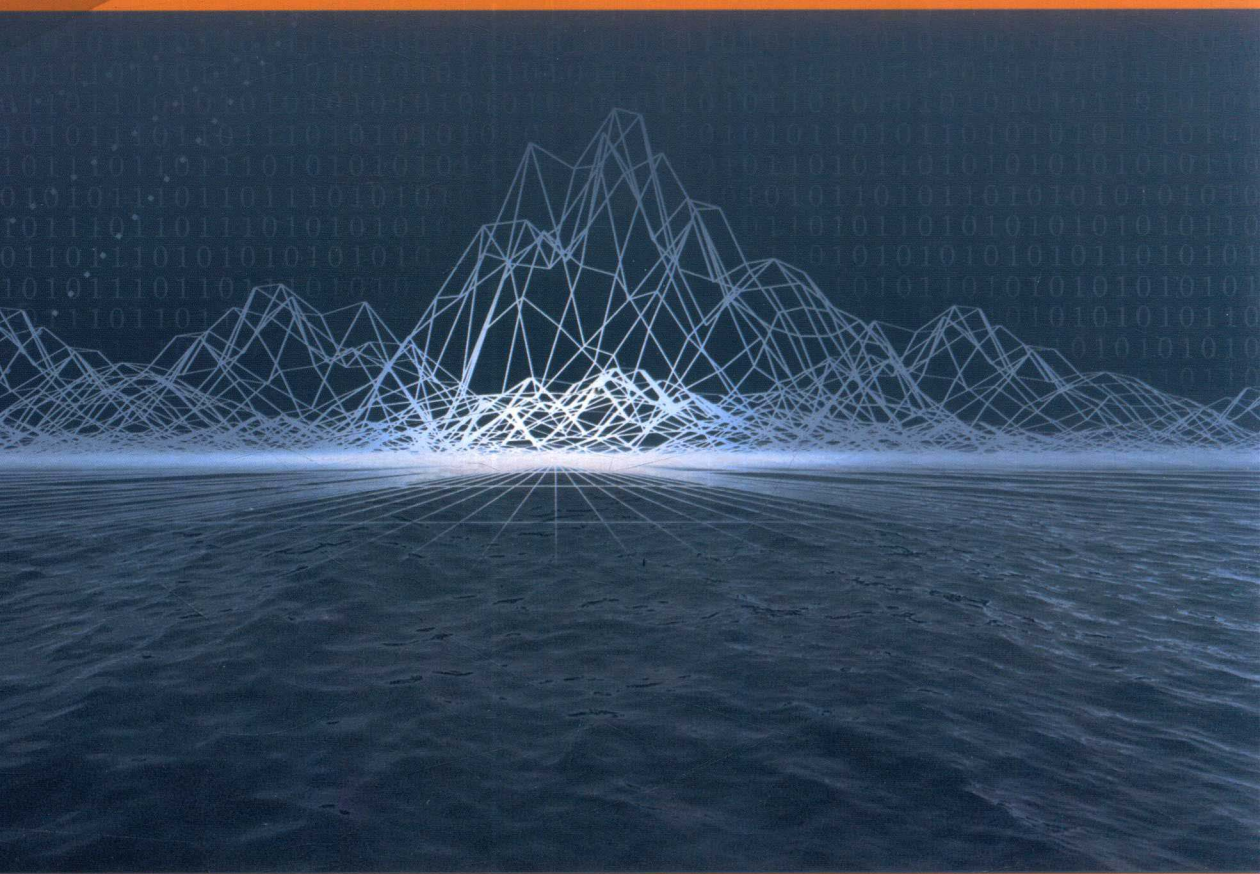


The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology

39

数学模型在生态学 的应用 及 研究

杨东方 陈 豫 编著



海洋出版社

数学模型在生态学的应用及研究(39)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(39)

杨东方 陈 豫 编著

海洋出版社

2018 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. 39/杨东方,陈豫编著. — 北京:海洋出版社,2017. 10
ISBN 978-7-5027-9948-9

I. ①数… II. ①杨… ②陈… 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(2017)第 247021 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

2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 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(39)》编委会

主 编 杨东方 陈 豫

副主编 索洪敏 苗振清 李海霞 黄 宏 王凤友

编 委 (按姓氏笔画为序)

王 艳 王 铭 邓 婕 冯志纲 朱四喜

苏春花 李将敏 杨 成 杨丹枫 吴云杰

张晓龙 林梦晓 陶秀珍 耿 晓 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,远迎辟隐,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) 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。

本书获得浙江海洋大学的出版基金、西京学院的出版基金、中原工学院的出版基金、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)、“铭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)、“温室大棚土壤有机碳淋溶迁移研究”(国家自然科学基金项目31500394)、“数学建模及其应用人才创新团队”(黔教合KY字[2013]405号和黔教合KY字[2016]029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、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、上海海洋大学的副校长李家乐教授、浙江海洋大学校长吴常文教授、贵州民族大学校长陶文亮教授、西京学院校长任芳教授和中原工学院院长俞海洛教授;还要感谢刘瑞玉院士、冯士筴院士、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,祖国在心头。

杨东方 陈豫

2015年5月8日

目次

强夯法的夯击优化模型	(1)
红黏土的变形模型	(3)
土壤团粒结构的分形模型	(5)
河流地貌的均衡剖面模型	(7)
稀土元素的生物吸收模型	(11)
泥石流的预报模型	(13)
黄土区的超渗—超蓄产流模型	(16)
灰坝的颗粒级配效应模型	(19)
森林的蒸散力公式	(22)
流域水路网的结构模型	(25)
流域地形的三维可视化模型	(28)
植被物种的多样性公式	(31)
土壤类型的识别模型	(33)
矿山泥石流的预测模型	(35)
植被恢复的多样性公式	(38)
山地沟壑的侵蚀模型	(41)
景观镶嵌体的结构模型	(43)
河道的泥沙冲淤模型	(46)
山地生态系统的预警模型	(49)
土壤的磷吸附公式	(51)
芦荟的冷冻干燥模型	(53)
花椰菜的气调贮藏模型	(56)
公猪舍的有效温度公式	(59)
奶牛舍的空气环境模型	(62)
地面坡度的集水区模型	(65)
土地利用的预测模型	(68)
水流泥沙含量的估算模型	(70)

农村配电网的检修优化模型	(73)
光伏阵列的效率模型	(76)
离心泵的三维紊流模型	(79)
土地整理的生态效益评价公式	(81)
液体农药的喷洒飘移方程	(85)
天窗机构的优化模型	(88)
粮食干燥机的水分检测模型	(92)
日光温室的太阳辐射模型	(95)
作物的蒸发蒸腾量公式	(98)
土壤的物理信息模型	(101)
贮藏锥栗的淀粉降解模型	(104)
苹果汁脱色的吸附模型	(106)
覆盖材料的浑水入渗模型	(110)
圆弧滑动的稳定性模型	(113)
波浪的掀沙公式	(115)
轮渡码头的装卸模型	(117)
海底工程的环境评价模型	(119)
防波堤的设计公式	(121)
近岸波浪的折射变形模型	(123)
原油含水率的监测模型	(128)
钻井船桩脚的刺穿公式	(130)
海洋平台的应力测试模型	(133)
软土沉积的稳定模型	(137)
海底管线的拖管模型	(140)
风暴潮的沿岸输沙公式	(142)
护面块石的稳定模型	(144)
桩位偏移的数值模拟	(146)
泵站的工程经济模型	(149)
黄河入海的流路方程	(152)
台风暴雨的预报模型	(155)
护岸的稳定性模型	(157)
混凝土的传质模型	(160)

土质边坡的稳定模型	(163)
猪场风机的调速公式	(166)
保鲜果蔬的光催化模型	(168)
红曲大米的辐照灭菌模型	(171)
果蔬产品的速冻模型	(174)
土地平整的高程模型	(177)
牧草干燥机的设计模型	(179)
作物潜在的腾发量公式	(182)
滴灌流道的抗堵模型	(185)
砖红壤的水分运动模型	(188)
摄像机的标定模型	(190)
黑米皮抗氧化物质的提取公式	(193)
土地利用的景观空间模型	(196)
土壤质量的评价模型	(199)
施肥尺度的效应模型	(201)
作物株型的遥感识别模型	(204)
蘑菇单体的检测定位模型	(207)
联合收割机的变速箱设计公式	(209)
红枣裂沟的边缘检测模型	(211)
内燃机的配气机构设计模型	(213)
土壤性状与水稻光谱的关系模型	(217)
作物缺水的指标公式	(220)
硫酸酯化的修饰模型	(222)
茭白贮藏的微生物生长模型	(225)
矿区土地的复垦公式	(228)
扇贝柱的干燥公式	(230)
蔗渣浆料的流变方程	(232)
洪涝土地的可持续利用模型	(235)
磁力泵的轴向力平衡模型	(238)
地下灌溉的控制方程	(240)
管道式的喷灌系统模型	(242)
复合材料的性能模型	(244)

气调包装的储存模型	(247)
蘑菇的呼吸速率模型	(251)
径流侵蚀的产沙模型	(253)
作物产量的地形分异模型	(255)
啤酒的近红外光谱的预测模型	(258)
遥感区域的蒸散模型	(260)
遥感冠层温度的作物生长模型	(263)
作物灌溉的优化模型	(265)
地下水埋深的预测模型	(268)
单孔水闸的稳定公式	(272)
钻井平台的离心模型	(276)
负压桩的上拔阻力公式	(278)
柱桶基平台的动力响应模型	(281)
海上桶基的安全负压模型	(284)
桶形基础的渗流场模型	(287)
桶形基础平台的稳定公式	(289)
桶形基础的负压沉贯模型	(291)
压力压贯的相关分析	(295)
桶形基础的沉贯室模型	(298)
负压桩的承载能力模型	(300)
桶形基础的沉贯阻力公式	(302)
桶形基础的负压沉贯物理模型	(304)

强夯法的夯击优化模型

1 背景

强夯法由于各方面的优点,在某种程度上比其他地基加固方法更为有效,在地基处理中越来越显示出优越性。但强夯法的理论和设计计算还不成熟,同时工程情况千差万别,工程施工中,对强夯能数的认识和确定常常有许多分歧,也常常是争议的中心^[1]。在各施工参数中,最佳夯击次数和有效加固深度是两个核心参数,关系到强夯施工的成败;其准确的确定对于其他施工参数的确定有较大的辅助作用。在此仅就最佳夯击次数的认识和确定做一些探讨。

2 公式

按定义来确定最佳夯击次数。

从理论上讲,按照定义确定最佳夯击次数有直接和间接两类方法。按直接方法,地基对夯击能的接收能力是一种内在能力,它是土的性质、结构和状态的反映,同时又随单夯击能变化,故它是土的性质、结构、状态和单夯击能的函数。但由于目前这一方面还不曾有研究^[2]。因此,按直接的方法确定最佳夯击次数尚不可能。

按间接方法,则必须将夯击次数与强夯施工中的现象联系。强夯施工中,地基将产生地面变形、裂隙、孔隙水压力上升、土体密实等主要现象,而裂隙和土体密实皆直接导致地面变形,因此强夯中的现象可以概括为地面变形和孔隙水压力上升两类现象。而地面变形是各类地基强夯时皆会出现的现象,它和夯击次数间存在一定相关性。

强夯过程中地面变形有一定规律,如图 1:最初几次夯击,产生的单夯沉量较大,而后逐渐减少;总夯沉量随夯击次数的增加最初增长较快,曲线较陡,说明地基较散,对夯击能的接收能力较大,而后总夯沉量逐渐减缓,曲线也趋于平缓,说明地基逐渐密实,对夯击能的接收能力也逐渐减小。可见,地面变形的变化情况完全可以反映地基对夯击能的接收能力。而地面变形可用夯坑有效变形率量化。将夯点每击隆起体积 V' 与夯坑体积 V_0 统计后,根据下式可确定有效变形率:

$$\eta = \left[1 - \frac{V_0}{V'} \right] \times 100\%$$

夯坑有效变形率与夯击次数的关系曲线往往成逐渐增长的波浪线(见图2)。最初几次夯击,曲线几乎为线性,说明夯击能使得地基迅速密实,而后曲线陡降,说明随夯击次数的增加,原来密实的地基又遭破坏,再夯击地基又密实,如此反复。每一次反复后,夯坑有效变形率都得以增加,最终曲线逐渐平缓,说明夯击能已达饱和,此时的夯击次数即可认为是最佳夯击次数。

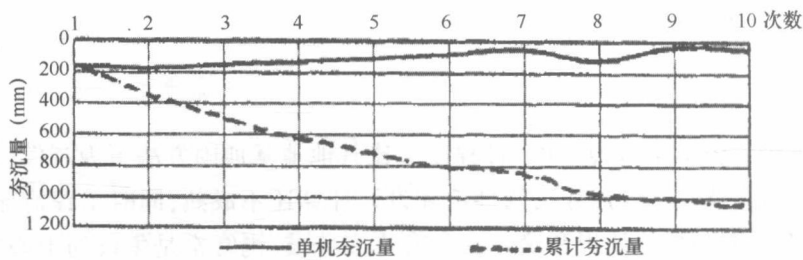


图1 典型夯沉量与夯击次数关系

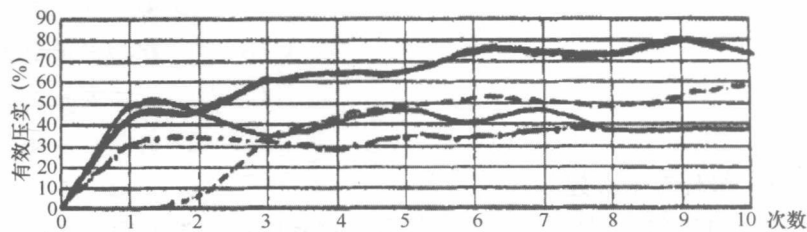


图2 典型夯坑有效变形率与夯击次数关系曲线

3 意义

根据对最佳夯击次数的分析,建立强夯法的夯击优化模型。提出最佳夯击次数严格、普遍的定义,并对最佳夯击次数的确定方法进行确定,特别针对黏性—砂性土地基,根据强夯施工中孔隙水压力的时空规律性,提出了一种确定其最佳夯击次数的有效方法。通过实际工程资料中孔隙水压力随夯击次数发展的时空分析,发现其时空规律,根据此规律即可确定最佳夯击次数。

参考文献

[1] 周平,卢小兵,田义平. 关于最佳夯击次数的讨论. 山地学报,2001,19(增刊):126-130.
[2] 郭见扬. 强夯地面沉降特征及地基双层结构的形成[J]. 土工基础,11(3).

红黏土的变形模型

1 背景

黔东某机场位于武陵山腹部,机场跑道长 2 400 m,为现代化的 4C 级机场。场区地貌类型为构造溶蚀洼地。主要地层是碳酸盐岩和红黏土及红黏土填土。红黏土及填土的物理力学性质、厚度、分布特征等是机场建设、投资的控制因素之一,因此对场区红黏土独特的工程地质特性进行正确的评价具有重要的意义。谢春庆等^[1]利用方程对黔东某机场红黏土工程地质特性及评价展开了分析。

2 公式

红黏土及填土分布于整个场区,呈褐黄、棕红等色,混有少量岩屑、碎石。有机质含量小于 1.65%,易溶盐含量小于 0.037 2%,其矿物成分主要是伊利石、蒙脱石、高脱石、高岭石、绿泥石、石英、长石等,含量如表 1。

表 1 场区红黏土的组成成分

不同粒级(mm 级)含量(%)				化学成分含量(%)				
2~0.074	0.074~0.005	<0.005	<0.002	伊利石蒙脱石泥层矿物	伊利石	绿泥石	石英	长石
7.7~15.7	11.1~15.7	36.5~44.5	33.5~52.7	3~35	16~37	9~25	4.3~11	4~土

场区红黏土具有高塑性、大孔隙比的物理力学特性,如表 2。

表 2 红黏土的物理力学性质简表

	天然密度(g/cm ²)	初始孔隙比	天然饱和度(%)	天然含水率(%)	液限(%)	塑限(%)	含水比	液塑比	状态
区间值	1.55~1.94	0.78~1.618	79.6~108	26.8~59.0	49.3~103.0	24.6~60.5	0.52~0.86	1.42~2.45	软塑~坚硬
均值	1.77	1.240	42.6	70.9	43				

图 1 (a)中反映出坚硬状态的红黏土临塑荷载较高,该点比例界限在 360 KPa 左右。

图 1 (b)反映了红黏土填土破坏极限也较高。

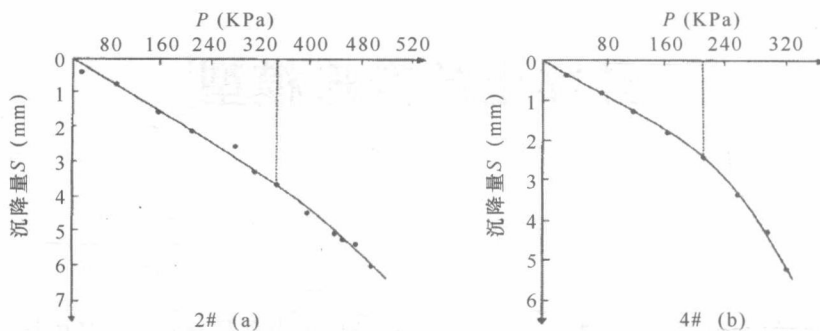


图 1 载荷试验 S 曲线

在对本工程道面基层承载力研究中首先采用了载荷实验对红黏土及填土的承载力进行了原位实测。该试验用汽车做反力系统,手动油压千斤顶提供荷载。

根据下式计算变形模量:

$$E_0 = 10(1 - V^2) \frac{P}{Sd}$$

式中, E_0 为土的变形模量, MPa; V 是土的泊松比, 取 0.42; P 为承压板上总荷载, kN; S 是与荷载 P 相应的沉降量, cm; d 为承压板直径, cm。

3 意义

根据黔东某机场的分析,探讨了红黏土的基本物理力学性质及工程地质特性,建立了红黏土的变形模型。通过该模型,计算得到红黏土的承载力、胀缩特性、结构特性及评价方法。场区红黏土具有高含水量、高塑性、低膨胀、强收缩、中高压缩性、较高承载力的特性,总体上是一种良好的天然地基土。但往往受网状裂隙、厚度分布变化剧烈等影响,沉降变形大,是一种不均匀的地基。标贯试验在该工程中尝试性运用,获得了较好的结果,能否推广应用,还须做进一步的工作。

参考文献

- [1] 谢春庆,吴勇,陈其辉. 黔东某机场红黏土工程地质特性及评价. 山地学报,20001,19(增刊): 131-135.

土壤团粒结构的分形模型

1 背景

拟赤杨(*Alniphyllum fortunei*)具有生长快、干形直、材质好、适应性强等特点,是重要的速生乡土树种,常与杉木混生于天然林中,目前多处于野生状态^[1-2]。营造针阔混交林,发挥阔叶树的凋落物多、易分解、养分丰富等优点,具有较好的培肥土壤功能^[3],可增加林分生物多样性与稳定性。为此,在前人研究的基础上,运用分形理论对杉木拟赤杨混交林的土壤肥力进行更深入的研究,为杉木拟赤杨的培育模式与林地土壤的科学评价提供依据。

2 公式

分形理论是由 B. B. Mandelbort 于 20 世纪 70 年代建立的^[4]。它主要应用于研究自然界和人类社会中存在着的无特征尺度却有自相似性的体系中,所谓自相似性是指物体局部结构放大与整体相似的特征,即无论怎样变换尺度来观察一物体,总是存在更精细的结构并且其结构总是相似的。对于这一特征进行描述的主要工具是分形维数。求算分形维数通常采用在双对数坐标下进行线性回归,所得拟合直线的斜率(或其转换结果)为分形维数值。因此,分形理论的主要研究内容是分形体的分形维数及自相似性规律。

形状与大小各不相同的土壤颗粒组成的土壤结构,在表现上反映出一个不规则的几何形体,前人研究结果表明,土壤是具有分形特征的系统^[5]。运用分形理论建立土壤团粒结构的分形模型过程如下。

具有自相似结构的多孔介质——土壤,由大于某一粒径($d_i > d^{i+1}$, $i = 1, 2, \dots$)的土粒构成的体积 $V(\delta > d_i)$ 可由类似 Katz 公式表示:

$$V(\delta > d_i) = A [1 - (d_i/K)^{3-D}] \quad (1)$$

式中, δ 是码尺; A, k 是描述形状、尺度的常数; D 是分形维数。

通常粒径分析资料是由一定粒径间隔的颗粒重量分布表示的,以 $\overline{d_i}$ 表示两筛分粒级 d_i 与 d_{i+1} 间粒的平均值,忽略各粒级间土粒比重 ρ 的差异,即 $\rho_i = \rho$ ($i = 1, 2, \dots$), 则:

$$W(\delta > \overline{d_i}) = \rho A [1 - W(\delta > \overline{d_i})^{3-D}] \quad (2)$$

式中, $W(\delta > \overline{d_i})$ 为大于 d_i 的累积土粒重量。以 W_0 表示土壤各粒级重量的总和,由定义有

$\lim_{i \rightarrow \infty} \overline{d_i} = 0$, 则由(2)式可得: