

海流海潮动力学的 新见解

HAILIU HAICHAO DONGLIXUE DE
XIN JIANJIE

修日晨 顾玉荷 | 著



海洋出版社

海流海潮动力学的新见解

修日晨 顾玉荷 著

海洋出版社

2017年·北京

内 容 简 介

本书共 8 章。书中对传统的经典的地转流、Ekman 风海流以及 Rossby 波理论,有理有据地提出了新见解。书中重点对海潮运动提出了新的整体潮理论。认为,海潮运动是由天文潮和自主潮两个部分组成,天文潮为世界所有海洋所共有,自主潮则为每个海域所独有。书中强调指出:只有在牛顿时间系统里,海潮运动才能成为一种真正的牛顿运动,即成为一种“简单、确定、有序、可逆的”运动。据此,作者提出了整体潮的预报方法。整体法提供的预报产品,图式直观、简便,易于实现数字化、可视化、智能化,其预报结果具有更高的精度。书中还简要介绍了混沌运动。认为混沌运动就是一种异常的牛顿运动,或是一种异常的随机运动,是广泛地存在于海洋中的第三种运动形态。

本书可供物理海洋学专业及相关领域的科研、教学人员,高等院校相关领域的研究生和本科生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

海流海潮动力学的新见解/修日晨,顾玉荷著. —北京:海洋出版社,2017. 5

ISBN 978-7-5027-9817-8

I. ①海… II. ①修… ②顾… III. ①海流-动力学-研究②海潮-动力学-研究
IV. ①P731.21②P731.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 147477 号

责任编辑:高 英 陈茂廷

责任印制:赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:17.25

字数:425 千字 定价:88.00 元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

我们应该建立这样的观念：在研究物体宏观的常速的运动时，牛顿力学是很准确的。因此凡是不符合牛顿力学的观点、方法都必须抛弃，更不能以经验来代替牛顿力学；当然，可以以自己的经验来更好地理解、运用牛顿力学。

——束星北

本书的出版,得到国家海洋局第一海洋研究所和物理海洋研究室的大力支持和相关经费资助。在此,笔者对所领导和室领导深表敬意和谢意!

目次

第一章 绪论	(1)
第一节 引言	(1)
第二节 运动学和动力学	(2)
第三节 关于定义	(3)
第四节 运动的种类	(4)
第五节 牛顿力学定律的时空条件	(5)
第六节 关于质点的假设	(6)
第七节 方程的建立及功能分析	(8)
第八节 方程功能的举例分析	(9)
第九节 结果与讨论	(15)
第二章 地球自转对运动的影响	(19)
第一节 引言	(19)
第二节 地球自转对静止物体的影响	(19)
第三节 地球自转对径向运动的影响	(22)
第四节 地球自转对纬向运动的影响	(25)
第五节 地球自转对惯性运动的影响	(28)
第六节 结果与讨论	(32)
第三章 地转平衡运动的动力学特征	(36)
第一节 引言	(36)
第二节 地转平衡运动的事例分析	(37)
第三节 常力作用下地转平衡运动的动力学特征	(39)
第四节 周期力作用下的地转平衡运动	(43)
第五节 结果与讨论	(46)
第四章 也论地球自转对大洋风海流的影响	(49)
第一节 引言	(49)
第二节 地球自转对表层风海流的影响	(52)

第三节	地球自转对表层以下稳定风海流的影响	(59)
第四节	结果与讨论	(62)
第五章	地转影响下纬向水平环流扰动动力作用的响应	(64)
第一节	引言	(64)
第二节	波动方程的建立与求解	(65)
第三节	求解结果的分析与讨论	(69)
第四节	共振响应分析	(71)
第五节	Rossby 波的形成机制	(73)
第六节	结果与讨论	(75)
第六章	海潮动力学理论的研究	(78)
第一节	引言	(78)
第二节	引潮力	(80)
第三节	海潮运动的形成机制	(87)
第四节	无界海洋中的潮运动	(90)
第五节	封闭海洋中的潮运动	(96)
第六节	半封闭海洋中的潮运动	(101)
第七节	局部区域大潮的成因	(107)
第八节	关于陆架海区潮流运动方向旋转的研究	(112)
第九节	结果与讨论	(117)
第七章	整体潮理论的实践检验与应用	(123)
第一节	引言	(123)
第二节	标志性引潮力的确立	(123)
第三节	星下点处引潮力的计算	(124)
第四节	建立潮汐时间系统	(127)
第五节	潮汐时间系统的应用	(131)
第六节	整体潮预报方法简介	(134)
第七节	调和分析方法的局限性	(147)
第八节	同潮汐时化方法的其他应用	(149)
第九节	结果与讨论	(152)
第八章	海洋中的混沌运动	(157)
第一节	引言	(157)

第二节 海洋激流是一种混沌运动	(159)
第三节 激流与灾害	(167)
第四节 风生激浪	(169)
第五节 海洋混沌运动的形成机理及特点	(171)
第六节 结果与讨论	(172)
参考文献	(174)
附录 1	(176)
附录 2	(214)
附录 3	(228)
附录 4	(234)
附录 5	(243)
附录 6	(256)

第一章 绪 论

第一节 引 言

在阅读有关的海洋动力学专著时,笔者感到书中大都是充满了数学公式和数学论述,真正涉及到海洋动力学方面的内容并不多。因此,本章在第二节中首先把物理学中关于运动学和动力学的定义介绍给读者,让读者了解运动学与动力学的研究内容以及两者之间的区别所在。本书就是以此为依据对海洋运动学和动力学的研究现状进行了评论,并建议读者也以此为依据对本书进行评论。

物理海洋学是一门年轻的边缘学科,是物理学中的相关定律在物理海洋学中的具体应用。因此,在海洋动力学中必然要借用很多物理学中的专业术语(专业名词)。由于每个专业术语都有其特定的含义,因此,只有对每个专业术语的特定含义都有了正确的理解和认识之后,在采用时才能避免犯错误。书中还以人们所熟悉的摩擦力为例子以说明。

在第四节中介绍了运动的种类,除了人们所熟悉的牛顿运动和随机运动外,还特别介绍了混沌运动。现在,人们已把混沌运动理论与相对论和量子力学相提并列为物理学在 20 世纪的“三大发现”,或把混沌运动称为牛顿力学的第三次突破,并指出混沌运动也是自然界中最广泛、并永恒存在着的一种运动。当然,海洋也不能例外。

在第五节“牛顿力学定律的时空条件”中,基于牛顿力学对时间限定条件的要求,指出在运用牛顿力学定律来研究海洋中的潮运动时,已有的太阳时间系统和太阴时间系统都不能满足用牛顿力学定律来研究海潮运动时对时间条件的要求,必须建立一种以地、月、日三者相互运动所建立起来的新型时间系统,即潮汐时间系统。实践结果表明,在海潮运动中,唯有潮汐时间系统才是牛顿力学定律所要求的牛顿时间系统。

在第六节中,介绍了物理学中关于质点的假设,在连续介质力学中对质点的假设是“认为流体质点连续地充满了真实流体所占有的整个空间”。本章也采用这种对质点的假设,此外还进一步假设流体质点的质量为单位 1,在运动方程中皆省略了海水密度项。

第七节简述了“方程的建立及功能分析”。由于流体质点有移动、转动、振动 3 种运动形态,故其方程也就有描述流体质点空间位置变化的移(运)动方程、刚性自转运动的涡度方程和振动状态传播的波动方程。方程建立之后,就应以牛顿力学和相关定律为依据对方程的功能进行分析,看它是否具有实现预期目标的功能。需注意的是决不可

对方程提出超越其功能范围之外的额外要求。

在第八节的“方程功能的举例分析”中,首次指出地转平衡运动方程的功能只能解决地转流的流向不再发生偏转的问题,它根本就没有解决地转流的流速是怎样产生的,以及地转流是怎样保持恒速稳定的功能。对 Ekman 风海流的运动方程,其功能只能限于在正确的边界条件下,解决海表层以下稳定风海流在地转偏向力作用下所发生的流向偏转问题,它根本就没有解决地转偏向力对表层流流向所产生的偏向问题,这个要求已超出了该方程的功能范围。对于 Rossby 利用涡度守恒方程来解决 Rossby 波的问题,显然是用错了方程。欲想研究波动问题,只能选用波动方程。

第二节 运动学和动力学

一、运动学和动力学的定义

在物理学中,对物体(机械)运动的研究分两大部分:运动学和动力学。

所谓运动学,就是运用位置矢量、位移、速度、加速度等特征物理量,借助其与坐标密切相关的运动函数(也称运动方程)的方法,对运动形态和规律进行描述,但在描述的过程中往往不涉及引起物体运动形态的变化和规律产生的原因。也就是说,运动学是着重运用数学工具对物体的运动形态和规律进行准确地或较准确地描述,但在其描述的过程中往往不去追究引起运动形态的变化和规律产生的力学原因。简言之,运动学就是研究建方程、解方程,即研究运动的数学建模及描述。

所谓动力学,就是以牛顿力学及相关的定律为依据,通过对物体所受的作用力与其运动形态所发生变化之间的关系进行研究,寻找出其基本规律,并提出运用这些规律的预报方法。也就是说,动力学不仅要研究出物体在所受外力作用时其运动形态的变化和运动的基本规律,还要提出正确运用这些规律来预测(报)其未来运动(形态)的预报方法。简言之,动力学就是研究 $F=ma$,即研究运动的物理学机理。

二、海洋运动学和动力学的研究现状

近年来,随着计算方法的不断发展、完善,计算机运算能力的飞速提高,数值计算几乎达到了“无所不能”的地步,因此,在物理海洋学中运动学的研究取得了长足的进步。与此同时,动力学的研究却进展非常缓慢,许多重大的基础理论方面的问题至今依然未能取得令人满意的结果。如,在地转流中,科氏力与水平压强梯度力之间到底是一种什么样的因果关系,两者又是怎样达成地转平衡的?怎样才能准确地计算出地转流?对于这样一些根本性问题至今也没有真正得到解决。在 Ekman 的风海流中,既然表层流

的右偏角是科氏力的作用所为,为什么该右偏角却是 45° 角的恒量,且在赤道处也不等于 0? 科氏力既然是一种不做功的惯性力,为什么其表层流速的大小却与科氏参量 f 成反比关系,在赤道处表层流速无限大? Rossby 波既然是一种长波运动,为什么不直接用波动方程求解,却用描述流体质点旋转运动的涡度守恒方程? 虽然早在 1687 年牛顿就论证了引潮力与海潮运动之间有着确定的因果关系,并提出了著名的平衡潮理论,但是,引潮力在哪里? 它的量值多大? 周期是多少? 它与海潮运动之间到底是一种什么样的因果关系? 海潮运动的基本规律是什么? 海潮运动有哪些基本特征? ……总之,由于人们至今也不知道产生海潮运动的引潮力 F 是什么样的,所以,人们也就不知道在引潮力 F 作用下所产生的海潮运动的“ ma ”是什么样的运动形态,更不可能提供出一种能够进行准确预报海潮运动的预报方法。本书认为在流、浪、潮 3 个动力学的专科中,海潮动力学研究的进展最为缓慢,存在的问题也最多。正因如此,本书才使用了两章的篇幅专题论述了海潮动力学。

第三节 关于定义

所谓定义,是指学科中的专业术语或专业名词的特定含义,它通常是在相关专业的教科书中出现。定义是对事物的本质、特性和范围作出的扼要说明和界定。它是人们对所认识对象的认知成果和总结,是科学思维的结晶。定义能够帮助人们把握事物的本质,统一人们的认识,指导人们在科学研究和社会生活中的实践。

在科学研究中,只有对相关的专业术语的定义有了正确的理解和认识,才能避免出现错误。如摩擦力。在物理学教科书中对摩擦力的定义是:摩擦力是一种接触力,它是不同物体之间或同一物体各部分之间作相对运动时而产生的一种阻止(相对)运动发生的阻滞力。摩擦力的方向位于接触面的切线方向并与(相对)运动方向相反,其量值与相对运动的速度和摩擦系数密切相关。由摩擦力的定义可知:第一,摩擦力是一种被动力,它是在物体作相对运动时才导致产生的一种作用力;第二,摩擦力是阻止(相对)运动发生的阻力,是消耗物体运动能量的消耗力;第三,摩擦力的方向永远与物体(相对)运动的方向相反;第四,摩擦力量值的大小与物体(相对)运动的速度和摩擦系数密切相关;五、摩擦力是使物体由加速运动到达稳态运动的作用因子。当我们用牛顿力学来分析研究海水质点的运动时,摩擦力的属性没有发生任何改变,摩擦力的定义依然正确、有效。令人遗憾的是在海洋教科书中对摩擦力的认知和作用却出现了概念上错误。如,在 Ekman 的风海流理论中,运动方程式明明是地转偏向力与由它的作用所引起的两个摩擦应力的合力三者达成了地转平衡,但教科书中却认为是“地转偏向力与摩擦力两者取得了地转平衡”。这种观点显然是错误的。道理很简单。因为地转偏向力(科氏力)是一种不做功的力,它的方向永远与运动方向垂直,其量值是地理纬度的正弦函数且在赤道区消失。如果真的是“摩擦力”与它达成了平衡,那么,摩擦力岂不是也就变成

了一种方向与流向垂直、量值大小也是地理纬度的正弦函数、并在赤道区消失的不做功的力吗?另外,在地转流中,不难理解,更可证明,只有在摩擦力作用的情况下,水平压强梯度力才能与地转偏向力两者达成地转平衡。但在海洋教科书中,却认为只有在忽略了摩擦力作用的情况下才能实现地转平衡,认为在有摩擦力作用的情况下,只能实现准地转平衡。这显然也是错误的。又如,对于惯性问题,物理教科书也有明确的定义。所谓惯性,是指物体在不受外力作用的情况下能够保持“静者恒静、动者恒动”的属性。很显然,惯性运动本身是不会有运动周期的。然而在海洋教科书中都认为海洋中的惯性流是有惯性周期的,其惯性频率为 f ,惯性周期为 $2\pi/f$ 。这显然也是错误的。类似的例子还有,在此不再列举。

定义具有历史性。对一个事物的认识往往需要经历一个历史过程,不同的历史阶段的认识就会产生不同的定义。

定义还具有多样性。有的事物本身就具有多义性,因此,对它的定义也就具有多样性。另外,人们对新生事物的认识往往需要经历一个实践过程,在这个实践过程中,不同的实践认识也会给出不同的定义。

第四节 运动的种类

依据运动的不同性质,运动可分为以下3种不同类型。

1. 牛顿运动:凡是遵从牛顿力学定律的运动,称为牛顿运动。它是一种简单、确定、有序、可逆的运动。是在自然界中最为人们所熟悉的一种运动。

2. 随机运动:凡是遵从统计力学定律的运动,称为随机运动。它是一种复杂、随机、无序、部分可逆的运动。

3. 混沌运动:它是一种既不完全遵从牛顿力学定律,也不完全遵从统计力学定律的异常运动。它是一种简单与复杂一体、确定性与随机性并存、有序与无序统一的突发性的异常运动。它是在20世纪初才被发现、70年代才被人们承认并确立为一种新型的运动形态。在海水运动中,尽管它也是普遍存在着的一种运动形态,但至今却仍然未被人们所认识并认真加以研究的运动。

众所周知,在遵从牛顿力学定律的运动中,运动与作用力之间是存在着“一一对应”的确定性关系。在相同的动力学原因的条件下,其所产生的结果必定是相同的,恒定的;或者等价的周期现象所持续的时间周期必定是相同的,恒定的。也就是说,只要知道了质点(运动)的初始条件之后,就可以运用牛顿力学所建立起来的运动方程计算出质点的运动轨迹。正如拉普拉斯所说“只要给我宇宙中所有质点的初始条件,我就能算出将来的一切”。在遵从统计力学定律的随机性运动中,运动与作用因子之间则是“多一对应”的关系,一个平衡态对应着瞬息万变的众多微观状态,其未来的运动形态虽然也是可以确定的,但只能是在统计学意义上讲的,且在其过程中允许有某种不可逆性。

长期以来,人们一直认为物体运动或者是完全遵从牛顿力学定律的确定性运动,或者是完全遵从统计力学定律的随机性运动,它们之外不再存在另外的第三种运动。然而在 1963 年,美国气象学家洛伦兹(Lorenz)在研究大气的对流运动时,发现一个确定的含有 3 个变量的自治方程能够导出混沌解,从此拉开了研究混沌运动的序幕。现在,人们已把混沌理论与相对论和量子力学并列为物理学在 20 世纪的“三大发现”,或者把混沌运动称为牛顿力学的第三次突破。所谓混沌运动,它是牛顿运动与随机运动两种运动性质兼而有之、并把它们连接起来的第三种运动。实际上,牛顿力学是在假设运动系统是封闭的无耗散的理想条件下,才给出了一种完全可逆和确定有序的理想物体运动图像。然而在现实自然界中,完全封闭、无耗散的运动系统是根本不可能存在的。因此确切地说,牛顿力学所给出的物体运动图像在现实自然界中是不可能真正存在的。这样说,是否意味着牛顿力学已毫无实际意义?不是的。因为任何的开放、耗散的运动系统,在一定的条件下都可以视为牛顿力学的运动系统,正如现实自然界中根本不存在直线,但任何曲线在一定的区间内皆可视为直线一样。而且实践表明,能够(基本上)遵从牛顿力学运动定律的物体运动,是自然界中最普遍的和最基本的一种运动。在此,我们不妨把能够(基本上)遵从牛顿力学运动定律的物体运动,称为牛顿运动,或称为正常运动。然而,由于运动系统毕竟都是开放的,耗散的,运动的平衡只能是动态的,暂时的。在经过一定的时间段之后,由于系统的开放耗散的持续作用,使该系统极大地偏离了牛顿力学运动所依赖存在的运动系统,此时该系统中的物体运动就不再遵从牛顿力学定律,演变成一种非确定性的无序的突发性运动。这种运动就称为混沌运动,亦可称为异常运动。实际上,自然界中根本就不可能存在完全封闭、无耗散的运动系统,任何系统的运动都不可能处处、时时皆做到完全的(能量)平衡,所以物体的牛顿运动也只能是一种近时的,暂时性的运动行为。由于运动系统中的多余动能总是以无序位能的形式储存起来,因此,随着运动的发展,无序位能随之不断积累,该系统中的物体运动偏离平衡态就愈远。当物体运动偏离平衡态足够远时,该运动就不再遵从牛顿运动定律,而是由有序运动演变成无序的突发性运动,把系统中所积累起来的无序位能全部转变成无序动能释放出来,然后该系统中的运动又恢复到“原来的”运动状态。如此循环不止。由此可知,混沌运动也是自然界中最广泛、永恒存在着的一种运动。

第五节 牛顿力学定律的时空条件

众所周知,任何真理都是相对的,是有限定条件的。牛顿力学定律也是如此。在运用牛顿力学定律研究物体的运动时,它对时间和空间都有限定条件。

牛顿力学定律对空间的限定条件是:量度物体运动范围大小的空间必须是惯性空间系统,即没有加速度的空间系统。

牛顿力学定律对时间的限定条件是:量度物体运动过程长短的时间必须是恰当时

间系统,即在这个时间系统里,必须做到相同的动力学原因在相同的时间内所产生的结果必定是相同的,恒定的;或者,等价的周期现象所持续的时间周期必定是相同的,恒定的。该恰当时间系统就称为牛顿时间系统。

牛顿力学定律对空间的要求条件在教科书中已有详细地论述。关于牛顿力学定律对时间的要求条件,由于在教科书中并没有明确的指出,使人们误认为它对时间没有限定条件。正是由于人们忽视了牛顿力学定律对于时间条件的要求,让人们在海潮运动的研究中就付出了不应有的惨重代价。

众所周知,现在已有两种时间系统:一种是以地—日两者相互运动所建立起来的太阳时间系统;另一种是以地—月两者相互运动所建立起来的太阴时间系统。很显然,太阳时间系统只限于用牛顿力学定律来研究太阳潮运动对于时间条件的要求,而太阴时间系统也只能限于用牛顿力学定律来研究太阴潮运动对时间条件的要求。由于海潮运动是在太阳引潮力和月球引潮力共同作用下所产生的,因此,对海潮运动而言,不论是以地—日相互运动所建立起来的太阳时间系统,或是以地—月相互运动所建立起来的太阴时间系统,由于它们都是不能满足用牛顿力学定律研究海潮运动对于时间条件的要求,所以它们都不是以牛顿力学定律来研究海潮运动的牛顿时间系统。也就是说,在这两种时间系统里,都无法运用牛顿力学来分析研究海水质点的潮运动。由此可见,尽管海潮运动本来是一种遵从牛顿力学定律的简单、确定、有序、可逆的运动,但在这两种时间系统里,却都变成了一种复杂、无序、毫无规律可循的混乱性运动。尽管早在 1687 年牛顿就提出了著名的平衡潮理论,拉普拉斯于 1775—1776 年又提出了著名的动力潮理论,但在此后潮汐动力学的理论研究方面却再无重大进展。尽管英国开尔文在 1868 年就设计出了一种潮汐预报的调和方法,此后,经过众多科学家的不懈努力,又把调和和方法发展的非常的完美,但潮汐的预报工作至今仍然不能很好地满足使用部门的需求。原因何在?本书认为在海潮运动的研究中,没有建立起一种牛顿时间系统是其根本原因。道理很简单,用一种非牛顿时间系统的时间尺度所量度出来的海潮运动信息必然是一些杂乱无章的混乱信息,根本无法展示出海潮运动真实的运动形态。由于它们与真实的海潮运动的信息之间并无必然联系,所以在一种非牛顿时间系统里,对海潮运动既无法进行动力学研究,也无法切实进行有效的运动学研究,更无法对海潮运动提供一种准确的预报方法。对此,本书将在第六章和第七章中详述。

第六节 关于质点的假设

一、固体力学中的质点假设

在固体力学中,质点是一种最简单的物理模型。众所周知,任何物体都有一定的形

状和大小,一般说物体的运动都与物体的形状、大小有关。但在某些情况下,当物体的形状、大小对所讨论的问题影响很小时,就完全可以忽略不计。因此,在研究这类问题时,可以只考虑物体的质量,不必考虑物体的形状和大小,把物体简化为一个有质量的点。这种能够代表实际运动物体的一个有质量的点,就称为质点。如果再进一步简化,将该物体的质量简化为一个质量单位,该质点就成为一个具有单位质量的质点。在本书的运动方程中一般不出现海水密度项,因为本书采用的是具有一个单位质量的质点。

在固体力学中常见的质点有两种:一种是运动质点,另一种是作用质点。当我们只限于讨论物体作为一个整体在空间上的运动情况时,又无需考虑该物体的形状和大小对运动的影响时,就可将该物体抽象为质点进行研究。这种质点就称为运动质点。当我们讨论两个物体间的万有引力的作用时,由于两物体相距非常远,无需考虑它们的形状和大小对两者之间引力作用的影响,把它们皆抽象为质点进行研究。这种质点就称为作用质点。

二、连续介质力学中的质点假设

流体是由大量分子组成。分子间的真空区的尺度远大于分子本身的尺度。每个分子皆无休止地作不规则的运动,相互间经常碰撞,交换着动量和能量。因此流体的微观结构和运动无论在时间上或空间上都充满着不均匀性、离散性和随机性。另一方面人们用仪器测量到的或用肉眼观测到的流体宏观结构及运动却又明显地呈现出均匀性、连续性和确定性。流体微观运动的不均匀性、离散性、随机性和其宏观运动的均匀性、连续性、确定性是如此之不同却又和谐地统一在流体的整体的运动过程中,从而形成了流体运动的两个重要侧面。

流体力学是研究流体的宏观运动。研究流体的宏观运动存在着两种不同的途径。一种是统计物理的方法。是从分子和原子的运动出发,采用统计平均的方法建立宏观物理量满足的方程,并确定流体的性质。这种方法虽然自然直观,但它还不能为流体力学提供出充分的理论根据。第二种办法是以连续介质假设为基础,假设认为流体质点连续地充满了真实流体所占有的整个空间。所谓流体质点是指它在微观上充分大、宏观上充分小的分子团。一方面,分子团的尺度与分子运动的尺度相比要足够大,使得其中包含大量的分子,对分子团进行统计平均后能得到稳定的物理量(如质量、速度、压力、温度等)值。另一方面又要求分子团的尺度与所研究问题的特征尺度相比要足够小,使得分子团的平均物理量可以看成是均匀不变的。也就是说,流体质点所具有的宏观物理量(如质量、速度、压力、温度等)能够满足一切应该遵循的物理定律及物理性质,如牛顿定律,质量、能量守恒定律,热力学定律,以及扩散、黏性、热传导等输运性质。

本书采用流体质点的假设是认为流体质点连续地充满了真实流体(海水和大气)所占有的整个空间,本书中还进一步假设流体质点的质量为单位 1,在运动方程中皆省略之。

第七节 方程的建立及功能分析

一、物体的运动形式和方程类型

物体的任何复杂的机械运动,都可以还原为移动、转动、振动 3 种形式。刚体只有移动和转动;连续介质有移动、转动、振动 3 种形式。连续介质可以是弹性的固体,也可以是可(不可)压缩的流体或气体。

不同的作用力决定了物体的不同运动形式,不同的运动形式就决定了不同类型的运动方程。若力的作用点位于物体(流体)的质心处时,该物体就只能产生一种空间位置变化的运动。描述该物体空间位置变化的方程,就称为位移方程,或称运动方程、动量方程,方程中速度 $\vec{V}$ 只表示物体的位移速度。若力的作用点不位于质心而形成作用力矩时,该物体就只能产生一种绕轴自转的旋转运动。描述物体刚性自转运动的方程,就称为转动方程;对于流体质点而言,描述流体质点刚性自转运动的方程,就称为涡度方程,方程中速度 $\vec{V}$ 只表示其自转运动中的旋转线速度。若作用于流体质点质心上力是周期力时,此时流体质点将产生两种振动:一是质点在恢复力作用下所产生的固有振动,或称自由振动;另一个是在周期力强迫作用下所产生的强迫振动。描述流体质点的振动及振动状态在流体中传播过程的方程,称为波动方程,方程中速度 $\vec{V}$ 只表示质点的振动速度。需强调指出:上述 3 种运动方程分别独立地描述了流体质点的 3 种形式的运动,其质点运动速度 $\vec{V}$ 的含义各不相同。由于 3 种运动之间并无必然联系,因此,这 3 种运动方程之间既不能相互替代,也不能相互转换。

二、作用力的种类

所谓作用力,是指(两个)物体之间的相互作用和相互影响,它与参考系统无关。依作用力的距离来看,作用力有两种:一是超距离作用力,如万有引力,电磁力等;另是接触力,它是大量广泛存在着的一种作用力。

依据力对物体运动的作用情况,它可分为以下 5 种:

(1) 动力。它是一种对物体的运动提供能量支持并使之产生加速度的作用力,它又可分为驱动力和策动力,前者为直接动力,后者为间接动力。

(2) 阻力。它是一种对物体的运动消耗能量并使之运动减速的作用力,如摩擦力。

(3) 偏向力。它是一种对物体的运动既不提供能量支持也不消耗能量、仅仅改变物

体运动方向的作用力,如向心力。

(4)恢复力(弹性力)。物体在外力作用下产生形变,其内部就产生一种恢复其原来形状的力,这种力就称为恢复力,又称为弹性力。

(5)惯性力。它是在非惯性系统中依据牛顿力学定律推论出来的一种假想力,如惯性离心力和科氏力。

三、方程中作用力的取舍原则

在建立描述物体运动的相关运动方程时,首先要对相关的各类作用力进行分析比较,决定取舍,在对作用力进行取舍时,应遵从以下两项原则。

(1)同类相比、大者为先原则。不同类型的作用力之间没有可比性。只有在相同类型的作用力之中才有可比性,才能依据它们量值大小进行取舍。

(2)唯一是大原则。如果在某种类型力中只有一种,而该类型力的作用又必须予以考虑,此时,唯一作用力就是最大,决不应舍弃不用。如运动能否达到稳定状态时,摩擦力的作用就必须予以考虑,因为运动欲想实现稳态运动,摩擦力是其唯一作用因子。

四、方程的功能分析

方程仅仅是一种物理量之间的关系式。方程建立的正确与否,完全取决于建立者对牛顿力学和相关定律的理解和处理的程度如何。因此,我们考虑问题的依据只能是牛顿力学和相关定律,不能是方程式。当我们按照所研究问题的要求建立起相关的运动方程之后,首先就必须以牛顿力学和相关定律为依据,对该方程的功能进行分析,看它是否具有实现预期目标的能力。然后再依据合理的边界条件和初始条件对其求解,并对求解结果做出初步地分析与判断,看其是否实现了预期的目标要求。需注意的是,决不可对方程提出超越出其功能范围之外的额外要求。对此,下面举例说明。

第八节 方程功能的举例分析

一、地转流

(一)地转流的定义及形成机制

地转流在教科书中是这样定义的:水平压强梯度力和地转偏向力两者相平衡条件下的海流(《海洋科技名词》,2007),称为地转流。也有人认为:地转流是由于海水密度