

# 焦炉热工测试与调节

严文福 郑明东 编 著

冶金工业出版社

# 焦炉热工测试与调节

严文福 郑明东 编著

馆

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

### 内 容 摘 要

本书根据作者长期从事教学、科研以及我国炼焦生产经验编写而成。全书分为五章。第一章阐述焦炉热工基础理论,介绍流体力学和传热学理论及其在炼焦炉上的运用。第二章介绍焦炉常规调火操作,九种温度、五种压力的确定与测量,以及现代测温技术。第三章根据热平衡分析法及对我国 30 余座焦炉的测试实践,阐述焦炉热工测试与评定,提出了一系列独特的测试方法和计算公式,以及计算煤气发生量的修正式、计算成焦率的测算图。第四章运用烟分析法分析评价炼焦过程中能量在数量和质量上转换、损耗,提出了炼焦炉的三种烟平衡、七种烟效率的定义与计算方法。第五章介绍常用的及发展中的热工测试与调节仪表。为方便读者,书末附有常用的热工参数表。

本书内容丰富,理论性、实践性、系统性、实用性强,可供焦化、煤气、能源等企事业单位工人、技术人员和管理干部阅读,也可作为大专院校煤化工、热能及相关专业师生的教学用书和参考书。

## 焦炉热工测试与调节

严文福 郑明东 编著

\*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号)

武汉钢铁学院印刷厂印刷

\*

850×1168 1/32 印张 11.6 字数 300 千字

1994 年 5 月第一版 1994 年 5 月第一次印刷

印数:00,001~04,000 册

ISBN 7-5024-1647-1

TQ·72 定价 11.00 元

## 前 言

炼焦炉是一种复杂的热工设备,它消耗大量一次能源(洗精煤),同时又产生大量优质的二次能源(焦炭、焦炉煤气、焦油、粗苯等),因此它又是一种重要的能源转换装置。对焦炉进行热工测试与调节,是一项基础技术工作。通过测试和调节,可以达到节能降耗的目的和对焦炉作出评价。据此,为发展焦炉热工测试和调节技术,作者根据自己长期从事教学、科研以及我国炼焦生产经验编写了《焦炉热工测试与调节》一书。

本书第一章和第四章由严文福编写,第五章由郑明东编写,第二章和第三章由严文福、郑明东等合编,其中第三章第七节由万红根、单成齐编写。全书由严文福统稿,由武汉钢铁学院吕佐周副教授编审,由华东冶金学院姚昭章教授、鞍山焦化耐火材料设计研究院杨厚斌高级工程师评审。在本书编写出版过程中,还得到马鞍山钢铁公司焦化厂厂长朱良钧、济南钢铁公司焦化厂厂长张兆龙、山东省焦化学术委员会秘书长宫玉秀、淮阴冶金工业总公司焦化厂厂长张汉水、新余煤气公司经理叶志清、淄博焦化煤气公司经理姚一毫、合肥煤气总公司制气厂厂长李葆平、铜陵焦化厂厂长龚铜付、马鞍山信达金属加工厂厂长谢无极等大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,书本难免有错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

一九九四年四月

# 目 录

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>第一章 炼焦炉内气体的流动和传热</b> .....   | (1)   |
| 第一节 炼焦炉的发展与炉型.....              | (1)   |
| 第二节 焦炉内气体流动.....                | (4)   |
| 第三节 热力学基本概念与定律 .....            | (33)  |
| 第四节 煤气性质与煤气燃烧 .....             | (44)  |
| 第五节 焦炉传热 .....                  | (50)  |
| <b>第二章 炼焦炉加热调节</b> .....        | (65)  |
| 第一节 焦炉机械与出炉操作 .....             | (65)  |
| 第二节 煤气设备 .....                  | (78)  |
| 第三节 焦炉加热制度 .....                | (83)  |
| 第四节 用焦炉煤气加热的调节 .....            | (99)  |
| 第五节 用贫煤气加热的调节.....              | (130) |
| 第六节 焦炉高向加热.....                 | (145) |
| 第七节 焦炉现代测温管理.....               | (148) |
| <b>第三章 焦炉热工测试与评定</b> .....      | (159) |
| 第一节 焦炉热工测试概况.....               | (159) |
| 第二节 焦炉物料衡算.....                 | (165) |
| 第三节 焦炉热量平衡.....                 | (197) |
| 第四节 焦炉热工评定指标.....               | (217) |
| 第五节 计算实例.....                   | (221) |
| 第六节 降低炼焦耗热量的主要途径与调节.....        | (232) |
| 第七节 特种焦炭生产的热工特性.....            | (244) |
| 第八节 焦炉热工数学模型.....               | (248) |
| <b>第四章 烟分析法及其在炼焦炉上的应用</b> ..... | (254) |
| 第一节 烟与炆的基本概念 .....              | (254) |

|             |                                   |       |
|-------------|-----------------------------------|-------|
| 第二节         | 烟及其计算 .....                       | (259) |
| 第三节         | 烟平衡与烟损(耗) .....                   | (284) |
| 第四节         | 烟效率 .....                         | (290) |
| 第五节         | 烟分析法在炼焦炉上的应用 .....                | (294) |
| <b>第五章</b>  | <b>焦炉热工测试仪表</b> .....             | (313) |
| 第一节         | 概述 .....                          | (313) |
| 第二节         | 测温仪表 .....                        | (314) |
| 第三节         | 测压仪表 .....                        | (323) |
| 第四节         | 流量测量计 .....                       | (328) |
| 第五节         | 成分分析仪 .....                       | (334) |
| 第六节         | 其他分析仪器 .....                      | (342) |
| <b>参考文献</b> | .....                             | (345) |
| <b>附录</b>   | .....                             | (348) |
| 附录 1        | 压力单位换算表 .....                     | (348) |
| 附录 2        | 能量(功)单位换算表 .....                  | (349) |
| 附录 3        | 焦炭中灰分、固定碳和挥发分的比热 .....            | (349) |
| 附录 4        | 不同温度下各种气体与水汽的平均比热 .....           | (350) |
| 附录 5        | 焦炉煤气、高炉煤气及其废气的比热<br>与温度的关系图 ..... | (351) |
| 附录 6        | 不同温度下水蒸汽在煤气中的分压及其含量<br>.....      | (354) |
| 附录 7        | 局部阻力系数表 .....                     | (356) |
| 附录 8        | 元素的化学烟与温度修正系数表 .....              | (360) |

# 第一章 炼焦炉内气体的流动和传热

## 第一节 炼焦炉的发展与炉型

烟煤隔绝空气加热到  $1000 \pm 50^{\circ}\text{C}$ ，经过干燥、热解、熔融、粘结、固化、收缩等阶段，最终成为焦炭，这一过程称为高温炼焦（高温干馏）。

高温炼焦于 1585 年提出，1709 年英国人达比首次将焦炭用于高炉炼铁。焦炉经历了成堆干馏、倒焰炉、废热式和蓄热室焦炉四个发展阶段。

现代焦炉是指以生产冶金焦、气化焦等为主要目的，可以回收炼焦化学产品的水平室式焦炉。它由炉体和附属设备构成。焦炉炉体由炭化室、燃烧室、蓄热室、斜道、炉顶与基础、抵抗墙等部位组成，并通过烟道与烟囱相连。焦炉的附属设备主要包括：护炉铁件（炉柱、保护板、拉条、弹簧与炉门框等）、粗煤气导出设备（上升管、桥管、水封盖及集气管）、加热设备（煤气、废气与换向设备）及炉门修理站。

一座现代化的焦炉往往有几十孔炭化室，年产焦炭数十万吨。世界上已经投产的最大焦炉在德国，它有炭化室 70 孔，炭化室高 7.85m、有效容积  $70\text{m}^3$ ，年产焦炭可达百万吨。现代焦炉已定型，其基本结构大体相同，但由于装煤方式、供热方式和使用的燃料不尽相同，又可分为许多类型。其分类如下：

### 1) 按火道结构可分为：

水平火道（索尔维尔焦炉）

直立  
火道

- 上跨式(美国考伯斯·贝克(Koppers-Becker);  
原苏联 ИК-47,49,50-2K)
- 两分式(中国 70 型、61 型、66 型(1~V 型),两分下喷,  
两分下喷捣固等;德国卡尔-斯蒂尔(Carl-still))
- 四分式(美国威尔甫特(Wilputte)等))
- 四联式(德国迪迪尔 DKH(Dider))
- 双联式(中国 JN43,55,60 及双联下喷捣固;德国奥托  
(Otto);美国考伯尔(Koppers);原苏联 ИБР;  
日本新日铁 M,S 型)
- 2) 按加热煤气种类可分为:  
单热式:用一种煤气加热  
复热式:用两种煤气加热
- 3) 按加热煤气供入方式可分为:  
侧入式(卡尔-斯蒂尔)  
下喷式(JN43,55,60)  
全下喷式(新日铁 M 型)
- 4) 按蓄热室结构可分为:  
纵蓄热室(德国奥托-霍夫曼(Otto-Hoffmann);中国简易  
3"焦炉)  
横蓄热室 { 带中心隔墙,机焦侧分开的蓄热室(JN 型、66 型)  
无中心隔墙,机、焦侧连续的蓄热室(新容积奥托)  
分格蓄热室(中国 JNX 型、新日铁 M 型等)  
两分蓄热室(新考伯尔)
- 5) 按加热调节方式可分为:  
算子砖结构改进(JN 型)  
横向加热的均匀性 { 小烟道分格或变径(迪迪尔)  
分格蓄热室  
单向小烟道

|              |   |                        |
|--------------|---|------------------------|
| 高向加热的<br>均匀性 | { | 多段加热(卡尔-斯蒂尔)           |
|              |   | 高低灯头(JN60;奥托)          |
|              |   | 废气循环 { 炉内废气循环(ΠBP)     |
|              |   | 炉外废气循环(Koppers-Becker) |
|              |   | 上下交替加热(科林式)            |
|              | { | 强化辐射加热(DKH)            |

6) 按装煤方式可分为:

倒装焦炉(如捣固焦炉)

|      |   |                        |
|------|---|------------------------|
| 顶装焦炉 | { | 装煤车装煤(西姆卡法(Simcar))    |
|      |   | 管道化装煤(考泰克(Coaltek))    |
|      |   | 埋刮板装煤(普列卡邦(Precarbon)) |

焦炉炉型的类型不同,无非是不同火道结构、不同加热煤气种类与方式、不同的蓄热室结构和不同装煤方式的排列组合。焦炉结构的变化与发展,主要是为了更好地解决焦饼的高向与长向加热的均匀性,节能降耗,降低投资及成本,提高经济效益。

综观世界各国炼焦工艺的现状与发展,当今的主要方向和需要解决的问题是:

- 1) 实现焦炉高效和大型化,尤其是向宽幅炭化室方向发展;
- 2) 提高一代炉龄,对老炉体进行技术改造;
- 3) 降低能耗,提倡用高炉煤气加热,使更多的焦炉能耗达到等级标准;
- 4) 提高环境保护水平,目前特别要解决出焦、运焦烟尘的治理问题;
- 5) 实现高度的机械化和自动化,重点是提高四大车装备水平,解决炉门、炉门框的清扫问题;
- 6) 采用不同工艺,扩大炼焦煤源。大型的捣固焦炉需早日投产;
- 7) 提高管理水平,提高综合经济效益。

## 第二节 焦炉内气体流动

### 一、流体的主要物理量

#### (一) 压强(压力)

流体作用于单位面积上的力,称为流体压力强度,亦称为流体静压强,简称压强,焦炉调火中习惯称压力。

$$P=F/A \quad (1-1)$$

式中  $F$ ——垂直作用于流体表面上的压力,N;

$A$ ——作用面上的面积, $m^2$ ;

$P$ ——流体的静压力,Pa(帕斯卡)。

压力的其他非法定计量单位有:公斤/米<sup>2</sup>( $kg/m^2$ )、公斤力/厘米<sup>2</sup>( $kgf/cm^2$ )、工程大气压(at)、物理大气压(atm)、巴(bar)、毫米水柱( $mmH_2O$ )、毫米汞柱( $mmHg$ )、磅/英寸<sup>2</sup>( $bf/in^2$ )。单位换算可查附录 1。

流体的压力除用不同的单位来计量外,还可以用不同的方法来表示。以绝对零压作为起点计算的压力,称为绝对压力,是流体的真实压力。

流体的压力可以用测压仪表来测量。当被测流体的绝对压力大于外界大气压力时,所用的测压仪表称为压力表。压力表上的读数表示被测流体的绝对压力比大气压力高出的数值,称为表压(正压),即

$$\text{表压} = \text{绝对压力} - \text{大气压力} \quad (1-2)$$

当被测流体的绝对压力小于外界大气压力时,所用测压仪表为真空表。真空表上的读数表示被测流体的绝对压力低于大气压力的数值,称为真空度(负压)。焦炉燃烧系统为负压,常称吸力,即

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力} \quad (1-3)$$

例 1-1 用微型斜压计测得 58 型焦炉集气管的压力为 90Pa,求绝对压力。

解 绝对压力=大气压力+表压=101325+90

$$=101415\text{Pa}=101.415\text{kPa}$$

例 1-2 用微型斜压计测得 66 型焦炉分烟道吸力为 190Pa, 求绝对压力。

解 绝对压力=大气压力-吸力=101325-190

$$=101135\text{Pa}=101.135\text{kPa}$$

## (二) 温度

温度是表示物体冷热程度的一种量度。一般采用摄氏百分温标的度数( $^{\circ}\text{C}$ )表量度,这种摄氏温标是以冰点(在标准大气压下与空气共存饱和水的凝固点)为 0,而以水的沸点(在标准大气压下)作为 100 来表示。

国际单位制(SI)的温标以开尔文为单位,符号为 K。它是以理想气体作为温度计流体,是水三相点热力学温度 1/273.15 的一种绝对温标。它与摄氏温度的关系为:

$$TK=273.15+t^{\circ}\text{C} \quad (1-4)$$

## (三) 密度

单位体积流体的质量称为密度,即

$$\rho=m/v \quad (1-5)$$

式中  $m$ ——流体的总质量,kg;

$v$ ——流体的总体积, $\text{m}^3$ ;

$\rho$ ——流体的密度, $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

理想气体的密度可以采用下述方法计算:标准状态(1atm,  $0^{\circ}\text{C}$ )下,每 kmol 气体的体积为  $22.4\text{m}^3$ ,则密度为

$$\rho_0=M/22.4,\text{kg}/\text{m}^3 \quad (1-6)$$

式中  $M$ ——理想气体的平均分子量。

在焦炉水力计算中,常用的工作状态下的气体密度  $\rho_i$  与  $\rho_0$  的关系为:

---

\* 以后符号下注脚为“0”者均表示标准状态。

$$\rho_i = \rho_0 \frac{T_0 P}{T P_0} = \rho_0 \frac{T_0}{T} \quad (1-7)$$

焦炉燃烧系统内,  $P \approx P_0$ 。

#### (四) 流量

单位时间内流经通道任一截面的流体量,称为流体的流量。流量有两种表示法。

1) 体积流量:单位时间内流经通道任一截面的流体体积,称体积流量。符号为  $V$ ,单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$ 。由于煤气体积随温度和压力而变化,故必须注明煤气温度、压力值。

2) 质量流量:单位时间内流经通道任一截面的流体质量,称质量流量。符号为  $G$ ;单位为  $\text{kg}/\text{s}$ ,  $\text{kg}/\text{h}$ 。

质量流量与体积流量的关系为

$$G = \rho V \quad (1-8)$$

#### (五) 流速

单位时间内流体在流动方向流过的距离,称为流速。符号为  $w$ ,单位为  $\text{m}/\text{s}$ 。

由于流体流经管道截面上各点的流速是不同的,分布规律较为复杂,在管截面中心处最大,越靠近管壁流速越小,在管壁处的流速为零,因此通常所指流速为整个管截面上的平均流速。其表达式为

$$w = V/F, \quad \text{m/s} \quad (1-9)$$

式中  $F$ ——与流动方向相垂直的管道截面积,  $\text{m}^2$ 。

**例 1-3** 某焦炉用焦炉煤气加热,流入总管焦炉煤气量  $V_0 = 26800 \text{m}^3/\text{h}$ ,试选择总管道管径。

**解** 要求总管内煤气流速小于  $20 \text{m/s}$ ,现选  $w = 15 \text{m/s}$ ,则管道截面积为

$$F = \frac{V_0}{w_0} = \frac{26800}{3600 \times 15} = 0.496 \text{m}^2$$

$$\text{管径} \quad D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.496}{\pi}} = 0.795 \text{m}$$

选用 800mm 管径,则煤气实际流速为

$$w_0 = \frac{4 \times V}{3600 \times \pi \times d^2} = \frac{4 \times 26800}{3600 \times \pi \times 0.8^2} = 14.81 \text{ m/s}$$

工作状态下气体流速  $w_i$  与标准状态下气体流速  $w_0$  (焦炉内) 之间的换算式为

$$w_i = w_0 \frac{T}{T_0} \quad (1-10)$$

## 二、气体状态方程式

气体有两个特性:一是气体没有一定的外形,无论用什么形状的容器来装气体,气体分子均会充满整个容器;二是气体的压缩性与热胀冷缩的现象。

气体的压力、温度、体积之间存在着一定的关系,即有理想气体状态方程式:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1-11)$$

或 
$$\frac{PV}{nT} = R \quad (1-12)$$

式中  $R$ ——气体常数或称阿佛加德罗常数,即在一定的温度和压力下,同体积的任何气体的摩尔数(分子数)相同,

$$R = 8.314 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K}) = 1.987 \text{ kcal}/(\text{kmol} \cdot \text{K});$$

$n$ ——摩尔数,  $n = m/M$  ( $m$  是质量,  $M$  是分子量)。

例 1-4 已知加热煤气的温度为  $40^\circ\text{C}$ , 管道内煤气压力为  $1000\text{Pa}$ , 测得煤气实际流量为  $9000\text{m}^3/\text{h}$ , 换算成标准状态下的流量。

解 由式(1-11)得

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{PV}{T} \frac{T_0}{P_0} = \frac{1000 + 101325}{273 + 40} \times 9000 \times \frac{273}{101325} \\ &= 7927 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

## 三、柏努利方程式

在流体流动系统中,若各截面上流体的流速、压强、密度等有关物理量仅随位置而改变,但不随时间而变,这种流动称为稳定流

动;若流体在各截面上的有关物理量既随位置而变,又随时间而变,则称为不稳定流动。在焦炉内气体流动以稳定流动为主。

### (一) 柏努利方程式的推导

稳定流动时,流体能量形式与变化的规律可用柏努利方程式来说明,见图 1-1。

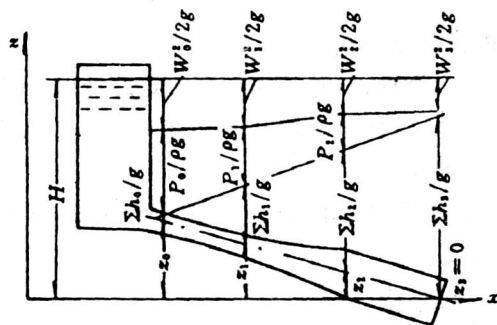


图 1-1 柏努利方程式图解示意

#### 1. 位能

流体因受重力的作用,在不同的高度处具有不同的位能,相当于质量为  $m$  的流体自基准水平面升举到某高度  $Z$  所作的功,即

$$\text{位能} = mgZ, \text{J} \quad (1-13)$$

单位质量流体的位能为

$$E_{\text{位}} = gZ, \text{J/kg} \quad (1-14)$$

1N 流体的位能称为位压头:

$$\text{位压头} = mgZ / (mg) = Z, \text{m} \quad (1-15)$$

位压头的单位与长度的单位相同,但物理意义不同,表示每牛顿重的流体具有的能量(焦耳)数。

#### 2. 动能

由于流体有一定的速度而具有的能量,称为动能。质量  $m$ 、流速  $w$  的流体所具有的动能为:

$$\text{动能} = \frac{1}{2}mw^2, \text{J} \quad (1-16)$$

单位质量流体的动能为:

$$E_{\text{动}} = \frac{1}{2}w^2, \text{J/kg} \quad (1-17)$$

1N 流体的动能称为动压头:

$$\text{动压头} = \frac{mw^2}{2mg} = \frac{w^2}{2g}, \text{m} \quad (1-18)$$

### 3. 静压能

静止流体和流动着的流体内部任何位置都有一定的静压强。

设质量为  $m$ 、体积为  $V$  的流体通过某一截面  $A$  时, 把该流体推进此截面所需的作用力为  $PA$ , 而流体通过此截面所走的距离为  $V/A$ , 则流体带入系统的静压能为:

$$\text{静压能} = PA \frac{V}{A} = PV = \frac{P}{\rho}m, \text{J} \quad (1-19)$$

单位质量流体的静压能等于压力与密度之比, 即

$$E_{\text{静}} = \frac{P}{\rho}, \text{J/kg} \quad (1-20)$$

1N 流体的静压能称为静压头:

$$\text{静压头} = \frac{mP}{\rho mg} = \frac{P}{\rho g}, \text{m} \quad (1-21)$$

以上三项之和总称为机械能, 即

$$\text{机械能} = \text{位能} + \text{动能} + \text{静压能} \quad (1-22)$$

### 4. 损失能量

流体流过管路时需克服阻力而消耗掉一部分机械能, 这部分机械能转变为热能后, 不能再转化为机械能。在作平衡计算时, 将这部分能量看作是从流体输出到外界的能量, 称为损失能量。

当有外功  $W_e$  加入体系, 并有损失能量  $h_f$  时, 根据能量守恒定律, 流体从 1-1 截面流到 2-2 截面时, 单位质量流体的能量变化为:

$$gZ_1 + \frac{w_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + W_e = gZ_2 + \frac{w_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + \Sigma h_f \quad (1-23)$$

若流体流动时不产生流动阻力, 则流体的能量损失  $\Sigma h_f = 0$ ,

这种流体称为理想流体。实际上并不存在真正的理想流体,而是一种设想,但这种设想对解决工程实际问题具有重要意义。

对于理想流体,又没有外功加入时,式(1-23)可简化为:

$$gZ_1 + \frac{w_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = gZ_2 + \frac{w_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} \quad (1-24)$$

式(1-24)称为柏努利方程式,而式(1-23)是柏努利方程式的引伸,习惯上也称柏努利方程式。

柏努利方程式常用下述两种形式描述:

1)以单位重量流体为衡算基准,将式(1-23)中各项除以重力加速度  $g$ ,并令  $H_e = W_e/g$ ,  $H_f = \Sigma h_f/g$ ,则以压头形式表示的柏努利方程式为:

$$Z_1 + \frac{w_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + H_e = Z_2 + \frac{w_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + H_f \quad (1-25)$$

式中 各项单位均为  $\frac{\text{J/kg}}{\text{m/s}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2} \times \text{m} = \frac{\text{N}}{\text{N}} \cdot \text{m} = \text{m}$ ;

$H_e$ ——输送设备对流体所提供的有效压头;

$H_f$ ——流体流动过程中压头损失,对理想流体为零。

2)以单位体积流体为衡算基准,将式(1-23)中各项乘以流体密度  $\rho$ ,即得以压力形式表示的柏努利方程式:

$$Z_1 \rho g + \frac{w_1^2}{2} \rho + P_1 + \rho W_e = Z_2 \rho g + \frac{w_2^2}{2} \rho + P_2 + \rho \Sigma h_f \quad (1-26)$$

式中  $\Sigma_{1-2} \Delta P = \rho \Sigma h_f$ ,称为压力降,表示流体通过 1-2 截面间的阻力;

各项单位为  $\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}^3} = \text{Pa}$ ,表示单位体积流量所具有的能量,简化后即为压强(压力)的单位。

**例 1-5** 某焦化厂用泵将地下澄清水池中的水送到熄焦喷水水管。泵的进口管为内径 500mm 的铸铁管,泵的流量为  $1400 \text{ m}^3/\text{h}$ ,出口管内径为 408mm,水池中的水位低于水池平面 1m,喷水水管标高为 7.4m,熄焦用水经管路的总阻力为 70Pa,喷水水管出口的水流程为 5m/s,试计算水泵的扬程。

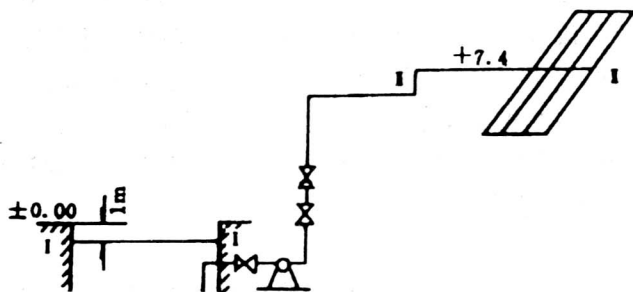


图 1-2 例 1-5 附图

解 见图 1-2。

在计算时应先选择计算断面,选择水池中水的液面 I-I 断面和喷洒水管 I-I 为计算断面最简便。再确定基准面,如以水池平面即标高  $\pm 0.00$  平面作基准面,由题意得:

$$Z_1 = -1.00\text{m}, \quad Z_2 = 7.4\text{m}, \quad P_1 = P_2 = 1\text{atm},$$

$$w_1 = 0, \quad w_2 = 5\text{m/s}, \quad \Sigma h_f = 70\text{Pa}$$

代入式(1-25)得:

$$-1 + 0 + H_e = 7.4 + \frac{5^2}{2 \times 9.81} + \frac{70}{9.81}$$

得  $H_e = 16.8\text{m}$

故泵的扬程至少应为 16.8m。根据泵的扬程,还可确定泵的功率。

## (二) 流体流动的类型

雷诺通过实验证明,影响流体的流动状态的因素,主要是流体的流速  $w$ 、管径  $d$ 、流体的粘度  $\mu$  和密度  $\rho$ 。雷诺将这些影响因素组成一个复合数群,即称为雷诺数  $Re$ :

$$[Re] = \left[ \frac{dw\rho}{\mu} \right] = \frac{\text{m}(\text{m/s})(\text{kg/m}^3)}{\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})} = \text{m}^0 \cdot \text{kg}^0 \cdot \text{s}^0 \quad (1-27)$$

雷诺数是一个没有单位、无因次的纯数,在计算中各物理量必须用同一单位制。几个物理量组合而成的无因次数群又称准数。

根据实验,流体在圆形直管内流动,  $Re < 2000$  时属于层流;  $Re$