

基于 BIM 技术的建筑钢结构数字化教学资源建设

刘红波^{1,2}, 杨智锋³

(1. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300072;
3. 天津大学 未来技术学院, 天津 300072)

[摘要]近年来,慕课、网课、翻转课堂等线上课程和混合式课程发展迅速,教学的信息化与数据化是许多高校的重点课题。数字化教学资源是教学信息化与数据化的基础,其内容因学科、课程而异。以建筑钢结构课程为例,文章提出了一种基于 BIM 技术的数字化教学资源建设框架即“教材—PPT—模型—动画”框架,即以教材为基础、以 PPT 为载体、以三维模型和动画为重点完成了数字化资源的建设,各部分内容环环相扣、知识点逐渐拓展。将数字化教学资源运用于教学中,预期能够有效提高学生的全过程学习质量、学习积极性和自主学习能力。

[关键词] BIM; 钢结构; 数字化; 教学资源; 教学改革

doi: 10. 3969/j. issn. 1673-9477. 2023. 02. 015

[中图分类号] G642. 0

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-9477(2023)02-0102-07

教育部印发的《教育信息化“十三五”规划》中提到,要依托信息技术营造信息化教学环境,推进信息技术在日常教学中的深入、广泛应用^[1]。因此,随着国家的号召与技术的发展,教育、教学的信息化与数字化成为了高校所关注的重点课题,近年来许多高校纷纷推出了慕课、SPOC (Small Private Online Course) 课堂等线上、或线上线下混合式教学模式,其中数字化教学资源在高校的教学实践中发挥着重要的作用。数字化教学资源包含丰富的学科内容,具有轻量化与共享化的优点,方便学生随时随地开展学习,能够有效培养学生的自主学习能力,提高教学质量。数字化教学资源的类型也从一开始的电子教案、课件、讲课视频,发展到现在的数字化模型、动画、实验平台等,能够更好地发挥其在数字化、信息化教学实践中的作用。

为了有效推进教学的数字化,目前国内外的诸多高校都开展了关于数字化教学资源建设。德国的不来梅大学和汉堡理工大学合作开发的“能力车间”项目,给学生提供了基于真实工程项目的生产视频与电子档案等内容^[2];厦门大学、华中科技大学与西北工业大学等建立了用于混合式实验课教学的数字化实验平台,可供学生学习相关知识,模拟实验操作^[3-6]。而在土木工程领域,一些学者^[7-9]针对智能建造专业、土木工程施工课程、工程测量课程等,开展数字化资源建设,其内容较为相似,主要包含微课

视频、PPT、教学设计、工程照片、动画演示等。

当前针对建筑钢结构课程数字化教学资源建设的研究,国内外相关的文献还比较少。与其他课程相比,建筑钢结构在结构上更为复杂,若仅通过文字和工程图片进行展示,学生则难以清晰理解。而 BIM 技术能够制作建筑的三维模型,还支持通过交互平台进行缩放、旋转等操作,便于学生更直观地学习复杂的钢结构体系与构件。如图 1 所示,本文提出了一种基于 BIM 技术的建筑钢结构数字化教学资源建设框架——“教材—PPT—模型—动画”,并完成了相关数字化教学资源的制作。

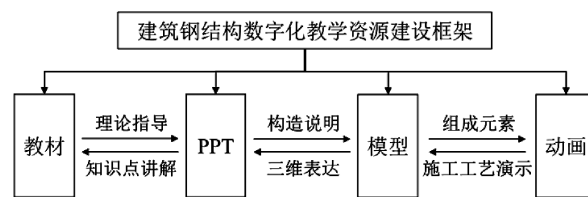


图 1 数字化教学资源建设框架

一、BIM 技术概述

BIM (Building Information Model), 即指建筑信息模型,是一种能够建立建筑结构的三维模型,并在虚拟平台上展示的技术。其起源可以追溯到 20 世纪 70 年代,由美国学者 Chuck^[10] 在其课题中首次提出。经过多年的发展,BIM 技术现在被广泛运用于

[投稿日期] 2023-04-17

[基金项目] 河北省高等教育教学改革研究与实践项目(编号:2021GJJG244)

[作者简介] 刘红波(1983-),男,河北平山人,博士,教授,研究方向:空间结构与钢结构。

建筑结构的全生命周期中,能够为建筑工程的设计、施工、监管、运营、拆除等环节提供全方面的数据支持。近年来,随着数字孪生、虚拟现实、元宇宙等概念的兴起,BIM 技术由于具有可视化、模拟化、参数化等特点,也愈发得到诸多高校与企业的关注。

BIM 技术的实现依托于众多软件的功能,包括设计、建模、结构分析、碰撞检测、工程量统计、造价计算等,所涉及到的软件包括 Autodesk Revit、Bentley、Dassault CATIA、Tekla、3D Max、Bimbase、Bimfilm 等。其中,Autodesk Revit 由于集成了多专业的功能模块,以及 Autodesk 公司在行业内颇高的知名度与认可度,成为了 BIM 市场占有率最高的软件,也是诸多高校开设 BIM 相关课程的教学软件。Revit 拥有良好的软件交互界面,建模逻辑清晰,并且集成了梁、柱、钢结构连接节点等钢结构建模所需的功能模块,常用于建筑钢结构的建模。Bimfilm 是一款用于制作施工工艺动画、建筑生长动画和其他漫游动画



图2 PPT资源建设情况

在三维模型的建设上,建设思路是先对教材的内容进行归纳整理。由于教材的第一章为概念性的讲解,而第六章篇幅很小、且没有复杂的工程结构,所以三维模型的建设主要针对教材的第二章至第五章。主要基于教材中的插图、钢结构相关规范中的插图和一些工程实例进行建模,包括单层钢结构厂房、门式刚架厂房和多高层钢结构房屋三部分内容。相比于教材和 PPT 中的文字与图片,三维模型能够展示钢结构工程的三维空间结构,方便学生更加直观地理解结构的组成构件与空间位置关系。而利用 BIM 技术所建立的三维模型还具有很强的互动性,学生可以自主操作,通过 Revit 平台的交互功能观察模型的每个细节,还可以通过点击某个构件或节点获取其具体型号,有效提升学习的效率和积极性。

在动画资源的建设上,构建思路是以上述建立的三维模型作为基本元素,利用 BIM 技术展示施工工艺,并录制音频讲解施工细节和构件的空间位置关系。动画是对三维模型和教材内容的拓展,因为教材中所提及的施工工艺都是通过文字叙述,学生

的软件,操作流程清晰、素材库丰富,还支持导入 Revit 模型作为素材,与 Revit 的互通性良好。因此,联合使用 Revit 与 Bimfilm 制作建筑的三维信息模型在工程和教学领域都有着较为广泛的运用,将其运用于建筑钢结构数字化教学资源建设同样是可行的。

二、建筑钢结构数字化教学资源建设

(一) 建筑钢结构数字化教学资源建设框架

在 PPT 资源建设上,内容主要包括教材中的章节:《钢结构设计概论》《单层厂房钢结构设计》《门式刚架轻型钢结构》《多层房屋钢结构体系》《高层房屋钢结构》和《预埋件、钢结构防护及施工验收》。PPT 涵盖了教材的主要内容,并针对教材中的重点公式、重点内容进行补充讲解,以及添加了丰富的工程照片与工程视频,能够为学生展示真实的钢结构工程,有利于促进学生对复杂结构的理解。

难以直观地理解施工的流程和细节;而利用动画所演示的施工工艺清晰明了,钢结构工程施工的先后顺序尽在眼前,施工细节可以通过视频和音频进行详细展示,具有很强的逻辑性,便于学生的理解与掌握。并且,动画也可以借助 VR 设备进行演示,能够让学生身临其境地观察钢结构工程的施工现场,丰富学习乐趣。

综合考虑数字化资源建设的难点与教材的重点,本节将基于“教材—PPT—模型—动画”的框架,研究各部分教学资源建设逻辑、剖析其规律性做法,以及在建设过程中需要注意的重点。

(二) 以 PPT 为载体的教学资源建设逻辑

PPT 是一种常见的教学资源,能够提供图文并茂的信息,帮助老师更好地开展课堂教学,使学生更加直观地理解和掌握知识。PPT 应该囊括教材的主要内容,但与传统的 PPT 不同,在“教材—PPT—模型—动画”的数字化教学资源体系中,PPT 除了要提供丰富的多媒体素材之外,还应该与三维模型、动画的内容相呼应,更多地针对模型与动画中的复杂节

点、构件进行讲解,知识点要一一对应、环环相扣,这样才能充分发挥 PPT 在数字化教学资源中的作用。

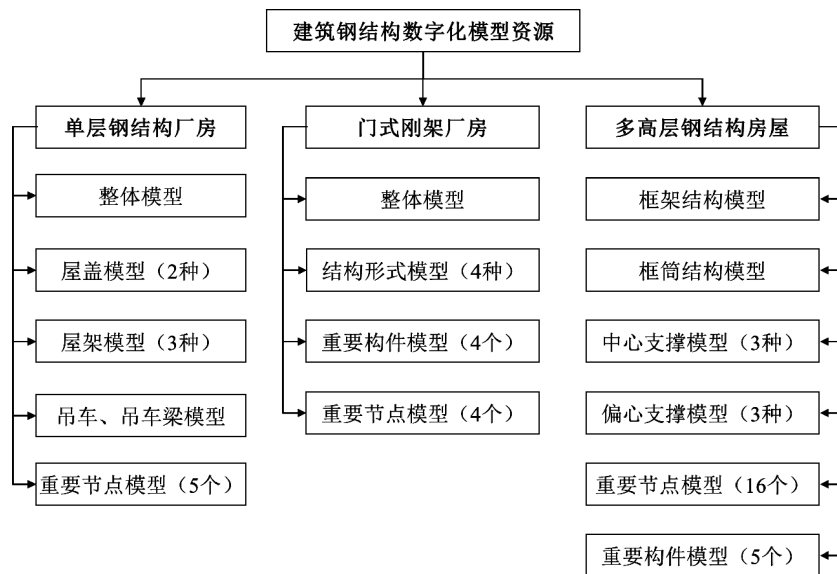


图3 三维模型资源建设情况

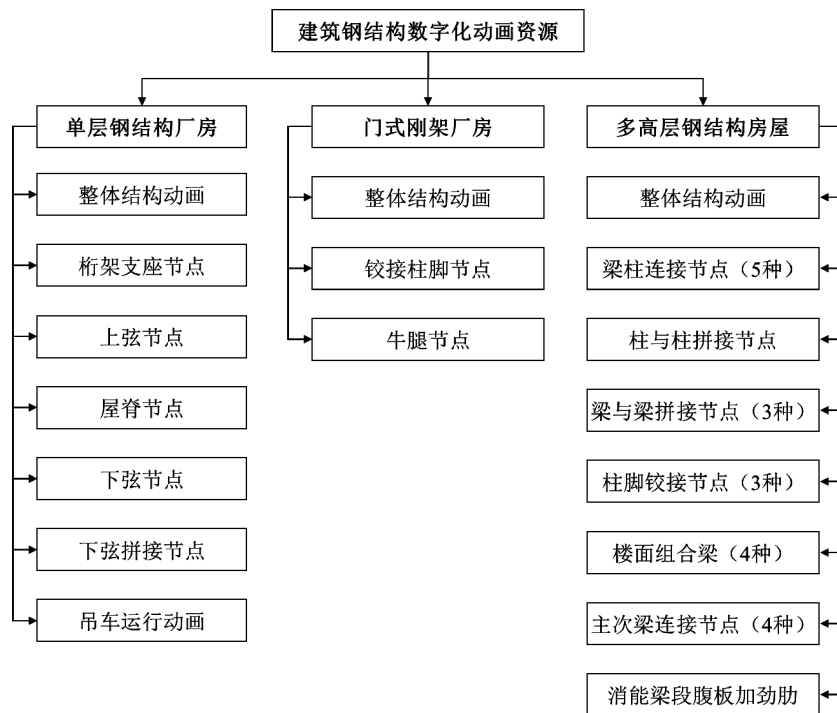


图4 动画资源建设情况

在不同章节中,由于三维模型所展示的钢结构存在差异,因而 PPT 的侧重点也应该有所不同。在单层工业厂房中,厂房包含的构件很多,构件之间的空间位置关系也容易混淆,结构较为复杂。所以在该章节中,PPT 的内容应该侧重于对厂房的整体结构进行讲解,详细说明各部分结构的组成和所处的位置,方便学生后续学习三维模型和动画。在门式刚架厂房中,其整体结构与单层钢结构厂房相比较为简单,节点的构造也较为类似。所以在 PPT 中对

于前文所讲解过的内容就可以简单带过,而侧重于讲解门式刚架厂房中独特的构件,如变截面梁、变截面柱及其连接节点等。

在多高层钢结构房屋的整体结构中,梁、柱和剪力墙的布置等是学生在混凝土结构设计中学习过的内容,学生对此比较熟悉,所以 PPT 的相关内容可以适当简略。教材中还提供了丰富的节点插图,包括梁柱节点、梁拼接节点和柱拼接节点等等,但没有对节点进行详细讲解,因而在 PPT 中要侧重于补充

节点的具体构造信息,对比多种同类节点的不同之处,并分析其力学性能上的差异。

综上所述,PPT 资源的建设流程如图 5 所示,即

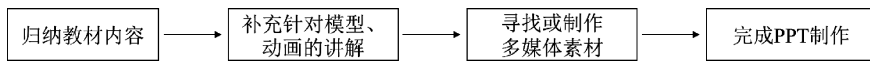


图 5 PPT 资源建设流程

(三) 数字化三维模型教学资源建设逻辑

三维模型要与教材中的插图相对应,但教材中的大部分插图主要用于结构的示意,并没有给出结构的具体尺寸,这就需要在建模的时候参考实际工程案例中构件的尺寸。整体结构模型中如果有墙、楼板等会遮挡学生观察内部构件的结构,在展示时可以选择将其隐藏;而如果该结构比较简单,也不是整体结构的重要内容,则在建模时可以考虑适当简化,如只在首层或顶层创建楼板和墙,这样既能够满足学生的学习需求,又能够减少部分工作量。

如图 6 所示,在整体结构的建模中,可以先建立一个结构单元模型,如单层钢结构厂房中由柱和桁

以教材内容为基础、归纳教材内容,再补充针对模型和动画的讲解,然后根据对应的知识点寻找或制作图片、视频等多媒体素材,即可完成 PPT 的制作。

架组成的一榀钢架、门式刚架厂房中由柱和梁组成的一榀钢架、多高层钢结构房屋中由柱、梁和柱间支撑组成的一层楼。在完成一个结构单元的建模之后,通过复制即可得到多个结构单元,再对结构单元之间的连接构件和节点进行建模,如檩条、墙梁、柱间支撑及其连接节点等,就可完成整体结构的建模。此外,在复制结构单元时需要注意的是,多高层钢结构中的柱并不是以每层楼为单元划分,通常柱的安装单元有三层楼左右的高度,而且柱的拼接节点也不在楼板顶部,所以在复制时需要单独处理。在建模过程中还需要将同类构件合并成组,方便后续分组导出到 Bimfilm 软件中制作动画。

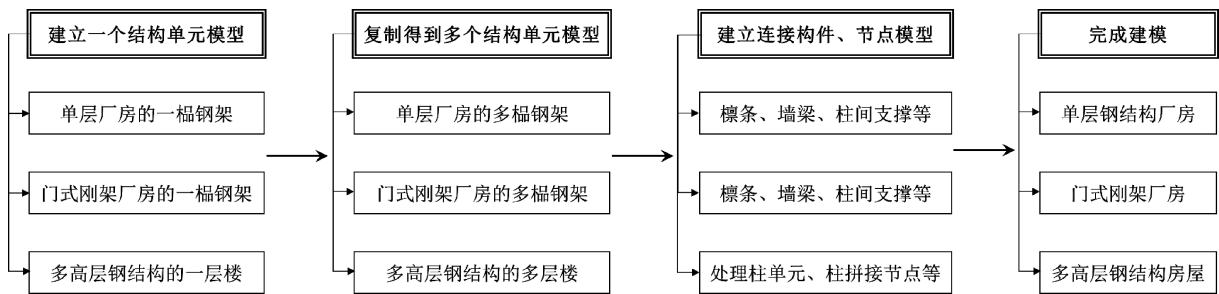


图 6 三维模型资源建设流程

在节点、构件模型的建模中,如果整体结构中有相同的节点类别,则可以直接将其提取出来,为了使该模型更加协调,还可以缩短被连接构件的长度,如梁的长度和柱的高度等。在建立带有螺栓的节点模型时要设置好螺栓孔,虽然在三维模型中螺栓孔被螺栓遮挡,不会展示出来,但在动画模拟施工时螺栓孔就能够被观察到。如果不设置螺栓孔,由此模型而制作的动画中该构件就是没有开孔的,与实际不符。

(四) 三维动画教学资源建设逻辑

Bimfilm 支持导入由 Revit 生成的 .rvt 文件,将上述建立的三维模型分组导入软件中作为素材,即可进行动画的制作。动画可以模拟施工过程,也可以模拟施工中由于违规操作造成的结构损伤、倒塌等情况。但需要注意的是,由软件制作的所有动画都要与实际情况相符,不可凭空设想施工的步骤,要基于广泛的施工视频或施工经验来制作动画。

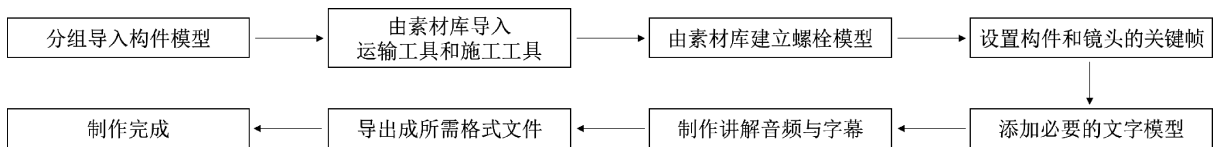


图 7 三维动画资源建设流程

Bimfilm 中提供了丰富的素材库,运输工具和施工工具如混凝土搅拌机、吊车、手推车和焊条等,都可以直接利用素材库中的模型,无需手动建模。由

Revit 建立的螺栓模型导入 Bimfilm 中是作为一个整体,无法模拟施工中螺母的旋转、垫片的放置等动画,需要在 Bimfilm 素材库中利用螺栓、螺母和垫片

模型进行组装建模。Bimfilm 制作动画的逻辑是利用关键帧之间构件、镜头位置的变化,所以在需要进行动画演示的地方需要设置好关键帧,包括构件的关键帧和镜头的关键帧。此外,Bimfilm 能够制作文字模型,在需要重点说明、标注的地方可以输出文字来示意。在完成动画的制作后,需要制作音频与字幕对结构进行讲解、说明,音频可以由真人录制,也可以利用 Bimfilm 中提供的 AI 配音来制作。Bimfilm 可以将动画导出成一般的视频格式,也可以导出为 VR 视频格式,借助 VR 设备即可让学生身临其境地观察钢结构工程的施工过程。

(五)以单层钢结构厂房为例的数字化教学资源建设

基于前文所归纳的数字化教学资源建设框架与建设逻辑,单层钢结构厂房教学资源建设概况如表 1 所示,即依照教材中的主要内容制作 PPT,并针对重点插图利用 BIM 技术制作三维模型与动画,建成内容丰富的数字化教学资源。

表 1 单层钢结构厂房数字化教学资源建设概况

教材	PPT	模型	动画
P12 图 2-1		整体模型	对应的动画
P19 图 2-11	对应章节内容	屋盖模型(2种)	-
P29 图 2-22		屋架模型(3种)	-
P64 图 2-77		吊车、吊车梁模型	对应的动画
P41 图 2-44		上弦节点	对应的动画
P40 图 2-43		下弦节点	对应的动画
P42 图 2-46(d)		下弦拼接节点	对应的动画
P42 图 2-46(a)		屋脊节点	对应的动画
P43 图 2-48		支座节点	对应的动画

1. 整体结构数字化资源建设

教材第二章全面介绍了单层工业厂房的各部分内容,包括厂房柱网的布置、柱间支撑的作用和布置原则、屋架结构体系的作用等等,主要是概念、理论层面的讲解,关于工程结构、尤其是厂房整体结构的图片比较少;PPT 在教材内容的基础上对重点知识点展开说明,如补充了厂房的组成以及各部分结构的位置和作用,并添加了许多相关的工程图片与视频,从理论层面向工程层面拓展;三维模型是基于课本的插图与实际工程所建立,建成一个完整的单层工业厂房,详细展示了厂房的各部分结构,实现在工程层面上的进一步深化;动画演示了单层工业厂房的施工工艺,并将重要的知识点制作成音频再次讲解,有利于学生理论知识的巩固和工程知识的拓展。

2. 屋脊节点数字化资源建设

教材中介绍了屋脊弦杆的两种拼装方式,即工

地拼接和工厂拼接,并简单介绍了连接角钢、安装螺栓等辅助拼接的内容,最后对焊缝的设计进行讲解。PPT 在教材内容的基础上,补充了关于屋脊节点的具体构造和施工工艺等内容,并添加了若干工程照片、图纸与视频。三维模型与书上的插图相对应,钢构件的型号源于某实际工程,学生可以通过运行 Revit 观察节点模型的具体构造。动画是基于三维模型制作而成,利用 BIM 技术详细展示了屋脊节点的施工工艺,并在音频部分补充了关于施工的许多知识,如“并不是所有的屋脊节点都能在工厂施工完成,当桁架的跨度较大时需要将桁架拆分成两个运输单元,到施工现场再进行拼接”等内容,能够拓宽学生的知识面。

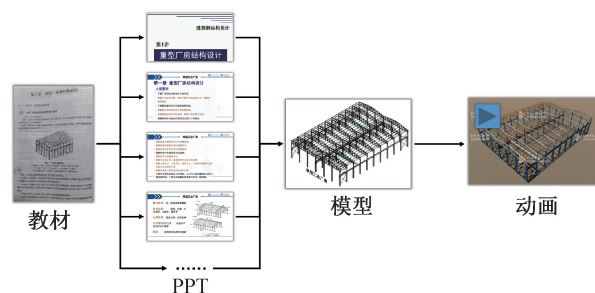


图 8 单层工业厂房整体结构的数字化资源建设

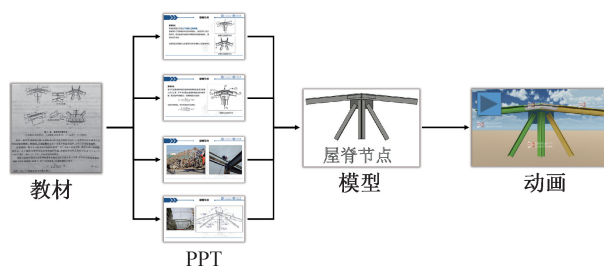


图 9 屋脊节点的数字化资源建设

在学习教材后,学生对屋脊节点的概念、施工、计算等有了全面的了解,但对知识点的理解程度还不够深刻;在学习 PPT 后,学生进一步认识了屋脊节点的构造和施工工艺,知晓了真实工程中的屋脊节点实例;在学习三维模型之后,学生对屋脊节点的构造有了清晰、深刻的理解,对屋脊节点包含的构件了然于胸;在学习动画之后,学生对屋脊节点的施工工艺已经十分熟悉,甚至能够在脑海中模拟屋脊节点的施工,而不仅仅是停留于文字阶段,真正做到了理解并掌握。

四、对教学质量提升的促进作用

与以教材、PPT 为主的传统教学资源相比,基于“教材—PPT—模型—动画”为框架所建成的数字化教学资源,在建筑钢结构课程的教学实践中对教学

质量的提高作用更为明显,主要体现在能够提高学生全过程学习质量,提高学生的积极性与自主学习能力,提升课堂教学质量、增强课堂互动性这三部分内容。

(一) 提高学生的全过程学习质量

数字化资源有利于提高学生的全过程学习质量,包括课前预习、课堂学习和课后复习三个环节。

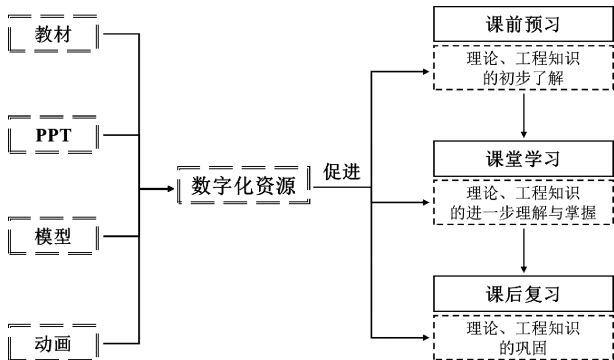


图10 数字化资源的教学效果

在课前预习中,数字化教学资源可以帮助学生完成对理论、工程知识的初步了解。在课堂学习中,数字化资源能够促进学生对理论、工程知识的进一步理解与掌握,此外,内容更加丰富、结构更加清晰的三维模型与动画也有利于老师的讲课,进而提高课堂教学质量。在课后复习中,数字化教学资源有利于深化学生对知识的理解与巩固,学生如果能够对教材、PPT、模型和动画的内容进行全面复习,其理论与工程知识水平将会得到明显提升。

(二) 提高学生的积极性与自主学习能力

数字化教学资源内容丰富,学生对有疑惑的知识点都可以尝试利用教学资源进行学习,例如查看PPT中是否有针对相关知识的补充讲解、利用三维模型和动画来研究结构的构造细节等。学生如果能够通过自学解决问题,将会大大提升他们的学习积极性与自信心,进而培养和提高自主学习能力。而且学生在钢结构课程中所培养的自主学习能力并不仅限于本课程,他们在自学过程中会逐渐形成自己的思维范式,这是学习、思考能力的提升,在其他课程中同样是适用的。

(三) 提升课堂教学质量,增强课堂互动性

基于BIM技术所建设的数字化资源相比于传统的纸质教材更加生动形象,并具有良好的互动性。课堂上老师可以利用Revit平台或VR设备等交互工具,让学生自己探索、学习三维模型和动画的内容,激发学生的学习兴趣。在互动中,由于学生的精

神高度集中、思维也更加活跃,此时老师针对重点、难点的内容展开讲解,能够更好地被学生所接受。所以,结合数字化教学资源的课堂教学,相比于传统课堂,能够有效提升课堂的教学质量、丰富课堂乐趣、增强课堂互动。

五、结论

文章提出了一种建筑钢结构数字化教学资源建设框架——“教材—PPT—模型—动画”,深入剖析了各部分内容建设的规律性做法和要点,并基于BIM技术,以教材为基础、以PPT为载体、以三维模型和动画为重点,建设了一批内容丰富的数字化教学资源。将数字化教学资源运用于教学实践中,预期能够有效增强课堂的互动性、提升课堂的教学质量,进而提高学生的全过程学习质量、学习积极性与自主学习能力。

本文所提出的数字化教学资源建设框架并不局限于建筑钢结构设计课程,其核心思路是利用BIM技术可视化、交互性强的优点,将复杂的结构构件和施工工艺以三维模型、动画的方式呈现,这在其他课程同样适用,尤其是与复杂结构相关的课程,如混凝土结构设计、桥梁工程、路基路面工程等。这类课程若仅利用传统的教学资源则较难让学生清晰、快速地理解,因此可以参考本文所提出的教学资源建设框架,利用BIM技术制作与教材内容相对应的三维模型与动画,为学生直观地展示复杂的结构体系,进而提升教学质量。

参考文献

- [1] 教育部关于印发《教育信息化“十三五”规划》的通知 [EB/OL]. (2016-06-07) [2023-04-05]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201606/t20160622_269367.html.
- [2] BMBF. Kompetenzwerkst @ tt Elektrohandwerk [EB/OL]. (2019-06-14) [2023-04-05]. <https://www.qualifizierungdigital.de/qualifizierungdigital/de/projekte/praxisbeispiele/lernortkooperation/kompetenzwerkst-tt-elektrohandwerk/kompetenzwerkst-tt-elektrohandwerk.html>.
- [3] 胡菁,陈立,周金梅. 数字化教学平台在混合式教学中的应用——以厦门大学《化学实验课程》为例[J]. 厦门科技, 2022(4): 31-35.
- [4] 杨涛,谭鹏,李建兰,等. 基于虚拟仿真实验的热能工程专业综合数字化课程教学平台建设[J]. 中国多媒体与网络教学学报(上旬刊), 2022(9): 14-17.
- [5] 常正平,夏松,杨根军,等. 飞机部件数字化对接装配实验平台及教学项目设计[J]. 实验技术与管理, 2020, 37

- (12):52-56.
- [6]刘源劫,龙志敏,曾庆桦,等. 数字化解剖实验平台在医学整合课程中的应用[J]. 基础医学教育, 2022, 24(10):766-768.
- [7]刘占省,白文燕,杜修力. 智能建造专业新型数字化教学模式研究[J]. 高等建筑教育, 2022, 31(1):15-23.
- [8]石晓娟,柳明慧. “双一流”建设背景下土木工程施工课程数字化教学建设思考[J]. 创新创业理论与实践, 2023, 6(2):32-34.
- [9]邓军. 信息化测绘背景下土木工程测量课程实践教学改革探究[J]. 西部素质教育, 2019, 5(1):222.
- [10]何关培. BIM 总论[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011:3.
- [11]陈志华,尹越,刘红波. 建筑钢结构设计[M]. 天津:天津大学出版社, 2019:200.
- [责任编辑 李 新]

Research on the Construction of Digital Teaching Resources of Building Steel Structure Based on BIM Technology

LIU Hongbo^{1,2}, YANG Zhifeng³

- (1. School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China;
2. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tian Jin 300350, China;
3. School of Future Technology, Tianjin University, Tian Jin 300350, China)

Abstract: With the rapid development of online and blended courses in recent years, such as MOOC, online course, flipped classroom, etc., the informatization and digitization of teaching has become a key research project in many universities. In this sense, digital teaching resources are the basis on which digital and informatized teaching is carried out; the teaching content varies according to different disciplines and courses. Taking the course Building Steel Structure as an example, this paper puts forward a digital teaching resource construction framework based on BIM technology: Textbook-PPT-Model-Animation, that is, the construction of digital resources is completed on the basis of textbooks, with PPT as the carrier, and three-dimensional model and animation as the focus. Within this framework, different sections are logically interlinked and the span of knowledge points are gradually expanded. Accordingly, the application of digital teaching resources is expected to effectively improve students' learning quality, enthusiasm, and independent learning ability in the whole process.

Key Words: BIM; steel structure; digitization; teaching resources; teaching reform