

中等专业学校教学用书

选矿厂辅助设备

冶金工业出版社

3

中等专业学校教学用书

选矿厂辅助设备

长沙冶金工业学校 郭延熙 主编



业出版社

A80-733

中等专业学校教学用书

选矿厂辅助设备

长沙冶金工业学校 郭通熙 主编

•

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

•

850×1168 1/32 印张 7 7/8 字数 206 千字

1981年7月第一版 1981年7月第一次印刷

印数 00,001~4,500 册

统一书号: 15062·3733 定价 0.79 元

前 言

本书是为中等专业学校金属矿选矿专业编写的教学用书，全书共分为三篇，第一篇内容为选矿厂流体输送设施和设备，包括水力学基础、供水及送风设备；第二篇为选矿厂固体输送设施和设备，包括矿仓、皮带运输机等；第三篇为选矿厂产品脱水设备，主要是产品的浓缩和过滤设备。本书亦可供选矿技术人员和工人参考。

根据选矿专业的教学要求，本书在取材上着重于工艺的基本理论及设备的选择与使用方面。本书力求简明扼要，反映现代技术水平和我国的生产实践。

本书第一、三篇由郭延熙编写，第二篇由廖灿生编写，经龚明光、雷季纯同志审阅。在编写过程中长沙矿山设计院有关同志为我们提供了许多技术资料和宝贵意见，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中一定还存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

一九七九年五月

目 录

第一篇 选矿厂流体输送

第一章 水动力学基础.....	1
第一节 基本概念	1
第二节 液体运动的连续性方程	6
第三节 液体运动的柏努里方程	8
第四节 液流阻力和水头损失	20
第五节 工业管路的水力计算	35
第二章 泵	43
第一节 离心泵的工作原理和特性	43
第二节 离心泵的工作和调节	50
第三节 离心泵的轴向压力和汽蚀	54
第四节 离心泵的主要部件和常用离心水泵	58
第五节 离心砂泵	67
第六节 往复式水泵	69
第七节 往复式泥浆泵	74
第三章 气体输送机械	75
第一节 工程热力学基础	76
第二节 压缩机和鼓风机	87
第三节 通风机	100
第四节 真空泵	103
第四章 选矿厂收尘设备	106
第一节 粉尘的危害和产生粉尘的原因	106
第二节 抽气除尘	111
第三节 粉尘的处理和回收	121

第二篇 选矿厂固体输送

第五章 矿仓和给矿机.....	138
第一节 矿仓的选择和计算	138
第二节 给矿机	154

第六章 皮带运输机.....	169
第一节 概述	169
第二节 皮带运输机的零件和部件	172
第三节 皮带运输机传动的必要条件	190
第四节 皮带运输机的计算	193

第三篇 选矿厂脱水设备

第七章 浓缩机	217
第一节 沉淀浓缩过程原理	217
第二节 浓缩机	221
第八章 过滤机	231
第一节 过滤的基本原理	231
第二节 过滤机	234
第三节 过滤系统和附属设备	242

第一篇 选矿厂流体输送

第一章 水动力学基础

水动力学研究的主要内容是液体运动的规律，如当液体运动时，其速度、压力和能量的变化规律，液体与接触的固体之间相互作用力的规律等。虽然液体是这门科学的主要研究对象，但水动力学的基本规律也可以用于密度不发生变化的气体。

选矿厂中装备有大量的水和矿浆输送管道、水泵和砂泵等水力输送机械。在选择计算和使用这些管路及设备时，都要用到水动力学的基本原理。

除了液体输送这类问题需要应用水动力学知识外，在选矿厂生产中使用的许多设备和它们的工作原理也都与水动力学有密切关系，例如，通常使用的重力选矿设备、浮选机械、通风机械和脱水设备等等。因此，水动力学是选矿技术工作者必须具备的一门基础科学知识。

第一节 基本概念

一、稳定流和不稳定流

在运动的液体中任一固定点上，液流的各运动参数（主要是速度和压力）不随时间的变化而变化的流动，称为稳定流；而这些运动参数随时间的推移而变化的流动，称为不稳定流。如图1-1是水由水箱经管路流出的情况，在图1-1(a)中，水箱中水位保持不变，因此在2-2截面上的液流速度和压力在任何时间都是相同的，这种液流就是稳定流。图1-1(b)中，水箱中的水位随时间的变化而变化，这时在4-4截面上的速度和压力也随时间的推移而改变，这种液流就是不稳定流。由此可见，在稳定流中各不同

位置的液流速度和压力可以不同，但就同一位置而言，其速度和压力则不随时间的变化而变化。在不稳定流中，速度和压力不仅随所处位置不同而异，而且在同一位置上随时间的变化而改变。

真正的稳定流在自然界中是很少见的，大多数情况是近似的稳定流。工程中把许多管路中的连续液流，近似地当作稳定流，这样可以大大简化研究方法。本章只讨论稳定流问题。

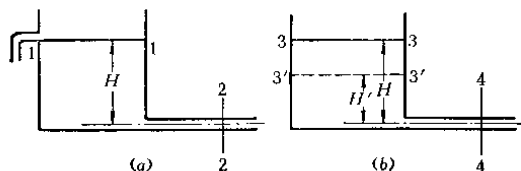


图 1-1 稳定流和不稳定流

二、流线，流束和总流

描写液流运动趋势的空间几何线，称为流线。它具有以下几个特性。

1. 在流线上，所有各质点在同一时间的速度方向都与流线相切，图1-2中各点的速度方向就是流线上各点的切线方向。

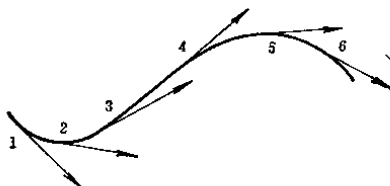


图 1-2 流线

2. 流线是一条光滑的曲线，不可能是折线，因为若是折线，则在折点上的速度会有两个方向。

3. 在同一瞬间，流线彼此不能相交，如果相交，则在交点

上的液流质点的速度方向会同时相切于两条流线，这显然是不可能的。因此可以认为，在同一时刻经过液流中任一点的流线，只有一条。

一般河道，水渠和管路中的液流，均称为总流。为了分析总流的速度、流量和压力等参数，把总流沿流线分成许多细小的液流，这些细小的液流，称为流束。由于流束的断面很小，可以认为在流束断面上的运动参数是近似相等的。从而可以用数学的方法来计算总流的运动参数。当将流束缩小到极限的情况时，就是液流的流线。

三、过水断面，湿周和水力半径

1. 过水断面

液流的过水断面是指垂直于液流的一切流线而作的一个断面。如图1-3所示，其面积用 ω 表示。一般情况下，过水断面为曲面形状，但当流线几乎平行时，则将为平面。

2. 湿周

湿周是指液流过水断面上液体与周围固体壁的接触线。湿周的长度用 x 表示。例如图1-4(a)为矩形断面的明渠，其湿周为： $x = AB + BC + CD$ 。而图1-4(b)为充满液体的管路，其湿周为 $x = \pi d$ 。

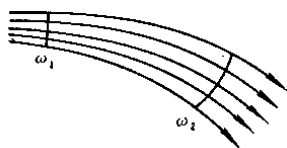


图 1-3 过水断面

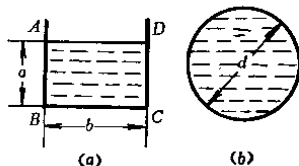


图 1-4 湿周

3. 水力半径

水力半径是指液流过水断面面积 ω 与该断面的湿周 x 之比。

常用 R 表示。即： $R = \frac{\omega}{x}$ ，由此可知水力半径是以长度为单位。

对于图1-4(b)的管路而言, 过水断面 $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$, 湿周 $x = \pi d$, 则

$$\text{水力半径 } R = \frac{\omega}{x} = \frac{d}{4}。$$

四、压力, 流量和平均流速

1. 压力

液体垂直作用在单位面积上的力称为压力 (也称为压强)。当 P 公斤力垂直作用在 F 米² 面积上时, 则压力为:

$$p = \frac{P}{F} \text{ (公斤/米}^2\text{)}$$

压力除用上述单位表示外, 还可以用大气压和液柱高度表示, 例如重度为 γ (公斤/米³) 的液柱高度为 h (米), 底面积为 F (米²), 则作用在底面积上的压力为:

$$p = \frac{F h \gamma}{F} = h \gamma \text{ (公斤/米}^2\text{)}$$

因此当液体重度为已知的情况下, 压力可用液柱高度表示为:

$$h = \frac{p}{\gamma} \text{ (米液柱)}$$

应当注意, 用液柱高度表示压力时, 必须注意液体名称, 才能确定液体的重度, 否则即失去了表示压力的意义。通常采用汞柱或水柱高度表示压力, 例如用压力计测量大气压力, 在一个标准大气压下, 压力计上所示的汞柱高度为760(毫米), 此时的压力为:

$$p = h_{\text{Hg}} \gamma_{\text{Hg}} = \frac{760}{1000} \times 13.6 \times 1000 = 10336 \text{ (公斤/米}^2\text{)}$$

若用水柱高度表示上述压力, 则为:

$$\begin{aligned} h_{\text{H}_2\text{O}} &= h_{\text{Hg}} \frac{\gamma_{\text{Hg}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} = 760 \times \frac{13600}{1000} = 10336 \text{ (毫米水柱)} \\ &= 10.336 \text{ (米水柱)} \end{aligned}$$

由此可见压力单位之间的换算关系如下:

$$1 \text{ 标准大气压} = 760 \text{ (毫米汞柱)} = 10.336 \text{ (米水柱)} \\ = 10336 \text{ (公斤/米}^2\text{)}$$

确定压力大小时，首先应该规定度量压力的起点，即零点。由于度量的起点不同，压力分为绝对压力，相对压力和真空度三种不同的概念。绝对压力是以绝对真空作为度量压力的零点所测得的压力值。相对压力是以大气压为度量压力的零点而测得的压力值，如图1-5(a)所示的容器中的压力比大气压高，则在测压计上显示出一个液柱高差 h ，它表示容器中的绝对压力高于大气压力 h 毫米液柱。高出的这部分压力 $p_m = h\gamma$ 称为相对压力，也叫作表压力，因此可知，绝对压力和相对压力有以下关系：

$$p = p_a + h\gamma = p_a + p_m$$

或

$$p_m = p - p_a$$

式中 p_a ——大气压力；

p_m ——相对压力。

如图1-5(b)，容器中的绝对压力比大气压力低，则在测压计上显示的液柱高差 h 是表示容器中的绝对压力比大气压力低 h 毫米液柱，低下的这部分压力 ($p_n = h\gamma$) 称为真空度。因此真空度和绝对压力有以下关系：

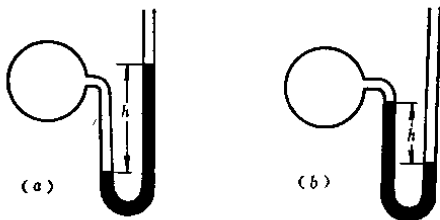


图 1-5

$$p = p_a - h\gamma = p_a - p_n$$

或

$$p_n = p_a - p$$

式中 p_n ——真空度。

2. 流量和平均流速

单位时间通过过水断面的液体量，称为流量，以符号 Q 表示，其单位为（米³/秒）、（升/秒）或（米³/时）。流量 Q 除以该过水断面面积 ω ，得到以（米/秒）为单位的平均流速 v 。即

$$v = \frac{Q}{\omega} \text{ (米/秒) 或 } Q = \omega v \text{ (米}^3\text{/秒)}$$

也就是说，单位时间内，由过水断面 ω 流过的实际液体量 Q ，恰和以速度 v 流过过水断面 ω 的液体量相等。这个流速就称为平均流速。其实在过水断面上各点的流速是不相同的，例如圆形管路中心的流速通常都比靠近管壁处高得多。因此，平均流速并不是实际存在的流速。我们引用平均流速这一概念，可以使水动力学问题的解决变得更加方便。

五、稳定流的类型

当稳定流的所有流线均互相平行，且为直线时，称此液流为“平行流”。和“平行流”非常近似的一种液流是“流线夹角很小和曲率很小的液流”，称为“缓变流”或“渐变流”。不具备上述条件的液流称为“急变流”。如图1-6中所示的液流，在等直径管段中的液流即为“缓变流”，在管子附件附近的液流就都是“急变流”。“缓变流”和“急变流”的概念在解决具体水力学问题时很重要，例如当计算液流运动时的能量转换问题时，就必须将计算的过水断面选择在缓变流流段上才能得到正确的结果。

第二节 液体运动的连续性方程

和其他物质运动一样，液体运动也遵守质量守恒定律，由于液流本身的特殊性，这个定律在反映液体运动时也有其特殊的表达形式。

水动力学中把液体看成是“连续介质”，即认为占有一定空间的液体是由无数质点所充满，而且内部无空隙的连续体。这对于液体的宏观机械运动是完全附合实际情况的。液体运动的连续

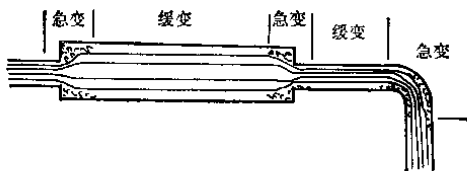


图 1-6 缓变流和急变流

性方程是将液体看成是连续介质的情况下建立起来的质量守恒定律对液体运动的一种表达形式。

如图1-7，在某一液流上取两个过水断面1-1和2-2，这两个断面从液流上分离出一段液流，当这段液流没有分枝的情况时，若1-1断面面积为 ω_1 ，平均流速为 v_1 ，2-2断面面积为 ω_2 ，平均流速为 v_2 ，则经过断面1-1流入流段中的流量为 $Q_1 = \omega_1 v_1$ ，而由断面2-2流出流段的流量为 $Q_2 = \omega_2 v_2$ 。

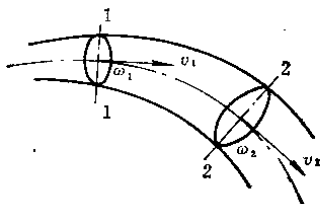


图 1-7

当液流是稳定流，且不可压缩，则根据质量守恒定律，便可知道，通过断面1-1流入和断面2-2流出的液体质量是相等的，即

$$\rho v_1 \omega_1 = \rho v_2 \omega_2$$

式中 ρ —— 液体密度。

因此 $Q = v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = \text{常数} \quad (1-1)$

或 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (1-2)$

这就是液体运动的连续性方程，它是水动力学基本方程之一。公式(1-1)表明无分枝液流上通过任何过水断面的流量为一常数。公式(1-2)则表明任何两个过水断面的面积与通过该断面上的液体平均流速成反比关系。

第三节 液体运动的柏努里方程

能量守恒定律是物质运动的一个普遍规律，液体运动是物质运动的一种，它也遵守能量守恒定律。液体运动的现象是多种多样的，但其实质都是在一定条件下的能量互相转化。柏努里方程就是能量守恒和转化在液体运动中的表现形式。

由物理学中的机械运动功能原理知道，外力对物体所作的功等于物体动能的增量，可以用下式表达：

$$\Sigma A = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

式中 ΣA ——所有外力对物体作功的总和；

v_0 ——物体起始位置的速度；

v ——在外力作用下物体达到新位置的速度；

m ——物体的质量。

柏努里方程就是根据这一原理导出的液体运动的能量守恒和转化规律的表达式。它是水动力学极为重要的规律。

一、液体运动的柏努里方程

如图1-8所示，在液流上任取一段由过水断面1-1和2-2所限定的部分，作为研究的对象。

首先，取0-0水平面作为基准面来确定该液流的空间位置，并假定1-1和2-2过水断面的面积为 ω_1 和 ω_2 ，该两断面上的平均流速为 v_1 和 v_2 ，在 ω_1 和 ω_2 中心点上的压力分别为 p_1 和 p_2 ，距0-0基准面的高度为 Z_1 和 Z_2 。

如果在无限小的时间 dt 中，原在1-1处的液体质点移动到1'-1'处，根据连续性方程的原理，处在2-2处的液体质点也要移动一个距离到2'-2'处，即所研究的液流段由1-1、2-2移动到1'-1'、

2'-2'位置。在这一过程中，外力要对液流段做功，而液流段将产生动能的变化。作用在液流段的外力有边界上的压力、重力及液体运动过程中所受的阻力。现分别分析各种外力所作的功及液流段的动能变化量。

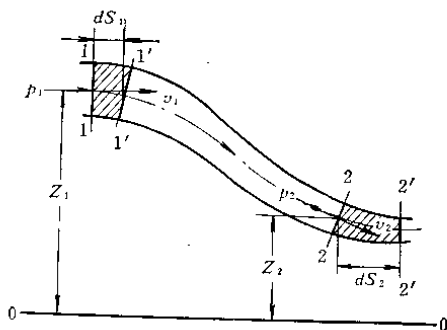


图 1-8

1. 压力作的功

在断面1-1和2-2上的压力与液流运动方向平行，因而对液体作了功。而侧壁上的压力与液流运动方向垂直，则对液体没有做功。压力和液流方向相同者作正功，方向相反者作负功。作用在 ω_1 和 ω_2 上的压力、在一般情况下分布是不均匀的，但是若将1-1和2-2断面选择在缓变流上，便可用过水断面中心处的压力乘以断面面积来表示断面上的总压力值，即：

$$p_1 \omega_1 = P_1, \quad p_2 \omega_2 = P_2$$

在 dt 时间内， ω_1 和 ω_2 分别移动了 dS_1 和 dS_2 的距离，这样压力作的功为：

$$\begin{aligned} P_1 dS_1 + (-P_2 dS_2) &= p_1 \omega_1 v_1 dt - p_2 \omega_2 v_2 dt \\ &= Q dt (p_1 - p_2) \end{aligned}$$

此时， Q 为液流的流量，根据连续性方程 $Q = \omega_1 v_1 = \omega_2 v_2$ 。

2. 重力作的功

由图1-8可看出,液体由1-1、2-2运动到1'-1'、2'-2'位置时,其位能发生了变化,但是被1'-1'和2-2两断面所限定的那部分液体,其位能没有变化。因此,我们可以设想在 dt 时间内重力对液流段所作的功,相当于由1-1和1'-1'两断面限定的那部分液体降落到由2-2和2'-2'两断面限定的那部分液体位置上时所作的功,这时距离基准面的位置高度为 Z_1 和 Z_2 ,因此重力作的功为:

$$\gamma v_1 \omega_1 dt Z_1 - \gamma v_2 \omega_2 dt Z_2 = \gamma Q dt (Z_1 - Z_2)$$

式中 γ ——液体的重度。

3. 液流运动过程中阻力所作的功

因为液体有粘性,在流动中必然由于克服其内摩擦阻力而损失一部分能量。损失的能量是沿流动方向发生的,因此,阻力作的功为负功。我们用 H_w 表示液流段1-1、2-2在 dt 时间内的运动中克服阻力作的功。

4. 动能的变化量

如前所述,断面1-1和2-2间的液体在 dt 时间内运动到1'-1'和2'-2'处,其动能由于外力作用而产生变化。当液流为稳定流时,可以认为在1'-1'和2-2间的液体动能没有变化,因此在 dt 时间内,整个液流段动能的变化量就是2-2和2'-2'断面间的液体动能与1-1和1'-1'断面间的液体动能之差。由于在过水断面上各点的流速是不相等的,若用平均流速计算动能将与真实的动能不同,为了准确的计算,需要引入一个修正系数 α (称为动能修正系数)。经研究得知,在一般情况下 $\alpha=1.035\sim1.1$ 。

根据以上的分析,液流段的动能变化量可表达为:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \alpha_2 \rho \omega_2 v_2 dt v_2^2 - \frac{1}{2} \alpha_1 \rho \omega_1 v_1 dt v_1^2 \\ &= \frac{\alpha_2}{2} \rho Q v_2^2 dt - \frac{\alpha_1}{2} \rho Q v_1^2 dt \\ &= \frac{\gamma}{2g} Q dt (\alpha_2 v_2^2 - \alpha_1 v_1^2) \end{aligned}$$

式中 ρ ——液体密度, $\rho = \frac{\gamma}{g}$ 。

综合上述分析, 根据功能原理, 我们可以建立液体运动过程中能量守恒和转化的关系式, 即

$$\begin{aligned} Qdt(p_1 - p_2) + \gamma Qdt(Z_1 - Z_2) - H_\omega \\ = \frac{\gamma}{2g} Qdt(\alpha_2 v_2^2 - \alpha_1 v_1^2) \end{aligned}$$

将上式两端同除以 γQdt , 稍加整理便可得到:

$$\begin{aligned} \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + (Z_1 - Z_2) - \frac{H_\omega}{\gamma Qdt} = \frac{1}{2g} (\alpha_2 v_2^2 - \alpha_1 v_1^2) \\ \frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_\omega \quad (1-3) \end{aligned}$$

式中 h_ω ——阻力损失水头, $h_\omega = \frac{H_\omega}{\gamma Qdt}$ 。

公式 (1-3) 即为液体运动的柏努里方程, 它是水动力学中极为重要的方程式, 用它和连续性方程相配合, 可以解决许多水动力学的实际问题。

二、柏努里方程的讨论

1. 物理意义和几何意义

由建立方程的过程可知, 该方程为一能量恒等式。第一项 $\frac{p}{\gamma}$ 代表单位重量液体所具有的压力能, 称为比压能。第二项 Z 代表单位重量液体所具有的位能, 称为比位能。这两项的总和称为比势能。第三项 $\frac{\alpha v^2}{2g}$ 代表单位重量液体所具有的动能, 称为比动能。以上三项的总和称为比机械能。 h_ω 为单位重量液体运动过程中克服阻力而损失的能量, 称为阻力损失水头。因此, 它应当加在方程中顺液流方向的前方过水断面上。所以柏努里方程的物理意义可以解释为: 在单位重量液体的运动过程中, 其具有的机械能与损失水头之和是保持不变的。同时液体所具有的位能、压