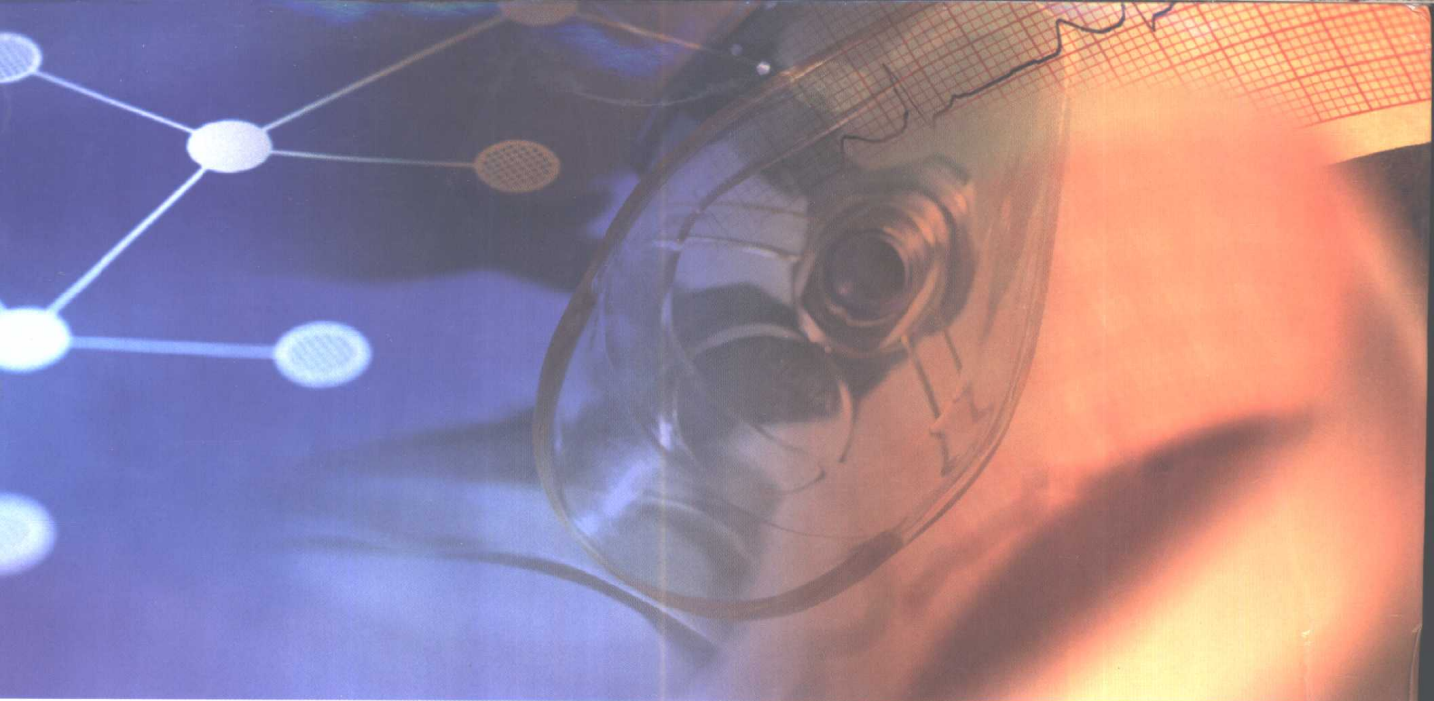




基础物理与临床麻醉

编著：吴树瑚 王景阳

第二军医大学出版社

基础物理与临床麻醉

吴树珩 王景阳 编著

第二军医大学出版社

内 容 简 介

本书分上下二篇,重在理论性和实用性。上篇密切联系临床麻醉实际介绍有关物理知识,内容包括流体、分子物理、电场、磁场、激光、X射线、传感器、麻醉装备以及医学影像等。下篇介绍麻醉理论与应用,内容包括麻醉机、麻醉呼吸机以及麻醉中的监测等。

本书可作为高等医学院校和医院等麻醉专业学员、医务人员及相关专业人员进行教学和进修的学习用书,亦可作为各科医务人员的业务进修参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

基础物理与临床麻醉/吴树瑚,王景阳编著. - 上海:第二军医大学出版社,2001.8
ISBN 7-81060-155-5

I. 基… II. ①吴…②王… III. ①医用物理学②麻醉学 IV. ①R312②R614

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 044223 号

基础物理与临床麻醉

主 编:吴树瑚 王景阳

责任编辑:傅淑娟

第二军医大学出版社出版发行

(上海翔殷路 818 号 邮政编码:200433)

全国各地新华书店经销

江苏昆山亭林印刷总厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:13.5 字数:330 千字

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~2 000

ISBN 7-81060-155-5/R·121

定价:26.00 元

前 言

科学的进步和社会的发展,将不断出现一些新的学科,同时也会使一些古老的学科获得新的生命力。麻醉学科就是一个充满新生命力的学科。

在医学史上,麻醉技术在我国的应用至少可追溯到公元二世纪。起初,麻醉只限于手术时的局部止痛。而现在麻醉的任务,除了临床麻醉工作,还负责镇痛、痛治疗、急救、复苏和重症监测治疗等。麻醉学科已被定为与内、外、妇、儿等并列的重要临床学科。但是,建国以来能供麻醉专业人员了解比较全面的基础物理和临床麻醉知识的参考书甚少,难以适应当今日益发展的麻醉医学的要求。为此本书的编写实属一次尝试。

在本书编写过程中,我们参照了卫生部颁发的高等医学院校医用物理学教学大纲、兄弟院校编写的医用物理学教材以及麻醉学系有关教学大纲和国外文献,又根据我们多年从事医学教育的体会和经验,力求联系医学实际,精选有关内容。旨在为麻醉科和相关学科的专业人员了解有关的专业知识。

内容分上下两篇,上篇为与麻醉有关的物理学基础;下篇介绍有关的临床麻醉知识。相信麻醉专业人员和有关医学人员通过参阅会大有裨益。

本书内容不过分强调系统性和广泛性,而强调实用性方面。本书可作为临床麻醉医学、药学以及生物医学工程学等各有关医务人员的学习和参考书。

本书上篇由吴树瑚同志编写,并绘制全书插图。下篇由王景阳同志编写。全书由王小平和江键两同志负责校阅。

本书泱泱数万言,由于种种原因,疏漏和差错实属难免,恳望有关专家、教员和学员同志对本书不吝赐教,以期重版时改进。

吴树瑚 王景阳

2001年5月



王景阳

教授，第二军医大学附属长海医院麻醉科主任医师、顾问，浙江丽水市人，1922年6月生，1949年毕业于国防医学院，长期从事临床麻醉及复苏教学与科研。编著有《麻醉问题处理》、《简明眼科麻醉学》、《麻醉手册》等，发表医学论文160多篇，20世纪60年代研制成国内第一台空气麻醉机；20世纪80年代，研制成圈内、圈外两用多功能麻醉机及原理新颖的STAR麻醉呼吸机，均获国家专利。



吴树瑚

教授，第二军医大学数理教研室，山东文登市人。1941年1月生，1966年毕业于上海科技大学（现上海大学）固体物理专业。长期从事物理学、微波技术及医学物理学教学和科研工作，编著有《物理学方法论》、《医用微波技术》等，发表论文40余篇，完成重点科研课题多项。

目 录

上 篇

第一章 流体的运动	(3)
第一节 理想流体 定常流动	(3)
一、理想流体	(3)
二、定常流动	(3)
三、连续性方程	(4)
第二节 柏努利方程	(5)
一、柏努利方程	(6)
二、空吸作用	(7)
三、皮托管	(7)
四、血压与体位高度的关系	(7)
第三节 实际流体的运动	(9)
一、实际流体的粘滞性和粘度系数	(8)
二、层流和湍流	(9)
第四节 泊肃叶定律 斯托克斯定律	(10)
一、泊肃叶定律	(10)
二、斯托克斯定律	(10)
第五节 血液的流动	(11)
第六节 射流的附壁效应	(11)
第二章 分子物理学基础	(11)
第一节 理想气体	(13)
一、理想气体状态方程	(13)
二、理想气体的压强公式	(14)
三、理想气体的能量公式	(14)
四、道尔顿分压定律	(15)
第二节 实际气体	(16)
第三节 物态变化	(17)
一、气化	(18)
二、安德鲁实验	(19)
三、液化	(20)
四、湿度 湿化器	(21)
第四节 液体表面现象	(22)
一、液体的表面张力和表面能	(23)
二、球形液面内外的压强差	(24)
三、毛细现象和气体栓塞	(25)
四、表面活性物质和表面吸附	(27)
第五节 气体的溶解度	(27)

一、气体在液体中的溶解度 亨利定律 分配定律·····	(27)
二、气体的转运·····	(29)
第六节 生物膜运输现象·····	(29)
一、生物膜的通透性·····	(29)
二、滤过·····	(29)
三、渗透·····	(30)
四、血液与组织间水分子的交换·····	(31)
五、溶质通过生物膜的扩散·····	(31)
第三章 电场·····	(33)
第一节 电场·····	(33)
一、库仑定律·····	(33)
二、电场和电场强度·····	(33)
三、电场强度的计算·····	(34)
四、电介质中的电场·····	(36)
第二节 高斯定理·····	(37)
第三节 电势差 电势·····	(39)
一、静电场力作功·····	(39)
二、电势能 电势 电势差·····	(39)
第四节 心电知识·····	(41)
一、心电向量·····	(41)
二、心电图波形的形成·····	(43)
三、中心电端和电极导联·····	(43)
四、心脏除颤和起搏·····	(44)
第五节 膜电位·····	(45)
一、膜电位的测量·····	(45)
二、能斯特电势·····	(46)
第四章 磁场·····	(48)
第一节 磁场的基本性质·····	(48)
一、磁感应强度·····	(48)
二、载流回路的磁感应强度·····	(49)
三、磁感应线 磁通量·····	(50)
四、磁场对电流和运动电荷的作用力·····	(51)
五、电动势 法拉第电磁感应定律·····	(52)
第二节 磁场的生物效应与应用·····	(53)
一、磁场的生物效应·····	(53)
二、磁场对人体的作用及磁疗·····	(55)
第三节 人体磁场·····	(55)
一、心磁场与心磁图·····	(55)
二、脑磁图·····	(56)

第五章 激光	(57)
一、激光的特点	(57)
二、激光的产生	(57)
三、激光的医学应用	(59)
四、激光的防护	(60)
第六章 X射线	(61)
第一节 X射线的产生及其基本性质	(61)
一、X射线的基本性质	(61)
二、X射线的产生	(61)
三、X射线的强度和硬度	(63)
第二节 X射线谱	(64)
一、连续X射线谱	(64)
二、标识X射线谱	(65)
三、X射线衍射	(66)
四、X射线结构分析	(67)
第三节 X射线的吸收	(67)
一、单色X射线吸收的宏观规律	(68)
二、连续X射线吸收的宏观规律	(70)
三、吸收的微观机理	(70)
第四节 X射线在医学中的应用	(72)
一、放射治疗	(72)
二、临床诊断	(73)
第七章 医用传感器	(74)
第一节 医用传感器概述	(74)
一、医用传感器的特点	(74)
二、医用传感器系统的组成	(74)
三、医用传感器的分类	(74)
四、医用传感器的发展动向	(75)
第二节 线性位移传感器	(75)
一、电阻应变计式线性位移传感器	(75)
二、电感式线性位移传感器	(77)
三、霍尔效应式线性位移传感器	(77)
第三节 流速与流量传感器	(78)
一、超声多普勒液流量计	(78)
二、应变片式气流计	(78)
第四节 温度传感器	(78)
一、热电偶温度传感器	(79)
二、热敏电阻温度传感器	(80)
第五节 信号显示与记录	(81)

一、示波器·····	(81)
二、电磁式描笔记录器·····	(83)
三、自动平衡记录器 XY 记录仪·····	(83)
四、磁带记录器·····	(84)
第八章 麻醉监测装备 ·····	(86)
第一节 气体浓度监测仪器 ·····	(86)
一、红外线气体分析仪·····	(86)
二、气相色谱仪·····	(87)
三、质谱仪·····	(88)
四、瑞利折射仪·····	(90)
第二节 血氧饱和度监测仪 ·····	(91)
一、血氧饱和度监测仪的基本原理·····	(91)
二、血氧饱和度监测仪结构和功能·····	(91)
第三节 呼吸功能监测仪器 ·····	(92)
一、肺容量计·····	(92)
二、流量计·····	(92)
第四节 循环功能监测仪器 ·····	(94)
一、血压测量方法·····	(94)
二、血流测量方法·····	(97)
第五节 肌电图机 ·····	(98)
一、肌电图的分类·····	(98)
二、肌电图波形的基本参数·····	(99)
三、电极和刺激器·····	(100)
第六节 脑电图机 ·····	(100)
一、输入电路·····	(101)
二、放大电路·····	(101)
三、调节电路·····	(101)
四、记录装置·····	(102)
五、辅助仪器·····	(102)
第七节 心电图机 ·····	(102)
一、心电图机的基本构成·····	(102)
二、工作原理·····	(102)
第九章 医学影像的技术原理 ·····	(104)
第一节 X 射线计算机断层成像 ·····	(104)
一、X 射线的衰减规律·····	(104)
二、X-CT 的基本原理·····	(105)
三、图象重建的基本方法·····	(106)
四、X-CT 扫描机·····	(108)
五、X-CT 的医学应用·····	(111)

第二节 核磁共振成像	(111)
一、核磁共振的基本概念	(112)
二、核磁共振成像的原理	(115)
三、核磁共振成像临床诊断的物理学原理	(120)
四、核磁共振成像系统	(121)
五、核磁共振成像的主要优缺点及其发展前景	(122)

下 篇

第十章 麻醉药液的扩散及摄取	(125)
第一节 吸入麻醉药的扩散与摄取	(125)
第二节 局部麻醉药的弥散与消退	(127)
第三节 静脉麻醉药的转运	(128)
一、被动转运	(129)
二、特殊转运	(129)
三、药物通过细胞膜的量及其运转速率	(129)
四、药物的分布	(129)
五、药物的消除	(130)
第十一章 麻醉机	(131)
第一节 麻醉机的主体结构	(131)
一、中心供氧系统	(131)
二、蒸发器	(133)
三、影响蒸发器输出浓度的因素	(138)
第二节 麻醉环路	(139)
一、mapleson 系统	(139)
二、环状系统	(143)
第三节 低流量紧闭麻醉	(145)
一、概述	(145)
二、低流量紧闭麻醉可能导致的危险	(145)
三、低流量麻醉的优点	(146)
四、紧闭麻醉必须克服的问题	(147)
第十二章 麻醉呼吸机	(150)
一、呼吸机的基本功能与分类	(150)
二、呼吸机的基本原理	(150)
三、呼吸机的工作参数及其临床意义	(152)
四、几种通气模式的评价	(153)
五、机械通气注意事项	(156)
第十三章 麻醉中的监测	(158)
第一节 循环功能监测	(158)
一、血压监测	(158)

二、血液流量与流速监测	(159)
三、心排血量(CO)监测	(159)
四、食道超声心动图	(161)
五、心电图	(162)
第二节 呼吸功能监测	(162)
一、通气功能的监测	(163)
二、换气功能的监测	(164)
三、通气力学及通气储备力	(165)
四、氧耗量(VO_2)和二氧化碳排出量(VCO_2)的监测	(167)
五、呼吸中枢驱动力($P_{0.1}$)的测量	(167)
六、血气分析	(167)
七、脉搏 O_2 饱和度(SPO_2)和呼气末 CO_2 浓度(ETCO_2)监测	(168)
八、混合静脉血 O_2 饱和度(SVO_2)	(171)
第三节 脑电、肌电、脑电诱发电位及肌松监测	(172)
一、脑电图	(172)
二、脑电活动与麻醉	(173)
三、肌电图	(173)
四、诱发电位监测	(174)
五、神经肌肉传递功能监测(肌松监测)	(175)
六、体温监测	(177)
第四节 吸入麻醉气体浓度监测	(177)
一、吸入麻醉气体浓度监测	(177)
二、血气监测	(178)
三、 O_2 浓度监测	(179)
第十四章 激光、核磁共振及不同大气压下的麻醉	(180)
第一节 激光和麻醉	(180)
一、 CO_2 激光的性质	(180)
二、激光的防护	(181)
第二节 核磁共振检查的麻醉	(181)
第三节 高压舱内麻醉	(182)
一、高压 O_2 的含义	(182)
二、高压 O_2 治疗的目的	(182)
三、高压 O_2 舱在各手术科的应用	(182)
第四节 高原地区病人的麻醉	(183)
一、高原地区环境特点	(183)
二、对人体的影响	(183)
三、麻醉注意事项	(184)
第十五章 手术麻醉中的用电安全	(185)
一、触电及防护	(185)

二、静电的防护	(188)
三、高频电刀引起的灼伤	(188)
附录一 国际单位制	(191)
附录二 常用物理量	(192)
附录三 几种常用单位的换算	(193)
附录四 常用数学公式	(197)
附录五 不同频率下人体组织的相对介电常数 ϵ_r 和电阻率 ρ	(198)
附录六 常用医学外文缩写词	(199)
参考文献	(201)

上 篇

基础物理

第一章 流体的运动

液体(liquid)和**气体**(gas),均没有一定的形状,由于分子运动,其分子可从一处运动到另一处。固体分子之间引力最大,虽可在各自的平衡位置上振动或转动,但范围很小,能保持一定的体积和形态。液体分子之间引力较小,能保持一定体积,但不能保持一定形状。气体分子之间引力最小,分子运动变大,无固定体积和形状。由于液体和气体具有流动性,便把液体和气体统称为**流体**(fluid)。

流体和流体的运动,对人体生命活动起着十分重要的作用。人体中养分的输送和废物的排泄,就是通过流体运动(血液循环和呼吸过程)来完成的。

第一节 理想流体 定常流动

一、理想流体

实际流体的性状是很复杂的。例如气体极易压缩,其密度随压强的不同而改变;液体和气体在流动过程中,相邻流层之间会出现内摩擦力,等等,这对分析问题带来许多困难。为此,仿利用刚体这一模型来代替一般固体那样,可用一个理想化的流体模型代替实际流体。把完全不可压缩并且没有内摩擦的流体,称之为**理想流体**(ideal fluid)。

显然,理想流体实际上是不存在的。但是一些实际液体,其压缩率是很小的,例如对水施加 10^8 N/m^2 的压强,体积仅改变 5%,所以水可以近似地看成是不可压缩的;且水的内摩擦力(又称粘滞力)也是很小的,所以水可以看成是理想流体。气体比较容易压缩,但在温度和压强保持不变的情况下,也可以认为其体积没有变化,且气体的内摩擦力一般也很小,所以在这种条件下气体也可以近似地看成是理想流体。

实验证明,水、酒精等液体,可以看成是理想流体,而甘油、蓖麻油、糖浆等液体,就不能看成是理想流体。

二、定常流动

流体在流动时,在同一时刻,各处的流体粒子的速度并不相同。即使对某一定点、不同时刻,该点流体粒子的速度也不相同,可以说,流体流动是随时间而变的。但是,当流体的流动速度随时间的变化并不显著时,可以近似地认为,各处流速不随时间变化,这种流动称为**定常流动**(steady flow)。

例如图 1-1 中,液体自左向右作定常流动,液体粒子流经 A、B、C 点时,其速度 v_A 、 v_B 、 v_C 显然互不相同,但在任一时刻,各点速度保持不变。在实际生活中,见缓慢流动的河水、管道内缓慢输送的液体等,都是定常流动的例子。

为了形象地描述流体流动的情况,可在流体内画出一系列曲线,规定曲线上各点的切线方向和流体粒子在该点的速度方向一致,这些曲线就称为**流线**(stream line)。当流体作定常流动时,因各点的流速保持不变,流线在空间的位置也就保持不变,流体粒子将沿流线运动,因此流线即为粒子运动的轨迹。

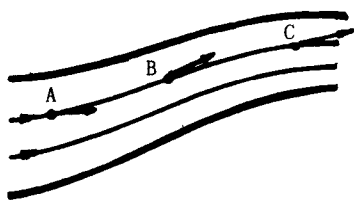


图 1-1 定常流动

若在定常流动的流体中沿流线垂直方向取一小截面 ΔS , 并且通过它的周边各点作出许多流线, 则由这些流线所围成的管状体就称为流管(tube of flow)。根据定常流动和流线的概念, 可知流线不能相交, 从而流管内外的流体不会混流, 如图 1-2 所示。

三、连续性方程

设某一流管内的流体在作定常流动, 如图 1-3 所示。

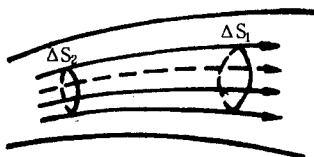


图 1-2 流管

在一微细流管上任取两个与管轴垂直的截面 S_1 、 S_2 ; 两处流速分别为 v_1 、 v_2 ; 经时间 Δt 后, 流过 S_1 、 S_2 的流体体积分别示为 ΔV_1 、 ΔV_2 ; 则

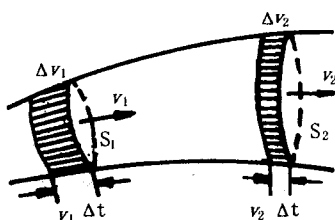


图 1-3 连续性方程的推导

对不可压缩的理想流体, 在相同的 Δt 内, 有多少体积的流体流入 S_1 , 就必定会有相同体积的流体流出 S_2 , 故

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \quad S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$$

$$\text{即 } S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{常量}$$

(1-1)

式(1-1)称为理想流体作定常流动时的连续性方程(equation of continuity)。它说明理想流体在流管内作定常流动时, 流体的流速和流管的截面积成反比。流管粗处流速小; 流管细处, 流速大。

式(1-1)表达的是单位时间内流过流管任一截面的流体体

积, 称为体积流量, 记为 Q , 即

$$Q = Sv \quad (1-2)$$

可见, 连续性方程表达了理想流体作定常流动时, 其体积流量保持不变。

若理想流体的密度为 ρ , 则由式(1-2)可得质量流量 Q_m , 即

$$Q_m = \rho Sv = \text{常量} \quad (1-3)$$

因此, 连续性方程也可看成是质量流量守恒定律。

连续性方程可以用来近似地分析血管中血流速率与血管截面积之间的关系。当血液循环近似地看成是不可压缩的液体在血管中作定常流动时, 由于血管的总截面积从动脉到毛细血管是逐渐变大的; 而从毛细血管到静脉时血管总面积又逐渐变小, 所以血流速率从动脉到毛细血管时是逐渐减慢的; 而从毛细血管到静脉时血流速率又逐渐加快, 如图 1-4 所示。

顺便说明。血液自心脏流出后, 动脉经过几次分支再分支, 从而载运血液至各处组织。最小的血管是毛细血管, 其直径约为 $20 \mu\text{m}$, 十分细小, 但数量达几百万条, 它们的总截面积相当于一根直径约 30 cm 的管子, 是主动脉的数百倍之多, 血液在其中流速极慢, 便有充分时间进

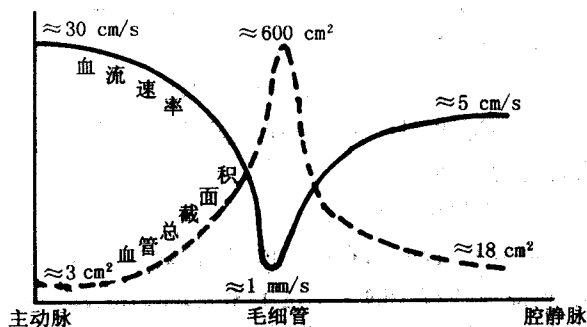


图 1-4 血流速率与血管总截面积关系

行扩散。

第二节 柏努利方程

一、柏努利方程

柏努利方程(Bernoulli equation)是理想流体作定常流动时所遵从的基本定律。它描述了流管内各处的压强、流速和高度之间的关系。

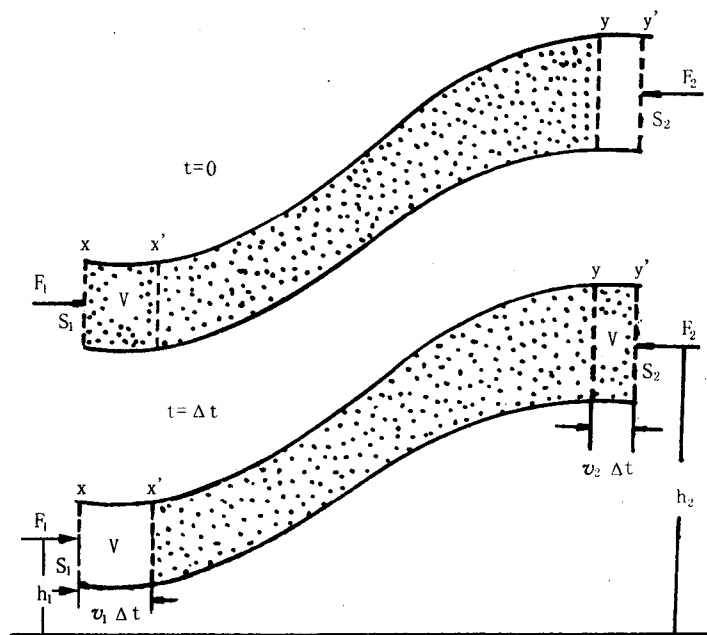


图 1-5 柏努利方程的推导

如图 1-5 所示,设有理想流体在一截面不均匀的微小流管内作定常流动。上图表示在 $t=0$ 时的一段液流 xy ,下图表示经过 Δt 时间后该段流体的位置 $x'y'$ 。各物理量已标于图上, h 表示各截面距参考面的平均高度。现用功能原理进行讨论。

对该段流体作功的外力就是段外流体对它的推力 F_1 和阻力 F_2 ,即

$$F_1 = P_1 S_1, F_2 = P_2 S_2$$

式中 P 表示压强。注意到 F_1 和 F_2 的方向相反,故当液体段 xy 移动至 $x'y'$ 时,外力作总功为

$$W = F_1 v_1 \Delta t - F_2 v_2 \Delta t = P_1 S_1 v_1 \Delta t - P_2 S_2 v_2 \Delta t = P_1 V - P_2 V \quad (1-4)$$

式中 V 表示流过的液流体积。根据功能关系知,外力作功应等于这段流体的动能和势能的增量之和,即

$$W = \Delta E_k + \Delta E_p \quad (1-5)$$

又由式(1-3)知, xx' 段和 yy' 段流体质量应相等,记为 m 。故