

成都工学院图书馆

基本馆藏

361142

水 力 学

納·扎·富兰凯尔著
童 詠 春 譯



人 民 教 育 出 版 社

目 录

水力学緒論

第一章 水力学的定义、方法及其在其他課程中的地位	1
第二章 流体最主要的物理性質和作用于流体的各种力	6
§ 2-1. 液体和气体	6
§ 2-2. 作用于流体的力	7
§ 2-3. 流体的密度和重度	11
§ 2-4. 流体的粘滯性。动力粘滯系数和运动粘滯系数	13
§ 2-5. 液体的彈性	22
§ 2-6. 气体的彈性。克拉貝龙-門捷列夫定律	23
§ 2-7. 表面張力和毛细現象	24

第一篇 水靜力学

第三章 水靜力学概論	26
§ 3-1. 一点上靜水压力的性質	27
§ 3-2. 液体平衡的微分方程式(欧拉方程式)	29
第四章 “绝对”靜止液体的水靜力学規律	34
§ 4-1. 承受重力和压力的不可压缩液体的水靜力学基本方程式和等压面	34
§ 4-2. 不可压缩液体內任何一点上绝对靜水压力和剩余靜水压力的确定。巴 斯加定律	36
§ 4-3. 靜水压力图	37
§ 4-4. 靜力水头	37
§ 4-5. 两种不同液体的平衡条件	40
§ 4-6. 連通器	41
§ 4-7. 液式測压仪器	41
題 4-1~4-12	46
§ 4-8. 平面上的靜水总压力。靜水奇象	57
§ 4-9. 平面上的靜水压力中心	59
題 4-13	61
§ 4-10. 曲面上的靜水总压力	62
題 4-14~4-19	67
第五章 相对靜止液体的水靜力学規律	72
§ 5-1. 相对靜止液体內等压面的微分方程式	72
§ 5-2. 沿斜面作等加速运动的貯液器內液体的相对靜止	73

§ 5-3. 以等角速度绕垂直轴转动的贮液器内液体的相对静止	75
题 5-1~5-3	77
§ 5-4. 绕水平轴转动的贮液器内液体的相对静止	80
题 5-4	82
第六章 浮沉理论的基础	84
§ 6-1. 基本定义. 阿基米德定律	84
§ 6-2. 关于浮体倾侧的欧拉定理	87
§ 6-3. 静稳定性	88
§ 6-4. 动稳定性	93
题 6-1~6-6	94
第二篇 水动力学	
第七章 水动力学概论	100
§ 7-1. 层流运动和紊流运动	100
题 7-1~7-2	104
§ 7-2. 稳定流动和不稳定流动. 时均点速的概念	105
§ 7-3. 流线	108
§ 7-4. 流体质点的运动. 有涡运动和无涡运动	110
第八章 水动力学的基本方程式	118
§ 8-1. 液流的水力模型	118
§ 8-2. 连续性方程式	114
§ 8-3. 理想液体运动的微分方程式(欧拉方程式)	118
§ 8-4. 自然形式的欧拉微分方程式	122
§ 8-5. 不稳定流动和稳定流动情况下理想液体微小流束的伯努利方程式	122
§ 8-6. 实际液体微小流束的伯努利方程式	126
§ 8-7. 实际液体微小流束的伯努利方程式图解	128
§ 8-8. 测速管	130
§ 8-9. 液体势流运动的伯努利方程式	131
§ 8-10. 理想液体与实际液体相对稳定流动的伯努利方程式	132
第九章 实际液体动力学的几个补充问题	137
§ 9-1. 广义摩擦定律	137
§ 9-2. 实际液体内部水压力的特性	138
§ 9-3. 已定方向的动水压力	140
§ 9-4. 实际液体运动的微分方程式(纳维-斯托克斯方程式)	148
第十章 液流动力学	147
§ 10-1. 液流的有效断面	147

§ 10-2. 液流的流量	148
§ 10-3. 液流的平均流速	149
§ 10-4. 液流的连续性方程式	150
§ 10-5. 液流任意有效断面中的液流功率 N	151
§ 10-6. 液流的惯性功率	154
§ 10-7. 实际液体的不稳定流和稳定流的伯努利方程式	156
§ 10-8. 不计水力阻力的稳定流和不定流水力计算示例	160
题 10-1~10-3	160
第十一章 水力阻力	168
§ 11-1. 水力模型试验	168
§ 11-2. 基本相似律。牛顿的相似准则	168
§ 11-3. 雷诺、弗鲁德、欧拉和韦伯的相似准则	171
§ 11-4. 量纲分析法在水力规律研究中的应用	175
§ 11-5. 水力阻力。能量损失叠加原理	177
第十二章 层流运动	184
§ 12-1. 等温层流的形成	184
§ 12-2. 管内等速等温轴对称层流运动的微分方程式	186
§ 12-3. 圆管内的等速等温层流运动	187
题 12-1	193
§ 12-4. 同轴圆管之间的等温等速层流运动	193
§ 12-5. 平面缝隙内的等温等速层流运动	197
题 12-2	199
§ 12-6. 平面径向层流	201
§ 12-7. 圆管内的不等温层流运动	205
第十三章 润滑的水动力学理论基础	208
§ 13-1. 摩擦的种类	208
§ 13-2. 基本方程式	212
§ 13-3. 滑块润滑油层中的压力分布和摩擦系数	216
第十四章 紊流运动	219
§ 14-1. 紊流中的速度场。起始段	219
§ 14-2. 紊流的微分方程式	219
§ 14-3. 紊流断面中的流速分布	223
§ 14-4. 紊流运动情况下的管路沿程摩擦系数 λ	229
§ 14-5. 光滑管中紊流的沿程摩擦系数	234
§ 14-6. 平方区内的管道沿程摩擦系数	237
§ 14-7. 在一般紊流情况下的管道沿程摩擦系数 λ	242
§ 14-8. 用于确定平方流态下紊流运动摩擦系数的其他某些经验公式和实验数据	245

§ 14-9. 非断面管中紊流运动的单位能量损失公式	249
§ 14-10. 圆管中不等温紊流运动。系数 λ 和单位能量损失的确定	249
第十五章 局部阻力	250
§ 15-1. 局部阻力系数和雷诺数对它的影响	250
§ 15-2. 液流突然扩大时的单位能量损失。巴达-卡诺定理	256
§ 15-3. 液流流出管道进入大容器时的单位能量损失	261
§ 15-4. 液流逐渐扩大时的单位能量损失(扩散管)	261
§ 15-5. 液流逐渐缩小时的单位能量损失(收敛管)	263
§ 15-6. 液流突然缩小时的单位能量损失	263
§ 15-7. 液流进入管口时的单位能量损失	265
§ 15-8. 液流转弯时的单位能量损失	266
§ 15-9. 液流折转时的单位能量损失	269
§ 15-10. 液流分支时的单位能量损失	270
§ 15-11. 截流设备、阀和其他设备的阻力系数	272
§ 15-12. 局部阻力系数的实验求法	275
题 15-1~15-4	277
第十六章 流量計	286
题 16-1	294
第十七章 貯液庫中液位不变情况下輸液管路的計算法	295
§ 17-1. 等断面的自流管路(簡單管路)	295
§ 17-2. 管路任何点上压力的求法	297
§ 17-3. 变断面的自流式簡單管路	299
题 17-1	300
§ 17-4. 虹吸管路及其工作特別。輸液量的測定	302
§ 17-5. 虹吸式或自流式管路輸液量的图解分析計算法	303
题 17-2	304
§ 17-6. 自流式分支管路的图解分析計算法	306
题 17-3	308
第十八章 給水管路的計算法	310
§ 18-1. 管路的串联	310
§ 18-2. 管路的串、并联	314
§ 18-3. 沿程均匀供水的給水管路	318
§ 18-4. 三水庫問題	320
题 18-1	324
§ 18-5. 水泵裝置的水能平衡	327
§ 18-6. 管路經濟計算要素	328

第十九章 管中水錘	332
§ 19-1. 水錘的定义	332
§ 19-2. 閘門驟然关闭时的 H. E. 雷柯夫斯基压力公式	333
§ 19-3. 按 H. E. 雷柯夫斯基方法确定的液体中水錘波傳播速度	336
§ 19-4. 水錘的微分方程式	338
§ 19-5. 水錘的一般情况	342
§ 19-6. 閉端管路中的水錘	347
§ 19-7. 水錘抽水机	348
題 19-1	350
第二十章 定水头下孔口和管嘴的液体出流	351
§ 20-1. 定水头下孔口的液体出流	351
§ 20-2. 定水头下淹没孔口的液体出流	362
§ 20-3. 流量系数、收缩系数、流速系数和阻力系数的测定	363
§ 20-4. 定水头下竖壁长方孔口的液体出流	365
§ 20-5. 定水头下竖壁圆孔口的液体出流	366
§ 20-6. 管嘴的液体出流。圆柱形外管嘴	367
§ 20-7. 钟形管嘴的液体出流	372
§ 20-8. 圆柱形内管嘴的液体出流	373
§ 20-9. 圆锥形收缩管嘴的液体出流	373
§ 20-10. 圆锥形扩散管嘴的液体出流	374
§ 20-11. 喷液器的液体出流	376
§ 20-12. 自由射流的轨迹和射程	377
題 20-1 ~ 20-4	382
第二十一章 变液位下貯液庫的液体出流。貯液庫泄空时间的确定	387
§ 21-1. 貯液中液体出流时间的确定。一般情况	387
§ 21-2. 横断面不随高度而变的貯液庫中液体出流时间的确定	388
§ 21-3. 变断面貯液庫中液体出流时间的确定	389
§ 21-4. 泄空时间的图解分析法	392
題 21-1 ~ 21-3	394
第二十二章 流体对其中的运动体的阻力	401
§ 22-1. 流体中运动体上的作用力	401
§ 22-2. 摩擦阻力	402
§ 22-3. 压力阻力	403
§ 22-4. 波浪阻力	412
題 22-1	413
第二十三章 液流和固体的相互作用	414

§ 23-1. 流体和作等速、直线平行移动的固体壁的相互作用力	414
§ 23-2. 压力流作用在 90° 弯头上的力	417
§ 23-3. 自由射流作用在固定平面上的力	417
§ 23-4. 自由射流作用在固定曲面上的力	419
§ 23-5. 自由射流作用在以等速沿直线平移的壁面上的力	420
§ 23-6. 射流作用于以等速沿直线平移的壁面时的功率	422
§ 23-7. 液流作用于以等角速度绕固定轴转动的壁面时的指示功率	425
§ 23-8. 流体和机翼形断面体的相互作用。II. E. 儒柯夫斯基的升力定理	428
题 23-1 ~ 23-2	435
第二十四章 液体的稳定无压流动	439
§ 24-1. 稳定无压流的微分方程式	439
§ 24-2. 等速流动	440
§ 24-3. 流速系数	442
§ 24-4. 渠道的水力最佳断面	445
§ 24-5. 许可流速	448
题 24-1 ~ 24-2	449
§ 24-6. 稳定渐变流动的微分方程式。临界水深	450
§ 24-7. 断面比能	452
§ 24-8. 自由面的形状	454
§ 24-9. 水跃方程式	455
§ 24-10. 自由面微分方程式的积分	456
第二十五章 堰	460
§ 25-1. 堰的分类	460
§ 25-2. 薄壁堰的液体溢流	461
§ 25-3. 薄壁堰的基本计算公式	463
§ 25-4. 宽顶堰的液体溢流	465
§ 25-5. 宽顶堰的基本计算公式	467
§ 25-6. 实用断面堰的液体溢流	468
§ 25-7. 堰流流量系数的计算公式	469
第二十六章 气体流体力学	473
§ 26-1. 气体的平衡方程式。标准大气	473
§ 26-2. 稳定流动情况下理想气体微小流束的伯努利方程式。连续性方程式	476
§ 26-3. 气体中的音速	478
§ 26-4. 管嘴的气体出流	479
§ 26-5. 输气管路的计算	484
题 26-1 ~ 26-3	487

水力学緒論

第一章 水力学的定义、方法及其在其他課程中的地位

現代水力学是一門技術科學。它的對象是流體和支配着流體的那些規律，後者主要被運用於解決各種工程實踐問題，例如管流、水工建築物、水力機械的計算等等。

我們要把流體既了解為幾乎不可壓縮的流體，即液體（水、油、汽油等等），又了解為可壓縮的流體，即氣體。允許對流體的概念下這樣廣泛的定義，是因為許多水力規律性，無論對液體或氣體來說，是類似的。所以，不管是在液體中的還是在氣體中的許多很重要的現象，都可以用相同的方程式來表達。

水力学分為兩個部分：水靜力学和水动力学。水靜力学研究流體平衡規律及流體對於與其相接觸的固體的作用。水动力学研究流體運動規律及流體和與其相接觸的靜止固體或運動固體間的相互作用。

水力学以其研究成果促進着力圖認識物質運動客觀規律的唯物主義自然科學的發展。所以，水力学有時被認為是自然科學的一個部門。

水力機械、水力機構和其他以流體為工作體的設備在國民經濟中的廣泛應用，要求機械專業工程師具備水力学方面的主要知識。

由於水力学是一門基礎課程，而且往往是整個教學計劃內學生學習流體力学基礎的唯一課程，對於從事機械製造、水力機械製造以及水利工程、給水排水工程等專業的人員來說，水力学具有特別重大的意義。對於生產過程機械化與自動化問題，水力学的的作用也很巨大。水力学又是許多專業課的基礎，不熟悉水力学，就不能學習這些專業課。

“水力学”一詞，源自“ὕδωρ”(休道尔)——“水”和“αὐλός”(奧烏洛
斯)——“管”两个希腊詞的合成，这証明了管流問題在过去的重要性。
虽然現代水力学問題范围极广，但管流問題在目前也还是水力学基本
問題之一。

远古时，在一般希腊科学^①中还是萌芽的水力学，到了資本主义的
工場手工业时期^②开始时，才形成为一門独立的科学。到这个时期，
“……，工业巨大地发展起来，并产生了很多力学上的……、化学上
的……、以及物理学上的……新事实，……”^③。但是，直到十七世紀末
期和十八世紀中叶，才由伊薩克·牛頓(1642~1727年)和彼得堡科学
院达尼尔·伯努利院士(1700~1782年)、米哈依尔·华西里耶維奇·
罗蒙諾索夫院士(1711~1765年)和列奧納德·欧拉院士(1707~1783
年)以他們的卓越工作建立了水力学的理論基础。

現代水力学的科学基础是物理学的、特别是理論力学的一般法則
以及罗蒙諾索夫的物质与运动守恒定律。水力学中最重要的原理，是
欧拉的連續性原理。把流体看作为质点可以无限分割的連續介質的观
念，就是以这个原理作为基础的。根据这个原理，那些对水力学研究很
重要的量，像密度、压力、动量、动能等等，都可以表达成为在所研究的
流体范围内不間断的函数关系的形式^④。

① 在古代学者中，应当提出研究水力学問題的希腊哲学家阿基米德(生于紀元前287
年，卒于紀元前212年)。阿基米德在論文《論浮体》中表述了他所发现的一条水静力学基本
定律——“阿基米德定律”。

② 在这一时期的学者中，应当提到西門·斯蒂芬(1548~1620年)、伽利略·伽利来
(1564~1642年)、埃凡捷里斯塔·托里拆利(1608~1647年)、勃列斯·巴斯加(1623~1662
年)。我們有根据推测，曾經研究物体浮沉、孔口出流、流体对于运动物体的阻力、流体在管
和渠道中的运动等等問題的利奧那多·达·芬奇(1452~1519年)对水力学基础的建立起过
重大的作用。

③ 弗里德里希·恩格斯：《自然辯証法》，国立政治书籍出版社，1953年，第145頁(見
人民出版社1955年版中譯本第150頁，——譯者)。

④ 不适合这个原理的情况是特殊的情况，在这本教科书中不加以研究。

运动流体中所产生的现象很复杂，在许多情况下不可能只从理论上研究，同时理论也需要验证，这使得水力学以现在最有效的研究工具之一的相似法^①为基础，广泛地利用着实验。

所以，水力学的方**法**是水力现象的分析研究法和实验研究法的总和。

列奥纳德·欧拉是研究近似于水力学和理论流体力学问题的奠基者。和水力学不同，理论流体力学所研究的问题不是仅仅与技术有关，它比水力学远为广泛地运用数学研究法，而在较小的程度上依靠着实验。但是，一方面由于现代流体力学越来越深入到实际问题的领域，越来越多地运用着实验研究法；另一方面，由于水力学广泛地应用着流体力学的研究法，这两门实质上研究相同规律的科学之间的差别，正在逐渐消失^②。

现代水力学的发展也有赖于工程界杰出的代表人物。为建筑水电站、渠道、给水管路而进行的巨大水利工程，以及造船、机器制造、特别是水力机械制造的发展都促成了重要的水力规律的发现^③。

在我们国家里，只有在伟大的十月社会主义革命获得胜利，苏维埃

① 相似理论的基础早由伊·牛顿建立，在奥斯朋·雷诺(1842~1912年)、维克多·里沃维奇·基尔庇切夫(1845~1913年)等人的著作里获得进一步的发展。

② 对理论流体力学的发展作出了巨大贡献的有：约瑟夫·路易·拉格朗日(1736~1813年)、格罗曼·格姆兹茨(1821~1894年)、路易·纳维(1785~1836年)、阿杰塞尔·圣·维南(1797~1886年)、乔治·斯托克斯(1819~1903年)和其他许多人；在俄国学者之中则有：伊波里特·斯捷潘诺维奇·葛罗米柯(1851~1889年)、尼古拉·叶戈罗维奇·雷柯夫斯基(1847~1921年)、谢尔盖·阿列克谢维奇·恰普雷金(1869~1942年)和其他许多人。

③ 在这里应当提到安德恩·谢才(1718~1798年)、达西(1803~1858年)、尤里乌斯·维斯巴赫(1806~1871年)、巴仁(1829~1917年)；在俄国和苏联学者中应当提到德米特里·伊凡诺维奇·门捷列夫(1834~1907年)、阿列克谢·尼古拉耶维奇·克雷洛夫(1863~1945)、符拉基米尔·格利戈利耶维奇·舒霍夫(1853~1939年)、尼古拉·叶戈罗维奇·雷柯夫斯基、尼古拉·巴甫洛夫斯基、彼得罗夫(1836~1920年)、尼古拉·尼古拉耶维奇·巴甫洛夫斯基(1881~1937年)、列奥尼德·萨莫伊洛维奇·列宾从(1879~1951年)，以及B. A. 巴赫密捷夫、M. A. 维里康诺夫、A. H. 米洛维奇、H. T. 叶西曼等人。

政权使生产资料社会化(使其成为全民所有的财产),借此消灭了剥削制度,创造了社会主义经济制度之后,一切科学,其中也包括水力学在内,才有繁荣的可能。苏联共产党和政府为苏联学者前面提出了一些非常重要的问题,这些问题的解决应当促成共产主义社会物质技术基础的建立。

我们国内正在进行的巨大建设乃是助长包括水力学在内的无数苏联科学部门发展的不竭源泉。它促进了许多水力现象的有成效的研究,以及水力机械工作过程的完善研究法的创造等等。

在苏维埃时代,第一批对发展水力学有卓越贡献之一的是 H. H. 巴甫洛夫斯基的工作。1922 年, H. H. 巴甫洛夫斯基发展了 H. E. 儒柯夫斯基的理论,并创立了多孔介质中流体不等速运动的广义理论。在同一时候, H. H. 巴甫洛夫斯基研究出利用电水动力学比拟法(电拟法)的水力现象研究法。这个方法是用水动力现象和电现象的微分方程式的相似性为基础的。例如,壩下土壤中的液体运动可以用测量建筑物模型中电场电压的方法来进行研究。电拟法也可以用来研究物体的绕流。苏联学者的成就之中,应该列入 H. H. 阿格罗斯金和 M. Д. 切尔陀乌索夫有关明渠非均匀流理论的著作、C. A. 赫利斯基安诺维奇院士研究出来的渠道中非恒流理论、Л. C. 列宾从院士继承 H. E. 儒柯夫斯基的研究而研究出来的多孔介质中自然液体与气体运动理论。

在管内非恒流动过程的研究方面, M. A. 莫斯特柯夫、H. A. 卡尔特维里施维里、A. A. 苏林、H. A. 恰尔奈等等得到了很大的成果。

M. A. 维里康诺夫、A. H. 柯尔莫高罗夫、Л. Г. 洛强斯基、A. A. 弗利德曼等等在紊流研究方面取得了巨大的成就^①。

在 A. H. 阿胡庆、H. M. 别尔纳斯基、E. A. 萨马林、H. H. 列维、

① 关于紊动问题,包辛内斯克(1897年)、O. 雷诺(1883~1885年)、T. 卡门(1930年)、G. 泰勒(1932年)、L. 普朗特(1932年)等的研究在当时是举世闻名的。

И. В. 馬斯齊茨基[⊖]、H. H. 巴甫洛夫斯基、Φ. H. 彼加洛夫、П. Я. 波露巴林諾娃-柯琴娜、A. H. 拉赫曼諾夫等人的著作中，工程水力学問題得到了很大的发展。所謂工程水力学，通常是指水力学中与水工建筑物（壩、渠等等）計算有关的部分。

苏联学者极其注意水力摩阻規律的研究。就适用于所謂水力摩阻平方区的公式來說，H. H. 巴甫洛夫斯基早在 1925 年首創的公式，在苏联享有特別盛大的声誉。在水力計算实践中流行的是 И. И. 阿格罗斯金在 1950 年提出的公式。在管路計算方面，除了外国学者（柯尔勃克、怀特等等）的公式以外，現在应用着苏联学者（A. Д. 阿里特舒里、И. А. 伊薩耶夫、П. К. 柯納科夫[⊖]、H. З. 富兰凱尔、Φ. А. 謝維列夫等等）的公式。A. И. 尤芬、B. C. 克諾罗斯、Г. H. 罗叶尔在水力机械化問題的研究上作出了巨大的貢獻。

发展国民經济的各个五年計劃的完成，有把握地說明苏联国家制度和社会制度优越于資本主义制度，并且証明摆在苏联学者和工程师面前的任务已經胜利完成。

同苏联共产党和政府所領導的、并以馬克思列宁主义世界观武装起来的一切苏联学者一样，苏联水力学学者工作的目的在于进一步发展国民經济，在于始終一貫地改善苏联人民的生活。

苏联水力学学者的成就将有助于更快实现苏联人民偉大崇高的目的——在苏联建成共产主义。

⊖ 原书誤为 И. М. 馬斯齊茨基——譯者。

⊖ 原书誤为 П. H. 柯納科夫——譯者。

第二章 流体最主要的物理性质和作用于流体的各种力

§2-1. 液体和气体

流体是一种具有流动性的物体，它本身没有形状，但能取得所在容器的形状。流动性是流体即使在不大的力作用下都会改变本身形状，但并不分成几部分的性能。

流体分为两类：液体和气体。属于液体的有水、油、汽油等等。这类流体能够成滴[⊖]，有一定的体积，而且同气体比起来它的压缩性是很小的。如果液体体积小于容器的容积，液体总是占据容器的一部分。在这情形下，液体具有称为自由面的液气分界面。气体则在容器中扩散开来，充满整个容积[⊕]。

如果在研究时，忽略某种对所研究的问题具有重要性的流体物理性质，我们称这样的流体是理想流体。以后，我们将称忽略了粘滞性的流体为理想流体。

在水力学中，流体被当作一种不间断地充满某一空间的介质，即连

⊖ 所以“капельная жидкость”(“液体”)也有人译作“成滴流体”——译者。

⊕ 根据现代的观点，在液体内存在着液体分子的点阵排列，但是和固体的晶体点阵不同，液体点阵不呈有规则的形状。在液体分子的热运动中，由于作用于它们之间的力的影响下，大部分时间在某一平衡位置的附近作振动(处于“定居生活”状态之中)，同固体分子的振动相似。分子的“定居生活”时间等于 10^{-10} 秒。在这个时间内，分子可以完成100到10000次振动。有些分子偶然加足能量，突破包围，迁移到别的位置。在新的位置，分子恢复了具有振动性质的运动。分子在其屡次迁移中所描出的轨迹是一条折线，有如气体分子在其热运动中所描的轨迹。

流体只有在受到外力作用时，才产生流动。但是力的作用时间必须长于“定居生活”的时间，否则流体就像固体似的处于应力状态。

續介質，因此它的任何无限小的体积可以認為是一个物体^①。

在把流体当作連續介質的同时，应当区别均質流体（即質量平均分布于体积內的流体）和非均質流体（即質量不平均地分布在体积內的流体）。可以把任何气体作为非均質流体的例子，虽然在压力变化很小时，实际上也可以把它当作均質流体^②。

流体質量在其体积內的分布是用密度或重度来表示的（參閱 § 2-3）。

§ 2-2. 作用于流体的力

在推导各种水力学关系式时，必須組成流体运动或平衡方程式，在其中列入对作用于所研究的流体元素說来是外力的各种力。这些力分为質量力和表面力。

質量力是大小和流体質量成正比的力。属于質量力的，有重力和各种慣性力（达朗倍尔慣性力、牽連慣性力、科里奧里斯慣性力）。这些慣性力中哪一个須加以考虑，要看所研究的問題是用哪一种方法来解决，这是在理論力学課程里就应当熟悉的。在这里我們只提示：慣性力等于質量 and 相应加速度的乘积，力的方向同加速度的方向相反。

在均質流体中，重力和慣性力都和体积成正比，在这个特殊情况下，它們称为体积力。

表面力是大小和受力表面的面积成正比的力。現在我們来研究这种力。

为此，我們在流体中分出某一为任意表面所包圍的体积（图 2-1）。从处于这个体积周圍的流体或与这个体积相接触的渠壁或容器壁，有

① 这是因为水力学中所研究的流体質点的大小同流体分子自由路程的平均长度比起来总是很大的。

② 在理論流体力学中，如果流体在其全部体积內滿足同一物态方程式，則称为均質流体。从这个观点看来，同一气体总是均質流体。

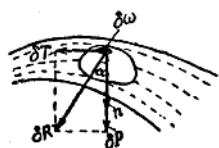


图 2-1. 表面力分解为摩擦力和总压力的示意图。

一些力作用于这个体积的表面上。对这个体积说来，这些表面力都是外力。

用 δR 表示周围流体或壁面作用于上述表面上某一微小面积 $\delta\omega$ 的力。在一般情况下，力 δR 的作用方向，对所研究的这一体积而言，可以是向内的，也可以是向外的，并和法线 n 的方向成一夹角 α 。

我们把力 δR 分解为两个分力：方向与法线 n 一致的分力 δP 和沿该微小面积切线方向的分力 δT 。

力 δP 叫作法向力。它可以是压缩力——压力，也可以是拉伸力——张力。力 δT 叫作切向力或摩擦力。

摩擦力是由流体体积的形变引起的，而且只产生于动态流体中。摩擦力将在另外几节里讲解。在这里我们比较详细地研究一下法向力。这种力是由所考虑的点上的法向应力来表示的。所考虑的微小面积上法向应力的平均值等于 δP 对 $\delta\omega$ 之比：

$$p_{\pi_{\omega}, n} = \frac{\delta P}{\delta\omega} (\text{公斤/米}^2) \text{①}。 \quad (2-1)$$

具有法线 n 的面积 $\delta\omega$ 上的平均法向应力，在面积值趋向于零时所趋向的极限，称为在 n 方向的点上绝对应力：

$$p_n = \lim_{\delta\omega \rightarrow 0} p_{\pi_{\omega}, n} = \lim_{\delta\omega \rightarrow 0} \frac{\delta P}{\delta\omega}, \quad (2-2)$$

或

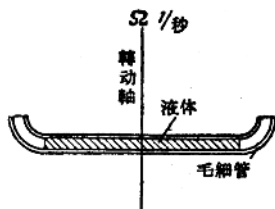
$$p_n = \frac{dP}{d\omega} (\text{公斤/米}^2)。 \quad (2-3)$$

应力是以公斤/米² 等等来度量的。应力可以是压应力即压力，也可以是张应力。

① 我们在这里指出(以后不再重复)：对有量纲的量下定义时，总是用某一种单位表明它的量纲，目的仅仅在于着重说明它的物理意义。

流体承受压缩力(压力)的能力是无限的。对于张力, 就不能这样说。气体一般不能承受张力。液体则如现代研究所证明, 具有承受相当大的张力的能力。

这可以特别清楚地从下面的例子看出。在一根两端开口的玻璃毛细管(图 2-2)中充满液体, 并使管子绕着通过管子中心的竖直轴线转动。由于转动, 在液体中发生把液体从毛细管向两面甩出的倾向。但是即使在转动角速度 Ω 很大的时候, 液体都不被甩出, 这证明液体具有承受这时产生的张力的能力。从类似的实验, 举个例子来说,



曾经试验得到水有数值达到 280 公斤/厘米² 的张应力。所以, 液体具有抗张强度, 在这方面它是同固体相似的。

但是, 在实际情况下, 由于液体污秽和液体内部存在着溶解的空气, 液体抵抗张力的能力是不大的。在水力计算中, 一般都认为当液体压力下降到开始气化的 p_v 值时, 液体的抗张强度达到了极限。气化压力 p_v 总是大于零, 并被取为液体中的最低压力。在液流中压力降低到 p_v 的哪些区域, 液体内部局部形成充满了液体蒸气和空气的气泡, 造成一种称为气蚀现象的特殊状态。

对于化学单纯的单成分液体来说, 饱和蒸气压力 p_v 只取决于液体的种类和温度。在混合的液体中, 则还决定于气相体积 W_v 与液相体积 W_l 的比值^①。

例如, 按照 ГОСТ 1756-52, 活塞动力机燃料的气化压力是在 $t=38^\circ\text{C}$ 和 $\frac{W_v}{W_l} = \frac{4}{1}$ 时决定的。对应于这两个条件的某些燃料的 p_v 平均值列于表 2-1 中。但是水力计算的条件多半和这两个条件不相符合。在其他条件下, A. C. 伊利索夫教授推荐采用 Н. И. 吉洪诺夫所提出的公式:

① А. С. Присов, Испаряемость топлив для поршневых двигателей и методы ее исследования, Гостоптехиздат, 1955.

表 2-1. 温度 $t = 38^{\circ}\text{C}$ 、气相体积与液相体积之比 $\frac{W_{\text{气}}}{W_{\text{液}}} = 4$ 时

动力机燃料的饱和蒸汽压力值

燃料种类	对应于蒸散 10% 馏份的温度 ($^{\circ}\text{C}$)	饱和蒸汽压力 (公斤/厘米 2)	数据来源
航空汽油	65~85	0.336~0.211	A. C. 伊利索夫
汽车汽油	60~80	0.506~0.274	勃利德兹福
煤油	180~200	0.049~0.038	И. И. 吉洪诺夫

$$p_{\text{汽}} = p_{\text{d}} \left(\frac{14}{10 + \frac{W_{\text{气}}}{W_{\text{液}}}} \right)^{0.31} \times 10^{4.026 - \frac{1252}{273 + t^{\circ}\text{C}}}, \quad (2-4)$$

式中 p_{d} 对应于 $\frac{W_{\text{气}}}{W_{\text{液}}} = 4$ 和 $t = 38^{\circ}\text{C}$ 。

在水力计算中, 通常按照表 2-2 中数据取定水的气化压力值。

表 2-2. 依温度而定的饱和水蒸汽压力

水蒸汽温度($^{\circ}\text{C}$)	6.6	12.7	17.1	20.7	23.7	28.6	35.8	45.4	53.6
水蒸汽压力(公斤/厘米 2)	0.01	0.015	0.020	0.025	0.030	0.040	0.060	0.100	0.150
水蒸汽温度($^{\circ}\text{C}$)	64.6	75.4	85.5	99.1	119.6	132.9	142.9	151.1	158.1
水蒸汽压力(公斤/厘米 2)	0.250	0.400	0.600	1.000	2	3	4	5	6
水蒸汽温度($^{\circ}\text{C}$)	169.6	179	197.4	211.4	222.9	232.8	241.4	249.2	
水蒸汽压力(公斤/厘米 2)	8	10	15	20	25	30	35	40	

在运动的流体中, 一点上的绝对压力称为水动压力, 而在静止的流体中则称为静水压力。动水压力和静水压力在以后都简称为压力。除了绝对压力以外, 在水力学研究中还要遇到剩余压力和真空的概念。

如果绝对压力大于大气压, 则绝对压力超过大气压的剩余量(即绝对压力与大气压之差), 称为剩余压力:

$$p_{\text{余}} = p_{\text{绝}} - p_{\text{大}}. \quad (2-5)$$

这个压力也称为计示压力。

如果绝对压力小于大气压, 则绝对压力不到一个大气压的差额(即大气压与绝对压力之差), 称为真空或负压: