

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2024.01.015

## 结构设计类课程教学中整体式工程情境的创设

张学元, 张道明, 吕春, 刘洋, 张宇, 屈恩相

(齐齐哈尔大学建筑与土木工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:** [目的] 工程情境创设作为工学类专业课程教学设计重点, 关系到学生工程意识的建立及工程应用能力的培养。[方法] 针对土木工程专业结构设计类课程教学中存在工程情境创设不形象、不全面、不系统等问题, 以结构布置、计算单元选取、荷载计算、内力计算、内力组合等内容为例, 介绍了整体式工程情境的创设。[结果] 实践结果表明: 整体式工程情境具有形象性、直观性、系统性的优点, 有助于学生对相关概念、基本原理、计算方法的理解与掌握, 能够增强其对结构总体系与分体系间构成关系、传力关系的理解。[结论] 整体式工程情境的创设, 是对现阶段结构设计类课程教学中工程情境创设的积极探索, 有助于学生结构设计能力的培养及整体结构观的建立。

**关键词:** 土木工程; 结构设计; 工程情境; 结构设计流程; 整体结构观

**中图分类号:** TU318-4; G642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1891(2024)01-0114-08

## Creation of Integral Engineering Situation in the Teaching of Structural Design Courses

ZHANG Xueyuan, ZHANG Daoming, LÜ Chun, LIU Yang, ZHANG Yu, QU Enxiang  
(School of Architecture and Civil Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, Heilongjiang, China)

**Abstract:** As a focus in teaching design for engineering courses, creation of engineering situation is critical for developing students' engineering awareness and for cultivation of their abilities in engineering application. To solve the problems of non-vivid, incomplete and nonsystematic engineering situation creation in teaching structural design courses to civil engineering majors, creation of integral engineering situation was introduced by using structural arrangement, selection of calculation unit, load calculation, internal force calculation, and internal force combination as examples. The practical results show that the integral engineering situation has advantages of vivid, visual and systematic representations, which are helpful for students to have a better mastery of relevant concepts, basic principles and calculation methods, contributing to their understanding of the composition and transmission relationships between the whole structural system and the individual structural system. The creation of integral engineering situation is a positive exploration in the current teaching of structural design courses, which is helpful to development of students' skills in structural design and of their holistic views on structures.

**Keywords:** civil engineering; structural design; engineering situation; structural design process; holistic view on structure

收稿日期: 2023-11-02

基金项目: 黑龙江省教育科学“十四五”规划 2021 年度重点课题(GJB1421362)。

作者简介: 张学元(1983—), 男, 内蒙古呼伦贝尔人, 副教授, 硕士, 研究方向: 建筑材料与建筑结构, e-mail: yuanxvezhang@126.com。

## 0 引言

土木工程专业结构设计类课程主要包括荷载与结构设计方法、混凝土结构设计原理、钢结构设计原理、混凝土及砌体结构、基础工程、钢结构设计、建筑结构抗震设计等课程。作为土木工程专业课程体系中计算量最大、涉及规范最多、与工程联系最紧密的课程教学模块,结构设计类课程关系到学生结构计算、结构分析能力的培养及整体结构观的建立,是土木工程专业课程教学的重点、难点,同时也是专业课程教学改革的热点。张玉等<sup>[1]</sup>、边汉亮等<sup>[2]</sup>针对案例教学法在基础工程课程中的有效性进行了实践探索;周小龙等<sup>[3]</sup>、廖平等<sup>[4]</sup>、姚刚峰等<sup>[5]</sup>、焦晋峰等<sup>[6]</sup>分别针对建筑结构抗震设计、建筑钢结构设计、荷载与结构设计方法、钢结构设计基本原理等专业课程进行了教学改革。上述研究结果表明,案例教学、项目驱动等工程情境创设有助于学生对所学内容的意义建构,能够提升教学效果,提高学生工程应用能力。

多年来,建构主义在高等工程教育教学中发挥着重要的角色,其所倡导的情境创设对于工学类专业更具有普适性。目前,土木工程专业课程教学普遍基于二维工程图学而进行工程情境创设。以结构设计类课程为例,现阶段多采用结构平面布置图、梁板柱平法施工图等结构施工图进行工程情境创设,其优点在于能够将课程中的相关概念、理论与工程实际相联系,缺点在于不够形象直观,不利于学生从整体观念角度进行结构总体方案设计与概念设计。林同炎等<sup>[7]</sup>提及结构理论学习应坚持总体方法:“结构知识入门应以总体构思为基础,应从整个结构体系的角度而非从构件的角度来看待后续专业课程的学习或建筑设计中的结构问题。设计者在处理结构问题时需在处理总体方案时着眼于各主要分体系,而非构件或建筑构造。因此,土建类专业学生的教育应为推进式,从结构整体进行

介绍,然后将基本知识作合乎逻辑的推敲,思路集中于主要分体系,再分解出关键构件。这种教育方法即为总体教育法”。由此可见,现有的工程情境创设与林同炎等所倡导的总体教育法尚存在一定差距。

此外,现阶段的改革探索多针对某一门具体课程而开展,甚少将相关课程视为有机整体进行统筹规划。本研究针对结构设计类课程教学中普遍存在工程情境创设不形象、不全面、不系统等问题,创设以工程结构为背景的更具形象性、直观性、系统性的整体式工程情境;基于二维工程图学所呈现的工程情境,结合结构布置、计算单元选取、荷载计算、内力计算、内力组合等内容介绍整体式工程情境的创设,以丰富完善现阶段结构设计类课程教学中工程情境创设,并探索其在整体结构观培养中的有效性。

## 1 工程情境创设中存在的问题

工程情境创设是教学设计中最重要的一环<sup>[8]</sup>。工程情境需根据教学内容要求而有针对性地引入,以启发学生深入思考、积极将所学内容与工程实际相联系。工程情境创设需考虑学生的知识储备,因人因时而设置,需具有形象直观、化繁为简、系统全面的启迪引导功能,从而有助于学习者对所学内容的意义建构。然而,限于现阶段土木工程专业课程教学在教学内容上、教材建设上与当前工程建设仍存在一定的滞后性<sup>[9-12]</sup>,使得目前结构设计类课程教学在工程情境创设上普遍存在不形象、不全面、不系统等问题。

以框架结构设计中结构布置及一榀框架结构设计为例,所述内容的工程情境创设,目前普遍采用工程照片、结构空间示意图与结构平面布置示意图相结合的形式以进行框架结构组成、结构布置及结构受力特点的介绍,在此基础上基于结构平面布置示意图标注出计算单元相关信息,在完成竖向荷

载、水平荷载计算后给出一榀框架结构计算简图以进行结构内力计算及构件截面设计。如此创设的工程情境,主要存在以下问题:

1)工程情境创设不形象,缺少空间计算单元呈现,不利于学生对结构总体系中一榀框架的构成及其力学计算简图中三角形荷载、梯形荷载来源、荷载间导算的理解。这一问题的出现主要源于工程情境创设时平面楼盖结构与空间结构间的割裂,不利于学生从结构总体系中获得分体系,即在整体结构观建立方面存在弱势。

2)工程情境创设不全面,以结构力学、混凝土及砌体结构课程及毕业设计中均涉及的框架结构楼梯设计为例。现阶段,对于楼梯的工程情境创设多采用平面示意图、三维示意图或工程照片的形式呈现。平面示意图在视觉效果上存在不够形象直观的弱势,三维示意图或工程照片虽形象直观,但多为楼梯局部或楼梯整体的呈现,而将楼梯整体作为构件单元置于整体结构中的工程情境则普遍缺少。不全面的工程情境创设不利于学生对于 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范(2016年版)》中楼梯间布置规则性、楼梯构件对主体结构刚度影响等抗震措施的理解。

3)工程情境创设不系统,缺少结构总体系、分体系侧移刚度及内力组合所需数据来源等内容系统性呈现。现阶段,对于框架结构侧移验算、水平荷载作用下一榀框架结构内力计算等内容,多是基于结构计算简图给出相应计算公式、结合例题给出计算公式的具体应用,甚少有结构层侧移刚度、一榀框架层侧移刚度工程情境的呈现,不利于学生系统观的形成。此外,对于一榀框架结构设计时所需进行的内力组合,常为在给定内力标准值基础上进行的工程情境创设,其优点在于学生擅长解决给定条件下的结构计算问题,缺点是学生对相关数据来源不清晰,系统性弱,不利于学生解决实际工程中的复杂问题。

## 2 整体式工程情境创设示例

现阶段,基于工程照片、工程视频、建筑施工图、结构施工图、结构空间示意图等方式进行的工程情境创设,甚或是依托同一工程结构,针对工程结构设计所需各环节而进行的多角度、全方位、立体化、系统性的呈现。为此,将现阶段普遍采用的平面示意图与整体结构、分体系结构三维示意图相结合,结合结构设计流程中结构布置、计算单元选取、荷载计算、内力组合等环节介绍整体式工程情境的创设,以丰富结构设计类课程教学中工程情境的创设。

### 2.1 结构布置

对于结构布置,目前多基于结构平面布置示意图这一形式进行工程情境呈现,如图 1(a)所示。图 1(a)中可显示构件布置信息及计算单元尺寸信息等内容,但单纯的结构平面布置示意图不利于学生形象直观地理解框架结构的空间构成及荷载传递路径。为此,辅之以整体结构中楼层空间结构示意图,如图 1(b)所示。这种“平面”与“空间”的结合,能够更加形象直观地呈现出结构布置中的平面信息与空间效果,有利于学生理解结构布置、荷载传递路径及一榀框架结构计算单元构成等相关内容。

楼梯结构设计涉及结构力学、混凝土及砌体结构、建筑结构抗震设计等多门课程,其难点在于学生对梯段板力学计算简图、梯段板恒荷载计算等内容难以理解。图 2(a)为结构力学中恒荷载、活荷载作用下梯段板力学计算简图。采用含楼梯间的整层结构的呈现(图 2(b)),除能够更好地呈现出梯段板、梯梁、梯柱间的支撑关系外,尚有助于学生对梯段板力学计算简图中恒荷载、活荷载作用形式、梯梁计算简图及梯柱尺寸信息等内容的理解,可为结构建模时楼梯间恒荷载、活荷载的输入提供前期知识储备。

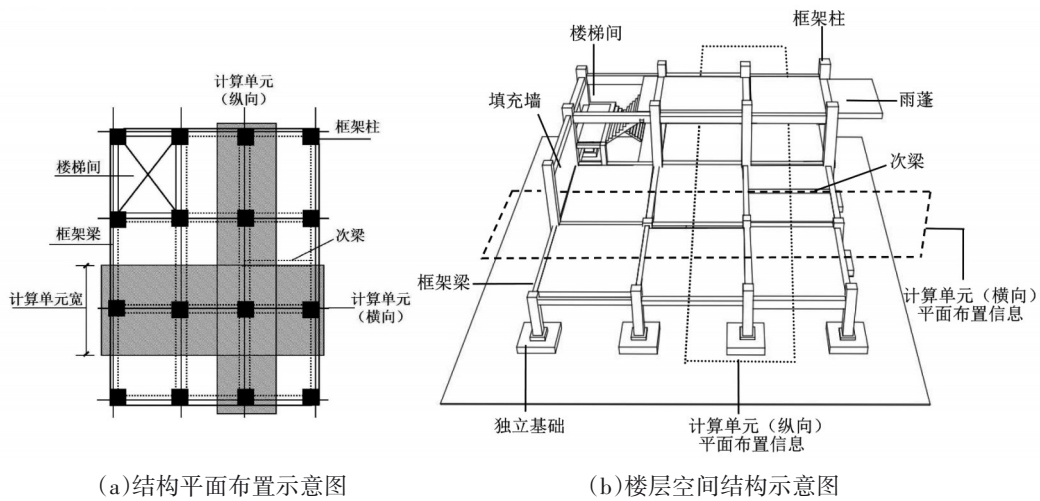


图 1 框架结构布置示意图

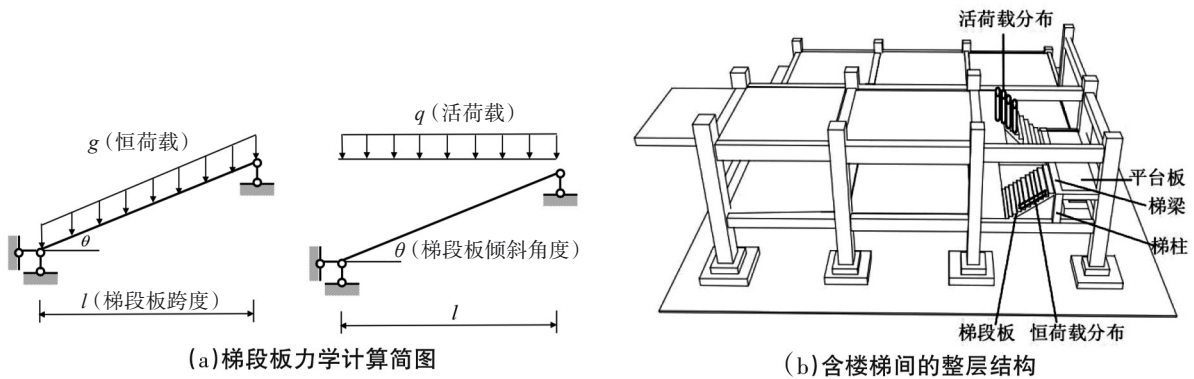


图 2 楼梯工程情境示意图

### 2.2 计算单元选取

计算单元作为结构的基本组成单元,能够在一定程度上呈现结构的基本信息。针对一榀框架计算单元的选取,多采用类似于图 1(a)所示的平面示意图进行呈现。平面示意图虽能够体现出计算单元宽度、跨度、柱网轴号等信息,但对于一榀框架计算单元空间构成、荷载传递等信息则难以直观呈现,不便于学生直观性地获得计算单元信息。基于计算单元迎风面宽度与计算单元宽度的一致性,通过在图 3(b)所示整体结构中增设划分计算单元所需的两竖直且平行的假想平面,并将其所划分出的一榀框架单元单独呈现,如图 4(b),则能够将计算单元构成信息完整、直观地呈现,从而有利于学生对计算单元选取、计算单元构成、框架柱负载面积、计算单元迎风面宽度等概念的理解。

### 2.3 荷载计算

荷载计算作为内力计算的基础,在结构设计中具有重要意义。目前,针对竖向荷载作用下一榀框架的结构计算,其工程情境创设多是在选定计算单元后,按照肋梁楼盖中双向板塑性铰线法进行三角形荷载区域及梯形荷载区域的划分,然后给出竖向荷载作用下一榀框架结构计算简图(图 3(a)、4(a))。

如此进行的工程情境创设,所呈现的仅是某层楼板塑性铰线的划分,需学习者具有较好的空间想象力和力学基本功才能真正理解一榀框架结构力学计算简图。为此,参照图 3(a),在图 3(b)所示的整体结构中标注出各层楼盖所对应的塑性铰线,并给出含塑性铰线标记的一榀框架空间结构示意图,如图 4(b)所示。如此创设,可更加形象清晰地呈现出一榀框架的荷载传递路径及其与计算简图的对



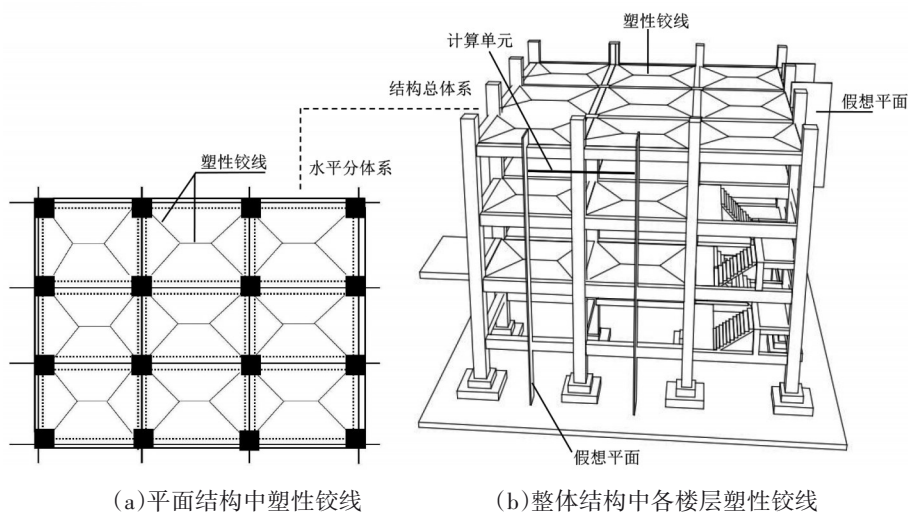


图3 基于塑性铰线法的板块区格划分

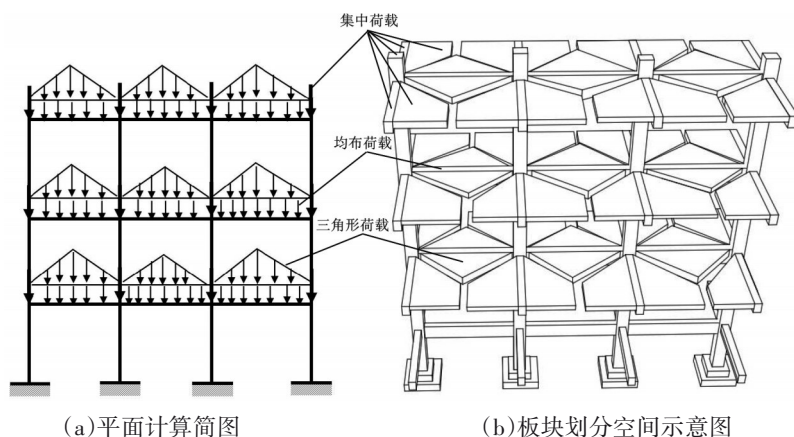


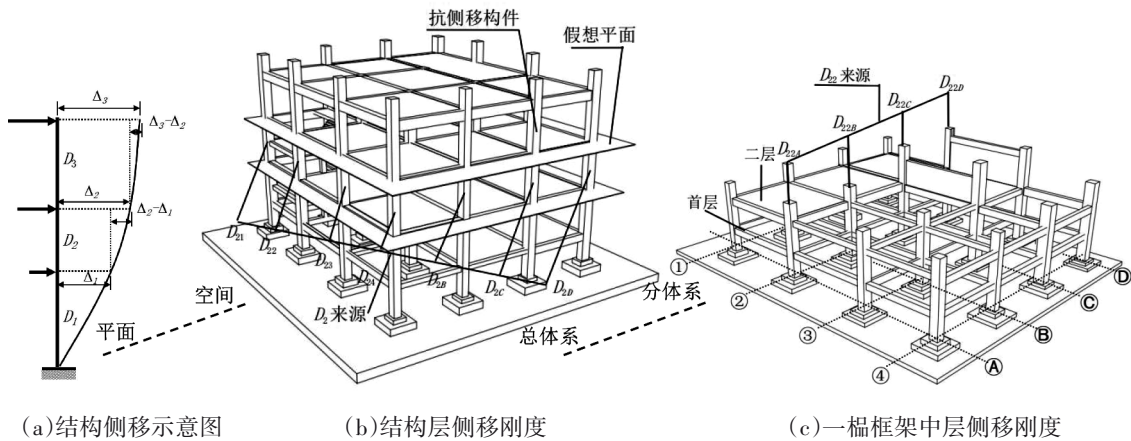
图4 竖向荷载作用下一榀框架受荷示意图

应关系,有助于学习者对结构计算简图、荷载传递、荷载导算等相关内容的理解。

### 2.4 内力计算

内力计算作为荷载计算的后续环节,主要涉及结构内力求解及结构侧移验算。侧移刚度作为框架结构内力计算的重要参数,主要用于求解以下2类问题:一是基于结构层侧移刚度进行结构侧移验算;二是基于一榀框架层侧移刚度进行水平荷载作用下一榀框架内力的分配与求解。对于结构侧移验算及水平荷载作用下一榀框架内力计算,现有的工程情境多采用类似于图5(a)所示的平面结构示意图而呈现。限于学生对抗侧移构件、侧移刚度、结构层侧移刚度、一榀框架层侧移刚度等内容理解

并不充分,创设两相邻楼层处分别含有假想水平的整体工程结构,从而可形象呈现出同一楼层内所有竖向构件这一结构层侧移刚度工程情境,如图5(b)、5(c)所示;对于水平荷载作用下一榀框架结构内力的分配,可基于图5(c)进行横向、纵向定位轴线的标识,从而可形象、系统地呈现出结构总体系中某层抗侧移构件及其分体系中该层抗侧移构件,并结合水平荷载→层间剪力→柱剪力这一路径进行相关计算公式、计算方法的讲解。如此创设的整体式工程情境具有形象、直观的优点,便于学生明确一榀框架层侧移刚度与结构层侧移刚度的关系及一榀框架层侧移刚度在水平荷载作用下柱剪力分配计算中的重要作用,有助于整体结构观的建立。

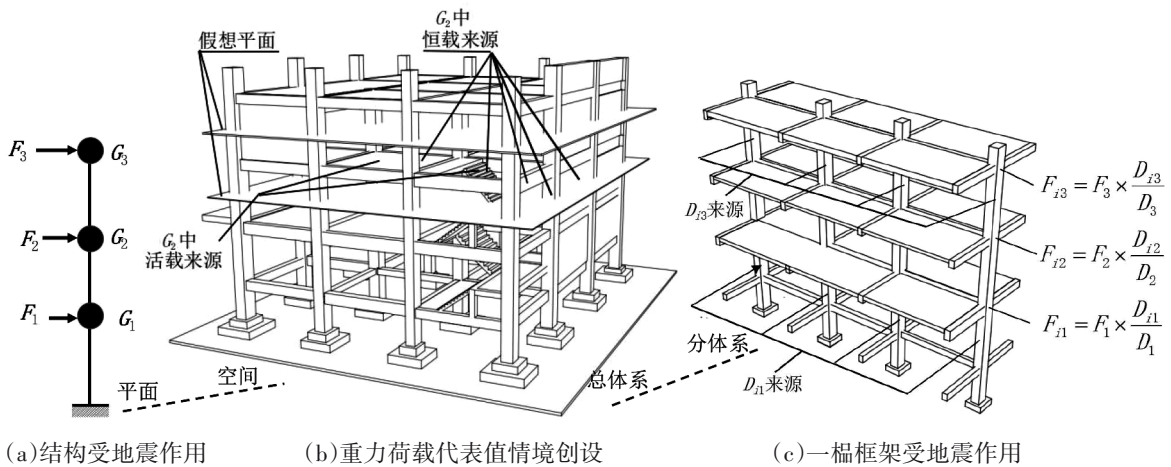


注:  $D_1, D_2, D_3$  分别表示结构第 1、2、3 层侧移刚度;  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  分别表示结构第 1、2、3 层侧移;  $\Delta_3 - \Delta_2, \Delta_2 - \Delta_1$  分别表示结构相对层间侧移;  $D_{21}, D_{22}, D_{23}, D_{24}$  分别表示第 2 层 1 轴侧移刚度、第 2 层 2 轴侧移刚度、第 2 层 3 轴侧移刚度、第 2 层 4 轴侧移刚度;  $D_{2B}, D_{2C}, D_{2D}$  分别表示第 2 层 B 轴侧移刚度、第 2 层 C 轴侧移刚度、第 2 层 D 轴侧移刚度;  $D_{22A}, D_{22B}, D_{22C}, D_{22D}$  分别表示第 2 层 2 轴与 A 轴、B 轴、C 轴、D 轴相交处各柱侧移刚度。

图 5 结构侧移验算及内力计算环节中工程情境的创设

对于规则的多层框架结构,常采用底部剪力法进行水平地震作用计算,计算简图如图 6(a)所示。为增强学生对重力荷载代表值取值方法的理解,创设两相邻楼层中部均设有假想水平面的空间框架结构,以便于对两假想水平面间恒荷载、活荷载向楼层处进行质量集中、组合,从而形成重力荷载代表值为  $G_i$  的质点,如图 6(b)所示。所创设的整体式工程情境可形象直观地呈现出图 6(a)中质点 2 所对应的重力荷载代表值  $G_2$ ,从而将工程结构与结构动力学模型相对应。对于一榀框架所承受的水平地

震作用及在该作用下其内力计算问题,可采用如图 6(c)所示的一榀框架进行工程情况创设,并通过重力荷载代表值→结构所受水平地震作用→一榀框架所受地震作用→一榀框架内力计算这一路径进行介绍,以体现侧移刚度比在荷载分配与内力分配间的重要作用。如此进行工程情境创设可形象地呈现出空间问题向平面问题转化的思路与方法,可进一步增强学生对结构总体系与分体系间荷载分配及分体系内部构件间内力分配原则的理解。



注:  $F_1, F_2, F_3$  分别表示结构第 1、2、3 层所受水平地震作用;  $G_1, G_2, G_3$  分别表示结构第 1、2、3 层重力荷载代表值;  $D_{i1}, D_{i3}$  分别表示结构第  $i$  榀框架第 1 层、第 3 层侧移刚度;  $D_1, D_2, D_3$  分别表示结构第 1、2、3 层侧移刚度;  $F_{i1}, F_{i2}, F_{i3}$  分别表示结构第  $i$  榀框架第 1、2、3 层所受水平地震作用。

图 6 结构总体系及分体系上的水平地震作用

## 2.5 内力组合

内力组合作为恒荷载、活荷载、风荷载、地震作用等多种效应在满足可靠度条件下的有序叠加,是构件截面设计的前一环节,分为非抗震组合和抗震组合两类。内力组合可参照 GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》和 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范(2016年版)》相关公式进行计算。现阶段,对于此部分工程情境的创设多是在给定恒荷载、活荷载、风荷载、水平地震作用下构件某截面内力标准值的基础上通过代入组合公式以求得梁、柱控制截面设计时所需考虑的最不利内力。相比于实际工程,上述工程情景创设偏于理想化,难以让学生进行深入思考,对于其解决复杂工程问题能力的培养并不合适。

“强柱弱梁”“强剪弱弯”是结构抗震概念设计的重要内容,是抗震组合时的难点。为此,通过精选国家一级注册结构工程师专业考试试题进行工程情境创设,以尽最大限度实现所学内容与工程应用相对应<sup>[13]</sup>。例如:以某三层钢筋混凝土框架结构办公楼中某边榀框架(含框架角柱)的一段框架梁为例,通过给出梁上荷载数值信息及恒荷载、活荷载、水平地震作用(左震、右震)作用下梁弯矩图这一工程情境,求考虑地震作用工况下梁端剪力设计值、弯矩设计值及相关柱端截面弯矩设计值。通过创设上述工程情境,学生能够对“强柱弱梁”“强剪弱弯”“强角柱”等抗震概念设计及其对应的内力组合、内力调整有更好地理解,同时增强其对重力荷载代表值计算、内力图应用的掌握,以实现其对结构→构件→计算简图→内力图→内力组合这一流程的熟悉与贯通。

## 3 教改成果

齐齐哈尔大学土木工程专业成立于2010年,现

为齐齐哈尔大学一流本科专业建设点。土木工程专业结构课题组成立于2015年,课题组教师在结构设计类课程教学中不断探索整体式工程情境的创设,着眼于学生工程意识、整体结构观的建立及结构设计能力、解决复杂工程问题能力的培养,目前已初显成效。以大学生结构设计竞赛为例,齐齐哈尔大学土木工程专业学生自2016年首次获得大学生结构设计竞赛黑龙江分区赛一等奖以来,已连续多年斩获省赛一等奖,位居省属高校前列,并于2019、2021年均获全国大学生结构设计竞赛三等奖1项。自开展整体式工程情境创设以来,学生结构设计类课程期末考试成绩普遍提高10余分,不及格率明显下降;毕业设计环节中,学生所完成的钢筋混凝土框架结构土建设计质量显著提升,尤其体现在结构布置、荷载计算、内力计算、内力组合方面,错误率显著降低,表明学生已初步建立了整体结构观,对于结构总体系、分体系的构成及其力学关系概念更加明确,思路更加清晰。

## 4 结束语

土木工程专业结构设计类课程教学中应注重学生整体结构观的培养与建立。创设具有形象直观、全面性、系统性的整体式工程情境可助力于学生对结构设计中相关概念、基本原理、计算方法的意义建构,使其更好明确结构总体系与分体系间的力学关系。整体式工程情境创设需以整体结构为工程背景,通过与结构布置、计算单元选取、荷载计算、内力计算等结构设计流程中相关内容相结合,以便于学生在结构分析、设计环节中主动进行结构总体系与分体系间关系的思考,从而为其整体结构观的建立、解决复杂工程问题能力的培养奠定基础。

### 参考文献:

- [1] 张玉,李宝平,刘瑾,等.案例教学在土力学与地基基础课程中的应用探讨[J].高教学刊,2020(1):116-118.

- [2] 边汉亮,赵丽敏,岳建伟.从专业课任课教师角度谈课程思政教学-以“基础工程”课程为例[J].黑龙江教育(高教研究与评估),2022(5):85-87.
- [3] 周小龙,刘章军,卢海林,等.工程案例与虚拟实验在建筑结构抗震课程教学中的应用[J].高等建筑教育,2020,29(5):149-155.
- [4] 廖平,向敏,谢兆平.应用型本科土木工程专业课程的教学改革探究[J].创新创业理论与实践,2020(22):60-62.
- [5] 姚刚峰,刘国建,孙岳阳,等.荷载与结构设计方法课程教学中工程事故案例的巧运用[J].高教学刊,2023(27):109-112.
- [6] 焦晋峰,郭秀华,邢颖,等.新工科背景下多媒体课件制作研究与探索-以钢结构设计基本原理课程为例[J].高等建筑教育,2022,31(2):145-151.
- [7] 林同炎,斯多台斯伯利 S D.结构概念和体系[M].高立人,方鄂华,钱稼茹,译.2版.北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [8] 张奎明.建构主义视域下的教师专业发展研究[M].北京:北京师范大学出版社,2017.
- [9] 韩建强,刘波,郭雪源,等.线上线下混合教学模式在土木工程专业课程中的实践与分析[J].华北理工大学学报(社会科学版),2022,22(4):95-99.
- [10] 熊勇林,高游.工程教育专业认证背景下土木工程专业课程教学改革探索-以宁波大学为例[J].林区教学,2022(11):75-79.
- [11] 韩硕,孔祥清,董锦坤.土木工程施工课程的教学改革[J].辽宁工业大学学报(社会科学版),2022,24(6):119-121.
- [12] 闫文赏,徐国强,刘琳琳,等.普通本科院校多高层结构设计课程改革与实践[J].高等建筑教育,2023,32(1):165-171.
- [13] 本书编委会.全国一级注册结构工程师专业考试试题解答及分析(2012—2018)[M].北京:中国建筑工业出版社,2020.