = ma \quad (1-1)$$

式中  $F$ ——作用力，N；

$m$ ——物体的质量, kg;

$a$ ——物体的加速度,  $m/s^2$ 。

加速度的含义是, 一个运动的物体每秒钟内产生的速度变化量。比如一个运动物每秒速度的增加量为  $5m$ , 则加速度  $a = 5m/s^2$ ; 若每秒的速度的减少量为  $5m$ , 则加速度  $a = -5m/s^2$ 。单位为米每平方秒 ( $m/s^2$ )。

作用力的单位为牛顿 (N), 它的定义是使  $1kg$  质量的物体产生  $1m/s^2$  加速度的力, 即  $1N = 1kg \cdot m/s^2$ 。

物体质量的大小取决于物体所含物质的多少, 其所含的物质是不因物体所处的位置不同而改变的, 所以物体的质量在任何地方都是一个恒定值。而物体的重量则不然, 物体的重量是地球对它的吸引力。这个引力不仅与物体的质量有关, 还与物体所处的位置有关。同一物体, 距地心越远, 则物体所受引力越小, 重量也越轻; 物体距地心越近, 其引力就越大, 物体就越重。

物体受地心引力, 使落体产生一个加速度, 物体所受引力越大, 所产生的加速度也越大。物体的重力 (重量)、质量与加速度的关系与式 (1-1) 相似, 是它的一个特例, 即

$$G = mg \quad (1-2)$$

式中  $G$ ——物体的重量, N;

$m$ ——物体的质量, kg;

$g$ ——物体的重力加速度,  $m/s^2$ 。

流体和其他物体一样, 同样具有质量和惯性。在流体力学中常常用到单位体积流体所具有的重量和质量的概念。

单位体积的流体所具有的质量称密度, 用符号  $\rho$  表示, 即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-3)$$

式中  $\rho$ ——流体的密度,  $kg/m^3$ 。

在压力一定时, 流体的密度随温度的增加而减小; 当温度一定时, 流体的密度随压力的增加而增加。

### (三) 流体的压缩性与膨胀性

流体体积的大小随它所受压力的变化而变化。作用在流体上的压力增加, 流体体积将缩小, 这称流体的压缩性。流体的压缩性是用流体的压缩系数来表示的, 它表示在流体温度不变时, 每增加单位压力, 单位流体体积的缩小量, 即

$$k_p = -\frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta p} \quad (1-4)$$

式中  $k_p$ ——流体压缩系数,  $1/Pa$ ;

$\frac{\Delta V}{V}$ ——单位体积的缩小量;

$\Delta p$ ——压力增加量, Pa。

流体的体积还随温度变化而变化, 当温度升高时, 则体积膨胀, 这称流体的膨胀性。流

体的膨胀性用流体的膨胀系数表示，它表示流体压力不变时，温度每增加 1℃，单位体积的增加量。即

$$\alpha_v = \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta t} \quad (1-5)$$

式中  $\alpha_v$ ——流体膨胀系数，1/K；

$\frac{\Delta V}{V}$ ——单位体积的膨胀量；

$\Delta t$ ——温度增加量，K。

液体的膨胀系数和压缩系数一般都很小。水的压缩系数为万分之零点五左右，其膨胀系数在 100℃ 以下时，也很少超过万分之七。其他液体也有类似属性。当液体所受压力和温度变化不大时，所引起的液体体积变化量很小，故液体称不可压缩流体。

#### (四) 流体的粘滞性

我们取两块大小相等的玻璃板，中间夹一层薄油层，将下一块玻璃板固定，然后拖动上一块玻璃板，我们会感到比较费力；如果将两块玻璃板中间换上一层水，然后以相同速度拖动上一块玻璃板，则感到费力较小，这说明油的粘性比水的粘性大。对同一种液体来说，拖动上一块玻璃板的速度越大，所需的力也越大。

现就图 1-1 表述的流体层内部的运动情况如下：将上下玻璃板间的流体层分成极多的微层，当上玻璃板以  $u_0$  速度向前运动时，紧挨着上玻璃板的流体微层，由于粘附作用使这一流体微层与上玻璃板同样的速度运动，而紧挨着下玻璃板的流体微层则与下玻璃板一样，速度为零。显然流体各微层间存在着相对运动，并在层间产生内摩擦力。流体运动时，流体间产生内摩擦力的性质叫流体的粘滞性。内摩擦力具有阻止运动的性质，是流体运动时产生能量损失的原因。

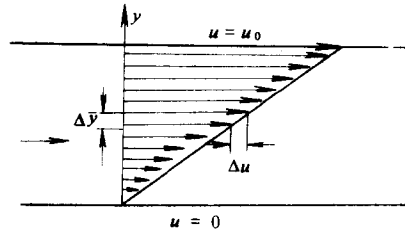


图 1-1 流体流速分布图

由实验得出内摩擦力的公式如下：

$$F = \mu A \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (1-6)$$

式中  $F$ ——内摩擦力，N；

$\mu$ ——动力粘滞系数，Pa·s；

$A$ ——流层间接触面积，m<sup>2</sup>；

$\frac{\Delta u}{\Delta y}$ ——垂直于运动方向的速度梯度，1/s。

气体的粘滞性系数，随温度的升高而升高；液体的粘滞性系数则随温度升高而降低。在电厂设备运行中，不同的设备对流体粘性要求不同，这要根据具体情况而定。比如锅炉燃烧重油时，为了降低油的粘滞性便于管路输送，输油前要在储油罐内预先加热至一定温度；在入炉前，为保证燃油的雾化质量，在油罐至锅炉的输油管路上装设油加热器，使油进一

步升温。相反，对一些转动设备的轴承润滑，则要求油具有一定的粘滞性，以保证油膜的形成。所以，润滑油一般要求油温不超过 60℃，如果油温太高，粘滞性太小，妨碍油膜的形成，使轴与轴承之间产生直接摩擦，导致化瓦事故。

在工程计算中，常采用运动粘滞系数，它的定义是动力粘滞系数  $\mu$  与其密度  $\rho$  的比值。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

式中  $\nu$ ——运动粘滞系数， $\text{m}^2/\text{s}$ 。

运动粘滞系数  $\nu$  的大小与流体的种类和温度有关，见表 1-1。

表 1-1 水与空气在标准压力下的运动粘滞系数

温度 $t$ (°C)	水		空气 $\nu \times 10^6$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
	$\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\nu \times 10^6$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	
0	999.87	1.79	13.70
10	999.73	1.31	14.70
20	998.23	1.01	15.70
30	995.67	0.81	16.60
40	992.24	0.66	17.60
50	988.07	0.55	18.60
60	983.24	0.48	19.60
70	977.81	0.42	20.45
80	971.83	0.37	21.70
90	965.34	0.33	22.90
100	958.38	0.30	23.78

## 二、水静力学基本知识

### (一) 液体静压力

如图 1-2 所示，在水坝的侧壁面上，任取一面积  $A$ ，在此面积上作用着垂直力  $F$ ，则作用在此单位面积的力称平均静压力，即

$$\bar{p} = \frac{F}{A} \quad \text{N}/\text{m}^2 \quad (1-7)$$

若把此面积  $A$  无限地缩小，且趋向  $O$  点，那么在此无限小面积上的平均静压力，就是无限小面积上的真实静压力，称此压力为点静压力。

$$p_0 = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{F}{A} \quad \text{N}/\text{m}^2 \quad (1-8)$$

液体静压力具有如下特性：

第一个特性：液体静压力总是垂直并指向作用面的。这一特性可以通过演示实验得到证实，如图 1-3 所示。我们取一个乒乓球，在球面的不同方位开些小孔，再将球与注射器内充满水，将球与注射器如图连接起来，推动注射器柱塞，我们会发现球面上的水柱射向四

面八方，其水柱皆与球的壁面相垂直。

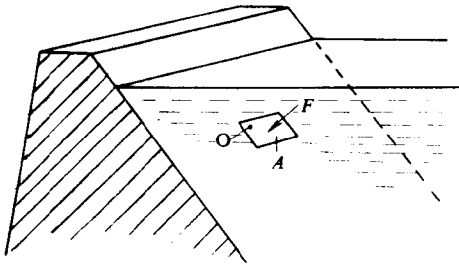


图 1-2 液体静压力

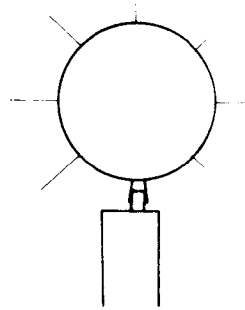


图 1-3 静压力特性

第二个特性：液体内任一点的各个方向的液体静压力均相等。

(二) 液体静力学基本方程式

静力学基本方程式是计算液体任一点静压力的计算式。

如图 1-4 所示，有一方柱形盛有液体的桶，其横截面积为  $A$ ，液面作用着压力  $p_0$ ，桶底向上作用着压力  $p$ ，液柱高为  $h$ ，液体密度为  $\rho$ ，则由桶底向上的作用力等于液面上的作用力与液柱重量之和，即

$$pA = p_0A + \rho ghA$$

上式除以面积  $A$

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-9)$$

式中  $p_0$ ——作用在液面上的压力， $N/m^2$ ；

$p$ ——液深为  $h$  处的静压力， $N/m^2$ ；

$g$ ——重力加速度， $m/s^2$ ；

$h$ ——液体深度， $m$ ；

$\rho$ ——液体的密度， $kg/m^3$ 。

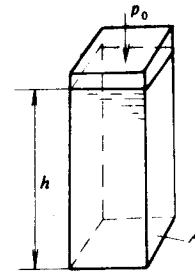


图 1-4 液柱压力

上式称水静力学基本方程式。所求液体任

一液点的压力等于液面上的压力  $p_0$  加上液体密度、重力加速度、液柱高三者的乘积。在特定的情况下， $p_0$  与  $\rho$  是个常数，这时液体的静压力只与深度  $h$  成正比，即  $h$  越大，静压力也越大。

在国际单位制中的压力单位为牛顿每平方米 ( $N/m^2$ )，用符号 Pa 表示，称“帕斯卡”，简称“帕”。它的定义是：1N 的力均匀分布在  $1m^2$  面积上所形成的压力。

过去常用的压力单位还有工程大气压和物理大气压。

工程大气压：1kg 的力均匀分布在  $1cm^2$  面积上形成的压力。

物理大气压（标准大气压）：在纬度  $45^\circ$  海平面上常年平均气压规定为物理大气压，其值为 760mm 水银柱所产生的压力。几种压力换算表见表 1-2。

锅炉上常用的压力单位为兆帕 (MPa)，其含义是兆帕或百万帕。工程上常把一工程大气压近似写成  $0.098MPa$ ，由此我们可把任一工程大气压换算成以兆帕为单位的压力。根据

需要，也可以 1000Pa 为单位，写成 kPa。

表 1-2 压力换算表

数 单位名称 值 单位名称	物理大气压 (kgf/cm <sup>2</sup> )	工程大气压 (kgf/cm <sup>2</sup> )	毫米汞柱 (mmHg)	帕 (Pa)	毫米水柱 (mmH <sub>2</sub> O)
1 物理大气压 (kgf/cm <sup>2</sup> )	1	1.0332	760	1.01325×10 <sup>5</sup>	1.0336×10 <sup>4</sup>
1 工程大气压 (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.967841	1	735.559	9.80665×10 <sup>4</sup>	1×10 <sup>4</sup>
1 毫米汞柱 (mmHg)	0.00132	0.00136	1	133.3224	13.6
1 帕 (Pa)	0.987×10 <sup>-5</sup>	1.0197×10 <sup>-5</sup>	75×10 <sup>-4</sup>	1	0.102
1 毫米水柱 (mmH <sub>2</sub> O)	9.6749×10 <sup>-5</sup>	10×10 <sup>-4</sup>	0.0736	9.81	1

**【例题 1】** 如图 1-5 (a) 所示，有一水管道，管道上有一压力表，表的指示压力  $p_0 = 196.14\text{kPa}$ ，压力表距管子中心处距离为 1m，求管中心处静压力  $p_B$  为若干。

**解** 此题的所求点压力  $p_B$  在已知点压力  $p_0$  之下，这一点与静力学基本方程的情况完全相同，故把已知数直接代入方程即可。水的密度  $\rho = 1000\text{kg/m}^3$ ，则

$$\begin{aligned} p_B &= p_0 + \rho gh \\ &= 196.14 + \frac{1000 \times 9.807 \times 1}{1000} \\ &= 205.94 \text{ (kPa)} \end{aligned}$$

**【例题 2】** 如图 1-5 (b) 所示，当表的指示压力  $p_0 = 215.754\text{kPa}$  时，表距管子中心线仍为 1m，求管子中心的静压力  $p_B$ 。

**解** 此题所求点静压力在已知点之上，所求点压力比已知压力小  $\rho gh$ 。

$$\begin{aligned} p_B &= p_0 - \rho gh \\ &= 215.754 - \frac{1000 \times 9.807 \times 1}{1000} \\ &= 205.94 \text{ (kPa)} \end{aligned}$$

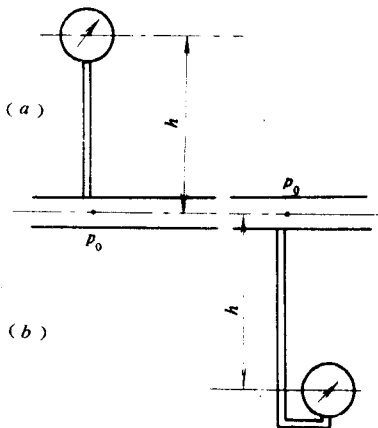


图 1-5 测管道压力

根据上述例题可以得出以下结论：当所求点在已知点之下时，则所求点压力等于已知点压力加上由液柱所引起的压力；当所求点的压力在已知点之上时，则所求点压力等于已知点的压力减去由液柱引起的压力。

### (三) 绝对压力与表压力

容器内介质压力有的高于大气压力，有的低于大气压力。介质压力高于大气压的称正压，低

于大气压的称负压。火力发电厂中处于正压下工作的设备有：锅炉汽包、蒸汽管路、给水管路等；处于负压下工作的设备有：负压燃烧炉膛、吸风机前烟道及制粉系统等。

压力按压力基准不同分为绝对压力与表压力。绝对压力是指容器内完全没有压力时作为压力起点算起的压力，记为  $p_i$ ；而表压力是以大气压力为起点算起的压力，记为  $p_b$ 。所以表压力是指高于或低于大气压力的压力。前者数值为正，后者数值为负。负压有时称真空，如凝汽器真空。

上述的压力关系是：绝对压力  $p_i$  等于大气压力  $p_a$  与表压力  $p_b$  之和，即

$$p_i = p_a + p_b \quad (1-10)$$

绝对压力、表压力的含义与它们的关系可由图 1-6 得到理解。

**【例题 3】** 1 个工程大气压等于 0.098MPa，试向汽包压力为 39 绝对大气压等于多少兆帕，其汽包上压力表指示压力为多少兆帕？

**解** 39 绝对大气压的兆帕值为

$$39 \times 0.098 = 3.822(\text{MPa})$$

汽包压力表指示压力为

$$p_i = p_a + p_b$$

$$p_b = p_i - p_a$$

$$= 3.822 - 0.098$$

$$= 3.724 (\text{MPa})$$

当所求压力比较高时，大气压力  $p_a$  取 0.098MPa，即取一个工程大气压。

**【例题 4】** 当地大气压力为 750mmHg，若凝汽器真空（负压）为 730mmHg，试问凝汽器的绝对压力是多少？

**解**

$$p_i = p_a + p_b$$

$$= 750 + (-730)$$

$$= 20 (\text{mmHg})$$

**【例题 5】** 分析水位计水位低于汽包水位的原因。

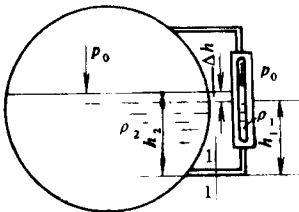


图 1-7 水位计

**分析** 图 1-7 为汽包水位计示意图。作用在汽包与水位计液面的压力为  $p_0$ 。在水连通管上取断面 1-1，水位处于稳定的情况下，从断面左侧来自汽包液柱产生的压力等于断面右侧来自水位计液柱产生的压力，故有

$$p_0 + \rho_2 g h_2 = p_0 + \rho_1 g h_1$$

$$\rho_2 h_2 = \rho_1 h_1$$

$$(1-11)$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{h_1}{h_2}$$

上式说明，在液面作用压力相同的情况下，液体密度与液柱高成反比。由于水位计及

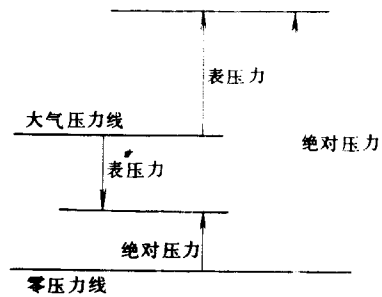


图 1-6 绝对压力与表压力关系



连通管散热较强，水位计内的水温比汽包内的水温低，水位计中水的密度比汽包中水的密度大，故水位计的液位高  $h_1$  小于汽包中液位高  $h_2$ 。

#### (四) 液柱式压力计

测量压力的仪器，叫压力计。压力计的种类较多，其中一类叫液柱式压力计，即利用液柱高度的大小表示压力。用它来测量较低的正压、压差及负压。常用的有测压管和差压计等。

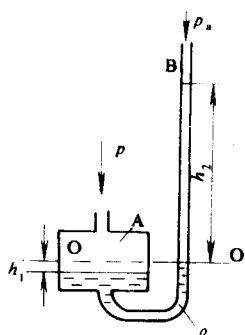


图 1-8 单管压力计

液柱式压力计是由液柱高度测量压力数值的。它的构造简单，使用方便，测量准确度高。按结构形式的不同，液柱式压力计分为单管压力计、多管压力计、差压计和倾斜式微压计。

##### 1. 单管压力计

单管式压力计如图 1-8 所示，玻璃管 B 的上端与大气相通，下边与宽容器 A 相连，被测介质用连接管由宽容器上方引入。根据测压管中液面升高来测定流体中的静压力。测量前宽容器 A 的液面为 O-O，测量压力时，容器 A 的液面下降  $h_1$ ，而测压管中液面上升了  $h_2$ ，形成液面高差  $h = h_1 + h_2$ 。液柱  $h$  引起的压力才是被测压力的真正值。为了读数的方便，我们必须用从 O-O 面算起的  $h_2$  代替  $h$ 。为此我们必须设法使  $h_1$  小到可以忽略才行，这时我们可以认定

$$h = h_2$$

被测压力为

$$p = \rho g h_2$$

为使  $h_1$  尽量小，就必须使宽容器的水平截面积尽可能地大。通常，宽容器的截面积要比所有测量管的截面积大 500 倍。

**【例题 6】** 有一锅炉的二次风压读数  $h = 80\text{mmH}_2\text{O}$ ，试求二次风压是多少帕。

**解** 二次风压（参看图 1-8）

$$\begin{aligned} p &= \rho g h \\ &= 10^3 \times 9.807 \times 0.08 \\ &= 784.56 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

##### 2. 多管式压力计

由于工作上常需要同时测量几个点的压力，因此出现了多管式压力计。这种压力计用于测量锅炉的烟道、风道、制粉系统等管道上的压力。多管式压力计见图 1-9。测量正压的多管压力计的宽容器装在仪表背面的上部，标尺刻度的零点在上方，刻度值自上而下加大；测负压的多管压力计的宽容器装在仪表背面的下部，标尺刻度零点在下方，刻度值自下而上加大。另外还有一根玻璃管通大气，用以校对仪表的零点。由于测量的需要也出现了同时能测正、负压的多管式压力计。

以水为测量介质的测压管，一般不超 10kPa，这样的测压管在使用上已感到不便。为解