

平面移行点源兴波过程影象模拟的初步研究*

马朝晖 陈俊昌

(中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

提要 基于影象模拟在海洋学上应用的初步探讨,对移行点源兴波中的 Kelvin 船波这种较为简单的海洋现象,用影象模拟的方法,即结合数值方法、高度真实感图形绘制、计算机动画仿真等技术,把平面移行点源兴波过程用高度真实感的图形显示在荧屏上,并实现运动过程的显示;其间通过计算原始数据、生成图象、实现动画的步骤,解决了数值计算、Z 缓冲区数据库方法、光线追踪、动画制作等方面的问题,在较低的计算机硬件要求下得到了较好的模拟结果。从所得影象上可直观观察移行点源兴波的横波、散波、尖顶角及其运动、叠加等特征,并可发现对所选点源其兴波有不对称的特点。结果表明,海洋波动过程的影象模拟可行且有效。

关键词 平面移行点源兴波过程 海洋学 数值计算 影象模拟

学科分类号 P731

本文试图以影象模拟的方式模拟移行点源兴波过程。这里“影象”是指活动的逼真图象,“影象模拟”是指首先通过应用物理模型和数值模拟计算,得出有关数据,再利用真实感图形绘制方法,生成逼真的图形,最后由计算机动画技术,使过程连续起来,以此来模拟各种过程。它可以反演各种实际现象,也可模拟现实中不存在的虚构的或理想的过程。本文的研究对象首选简单的海洋自然现象,如平面移行点源兴波,实现影象模拟,使被研究对象在荧屏上再现。因影象具有直观、精细、信息量大等优点,此种方法对于进一步描述各种海洋现象,揭示其内在性质,验证理论模型,评估海洋工程设计,推动计算机多媒体技术在海洋学中的应用等都具有广泛的应用价值。

海洋学中船波、台风浪是移行点源兴波的典型范例。船波的计算和测量有重要的实际意义。早在 1887 年, Kelvin 就发表有关移动压力点兴波的重要文章。作为远场解, Kelvin 波系在兴波理论中依然占据着重要的位置(李世谟等, 1986)。对船波而言,简化为平面移行点源兴波可得到其积分表达式,且其波形规则,物理意义明确,是影象模拟初步探索较适宜的对象。

科学计算的可视化(VISC)是 90 年代计算机技术发展的主要方向之一。可视化方法具有交互性,可以在计算中随时改变参数,通过图形观察参数变化所引起的改变。可视化

* 中国科学院“八五”重大资助项目, KY85-11 号。马朝晖,男,出生于 1972 年 8 月,硕士, E-mail: itnhlab@scut.edu.cn

绝非后期制作的图形学, 它强调的是科学计算之中的可视化(李若纬等, 1990; 吴立德, 1993)。

近年来, 科学计算可视化在环境科学领域得到了应用。例如, BECL (1989)¹⁾、傅孙成等(1994)。影象模拟实际上是科学计算可视化的一种高级形式, 它比单纯的真实感图形或计算机动画都更进了一步。这也即本文的研究意义所在。微机软硬件水平的高速发展, 使这种模拟成为可能。这方面曾有一些初步尝试, 在 Internet 上, 可以用 FLC 软件(可播放扩展名为 FLC 格式的动画文件)演示海湾内海洋污染物扩散、水温变化。本研究更进一步用影象模拟的方法来模拟点源兴波过程, 并将表明, 影象模拟不仅是可行的, 而且是有效的。海洋影象模拟确实有助于对海洋现象的分析, 并有利于发现新的现象, 是海洋研究的一种有力手段。

1 理论与方法

1.1 移行点源兴波理论

假定所考虑的流体为理想流体, 无粘性, 边界无限, 其运动无旋, 占源移行速度为 c , 由参考文献(李世谟等, 1986) 可得平面移行点源兴波表达式为:

$$E(x, y) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \{ g(\theta) \cos[K_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta + y \sin \theta)] + f(\theta) \sin[K_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta + y \sin \theta)] \} d\theta \tag{1}$$

其中, E 为波高; x, y 为坐标值; θ 为与坐标轴 x 之夹角; $K_0 = g/c^2$, 为船舶运动方向之波数; $f(\theta)$ 及 $g(\theta)$ 分别称正弦波幅函数和余弦波幅函数。任何船后自由波均可由式(1)表达。不同船舶或同一船舶在不同速度下, 自由波之间的差别仅在于波幅函数的不同。

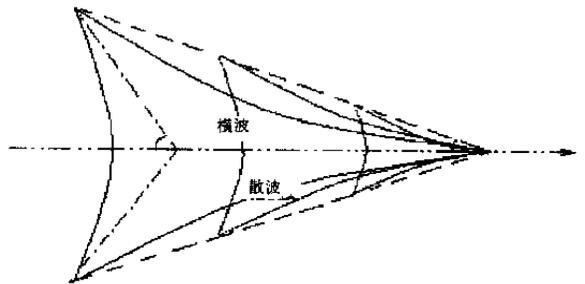


图1 自由波波形

Fig. 1 The shape of free wave

- (实线) 波峰线; - - - (虚线) 尖顶角;
- · - · - · (点划线) 波峰线切线;
- · - · - · > (双点划线) 点源运动方向

由参考文献(李世谟等, 1986) 还可得出, 平面移行点源自由波波形如图1所示。从图1可以看出, 所形成之波由横波和散波两部分组成, 且所有波均出现在 $\alpha = \pm 19^\circ 28'$ 范围内, α 称尖顶角。类似理论在其它多处文献均可见到(Newman, 1977; 姜次平等, 1985; 程天柱, 1987)。

1.2 光线追踪与 Z 缓冲区数据

1.2.1 光线追踪 本文采用 Watkins 等(1995) 中提供的 Bob 绘图程序, 以实现光线追踪。

1.2.2 Z缓冲区数据库 Z缓冲区数据库适合于生成地形或海洋图形。在Z缓冲区

数据库里,采用一个矩形数组(二维数组)来存贮一个曲面的 Z 坐标值,这个数组表示在 x 和 y 方向上均匀分布的样本点。 Z 缓冲区描述是任意曲面的数字化表示。对于地形等复杂曲面,这是描述曲面唯一可行的方法。

Z 缓冲区数据库最简单的类型是 Z 值为某个二维数学函数的结果,对每个样本点运用此函数就能计算出 Z 值;也可编程接受来自数据文件的 Z 数据值。

1.3 影象的生成

在微机上绘制高度真实感图形需数分钟以至几小时时间,为实现影象效果,本研究采用了重放技术,即先制成一帧帧图象,再用动画制作的方式将其重放,并生成影象文件。本文利用二维 PC 动画软件的动画制作功能来实现移行点源兴波过程影象模拟。

2 模拟流程和实现步骤

实现平面移行点源兴波影象模拟的流程图如图 2 所示。模拟流程用如下步骤实现。

(1) 原始数据计算 因为探索主要是在影象模拟方面,对数值模拟作了简化,以方便计算。

式(1)为平面移行点源兴波波高的一般表达式。对于实际船舶而言,不同船舶或同一船舶在不同速度下,自由波之间的差别仅在于波幅函数的不同。进一步的研究表明,波幅函数代表船型源分布的某种积分效果,为计算简单,假定这样一种点源,其积分效果刚好使得波幅函数 $A(\theta) = 1 + i$, 即 $g(\theta) = f(\theta) = 1$, 则波形表达式为

$$E(x, y) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \pi \{ \cos [K_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta + y \sin \theta)] + \sin [K_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta + y \sin \theta)] \} d\theta \quad (2)$$

固定 x, y 值。以上为一定积分,可用数值积分得出 E 值。设一 81×61 的计算网格,即 x 方向为 81 个点, y 方向为 61 个点, E 为一 81×61 的二维数组。采用龙贝格(Romberg)求积法(徐士良, 1994)。

(2) 生成 Z 缓冲区数据库 所得表面波波高的二维数据需转化为能应用光线追踪的 Z 缓冲区数据。论文中用 C 语言编程实现这一功能。程序第一步生成 RAW 文件,需要加以平滑生成物体文件,否则所生成数据库将带有严重锯齿。此项操作由平滑程序实现。

(3) 进行光线追踪 编辑输入光线追踪程序的主画面文件,该文件使用 C/C++ 语法风格,可用任意文本编辑器编辑。生成主画面文件后,对其进行光线追踪,即运行 Bob 程序。

(4) 观察所得图象,修改画面文件 生成某一时间间隔后的其它图象,获得移行点源兴波图象序列。

(5) 生成影象文件 为使所得图象序列能连续、运动起来而成为活动的影象,需采用重放技术使其连贯起来,生成影象文件。已有图象序列是类似彩色照片的二维画面,可用二维动画软件处理此序列,制作实现运动。为此,只需用到动画软件的画面处理功能。制作完成后,生成 FLC 动画格式文件。这样就得到了移行点源兴波的影象。可脱离软件环境,用工具软件如 FLCplay 等观察点源兴波模拟影象。

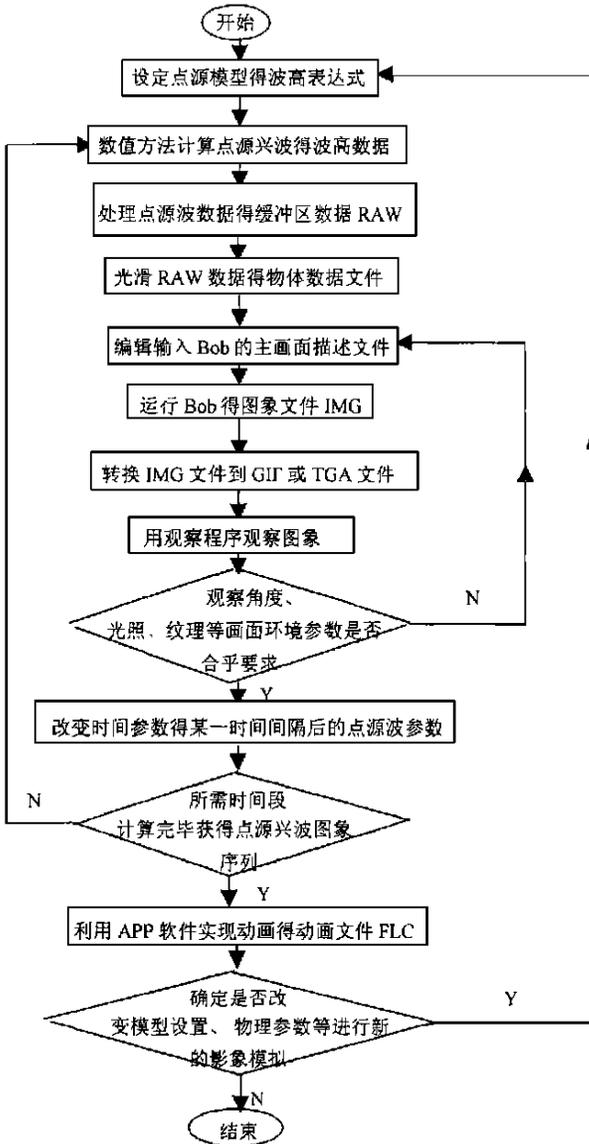


图 2 影象模拟流程图

Fig. 2 flow chart of video simulation

N 为否; Y 为是

3 结果

因为计算波高时所用的是随点源运动的随体坐标, 故流场是定常的。为显示移行点源兴波运动, 需再转换到固定坐标系, 在这个固定坐标系里进行观察。所模拟的影象有三部分(即三段)。对三段影象各选取 1 帧图象进行了打印, 结果见图 3。

第一部分(A 段) 点源运动方向为屏幕自上而下。观察方向近似垂直向下, 水面

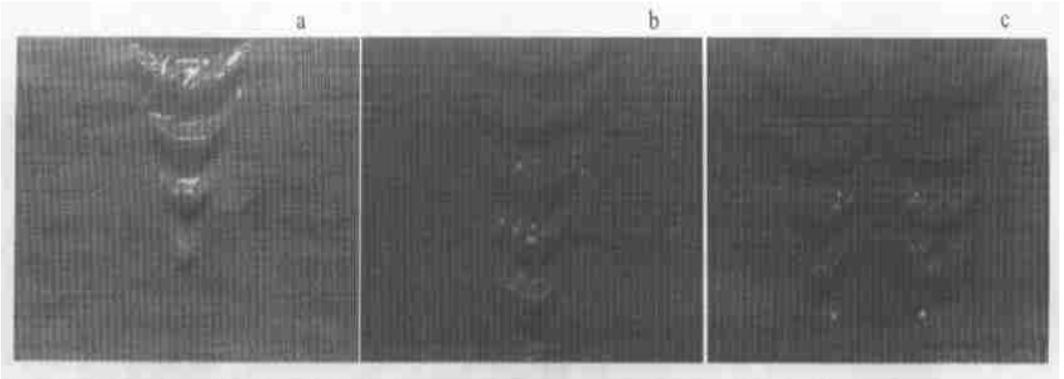


图 3 影象段 A、B、C 的图例

Fig. 3 A legends of video segments A, B & C

颜色为实拍珠江水颜色的模拟(原图为灰黄色,此处给出的为灰度图,故无此效果),光照方向为画面上方斜向下。为了模拟实际水面,避免表面过分光滑,人为地增加了两个波纹源,可以在增加真实感方面有其效果。61 帧画选取,见图 3a。

第二部分(B段) 为一向下运动的点源兴波。画面参数类似,这里取消了波纹源,水面颜色为蔚蓝的海水的模拟(原图为蓝色,文中给出的为灰度图,故无此效果)。101 帧画选取,见图 3b。

第三部分(C段) 为两个同速向下移动的点源兴波的叠加。其波高数据由步骤 1 数值计算时,设定两个点源间距,将其兴波线性叠加即可。61 帧画选取,见图 3c。

本项研究所用电脑 CPU 为 486Dx2-50,内存扩充为 16M。三段影象计算的时间分别约为 8.6、8.8、12.9min/帧。画面有尺度和比例,在具体计算的例子里,点源移动距离分别为 180、400、300m,叠加的两个点源间距为 160m,并可在电脑中对影象文件进行播放或观察其每一帧图象。

4 讨论

4.1 为计算简单起见,所显示的是一假定的点源,但所用方法可推广到实用情形。

(1) 利用测量所得的波形要素(波高、波浪斜率等)推算波幅函数,进而利用波幅函数计算兴波阻力。其特点在于避开了船体型值和尺度(或其相应的源强密度分布),直接从船舶航行时产生的物理现象(兴波)的实际数量出发,因而能得到较接近实际的结果(李世谟,1986)。

(2) 对于两个以上移行点源兴波的干涉、波的绕射等情形,通过选取物理模型、线性叠加、改变动力学方程的边界条件进行数值计算等获得波高数据后,可由上述过程(2) — (5)步骤,实现影象模拟,通过较逼真的图象、动画来直观地研究这些现象。

(3) 另外对于粘性、非线性等流场,只要设定相应物理模型与数值计算模型,得其自由面波高分布,可用同样方法进行影象模拟。

4.2 影象的结果是,移行点源兴波的尖顶角约为 20° 。通过影象可以细察散波、横波两个波系及其运动,也可以观察两个点源波叠加的情况,再一次验证了 Kelvin 船波理论,并

对其有了直观的确切认识。并且还发现,此种移行点源兴波具有不对称性。经观察,该移行点源兴波左右两翼不对称,面对移行方向来看,其右翼波高略高于左翼,并且兴波的位置在其移行方向的侧面有一位移,若设其移动方向为 $-x$ 轴向,则整个兴波位置移向 y 轴正向。这显然跟点源假设波幅函数 $g(\theta) = f(\theta) = 1$ 有关,反映了此种点源的性质。通过以上步骤初步实现了影象模拟。

4.3 本文虽然初步实现了移行点源兴波的影象模拟,但与实际情形尚有一段距离。如对复杂的波浪的破碎,即浪花、泡沫等进行模拟,尚需应用相应的专门理论如粒子系统模拟等。

4.4 本文的研究对象是移行点源兴波过程的影象模拟,但这种影响模拟方法对于大量的海洋自然现象都可以应用。对于小尺度海洋或水动力学模型,无论是通过实测或数模方法得到的自由面数据,可直接应用步骤的第2—5步,即可实现影象模拟。本文意欲在海洋过程的影象模拟方面作一探索性的研究,重要的并不在于点源兴波过程的模拟,也不仅在于用 Z 缓冲区方法对海洋自由面进行模拟,而是将影象模拟在海洋学上的应用方向作了一点开创性的工作。

致谢 傅孙成在计算机硬件方面提供了很多帮助,并探讨了影象模拟实现的可行性;甘子钧、章克本、宋运法在移行点源兴波模型及其物理意义方面提出了有益的建议;隋世峰、施平、王文质等进行过有益的讨论,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 李世谟,刘应中,1986. 兴波阻力理论基础. 北京:人民交通出版社,238
李若纬,饶建锡,1990. 科学计算的视觉化. 计算机应用,10(3):51—53
吴立德,1993. 计算机视觉. 上海:复旦大学出版社,246
姜次平,邵世明,1985. 船舶阻力. 上海:上海交通大学出版社,14—22
徐士良,1994. C 常用算法程序集. 北京:清华大学出版社,690
程天柱,1987. 兴波阻力理论及其在船型设计中的应用. 武汉:华中工学院出版社,393
傅孙成,王文质,章凡等,1994. 南海海上溢油漂移扩散预测微机视算系统. 热带海洋,13(2):98—102
Newman J N, 1977. 周树国译,1986. 船舶流体力学. 北京:人民交通出版社,387
Watkins D, Coy B, Finlay M (刘颖译,1995). C 语言成像与光线追踪程序设计. 北京:科学出版社,367

PRELIMINARY RESEARCH OF VIDEO SIMULATION FOR PLANE MOVING POINT SOURCE GENERATED WAVES PROCESS

MA Zhao- hui, CHEN Jun- chang

(*South China Sea Institute of Oceanography, The Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510301*)

Abstract For the relatively simple ocean phenomenon of Kelvin ship waves in moving point source generated waves, by the method of video simulation, i. e. combining the technique of numerical method, highly realistic graph drawing and computer animation emulation, this paper intends to conjoin closely oceanography and computer graphics and animation, as a new form of Visualization of Scientific Calculation, and to display plane moving point source generated waves process on the screen with highly realistic graph and animation. By calculating original data, generating images and making animation, the problems of numerical calculation, Z- buffer database method, ray tracing, computer animation, etc. are solved. Satisfied results are obtained under low computer hardware requirement. From the results of video simulation it is easy to perceive directly the features of transverse waves, lateral waves, cusp angle and their movement, supraposition, etc., and the asymmetry of this kind of point source generated waves is found. The result indicates that video simulation of ocean wave processes is feasible and effective.

Key words Moving point source generated waves process Oceanography Numerical calculation
Video simulation

Subject classification number P731

本刊加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”的声明

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

网址: <http://www.cnki.net>; <http://www.chinajournal.net.cn>

《海洋与湖沼》编辑部

二〇〇〇年五月