

一种新的近海波浪数学模型

刘 桦¹⁾

(上海交通大学工程力学系, 上海 200030)

发展基于 Boussinesq 类方程的近海波浪传播、变形与破碎数值模型是近 10 年来国际水动力学界的研究热点之一, 不仅涉及非线性水波动力学基本理论, 而且在海岸与近海工程领域具有迫切的应用需求。这类水波数值模型的理论研究主要集中在改善表面波的线性色散性、非线性特性, 如 Madsen 等(1998), Gobbi 等(2000)。为了改进从浅水区到深水区速度场垂直分布的精度以及线性、非线性特性, Madsen, Bingham and Liu(2002)提出了一个高阶 Boussinesq 水波模型, 该模型具有极好的色散性和非线性特性。在 MBL 的推导过程中, 由于引用了缓坡假定, 在对速度场分量求逆过程中只保留了首阶项, 即平底项。这种处理使得该模型仅适用于地形缓慢变化的问题。

本文从欧拉方程出发, 将欧拉方程投影到自由水面, 推导了没有无旋假定的时间步进自由液面边界条件。假定波场无旋, 采用 Wu(2000)的方法, 建立用级数表示的 Laplace 方程的精确解, 进而给出自由表面速度分量与底部速度分量的关系。在级数求逆过程中, 保留了低坡的高阶项, 使得本模型的应用范围从缓坡假定拓展到地形显著变化的情况。应用 7 点有限差分格式对具有 5 阶导数的控制方程进行数值离散, 提出了“解析松弛方法”, 实现了无二次反射的数值造波消波方法, 建立了数值波浪水槽。

应用该数值水波模型, 研究了孤立波对撞与追赶、深水非线性波的边带不稳定性、波状床面上水波的 Bragg 散射、波流相互作用、水波爬高与破波带、海底地震激发的海啸等近海非线性水波现象, 结果表明本文报道的基于高阶 Boussinesq 方程的水波模型能很好地模拟水波从深水向浅水传播过程中表面波与地形、背景流动的相互作用, 为进一步的工程实用化研究打下了良好的基础。

参考文献

1. Madsen PA, Schäffer HA. Higher-order Boussinesq-type equations for surface gravity waves: derivation and analysis. *Phil Trans Roy Soc, London*, 1998, A356: 3123~3184
2. Gobbi MF, Kirby JT, Wei G. A fully nonlinear Boussinesq model for surface wave. *J Fluid Mech*, 2000, 405: 181~210
3. Madsen PA, Bingham HB, Liu H. A new Boussinesq method for fully nonlinear waves from shallow to deep water. *J Fluid Mech*, 2002, 462: 1~30 (引用为 MBL)
4. Wu TY. A unified theory for modeling water waves. In: *Advances in Applied Mechanics*. Boston: Academic Press, 2000, 1~88

¹⁾ E-mail: hliu@sjtu.edu.cn