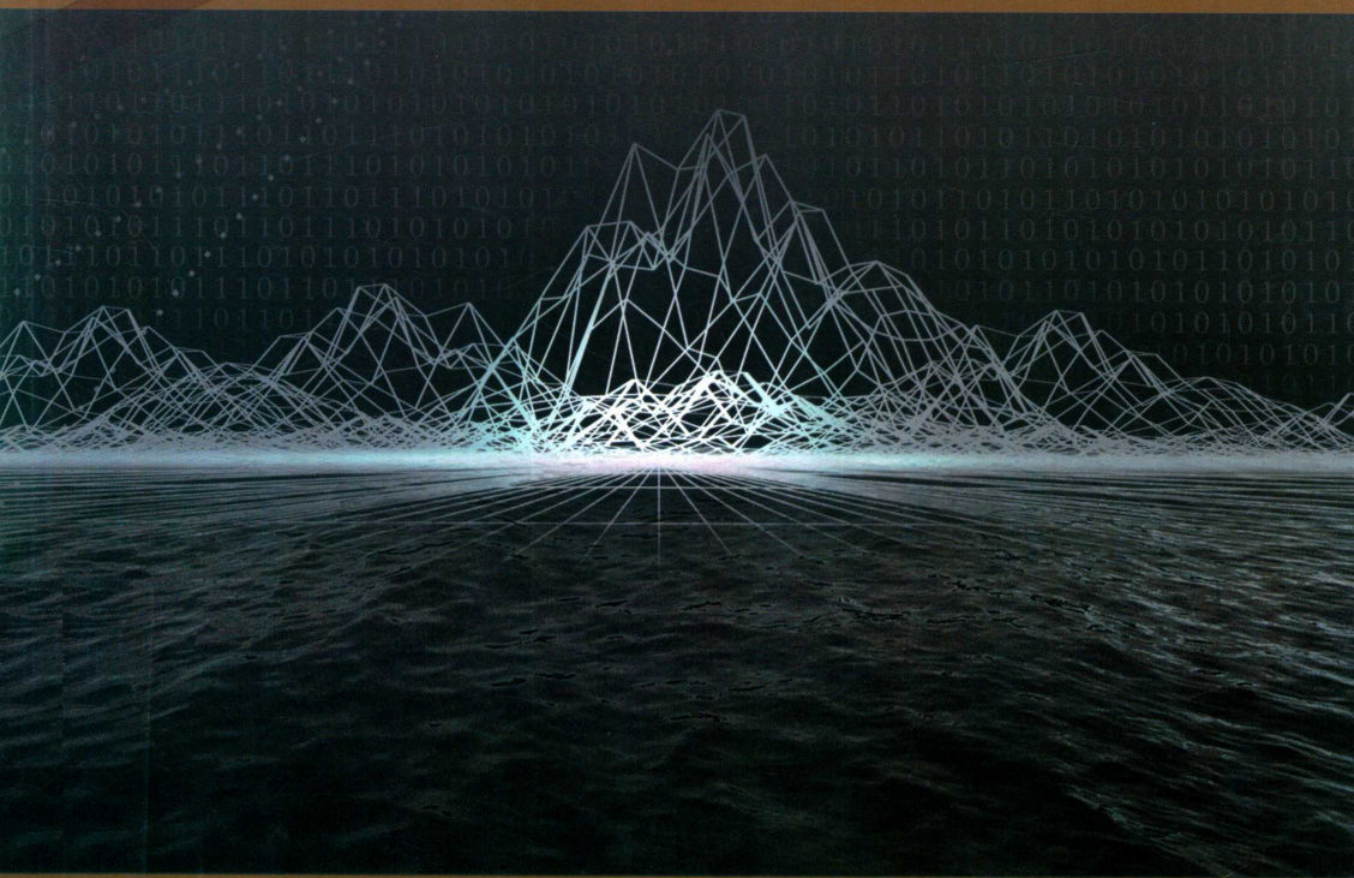


The Application and Research  
of Mathematical Model  
in Ecology



# 数学模型在生态学 的应用及研究

杨东方 李 焯 编著



 海洋出版社

# 数学模型在生态学的应用及研究(42)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(42)

杨东方 李 焯 编著

海洋出版社

2019年·北京

## 内 容 提 要

通过阐述数学模型在生态学的应用和研究,量化地展示生态系统中环境因子和生物因子的变化过程,揭示了生态系统的规律和机制以及其稳定性、连续性的变化,使生态数学模型在生态系统中发挥巨大作用。在科学技术迅猛发展的今天,通过该书的学习,可以帮助读者了解生态数学模型的应用、发展和研究的过程;分析不同领域、不同学科的各种各样生态数学模型;探索采取何种数学模型应用于何种生态领域的研究;掌握建立数学模型的方法和技巧。此外,该书还有助于加深对生态系统的量理解,培养量化研究生态系统的思维。

本书主要内容为:介绍各种各样的数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、水文和水动力以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。

本书适合气象学、地质学、海洋学、环境学、生物学、生物地球化学、生态学、陆地生态学、海洋生态学和海湾生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的专家参阅,也适合高等院校师生作为教学和科研的参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

数学模型在生态学的应用及研究. 42/杨东方,李焱编著. —北京:海洋出版社,2018. 11  
ISBN 978-7-5210-0269-0

I. ①数… II. ①杨… ②李… III. ①数学模型-应用-生态学-研究 IV. ①Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 277484 号

责任编辑:鹿 源

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

2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:20

字数:460 千字 定价:90.00 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

# 《数学模型在生态学的应用及研究(42)》编委会

主 编 杨东方 李 焯

副主编 杨端阳 常彦祥 黄承玲 陈 豫 姬建鹏

编 委 (按姓氏笔画为序)

王 铭 邓 婕 冯志纲 朱四喜 苏春花

杨重阳 杨丹枫 周 玮 范百龄 赵孝梨

赵登攀 孙兆惠 苗振清 吴云杰 黄 宏

数学是结果量化的工具  
数学是思维方法的应用  
数学是研究创新的钥匙  
数学是科学发展的基础

杨东方

要想了解动态的生态系统的基本过程和动力学机制,尽可从建立数学模型为出发点,以数学为工具,以生物为基础,以物理、化学、地质为辅助,对生态现象、生态环境、生态过程进行探讨。

生态数学模型体现了在定性描述与定量处理之间的关系,使研究展现了许多妙不可言的启示,使研究进入更深的层次,开创了新的领域。

杨东方

摘自《生态数学模型及其在海洋生态学应用》

海洋科学(2000),24(6):21—24.

# 前 言

细大尽力,莫敢怠荒,远迹辟隐,专务肃庄,端直敦忠,事业有常。

——《史记·秦始皇本纪》

数学模型研究可以分为两大方面:定性和定量的,要定性地研究,提出的问题是:“发生了什么或者发生了没有?”,要定量地研究,提出的问题是“发生了多少或者它如何发生的?”。前者是对问题的动态周期、特征和趋势进行了定性的描述,而后者是对问题的机制、原理、起因进行了定量化的解释。然而,生物学中有许多实验问题与建立模型并不是直接有关的。于是,通过分析、比较、计算和应用各种数学方法,建立反映实际的且具有意义的仿真模型。

生态数学模型的特点为:(1)综合考虑各种生态因子的影响。(2) 定量化描述生态过程,阐明生态机制和规律。(3) 能够动态地模拟和预测自然发展状况。

生态数学模型的功能为:(1) 建造模型的尝试常有助于精确判定所缺乏的知识和数据,对于生物和环境有进一步定量了解。(2) 模型的建立过程能产生新的想法和实验方法,并缩减实验的数量,对选择假设有所取舍,完善实验设计。(3) 与传统的方法相比,模型常能更好地使用越来越精确的数据,将生态的不同方面所取得材料集中在一起,得出统一的概念。

模型研究要特别注意:(1) 模型的适用范围:时间尺度、空间距离、海域大小、参数范围。例如,不能用每月的个别发生的生态现象来检测 1 年跨度的调查数据所做的模型。又如用不常发生的赤潮模型来解释经常发生的一般生态现象。因此,模型的适用范围一定要清楚。(2) 模型的形式是非常重要的,它揭示内在的性质、本质的规律,来解释生态现象的机制、生态环境的内在联系。因此,重要的是要研究模型的形式,而不是参数,参数只是说明尺度、大小、范围而已。(3) 模型的可靠性,由于模型的参数一般是从实测数据得到的,它的可靠性非常重要,这是通过统计学来检测。只有可靠性得到保证,才能用模型说明实际的生态问题。(4) 解决生态问题时,所提出的观点,不仅数学模型要支持这一观点,而且还要从生态现象、生态环境等各方面的事实来支持这一观点。

本书以生态数学模型的应用和发展为研究主题,介绍数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、气象、水文和水动力以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和

结构以及其数学模型应用的意义。认真掌握生态数学模型的特点和功能以及注意事项。生态数学模型展示了生态系统的演化过程并预测了自然资源的可持续利用。通过本书的学习和研究,可促进自然资源、环境的开发与保护,推进生态经济的健康发展,加强生态保护和环境恢复。

本书获得西京学院的出版基金、陕西国际商贸学院的出版基金、贵州民族大学博点建设文库、“贵州喀斯特湿地资源及特征研究”(TZJF-2011年-44号)项目、“喀斯特湿地生态监测研究重点实验室”(黔教合KY字[2012]003号)项目、贵州民族大学引进人才科研项目([2014]02)、土地利用和气候变化对乌江径流的影响研究(黔教合KY字[2014]266号)、威宁草海浮游植物功能群与环境因子关系(黔科合LH字[2014]7376号)、“铬胁迫下人工湿地植物多样性对生态系统功能的影响机制研究”(国家自然科学基金项目31560107)以及国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金——长江口、胶州湾、浮山湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

此书得以完成应该感谢北海环境监测中心主任姜锡仁研究员、上海海洋大学副校长李家乐教授、贵州民族大学校长陶文亮教授和西京学院校长任芳教授;还要感谢刘瑞玉院士、冯士筭院士、胡敦欣院士、唐启升院士、汪品先院士、丁德文院士和张经院士。诸位专家和领导给予的大力支持,提供的良好的研究环境,成为我们科研事业发展的动力引擎。在此书付梓之际,我们诚挚感谢给予许多热心指点和有益传授的其他老师和同仁。

本书内容新颖丰富,层次分明,由浅入深,结构清晰,布局合理,语言简练,实用性和指导性强。由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,望广大读者批评指正。

沧海桑田,日月穿梭。抬眼望,千里尽收,祖国在心间。

杨东方 李 焯

2016年5月8日

# 目 录

卵石的推移质数量模型 .....	(1)
沉垫式钻井平台的稳定模型 .....	(3)
管状接头的应力场计算 .....	(6)
气动型的波力发电模型 .....	(10)
滩地输水的潮汐水流方程 .....	(14)
离岸工程的水动力学模型 .....	(20)
水平圆柱的波压力模型 .....	(22)
年输沙量的估算公式 .....	(29)
岸线的变形模型 .....	(33)
可潜器回收的负荷模型 .....	(39)
水下爆破的预裂模型 .....	(43)
超声式的水深模型 .....	(45)
钻井平台的振动模型 .....	(48)
圆形桩柱列的流场模型 .....	(51)
不规则立波的特性模型 .....	(56)
海冰的作用力模型 .....	(59)
可潜器的平衡模型 .....	(62)
浅水波浪的变形模型 .....	(66)
击岸波的椭圆余弦波模型 .....	(72)
不规则波的外载荷模型 .....	(76)
制动器的稳健优化模型 .....	(79)
参照蒸发量的预测公式 .....	(82)
棵间土壤的蒸发模型 .....	(85)
红毛丹的动态检测模型 .....	(87)
变量灌溉的预测模型 .....	(89)
电网性能的评估模型 .....	(92)
地膜覆盖粮食增产的潜力公式 .....	(95)
农作区的遥感影像融合模型 .....	(97)
季节性裸露农田的遥感模型 .....	(100)

气袋对气体的吸附性模型 .....	(103)
转向控制的系统模型 .....	(105)
冬小麦叶的气孔限制公式 .....	(107)
土壤水分的动态模型 .....	(110)
覆盖材料的传热系数公式 .....	(113)
温室基本风压的变化模型 .....	(115)
样地法的土地评价模型 .....	(118)
树木图像的分割模型 .....	(121)
雾滴分布的图像模型 .....	(124)
燃料乙醇的能效模型 .....	(126)
坡面流的流速公式 .....	(128)
夏玉米的水分胁迫模型 .....	(131)
植物的净初级生产力模型 .....	(134)
苹果图像的分割模型 .....	(136)
净辐射的推算模型 .....	(138)
湿度发生器的湿度平衡模型 .....	(140)
紫花苜蓿的蒸散耗水模型 .....	(142)
猕猴桃汁维生素 C 的降解模型 .....	(144)
根茬切断装置的运动模型 .....	(147)
熟肉真空冷却过程中的水分迁移模型 .....	(150)
液—液分离的流动模型 .....	(152)
叶面积和产量的变异函数 .....	(155)
投影寻踪模型 .....	(157)
作物系数的蒸发蒸腾模型 .....	(159)
转子鼓的瞬态温度场模型 .....	(161)
农业机械化的贡献率模型 .....	(164)
玉米淀粉的水分吸附模型 .....	(168)
玉米秸的液化模型 .....	(170)
作物的腾发量模型 .....	(172)
复垦土地的结构优化模型 .....	(174)
蜕皮激素的提取模型 .....	(176)
参考作物的腾发量模型 .....	(178)
大米蛋白的水解模型 .....	(181)
均质土壤的水分运动模型 .....	(183)

---

车削平面的运动模型 .....	(187)
植物生化组分的反演模型 .....	(192)
土壤盐分的空间模型 .....	(195)
复垦土盐分污染的微波频谱模型 .....	(197)
甘蔗茎秆的破坏模型 .....	(199)
土壤盐分的空间变异模型 .....	(201)
土地的生产力模型 .....	(203)
鸡肉蛋白的热处理模型 .....	(205)
大豆图像的滤波模型 .....	(207)
节地排土场的空间模型 .....	(210)
基于领域因子的土地利用的空间格局模型 .....	(212)
坡面径流的流速测量模型 .....	(214)
苹果果形的分级模型 .....	(216)
华北参考作物的蒸散量模型 .....	(218)
农用地的分等模型 .....	(221)
改变雾流方向角的药液沉积模型 .....	(224)
紫色土小流域的产汇流模型 .....	(226)
海岸线的土地利用模型 .....	(230)
融雪型灌区的来水预报模型 .....	(233)
灌区的干旱程度评价模型 .....	(235)
土壤的平衡施肥模型 .....	(239)
饲料混合的质量评价模型 .....	(241)
定容燃烧的喷雾模型 .....	(244)
热泵干燥系统的性能模型 .....	(247)
FOPS 受落锤冲击的动态模型 .....	(249)
渠道运行的控制模型 .....	(251)
垃圾降解产气的动力模型 .....	(255)
叶轮内部的流场模型 .....	(258)
水力侵蚀的调控模型 .....	(260)
斜坡的稳定性公式 .....	(265)
岩土的物理力学模型 .....	(268)
辐射平衡的分量计算 .....	(271)
山区气温的数值方程 .....	(273)
山区的风雪流模型 .....	(276)

地形影响的太阳辐射强度公式 .....	(278)
滑带土的抗剪强度公式 .....	(280)
垂直气候带的气候类型模型 .....	(282)
森林年伐量的预测模型 .....	(284)
地层的磁化方向公式 .....	(287)
等混合距离的分类公式 .....	(290)
作物光合生产的潜力模式 .....	(292)
流域的产沙量公式 .....	(294)
枯季径流的预报模型 .....	(296)
遥感图像的地表模型 .....	(299)
地磁场的球谐级数公式 .....	(301)
海拔变化的气温预测方程 .....	(303)
通道输送的水汽量模型 .....	(305)
滑坡的滑速预测模型 .....	(307)

# 卵石的推移质数量模型

## 1 背景

一般把平均粒径大于 10.0 mm 的泥沙称为卵石推移质。卵石推移质问题在长江上游的一些河流中十分突出,造成水库、渠道、航道与港口的淤积,危及山区河流的开发、利用与建设。目前计算卵石推移质数量,主要采用三种方法:计算法,测验法,岩矿分析法,然而这些方法都具有一定的局限性。林承坤<sup>[1]</sup>以分析长江上游卵石推移质来源为基础,借助磨损原理建立相关公式,并计算出长江上游的卵石推移质数量。

## 2 公式

卵石推移质在运动过程中遭受河床和挟沙水流的摩擦,而造成其重量、粒径和容积的沿程递减,这就是说,卵石遭到了磨损。史当贝(H. U. Sternberg)据此提出的卵石推移质重量磨损公式是:

$$\overline{W}_L = \overline{W}_0 e^{-CL}$$

式中,  $\overline{W}_0$  为卵石的起始重量,t;  $\overline{W}_L$  为卵石运动了距离  $L$ (km) 被磨损后的重量,t;  $e$  为自然对数的底(2.718 2);  $C$  为卵石重量磨损系数,  $\text{km}^{-1}$ , 其主要随岩类硬度不同而异。

由于卵石重量等于容积( $V = \pi d^3/6$ ,  $d$  为等容粒径)与容重( $\gamma$ )相乘,因此由上式导出的卵石磨损公式是:

$$\begin{aligned} d_L^3 &= d_0^3 e^{-CL} \\ d_L &= d_0 e^{CL/3} = d_0 e^{-C_d L} \end{aligned}$$

式中,  $d_0$  为卵石的起始粒径,mm;  $d_L$  为卵石经运动了距离  $L$ (km) 被磨损后的粒径,mm;  $C_d = C/3$ , 为卵石粒径磨损系数,  $\text{km}^{-1}$ 。

河流卵石推移质大都呈扁椭球体,用长径  $a$  表示卵石的长度,宽径  $b$  表示卵石宽度,厚径  $c$  表示卵石的厚度。求每颗卵石的粒径  $d'$  :

$$d' = (a + b + c)/3$$

卵石平均粒径  $d_{\text{平均}}$  的测定步骤:①在河床上选择适当的采样点,挖一体积为  $1 \text{ m}^3$  的采样坑,并采样,再用上式求出每颗卵石的粒径  $d'$ ; ②把卵石按  $d'$  值大小分成  $n$  组,测出各组

的上下极限粒径  $d_{\text{最大}}$  与  $d_{\text{最小}}$ , 与此同时计算出每组卵石数量占所采卵石总数的百分数  $P_i$ ;  
③求出各组卵石的平均粒径  $d_i = (d_{\text{最大}} + d_{\text{最小}})/2$ ; ④求出每个采样点上的卵石平均粒径:

$$d = \sum_{i=1}^n P_i d_i / 100$$

### 3 意义

根据卵石的推移质数量模型, 计算得到卵石推移质数量的沿程分布。在应用卵石的推移质数量模型时, 需要利用卵石推移质起始数量与卵石的区间补给量以及磨损法。当然, 也可以使用岩矿分析法或测验法, 但磨损法拥有自身的特点, 在卵石推移质研究中仍有着重要的理论意义与实际意义。而且采用了磨损法后, 还能提高岩矿分析法与测验法的精度与效率。因此, 同其他方法相比, 其计算卵石推移质数量简便、迅速, 且在计算过程中没有复杂的技术问题, 并能较迅速准确地计算出某河流卵石推移质数量的沿程分布。

### 参考文献

- [1] 林承坤. 长江上游卵石推移质数量的计算. 山地研究, 1986, 4(2): 111-116.

# 沉垫式钻井平台的稳定模型

## 1 背景

自升式钻井平台由上船体、升降机构、桩腿及海底支承结构等几部分组成。马志良等<sup>[1]</sup>根据沉垫支承自升式钻井平台的船型特征,讨论了该类平台在漂浮状态下的几个稳性问题:任意风向风力作用下的完整稳性;在升降过程中沉垫与上船体的间隙变化对平台稳性的影响,沉垫的存在对平台在波浪中的运动与稳性的影响等。此外,还对若干与稳性衡准有关的问题进行了讨论。所得结果有助于设计者改善该类平台的稳性,有助于制订该类平台合理的操作指南,提高平台的使用安全性。

## 2 公式

### 2.1 任意方向风力作用下的完整稳性

对图 1 所示计算模型进行了稳性计算。该模型是有代表性的沉垫式平台,有四根桩腿,上船体与沉垫均呈矩形。图 2 是该模型某一典型的稳性曲线,图 3 表示平台向不同方向倾斜 5°时复原力矩的变化,横向倾斜时的复原力臂最小;由于平台的首部和尾部不对称,曲线的左边比右边稍高。在计算风倾力矩时,应注意其随风向角的变化,同时亦随平台倾角的变化。因此,必须把整个平台包括水上与水下部分的表面积垂直与水平地划分成大量面积元素进行计算。作用在每个受风面积元素上的风力按下式计算:

$$\Delta F = 0.0625 C_s C_h V^2 \Delta A \quad (1)$$

式中,  $\Delta F$  为作用在面积元素上的风力, kg;  $C_s$  为构件的形状系数;  $C_h$  为构件的高度系数;  $V$  为风速, m/s;  $\Delta A$  为面积元素在风速方向的投影。

### 2.2 升降过程中沉垫的位置对稳性的影响

从图 2 可知,初稳心高对平台的静稳性曲线有很大的影响。假如进水角为 10°~15°,则复原力臂曲线下的面积在很大程度上由初稳心高的大小所确定。沉垫升降过程中,平台的重量、排水量及稳心半径等保持不变,但重心、浮心的位置发生了变化。初稳心高的变化  $\Delta GM$  由下式计算:

$$\Delta GM = \Delta BG = \frac{W_m - D_m}{D} (S_1 - S_0) = K(S_1 - S_0) \quad (2)$$

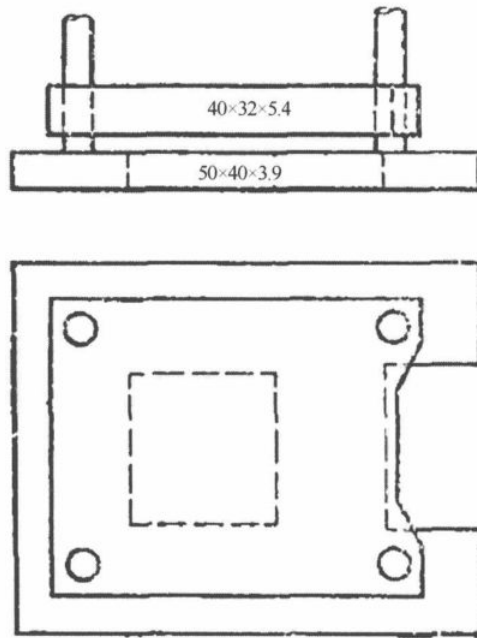


图1 计算模型的上船体及沉垫

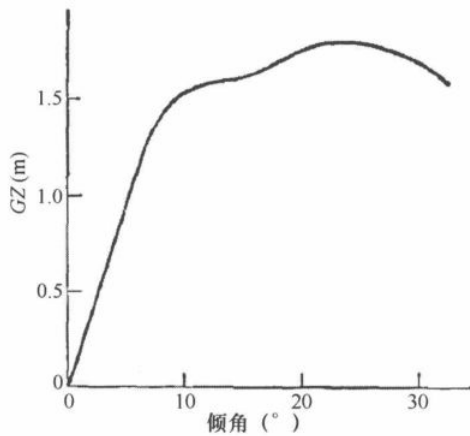


图2 典型的稳性曲线

式中,  $D$  为排水量,  $W$  为沉垫及桩腿(包括沉垫中压载水)的重量,  $D$  为沉垫的排水量,  $S_0$  为沉垫与上船体之间的最小间隙,  $S_1$  为沉垫处于任意位置时的间隙。

公式(2)表示初稳心高的变化和间隙的变化成正比,其大小主要由系数  $K$  确定。在一般情况下,  $W_m > D_m$ ,故  $\Delta GM$  随沉垫的下降而增大。

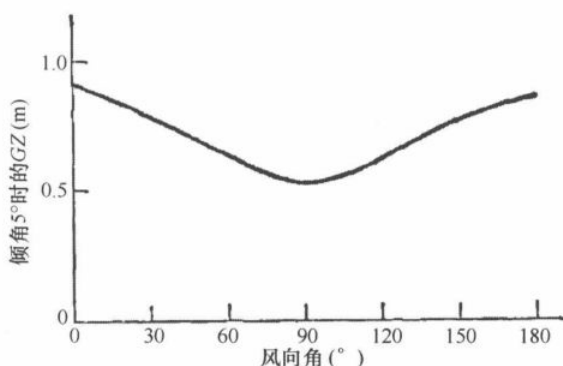


图3 复原力臂风向角的变化

### 3 意义

根据沉垫支承自升式钻井平台的船型特征,通过沉垫式钻井平台的稳定模型,计算平台在漂浮状态下的稳定性。计算得到了任意风向风力作用下的完整稳性、在升降过程中沉垫与上船体的间隙的变化对平台稳性的影响以及沉垫的存在对平台在波浪中运动与稳性的影响,此外,应用沉垫式钻井平台的稳定模型,可确定稳定性的衡准。而且,计算所得结果有助于设计者改善该类平台的稳性,有助于制订该类平台合理的操作指南,提高平台的使用安全性。

### 参考文献

- [1] 马志良,杨宗英,潘斌. 沉垫支承自升式钻井平台在漂浮状态下的稳性. 海洋工程,1983,1(1): 56-63.
- [2] Leonard Le Blanc. "Traeing the Causes of Rig Mishaps", Offshore, Vol. 41, No. 3, Mareh 1981, pp. 51-63.