

数字矿山技术上机实验课程建设

张延凯^{1,2} 李翠平^{1,2} 胡乃联^{1,2}

1. 北京科技大学 金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室, 北京 100083

2. 北京科技大学 土木与资源工程学院, 北京 100083

摘要: 数字矿山概念提出至今已有二十余年, 这期间我国正处于全面建成信息化社会阶段, 以信息化促进工业化、现代化的浪潮席卷矿业。新时代对矿业人才培养提出了更高要求, 能够熟练运用计算机解决实际问题成为采矿工程专业教学的基本要求。为顺应时代发展潮流, 切实提高采矿工程专业实验教学吸引力和教学效果, 教育工作者不断进行探索和尝试。文章以北京科技大学《数字矿山技术》上机实验课程建设为例, 从采矿工程专业课程体系、上机实验内容选择、上机软件平台选择、上机教学效果评价及提升等方面介绍我校相关经验, 以期新型矿业人才培养提供参考借鉴。

关键词: 数字矿山; 上机实验; 课程建设; 采矿工程

中图分类号: G642.0 TD-05

The Course Construction of Computer Experiment of Digital Mine Technology

ZHANG Yankai^{1,2} LI Cuiping^{1,2} HU Nailian^{1,2}

1. Key Laboratory of Ministry of Education for Efficient Mining and Safety of Metal Mines, Beijing 100083

2. School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083

Abstract: It has been more than 20 years since the concept of digital mine emerged. During this period, China is in the stage of fully building an information-based society, and the wave of information-based industrialization and modernization has influenced the mining industry. Higher requirements have been put forward for the cultivation of mining talents, and the ability to skillfully use computers to solve practical problems has become a basic requirement for the teaching of mining engineering majors. In order to conform to the trend of The Times and improve the attraction and effect of the experimental teaching of mining engineering, educators have been exploring and trying. Taking the construction of computer experiment course of digital mine technology of University of Science and Technology Beijing as an example, this paper introduces the relevant experience of ours from the aspects of the course system of mining engineering, the selection of computer experiment content, the selection of computer software, and the evaluation and promotion of computer teaching effect, so as to provide reference for the training of mining talents.

Keywords: digital mine, computer experiment, course construction, mining engineering

0 引言

1998 年美国副总统戈尔发表了题为“数字地球：展望 21 世纪我们这颗行星”的演讲，率先提出了“数字地球”的概念。随后，数字中国、数字农业、数字长江、数字城市等一系列概念相继提出。1999 年在北京举办的数字地球国际会议 (ISDE) 上，吴立新^[1,2]等人发表了数字矿山 (Digital Mine, DM) 相关文章，开始了我国该领域的研究。

数字矿山比较简洁的定义为：矿山范围内，以三维坐标信息及其相互关系为基础而组成的信息框架，并在该框架内嵌入所获得的信息的总称^[3,4]。数字矿山最终表现为矿山的高度信息化、自动化和高效率，以至无人采矿和遥控采矿^[5]。可见，一个完整的数字矿山系统至少包括：网络、空间信息、数据库、核心应用系统、信息发布平台等部分。由此衍生出数字矿山的核心关键技术^[6-8]为：定位及导航技术、数据获取及传输技术、三维可视化建模技术、资源/储量动态估算技术、采矿设计及优化技术、生产管控技术、矿山安全监控及仿真技术等。

数字矿山领域理论研究主要集中在矿业大学、中南大学、中国地质大学、东北大学等高校。北京科技大学自 2005 年成立了数字矿山实验室，引进澳大利亚 Surpac 矿业软件，并将其用于科研和教学之中，2010 年开始讲授《数字矿山技术》课程，并设置了上机实验教学环节。

近年来，数字矿山相关技术突飞猛进，大数据、云计算、物联网、人工智能等技术取得突破，智能开采、智慧矿山等新概念也不断涌现。大量新理念和新技术的出现，使《数字矿山技术》课程建设面临着新的机遇与挑战^[9-11]。

本文将以北京科技大学《数字矿山技术》上机实验课程建设为例，从采矿工程专业课程体系、上机实验内容选择、上机软件平台选择、上机教学效果评价及提升等方面介绍我校相关经验。为切实提高采矿工程专业实验教学吸引力和教学效果进行探索和尝试。

1 采矿工程专业课程体系

北京科技大学“矿业工程”作为国家一级重点学科和“双一流建设”学科，在业内具有较高的学术声誉和影响力。经过多年持续投入和发展建设，该学科拥有一支学风严谨、科研与教学经验丰富的教师队伍，形成了完善的教学体系。

采矿工程专业涉及多个科学与技术领域，运用数学、力学、物理学、化学、信息技术等基础理论知识，

研究矿床开采工艺、矿床开采设计、地下工程、矿山安全、矿业经济、矿业系统工程、矿山设备和矿山地质等。我校采矿工程专业是国家重点学科、国家级特色专业，在本领域形成了独特的专业特色和学科优势。

按照我校 2017 版本科生培养方案，采矿工程专业本科生在校期间需完成 207 学分。其中，理论课程 139 学分，实践课程 48 学分，具体学分分布及所占比例见表 1、表 2；此外，还要获得外语、创新创业、人文素养、自主选修等素质拓展类学分（20 学分）。

采矿工程专业是实践性很强的工程类专业。在相关课程实验教学基础上，单独安排工程测量、计算机实践、金工实习、认识实习、生产实习、毕业实习、地下采矿设计、露天采矿设计、毕业设计（论文）等实践教学环节，全面培养学生实践能力。

2 《数字矿山技术》上机实验内容选择

表 1 采矿工程专业本科生培养方案学时分配表

类别	理论课程					实践课程					合计	
	必修课			选修课		小计	基础	专业	实验	创新创业		小计
	通识课程	学科平台	专业核心	专业选修	素质拓展							
学分	64	29.5	15.5	10	20	139	3	33	7	5	48	187
比例(%)	34.2	15.8	8.3	5.3	10.7	74.3	1.6	17.6	3.7	2.7	25.7	100.0

表 2 采矿工程专业本科生培养方案理论课程学时细分表

类别	理论课程							合计
	必修课（109 学分）			选修课（选修 30 学分）				
	通识课程	学科平台	专业核心	新生研讨	专业前沿	专业拓展	经济管理	
总学时	1216	464	248	224	160	192	208	2712
学分	64	29.5	15.5	14	10	12	13	158
实验学时	6	56	18	4	4	16	0	104
上机学时	42	16	2	0	8	8	8	84

在计算机、网络技术与矿业深度融合的背景下，打造适应新时代矿业人才培养特点的课程体系是需要不断探索的关键问题。采矿工程学科具有系统性、实践性、工程性、不确定性等典型特征，传统实验教学过程，面临着危险性大、周期长、实验消耗大等诸多难题^[12-14]，因此上机实验成为其必然选择^[15, 16]。

《数字矿山技术》课程教学目的是：通过本课程的学习，使学生了解有关领域现状及发展趋势，重点掌握数字矿山的概念、内涵、体系架构与关键技术，了解数字矿山工程包括分析、设计及实现方法，熟悉 1~2 款矿业工程专用软件的基本功能与操作，能够运用矿业工程专用软件及相关工具建立矿床模型及规划矿床开采。

通过课程理论讲授和上机实践引导学生认识信息技术发展对矿业工程的促进作用，培养学生利用信息技术及手段解决矿业工程及管理中实际问题的能力，激发学生运用信息技术及手段开展矿业工程及管理创新的热情与积极性。

本课程课堂教学 24 学时，教学主要内容分别为：绪论（2 学时）、数字矿山体系架构（4 学时）、数字矿山关键技术（12 学时）、数字矿山工程（4 学时）、数字矿山相关案例（2 学时），重点讲授数字矿山关键技术。本课程的重点和难点也在于数字矿山关键技术，由于定位及导航技术、数据获取及传输技术、生产管控技术、矿山安全监控及仿真技术等更适于现场或搭建虚拟实验平台教学，而三维可视化建模技术、资源/储量动态估算技术、采矿设计及优化技术可以应用矿业软件上机教学，所以上机教学以此为主要内容。

《数字矿山技术》8 学时的上机实验分 4 次课（每次 2 学时）完成，实验名称和内容分别是：

（1）三维矿业软件的认识及基本操作。主要实验内容为：以视频、PPT 等手段展示三维矿业软件建模成果，介绍矿业软件在我国的应用及发展情况，讲授软件解决实际问题的总体流程；学习软件的安装、卸载、操作界面的设置，了解获得帮助的渠道；结合软件操作，熟悉典型矿业软件的基本功能模块；操作软件，对指定的点、线、面、体进行查询、编辑、显示。

（2）外部数据导入及钻孔数据库建立。主要实验内容为：导入 Arcgis、AutoCAD、Cass、Mapgis、

Surfer、Surpac 等数据并另存；导入化探原始数据，对属性进行色带过渡显示，应用图元数学计算、DTM 等值线等功能，生成化探数据等值线图；建立和导入钻孔数据库表格，按照品位设置钻孔显示风格，显示钻孔数据。

（3）表面模型及实体模型建立。结合实例数据，学习表面建模菜单下各子菜单功能；根据原始地形和已知中线，绘制设计道路 DTM 模型并计算填挖方量；根据已知地层底板高程点数据和断层线信息，生成带断层的地层模型；绘制 2~3 个剖面的矿化域解译线，连接实体模型；对实体验证中常见的错误进行修正。

（4）采矿设计初步。以给定块体模型和优化参数为依据，进行境界优化；根据露天矿坑底线，绘制完整露天采场；使用中线断面法、腰线法生成巷道模型；进行开拓巷道中线设计及动画展示。

3 《数字矿山技术》上机软件平台选择

采矿工程专业本科生培养方案中包含上机教学内容的课程共 10 门，《数字矿山技术》为专业前沿类选修课，在第五学期开设，共 32 学时，其中上机 8 学时，详见表 3。

表 3 采矿工程专业本科生培养方案上机学时细分表

课程类型	课程类别	课程名称	总学时	上机学时	修读学期
必修	通识课程	大学计算机基础	32	16	1
		C++程序设计	64	26	2
	学科平台	计算机辅助设计及应用	32	12	6
		弹性力学基础与数值模拟	32	4	5
	专业核心	爆破工程	32	2	5
选修	专业前沿	数字矿山技术	32	8	5
	专业拓展	边坡工程	32	4	5
		散体动力学与放矿	32	4	7
	经济管理	矿业系统工程	32	4	5
		矿产经济学	32	4	6

与《数字矿山技术》同时开设的《弹性力学基础与数值模拟》、《爆破工程》、《边坡工程》、《矿业系统工程》，后续《计算机辅助设计及应用》、《矿产经济学》、《散体动力学与放矿》等课程设计有上机实验学时。其中，《弹性力学基础与数值模拟》上机教学使用 Ansys 软件；《爆破工程》上机教学使用 LS-DYNA 软件；《边坡工程》上机教学使用 RocPlane、Slide 软件；《矿业系统工程》上机教学使用 EXCEL 规划求

解工具;《计算机辅助设计及应用》上机教学使用 AutoCAD、Surpac 软件;《矿产经济学》上机教学使用 EXCEL+VBA 编程;《散体动力学与放矿》上机教学使用 PFC 软件。各课程侧重点不同,使用教学软件工具各异,教学内容上无重复。

为完成《数字矿山技术》上机实验教学内容,培养学生解决实际问题的能力,需选择国内外口碑良好、市场占有率高的三维矿业工程软件。经广泛调研、多方面比对,结合我校实际情况, Surpac、Micromine、Vulcan、Datamine、MinePlan、3DMine、Dimine 等 7 款软件可供选择,其中前 5 款软件起源于上世纪七八十年代,均为国外开发,虽有不同程度的汉化,学习难度和学习成本较高。此外,由于作业流程、技术标准、思维方式等方面的差异,国外软件在本土化过程中也受到制约,在实际使用过程中往往需要进行二次开发。因此,优选 3DMine、Dimine 两款国产三维矿业软件作为课程上机学习的工具。

3DMine 矿业软件由我国自主研发、全中文操作界面,以“矿业 Office”为发展愿景,在国内拥有 200 余家矿山和研究机构的用户群,并在积极扩展海外市场。3DMine 软件主要功能有三维可视化核心、钻孔数据库、矿山地质建模、地质储量估算、露天采矿设计、地下采矿设计、采掘计划编排、打印出图等。其软件特点包括:二三维一体化界面,强大的数据兼容性,方便实用的右键功能,支持选择集的概念,简洁实用的交互操作,针对国内行业标准的功能集成,定制开发接口开放友好等。基于以上功能和特点,我校《数字矿山技术》课程选其为主要上机软件。

4 上机教学效果评价及提升

《数字矿山技术》虽然是选修课程,但一直广受喜爱和好评,选修率和好评率一直名列前茅。上机教学中,主要遇到了以下三方面问题:

(1) 学时短,要求学习内容多。三维矿业软件功能强大、操作复杂,常规培训需要数十学时才能完成,而上机学时仅有 8 学时,课内学时紧张,学习难度大,学习的系统性和功能的完整性得不到保障。

(2) 基础理论好,专业认知差。由于本课程在第五学期开设,学生才刚开始专业知识学习,很多矿业术语、概念还比较模糊,对专业问题的认识和理解

还比较欠缺,软件功能不能很好地和实际问题联系起来。

(3) 实践环节缺乏,遗忘快。实践出真知,只有在实践中不断摸索、总结,才能真正掌握软件的运用。学生缺少接触实际项目的机会,单纯的学习软件的功能模块,往往当时学会了,过一段时间又忘记了,学习成效不明显。

针对以上问题,提出以下解决方案:

(1) 精简上机教学内容,增加课后练习作业。重点讲软件的基本框架、基本操作,注重实效、培养学习兴趣。通过增加一定量的课后练习作业,巩固学习成果,保证教学容量。

(2) 结合科研实际、开展情景式教学,培养学生解决实际问题能力。

(3) 积极创造软件应用环境。鼓励本科生使用矿业软件进行科技创新、参加学科竞赛、完成毕业论文等。

经过十余年的上机实验教学,通过不断调整优化教学内容和实验数据,本课程已经形成了相对成熟的教学体系,达到了预期教学目标,也取得了令人满意的教学效果。部分上机教学成果展示如图 1~4 所示:

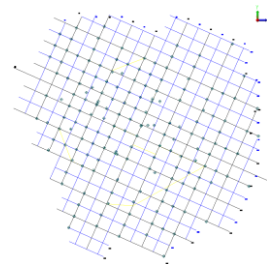


图 1 地表勘探线及钻孔示意图

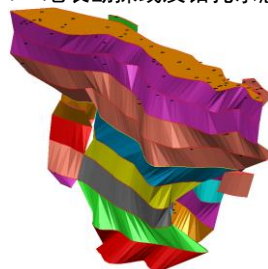


图 2 某矿实体模型示意图

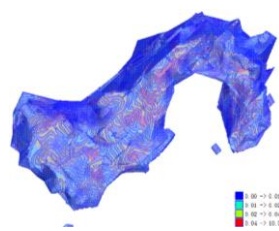


图 3 某矿品位分布模型示意图



图4 某矿最终境界设计示意图

5 结语

从数字矿山概念提出至今已有 20 余年,这期间我国正处于全面建成信息化社会阶段,以信息化促进工业化、现代化的浪潮席卷矿业。大数据、云计算、互联网+、人工智能等已成为当今最热门的词汇,新兴技术正强烈冲击和改造着传统矿业教学的理念、内

参考文献

- [1] Wu L. X., Yang K. M., Qi A. W. et. al. Information Classification & Management For MGIS And Digital Mine, Towards Digital Earth: Proc. of Int. Sym. on DE[C], Beijing, Science Press, 1999:999-1004.
- [2] Hu J. X., Wu L. X., Ying Z. R. et. al. Study on Digital Mine And Related Key Technologies, Towards Digital Earth: Proc. of Int. Sym. on DE[C], Beijing, Science Press, 1999:421-426.
- [3] 吴立新. 数字地球、数字中国与数字矿区[J], 矿山测量, 2000, 3(1):6-9.
- [4] 张夏林, 吴冲龙, 翁正平等. 数字矿山软件架构与关键技术研究[J], 金属矿山, 2009, S(11):552-559.
- [5] 王李管, 陈鑫. 数字矿山技术进展[J], 中国有色金属学报, 2016, 26(8):1693-1710.
- [6] 左仁广. 浅析数字矿山的几个核心技术[J], 中国矿山工程, 2005, 34(2):31-34.
- [7] 曹代勇, 余志伟, 赵扬等. 数字矿山及其关键技术探讨[J], 铜业工程, 2005, 1:10-12.
- [8] 王金华, 汪有刚, 傅俊皓. 数字矿山关键技术研究示范[J], 煤炭学报, 2016, 41(6):1323-1331.

容和方式。新时代对矿业人才培养提出了更高要求,能够熟练运用计算机解决实际问题成为采矿工程专业教学的基本要求。

《数字矿山技术》就是应产业发展需求而设立的前沿类课程,随着技术的推陈出新,本课程讲授的内容在不断调整,与此对应的上机实验内容也多次变化,学生通过课程学习接触到了矿业领域最新科技,培养了应用新技术解决实际问题的能力。近年来,我校本科生应用矿业软件取得的成果、完成的论文、获得的奖励越来越多,矿业软件在采矿工程专业人才培养方面发挥了重要作用。

- [9] 魏德州, 王青, 顾晓薇等. 采矿工程专业创新型人才培养教学体系建设与实践[J], 教育教学论坛, 2011, 10:149-152.
 - [10] 王富林, 杨仕教, 曾晟等. 卓越工程师人才培养背景下的数字矿山技术课程建设初探[J], 中国教育技术装备, 2015, 738(24):88-89.
 - [11] 王成, 洪紫杰, 熊祖强. 矿业工程虚拟仿真实验教学中心建设与实践[J], 实验技术与管理, 2017, 34(1):228-231.
 - [12] 刘祥鑫, 孙光华, 李占金. 采矿工程专业实践教学环节模式优化[J], 河北联合大学学报(社会科学版), 2012, 12(4):157-159.
 - [13] 高召宁, 孟祥瑞. 采矿工程专业实践教学体系的构建[J], 教育观察, 2016, 5(3):82-84.
 - [14] 孙振明. 地质建模知识在采矿工程人才培养中的教学实践[J], 教育教学论坛, 2018, 26(6):168-170.
 - [15] 荆永滨. 基于三维模型的采矿工程可视化教学研究[J], 中国电力教育, 2014, 8:138-139, 159.
 - [16] 胡柳青. 采矿工程专业数字矿山“嵌入式”教学体系研究[J], 中国地质教育, 2016, 8(2):56-60.
- 作者简介:** 张延凯 (1979—), 男, 吉林桦甸人, 博士, 高级工程师, 研究方向为数字矿山、矿业系统工程。