

# 面向自动标注的功能语义尺寸模型研究\*

曾坚阳 陆国栋

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027

**摘要:** 在现有尺寸自动标注双层次策略的基础上, 提出了三层次尺寸自动标注新策略, 建立了面向新策略的功能语义尺寸模型。讨论了功能语义尺寸模型在尺寸自动标注中的定位, 给出了尺寸模型的总体层次结构, 详细定义了功能语义尺寸模型的四个层次: 即定形功能语义层、定位功能语义层、加工功能语义层、装配功能语义层。功能语义尺寸模型为尺寸自动标注提供了新的解决方法。

**关键词:** 功能语义, 尺寸模型, 尺寸标注, 定形功能, 定位功能, 加工功能, 装配功能

## 1. 引言

工程图纸绘制是 CAD 系统的重要工作之一, 尺寸是工程图纸的重要组成部分, 对尺寸自动标注的研究很有意义。文献[1]提出了自动合理标注机械工程图样尺寸的图论与语法基础, 为尺寸自动标注研究提供基本理论依据。文献[2]提出了基于 CSG (Constructive Solid Geometry) 模型的零件图尺寸自动标注方法。文献[3]提出了一种基于产品模型的尺寸标注方法。文献[4]提出了一种基于尺寸特征提取的箱体零件的尺寸自动标注方法。文献[5]提出了一种基于 B-Rep 表示的机械零件工程图的智能化尺寸标注方法。文献[6]从特征模型出发, 基于分治思想提出尺寸自动标注的二维与三维空间分治策略。

综观前人对尺寸自动标注的研究, 不管是从二维出发的标注策略, 还是从三维出发的标注策略, 其技术路线的重心基本上都是如何从其它辅助信息, 如形体的几何信息、知识库和模式库信息等, 直接构造二维的尺寸标注解, 即尺寸标注模型解。这种技术路线本文称之为双层次尺寸自动标注路线, 如图 1 中的阴影箭头所示。

双层次尺寸智能标注路线虽然能够较为准确、快速地得到二维尺寸标注解, 但由于其出发点是二维的, 势必存在一定的局限性。本文引入基于功能语义的三维尺寸模型概念, 提出了三层次尺寸自动标注路线, 如图 1 中的空心箭头所示。其中尺寸的完整性与合理性要求在尺寸模型中得到保证, 正确性与清晰性要求则通过尺寸标注模型中的各种操作来实现。为尺寸标注提供多层次策略, 其优点是明显的: 引入三维尺寸模型, 符合工程人员尺寸标注思维的习惯。

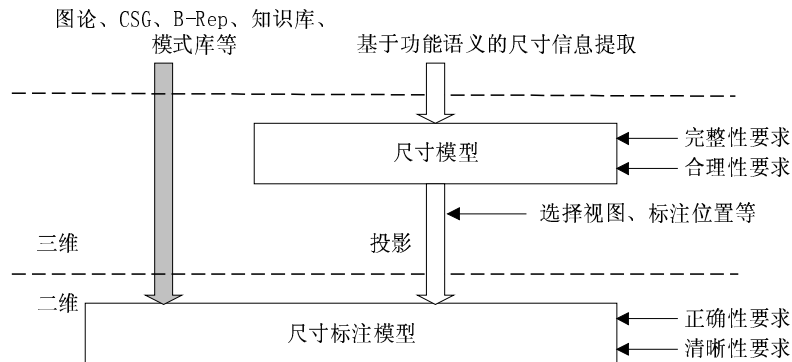


图 1 尺寸自动标注的不同策略

\* 基金项目: 国家杰出青年基金 (N0.69925204), 创新群体科学研究基金 (N0.60021201)。

## 2. 功能语义尺寸模型的定位与结构

### 2.1 功能语义尺寸模型的定位

在机械图纸中，尺寸标注的作用是描述零件体的形状、结构，以便于工程人员的加工、测量、装配操作的进行。根据尺寸标注的这些作用，尺寸功能语义可分为定形功能语义、定位功能语义、加工功能语义、装配功能语义等。

尺寸的定形功能语义是对三维空间中基元体形状的定义，在实际图纸中的尺寸标注表现为形体的定形尺寸。尺寸的定位功能语义是对三维空间中零件体中各基元体位置关系的定义，在实际图纸中的尺寸标注表现为形体的定位尺寸。尺寸的加工功能语义是在工程图纸中所表现出来的加工信息。尺寸的装配功能语义是在各个零件体进行装配时所体现出来的装配信息。尺寸的这四种功能语义同形体之间的关系如表 1 所示：

表 1 尺寸功能语义与形体之间的关系

| 尺寸的功能语义 | 对应的形体层次 | 产生的时间      |
|---------|---------|------------|
| 定形功能语义  | 基元体     | 基元体定义时     |
| 定位功能语义  | 基元体之间   | 基元体进行布尔操作时 |
| 加工功能语义  | 零件体     | 得到零件体信息时   |
| 装配功能语义  | 零件体之间   | 零件体装配成装配体时 |

功能语义尺寸模型在尺寸自动标注策略中的定位如图 2 所示。

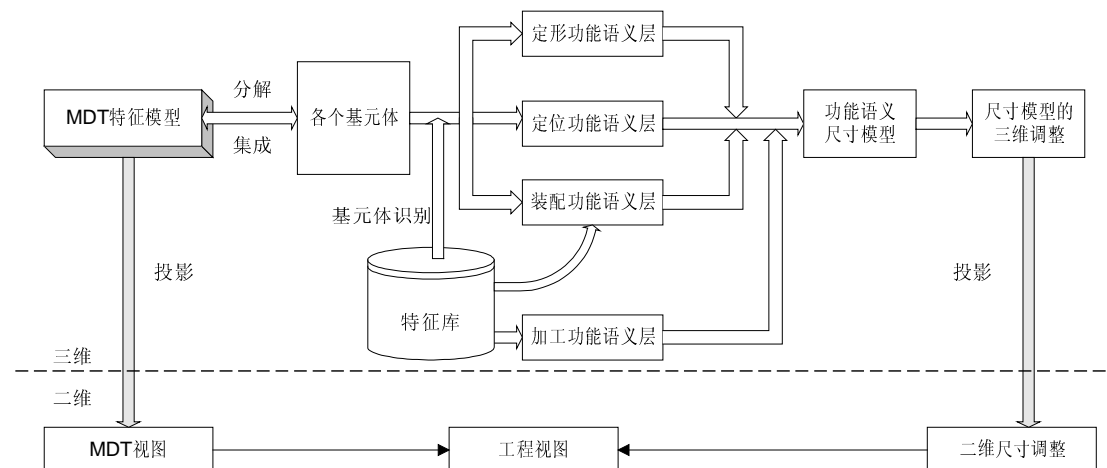


图 2 功能语义尺寸模型的定位

### 2.2 功能语义尺寸模型的结构

功能语义尺寸模型的详细结构见图 3。其中定形功能语义层和定位功能语义层是构成整个尺寸模型的重要框架，加工功能语义层和装配功能语义层是尺寸模型的高层工程语义——加工、装配工程语义的重要内容。

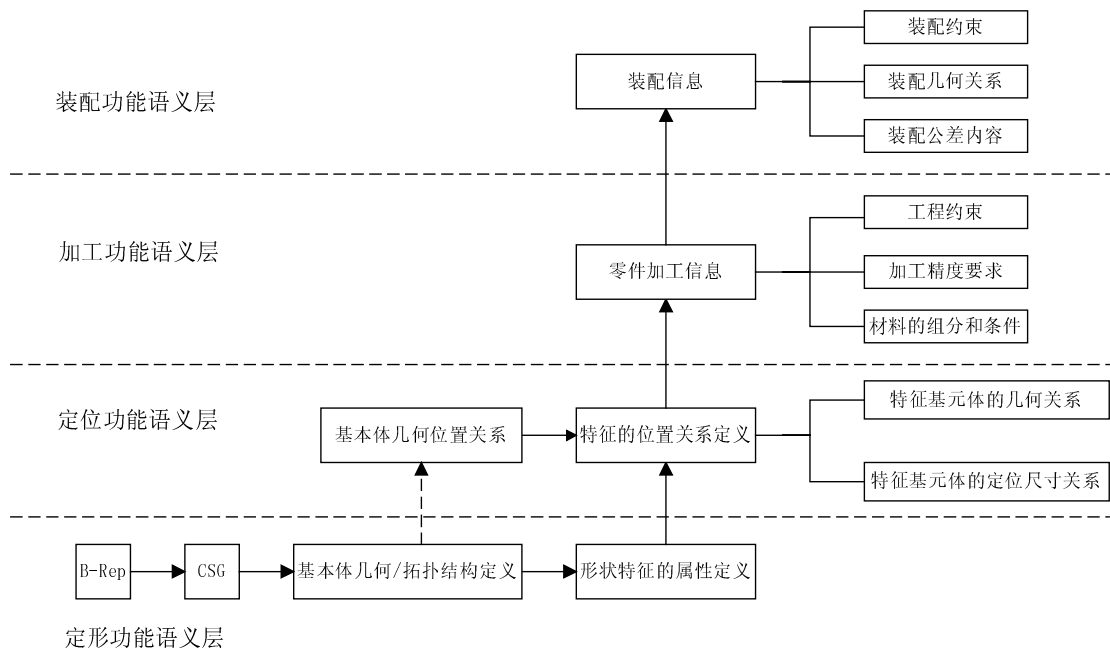


图3 功能语义尺寸模型的层次结构

### 3. 尺寸模型的定形功能语义层描述

尺寸模型的定形功能语义层对应的尺寸载体层，从几何实体造型上讲，指的是几何基元体；从特征模型讲，指的是形状特征基元体（本文中简称为特征基元体或基元体）。

一个复杂的零件体可分解为若干个基元体。几何基元体可分为长方体、圆柱体、圆台体、圆锥体、球体以及用户自定义的基元体，如各种扫描体等。对一个基元体  $Q$  来说，根据其 B-Rep 边界表示模型，可得到几何信息，用集合表示如下：

$$K(Q) = \{f_1, \dots, f_n, e_1, \dots, e_m, p_1, \dots, p_k\} = \{F, E, P\}$$

其中  $f$  称为基元体  $Q$  的**面特征元素**， $e$  称为基元体  $Q$  的**边特征元素**， $p$  称为基元体  $Q$  的**点特征元素**，把  $f/e/p$  统称为基元体  $Q$  的**特征元素**。

尺寸模型的定形功能语义层的尺寸信息可分为显式的尺寸信息，即定形尺寸信息，以及隐式的尺寸信息。前者是尺寸标注模型所需要的，需要用尺寸标注来表达基元体的形状信息；后者表示的是隐含的拓扑关系信息，如垂直、对称等，由基元体的属性定义决定。

一个基元体的定形尺寸同基元体的特征元素密切相关，本文将基元体定形尺寸相关联的基元体特征元素称为该定形尺寸的特征关联元素。相应的，尺寸的特征关联元素也分为尺寸的特征关联面元素、线元素、点元素三种情况。当尺寸的特征关联元素的位置、大小产生变化时，对应的定形尺寸也将产生变化。用  $F(D)$  表示定形尺寸  $D$  的尺寸的特征关联元素的集合，特征关联元素建立了基元体的定形尺寸同其尺寸载体之间的关系。

对于基元体的任一定形尺寸  $s \in S$ ，可描述如下：

$$s = (F(s), P_1, P_2, T, V)$$

其中  $F(s)$  表示尺寸  $s$  的尺寸的特征关联元素集。 $P_1, P_2$  是尺寸  $s$  的两个引出点。 $T$  表示尺寸的标志位，如直径尺寸的  $\phi$ 、半径尺寸的  $R$ 、以及表示对称结构的  $4 \times \phi$  等。线性尺寸的标志位为空。 $V$  表示尺寸  $s$  的数值大小。

定形功能语义层处于整个尺寸模型的最底层，对应于形体的基本组成单元——特征基元体，是定形尺寸生成的主要依据。具体结构见图4。其中定形尺寸的生成既受到 CSG 树叶节点——基元体的定义影响，又受到 B-Rep 面、线、点元素的影响。

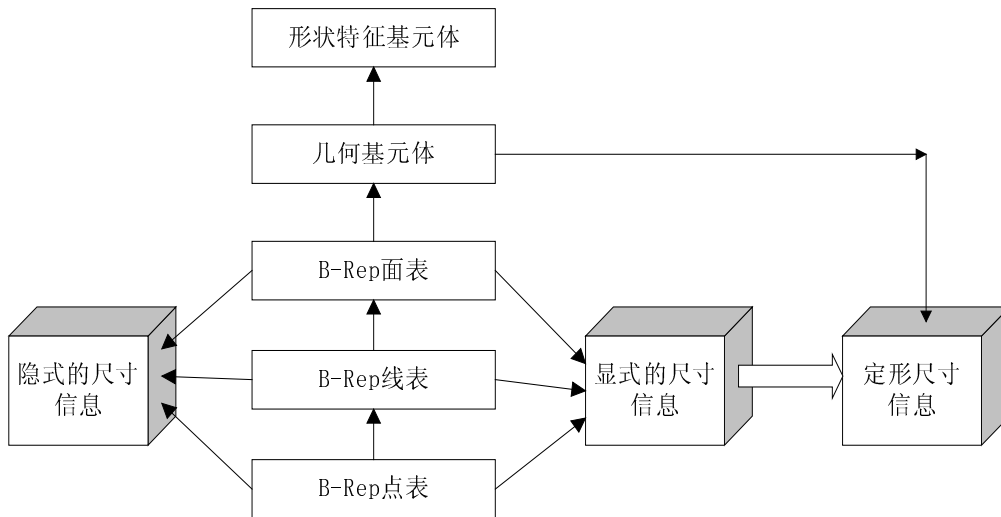


图4 尺寸模型的定形功能语义层结构

#### 4. 尺寸模型的定位功能语义层描述

尺寸模型的定位功能语义其实也就是基元体在三维空间的定位约束，即基元体在世界坐标系中六个自由度的约束状况。一般来说，先在零件体中的各个基元体中选定一个基元体作为最初自由度满足的基准体，然后通过基准体进行定位约束的传递，从而确定各个基元体的自由度。基元体与其参考体的关联可通过定位约束图（OCG）来描述，形式化的定义如下：

$$OCG=(V,E,D)$$

其中，**V**：基元体节点；**E**：有向边，由参考体节点指向其约束的基元体节点；**D**：每一条边的定位约束关系。如图5的一个零件体的定位约束图，F0为开始的基准体，并直接或间接约束着其它基元体。

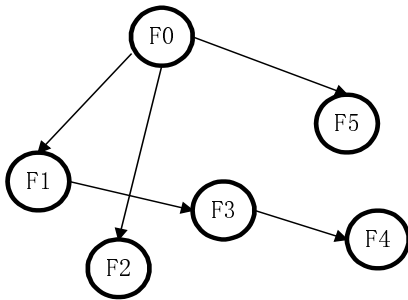


图5 定位约束图

定位约束图（OCG）具有以下性质：1) OCG只有一个出发点，且不可以形成环。2) 基元体节点存在主从关系，即一个基元体的定位约束依赖于其参考体。3) 一个基元体可以同时约束几个基元体，但只能受一个基元体的约束。

在实际的尺寸模型中，仅得到尺寸约束解是不够的，因为在实际工程中的尺寸标注模型中，还要考虑到一些设计、加工、测量基准，以及特殊结构的尺寸标注等。

尺寸基准也表现在定位约束图（OCG）上，如图5的定位约束图中，主要基准在基元体F0上，F1、F3基元体上存在辅助基准。特殊结构包括具有同构关系的结构、标准化的结构等。把一类具有相同结构，有规律放置的实体称之为同构实体，这些同构实体具有特殊的尺寸标注方式。此外，还有一些标准化结构，如螺钉、键、销等，这些标准化结构一般有固定的尺寸标注模型，可参考机械工程手册得到尺寸模型。

对于基元体  $Q$  任一定位尺寸  $l \in L$ , 可描述如下:

$$l = (F_p, P_b, P_o, T, V)$$

其中  $F_p$  为定位尺寸  $l$  的父基元体,  $P_b$  为父基元体上的尺寸引出点,  $P_o$  为基元体  $Q$  上的尺寸引出点,  $T$  表示尺寸的标志位, 定位尺寸一般为线性尺寸, 线性尺寸的标志位为空,  $V$  表示尺寸  $l$  的数值大小。

尺寸模型的定位功能语义层是定位尺寸生成的主要依据, 其具体结构如图 6 所示。由几何拓扑约束关系和空间自由度信息可得到定位约束信息 (本文用定位约束尺寸表示), 再根据一些特殊结构及尺寸基准对其进行调整, 即可得到定位尺寸信息。

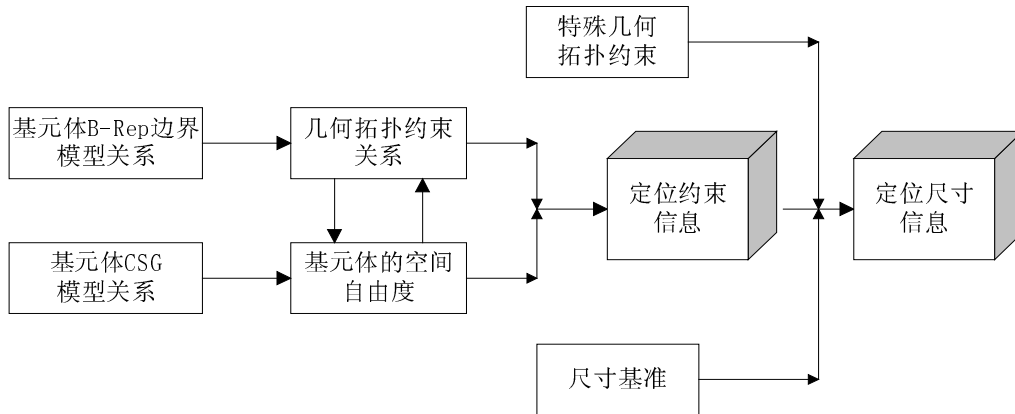


图 6 尺寸模型的定位功能语义层结构

## 5. 尺寸模型的加工功能语义层描述

尺寸的加工功能语义包括零件体的形状信息、加工基准信息、零件体加工表面、加工方法、加工精度要求、工程约束、材料的组分和条件等信息。

对零件体的每个表面  $F$ , 都有具体的加工方法  $M$  和加工精度要求  $Q$ 。加工表面  $F$  按粗加工到精加工要求, 及其表面微观特性可分为粗糙表面、半光表面、光表面、极光表面。加工方法  $M$  有车、刨、铣、镗、钻、铰、磨、滚压等, 每一种方法按照加工要求又可进一步细分。加工精度要求  $Q$  包括表面粗糙度  $R$ 、形状公差  $T_s$ 、位置公差  $T_l$ , 这些都和加工方法有关。

在加工工序中, 为了确定被加工表面位置, 必须对工件进行定位, 工件定位时与夹具定位元件相接触的表面 (或线、点) 称之为加工定位基准  $N$ 。

工程约束  $EC$  是指在特定的背景下为保证设计质量和安全而驱使设计对象的某些属性必须满足的规范和要求。工程约束包含的内容较多, 不同的应用领域有较大的区别, 如在管道结构、以及压力容器装备中, 各自的工程约束都不相同。工程约束  $EC$  一般包括应力约束、温度约束、速度约束等。

材料的组分和条件  $MC$  包括性能/规范、热处理方式、表面处理方式与条件等, 也是尺寸的加工功能语义的重要内容。

尺寸模型的加工功能语义层可描述如下:

$$(V, F_m(M, Q(R, T_s, T_l)), EC, MC)$$

其中  $V$  为加工的形体形状参数值大小,  $F_m$  为加工表面,  $M$  为加工方法,  $Q$  为加工精度要求, 包括表面粗糙度  $R$ , 形状公差  $T_s$  和位置公差  $T_l$ ,  $EC$  为工程约束,  $MC$  为材料的组分和条件。

尺寸模型的加工功能语义层的具体结构如图 7。

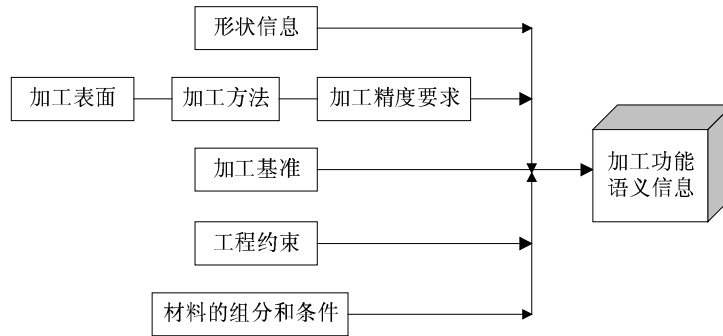


图 7 尺寸模型的加工功能语义层结构

## 6. 尺寸模型的装配功能语义层描述

在大多数工程设计中，一个产品往往是多个零件的组合，即装配体。所谓装配体是指由一系列离散的子部件（或零件）按某个位置关系组合而成的具有特定功能的机械部件。

在装配体的树结构模型中，两个子装配体通过几个几何元素产生约束关系，将这几个几何元素称之为配合几何元素  $e$ ，通常是零件之间配合的线、面几何元素。这类特征类型又隐含了零件的装配或拆卸的方向。

子装配体之间的制约关系称之为装配约束  $C$ 。装配约束  $C$  不仅可表示子装配体间的几何位置及机械特性上的制约关系，而且也可表示装配经验知识所确定的约束。装配约束从工程设计角度可分为以下五类：面耦合(mate)及等距耦合(mate offset)、对齐(align)及等距对齐(offset)、插入(insert)、同轴(coaxis)、定向(orient)。

尺寸模型的装配功能语义可描述如下：

$$((e_1, e_2, \dots, e_n), C, Q)$$

其中  $(e_1, e_2, \dots, e_n)$  表示子装配体的配合几何元素。  $C$  表示装配约束，  $Q$  表示配合的公差内容。

尺寸模型的装配功能语义层的具体结构如图 8 所示。

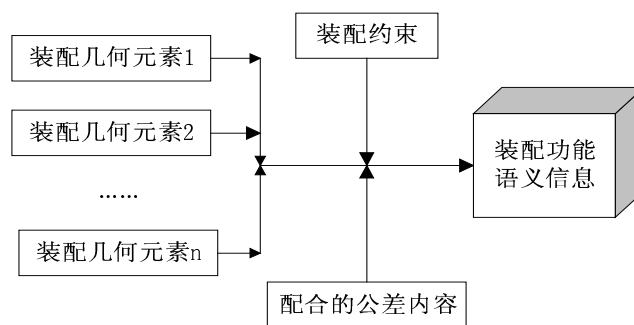


图 8 尺寸模型的装配功能语义层结构

## 7. 结论

针对双层次尺寸自动标注策略的不足，本文提出了三层次尺寸自动标注路线，并在分析尺寸作用的基础上，建立了面向三层次标注路线的功能语义尺寸模型。

该功能语义尺寸模型具有以下特点：

1) 将三维特征基元体引入到尺寸模型中，可包含丰富的工程语义，克服了二维尺寸标注的固有缺陷，保证了尺寸表达和尺寸约束的一致性。

2) 从尺寸功能语义出发进行尺寸自动标注，符合设计人员的设计习惯，提供了尺寸自动标注的新思路。

3) 若进一步将三维尺寸模型进行投影, 通过正确性、清晰性处理即可生成二维尺寸。  
在功能语义尺寸模型的基础上, 本文在 Visual C++ 6.0 + ObjectARX 2.0 + MCAD API 开发平台上实现了一个尺寸自动标注系统, 具有较好的尺寸自动标注效果。

## 参考文献

- [1] Dov Dori, Amir Pnueli, The grammar of dimension in machine drawings, Computer vision, Graphics and Image Processing 42, 1988
- [2] Yuen M. F, Tan S. T, Yu K M, Scheme for automatic dimensioning of CSG defined parts, Computer Aided Design, Vol.20, No.3, 1988
- [3] Suznki H, Ando H, Kimura F., Geometric constraints and reasoning for geometrical CAD system, Computer & Graphics, 1990, 14(2).
- [4] Ke-Zhang Chen, Xin-an Feng, Quan-sheng Lu, Intellingent dimensioning for mechanical parts based on feature extraction, Computer Aided Design, Vol. 33, No. 13, 2001
- [5] 路全胜, 冯辛安, 郭东明, 基于 B-Rep 表示的机械零件工作图尺寸标注的智能化, 机械科学与技术, 1996 年, 第 2 期, 第 2 卷
- [6] 陆国栋, 黄长林, 彭群生, 基于分治思想的尺寸自动标注方法的研究与实现, 计算机辅助设计与图形学报, 2001 年, 第 6 期, 第 13 卷