

矿井风网动坐标解法及其应用

唐海清 著

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了矿井风网动坐标解算法的理论基础,基本原理,基本解法,以及如何用它来研究风机联合工作的有害运转,矿井风量调节,因自然风压与火风压引起的风流反向,调压防灭火,矿井通风设计,生产矿井改换主扇后井巷风量的变化和对角风路风向的判别等各种通风问题。本书对多网孔风网的风量调节,多水平自然通风,火风压,调压防灭火,对角风路风流反向的基本理论也做了论述。本书可供矿业院校师生,科研人员以及煤矿与金属矿通风技术人员参考。

责任编辑:王振铎 崔 岗

矿 井 风 网 动 坐 标 解 法 及 其 应 用

唐海清 著

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/8}$ 印张 $11^{7/8}$ 插页1

字数260千字 印数1—3,000

1986年2月第1版 1986年2月第1次印刷

书号15035·2703 定价1.95元



前 言

矿井风网动坐标解算法是作者在前人研究成果的基础上于1963年提出的一种图解法。它不仅可用以解算矿井风网，更适于用来研究风机联合工作的有害运转、矿井风量调节、自然风压与火风压引起的风流反向、调压防灭火、矿井通风设计、和生产矿井改换主扇后井巷风量的变化、以及对角风路风向的判别等各种通风问题。它比国内外现有图解法具有自己的特点，即图纸简单、方法易于掌握、解算较快、能解算较复杂的风网、解算过程与所得结果直观简明。在电子计算机还未广泛采用的今天，它是解算，特别是研究矿井风网的好方法。当今后大量使用电子计算机时，它仍然是解算和研究各种矿井风网问题的一个不可缺少的补充。

本书共分十三章。第一章论述矿井空气流动的基本规律。它是研究矿井风网的理论基础。在这一章作者根据多年来的教学实践与体会，在写法上与一般书刊有所不同。第二章介绍动坐标解法所要用到的一些基础知识。第三章讲动坐标解法的基本原理与基本解法。第四、第五、第六章主要讲如何用动坐标解法解算矿井风网。第七、第八、第九、第十、第十一、第十二、第十三章主要介绍如何用动坐标解法研究各种通风问题。

本书对多网孔风网的风量调节、多水平自然通风、火风压、调压防灭火、对角风路风流反向的基本理论也作了论述。

编写本书的目的，是作者想把自己三十多年来，在矿井风网方面进行教学、科研与生产实践中所探索到的一些问题作一总结，希望它能对我国从事矿井通风管理、教学与科研工作的同志有所帮助。

由于作者水平所限，缺点与错误之处难免，欢迎广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 矿井空气流动的基本规律	1
第一节 流体流动的几个基本概念	1
第二节 井巷空气中任一点的基本压力——静压	3
第三节 井巷风流任一点空气的两种转化压力——位压 与动压	18
第四节 井巷风流任一点空气的三种合成压力——势压、 全压与总压	22
第五节 井巷通风压力	25
第六节 井巷通风阻力	32
第七节 通风压力与通风阻力的关系	37
第八节 通风阻力测定	40
第二章 矿井风网动坐标解法基础	43
第一节 矿井风网动坐标解算的理论基础	43
第二节 动坐标解算中所要用到的两种基本曲线	45
第三节 阻力直线的画法	47
第四节 阻力曲线的画法	49
第五节 线段的加减	59
第六节 风量换算定律	60
第三章 动坐标解算法的基本原理与基本解法	62
第一节 基本原理	62
第二节 基本解法	62
第三节 网孔各风路风向的一般判别	75
第四章 已知进出风量矿井风网的动坐标解法	77
第一节 单孔风网的解法	77

第二节	两孔风网的解法	82
第三节	三孔风网的解法	84
第四节	多孔风网的解法	88
第五节	特殊风网的解法	94
第五章	已知风机矿井风网的动坐标解法	103
第一节	少风井分区式矿井风网的动坐标解法	103
第二节	多风井分区式矿井风网的动坐标解法	113
第三节	复杂进出风系统的分区式矿井风网的动坐标解法	123
第六章	改阻力抛物线为直线的动坐标解法	125
第一节	已知进出风量的矿井风网的解法	125
第二节	已知风机的矿井风网的解法	127
第三节	采用阻力抛物线与阻力直线两种解法的比较	128
第四节	采用线性电路解风网的动坐标解法	129
第七章	利用动坐标解法研究风机联合工作的有害运转	136
第一节	风机集中串联的有害运转	136
第二节	风机集中并联的有害运转	138
第三节	分区风机联合工作的有害运转	141
第八章	利用动坐标解法研究矿井风量调节	143
第一节	增压调节	143
第二节	增阻调节	148
第三节	减阻调节	152
第四节	全部按需分配的调节	159
第五节	既有按需分配又有自然分配的调节	175
第六节	调节任一风路时风量变化的范围	182
第九章	利用动坐标解法研究自然通风问题	184
第一节	风网的基元自然风压与基元自然风机	184
第二节	多水平矿井风网自然风机的表示法	185
第三节	自然风压与风流反向	186
第四节	存在自然风压风网的动坐标解法	190
第五节	利用动坐标解法研究因自然风压引起的风流反	

向问题	193
第六节 利用动坐标解法研究风流反向的预防措施	198
第十章 利用动坐标解法研究火风压使风流反向的问题	203
第一节 火风压的概念及其表示法	203
第二节 利用动坐标解法研究火后自然风压使风流反向 的问题	204
第十一章 利用动坐标解法研究调压防灭火问题	208
第一节 调压防灭火原理	208
第二节 调压前井巷压力的分布	209
第三节 几种常用调压方法对井巷压力分布的影响	211
第四节 几种常用调压方法在防灭火中的应用	216
第五节 利用动坐标图解法研究防灭火问题	219
第十二章 利用动坐标解法研究矿井通风设计	227
第一节 完全按需分配的主扇选择	227
第二节 部分按需分配与部分自然分配的主扇选择	229
第三节 全部自然分配的主扇选择	230
第十三章 利用动坐标解法研究其它通风问题	235
第一节 生产矿井改换主扇后井巷风量的变化	235
第二节 采用风机反风装置时反风问题的解算	238
第三节 风网对角风路风向的判别	241
第十四章 采用微型电子计算机研究矿井通风问题	250
第一节 求扇风机风压曲线	251
第二节 用高斯消元法解线性联立方程组	252
第三节 已知主扇求风网风量的自然分配	254
第四节 已知总风量求风网风量的自然分配	259
第五节 新井设计时主扇的选择	268
附表 1 阻力曲线直化图尺长度与阻力对照表	276
附表 2 风阻为R千缪阻力曲线坐标点表	281
参考书刊	371

第一章 矿井空气流动的基本规律

获得足够的风量是矿井通风的主要目的。通风压力与通风阻力，则是为了获得足够风量所要解决的一对基本矛盾。矿井空气流动的基本规律就是研究这一对矛盾的各个方面及其相互关系的基本规律〔1、3-1〕[●]。

第一节 流体流动的几个基本概念

一、流体流动的迹线与流线

流体流动的迹线是指流体中某一质点在某一时间内所走过的轨迹。流线不是一个质点走过的轨迹，而是由无数不同质点所组成的一条线；在同一瞬间，流线上任一流体质点的流速向量都与该线相切。流线可以是直线或曲线，如图1-1a、b所示。

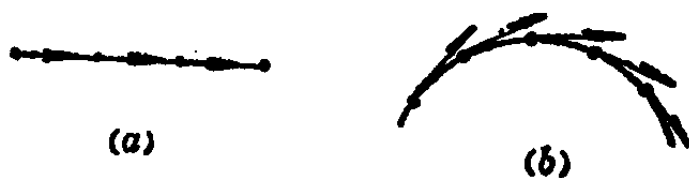


图 1-1

二、时均运动参数

流体的运动参数是指流体运动时的速度、加速度、压力、密度、温度等参数。在流动流体中，某空间的流体质点，其各运动参数都是随时间的变化而不断变化(如图1-2所示)，但

[●]—附注。括号中第一个数为参考书的编号，第二个数为所在参考书的页号。

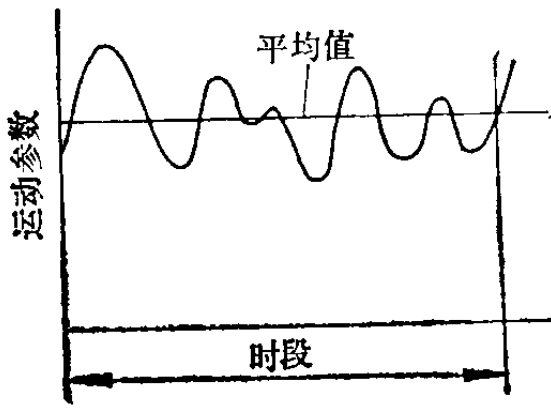


图 1-2

在某一较长的时间间隔内我们又可看出它们都是围绕着某一平均值而波动，这个平均值便称为这些运动参数的时均值。如图1-2中运动参数为速度，该图的平均值便称为时均速度。如果

果图中运动参数为压力，那么其平均值便称为时均压力。

三、层流与紊流

凡流体呈层状流动，各层流体互不渗混，流体质点运动的轨迹是直线或有规则的平滑曲线，则这种流动状态便称为层流，如图1-3a所示。流体在直径很小的管内以很小的速度流动时，可以产生层流。矿井中，采空区内的低速漏风也属层流状态。

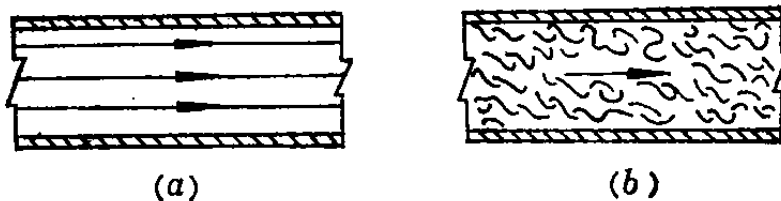


图 1-3

凡流体不呈层状流动，各层流体质点互相渗混，流体质点的运动轨迹极不规则，并且在流动中，除了有沿流体流动总方向的位移外，还有垂直于总方向的位移，在流体内部又存在着时而产生时而消灭的旋涡，这种流动状态（图1-3b）便称为紊流。井巷中的风流都为紊流。

四、稳流与非稳流

在流体流动的每一空间点，凡流过的流体速度、加速度、单位压力、密度、温度等流动参数(紊流指时均值)，不随时间的改变而改变，这种流动便称为稳流。如图1-4a所示，当水位高度 H 保持不变时，经过箱壁孔口流出的水流为稳流。否则，上述各流动参数出现个别随时间变化或全部随时间而变化，这种流动状态便称为非稳流。如图1-4b所示，如果水位高度 H 随时间不断下降，那么，此时由箱壁孔口流出的水流便为非稳流。

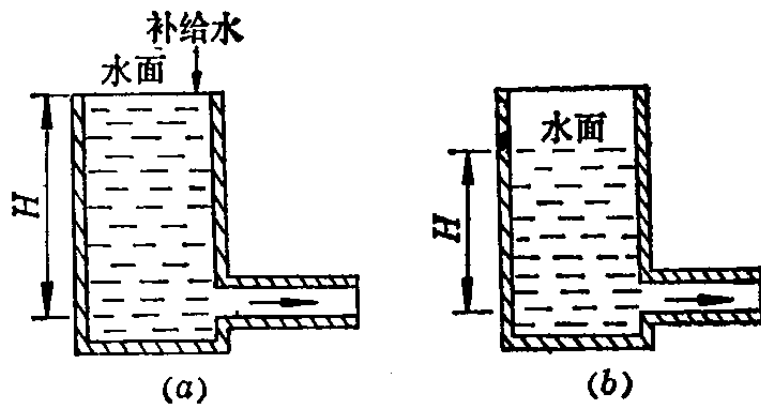


图 1-4

五、不可压缩均匀稳流

凡流体体积不可压缩，即体积与重率始终不变；又当流体流动时通过各空间点的流动参数（或流动参数的时均值）不随时间改变，且其流线都是互相平行的直线，流向也始终不变，则这种流动便称为不可压缩均匀稳流。

第二节 井巷空气中任一点的 基本压力——静压

井巷空气中任一点的静压是井巷空气中的一种基本压力，它是研究井巷通风压力的基础。

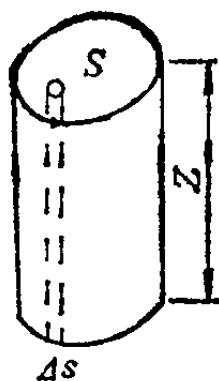


图 1-5

一、静压的概念

如图 1-5 所示柱形水仓，设仓深为 Z 米，仓底面积为 S 米²，水的重率为 γ 公斤/米³，如仓内盛满了水，则仓底所受到水的总压力 F ，即为全部水的重量。其计算式如下：

$$F = \gamma SZ \text{ 公斤}$$

仓底单位面积上所受到水的压力 P 则为：

$$P = \frac{\gamma SZ}{S} \text{ 公斤/米}^2$$

即

$$P = Z\gamma \text{ 公斤/米}^2 \quad (1-1)$$

此单位面积上的水压 P ，便称为水对仓底所作用的静压（物理学上称为压强）。显然，在静水中，水对仓底的静压 P 就是仓底单位面积（1米²）上水柱的重量。这种静压是由单位水柱的重力作用所造成的。

现在，设在仓底某点取一甚小面积 ΔS ，则以此 ΔS 为底的水柱重量为：

$$\Delta F = \gamma \Delta S Z$$

当 ΔS 趋近于零时，作用于 ΔS 上亦即作用于所取该点的静压 P 为：

$$P = \frac{\gamma \Delta S Z}{\Delta S}$$

即

$$P = Z\gamma \text{ 公斤/米}^2$$

此式与式 1-1 相同，因此式 1-1 也是在重力作用下计算静水中任一点静压的基本公式。

同理，静止空气中某点的静压，是指该点单位面积上空气柱的重量。这种静压是由单位空气柱的重力作用所造成

的。因此，如果说地面某点的大气压（大气所造成的静压）为多少，就是指该点单位面积上空气柱所作用的重力为多少；如果说井底某点（如图1-6所示）的静压为多少，则是指在井底某点的单位面积上井内外全部空气柱所作用的重力为多少。

例如某井筒（如图1-6所示）的井口大气压为 P_0 公斤/米²，井深为 Z 米，井下空气的重率为 γ 公斤/米³，当井下空气处于静止状态时，则井底所受空气的静压 P 可用下式表示：

$$P = P_0 + Z\gamma \text{ 公斤/米}^2 \quad (1-2)$$

静压不仅是静止空气中的一种基本压力，也是流动空气中的一种基本压力。在流动空气中所形成的静压不仅与重力有关，而且还与外加的其他动力（如扇风机的作用）有关。此外，对于任何密闭于容器内的游离气体，静压也仍然是该气体所具有的一种基本压力。

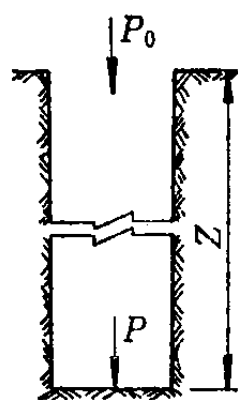


图 1-6

静压的作用方向始终是垂直于所作用的器壁或物体表面，而且不管向哪个方向作用，其大小均相等。这正如一个打足了气的小皮球，球内空气（可看做某一点）的静压，不管从那个方向作用于球面，其大小均相等。

静压的这种特性，也可用分子运动理论来说明：即空气是由为数巨多的空气分子组成。空气作用于器壁的压力，就是这些空气分子连续不断碰撞器壁所造成的压力。这就好象密集的雨点，连续不断地打在雨伞上，使我们能够感受到一个均匀的压力一样。其不同之处，只是雨滴往一个方向打在雨伞上，即向下呈现压力。而为数巨多的空气分子，则不仅

可向各个方向碰撞，而且它在各个方向碰撞的机率都相等。因此空气中的静压，不仅在各个方向都有，而且其大小亦都相等。

二、静压的单位

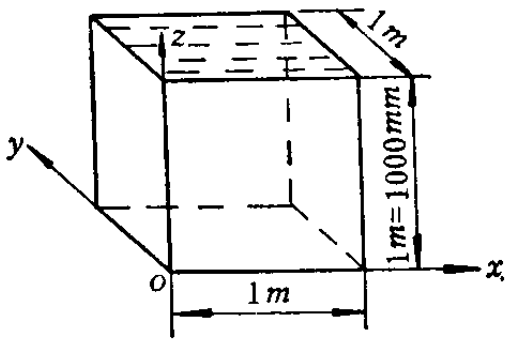


图 1-7

静压的单位，在压力较小的情况下，一般采用公斤/米²表示。但由于在4℃时，1米³水的重量为1000公斤，即水的重率 $\gamma = 1000$ 公斤/米³，也就是在1米²的底面上承受1000公斤的重量。如图1-7所示，如

把1米高分成1000个各为1毫米与底面平行的薄层，则每1毫米的薄层的水重正好是1公斤，即在数值上有：

$$1 \text{ 毫米水柱} = 1 \text{ 公斤/米}^2$$

所以1公斤/米²的压力也可用1毫米水柱来表示。例如风流中某点c的静压为 h_c 公斤/米²，也可用 h_c 毫米水柱表示；反之亦然。

在压力比较大的情况下，如对大气压来说，单位若用毫米水柱，则其数值就显得太大。为便于应用，常采用毫米汞柱（水银柱）表示。由于汞的比重为13.6（就是说汞的重率为水的13.6倍），亦即1毫米汞柱的压力相当于13.6毫米水柱的压力，因此，说某处的大气压为760毫米汞柱，实际上也就是说它的静压为 $760 \times 13.6 = 10336$ 毫米水柱或10336公斤/米²。

公斤/米²也可称为静压的基本单位，毫米水柱与毫米汞柱称为此基本单位的两个代用单位。

三、静压的表示法

同一静压的表示方法有绝对静压与相对静压二种。

绝对静压是以绝对真空作比较的标准，并以真空零压为起点所表示的一种静压值。例如对于图1-8所示压入式通风的风机出口1点的与抽出式通风的风机入口2点来说，这两点的绝对静压 P_1 与 P_2 可用图中所示的两个真空汞柱计1、2的读数来表示。即1点的绝对静压为 B_1 毫米汞柱，或 $P_1 = 13.6B_1$ 毫米水柱。2点的绝对静压为 B_2 毫米汞柱，或 $P_2 = 13.6B_2$ 毫米水柱。如 B_1 与 B_2 两读数分别为760与740毫米汞柱，则 $P_1 = 13.6 \times 760 = 10336$ 公斤/米²， $P_2 = 13.6 \times 740 = 10064$ 公斤/米²。

绝对静压的表示方法与主扇通风方式无关，因为不管压入式或抽出式，上述 P_1 与 P_2 值都为正数（大于零压）。

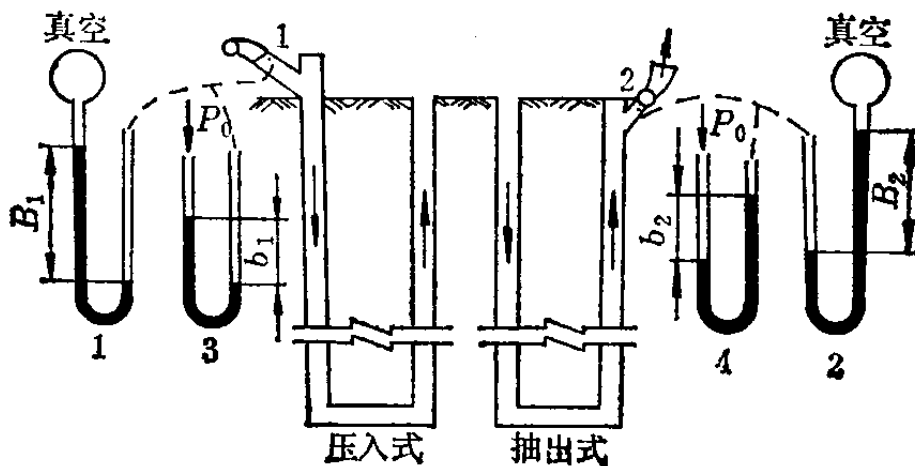


图 1-8

相对静压，则是以与测点同标高的当地绝对大气压 P_0 作比较的标准，即风流任一点的相对静压，就表示该点的绝对静压与同标高的当地绝对大气压 P_0 之差。这种表示方法与主扇通风方式有关：对于压入式，由于风机出口1点的绝对静压 P_1 ，一般比同标高的当地绝对大气压 P_0 要大（断面收缩过

小的情况例外), 故 1 点的相对静压 H_1 为:

$$H_1 = P_1 - P_0 = b_1 \text{ 毫米水柱}$$

其值一般为正数。式中 b_1 是测量压入式风机出口 1 点静压的 U 形垂直水柱计 3 的读数, 此读数位于水柱计受大气压 P_0 作用的一侧。

由于抽出式通风风机入口处 2 点的绝对静压 P_2 , 始终比同标高的当地大气压 P_0 要小, 故 2 点的相对静压 H_2 为:

$$H_2 = P_2 - P_0 = -b_2 \text{ 毫米水柱}$$

其值始终为负数。式中 b_2 是测抽出式风机入口 2 点静压的 U 形垂直水柱计 4 的读数, 此读数位于水柱计受绝对静压 P_2 作用的一侧。在抽出式通风中, 由于 b_2 为负值, 故通常又称为负压通风(应注意: 风机出、入口所形成的点压与风机所造成的通风压力不是一回事。抽出式风机所造成的通风压力和压入式一样, 始终为正, 并不为负)。这里应指出, 在现场实际工作中, 如填写扇风机房风硐测点的相对静压报表, 或研究某些通风问题时, 为简便, 有时并不写 $-b_2$ 中的 “-” 号, 而只取水柱计的读数 b_2 , 故应予以注意。

风流中任一点的绝对静压, 在本书简称静压。

四、静压与静压能的关系

研究井巷空气流动的基本规律, 除了要用到单位面积 (1 米^2) 上的空气静压外, 还要涉及到单位体积 (1 米^3) 内空气的静压能 (简称静压能) 的概念。下面简略给予介绍。

所谓任一点空气的静压能, 是指该点 1 米^3 的空气, 因受静压作用而所具有的一种能向外作功的能力。

以水为例, 如图 1-9a 所示, 设水仓某点 i 所受水的静压为 P_i 公斤/米², i 点以上水柱高为 Z 米 $\left(Z = \frac{P_i}{\gamma}, \gamma \text{——水} \right)$

的重率，公斤/米³），过此点垂直插入一个下端带阀门的空管（阀门的位置正在*i*点），则当打开阀门后，*i*点的水在静压 P_i 的作用下，就会在管内反抗重力做功而上升，如图1-8b所示，并一直上升到和仓内水面同高为止。

由于*i*点1米³的水（重 γ 公斤），受静压作用所能向外作出最大的功，是当它把静压全部消耗完，即当它使这1米³的水沿空管上升到仓内水面所做的功 W （管内未上升到最高水面的水，对外所做的功小于 W ，就是说尚保留一部分静压，还具有做功的能力），所以有：

$$W = Z_i \gamma$$

又因为有做功的本领，故在功未做以前，则是以能的形式表现，因此，静压所具有的静压能 $E_{\text{压}i}$ 应与 W 相等。根据分析，静压能有：

$$E_{\text{压}i} = Z_i \cdot \gamma \text{公斤} \cdot \text{米} / \text{米}^3 \quad (1-3)$$

以 $Z = \frac{P_i}{\gamma}$ 代入，可得：

$$E_{\text{压}i} = \frac{P_i}{\gamma} \cdot \gamma$$

$$\text{即} \quad E_{\text{压}i} = P_i \text{公斤} \cdot \text{米} / \text{米}^3 \quad (1-4)$$

式1-4就是静压与静压能的关系。这一关系可这样理解：当打开空管下端的阀门（如图1-9所示）后，由于静压的作用，管底1米³的水，立即上升到最高水面而具有位能 $E_{\text{位}i}$ （ $E_{\text{位}i} = Z_i \cdot \gamma$ ）。这个位能由能量守恒原理知，它只能是因为*i*点的水原来有静压，并在未卸压前以静压能的形式表现，卸压后，这个静压能就转化成位能，因此，有 $E_{\text{压}i} = E_{\text{位}i}$ 。再把 $E_{\text{位}i}$ 值代入，也同样可得1-4式。关于位能在第三节作介绍。

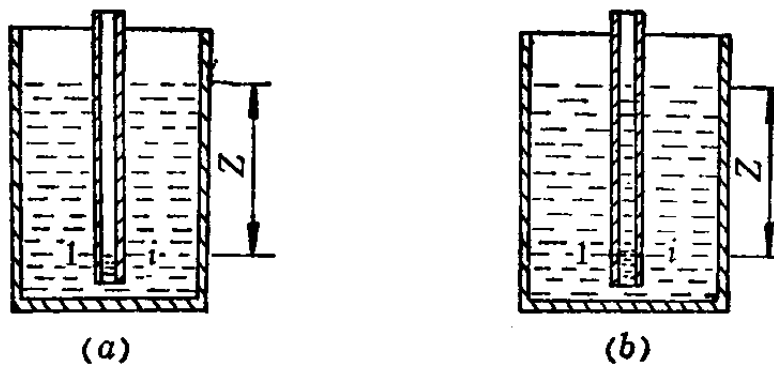


图 1-9

式 1-4 说明：静压与静压能是流体中一对互相依存的参数。在流体中任一点，只要有静压存在就必有静压能存在（正如，有蒸汽压存在就必有蒸汽能存在一样）；反之亦然。此外，不管在什么情况下，二者在数值上始终相等，量纲也相同（简化后都为公斤/米²）。

由于静压与静压能存在上述关系，所以在研究井巷空气的流动规律时，既可从压力的观点出发，也可从能量的观点出发，其结果都一样。

五、静压的测定

1. 绝对静压的测定

目前我国测量矿井绝对静压（即测井上下大气中的大气压），主要采用水银气压计与空盒（真空）气压计。

水银气压计（参看图 1-8 中 1、2）是由一根一端封闭的玻璃管，内装水银制成。如图 1-10 所示为一槽式水银气压计。图中 5 是盛水银的皮囊，2 是一固定指针，旋钮 4 可以调节囊内水银面的高低。玻璃管装于金属外壳内，1 是密封于玻璃管内的水银柱，金属外壳上附有从指针尖端开始算起的刻度尺 3。测量时，只要旋转旋钮 4，使囊内的水银面正好与指针的尖端接触，就可从刻度尺上读出管内水银上升的高度。