基于 GB/T 24734 的三维自动标注

安 恒 闫光荣 雷 毅

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘 要: 结合制造企业对三维 CAD 零件尺寸自动标注的需求,探讨了以国标 GB/T 24734为依据的在 CAD 系统中实现三维尺寸自动标注的技术. 设计并实现了三维自动标注的算法,详细阐述了其相关的技术. 该算法涉及零件基准识别、特征简化、表面分组、垂向投影标注以及零件特征还原等一系列技术. 其中,特征简化和还原主要涉及特征和草图级别的倒角、圆角及阵列操作. 为了便于尺寸的布局和识别,采用了表面分组和垂向投影标注的方法来对零件进行分解. 以 CAXA 实体设计软件为平台,实现了上述算法,开发了自动标注模块,并验证了算法的可行性.

关 键 词: 三维自动标注; 特征; 表面分组; CAXA 实体设计

中图分类号: TP 391.72

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2012)03-0416-06

Automatic dimensioning of 3D model based on GB/T 24734

An Heng Yan Guangrong Lei Yi

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: To meet the requirements of manufacturing enterprises, the automatic dimensioning of 3D model in CAD system was investigated based on the national standard GB/T 24734. The algorithms of automatic dimensioning of 3D model were proposed, and the strategies of datum recognition, features simplification, surfaces grouping, vertical projection and features restoration were described in detail. Currently, the processes of features simplification and restoration mainly deal with the blending, chamfering and array operations in both feature and cross-section levels. To make the layout and identification of dimensions much easier, the methods of surface grouping and vertical projection were applied to discompose the part. All the algorithms presented were realized and a module of automatic dimensioning was developed based on CAXA Solid. Case study shows that the strategies presented are feasible.

Key words: automatic dimensioning; features; surface grouping; CAXA Solid

随着三维 CAD 国家标准 GB/T 24734 的出台及实施,二维图纸的功能被弱化,为了使产品的表达、加工和检验等环节能够顺利进行,迫切需要三维 CAD 系统能够准确、便捷地提供三维模型的数字化尺寸信息. 传统的手工标注不但效率低下、容易出错而且难于与标准匹配,基于相关标准的三维模型自动标注一直是众多学者和设计人员亟待解决的问题.

文献[1]总结了自 20 世纪 80 年代以来近 20 年的自动标注相关的研究及进展. 文献[2]归纳了自动标注中常见的问题及应采用的标注规则,提出了基于知识的自动标注解决方案. 文献[3-4]在表面分组的基础上分别提出了基于特征提取的智能标注方法和针对圆柱面的智能定位标注方法. 文献[5]深入研究了注塑模具孔特征的自动标注,提出了动态规划技术,提高了孔特征标注

收稿日期: 2011-01-20; **网络出版时间**: 2012-03-09 10:38

网络出版地址: www.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20120309.1038.021.html

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划重点资助项目(2009AA043302)

作者简介: 安 恒(1982-),男,河北正定人,博士生,an_heng@126.com.

的效率. 文献[6]采用分治思想由三维模型自动生成二维图形的标注. 文献[7]将各尺寸按方向进行分组并自动划分尺寸的优先级,实现了二维尺寸的自动标注. 文献[8]利用功能语义的描述实现了三维模型的尺寸生成. 文献[9]将特征造型和特征识别应用到三维实体模型的尺寸标注中,实现了零件尺寸的智能标注. 文献[10]引入图论中的约束理论,按照基本体对零件进行分解,实现了简单三维图形的智能标注. 限于技术水平及应用环境,以上研究主要侧重于二维图纸尺寸自动标注或者局部范围内的三维模型标注,有较大的局限性,且不能有效地支持三维 CAD 标准,离实际推广应用还有一定的距离.

目前市场上应用较广的 CAD 系统如 Solidworks 和 CATIA 等已具备三维自动标注的功能,但其标注结果还不尽如人意,如对斜面以及交线的标注不符合工程要求而无法测量[11]. 由于商业秘密,上述软件的自动标注技术仍未公开,而国内开发的三维 CAD 系统还不具备支持 GB/T 24734 的能力. 本文以 CAXA 实体设计软件为平台,通过消化吸收 GB/T 24734 及相关三维标准,设计并实现了一套简便易行的三维自动标注新方法,可较大地提高尺寸标注效率,提高设计速度,缩短设计周期.

1　标准介绍

三维标注涉及的标准繁多,涵盖的内容十分广泛,其中最核心的是即将实施的 GB/T 24734《技术产品文件 数字化产品定义数据通则》系列[12],其非等效地采用了 ISO 16792:2006《Technical product documentation-Digital product definition data practices》,引用了诸如 GB/T 17851《形状和位置公差基准和基准体系》、GB/T 4249:2009《产品几何技术规范(GPS)公差原则》等众多标准,内容涵盖了包含模型尺寸、公差、基准在内的数字化产品定义数据密切相关的要求和规定. 本文拟以此标准为依据,研究和探索如何在 CAD 系统中实现三维自动标注技术. 通常用 XML 文件格式作为标准的载体导入到 CAD 系统中,本文提供了标准文件导入功能.

2　三维自动标注的算法流程

图 1 为本文设计的三维自动标注算法流程. 从读取相关标准开始,通过用户交互或者自动识别的方法确定标注基准,然后将零件的特征进行简化处理. 分组简化后零件各表面的信息,采用标注面的方法,融合特征所包含的加工信息. 提出垂向投影算法将系统产生的尺寸分布到各标注面中,同时兼顾和基准坐标成一般角度的平面,最后还原简化的特征,完善标注结果.

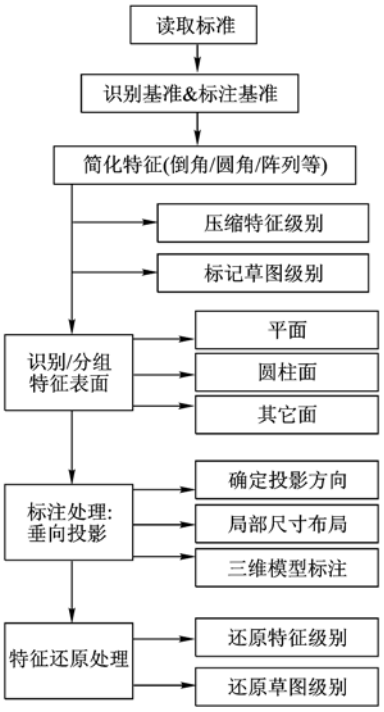

图 1　流程框图

3　关键技术分析

3.1　识别和标定基准

GB/T 17851[13]对基准做了如下定义:与被测要素有关且用来确定其几何位置关系的一个几何理想要素(如轴线直线平面等),可由零件上的 1 个或者多个要素构成. 基准体系则是由 2 个或 3 个单独的基准构成的组合来确定被测要素几何位置关系.

实际应用中常采用以下基准选取原则:最重要或最大平面为主要基准,对称面和主要轴线作为基准. GB/T 24734 给出了针对基准标注的特别要求和几种优先推荐的放置方法,涵盖了以平面要素、球要素、圆柱要素、两反向平行要素为基准标识的放置方法. 按照标准的要求,选择的基准要满足以下条件:不能相互平行,两基准交线不能和第三基准平行等. 针对设计过程中经常用到的三基面体系,本文提供一种基准自动识别的方法,在满足常用原则的基础上自动识别出特征最明显的主基准,然后基于垂直约束筛选出第二和第三基准. 根据零件形状的特点,用户可灵活采用交互或者自动识别的方式确定基准.

3.2 特征的简化处理

为了高效地实现自动标注,针对加工特征的特点和识别方法[14],本文采用特征简化再还原的方法对部分加工特征进行处理,实现过程中需要针对每一种加工特征提供相应的简化方法及还原策略. 限于篇幅,本文以零件设计中常用的倒角、圆角及阵列 3 种加工特征为例进行说明.

生成上述 3 种特征主要有 2 种途径:常用的是针对实体的特征操作,此种操作功能集成度较高,能够反映在特征树中,并且从零件级别入手处理相对简单,如图 2a 中标记代号和特征树相一致的“倒角 8”、“圆角 9”等特征;另一种是针对草图级别的特征操作,即在草图特征截面内对几何形状进行倒角、圆角和阵列操作,此种操作在草图中没有时间上的逻辑关系,只是作为静态的图形组成部分,且不易通过零件特征树进行维护,本文采用标记面的方法来识别和处理由草图生成的简化特征,如图 2a 中标记为“草图倒角”的倒角特征.

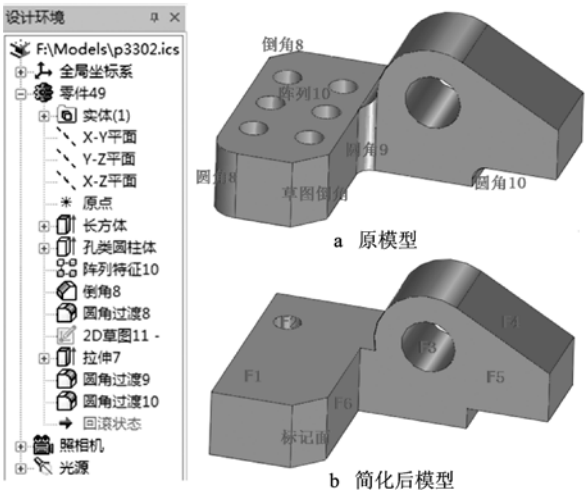

图 2 模型简化前后对比图

特征简化算法如下:

1) 获取零件包含的所有几何特征信息;材质、视角等非几何特征将在后续研究中逐步完善;

2) 遍历各特征,判断特征类型,提取倒角、圆角和阵列特征,放入压缩序列;其它特征放入非压缩序列;

3) 压缩处理压缩序列中的各特征,使该特征不在模型中显示并且不参与后续计算;倒角、圆角在压缩后几何体恢复到棱边状态,阵列特征压缩后只剩源元素如图 2b 所示;

4) 遍历非压缩序列中的特征,获取各特征中的草图截面信息;对于特征中含有多草图截面的情况则只分析其主草图截面;

5) 遍历草图中的各组成曲线,识别倒角、圆角和阵列图形;若有,则将该草图放入标记序列;若无则判断下一个;

6) 标记处理标记序列中的草图及其父特征;

7) 记录各特征的处理状态到配置文件,更新零件表面信息.

3.3 特征面的获取和分组

经过上述的特征简化处理,零件模型的表面复杂度大幅降低,使得分析和解决标注问题变得相对简单. 本文采用标注特征面的方法来处理简化后的零件模型:将平面的法向和圆柱面的轴向统称为表面方向并作为分组依据,将表面方向和各基准的法向的夹角正弦的绝对值作为参考来决定如何分组. 如公式(1)所示:

$$V_{ij} = |\boldsymbol{F}_i \times \boldsymbol{T}_j| / (|F_i| \cdot |T_j|) \quad (1)$$

其中,$\boldsymbol{F}_i$表示表面法向($i = 1,2,3,\cdots,N$,N 为表面总数);$\boldsymbol{T}_j$表示基准法向($j = A,B,C$);V_{ij}表示两向量夹角正弦的绝对值,V_{ij}介于 0 ~ 1 之间,$V_{ij}=0$ 表示该表面和基准平行,$V_{ij}=1$ 则表示该表面和基准垂直,V_{ij}为其他数值表示该表面和基准面成一般角度.

根据零件表面和基准面之间的关系,建立存取表面信息的 4 个链表:平行或垂直于各基准面的 L_A,L_B,L_C,与基准面成一般角度的 L_G. 采用以下规则将零件表面向各链表分组:

表面为平面. 平行的平面优先级最高,若该平面和某基准平行,则分组到该基准链表中,如图 2b 中的面 F_1,F_5,F_6;若和基准无平行关系但有垂直关系则将与之垂直的法向作为投影方向,按照基准优先级别向非垂直的链表中分组,如图 2b 中的面 F_4;若和基准既无平行也无垂直关系,则属于一般角度平面,分组到 L_G 中.

表面为圆柱面. 垂直的圆柱面优先级最高,若圆柱面和 2 个基准都有垂直关系,则按照基准优先级进行分组,如图 2b 中的面 F_2和 F_3,此时的平行关系可作为投影参考在后续标注时使用. 对于一般角度的圆柱面,处理方法和平面类似.

表 1 列举了几个表面的分组情况.

表 1 表面分组示意表

表面法向	基准法向			所属链表
	$\boldsymbol{T}_A$	$\boldsymbol{T}_B$	$\boldsymbol{T}_C$	
$\boldsymbol{F}_1$	0	1	1	L_A
$\boldsymbol{F}_2$	0	1	1	L_B
$\boldsymbol{F}_3$	1	1	0	L_A
$\boldsymbol{F}_4$	0.5	0.866	1	L_A
$\boldsymbol{F}_5$	1	1	0	L_C
$\boldsymbol{F}_6$	1	0	1	L_B
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$\boldsymbol{F}_N$	⋮	⋮	⋮	⋮

注:表中数值为 V_{ij}值.

通过对相关链表的维护,可以方便地过滤和组合零件各个特征表面,为后续的标注提供源数据. 目前的算法只支持规则的平面和圆柱面,复杂曲线曲面的标注将在后续研究中继续探讨.

3.4　标注分组面

采用垂向投影的方法处理链表中存储的各特征表面,即把各特征平面向垂直于其法向的方向进行投影、各圆柱面向其轴线方向投影,得到局部投影视图后进行标注. 由 3.3 节的表面分组规则可知,每一组链表都有 2 个投影方向,然而由于 3 个基准面之间的相互约束关系,只要确定了其中 1 个链表的投影方向,其他 2 个方向也就唯一确定了. 下面以图 2a 所示的零件为例结合常用的三基面体系说明如何确定各投影方向. 考虑到圆柱面需要在同一标注面上表达定形尺寸(半径或者直径信息)和定位尺寸(和其他基准之间的位置关系),首先分析各链表中包含圆柱面的情况,选取包含圆柱面数量最多且尺寸较大的链表作为起点,此处选择与主基准相关的 L_A 链表作为首个分析对象,确定其投影方向为圆柱面的轴线方向即基准 C 的法方向,进而可循序确定 L_B 的投影方向为主基准 A 的法方向,L_C 的投影方向为基准 B 的法方向. 对于一般面的标定则可以简化为以面的边界为参考,找到某边界相关的 2 个相交面,以该边界为法向,两相交面的法向组成的平面为标注面进行标注,每一个边界都对应一个角度约束尺寸.

基于 GB/T 24734 中规定了各尺寸标注和标注面之间的逻辑及布局关系,本文只需要处理各局部标准面内的尺寸布局问题. 不同于二维工程图中的尺寸自动布局[15],标注面内的尺寸主要沿相关基准方向进行分布,同时兼顾圆柱面和斜面定位尺寸沿其他基准方向的分布. 本文采用基于基准的层级式标注,将基于同一基准的标注尽可能多的放置于同一标注平面内且分布于几何体的同一侧,同时以选择的基准为标注起点进行层级式标注,选择尺寸值最小的标注作为初始层,按照尺寸值从小到大的顺序依次增加层数,初始层与几何体以及各标注层之间的距离采用系统内的默认设置,一般为文字高度的 3 ~ 5 倍. 图 3 ~ 图 5 显示的是各基准的垂向投影及标注示意图,为了布局考虑,采用引出线将尽可能多的尺寸分布在一个标注平面上,如图中的虚线所示.

3.5　特征的还原处理

特征还原是指恢复对前期步骤所忽略的特征进行处理,实现忽略掉的尺寸标注,与特征的简化处理相对应,特征还原也分为对特征级别和草图级别的还原 2 部分.

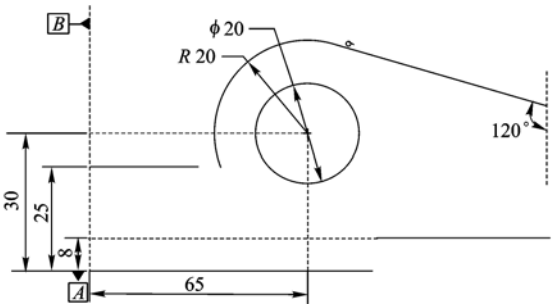

图 3　基准 A 垂向投影图

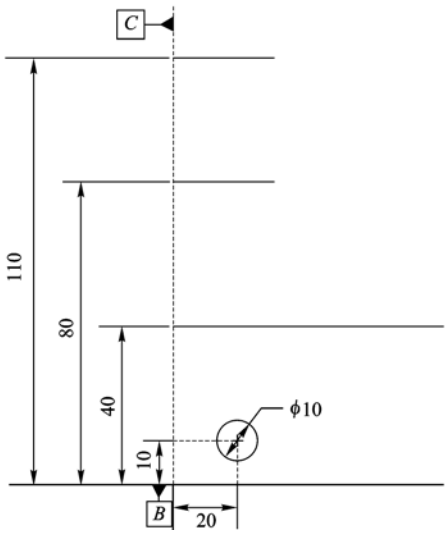

图 4　基准 B 垂向投影图

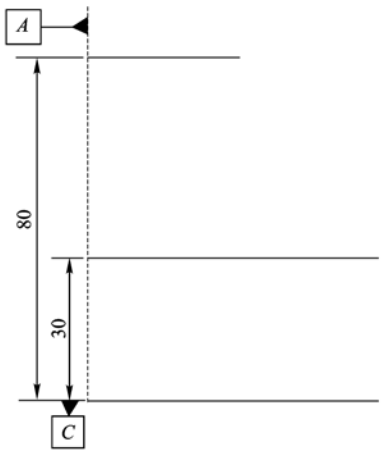

图 5　基准 C 垂向投影图

1) 特征级别的还原.

倒角/圆角特征. 倒角和圆角特征有很多相似之处,此处进行统一分析处理. 首先获取所有的被简化的倒角/圆角特征,然后逐个分析特征,识别出生成倒角/圆角所确定的边界和倒角值. 对于包含多个边界的特征则直接处理,选取和基准法向平行(若无,则选取第一个边界)的某边界作为标注面的法向,在该标注面内标识边界的个数和特

征信息如倒角类型、倒角尺寸等;对于只包含单个边界的特征则将其按照边界方向进行分组,将边界方向和特征信息都相同的多个特征进行统一处理,在以边界为法向的标注面内标注边界个数和特征信息;对于其他特征则直接在以边界为法向的标注面内标注特征信息.

阵列特征. 阵列主要有圆周阵列和线性阵列 2 种形式,一般选取阵列平面为标注平面,在阵列源对象上标注阵列信息如阵列类型、元素个数等.

2) 草图级别的还原:识别零件中被标识的面和边界,以其所属的草图平面作为标注面,根据边界特征标注定形尺寸.

4 实例分析

本文在 CAXA 实体设计软件平台上实现了三维自动标注,开发了"AutoDim"三维自动标注模块. 通过加载应用程序,选择编译生成的动态链接库"AutoDim. DLL"即可加载自动标注模块. 加载后,CAXA 实体主界面中的"加载应用程序"面板中增加了"AutoDim"子面板如图 6 所示. 通过"三维自动标注"功能,用户可以逐一选择不同的零件表面为基准面也可以采用"自动识别基准"进行基准识别,之后,用户可以选择尺寸链类型为基准型或者链型决定尺寸的显示方式.

图 6 中右侧是对某零件实行自动标注的结果,已具备约束完备性,标注面内的布局达到标准中规定的不干涉、不重叠等要求. 图 6 中左侧分别列出了标注前后的特征树结构. 其中,特征树中"注释"节点包含的元素属于注释型标注,包括倒角、圆角、阵列(即经过简化、还原处理的标注)以及基准面的标注;"约束"节点包含的元素属于约束型标注,表示其它类型(即未经简化、还原处理的标注)的标注. 每一个标注结果都对应于特征树的一个子节点,可满足标准中的关联性及查询的要求. 在 CAD 系统中,可通过对不同类型的标注设置颜色予以区分.

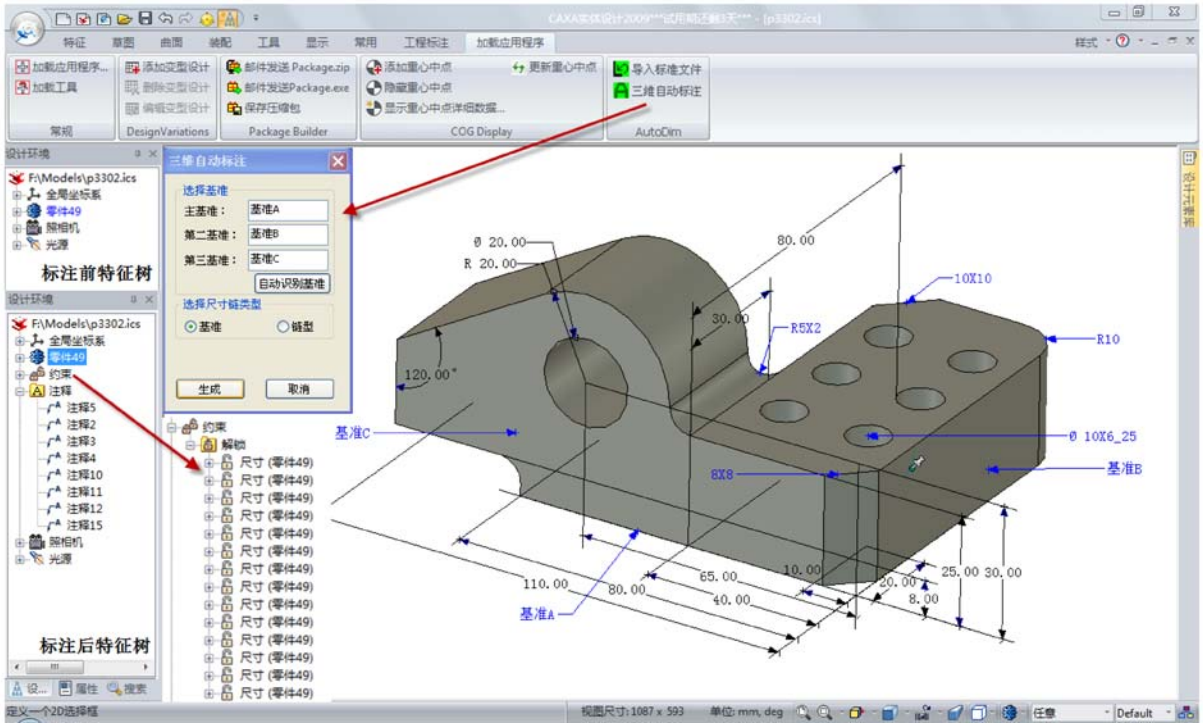

图 6 自动标注效果图

5 结 论

本文基于 GB/T 24734,采用简化还原加工特征和垂向投影等算法实现了三维模型的尺寸自动标注. 为提高尺寸标注效率,采用分组匹配的思想将复杂的问题进行细化分解. 经过实例验证及结果分析,本文提出的解决方案和算法可有效解决常用零件的三维自动标注问题并能满足相关国家标准对三维 CAD 系统的要求,因此具有一定的工程应用价值. 本文实现过程中,对现实问题做了一些简化和限定,如对曲线曲面及复杂表面的处理. 尽管如此,由于三维自动标注问题的复杂性以及三维 CAD 系统对数据处理较高的要求,本文只初步探索了三维尺寸及基准的自动标注,对公差模块的支持需要进一步完善;限于篇幅和内容,三维空间内的尺寸布局问题如不同标注面内的标注之

间的尺寸线交叉、多标注平面内的尺寸合理分布等将在后续工作中继续研究.

参考文献（References）

[1] Yu K M, Tan S T, Yuen M F. A review of automatic dim-ensioning and tolerancing schemes[J]. Engineering with Computers, 1994, 10(2): 63 – 80

[2] Bond A H, Ahmed S Z. Knowledge-based automatic dimen-sioning[J]. Artificial Intelligence in Engineering, 1989, 4(1): 32 – 40

[3] Chen Kezhang, Feng Xinan, Lu Quansheng. Intelligent dimensioning for mechanical parts based on feature extraction[J]. Computer-Aided Design, 2001, 13(33): 949 – 965

[4] Chen Kezhang, Feng Xinan, Lu Quansheng. Intelligent location-dimensioning of cylindrical surfaces in mechanical parts[J]. Computer-Aided Design, 2002, 34(3): 185 – 194

[5] Li C L, Yu K M, Lee Y H. Automatic datum dimensioningfor plastic injection mould design and manufacturing[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 28(3/4): 370 – 378

[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[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2001,13(6):1 – 6
Lu Guodong, Huang Changlin, Peng Qunsheng. Research onautomatic dimensioning based on divide and conquer strategy[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2001, 13(6): 1 – 6(in Chinese)

[7] 肖迪. 机械装配建模及零件尺寸标注自动化技术研究[D]. 重庆:重庆大学机械工程学院,2002
Xiao Di. The research of mechanical assembly modeling & automatic dimensioning technique on parts[D]. Chongqing: College of Mechanical Engineering, Chongqing University, 2002(in Chinese)

[8] 倪健红,陆国栋. 基于功能语义的三维尺寸模型自动生成[J]. 机械设计与研究,2005,32(1):6 – 11
Ni Jianhong, Lu Guodong. Automatic generate of 3D dimension model based on the function semantics[J]. Journal of Machine Design and Research, 2005, 32(1): 6 – 11(in Chinese)

[9] 张美峰. 基于特征约束的三维尺寸智能标注技术的研究[D]. 南京:南京航空航天大学机电学院,2005
Zhang Meifeng. Research on the technology of 3D intelligent dimension based on feature-constraint [D]. Nanjing: College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2005(in Chinese)

[10] 刘军强,王剑斐,马新厂,等. 三维零件图尺寸的自动标注[J]. 西安工业大学学报,2008,28(6):526 – 530
Liu Junqiang, Wang Jianfei, Ma Xinchang, et al. A method of 3D-part's intelligent dimensioning [J]. Journal of Xi'an Technological University, 2008, 28(6): 526 – 530(in Chinese)

[11] 孙生海. 尺寸标注的合理性在工程化中的重要地位[J]. 机械工程师,2009,8:119 – 121
Sun Shenghai. The important position of rational dimensioning in engineering[J]. Mechanical Engineering, 2009, 8: 119 – 121(in Chinese)

[12] GB/T 24734.1 ~ 11-2009 数字化产品定义数据通则[S]
GB/T 24734. 1 ~ 11-2009 Technical product documentation digital product definition data practices[S](in Chinese)

[13] GB/T 17851-1999 形状和位置公差 基准和基准体系[S]
GB/T 17851-1999 Geometrical tolerancing-datums and datum system[S](in Chinese)

[14] 汤岑书,褚学宁,孙习武,等. 基于几何与公差信息的加工特征识别方法[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(2):256 – 262
Tang Censhu, Chu Xuening, Sun Xiwu, et al. Machining feature recognition based on geometry and tolerance information[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2010, 16(2): 256 – 262(in Chinese)

[15] 黄学良,陈钢,陈立平,等. 标注自动布局的网格化方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2008,20(8):1070 – 1077
Huang Xueliang, Chen Gang, Chen Liping, et al. A grid partitioning method for automatic placement of dimensions[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(8): 1070 – 1077(in Chinese)

(编　辑:文丽芳)