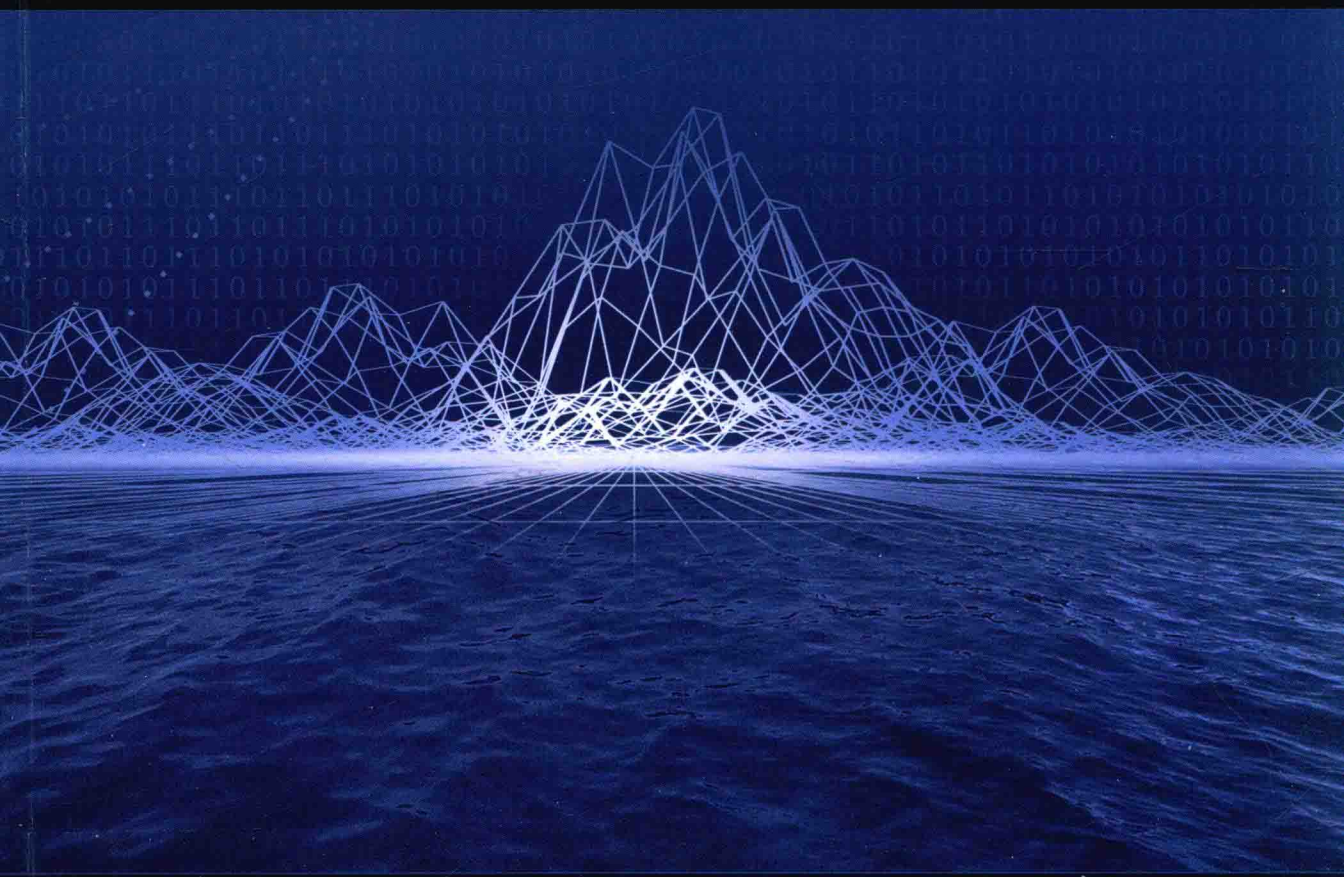


The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology

35

数学模型在生态学 的应用及研究

杨东方 王凤友 编著



 海洋出版社

数学模型在生态学的应用及研究(35)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(35)

杨东方 王凤友 编著

海洋出版社

2016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. 35/杨东方,王凤友主编. —北京:海洋出版社,2016. 3
ISBN 978-7-5027-9396-8

I. ①数… II. ①杨… ②王… 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(2016)第059227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

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:20

字数:480千字 定价:60.00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(35)》编委会

主 编 杨东方 王凤友

副主编 吴有富 王 林 童 红 朱四喜 陈 豫

编 委 (按姓氏笔画为序)

王自强 邓 婕 田景仁 冯志纲 李伟民

杨丹枫 杨吟野 杨佩华 吴兴玲 沈长春

张儒良 赵孝梨 贺华中 黄 宏 常彦祥

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:定性的和定量的,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)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,从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,不仅从数学模型支持这一观点,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和预测了自然资源可持续利用。通过本书的学习和研究,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”(黔教全KY字[2012]003号)项目、教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-12-0659)项目、“西南喀斯特地区人工湿地植物形态与生理的响应机制研究”(黔省专合字[2012]71号)项目、“复合垂直流人工湿地处理医药工业废水的关键技术研究”(筑科合同[2012205]号)项目、水库水面漂浮物智能监控系统开发(黔教科[2011]039号)项目、基于场景知识的交通目标行为智能描述(黔科合字[2011]2206号)项目、水面污染智能监控系统的研发(TZJF-2011年-46号)项目、基于视觉的贵阳市智能交通管理系统研究项目、贵阳市水面污染智能监控系统的研发项目、基于信息融合的贵州水资源质量智能监控平台研究项目、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)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、莱州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的崔文林主任、上海海洋大学的李家乐院长和贵州民族大学的张学立校长;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 王凤友

2014年12月2日

目次

土壤的入渗性能模型	(1)
双圆盘开沟器的设计公式	(5)
冬小麦冠层氮素的遥感预测模型	(8)
土壤氮素的利用效率公式	(12)
海鳗的盐渍过程模型	(16)
区域雨水的资源评价模型	(23)
传感器的径流流速测量公式	(27)
绿洲耕地的时空变化公式	(30)
夹砂层土壤的蒸发强度模型	(33)
内燃机主轴承的润滑模型	(37)
作物的蒸散量公式	(41)
藻红蛋白的测定公式	(45)
物料的输送建压模型	(47)
种籽的运动方程	(52)
微灌双向毛管的设计模型	(56)
小麦粉的颗粒分离方程	(59)
喷灌机的喷头配置模型	(64)
蒸发蒸腾量的多种遥感模型	(68)
文丘里施肥器的数值模型	(78)
玉米对喷灌的水量分配公式	(81)
泥石流危险性的评价模型	(83)
枫香次生林的多样性模型	(85)
浅层滑坡的变形运动方程	(88)
堆积体的泥石流形成模型	(91)
混交林的土壤质量评价模型	(95)
泥石流的洪峰流量计算公式	(98)
冰湖溃决的危险评价模型	(100)
劳动力的时空格局模型	(103)

乡村聚落的斑块模型	(105)
气候变化的特征公式	(107)
山地地形的大暴雨预测模型	(109)
林地土壤的水分动态变化模型	(111)
地形的复杂度模型	(113)
地物形状特征的尺度公式	(116)
丘陵区坡度的提取公式	(118)
库岸滑坡的滑速公式	(121)
景观生态的风险评价模型	(125)
下渗的产流方程	(128)
砾石土的粒度分形公式	(131)
退化植被的恢复潜力公式	(133)
降雨频率对泥石流的影响公式	(135)
林地土壤肥力的分形模型	(138)
铁路沿线的安全评估模型	(141)
杉木生长的动态模型	(144)
地形调节的气温空间分布模型	(147)
非饱和粉质土的抗剪强度公式	(149)
植物群落的结构模型	(151)
竹根的抗拉公式	(153)
泥石流的地貌信息熵模型	(156)
降雨侵蚀力的估算模型	(158)
雷电的风险评估模型	(160)
坡面侵蚀的变化模型	(162)
坡地的径流方程	(164)
岩爆倾向性的判别模型	(167)
黄土坡面的细沟侵蚀方程	(169)
交通路网的通达性模型	(171)
冻土分布的预测模型	(174)
青藏高原植被覆盖度的预测模型	(176)
川藏公路的泥石流评价模型	(178)
泥石流暴发的临界雨量模型	(180)

黄河河道的泥沙运动方程	(182)
烂泥形成的潮流公式	(184)
码头护舷的设计模型	(186)
直立堤的浮托力公式	(188)
煤港的泥沙淤积公式	(191)
人工岛的地质构造模型	(194)
护岸液化的稳定模型	(196)
水下平台的潮流公式	(199)
人工岛的波浪方程	(201)
龙口湾的潮汐特征模型	(203)
海滩的泥沙收支公式	(206)
人工岛的波浪绕射方程	(209)
泥沙的疏浚量计算	(211)
浅水的风浪模型	(213)
卸荷板的位置方程	(217)
海水水质的评价函数	(223)
围海工程的潮流输沙模型	(226)
直墙前的波浪模型	(228)
近岸流体的能量模型	(231)
新港区的价值工程模型	(236)
污水排海管道的设计模型	(239)
反射和绕射的短波模型	(241)
热带气旋的运动方程	(245)
海域环境的评价模型	(247)
流体波浪的物理模型	(249)
风暴浪的冲刷模型	(253)
混合层的涡动能量方程	(256)
藻类的光导纤维模型	(261)
土壤盐碱化的层化模型	(265)
海洋水文的要素模型	(267)
底沙颗粒的运动模型	(273)
水体盐度的估计模型	(276)

风暴潮灾害的预测模型	(278)
威海湾的纳污量模型	(280)
沉积物的物理性质公式	(283)
龙口湾的潮流场方程	(285)
海区风暴的增水公式	(288)
近岸区域的边缘波模型	(291)
风暴潮的联合概率公式	(293)
夯扩桩的承载力模型	(296)
植被的净初级生产力模型	(298)
针叶树种抗寒性模型	(301)

土壤的入渗性能模型

1 背景

土壤的入渗性能决定了雨水或灌溉水转换为土壤水、在地表形成径流的数量和引发土壤侵蚀的能量,因而在实践中有很重要的价值。雷廷武等^[1]提出了一种测量(坡地)土壤入渗能力的方法以及相应的计算模型,设计并构建了完整的测量仪器系统,用数码相机记录水流在地表的湿润面积随时间变化的过程,由此推导得到了计算土壤入渗性能的数学模型,并进行了室内试验。

2 公式

2.1 测量方法原理和计算模型

为了推导计算模型,假设在不同部位的土壤具有相同的入渗性能。

运用水量平衡原理得出在入渗过程中入渗率与供水流量的关系:

$$q = K \int_0^A i(A, t) dA \quad (1)$$

式中, q 为供水流量, L/h ; i 为入渗率, mm/h ; A 为湿润面积, m^2 ; $K=1$ 为量纲转换系数。

式(1)表明,任意时刻供给的水流量 q 等于该时刻的入渗率对该时刻对应的湿润面积的积分。

寻求式(1)所表示的积分方程的精确解析解,得到入渗率函数 $i(t)$ 存在一定的困难。可以做近似计算如下:选择较小的时间间隔即较小的面积增量步长,在各时段以及面积增量段内,取入渗率为平均值,可以递推得到 $i(t)$ 的近似估计值。具体计算过程可以表述如下。

设 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 时刻相应的湿润面积增量分别为 $\Delta A_1, \Delta A_2, \dots, \Delta A_n$, 对应的入渗率分别为 $i_1, i_2, \dots, i_n$, 水流流量为 $q_1, q_2, \dots, q_n$ (取为常数), 由式(1)及上述讨论有:

t_1 时段水量平衡:

$$q_1 = i_1 \Delta A_1$$

t_2 时段水量平衡:

$$q_2 = i_2 \Delta A_1 + i_2 \Delta A_2$$

t_3 时段水量平衡:

$$q_3 = i_3 \Delta A_1 + i_2 \Delta A_2 + i_2 \Delta A_3$$

t_n 时段水量平衡:

$$q_n = i_n \Delta A_1 + i_{n-1} \Delta A_2 + \cdots + i_1 \Delta A_n \quad (2)$$

由式(2)得到不同时间的入渗率为:

$$i_n = \frac{q_n - \sum_{j=1}^{n-1} i_j \Delta A_{n-j+1}}{\Delta A_1} \quad (n = 1, 2, \cdots, N) \quad (3)$$

从图 1 中可以看出在 t_2 时刻,水流向前推进的面积增加了 ΔA_2 ,此处入渗率与在 t_1 时间内水流向前推进的面积 ΔA_1 上的 t_1 时刻的入渗率相同,为 i_1 。而此时 ΔA_1 面积上的入渗率降低,为 i_2 。其他时间段也与此类似。

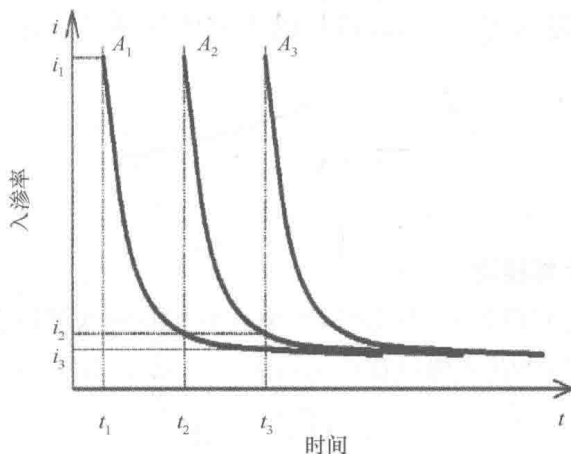


图 1 不同空间点处的入渗性能曲线

2.2 结果与分析

试验中湿润面积的计算采用网格算法,在计算机上实现,即由试验过程中数码相机拍得的各个时间点上的照片,将其中的湿润面积用等分土槽的长和宽得到的网格线划分为面积相同的小格。照片中的土槽会有变形,而网格是等分照片中土槽的长宽得到的,是代表固定面积的小格,其大小和形状可以随着照片的变形而变形,这样就可以准确地求出照片中的湿润面积。

试验中得到的湿润面积 A 随时间 t 的增加而增加,如图 2 所示。用幂函数:

$$A = at^b \quad (4)$$

拟合 A 与 t 的关系,具有很高的相关性,回归结果及确定系数见图 2。分析可知, A 与 t 拟合方程中指数 b 小于 1,表明当时间趋近于无穷时, A 对 t 的导数为零,即表明 A 值随着时

间的推移将趋于稳定,入渗率也趋于稳定。

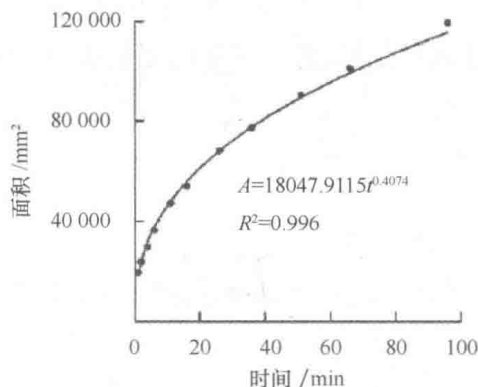


图2 累计湿润面积随时间的变化

相对误差分析的基本原理为水量平衡原理。具体计算方法为比较由入渗率曲线计算得到的复原水量与实际供水水量的差异。由土壤入渗率及对应的时段可以计算得到坡面不同位置在该时段内的累积入渗量,然后将整个坡面上的累积入渗量累计,得到全坡面上整个入渗过程中的入渗水量,即为理论(复原计算)入渗总水量 Q_1 。将复原的入渗水量与试验中记录的相应时段马氏瓶的总供水量 Q_2 比较,最后得出试验误差,具体公式如下。

总入渗量为:

$$Q_1 = \int_0^A \left[\int_0^T i(t, A) dt \right] dA \quad (5)$$

式中, I 为累积入渗量, m^3/m^2 或 mm , 是坡面位置的函数:

$$I = \int_0^T i(t, A) dt \quad (6)$$

马氏瓶的供水量由试验中马氏瓶的读数测得或由下面的公式求出:

$$Q_2 = qT \quad (7)$$

式中, q 为马氏瓶的供水流量, L/h 或 mm/min ; T 为总入渗时间, h 或 min 。

试验误差为:

$$\delta = \left| \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} \right| \times 100\% \quad (8)$$

由上面提供的试验数据计算得到 $\delta = 6.1\%$ 。表明测量结果具有很高的精度。

3 意义

土壤的入渗性能模型^[1]表明:水流推进面积、土壤入渗性能与时间均具有很好的幂指

数相关关系。采用入渗量和供水量对比的方法,计算出上述试验的测量误差为 6.1%,说明该方法具有较高精度。研究结果证实了测量方法、计算模型和试验方法的合理性,该方法简单、省时、省水,对土表要求较低,对野外有较强的适应能力,为今后的进一步研究提供理论依据。

参考文献

- [1] 雷廷武,毛丽丽,李鑫,等. 土壤入渗性能的线源入流测量方法研究. 农业工程学报,2007,23(1): 1-5.

双圆盘开沟器的设计公式

1 背景

中国华北平原小麦—玉米一年两熟地区,玉米收获后免耕播种冬小麦时由于秸秆覆盖量大,免耕播种机播种部分易产生拥堵,播深一致性差,影响播种质量,针对这一问题,姚宗路等^[1]研发了尖角开沟器与双圆盘组合式种肥垂直分施装置,提高了播种深度均匀性并解决秸秆的拥堵问题,排种机构采用具有单体仿形机构的双圆盘开沟器,对双圆盘开沟器的设计进行公式化。

2 公式

双圆盘的设计应能保证形成一定沟宽(图1),并能容纳输种管安装,因此必须适当设计圆盘与前进方向的夹角 φ 以及圆盘直径 D 的数值^[2]。

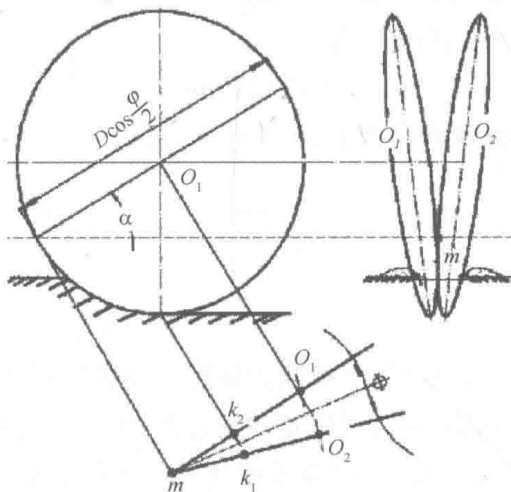


图1 双圆盘开沟原理图