

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2021.04.034

岩土工程专业课程与数值模拟应用的 融合创新及实践

陈成, 芮瑞, 王智德, 张磊

(武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 通过数值计算和图像处理技术,再现或预测工程对象的演化过程和发展趋势,为当前工程对象的设计、施工、管理提供指导意见,因此,数值模拟方法已经成为解决岩土工程难题和进行岩土相关科研的一种不可或缺的手段,且逐渐发展成为研究生和高年级本科生的一门必修课程。本文总结了数值模拟在岩土工程实践和科研中的重要性以及当前数值模拟教学存在的问题,创新性提出了一种以“工程问题”为导向,“数值软件+模拟分析”相结合的教学方法,并阐明了本文所提教学方法的内容和实施途径,提升课程教学质量的创新思路、举措、效果及反思,以及推广至相关岩土工程专业课程的应用前景。

关键词: 岩土工程;数值模拟;课程改革;教学创新

中图分类号: TU4

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2021)04—0210—05

Integration Innovation and Practice of Geotechnical Engineering Curriculum and Numerical Simulation Application

CHEN Cheng, RUI Rui, WANG Zhide, ZHANG Lei

(Wuhan University of Technology, School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: Numerical simulation method could reproduce or predict the evolution process and development trend of engineering objects through numerical calculation and image processing technology, and provide guidance for the design, construction and management of current engineering objects. It has become an indispensable means to solve geotechnical engineering problems and carry out geotechnical related research, and has gradually become a compulsory course for graduate students and senior undergraduate students. This paper summarizes the importance of numerical simulation in geotechnical engineering practice and scientific research, as well as the existing problems in the current numerical simulation teaching, and propose a new teaching method of "engineering problems" oriented and "numerical software + simulation analysis", and expound the contents and implementation ways of the teaching method proposed in this paper, as well as the innovative ideas, measures and methods to improve the teaching quality results and reflection, as well as the application prospects of civil engineering courses.

Keywords: geotechnical engineering; numerical simulation; curriculum reform; teaching innovation

随着国家新一轮工程建设和公共基础设施需求的发展,岩土工程发展总趋势朝着“高、深、大”方向,如何更好地解决工程难题成为政府和科研越来越关注的问题。传统研究方法包括试验和理论研究在实际工程中都面临很多问题,而数值模拟方法通

过数值计算和图像处理技术,通过计算机再现或预测工程对象的演化过程和发展趋势,为当前工程对象的设计、施工、管理提供指导意见,已经成为岩土工程实践中一种重要的研究手段^[1-3]。在本校及国内相关高校,数值模拟已经成为研究生和高年级本

收稿日期:2021-06-03

修稿日期:2021-07-10

基金项目:武汉理工大学教学改革研究重点项目(w201914);武汉理工大学教学改革研究项目(w2017049)

作者简介:陈成(1987—),男,博士,副教授,主要从事岩土工程专业课程教学工作。E-mail: chengchen87@whut.edu.cn

通讯作者:王智德(1983—),男,博士,高级实验师,主要从事岩土力学实验教学与管理工。E-mail: wangzhide-wuhan@whut.edu.cn

科生的专业必修或者选修课程。但是,当前的数值模拟教学方式和教学内容面临着工程计算发展的严峻挑战。为了适应新时期岩土工程发展的需要,有必要开展有针对性的教学改革,以提高数值模拟在岩土工程教学中的作用^[4-7]。

1 数值模拟的教学现状及痛点

本文在分析岩土工程数值模拟特点的基础上,归纳了当前教学存在的诸多问题,发现这些问题主要具有以下共性和特点^[8-11]:

(1) 教学内容缺乏与时俱进。当前国内外各大高校针对本科生和研究生开展的岩土工程数值方法课程主要侧重于用于连续性对象的有限元分析法(Finite Element Method, FEM)。而对非连续性模拟方法的重视程度不够。离散元数值方法(Discrete Element Method, DEM)作为一种处理非连续介质问题的数值模拟方法,已经成为未来岩土工程数值模拟的发展趋势。

(2) 数值理论的教学方法的抽象性。当前数值模拟的教学中,重理论讲解而轻具体软件的操作。理论课时占比过大,需要学生需要较强的数学和力学功底,课程的内容中偏微分方程、函数和矩阵等抽象且费解,容易让学生因纯理论式授课艰涩难懂而产生厌倦情绪。

(3) 教学模式与工程实际问题脱节。数值模拟理论学习的目的是为了更好理解工程对象需要解决的问题,有助于建立合理的模型和进行计算结果的分析。然而,在当前的教学过程中,往往忽略了如何从工程实际情况出发来讲解模型的简化、边界条件的设置、参数的选择、计算结果的分析等,在上机操作时,仅仅用一些完全理想化的模型进行计算,与实际的问题具有一定的差距。

(4) 数值模拟课程和其他专业课程缺乏配合,分工不明确。在传统的教学模式中,数值模拟方法和土力学、基础工程等专业课是分离的,这就导致专业课程得不到及时的数值模拟分析,而数值模拟课程也没有很好的结合专业知识,进而导致了学生的知识没有融会贯通。

此外,本门课程学时短,教学内容多,且学生的计算机编程和操作能力参差不齐,教学难度较大;大部分学生对数值方法的理论缺乏学习兴趣;授课学期在第7学期,已保研的学生学习热情相对较高,意向考研和就业学生出勤不出力,学习兴趣不高。

针对以上问题,在课程中引入“工程问题+数

值方法+模拟分析”式的教学方法,以解决某个具体的工程对象难题作为研究对象,针对岩土工程各门专业课的内容和特点,在课堂中讲授相应的数值计算方法,并将数值模拟方法作为一项重要的实践与其他教学方法进行融合创新,这一教学方法有助于提高课程的教学效果,且成本低,效率高,使学生上课更有参与感,并能掌握更多的计算机模拟技能,对培养现代的岩土工程师具有重要的意义。

2 课程创新及思路教学内容改革

2.1 教学创新理念及思路

随着土木工程发展总趋势朝着“高、深、大”方向,传统试验和理论研究在实际工程中都面临很多问题,而数值模拟方法通过数值计算和图像处理技术,再现或预测工程对象的演化过程和发展趋势,为当前工程对象的设计、施工、管理提供指导意见。

探索在岩土工程专业课程引入“工程问题(课前阶段)+数值方法(课堂教学阶段)+模拟分析(课程报告阶段)”式的数值模拟教学方法,丰富教学手段,拓宽学生的学习思路,传授利用计算机软件去分析实践岩土工程问题。另外,在分析讲解数值方法的理论知识的基础上,在本课程引入相应的数值模拟方法和演示案例,帮助学生将岩土工程数值方法知识与专业课程内容(土力学、基础工程和边坡工程等)串联起来构建专业知识体系,提升学生的专业理论与实践综合素质。

2.2 教学改革创新方法和措施

2.2.1 教学内容改革

目前,在土木工程专业本科生和研究生的教育中,对数值计算方法在岩土工程中的应用的讲授非常有限,与其它方法相比,大学生对数值计算这种方法相对比较陌生,以致有些学生在研究生阶段才接触到这种主要研究手段,且部分学生对数值计算方法极不适应,对科研工作地开展受到一定的限制。同时,本科生的培养目标也应包括初步科研能力的培养,而数值计算方法作为一种重要的解决岩土工程问题的研究手段,理应使学生对其有一个初步的认识。

本文针对不同专业的课程特点,引入相应的数值模拟教学实例,采取课堂数值模拟演示和结果讨论的方式进行授课,增强学生对主要知识点的掌握程度。结合课时和学生的实际情况,在原有的教学内容的基础上进行相应的改革,主要内容如图1所示。讲解岩土工程常用的数值计算方法(有限元

法、有限差分法及离散元法等)以及常用的数值软件(ABAQUS, PFC^{3D}, ANSYS, MIDAS, FLAC^{3D}和 GEOSLOPE 等)。以解决实际问题为导向,在课堂中增加大量的数值模拟实例教学或演示,使教学理论和实际工程应用相结合,避免让学生因纯理论式

授课艰深难懂而产生厌倦情绪。同时,适当增加软件上机操作学时,使学生在建模过程中找到参与感和成就感。此外,对数值模拟其他的新方法可以采取讲座的形式,使学生了解数值模拟方法在工程中的新进展,开阔视野,激发学生的求知欲望。

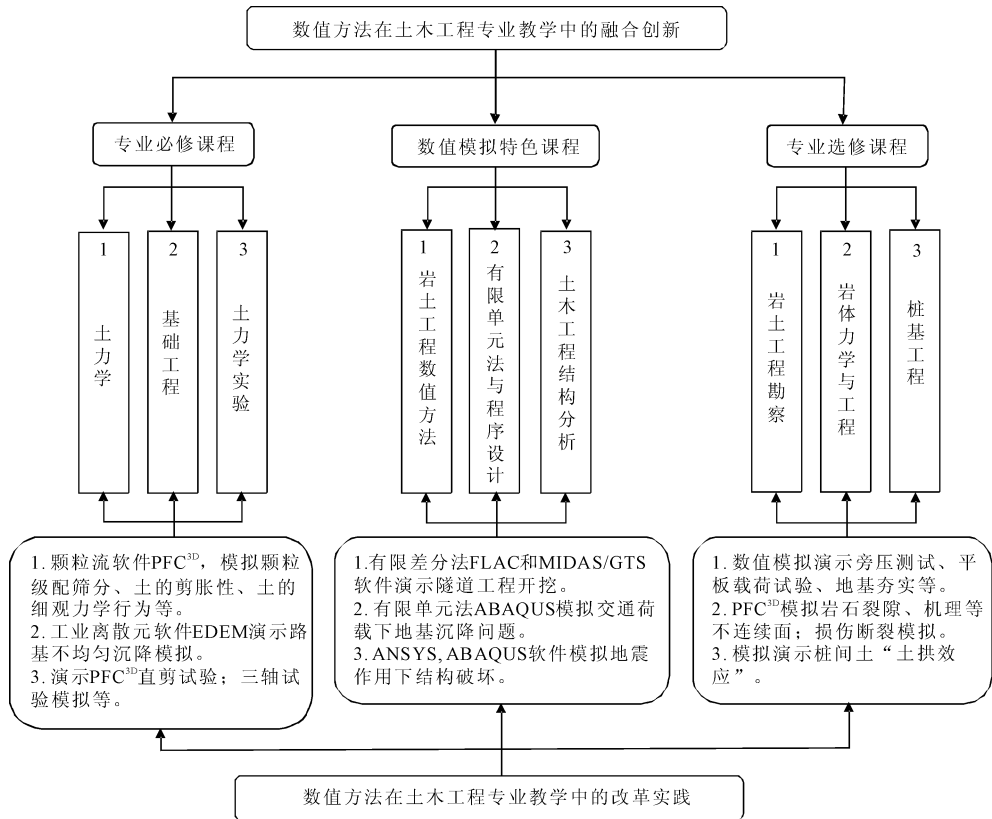


图 1 数值方法在岩土工程专业教学中的融合创新和实践内容

2.2.2 创新授课方法

除了传统的理论教学手段,本课程探索在岩土工程专业课程引入数值模拟方法实践,丰富教学手段,拓宽学生的学习思路,学会利用计算机数值软件去分析解决实践岩土工程问题。另外,在分析岩土工程各种数值方法特点的基础上,对岩土工程专业大类的课程引入相应的数值模拟方法和演示案例,结合特色的数值方法专业课程,帮组学生将岩土工程数值方法知识结构化、条理化和系统化,提升学生的理论和实践综合素质。

针对不同的岩土工程专业课程,比如本科生的土力学、岩石力学、基础工程和研究生的高等土力学,高等岩石力学和桩基工程等,设计和引入合适的数值模拟教学案例,从重要知识点出发,有针对性的提出“工程问题+数值方法+模拟分析”式的教学方法,并通过相应的数值软件进行教学演示,同时在课堂演示数值模拟过程,学生课后在自己电脑上上

机操作,提交数值模拟作业,以帮助学生理解重要的知识点,并掌握数值软件的操作技能。另外,针对专门数值模拟课程,比如岩土工程数值方法等,精心设计与工程实际问题贴近的案例,课堂中进行实例教学和演示,学生在课后进行上机操作,并在期中和期末提交两份数值模报告作为课程成绩。该课程主要锻炼学生自主运用数值软件处理分析问题的能力。

如表 1 所示,通过精心设计与工程实际问题贴近的案例,课堂上进行数值命令和工程案例集中学习,突出以解决实际工程问题为背景,系统阐明数值模拟方法的建模过程、参数的选定和模拟结果分析的全部实施过程,更强调学生对数值软件的操作技能的掌握。课后采取 qq 群线上分享数值模拟操作案例,供学生线上自学部分课程内容,保证教学质量。另外,师生也可在线上就模拟错误进行即时答疑。

表1 最近一次本课程小组报告和期末报告的
工程案例分配情况(2020年)

序号	期末课程论文主题	学生分组名单	期中小组报告主题
1	烟囱爆破	学生 A, 学生 B, 学生 C	地基承载力
2	破冰船	学生 D, 学生 E, 学生 F	地基处理强夯
3	子弹穿墙	学生 G, 学生 H, 学生 I	挡土墙被动土压力
4	地震作用下单桥墩动力响应	学生 J, 学生 K, 学生 L	PFC 结构动力模拟
5	PFC ^{2D} 伞锚拉拔	学生 M, 学生 N, 学生 O	隧道开挖
6	不同形状锚杆头的拉拔性能	学生 P, 学生 Q, 学生 R	地基承载力
7	不同级配组成的单颗粒破碎	学生 S, 学生 T, 学生 U	地基处理强夯
8	地震作用下多跨桥梁动力响应	学生 V, 学生 W, 学生 X	PFC 结构动力模拟
9	不同级配组成的三颗粒破碎	学生 Y, 学生 Z, 学生 AA	隧道开挖
10	三维边坡稳定性	学生 AB, 学生 AC, 学生 AD	边坡 2D 模拟
11	二维边坡稳定性和加固措施	学生 AE, 学生 AF, 学生 AG, 学生 AH	边坡支护 2D 模拟

图2为本课程中讲授的工程实例,涵盖了岩土工程中常见的工程问题,比如边坡失稳、锚杆加固、挡土墙、桩基础的施工和地震作用下桥梁动力响应等。讲授相应的数值模拟有助于提高课程的教学效果,而且成本低,效率高。同时使学生上课更有参与感,拓展学生的学习思路,掌握更多的计算机模拟技能,加强学生运用计算机数值软件工具解决和分析实际工程问题的能力,满足新时代工程师的专业能力要求,对培养现代的岩土工程师具有重要的意义。

2.2.3 创新考核方法

本课程理论与实践结合紧密,应用性较强,注重考查学生运用计算机软件解决问题的能力,主要考核方式为以小组期中报告和期末报告的形式,阶段性地考核学生对于数值软件的了解掌握程度。

本课程实行小班教学,约35人。报告以工程实例为背景,如图1所示,3~4位学生一组,每组不同工程案例,且每人选取不同参数进行设计的方式,考核对利用软件进行岩土工程设计的能力。期中报告以小组成果提交,加强在学习过程中讨论,锻炼学生团队意识;期末报告以个人报告形式提交,训练学生独立自主研究能力。

3 教学创新效果和推广应用方法改革

针对岩土工程专业课的内容和特点,讲授相应的数值模拟有助于提高课程的教学效果,而且成本低,效率高,使学生上课更有参与感,掌握更多的计算机模拟技能,对培养现代的土木工程师具有重要的意义。本教学创新手段有利于:

(1)改进教师的教学策略和方式,让科研创新和教学工作得到更好的整合,提升教学质量。

(2)引导学生改变传统学习方式,增强创新意识,让学生听课更有参与感,提高他们的数值软件操作能力和计算机语言编程能力。

(3)锻炼了学生的数学、力学和计算机能力,使学生对岩土工程问题有了新层次的认识,最终全面提高学习能力、专业知识和创新思维的能力。

(4)接触了不同的数值模拟方法,并在今后的工作和科研道路中,拓展处理实际工程问题的思路,成为一名合格的土木工程师。

图3为最近一学年的学生课程报告范例和作业实例,可以看出数值报告的质量对于本科生来说很高,课程教学效果非常好,现在该门课程每年约35人选课,口碑反映较好。通过“工程问题+数值方法+模拟分析”的教学改革创新,达到了预期目标,并在其他课程进行了推广,主要有:

(1)数值模拟方法的成功引入将丰富教学手段,提高传统土木工程专业课程的教学质量。将主讲老师在科研工作中成熟的数值模拟技术与岩土工程计算软件课程相结合,既拓展了本科生的知识面,又调动了教师的积极性。

(2)目前,本专业的研究生课程《土木工程结构分析软件及应用》和留学生研究生课程《岩土工程计算方法》均采用相同的教学方式,教学效果及学生反馈情况均较好。

(3)在岩土工程、结构工程和道桥方向等土木工程相关专业教学中推广开展数值方法实践,其学习方式可应用于学生所修其他课程的学习,全面促进学生的学习方式,加强学生运用计算机数值软件工具解决和分析实际工程问题的能力,满足新时代工程师的专业能力要求。在工程专业学生中应用推广,势必对提高我校的教学质量、卓越工程师培养方面具有积极的意义和影响。

6 结 语

将最新的研究成果引入到本科生的教学中来,可以有效地传播新知识,进一步拓展课本内容,引起学生的发散思维,激发他们对科学研究的兴趣,达到教书育人的目的。

参考文献:

- [1] 邱永平,刘婉茹,张东卿,等.边坡稳定性分析中传递系数法显式解和隐式解安全系数的[J].高速铁路技术,2019,10(5):5-8.
- [2] 赵卫冬,张兴波,史 艳.库区公路高边坡滑坡治理技术[J].公路,2020,65(3):64-67.
- [3] 张 研,吴康丽,王 伟,等.月牙山坠落式危岩稳定性离散元数值分析[J].水利与建筑工程学报,2019,17(4):26-31.
- [4] 苏德斌,王 浩.不同锚杆类型加固二元结构边坡的地震响应规律对比研究[J].水利与建筑工程学报,2018,16(1):40-47.
- [5] 杨建民,张丹蕾,秦 军.考虑渗流作用的土坡稳定分析 Fellenius 法和简化 Bishop 法[J].工业建筑,2017,47(12):111-120.
- [6] 孟凡宪.土坡稳定分析 Spencer 方法的一种有效应力形式[D].天津:天津大学,2015.
- [7] 孙 萍,王 刚,李荣建,等.降雨条件下黄土边坡现场试验研究[J].工程地质学报,2019,27(2):466-476.
- [8] 张子东,裴向军,张晓超,等.黄土边坡开挖卸荷力学响应与破坏机理研究[J].工程地质学报,2018,26(3):684-693.
- [9] 王 杰.黄土边坡潜在破裂面确定级工程治理措施[D].西安:西北工业大学,2018.
- [10] 江强强,刘路路,焦玉勇,等.干湿循环下滑带土强度特性与微观结构[J].岩土力学,2019,40(3):1005-1012,1022.
- [11] 刘孟兴.考虑干湿循环作用时边坡黄土性质的试验研究[D].西安:西安建筑科技大学,2018.
- [12] 钱建固,袁聚云,赵春风,等.土质学与土力学[M].5版.北京:人民交通出版社,2018:182-183.
- [13] 陈仲颐,周景星,王洪瑾.土力学[M].北京:清华大学出版社,1997:254-255.
- [14] 刘松玉.土力学[M].4版.北京:中国建筑工业出版社,2016:268-269.
- [15] 侍 倩.土力学[M].3版.武汉:武汉大学出版社,2017:256-257.
- [16] 高向阳.土力学[M].3版.北京:北京大学出版社,2018:237-238.
- [17] 张孟喜.土力学[M].3版.武汉:华中科技大学出版社,2007:275-276.
- [18] 刘福臣,成自勇,崔自治.土力学[M].北京:中国水利水电出版社,2005:236-239.
- [19] 白顺果,崔自治,党进谦.土力学[M].北京:中国水利水电出版社,2005:217-218.
- [20] 卢廷浩.土力学[M].北京:高等教育出版社,2005:242-243.
- [21] 何昌荣,陈 群.土力学[M].中国水利水电出版社,2015:210-212.
- [22] 徐长节,郑明新,杨仲轩.土力学[M].长沙:中南大学出版社,2015:251-252.
- [23] 王常明.土力学[M].2版.北京:地质出版社,2015:158-160.
- [24] 党进谦,李法虎.土力学[M].北京:中国水利水电出版社,2013:175-178.
- [25] 高 林.土力学[M].北京:清华大学出版社,2013:137-138.
- [26] 刘增荣.土力学[M].3版.上海:同济大学出版社,2005:277-278.
- [27] 肖昭然.土力学[M].郑州:郑州大学出版社,2007:284-286.
- [28] 陈国兴,樊良本,陈 甦.土质学与土力学[M].北京:中国水利水电出版社,2006:234-236.

(上接第 214 页)

- [4] 蓝 斌.浅析高校软件工程专业教改模式[J].计算机光盘软件与应用,2014,17(17):313,315.
- [5] 李明珍,唐凤仙,罗富贵.面向职业化的高校软件工程专业教改模式探讨[J].电脑知识与技术,2017,13(34):130-131.
- [6] 董贺轩,亢 颖,胡亚男.城市空间与建筑整合设计的教学实验与思考——基于华中科技大学城乡规划专业建筑设计课程教改[J].中国建筑教育,2017(1):45-55.
- [7] 冯 锐,陈孝明,李旭峰.互联网金融课程与教学资源建设改革与创新[J].高等财经教育研究,2019,22(4):29-33.
- [8] 王忠福.高等学校地质工程数值法课程教学改革的研究[J].科教研究,2010(16):67.
- [9] 袁 维,王 伟,刘伟超,等.岩土工程数值模拟方法的教学改革研究——以 UDEC 教学为例[J].中国职工教育,2014(24):214-215.
- [10] 刘志强,冯佰研,刘华伟,等.数值方法在岩土工程中的应用与发展[J].江西建材,2015(20):234,236.
- [11] 许有俊,刘忻梅.数值计算方法在土木工程专业学生教学中的探讨[J].科技信息,2011(12):523-524.