

计算时代工程图学之定位与建设思考

于海燕¹, 刘衍聪², 何援军³

- (1. 东华大学机械工程学院, 上海 201620;
2. 中国石油大学(华东), 山东 青岛 266580;
3. 上海交通大学计算机系, 上海 200240)

摘 要: 在2次《图学学科发展报告》基础上, 专门讨论工程图学科学与学科的继承问题, 探讨其在计算时代的定位与发展。梳理工程图学及画法几何的理论、方法和技术, 揭示工程图学无歧义表达、完成工程计算中所隐含的严密理论及科学价值。剖析在计算时代工程图学呈现和渗透到计算机图形学的某些新形态。分析这2大图学分支的共性, 特别是两者在图形思维和计算思维上对CAD的支撑作用。以此共性基础为核心, 以工程应用为导向, 以科学研究与人才培养为目标, 探索建立多元思维融合的工程图学学科建设框架。

关 键 词: 图学; 工程图学; 画法几何; 图形计算思维; 共性基础

中图分类号: TH 126

DOI: 10.11996/JGj.2095-302X.2023010194

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2023)01-0194-05

Reflections on the orientation and development of engineering graphics in the era of computing

YU Hai-yan¹, LIU Yan-cong², HE Yuan-jun³

- (1. College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China;
2. China University of Petroleum (Qingdao), Qingdao Shandong 266580, China;
3. Department of Computer Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: On the basis of the two development reports on graphics, the inheritance of the science and discipline of engineering graphics was particularly discussed, and its orientation and development in the computing era were also explored. The theories, methods, and technologies of engineering graphics, as well as descriptive geometry, were reviewed, revealing the rigorous theories and scientific values implied in its unambiguous expression and engineering computing. In the computing era, discussions were conducted on some new forms that have found their way from engineering graphics to computer graphics. The commonalities of these two major branches of graphics were analyzed, especially their supporting role for CAD regarding graphic thinking and computational thinking. With these common foundations as the core, the engineering application as the guide, and scientific research and talent training as the goal, explorations were pursued on the establishment of a disciplinary development framework for engineering graphics integrating with multiple thinking modes.

Keywords: graphics; engineering graphics; descriptive geometry; graphics computing thinking; common foundation

制造强国需要具备大工程观和工程思维的卓越工程人才^[1-2]。思维能力是学习和发明创造活动的核心, 是教育追求的高级目标。计算时代, 工程

教育更应追求技术背后的理论基础与思维能力, 提高自主学习和实践能力, 适应、引领新技术。工程图学作为工程交流的语言, 在计算时代的工程设计

收稿日期: 2021-10-27; 定稿日期: 2022-04-10

Received: 27 October, 2021; Finalized: 10 April, 2022

第一作者: 于海燕(1974-), 女, 副教授, 博士。主要研究方向为图学、CAD、机械设计等。E-mail: yuhy@dhu.edu.cn

First author: YU Hai-yan (1974-), associate professor, Ph.D. Her main research interests include graphics, CAD, mechanical design, etc.

E-mail: yuhy@dhu.edu.cn

中,发挥越来越大的作用。

工程表达已经进入计算时代。几何模型是全生命周期数字化制造的基础,这些新技术也反作用于工程图学,正在快速刷新和重塑人们对工程表达的认知。工程交流的主体,已由原来的工程师与工程师,扩展到工程师与非专业客户,工程师与计算机图形软件终端,以及数字表示的机-机交流^[3]。

为适应这种变化,工程图学工作者在图学思维、人才培养等方面进行了大量地研究与实践,为工程图学的发展积累了宝贵经验^[4-8]。中国图学会组织了全国工程图学、工程设计、计算机图学等专家,综合国内外图学发展,先后发布了2版《图学学科发展报告》,在图学学科的总体架构下,对工程图学进行了系统深入地研究^[9-10]。

本文针对改革过程中的教学内容与人才培养发展等问题,综合工程图学、画法几何学、计算机图形学等图学分支的内在联系和对CAD的支撑作用,着重分析计算时代工程图学蕴含的思维与科学价值;梳理服务国家科技强国、制造强国发展战略的工程图学理论体系,探索以共性基础为核心、应用为导向、多元思维融合的工程图学学科建设路径。

1 分析与认知

图是描述世界、展现世界的视觉具象,是表达传递信息、概念和思想的主要方式,也是探索世界的重要途径。人类习惯也善长借助图形思考,从而更有利于发现问题、解决问题。工程图学以工程为对象,基于画法几何理论,构建了严谨的工程表达与计算体系,形成了无歧义工程交流的语言体系。

(1) 人才需求。与学习和创新实践能力相对应,目前,我国企业对工程图学的人才需求可以分为4个层次:①对三维造型软件及版本更新的适应能力;②基于图形的创新、创造能力;③适应工业软件定制与开发的图形计算思维与工业软件开发能力;④以核心知识为框架、专业的综合实践能力。

(2) 继承发展。新事物是以旧事物为基础发展而来的,以往的知识或经验都将作为今日创造的支撑。画法几何学的维度转换、构造性求解、几何关系分析等原理,不仅是工程表达的理论基础,也是CAD等工业软件的造型基础,是3D打印、机器视觉等图形图像技术的几何基础,也为图形计算注入新方法。工程图学构建的工程交流语言,其以图形符号直观、无歧义表达各种工程设计的价值,也不

限于平面尺规作图等传统理论。

(3) 多元思维。科技创新需要以工程科学思维为代表的多学科思维的交叉与融合^[11-12]。工程图学理论体系中蕴含着逻辑、形象、美学、辩证等多元思维。其以画法几何为理论基础,蕴含严谨的数学逻辑思维;以图形表达为目标,蕴含形象思维;其以工程为表达对象,揭示工程思维的复杂性、多维性与严密性。工程图学的美学要素,不仅体现在视图布局、图形绘制等的视觉审美中,还蕴含在图学科学的求真求简之美,工程表达的严谨求实之美中。工程图学的投影与变换、形体分析等方法也蕴含着复杂问题简单化、多维度、多视角综合的辩证思维。

2 图形思维与计算思维

2.1 图形思维

人类主要借助图形以及文字、数字等符号表达思想及传播信息。与文字和数字相比,图形能更好地呈现事物的整体性和事物之间的关联性。“一图胜千言”,图形发挥人的视觉优势,不仅仅是人类表达思想的载体,也是思考和解决问题的有效手段。

工程设计的对象是有形的实体,并通过图形表达设计结果。工程设计中图形思维的一般过程是:从“形”的整体规划问题,借助大脑形成各角度的“像”,寻求最佳地分析视角;进而在平面上提炼出问题的“画”;并借助几何关系作图等方式简化问题,最终合成整体问题的全局解。这种图形思维发挥人的空间直觉优势,运用空间结构整体思维,逐级分解相互关系,并借助图形实现无歧义表达与计算。

2.2 计算思维

计算思维是形成问题及其解决方案所涉及的思考过程,以解决复杂的开放性问题为典型特征,计算结果可以通过人、机或人机结合的方式获得^[13-14]。计算思维已经成为计算时代学生应具备的基本思维能力。依据直觉,形成空间印象,继而形成概念,完成信息处理与交流。这个过程本质上是一个计算过程。

画法几何蕴含严谨完备的基于图形的计算思维,建立了空间形体与平面图形表达和计算的严密理论。这种双向转换的实现需要严格的形象思维训练作为保障。图形主要有2种计算方法:以图解为主的综合法和以代数为主的解析法。工程图学以画法几何学为理论基础,且与解析法的代数化不同。

随着图形计算软硬件技术的发展,为摆脱被迫适应计算机的基于数字认知的代数计算思维创造了条件。人类的计算思维价值更应体现在计算机不擅长的;在图形计算上,应发挥人的图形思维优势。

2.3 图形计算思维

工程中的图形计算思维,是基于图形的计算思维,既借助图形思维解决图形的计算,最后解决工程问题。与计算机的数字计算相比,人更擅长这种基于图形的计算思维。

需要综合图形的直观和数字计算的快速,摆脱传统理论基于尺规作图的束缚,构建适应并能引领成图技术发展、解决复杂工程问题的图形计算思维。在工程图学中主要体现为:

(1) 不同维度下的形体表达与理解。基于平面与空间的双向维度转换,培养借助平面图形表达、分析和图解三维信息的思维能力。二维表达介质已由图纸扩展为屏幕(电脑、手机、智能眼镜等等),在图形显示屏幕无处不在的“读图”时代,不同维度间的转换也将无处不在。

(2) 几何关系的表达与计算。基于工程形体及图元的逐级构造与分解理论的几何关系分析思维能力。图形的复杂性决定于图元之间的相互关系。不管采用何种技术或手段,形体表达、构造和计算的关键都是形体的几何间关系的重组。借助于图形辅助或基于图形的计算有助于几何关系的表达、重构和计算。

2.4 应用与作用

计算时代,越来越依赖图学计算思维去提炼和解决问题,并借助各种图形模拟、计算、创造有形世界。这既是新时代工程设计、表达的思维基础,也将为新一代 CAD 系统的研发、计算机图形学新理论的发展奠定思维基础。其应用与研究价值主要体现在以下几个方面。

(1) 严谨的图形计算思维在工程问题分析简化、创新设计等具有优势。几何关系与维度关系分析是复杂产品设计及工程问题计算的基础。基于图形维度关系的多维度关联计算模型、基于投影降维以及几何关系的全局关系模型等,可为构建工程适用复杂产品数字孪生模型提供思路,也将为图形智能计算提供基础。

(2) 图形计算思维在复杂工程问题的稳定计算等方面具有优势。画法几何理论在工程计算的应用^[15-17],需要基于对画法几何的投影、2D-3D 对应和尺规作图以及轴测图、阴影与透视等理论本

质的深入理解。基于画法几何的图形计算思维,构建的“形计算”理论已在基本几何关系求解中体现出优势^[18-20]。

3 共性基础

综合工程图学与计算机图形学等图学分支的内在联系及对 CAD 的支撑作用,在文献[1]的内涵研究基础上,深入分析工程图学中蕴含的共性核心知识与共性图形计算思维。

(1) 共性理论基础——几何构造层次关系与投影对应关系。工程图与计算机图形学均是研究图形表达与计算的学科。其中,几何元素的表达与构造是两者的共同基础,也是开发 CAD 系统的理论与应用基础。三维 CAD 必须精确表达拓扑关系,对构造顺序、构造关系有严格要求。三维建模应用中,若没有较强的形体分析以及维度转换思维能力,即使对照实物,也很难正确、规范地构建出复杂的工程几何形体。制订三维表达标准的难点之一是如何用尽量少的投影视图去直观、无歧义地表达三维形体的构造关系在数控加工、3D 打印等技术的支撑软件,同样需要画法几何投影理论与构造关系的支撑。

(2) 共性思维基础——图形思维与计算思维。工程图学与计算机图形学都基于图形思维,在表达、理解和求解中,两者均需考虑降维和升维。如,工程图学中形体的投影表达,即为降维,而在图纸交流中即为基于多视图的升维。计算机图形学中扫描造型时,先分析实施扫描的平面和平面图形,再将平面图形沿另一维度“拉伸”得到空间形体。图学计算存在实体空间与表示空间、思维空间与计算空间等的不统一,需要发挥人的空间思维特长,基于图形计算思维解决。

(3) 共性技术基础——基本几何问题的求解。无论采用何种成图方式,均要先根据已知条件分析图形构造原理。工程图学用极少的工具组合进行构造性求解的原理,蕴含复杂几何分解构造的思想,为降低图形计算复杂度提供新的方向,不但是 CAD 软件构造几何图形的基础,也是智能 CAD 的发展目标之一。

(4) 共性规范标准基础——工程信息的完备表达。工程图除了准确、无歧义表达工程几何信息外,还要表达各种与加工制造等有关的技术要求信息,如尺寸公差、几何公差、表面结构以及各种常见工艺结构、特殊表示法等。现有制图规范标准已对各

以及基于图形计算简化复杂工程问题的能力基础。

三维设计基础。了解三维建模的基本原理和常用方法,学习面向三维设计的建模与创新构造能力。仿照复杂形体的构造过程,掌握自下而上和自上而下的设计方法,零部件编号规则、零件分析与构造、装配关系分析与配合等。

5 结束语

为适应我国现代制造业发展,阐述了计算时代工程图学学科的认知与定位;在分析工程图学蕴含多元思维的内涵与作用的基础上,确立了图形计算思维,并探索将其应用于共性基础中,从而构筑了一个融合多元思维的工程图学学科架构与核心知识体系,以期进一步促进工程图学教育教学、科学研究与人才培养质量的提升。

在我国实现工业实体强国、制造强国进程中,迫切需要完善与图学计算相关的研究。工程图学以无歧义简化表达和计算工程问题理论蕴含的科学价值,构建新一代工业软件,解决制造业工程中的“精确问题”提供理论、方法、技术、平台甚至思维指导。

参考文献 (References)

- [1] 李培根. 工程教育需要大工程观[J]. 高等工程教育研究, 2011(3): 1-3, 59.
LI P G. Engineering education needs the view of engineering with A big E[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2011(3): 1-3, 59 (in Chinese).
- [2] 李伯聪. 工程思维的性质和认识史及其对工程教育改革的启示: 工程教育哲学笔记之三[J]. 高等工程教育研究, 2018(4): 45-54.
LI B C. Nature and cognition history of engineering thinking and its enlightenment to engineering education reform—notes on emerging engineering education(III)[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2018(4): 45-54 (in Chinese).
- [3] 于海燕, 彭正洪, 何援军, 等. 工程图学内涵的变化与发展[J]. 图学学报, 2018, 39(5): 990-995.
YU H Y, PENG Z H, HE Y J, et al. Changing and developing of connotation on engineering graphics[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(5): 990-995 (in Chinese).
- [4] 童秉枢, 田凌, 冯涓. 10 年来我国工程图学教学改革中的问题、认识与成果[J]. 工程图学学报, 2008, 29(4): 1-5.
TONG B S, TIAN L, FENG J. Problems and achievements of engineering graphics teaching reform in recent 10 years[J]. Journal of Engineering Graphics, 2008, 29(4): 1-5 (in Chinese).
- [5] 童秉枢. 图学思维的研究与训练[J]. 工程图学学报, 2010, 31(1): 1-5.
TONG B S. Research and training on graphics thinking[J]. Journal of Engineering Graphics, 2010, 31(1): 1-5 (in Chinese).
- [6] 陆国栋, 孙毅, 费少梅, 等. 面向思维力、表达力、工程力培养的图学教学改革[J]. 高等工程教育研究, 2015(5): 1-7, 58.
LU G D, SUN Y, FEI S M, et al. Graph-teaching reform on the cultivation of thinking ability, expressiveness and engineering competency[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2015(5): 1-7, 58 (in Chinese).
- [7] 张宗波, 王珉, 吴宝贵, 等. “线上+线下融合式”工程图学课程建设与教学实践[J]. 图学学报, 2016, 37(5): 718-725.
ZHANG Z B, WANG M, WU B G, et al. Engineering graphics course construction and teaching practice based on "online and offline hybridized education mode"[J]. Journal of Graphics, 2016, 37(5): 718-725 (in Chinese).
- [8] 刘衍聪, 马晓丽, 伊鹏. 现代图学教学中的图感因素探析[J]. 图学学报, 2013, 34(6): 110-113.
LIU Y C, MA X L, YI P. Analysis of sense of drawing factors in modern graphics teaching[J]. Journal of Graphics, 2013, 34(6): 110-113 (in Chinese).
- [9] 中国图学会. 2018-2019 图学学科发展报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2020: 3-38.
China Graphics Society. 2018-2019 Report on advances in graphics[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2020: 3-38 (in Chinese).
- [10] 中国图学会. 2012-2013 图学学科发展报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014: 3-40.
China Graphics Society. 2012-2013 Report on advances in graphics[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2014: 3-40 (in Chinese).
- [11] 杜善义. 工程科学与科技强国[J]. 科技导报, 2020, 38(10): 41-43.
DU S Y. Engineering Science and powerful country of science and technology[J]. Science & Technology Review, 2020, 38(10): 41-43 (in Chinese).
- [12] GARDNER H. Multiple intelligence: new horizons[M]. New York: Basic Books, 2006: 3-20.
- [13] WING J M. Computational thinking[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(3): 33-35.
- [14] WING J M. Computational thinking: what and why? [EB/OL]. (2010-09-17) [2021-06-01]. <http://www.exploringcs.org/wpcontent/uploads/2010/09/Wing-CT-Article.pdf>.
- [15] MIGLIARI R. Descriptive geometry: from its past to its future[J]. Nexus Network Journal, 2012, 14(3): 555-571.
- [16] PRADO-VELASCO M, MARÍN R O, GARCÍA L, et al. Graphical modelling with computer extended descriptive geometry (CeDG): description and comparison with CAD[EB/OL]. [2021-06-12]. [http://cad-journal.net/files/vol_18/CAD_18\(2\)_2021_272-284.pdf](http://cad-journal.net/files/vol_18/CAD_18(2)_2021_272-284.pdf).
- [17] 于海燕, 蔡鸿明, 何援军. 图学计算基础[J]. 图学学报, 2013, 34(6): 1-5.
YU H Y, CAI H M, HE Y J. The computational basis of graphics[J]. Journal of Graphics, 2013, 34(6): 1-5 (in Chinese).
- [18] 何援军. 几何计算[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 21-163.
HE Y J. Geometric Computing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2013: 121-163 (in Chinese).
- [19] 何援军. 图学计算基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018: 110-133.
HE Y J. Fundamentals of Graphics Computing[M]. Beijing: China Machine Press, 2018: 110-133 (in Chinese).
- [20] YU H Y, HE Y J, ZHANG W J. A new approach to analyzing interactions of two objects in space based on a specially-tailored local coordinate system[EB/OL]. [2021-06-12]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9409150>.