组合体尺寸标注的渐进式分形建导教学方法

刘 瑜[1]， 周甲伟[2]

(1. 河南理工大学机械与动力工程学院，河南 焦作 454000；
2. 华北水利水电大学机械学院，河南 郑州 450045)

摘 要：针对工程图学课程教学的重点和难点——组合体尺寸标注，基于尺寸标注的连贯性和组合体的形体分解，提出采用渐进式分形建导教学方法。通过渐进式教学方法，根据几何形体的相似性，在每一环节都采用分形建导思想，将复杂形体逐渐分解为简单形体，最终确定组合体的尺寸标注方案。尺寸标注分形建导方法的迭代规则为“拆、形、位、合”，对应于拆分形体、确定定形尺寸个数、确定定位尺寸个数、进行尺寸去重复化。明确尺寸去重复化的 3 点原则，并结合不同形体对尺寸标注的分形建导方法进行了应用。将渐进式分形建导教学方法应用于组合体的尺寸标注，可以充分利用形体的相似性，引导学生循序渐进地完成组合体的尺寸标注， 以达到组合体尺寸正确、完整的标注效果。

关 键 词：组合体尺寸标注；渐进式；分形；建导；迭代规则
中图分类号：G 642 **DOI：**10.11996/JG.j.2095-302X.2018030579
文献标识码：A **文 章 编 号：**2095-302X(2018)03-0579-08

Progressive Fractal Facilitation Teaching Method for Composite Solid Dimensioning

LIU Yu[1], ZHOU Jiawei[2]

(1. School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454000, China;
2. School of Mechanical Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, zhengzhou Henan 450045, China)

Abstract: Composite solid dimensioning is of great significance and difficulty in engineering graphics teaching. A progressive fractal facilitation teaching method is proposed based on the coherence of dimensioning and the shape decomposition of composite solid. The fractal facilitation method is employed in each step to decompose the complicated composite solid into simple one, through the progressive teaching method by means of taking into account the similarity of geometric solid. The iteration rule for the fractal facilitation method of dimensioning can be referred to as decomposing, shaping, locating and merging, which is corresponding to steps of decomposing the composite solid, ascertaining the number of shape size, ensuring the number of location size, and merging the repetition sizes. Three principles of dimensioning de-duplication have to be identified, and the fractal facilitation method for dimensioning is applied, in terms of different composite solids. The application of the progressive fractal facilitation method of dimensioning can take full advantage of the similarity of geometric solid, and lead students to accomplish the dimensioning of composite solid gradually, thus attaining a correct and complete dimensioning of composite solid.

Keywords: dimensioning for composite solid; progressive; fractal; facilitation; iteration rule

---

收稿日期：2017-02-09；**定稿日期：**2017-04-03
基金项目：国家自然科学基金项目(51404096)；河南省高等教育教学改革研究项目(2012SJGLX127)
第一作者：刘 瑜(1984–)，女，河北吴桥人，副教授，博士。主要研究方向为工程图学、矿山机械设计。E-mail：hsifsmall@163.com

工程图样是表示物体形状、大小以及技术要求的图样，有“工程界的语言”之称[1-3]。物体的形状结构在图样中由视图来表达，而物体的大小则通过尺寸标注实现。尺寸标注作为工程图样的重要组成部分，不但能够确定零件的大小及相对位置，更是加工和检测零件的重要依据[4]。尺寸标注具有针对性，对于某物体的尺寸标注，不能生搬硬套到另一物体；同时，尺寸标注也具有多样性，形状结构存在差异的物体，其尺寸标注也会随之变化。因此，尺寸标注既是工程图学课程教学的重点又是教学的难点。

国家标准对尺寸标注的要求是正确、完整、清晰、合理。尺寸的合理性在零件图和装配图中体现，不仅需要广泛的专业知识，还需要丰富的实际生产经验，在工程图学课程中难以完全实现。因此，工程图学课程教学中对尺寸标注的要求主要是正确、完整、清晰。组合体尺寸标注由于没有性能和工艺性的要求，只需要考虑几何的完整性，是引导学生掌握尺寸标注内容的核心所在。

现有教材对尺寸标注内容的编写一般有两种模式。第一种模式是将尺寸的正确性放置于技术制图标准中进行讲解，而尺寸的其他要求则放置于组合体的尺寸标注一节进行讲解[5]；第二种模式是将尺寸标注作为单独一章，从正确性到完整性、清晰性依次进行讲解[6]。无论哪一种模式，都是先介绍基本形体的尺寸标注，然后直接过渡到组合体尺寸标注，缺乏连贯性和方法性的指导，学生在学完该内容后，仍然不具备清晰的思维，无法达到组合体尺寸标注的完整性要求。鉴于此，一些学者试图寻求组合体尺寸标注的有效教学方法，比如“叠加型组合体尺寸标注的教学分析方法研究”[7]、“工程制图课程教学中组合体尺寸标注的三基法”[8]等，都为学生能够掌握尺寸标注提供了很大帮助。

本文采用渐进式教学方法，根据几何形体的相似性，借助于分形和建导理论，引导学生循序渐进，按照一定规律对组合体进行尺寸标注，以期对尺寸标注的教学有所帮助。

1 渐进式分形建导的基本思想

随着我国高等教育的发展以及教育改革的推进，渐进式教育教学方法成为各高校进行课程改革和人才培养的主要方式[9-11]。从大一新生的入学教育到课程教学体系建设，都有教育工作者在进行渐进式教育模式的尝试。渐进式教育教学方法，以系统性和连续性为前提，将整个培养过程视为整体，按照由浅入深或者由基础到提高的思路，通过循序渐进的方式，使学生逐渐掌握知识技能，以达到预期培养目标。

分形是一种自相似行为，既可以是几何意义上的严格相似，也可以是规律、特征等的统计相似或者近似相似。以专业培养为例，一门课程可以视为一个整体，多个相关课程可以视为一个整体，全部培养方案也可以视为一个整体，在每个整体内部都可以有渐进式的教育思维，使大整体和小整体教学方法具有相似性，彼此之间又具有连贯性，是分形在教学方法中的体现。

共识建导是通过引导他人积极参与、营造活跃氛围，进而达到预期目的的方法。其主要作用在于积极引导他人主动参与互动，激发思考。传统共识建导包含“引言、调动、陈述和回顾”4 个环节，可以用于解决不同规模不同类型的实际问题。在采用共识建导方法的过程中，将复杂问题运用“引言、调动、陈述和回顾”拆分为更多子问题，并对子问题继续运用“引言、调动、陈述和回顾”进行拆分，如此不断反复，直至得到问题最终的解决途径，该过程是分形思想在共识建导中的体现，具有自相似性，被称之为分形建导过程[12]。而“引言、调动、陈述和回顾”4 个环节就是分形建导的一种迭代规则。

采用渐进式教育教学方法，依据分形建导思想确定某种迭代规则，在人才培养和课堂教学过程中重复使用迭代规则，使复杂问题不断分化为新的小问题，直到获得小问题的最直接解决方案，形成具有连续性和相似性的分形整体，并将分化过程串联，最终确定解决复杂问题的可行方案，就是渐进式分形建导方法的基本思想。

2 尺寸标注的渐进式分形建导教学方法

正确、完整、清晰作为组合体尺寸标注的具体要求，其内部已经存在由基础到提高的渐进过程。正确是国家标准明确给出的规则，是尺寸标注的基础；完整、清晰则是在保证正确的前提下，对组合体尺寸标注的较高要求。在课程教学过程中，采用图 1 所示的教学体系，首先要遵循其内部的渐进性，

引导学生掌握尺寸标注的正确性，然后对完整、清晰同样采用渐进式方法，根据形体由简单到复杂的特点进行分形建导教学。

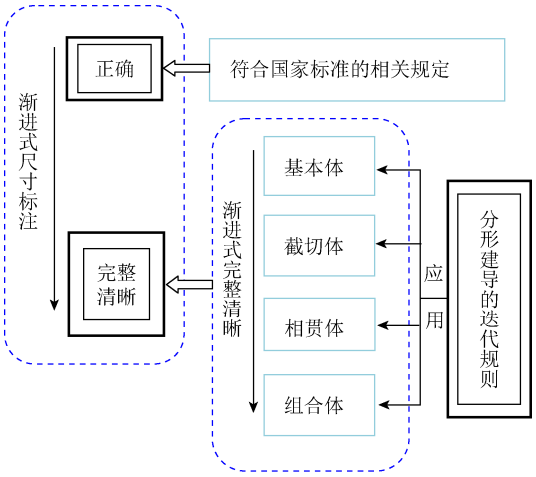


图 1　尺寸标注的渐进式分形建导教学体系

2.1　分形建导的迭代规则

渐进式分形建导教学方法要根据不同的内容确定具有针对性的迭代规则。从图 1 可以看到，对尺寸标注教学而言，其分形建导主要体现在渐进式完整清晰的教学过程中，所确定的迭代规则应以实现完整清晰为目标，并且具有普适性和可重复性。经过长期的教学积累与实践，结合尺寸标注自身的特点，将迭代规则确定为“拆、形、位、合”四字诀。拆，对复杂形体进行拆分，按照最直接的叠加和挖切进行拆分，不要一次拆为基本形体；形，确定所拆分形体的形状尺寸个数(即定形尺寸个数)，对于还可以继续拆分的形体，其定形尺寸个数需要通过新的迭代来确定；位，确定形体间的相对位置尺寸个数(即定位尺寸个数)，具体尺寸个数与尺寸基准相关联；合，将拆分的形体还原为复杂形体，对尺寸进行去重复化，得到完整清晰的尺寸标注。

以“拆、形、位、合”为迭代规则的分形建导思路，在实施过程中的迭代方式为：获得节点(即学生接触到需要标注尺寸的形体)，对其实行分形建导迭代规则(即对形体进行直接拆分、形状和位置分析)，生成下一层次的节点(即在拆分后形成新的形体)，重复迭代此过程，直至确定形体的全部尺寸。需要特别指出的是，迭代规则中的“合”是在所有节点都生成后向复杂形体返回的过程，要在所有节点的“拆、形、位”都迭代完成后，再对节点依次进行“合”的操作。在“合”的过程中，主要任务是尺寸的去重复化。结合尺寸标注的要求，对“合”的操作提出以下 3 点要遵循的原则：① 所有数值为零的定位尺寸均不标注；② 与其他节点已有尺寸重复或者构成封闭尺寸链的尺寸均不标注；③ 以对称面或回转轴为定位基准时，形体对称面或回转轴与基准重合，视为定位尺寸数值为零，不需标注。

2.2　渐进式分形建导尺寸标注的具体实施方案

渐进式分形建导尺寸标注的具体实施方案见表 1。结合形体的投影特征，将尺寸和投影关联在一起，由浅入深、由简单到复杂循序渐进的推进尺寸标注的分形建导方法。立体的三面投影需要根据其尺寸来确定，在课堂教学中，把尺寸标注和投影图联系起来讲授，学生更容易掌握尺寸的必要性。以基本体为例，对其实行分形建导迭代规则如下：拆——单一形体，不需要进一步拆分，也就是最小分形元；形——确定形体的定形尺寸个数，不重复、不遗漏，比如圆柱，需要底面直径和高 2 个定形尺寸，二者缺一则无法完成投影图，而增加尺寸就会引起重复或者矛盾；位——确定拆分形体之间的定位尺寸个数，由于是单一形体，不存在相对位置，定位尺寸个数为 0；合——将所有迭代进行还原，检查尺寸的重复性，确定形体的尺寸标注。所有复杂形体通过多次拆分，都可以细化为基本体的叠加和切割过程，因此基本体的尺寸标注是基础环节。在教学过程中，需要引导学生对照投影和尺寸，明确定形尺寸与投影之间的一对一关系，使学生深刻认识到尺寸完整清晰对于三面投影的意义，并初步掌握分形建导尺寸标注的方法。

表 1 中，“拆”字诀将形体拆分为基本体和截平面后，“形”字诀的定形尺寸个数由形体决定。教师要在这一阶段充分发挥建导的作用，引导学生对照投影确定不同基本体需要的定形尺寸个数，使其深入理解完整性中“不重不漏”的要求，为进行复杂形体的尺寸标注奠定良好的基础。“位”字诀确定定位尺寸的个数。对于有相对位置的基本体，长、宽、高三个方向都应该有定位尺寸(包括定位尺寸数值为零的情况)，因此表 1 中除了单一形体以外，基本体的定位尺寸个数都为 3 个。对于截平面，其定位尺寸的个数由截平面相对于投影面的位置确定，投影面平行面的定位尺寸个数为 1 个，投影面垂直面的定位尺寸个数为 4 个(都包括定位尺寸数值为零的情况)。“合”字诀将“形”和“位”确定的尺寸个数进行去重复化，需要减去尺寸数值为零的尺

寸个数，对于多个相互重复的尺寸只保留其中 1 个。假设经过去重复化后，组合体的定形尺寸个数为 A 个，定位尺寸个数为 B 个，则组合体的合尺寸个数为 $A+B$ 个。

表 1　渐进式分形建导尺寸标注的具体实施方案

形体	投影特性	分形建导的尺寸标注			
		拆	形	位	合
基本体	立体的投影	单一形体	个数由形体确定	0 个	形状尺寸个数
截切体	截交线的求解方法	基本体	个数由形体确定	3 个	去重复化后，形状尺寸个数+位置尺寸个数
		截平面	0 个	投影面平行面 1 个 投影面垂直面 4 个	
相贯体	相贯线的求解方法	基本体 1	个数由形体确定	3 个	去重复化后，形状尺寸个数+位置尺寸个数
		基本体 2	个数由形体确定	3 个	
组合体	三视图 (形体分析法、线面分析法)	基本体	个数由形体确定	3 个	去重复化后，形状尺寸个数+位置尺寸个数 (逐层去重复化)
		截平面	0 个	投影面平行面 1 个 投影面垂直面 4 个	
		简单形体 基本体	个数由形体确定	3 个	
		简单形体 截平面	0 个	投影面平行面 1 个 投影面垂直面 4 个	
		简单形体 (迭代拆分)……	……	……	

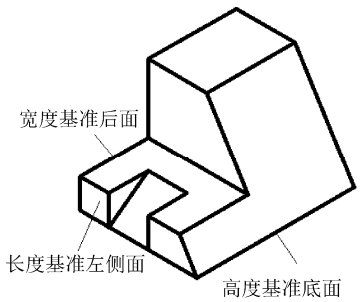
3　分形建导尺寸标注实例

3.1　截切体的尺寸标注

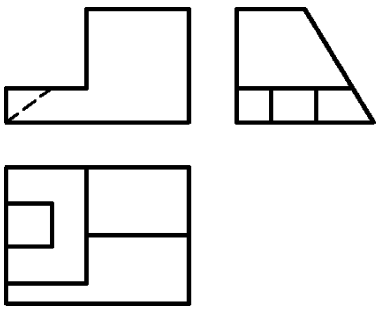
以图 2 所示截切体为例，对其运用分形建导方法进行尺寸标注，具体的迭代过程如图 3 所示。

拆：该形体由基本体通过多个截平面截切得到，可以拆分为四棱柱 1、侧垂面 2、截切组合 3 以及截切组合 4。形：四棱柱 1 已经是基本体，其定形尺寸个数为长、宽、高 3 个尺寸；侧垂面 2 在空间上无限大，定形尺寸个数为 0，只需要确定空间位置即可；截切组合 3 和截切组合 4 作为下一层次的分形元，需再次进行“拆、形、位”的迭代操作。位：在分析定位尺寸之前，需要确定主要基准，由于图 2 所示截切体无回转轴、不具有对称性，将形体上的平面确定为尺寸基准，该形体长、宽、高三个方向的主要基准依次为形体的左侧面、后表面和底面；四棱柱 1 需要 3 个定位尺寸确定其位置；侧垂面 2 的位置通过其积聚性投影来确定，需要 4 个定位尺寸。如图 3(a)所示，截切体第一层次的分形建导过程结束。

继续对截切组合 3 和截切组合 4 进行“拆、形、位”的迭代。由图 3(b)可知，截切组合 3 可以拆分为水平面 3-1 和侧平面 3-2，定形尺寸个数都为 0，均为投影面平行面，定位尺寸个数都为 1；截平面组合 4 可以拆分为正平面 4-1、正垂面 4-2 和正平面 4-3，定形尺寸个数都为 0，正平面 4-1 和正平面 4-3 的定位尺寸个数都为 1，正垂面 4-2 的定位尺寸个数为 4。

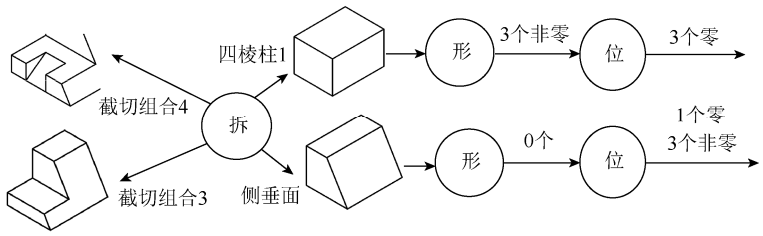


(a) 截切体的轴测图

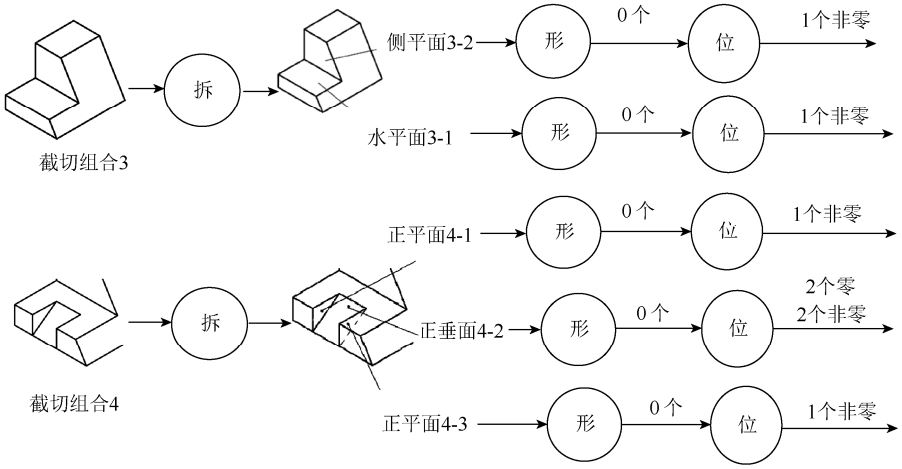


(b) 截切体的三视图

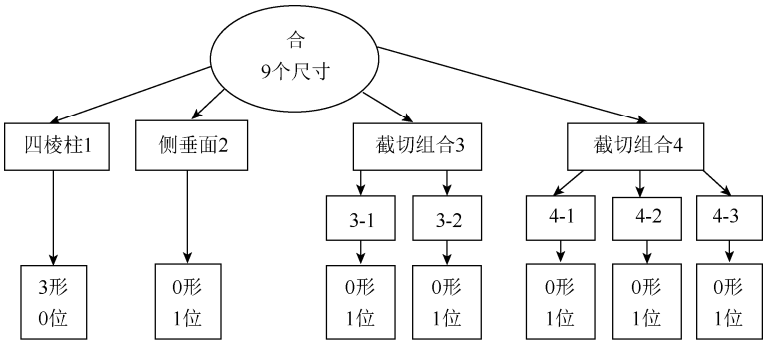
图 2　截切体示例



(a) 截切体第一层次的分形建导过程



(b) 截切体第二层次的分形建导过程



(c) 截切体分形建导的“合”去重复化过程

图 3　截切形体尺寸标注的分形建导迭代过程

所有层次节点均迭代结束，需要逐层进行“合”的操作， 按照“合”操作的 3 点原则，图 3(c)所示截切体“合”的过程为：四棱柱 1 的 3 个定位尺寸数值均为零，不需标注，其定形尺寸个数为 3，定位尺寸个数为 0；侧垂面 2 的 1 个定位尺寸数值为零，2 个定位尺寸分别与四棱柱的高度尺寸和宽度尺寸重复，都不需标注，其定形尺寸个数为 0，定位尺寸个数为 1；水平面 3-1 和侧平面 3-2 的定位尺寸数值都为非零，其定形尺寸个数都为 0，定位尺寸个数都为 1；正平面 4-1 和正平面 4-3 的定位尺寸数值都为非零，其定形尺寸个数都为 0，定位尺寸个数都为 1；正垂面 4-2 的 2 个定位尺寸数值为零，1 个与水平面 3-1 的定位尺寸重复，都不需标注，其定形尺寸个数为 0，定位尺寸个数为 1。将所有层次节点的定形尺寸个数和定位尺寸个数相加，得到该截切体需要 3 个定形尺寸，6 个定位尺寸，共 9 个尺寸，其完整的尺寸如图 4 所示。

3.2　组合体的尺寸标注

以图 5 所示组合体为例，对其运用分形建导方法进行尺寸标注。

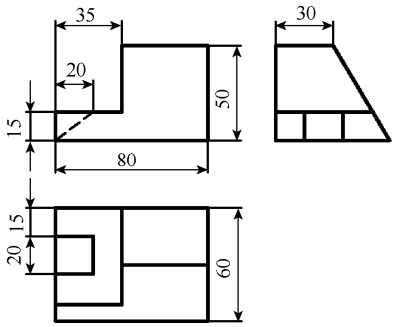


图 4 截切形体的尺寸标注

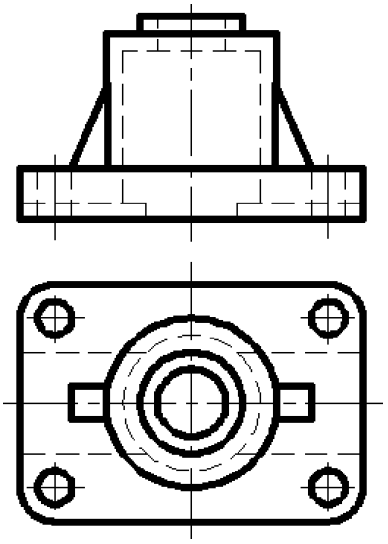


图 5 组合体示例

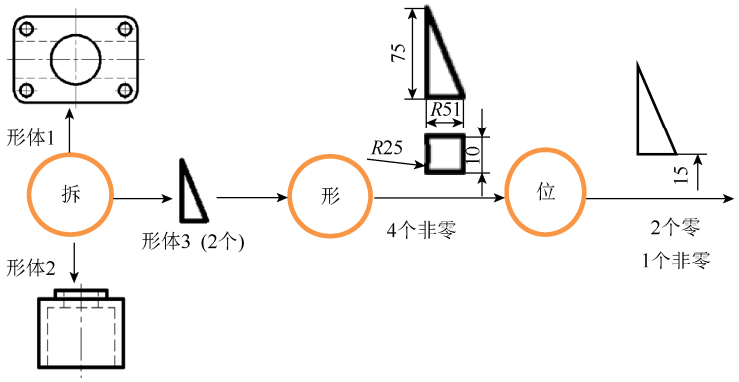
第一层次的分形建导过程如图 6(a)所示。拆：该形体的主要组合特征为叠加形体，可以拆分为 3 种节点形体，其中形体 3 有两个，并且位置对称。形体 1 和形体 2 可以继续拆分。形：只有形体 3 为单一形体，如图 6(a)中所示形体 3 的定形尺寸个数为 4。位：图 5 所示组合体前后左右对称，选择对称面为长度和宽度方向的尺寸基准，底面为高度方向的尺寸基准，形体 3 的定位尺寸个数为 3。

第二层次的分形建导过程如图 6(b)和 6(c)所示，分别对形体 1 和形体 2 进行迭代操作。形体 1 的分形建导过程如图 6(b)所示。拆：形体 1 可以拆分为基本体 1-1，挖切体 1-2、1-3 和 1-4，其中挖切体 1-3 有 4 个。形：形体 1 拆分后形成的 4 个子形体都为单一形体，基本体 1-1 的定形尺寸个数为 4，分别对应于基本体 1-1 的长、宽、高和圆角；挖切体 1-2 的定形尺寸个数为 2，分别对应于挖切体 1-2 的直径和高；挖切体 1-3 的定形尺寸个数为 2，对应于挖切体 1-3 的直径和高；挖切体 1-4 的定形尺寸个数为 3，对应于挖切体 1-4 的长、宽和高。位：4 个子形体的定位尺寸个数都为 3 个。形体 2 的分形建导过程如图 6(c)所示。拆：形体 2 可以拆分为基本体 2-1 和 2-2，挖切体 2-3 和 2-4。形：形体 2 拆分后形成的 4 个子形体都为单一形体，4 个子形体的定形尺寸个数都为 2，均对应于直径和高。位：4 个子形体的定位尺寸个数都为 3。

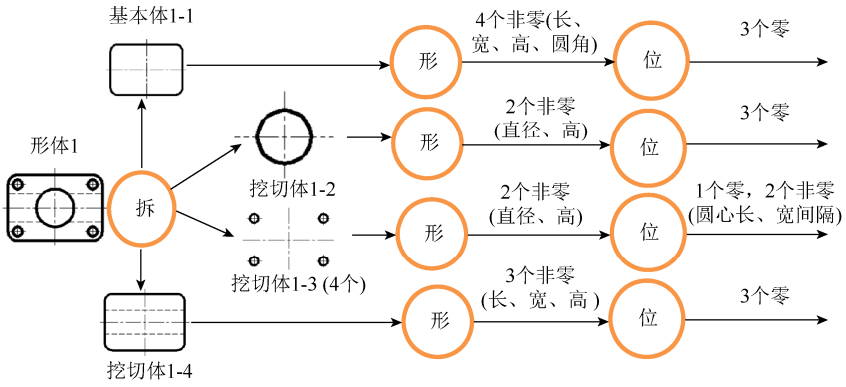
所有层次节点的定形和定位尺寸都确定后，对各个节点进行“合”的操作。按照尺寸去重复化的 3 点原则，得到各个节点“合”操作后的尺寸，如图 6(d)所示：①将各形体中定位尺寸数值为零的尺寸个数去除；②形体 1 的 4 个子形体高度尺寸都相同，只保留基本体 1-1 的高度尺寸，其余子形体的定形尺寸个数都减 1；③形体 2 中各子形体高度方向定位尺寸与已有形状尺寸重复，将各子形体的定位尺寸个数减 1，子形体 2-3 与子形体 1-2 为同一圆孔，直径尺寸标注 1 次，将子形体 2-3 的定形尺寸个数减 1；④形体 3 中半径尺寸与子形体 2-1 的直径尺寸为同一尺寸，只标注 1 次，将形体 3 的定形尺寸个数减 1。最终，经过去重复化，得到该组合形体的定形尺寸个数为 17，定位尺寸个数为 2，总尺寸个数为 19，其具体标注如图 7(a)所示。

采用分形建导方法对图 5 所示组合体进行尺寸分析，最终得到图 7(a)所示的尺寸标注。仅就完整性而言，图 7(a)的标注结果已经达到要求，但是从尺寸标注的合理性来看，图 7(a)中还有少量尺寸需要进行调整。形体 3 中数值为 10.51 的定形尺寸，该尺寸数值是由形体相贯后得到，不可以直接标注尺寸，因此应调整为图 7(b)所示形体 3 在该方向的定位尺寸，数值为 70；组合体高度方向无总体尺寸，需要在组成总体高度的三个连续尺寸中去掉一个，将数值为 5 的尺寸去掉，并添加总体尺寸，数值为 60。调整后组合体的尺寸标注如图 7(b)所示。

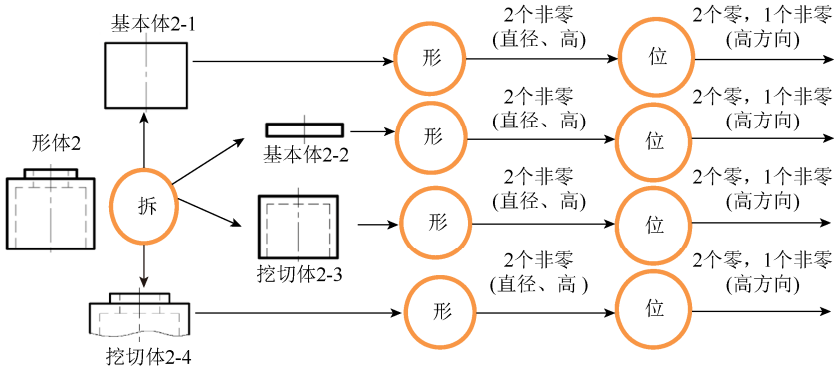
需要特别说明的是，图 3 和图 6 所示的尺寸标注分形建导迭代过程适用于刚接触尺寸标注的初学者，该阶段主要训练学生扎实基础知识和基本方法，要尽可能将形体拆分至基本体，培养学生对尺寸完整性的认识。随着渐进式尺寸标注教学的开展，学生对尺寸完整性的理解不断深入，对尺寸标注熟练程度不断增加，可以逐渐简少迭代次数，将简单复合形体(例如图 6(a)中的形体 1 和形体 2)作为整体直接进行“形、位、合”的操作，不再进行下一层次的迭代。



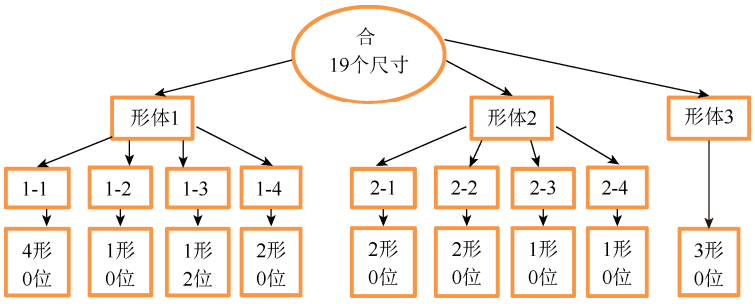
(a) 组合体第一层次的分形建导过程



(b) 第二层次形体 1 的分形建导过程

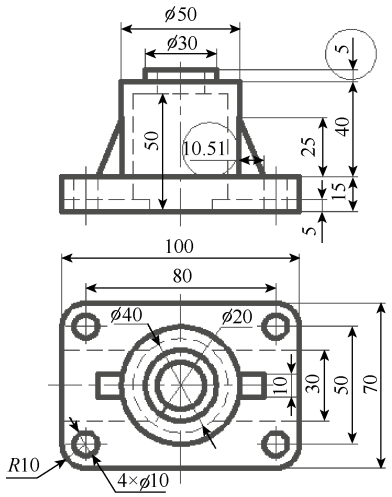


(c) 第二层次形体 2 的分形建导过程

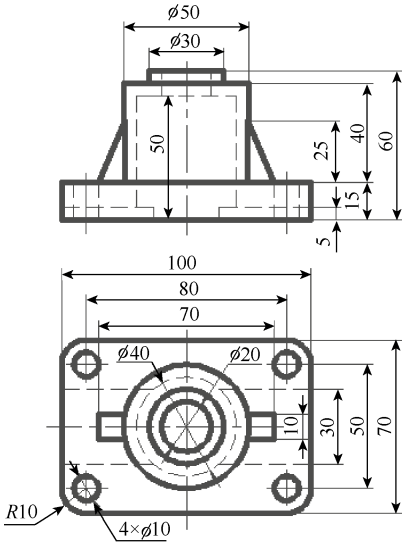


(d) 组合体分形建导的“合”去重复化过程

图 6　组合体尺寸标注的分形建导迭代过程



(a) 分形建导的尺寸标注



(b) 调整后的尺寸标注

图 7 组合体的尺寸标注

4 结 束 语

组合体的尺寸标注是《工程图学》教学的重点和难点，学生往往难以掌握。本文从几何形体的相似性出发，提出了尺寸标注的渐进式分形建导教学方法，为尺寸标注的教学提供一种新的思路，具体包括以下 4 个方面：

(1) 对尺寸标注的教学可以采用循序渐进的方式，结合形体的投影特征进行教学，教学过程按照基本体、截切体、相贯体、组合体的顺序由浅入深的展开，而尺寸标注的方法则采用分形建导的模式，通过化整为零、逐层简化的方法，将复杂形体都拆分为基本体进行标注。

(2) 组合体尺寸标注分形建导的迭代规则为“拆、形、位、合”，分别对应于拆分形体、确定形体的定形尺寸个数、确定形体的定位尺寸个数、将所有尺寸整理并去重复化。具体实施方式为：对组合体重复使用“拆、形、位”的迭代规则，直至拆分为基本体，定形尺寸个数和定位尺寸个数都可以直接确定，再进行“合”的迭代规则，对所有尺寸去重复化，得到组合体的尺寸标注个数。

(3) 尺寸去重复化，需要遵循 3 点原则，将与已有尺寸重复或者尺寸数值为零的尺寸去除。

(4) 采用渐进式分形建导方法对形体进行尺寸标注，主要帮助学生理解和实现尺寸标注的完整性要求，在尺寸分析结束后，还应该结合尺寸标注的合理性对少量不合适的尺寸进行调整。

参 考 文 献

[1] 段鹏, 韩光伟, 巩琦. 基于通识教育理念的《工程制图》教材建设的探讨[J]. 中国大学教学, 2012(9): 89-90.

[2] MUTALIB A A, HAMID R, ISA F L M, et al. Evaluation of the engineering graphics course outcomes using multi-choice questions [J]. Procedia Social and Behavioral Sciences, 2012, 60: 189-195.

[3] 王珉, 张宗波, 伊鹏, 等. 以图学能力内化为中心的效果导向型教学模式探索与实践[J]. 图学学报, 2016, 37(4): 567-572.

[4] 程亚龙, 刘晓军, 刘金锋. 基于轨迹相交的三维顺序尺寸标注完备性检查[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(8): 1799-1806.

[5] 白聿钦, 莫亚林. 现代机械工程制图[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013: 9-14, 168-176.

[6] 邹宜侯, 窦墨林, 潘海东. 机械制图[M]. 第 6 版. 北京: 清华大学出版社, 2012: 245-258.

[7] 易声耀, 尚建中, 徐海军. 叠加型组合体尺寸标注的教学分析方法研究[J]. 图学学报, 2014, 35(4): 607-612.

[8] 胡东, 唐川林, 曾莹, 等. 工程制图课程教学中组合体尺寸标注的三基法[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(3): 97-100.

[9] 陈文祥. 大学生学术论文写作渐进式培养模式研究[J]. 中国大学教学, 2015(10): 60-64.

[10] 尹军霞, 沈国娟. 渐进式研究性教学模式在地方院校微生物实验教学中的探索与实践[J]. 微生物学通报, 2013, 40(9): 1703-1709.

[11] 程融. 创新及渐进式通识教育成为大学课程改革与人才培养的必然趋势[J]. 西南名族大学学报: 人文社会科学版, 2013(12): 205-208.

[12] 杨社平. 课改分形论[M]. 南宁: 广西师范大学出版社, 2014: 37-56.