

变加速动力学纵横

黄沛天 马善钧 徐学翔 胡利云

(江西师范大学物理与通信电子学院, 南昌 330027)

摘要 回顾了近 20 多年来变加速动力学和广义猝变动力学的研究状况. 对该领域多学科交叉发展态势做了适当评述. 变加速动力学和广义猝变动力学可能成为经典力学的一个新的生长点.

关键词 变加速动力学, 广义猝变动力学, 急动度, 混沌

牛顿力学发展到 20 世纪, 出现了两个新动向: 一个是从 H.Poincaré 到 E.N.Lorenz, 到现在的混沌理论; 另一个则是从 P.Appell 到 P.Melchior, 到 S.H.Schot, 到目前仍鲜为人知的变加速动力学和广义猝变动力学. 现在, 二者正在相互靠拢, 相互交融. 黄沛天等人^[1]曾经对变加速动力学及其应用做过一些简单介绍, 尽管这个领域仍鲜为人知, 但却呈现出既广又深的发展态势, 值得人们关注. 这里先对 S.H.Schot 以来的研究状况做点介绍, 然后对它的交叉发展态势做点适当评述.

1 历史回眸谓之“纵”

1978 年, Schot^[2]对急动度 (jerk, 加速度的时间变率) 提出的历史背景做了一些介绍, 并且对它的几何意义及其在质点平面运动中的应用做了一些具体考察. 第二年, 他又专门著文讨论了三阶导数的几何意义^[3]. Schot 的工作引起了人们的关注. 1981 年, 黄沛天^[4]做了一点相应的动力学思考, 提出了力变率概念; 1983 年, 朱明^[5]阐述了急动度 (又称加加速度) 副法向分量描绘密切面旋转的物理图像; 1988 年, 谈开孚^[6]和叶柏年^[7]等人对急动度的工程意义做了一些讨论; 1990 年, Sandin^[8]从基础课教学内容改革的角度做了一些探讨, 认为在基础课的教学中可以适当让学生了解急动度概念, 同时他还探讨了相对论条件下急动度的洛伦兹变换关系; 1991 年, 梅凤翔^[9]给出了完整系统关于广义速度的 Lagrange 方程, 这是一个具有广义力变率量纲的描写变加速运动的三阶微分方程; 1994 年, Nzotungicimpaye^[10]从李群对称性的角度考察了急动度概念; 1995 年, Theron^[11]深入讨论了一个很有实际意义的问题: 轮子在圆轨道末端由于“无限急动度”可能呈现的蹦跳; 1996 年 5 月, Gottlieb^[12]提出: “什么是给出混沌的最简单急动度函数?” 同时, 他还把一种描写简单混沌流 Sprott 模型^[13]的三维一阶微分方程组改写成以急动度函数表示的三阶微分方程; 同年 11 月, Neuenschwander^[14]也提出了探讨“三阶和五阶微分方程的应用”问题; 到 1997 年第 6 期《美国物理杂志》同时发表 Linz^[15]和 Sprott^[16]的文章, 才由此揭开了“猝变动力学”(jerky dynamics) 研究之序幕, 同时也进一步促进了“急动度”与“混沌”的相互交

融. Linz 的文章普遍考察了一维牛顿猝变动力学和三维相空间非线性动力学系统之间的关系, 将有名的 Lorenz 动力学系统和 Rossler 动力学系统的行为解释为猝变运动, 还探讨了猝变动力学的分类问题. Sprott 的文章也注意区分一般的急动度函数和牛顿急动度函数, 并且对某些平方和立方的非线性三阶一维自治常微分方程做了一些数字性考察. 同年, 吴大猷提出猝量方程^[17], 主张关注猝变运动的细节分析. 由于急动度在混沌理论中找到了新的应用, 1998 年, von Baeyer^[18]以“十分震惊”为题发表了一篇评论文章, 引起人们的普遍关注; 同年, Gottlieb^[19]探讨了简单非线性急动度函数的周期解问题; Linz^[20]研究了牛顿猝变动力学的一些普遍特征; Eichhorn^[21]也研究了非线性动力学系统向猝变运动的转换及其对极小混沌流的应用; 2000 年, Linz^[22]讨论了某些猝变动力学的非混沌判据; 2003 年, 黄沛天等人^[23]导出了加速度能定理, 提出了“变加速动力学”一说, 并且讨论了完整系统关于广义速度的 Lagrange 方程的第一积分及其应用^[24]; 2004 年, Gottlieb^[25]探讨了用谐平衡方法来研究非线性急动度方程的周期解问题; 最近, 黄沛天等人^[26]用猝量方程解释了电磁辐射阻尼和电磁质量的动力学本质. 目前, 相关的研究仍在持续进行之中.

2 学科交叉和各种联系谓之“横”

众所周知, 混沌理论和非线性动力学的发展过程体现了多学科的交叉, 同样, 急动度和变加速动力学, 乃至广义猝变动力学也正在走学科交叉发展之路.

2.1 急动度与工程技术的不解之缘

欧洲工业革命把蒸汽机、内燃机连同汽车、火车、公路、铁路这些比伽利略、牛顿时代更多的物质文明带给了人类, 出于乘车舒适性的考虑, 要求公路、铁路轨道的设计^[27]从直线到圆弧的过渡应以逐渐增大曲率的方式进行, 这就是急动度概念产生的工程背景. 既然乘坐汽车、火车须考虑舒适性, 那么乘坐飞机、飞船又当如何呢? 比如, 是否应当考虑“失重”和“超重”猝变过程中的急动度限制呢? 这是航空、航天工程中不容回避的问题. 有人甚至建议用急动度来作为“不舒适感”的一种量度^[28], 不过, 加速度 (或力) 也会造成“不舒适感”, 如何从生理、心理的角度来区分这两种“不舒适感”呢? 这又涉及普通乘客的生理、心理测量, 涉及汽车、飞机的设计, 涉及驾驶员、飞行员、航天员的训练和选拔等诸多实际问题. 此外在高层以及大跨度建筑物的抗风和抗地震设计中, 急动度也许可以作为思考问题的一种依据^[1,23]; 还有, 体育竞技中的技术分析也需要使用急动

本文于 2004-04-06 收到.

度^[29].

2.2 急动度是数理科学交叉的媒介,也是数理科学发展的动力

最早关注路程对时间的三阶导数的人是几何学家 A. Transon^[1,2], 半个世纪之后, 才有物理学家 M. Abraham 和 H. A. Lorentz 在电磁辐射阻尼公式中写出 \ddot{v} ^[30]. 然后, 才有 P. Melchior 的急动度是“加速度对时间的导数”之定义. 最早热衷介绍和传播急动度的 Schot 也是数学家, 而发表他文章的刊物却是《美国物理杂志》^[2]. 20 多年来, 参与研究急动度和变加速动力学问题的数学家还有 Nzotungicimpaye 和 Theron 等人. 炙手可热的混沌理论与非线性动力学早已是数理科学交叉发展的产物, 现在急动度又成为混沌理论的一种新工具(或新方法). 因此, 急动度将使数学从微分几何、李群代数、微分方程多方位, 从非线性的深层次与物理学建立新的联合, 获得新的交叉发展. 刚开始, Gottlieb^[12]的工作主要表明急动度可以让某些简单混沌流呈现出三阶微分方程的数学特征, Linz 的第 1 篇文章^[15]也是从数学形式特征的角度来考察并区分急动度函数的类型, Linz 的第 2 篇文章^[20]才回转头来讨论牛顿猝变动力学问题. 而 Schot、黄沛天、朱明、谈开孚、叶柏年、Sandin、梅凤翔、Theron 和吴大猷等人所进行的变加速动力学(或牛顿猝变动力学)研究, 则直接源自牛顿动力学方程. von Baeyer 的震惊以及 Gottlieb, Linz, Sprott 等人的工作, 将进一步鞭策和推动人们对变加速动力学的实质性研究.

在物理学内部, 变加速动力学的普通表述(比如猝量方程和加速度能定理)与分析力学表述(比如完整系统关于广义速度的 Lagrange 方程)、相对论条件下的表述(比如急动度的洛伦兹变换形式)等等, 还有各种应用(比如辐射阻尼^[26]、混沌电路^[31]等问题), 也需要相互参照、相互沟通.

2.3 急动度与基础教育

由于急动度是描写机械运动的一个重要的基本概念, 是对牛顿力学基本框架的一种补充, 因此, 它终将被科学基础教育所采纳. Sandin^[8]认为, 在学生顺利接受了速度(一阶导数)、加速度(二阶导数)之后, 可以让学生了解急动度(三阶导数). 这种想法和做法, 黄沛天等人在 20 世纪 80 年代也曾经在数学专业的学生中试行过, 它确实可以起到启发学生思维的良好效果. 随着科学技术的发展, 随着物质文明的进步, 把急动度和变加速动力学基本概念写入基础物理学和力学教科书也是指日可待.

3 结束语

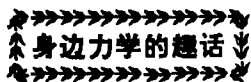
变加速动力学(或称牛顿猝变动力学)和广义猝变动力学是近几年才开始提出, 而且是正在完善和构建的一个新的学术领域, 要做的事还有很多. 它也许会继混沌理论之后, 在经典力学的框架内形成一个新的生长点. 因此, 值得人们密切关注, 同时, 它也呼唤更多同仁的积极参与.

参考文献

- 1 黄沛天, 黄文, 胡利云. 关于变加速动力学及其应用. 力学与实践, 2004, 26(1): 67~68
- 2 Schot SH. Jerk: the time rate of change of acceleration. *Am J Phys*, 1978, 46: 1090~1094
- 3 Schot SH. Aberrancy: geometry of the third derivative. *Math Mag*, 1979, 51: 259~275
- 4 黄沛天. 一个描写机械运动的新概念——急动度. 物理, 1981, 10(7): 394~397
- 5 朱明. 加速度, 挠率与点的空间曲线运动. 力学与实践, 1983, 5(5): 48~50
- 6 谈开孚, 赵永凯, 郭小弟. 谈加加速度. 力学与实践, 1988, 10(5): 46~51
- 7 叶柏年. 点的加加速度. 力学与实践, 1988, 10(5): 51~53
- 8 Sandin TR. The jerk. *Phys Teach*, 1990, 28:36~40
- 9 梅凤翔, 刘端, 罗勇. 高等分析力学. 北京: 北京理工大学出版社, 1991. 251
- 10 Nzotungicimpaye J. Jerk by group theoretical methods. *J Phys*, 1994, A27: 4519~4526
- 11 Theron WFD. Bouncing due to the “infinite jerk” at the end of a circular track. *Am J Phys*, 1995, 63: 950~955
- 12 Gottlieb HPW. Question #36: What is the simplest jerk function that gives chaos? *Am J Phys*, 1996, 64: 525
- 13 Sprott JC. Some simple chaotic flows. *Phys Rev*, 1994, E50: R647~R650
- 14 Neuenschwander DE. Question #51. Applications of third-order and fifth-order differential equations. *Am J Phys*, 1996, 64: 1353
- 15 Linz SJ. Nonlinear dynamical models and jerky motion. *Am J Phys*, 1997, 65: 523~526
- 16 Sprott JC. Some simple chaotic jerk functions. *Am J Phys*, 1997, 65: 537~543
- 17 沈惠川. 吴大猷先生点评《经典力学》. 物理, 2000, 29(12): 743~746
- 18 von Baeyer HC. All shook up: the jerk, an old-fashioned tool of physics, finds new applications in the theory of chaos. *Science*, 1998, 38: 12~14
- 19 Gottlieb HPW. Simple nonlinear jerk functions with periodic solutions. *Am J Phys*, 1998, 66: 903~906
- 20 Linz SJ. Newtonian jerky dynamics: some general properties. *Am J Phys*, 1998, 66: 1109~1114
- 21 Eichhorn R, Linz SJ, Hanggi P. Transformations of nonlinear dynamical systems to jerky motion and its application to minimal chaotic flows. *Phys Rev*, 1998, E58: 7151~7164
- 22 Linz SJ. No-chaos criteria for certain jerky dynamics. *Phys Lett*, 2000, A275: 204~210
- 23 黄沛天, 黄文, 胡利云. 变加速运动理论与实践意义初探. 江西师范大学学报(自然科学版), 2003, 27(1): 8~11
- 24 黄沛天, 马善钧, 胡利云. 变加速运动力学和三阶微分方程. 江西师范大学学报(自然科学版), 2003, 27(4): 338~340
- 25 Gottlieb HPW. Harmonic balance approach to periodic solutions of non-linear jerk equations. *J Sound Vib*, 2004, 271: 671~683

- 26 黄沛天, 马善钧, 胡利云. 电磁辐射阻尼和电磁质量的动力学本质. 江西师范大学学报(自然科学版), 2004, 28(2): 99~101
- 27 Royal-Dawson FG. Elements of Curve Design for Road, Railway, and Racing Track on Natural Transition principles. London: Spon, 1932
- 28 弗伦奇 AP. 牛顿力学(1). 郭敦仁, 何成钧译. 北京: 人民教育出版社, 1978

- 29 顿斯科依 DD, 扎齐奥尔斯基 BM. 生物力学. 吴忠贯译. 北京: 人民体育出版社, 1982
- 30 杰克逊 JD. 经典电动力学(下册). 朱培豫译. 北京: 高等教育出版社, 1980
- 31 Sprott JC. Simple chaotic systems and circuits. *Am J Phys*, 2000, 68: 758~763



欸乃一声山水绿——摇橹的力学

周 靖

(淮阴师范学院物理系, 江苏淮安 223001)

摘要 简要介绍了橹的基本结构与橹的力学原理, 并对古代诗词中有关橹的一些力学特征的描述进行了解释。

关键词 橹, 橹叶, 欸乃, 力学原理

渔翁夜傍西岩宿, 晓汲清湘燃楚竹。
烟销日出不见人, 欸乃一声山水绿。
回看天际下中流, 岩上无心云相逐。

这是唐代著名诗人柳宗元(773~819)谪居永州时所作的一首题为“渔翁”的诗^[1]。诗人以“渔翁”的生活为背景, 于歌咏自然景物之中, 略寄孤芳自赏、超凡脱俗, 同时又孤寂凄清、情怀忧郁之意。在这首诗中, 诗人虽然没有直接提到用人力推动渔舟前进的推进工具——橹, 但其中的“欸乃”一词乃是摇橹时发出的声音; 所以“欸乃一声山水绿”一句历来为人们所称颂, “欸乃”一词也常被后来的诗人作为“摇橹”的代名词而引用。如清代诗人丁三彭(约1661年前后在世)所作“虎丘竹枝词”中就有“轻摇舴舺向花去, 欸乃一声山鹤飞”。^[2]

淋漓牛酒起橹干, 健橹飞如插羽翰。
破浪乘风千里快, 开头击鼓万人看。
鹅声不断朝阳出, 旗脚微舒宿鱼干。
堪笑尘埃洛阳客, 素衣如墨据征鞍。

这首“初发荆州”诗是宋代著名诗人陆游(1125~1210)所作^[3]。诗中描写了航船在快如火箭的“健橹”推动下, 破浪乘风, 日行千里。坐上这样的船出行, 使得那些满身尘埃、素衣如墨、策马而行的洛阳客们无法与之相比。

在唐、宋及其以后的历代诗词里, 与“橹”及“橹声”有关的诗句还有不少。如唐代诗人白居易(772~846)的“河亭晴望诗”中有: “清虹桥影出, 秋雁橹声来。”^[4]刘禹锡(772~842)所作的“步出武陵东亭寓望”诗中有: “戍摇旗影动, 津晚橹声促”^[5]。宋代诗人张耒(1052~1112?)的“离黄州”诗中有: “篙工起鼓鸣, 轻橹健于马。”^[6]僧人道潜“秋江”诗中有: “数声柔橹苍茫外, 何处江村人夜归。”^[7]清代学者、诗人钱大昕(1728~1804)在一首“竹枝词”中

有: “吴航贩取秋瓜去, 柔橹啞划水痕。”^[7]诗人丁宜福(1818~1875)所作“申江棹歌”竹枝词中亦有: “阿侬生小回摇船, 曲水摇来似直弦。摇过龙华十八弯, 塔尖犹在橹枝前。”^[8]

橹在我国何时被发明和利用, 据有关文献介绍, 它当在先秦时期就已经出现, 到了汉代更有所改进^[9]。东汉后期的刘熙在《释名·释船》中就对“橹”字作过专门解释, 同一时期的著名文学家、“建安七子”之一的王粲(177~217)在其《浮淮赋》中写道: “泛洪橹于中潮兮, 飞轻舟乎洪济。”^[10]

我国明确记载用“摇橹”的方法推动船只前行的史籍是《三国志》。汉献帝建安24年(公元219年)吴国大将吕蒙趁关羽亲率荆州大军北上攻打曹操时, 他把战船伪装成商船运送精兵, 结果兵不血刃, 夺取了荆州。《三国志·吴志·吕蒙传》中对此事记载道: “蒙至寻阳, 尽伏其精兵艨艟中, 使白衣摇橹, 作商贾人服, 昼夜兼行。至羽所置江边屯候, 尽取收缚之, 使故羽不知闻。”^[11]

我国船只使用橹的历史不仅时间早, 而且其使用地域也比较广。长江、珠江, 以及太湖、鄱阳湖、洞庭湖、洪泽湖等为主的南方流域自不必说, 在东北和黄河流域用橹的记载, 仅从历代流传下来的诗词作品中就可略窥一斑。

小渡一声橹, 断霞千点鸦。
诗成鞍马上, 不觉在天涯。

这是金代诗人蔡珪(?—1174)在“霁川道中”一诗中的后四句^[12]。“霁”是我国古代匈奴族的一个别支, 活动在相当于现在的辽宁省西北部, 西拉木伦河以北, 大兴安岭南边缘地区。“霁川”是当时由辽河平原进入霁部落所在地的通道。^[12]

斗杓照水半垂天, 水气涨天如白烟。
南北橹声争上下, 月中闻鼓避官船。

这是元代诗人萨都刺(1308~?)所作的“黄河月夜”诗^[12]。诗中生动描述了作者乘船在水气茫茫的黄河上夜航时, 同行船只之间竞相摇橹争先。然而就在此时, 传来了官

本文于2004-03-23收到。