RCCSE中国核心学术期刊
中国人文社会科学扩展期刊
甘 肃 省 优 秀 期 刊

2000—2005年CSSCI来源期刊
“中国科技论文在线优秀期刊”二等奖

高等理科教育

HIGHER EDUCATION OF SCIENCES

双月刊

2019年 第3期

（总第145期）

跨科际发展：世界一流学科的建设路径
——成功大学谢文真教授访谈 /谢文真

工业革命与高等教育多样性的关系演进及规律
——以英国、法国、德国、美国为例 /马卫方

物理学之美在大学物理实验教学中的渗透 /张 琴等

一流理工大学的文科发展水平及其对全球排名的影响
/周 晶等

美国大学写作课项目调研及借鉴
——以普林斯顿大学为例 /王小芳等

兰州大学 全国高等理科教育研究会 主办

“GIS算法基础”课程教学研究*

南卓铜 张 宏 潘雪莹 高红侠 赵淑萍
（南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室，江苏 南京 210023）

摘 要 “GIS算法基础”课程是高校GIS专业主干课，该课程具有理论性强、内容碎片化、前沿性和知识面广的特点，对数学和计算机的能力要求高，学生学习和教师授课都有较大难度。文章总结了南京师范大学GIS专业开展该课程的教学经验，提出注重基础、兼顾前沿、旨在启迪的原则和问题求解导向、整体把握、翻转课堂、同伴教学等针对性措施，此外，还应通过大量实验课程来巩固教学效果和驱动学生主动学习。

关键词 GIS算法；课堂教学；实践教学；同伴教学
中图分类号 G642.41 **文献标识码** A

On the Teaching of the Basics of GIS Algorithms

NAN Zhuo-tong, ZHANG Hong, PAN Xue-ying, GAO Hong-xia, ZHAO Shu-ping
(Key Laboratory of Ministry of Education on Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Nanjing, 210023, China)

Abstract: Basics of GIS Algorithms is one of major courses in Geographic Information System, characterized with strong theoretical basis, wide coverage, state of the art knowledge but isolated topics, and the high requirements of mathematics and computer basics, which make it difficult for students to learn and teachers to teach. This paper summarizes the experiences and lessons of teaching it learned from past teaching practices in Nanjing Normal University. We focused on teaching of the fundamentals as well as considering the cutting edge topics to fulfil an ultimate goal of inspiring wisdom. Effective measures in both classroom teaching and practical training have been developed to overcome the teaching obstacles, such as problem solving guidance, overall grasp, flipped classroom, peer tutoring and etc. A large number of practical trainings are integrated in order to reinforce classroom teaching and demonstrate mastery of algorithms by self-learning.

Key words: GIS Algorithms; classroom teaching; practical teaching; peer tutoring

* 收稿日期 2018-07-05
资助项目 省厅级，江苏高校优势学科建设工程（PAPD）；省厅级，江苏省高校自然科学研究重大项目（项目编号：17KJA170003）；南京师范大学青蓝工程项目.
作者简介 南卓铜（1977-）男，浙江乐清人，教授，博士，主要从事GIS教学和陆表过程集成建模研究.

一、前言

地理信息系统（GIS）是采集、存储、管理、分析和表达空间数据的信息系统，被称为地学的“第三代语言”[1]。根据近年来各院校公开发布的 GIS 本科、硕博招生计划，我国已有 170 余所高校和科研院所开设 GIS 专业[2-3]。高校 GIS 教学承担着最重要的 GIS 人才培养的任务。

目前，“GIS 算法基础”课程在很多高校作为 GIS 专业主干课面向高年级本科生和研究生开设。此课程目的在于教授、巩固和加深学生对 GIS 主要算法的理解和掌握，提升 GIS 开发能力，加强对整个 GIS 知识体系的融会贯通，培养学生研发 GIS 算法的能力。

GIS 算法涉及数学、计算机、地学等多个学科的内容，课程具有理论性强、内容碎片化、前沿性和知识面广的特点，对学生来讲此课程具有相当大的难度，因此，在课程教学上往往需要采用课堂讲授和实践相结合的方法[4-5]。南京师范大学地理学是教育部“一流”学科，其 GIS 专业在国内较早开设“GIS 算法基础”课程，在 2006 年出版了教材《地理信息系统算法基础》[6]，该教材也被国内许多高校指定为专业教材。在多年的教学过程中，“GIS 算法基础”的内容稳中求变，除基础内容的讲解外还引进了地理信息领域较为实用和前沿的算法，强调课程的智慧启迪作用，在教学手段上也更为灵活多样，引进更多的信息技术手段，开始重视过程性考核。本文总结了南京师范大学“GIS 算法基础”课程内容、难点和针对性教学措施，希望对同类院校在开展该课程时提供借鉴。

二、课程内容与基本情况

“GIS 算法基础”课程是地理信息科学专业的主干课程，授课分两部分：教师课堂讲授和助教上机实践。课程每周 4 个学时，包括 2 学时课堂讲授和 2 学时上机实践，共计 72 个学时，实际授课 18 周，包括一次专家讲座（一般是邀请 GIS 算法领域专家讲解代表性算法的研发思路、实现方法和应用，以亲身经历启迪学生）以及一次课程总结。考虑到该课程需要学生掌握一定的 GIS 基础知识，因此授课对象是 GIS 专业的高年级本科生及研究生。课程内容如表 1 所列，按内容从基础到前沿、难度从小到大编排，涉及空间数据编码、存储、索引、数据模型等基础内容；投影算法、平面变换、空间量算、拓扑生成等 GIS 特色内容；地统计、内插、地形分析、网络分析等实用算法；以及空间聚类、空间优化等前沿且实用的算法。课程包括 16 个课程实验，旨在通过大量实践强化学生对算法的掌握。

表 1　课程与实验设置

周次	内容安排	要点	课程实验
1	绪论	算法与算法复杂度	跳马、最佳工作序列
2	空间数据编码	矢量和栅格数据模型	以实例练习矢量和栅格数据编码并显示
3	数据压缩	道格拉斯—普克（DP）算法	基于 DP 算法的中国地图数据的抽稀处理
4	空间索引基础	B 树与 R 树的生成、分裂策略、删除	给定一组数据，生成和维护 B 树和 R 树
5	空间索引：空间填充曲线	莫顿编码、希伯特曲线、线性四叉树	线性四叉树的四进制 M 码计算
6	地图投影 I	基本概念、兰勃特投影的数学原理和正反算方程	中国地图的兰勃特投影正反算转换程序
7	地图投影 II	墨卡托投影的数学原理和正反算方程	中国地图数据的墨卡托投影转换程序
8	平面坐标变换	常用变换方法、仿射变换矩阵	理解并描述六种主要转换方法；举例地图的平面变换编程实现
9	空间度量算法	点、线、面的量算	计算江苏省 13 个地市的面积，并与 ArcGIS 量算面积对比
10	多边形拓扑生成	多边形生成的左转算法、岛的处理	画出给定多边形图的左转算法流程；编程实现自动计算
11	泰森多边形与克里金	泰森多边形的平面扫描算法；空间变异函数	应用普通克里金插值原理，编程实现给定格网数据的插值
12	地统计与降水插值	常用插值方法，考虑高程的插值方法（协克里金、Micromet 降水方法）	结合黑河上游流域数据，插值形成 1km 分辨率的 10a 逐日降水数据

13	地形分析算法	坡度、坡向、流向分析（D8、D-Infinity、平原河网流向）	实现坡度、坡向、D8算法，计算样例数据
14	网络分析	宽度优先搜索（BFS）算法和Dijkstra's最短路径算法	编程实现BFS计算无权网络最短路径
15	空间聚类算法	数值型（K-Mean）、混合型（K-Prototype）和变量型（ClustOfVar）聚类算法	编程实现K-Means并对给定数据聚类生成不同空间类别
16	空间优化	模拟退火算法、粒子群（PSO）算法	基于PSO的旅行商问题的编程实现
17	前沿讲座	邀请一名GIS算法专家讲解其代表性算法	
18	总结	总结课程的学期要点	

课程考核基于课程实验，从实验报告（30%）、程序代码（30%）、课堂讨论（40%）三个方面进行考核。实验报告重点考查学生对实验需求、实验原理、实验过程的理解，程序代码重点考查实验的逻辑正确性、程序设计的合理性、代码书写的规范性，课堂讨论由学生展示实验成果，分享对算法理解、程序设计、关键问题和技术的解决、学习心得等方面的经验和体会。

课程参考书包括：《地理信息系统算法基础》[6]、*Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems*[7]和*GIS Fundamentals*[8]。

三、课程特点与难点分析

（一）课程特点

1. 立足地理学的多学科交叉

“GIS算法基础”课程内容涉及地学、地理信息科学、计算机科学、数学、统计学等知识，是多学科交叉融合的课程，基础知识覆盖面很广，理论性较强。

GIS是地学研究的工具，学生学习GIS算法时必须结合地学理论知识才能便于理解和领悟。GIS算法的设计和编码实现以深刻认识和理解地理现象及规律为前提。例如，空间插值和聚类分析体现了地理现象的空间分异规律，如气温、降水等气象要素具有显著的空间变异性，并受海拔变化的影响；在山地区域，气温随海拔呈线性递减，降水则呈现非线性变化。普通的克里金插值法通过半变异函数可以较好的表达变量的平面分异规律，但在地形复杂区域则必须选择以高程为协变量的协克里金方法，或者考虑高程调整系数的插值方法。

GIS算法蕴含着计算机算法的精髓，计算机算法理论是GIS算法的重要理论基础，计算机科学的数据模型和数据结构被巧妙应用于解决GIS问题。例如，Voronoi图的扫描线算法巧妙利用了抛物线的特性，通过自上而下的扫描快速高效生成Voronoi图，这些算法建立在严谨的数学基础之上。课程内容涉及几何、微积分、数值方法、线性代数、统计、离散数学等各种的数学知识。各种GIS算法如地统计、聚类、地形分析、空间优化等本质上都是各种数学方法通过计算机语言的表达来实现。

2. 坚持问题导向的实践性

“GIS算法基础”也是门实践性很强的课程，算法思路来源于数学和逻辑，最终通过编程语言得以实现。学生通过课程学习，巩固GIS相关理论和基础知识，了解算法思路，掌握算法核心，但很多细节不是仅仅从书本上就能全面掌握的，大量实践练习和经验是算法教学的重要部分。更重要的是在解决实际地学和GIS问题时，根据实际需求扩展或研发全新的算法，不能仅停留在理论的认识上，因此GIS算法的实践性是由实际需求所决定的。如R树是为解决二维空间索引和搜索而提出[9]，广泛应用在GIS中，但在应用过程中发现比如最小边界矩形的分裂策略会极大影响索引能力，在R树提出后的20年间，几十种R树改进算法相继被提出[10]。在实际工作中，从业人员面对的问题经常是面向全新的环境和平台，很难找到完全匹配的解决方案，这使得算法发展和编码实现极具挑战性。针对这种挑战，课程需要有目的地设置大量的上机实践环节，一方面强化学生对GIS算法本身的理解，另一方面提高学生算法实现的能力。

3. 紧跟技术发展的前沿性

GIS技术发展至今，基础技术已经相对成熟，尤其是二维GIS的相关算法已经很稳定，短

期内不会出现颠覆性的技术革命，但随着信息技术、大数据的迅猛发展，地理信息产业和地学研究有了新需求，研究热点不断发生变化，常规GIS 算法满足不了实际需求，需要针对性地改进和拓展。

“GIS 算法基础”课程尽管以基础知识和实用算法的教授为主，但为了适应时代的技术发展和体现大学教学的前瞻性，需要兼顾该领域的前沿技术。基础算法已经以工具的形式集成在 GIS 软件中，而前沿技术的了解和掌握往往会对实际问题的解决有很大帮助，因此课程内容包含了一部分相对成熟的前沿技术。在教学实践中，前沿内容的选题需要结合学科发展态势、学生就业需求来确定，并适当兼顾本校师资的最新研究课题。尤其是近年来卫星遥感、无人机、无线传感网络、物联网技术拓展了空间数据获取手段，GIS 行业拥有大量的空间数据，传统 GIS 无法满足快速处理空间大数据的需求，亟须发展并行化、网络化的 GIS 算法，以适应并行环境、云计算或超算环境、互联网环境。课程应该适当加强与这些新技术结合的算法的讲解。

（二）难点分析

1. 宏观与微观的思维训练

对很多学生来讲，数学和计算机编程是最难学的两门课。GIS 算法是建立在数学之上，要求学生具有一定的数学基础，具备抽象的数学能力；算法的编程实现则要求学生掌握至少一门编程语言，能够设计和实现算法逻辑。学生往往有先入为主的畏惧心理，而随着课程的进行，授课内容和实验难度的提升，如果学生没有跟上进度，畏惧心理会进一步加剧从而导致恶性循环。

例如，地图投影涉及的地球椭球体南北向和东西向的微分，采用数学的曲率半径来表达，没有一定的空间想象能力很难理解这些概念，而投影数学方法却都是基于这些概念推导所得，因此这部分内容必须让学生理解透彻。教师要把算法原理以通俗易懂的形式讲出来，把数学原理讲透，在照顾整体水平的基础上考虑到学生个体差异，力争所有学生都能较好的理解该内容。

2. 问题独立的授课内容

与计算机算法一样，GIS 算法主要是介绍代表性算法，各个算法相对独立，尤其是各种实用算法，各有体系。例如，插值、地形分析、空间聚类、网络分析、空间优化算法等适用于不同的场合，相互间并无紧密联系。尽管我们在课程内容编排上强调了内容的系统性，课程由基础知识、特色 GIS 算法、实用和前沿算法构成，由易入难，体现了各章节之间的内在联系，但在具体讲解各种算法时，如果不注意横向联系和算法的适用情况，学生的知识容易碎片化，学生只掌握浅面的知识，不了解内在逻辑，无法把知识串到一起，不利于学生 GIS 和地学知识体系的建立以及应用能力的培养。例如，GIS 算法里有很多种复杂程度不一的插值方法，相比于讲清楚这些复杂算法本身的逻辑和实现，让学生了解算法面向问题的本质和特点，了解各种插值算法的适用情况，更有利于学生举一反三能力的培养。

3. 广泛的知识面要求

由于 GIS 算法在快速发展，加上多学科交叉的课程特点，因此对教师和学生的知识面和视野都有较高要求。从教师层面来讲，在广泛的基础知识中，讲解清楚 GIS 算法课程的主要基础框架，全面考虑学生知识水平的差异，同时不断更新自身知识，保证课程前沿性，是重要的挑战；从学生层面讲，在普遍存在的重技术和轻地学专业的情况下，如何开展自主学习，针对自身基础和地学专业知识的薄弱环节，查漏补缺；针对前沿内容，迅速扩大知识面，及时跟进教学进度，直接关系到课程教学的成败。

四、教学组织与实施

（一）教学组织

1. 注重基础，兼顾前沿，旨在启迪

GIS 算法基础知识的讲解是课程的核心内容。GIS 算法千变万化，但基础内容却是不变的。空间数据的模型表达、编码、存储和索引是 GIS 算法的最基础部分，与计算机领域的此类内容不同，GIS 处理的是空间数据。地图投影、坐标变换、平面量算、拓扑表达是极具 GIS 特色的内容，这些内容在低年级 GIS 专业课程有所涉

及，但学生往往不清楚背后的原理，知其然不知其所以然。地统计、各种插值方法、空间聚类、地形分析、网络分析等实用方法则被广泛应用于地学研究和工程实践之中。这些基础和实用的算法一般已经在现有GIS软件中有实现，从算法和数学层面讲解这些算法的实现原理，让学生真正理解，把所学过的知识点串联起来，承上启下，从而对GIS的整个知识体系融会贯通，巩固知识，增强应用。

为避免课程内容与技术发展脱节，前沿知识的引入十分重要，学生往往也对前沿知识更感兴趣。课程注重基础算法讲解的同时，关注前沿热点算法，并选取一些重要算法加以介绍。例如，GIS的空间聚类分析算法同样是大数据应用中的重要算法，理解这些算法对学生未来职业发展十分有用，值得在课程中专门讲授。

课程的最终目标是培养学生解决问题的能力，即面对新问题时，通过参考已有算法，阅读相关文献和资料，能够寻找到合适的算法，改进或者发展新算法。因此在讲授时，要注意消除学生对已有算法权威的恐惧，培养学生“没有万能、完美算法”的意识，培养学生积极主动的创新思维。启迪智慧的宗旨贯穿于课程始终。例如，在讲解R树时，以时间轴的形式介绍几十个变种，引出算法是在不断发展的；在讲解地形分析的流向问题时，通常只提到简单的D8算法，这种八个方向的简化在较小地形分辨率能满足需要，但如果空间网格过大，D8的简化就存在问题，以此问题为引导，向学生介绍D-Infinity算法[11]，这个算法通过无限多个方向更准确地表达流向，并布置课后作业让学生思考这些算法在平缓地形区域的适用性，以及如何去改进算法。在专门设置的前沿讲座课堂上，邀请的专家以亲身经历讲解其代表性算法的整个思考历程，讲解针对太湖平原区的流向算法[12]，学生经过思考，与专家形成良好互动，一些学生甚至提出自己的解决方案，取得了解放思想、启迪智慧的良好效果。

2. 高屋建瓴，整体把握

课堂讲授注意激发学生兴趣，变“要学生学”为“学生要学”。针对课程内容碎片化的特点，教师在整体把握GIS学科的基础上，讲清楚问题的实质和所处的学科位置，避免使用太多术语。引领性总结有助于减轻课程内容相对碎片化的问题，但对教师要求也比较高，需要教师对整个GIS甚至地学学科体系有清晰的认识。例如，空间索引涉及R树和莫顿码等内容，实质上这是目前GIS实现空间索引的两种思路，一种是采用二维矩阵对位置进行索引，另一种是利用空间填充曲线变二维为一维从而采用传统的一维索引方法达到空间索引的目的。在讲解空间索引时，可以从对数据进行索引的必要性出发，讲解可能的手段，从最低效但最容易想到的暴力遍历算法，引出一维的B树、B+树，直到二维的R树，因为R树是从B+树发展而来，简单的B+树更容易让学生理解，R树只需强调在算法实现各个环节的不同之处，因此讲解时先把B+树讲透有助于学生对R树的学习。在讲授四叉树和莫顿码时，仍然放在空间索引的大框架下，强调这是另一种方法，利用传统的树结构实现空间索引。

（二）教学实施

1. 实践与讲授相结合，提高算法实现能力

对于课堂讲解的知识，学生的理解通常停留在表面，通过教师的课堂讲解可能抓住了整体思路，但具体到编码实现，只有经过学生的反复思考与操作后，才能真正地掌握算法，因此上机实践的设置对于巩固和提高学生水平十分关键。只有通过大量的实验与实践，才能提升学生对算法的理解和编程实现的能力，强化学生解决问题和批判性思考问题的能力。上机实践由每周两学时的课程实验和课后作业构成，课后作业要求学生独立完成。

考虑到学生编程水平存在个体差异，课程实验包括两种类型的练习：一类是强调算法思路的理解，不需要计算机编程，借助计算器和Excel即可完成，另一类是强调代码的实现，往往是结合实际数据通过编程实现加以解决。第一类主要是照顾编程能力欠缺的学生，不至于因为自身的编程能力不足而丧失学习GIS算法的动力。每次实验要求提交实验报告，包括原理和过程（技

术路线、关键步骤）的描述、代码文件、运行结果截图或结果文件等内容。教师根据完成质量评分，实验与作业分数是最终成绩的重要组成部分。

课程教学设置助教，协助实验课教学和作业批改。助教还需要整理学生完成课程实验中存在的主要问题，协助教师动态调整教学进度和内容难度。

2. 问题求解导向的教学

理论性强的课程往往比较枯燥乏味，学生学习兴趣不大。授课教师要注意采用多种方式活跃课堂气氛，涉及具体算法讲解时，采用问题求解导向的启发式教学方式[13]。一般来讲，对于理论性强的课程，选择学生较易接受的启发式教学[14]。先通过实际问题的举例，找出该问题对算法的要求，分析解决该问题需要考虑的要点及可能存在的缺陷，然后以多媒体（如动画）结合传统板书的方式，把算法思路通俗地讲解清楚，尽量避免使用复杂数学知识，最后针对算法上的关键点分别讲解，此阶段可能涉及各种公式和具体编码实现。一般在课堂上还包括 10 分钟的学生实验完成情况点评和存在问题分析，由于每次实验作业学生经过认真思考，存在问题分析的教学效果往往比新内容教学的效果更好。

3. 注重互动，翻转课堂

GIS 算法涉及大量数学和计算机知识，学习难度大。例如，空间量算方法大量使用矢量计算，在讲解之前很有必要提供矢量数学的在线学习材料，要求学生课外学习，课堂教学对矢量的基本知识做简单回顾，通过师生互动促进对新知识的内化。利用翻转课堂充分利用线上和线下教学融合的优势[15]，可以很大程度上降低此类教学的难度。为了提高互动性，数学基本知识的回顾可以请数学基础好的学生讲解，教师加以补充和解释可能的误解。另一方面，巧妙合理利用多媒体和板书相结合的方法可以极大简化复杂问题的描述，在很多情况下甚至可以做到不借助数学公式和代码把算法讲解清楚。例如，多边形的左转生成算法用文字描述起来十分复杂，但通过结合一个具体的实例做成分步骤的动画就十分简明易懂；类似的网络分析方法、空间优化算法都可以依托一个简化的实例动画，把思路和要点讲解清楚。

4. 延伸阅读，同伴教学，快速拓展知识面

通过设计综合性较强的课程实验驱动学生主动学习。尤其课程后期实验内容难度大，解决问题所需的知识仅靠课堂上教师讲授的内容往往不够，学生还需要查阅大量课外文献来充实知识和整理思路。在实际教学过程中，我们引进以下“同伴教学”方式来激发学生学习的积极性：（1）指定一些课程实验完成质量高的学生，借助网络直播的手段为其他学生讲解编程实现的思路，实践表明学生对这一新形式的教学接受度高，很有热情；（2）指派一些英文文献延伸阅读，让学生自主准备简短报告，对扩大学生知识面、熟悉英文术语和表达都有积极作用；（3）鼓励学生为同学讲授知识，通过学生自身对知识的消化，用自己的语言表达出来，易被其他同学更好地理解。

五、教学效果

在课程教学过程中，通过教学效果的反馈，及时对教学方式进行调整，主要表达在两个环路上：（1）课堂讲解—教学效果反馈—课堂教学方式调整；（2）实验—实验讲解—实验作业量和内容调整。在实际教学过程中，教学效果反馈包括第一次课学生对数学和计算机编程能力的自我评价、期中或期末问卷调查、最后一次课的学生建议、期末考试。

根据学生自我评价的结果，明确学生的数学和编程水平，以此调整对数学要求较高的课次的授课方式和时间分配，如有需要，专门针对学生编程能力做课外辅导。问卷调查学生对授课、课程实验等方面的内容、方式和质量的评价，评估教学效果。近两年来的 3 个班级的问卷调查表明，学生对授课内容和方式满意度高，认为课程设置合理，内容丰富，难度合适，对未来专业发展有很大帮助，切实提高了解决问题的能力。72%的学生认为自己有能力根据需求发展合适的算法；25%的学生从学期开始害怕算法转变为期

末的不害怕。学生最感兴趣的授课方式是网络直播编程；65%的学生认为需要增加课时。建议主要是反映实验作业量大，尤其是课程后期难度增加，每周按时完成有难度。仍然有部分学生（约1/6）认为数学和编程不会或很难，建议增加实验内容讲解力度。这表明实验内容设计、批改和反馈还需进一步提升。期末考试成绩分布满足正态分布，其中数学和编程不会的学生成绩往往靠后。

六、结语

“GIS算法基础”是高校GIS专业主干课，涉及地学、计算机、数学、统计学等多个学科。课程具有理论性强、内容碎片化、前沿性和知识面广的特点，学生学习和教师授课都有较大难度。结合南京师范大学GIS专业开展该课程的经验，文章总结了针对性的教学方法。在教学过程中贯穿注重基础、兼顾前沿、旨在启迪的原则，讲授与实践相结合，提出了问题求解导向、整体把握、翻转课堂、同伴教学等一系列针对性措施，通过大量专门设置的课程实验巩固教学效果和驱动学生主动学习，在教学实践中取得了不错的效果。大数据、云计算、物联网、人工智能、互联网等技术与GIS的融合越来越紧密，GIS算法面临新挑战，大量新型GIS算法需要进一步研发。“GIS算法基础”教学除教授基础知识外，尤其需要进一步发挥课程启迪智慧、培养创新思维的作用，在教学观念、手段和评价上仍要与时俱进，进一步提高和完善。

参考文献：

[1]陈述彭．地理信息系统的探索与试验[J]．地理科学，1983，3（4）：287-302.

[2]江岭，王春，刘璐，等．我国GIS专业高等教育发展现状与分析[J]．测绘通报，2016（7）：136-141.

[3]汤国安，董有福，唐婉容，等．我国GIS专业高等教育现状调查与分析[J]．中国大学教学，2013（6）：26-31.

[4]刘民士，王春，何桂芳．GIS算法基础实验教学探索[J]．测绘与空间地理信息，2012，35（6）：56-59.

[5]杨玲，阮心玲．GIS算法基础课程教学探索[J]．计算机时代，2016（3）：53-55.

[6]张宏，温永宁，刘爱利．地理信息系统算法基础[M]．北京：科学出版社，2006.

[7]van KREVELD M，NIEVERGELT J，ROOS T，et al. Algorithmic foundations of geographic information systems [M]. Berlin：Springer，1997：1-287.

[8]WISE S. GIS fundamentals [M]. Boca Raton，London，New York：CRC Press，2014.

[9]GUTTMAN A. R-trees：A dynamic index structure for spatial searching [C]//International Conference on Management of Data，Boston，Massachusetts，1984：47-57.

[10]MANOLOPOULOS Y，NANOPOULOS A，PAPADOPOULOS A N，et al. R-Trees：theory and applications [M]. London：Springer，2006：1-194.

[11]TARBOTON D G，BRAS R L，RODRIGUEZ-ITURBE I. On the extraction of channel networks from digital elevation data [J]. Hydrological Processes，1991，5（1）：81-100.

[12]LAI Z，LI S，LV G，et al. Watershed delineation using hydrographic features and a DEM in plain river network region [J]. Hydrological Processes，2016，30（2）：276-288.

[13]李治军，廖明宏，张岩．数据结构与算法课程设计教学模式的探讨[J]．计算机教育，2006（2）：54-56.

[14]陈丽，陈朝东．大学数学课堂教学方式方法实施情况的调查研究[J]．高等理科教育，2018，137（1）：96-101.

[15]付雨朦，范文翔，张琳．基于翻转课堂理念的O2O教学模式的探究[J]．高等理科教育，2018，137（1）：66-72.

（责任编辑　李世萍）