

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.04.006

# 基于UG的三维装配尺寸面链表组 自动生成方法研究\*

勾 波, 吴玉光\*, 王光磊

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 针对目前装配尺寸链不能实现真正意义上的自动生成及在装配尺寸链中很少考虑几何要素的几何公差的问题, 提出了一种基于几何要素控制点理论公差表示模型的三维装配尺寸面链表组自动生成方法。在分析装配公差建模的信息组成的基础上, 建立了装配公差信息的计算机存储数据混合图结构。以UG NX7.5为二次开发平台, 提取了三维装配体内零件上尺寸公差、几何公差、装配基准以及装配目标等信息。首先, 确定了封闭环; 然后, 根据建立装配尺寸链的最短路径的原则搜索装配公差信息图, 建立了三维装配尺寸面链表; 最后, 根据装配顺序及设计基准将其按零件拆分为三维装配尺寸面链表组。以三正交平面作为装配基准的轴孔装配为例, 对该方法进行了验证。研究表明, 该方法能够综合考虑几何要素的尺寸和几何公差, 为后续的公差分析工作打下坚实的基础。

**关键词:** 装配公差模型; 数据结构; 装配尺寸面链表; 自动生成

**中图分类号:** TH164; TP39.72 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2014)04-0437-06

## Automatic generation of 3D assembly feature surface chain groups associate to dimension based on UG platform

GOU Bo, WU Yu-guang, WANG Guang-lei

(School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the problems that assembly dimension chain couldn't generate automatically in real sense and rarely considered geometric tolerance in the current, a method for the automatic generation of 3D assembly feature surface chain groups associate to the dimension was proposed based on the theory of tolerance model representing by control points of geometric elements. According to the information requirement of the assembly tolerance modeling, the data structure of a mixed graph stored by computer for assembly tolerance information modeling was established. On the platform of UG NX7.5 OPEN, the assembly information, such as the dimension and geometry tolerance, geometry structure data, the assembly datum and target information, were removed from the feature model of the assembly and parts. Firstly, the closed loop was determined, and then the 3D assembly feature surface chain associate to the dimension was constructed by searching the assembly tolerance information graph according to the rule of shortest path of establishing assembly dimension chain. Finally, it was broken into 3D assembly feature surface chain groups associate of the dimension one of which just belong to one part of the assembly based on the assembly sequence and design datum. At last, the method was verified by the pin-hole assembly with three orthogonal planar assembly data. The results indicate that dimensions and geometric tolerances are taken into account and a solid foundation is laid for the subsequent tolerance analysis.

**Key words:** assembly tolerance model; data structure; assembly feature surface chain groups associate to dimension; automatic generation

收稿日期: 2013-11-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51175132)

作者简介: 勾 波(1988-), 男, 河南新乡人, 主要从事设计自动化及CAD技术方面的研究. E-mail: goubo0806@163.com

通信联系人: 吴玉光, 男, 教授, 博士生导师. E-mail: ygwu@hdu.edu.cn

## 0 引 言

随着计算机辅助公差设计(Computer Aided Tolerancing, CAT)在机械产品设计过程中的广泛应用,对CAT技术的各个方面的要求也不断提高,CAT技术沿着功能、效率、集成等方面发展。运用CAT技术进行装配公差建模,从CAD模型中获取零件装配基准的结构数据和公差信息是实现装配尺寸链自动生成的第一步,保证建模质量、提高建模效率十分关键。

公差信息建模分为两部分,首先要对公差信息进行数学建模,然后根据数学模型建立对应的计算机公差表示模型<sup>[1]</sup>。目前对公差建模的信息要求以及公差的表示已有许多公认的技术。Davidson和Mujezinovi等人<sup>[2-3]</sup>提出了用T-MAP公差模型。T-MAP用点集的形式来描述公差域边界及模拟的特征要素可能出现的位置,该模型符合ASME标准,满足兼容性和可计算性准则,考虑了漂浮公差带、冗余公差、基准优先级等概念,但存在与主流CAT软件参数指标不符、可视化困难等问题。Clement等<sup>[4-5]</sup>提出了基于TTRS(与工艺和拓扑相关表面)公差表示模型,该模型以树结构结构形式存储,TTRS中的树节点存储TTRS的最小几何基准要素,模型树各节点通过公差等信息相互连接。在此基础上刘玉生<sup>[6]</sup>提出了基于特征的TTRS,即FTTRS(Feature-based TTRS, FTTRS),与TTRS相比较,FTTRS不但考虑了拓扑上表面关联关系,而且还考虑了技术上表面的关联,但该公差表示模型只能处理7种的特征类型。张博等人<sup>[7]</sup>在FTTRS中特征自动识别的基础上,采用多色集合理论,给出了一种基于特征的层次式公差信息表示模型,将能处理的特征表面数从7种扩增至11种。钟艳如等<sup>[8]</sup>在多色集合理论的基础上,增加从空间关系到装配公差类型的映射,构建出基于特征表面和空间关系的公差表示模型,使该模型能处理的特征面类型扩充至13种,使该模型实现可直接用于公差分析与综合,但由于该公差模型在构建时建立了装配约束矩阵、装配特征面之间的约束关系矩阵、几何要素之间的空间关系矩阵,装配公差信息分多层存储,对公差模型的搜索高效性产生影响,不易于实现装配尺寸链的自动生成。吴玉光等<sup>[9]</sup>提出了基于几何要素控制点的公差表示数学模型,该模型简单、易于理解,并做到与ASME很好地兼容。

在装配尺寸链的自动生成方面,研究者也做了大量的研究。郭长虹等<sup>[10]</sup>通过建立特征结构数据库搜索尺寸链,徐本胜等<sup>[11]</sup>通过建立包含尺寸公差及几何公差的装配公差信息图。但这些方法只是实现一维装配

尺寸的自动生成,且没有实现真正意义上的装配尺寸链自动生成,搜索算法也不具通用性。王恒等<sup>[12]</sup>通过构建特征—尺寸邻接矩阵、特征—装配约束关系邻接矩阵、装配关系传递图等,进行搜索装配尺寸链,实现了三维方向装配尺寸链的自动生成。但该方法并没有考虑几何公差,且建立了多个图结构,给编写具有通用性的自动生成装配尺寸链算法带来困难。

针对以上公差建模及装配尺寸链自动生成所存在的问题,本研究基于几何要素控制点原理公差数学模型建立对应的装配公差信息图结构,以三维实体模型为基础,按装配尺寸链建立的最短路径原则对装配公差信息模型图进行搜索,自动生成装配尺寸链表组,并以轴座和孔板两个零件平面定位装配为例,说明该方法的具体实施过程。

## 1 装配建模所需信息及其数据结构

在CAT系统中,计算机公差信息表示模型是为后续尺寸链自动生成及公差分析与综合做准备,故在对装配公差建模时公差模型应包含特征要素的几何特征类型、基准信息、公差信息、位置信息、装配信息等。其中基准信息包含基准要素的代号和其所有的几何信息;公差信息中包含尺寸公差、几何公差信息及几何公差中参考基准的基准信息;装配信息包括装配顺序及装配方向等。

装配公差信息采用图结构存储,装配公差信息图的节点存储特征面的相关信息。装配公差信息模型图面节点的结构中,每个特征面节点都有对应的编号,特征面的编号是随机生成的,面节点信息如图1所示。存储的信息包括面的标识、面所属零件的标识、面的类型、面的法线、面中心点的坐标、面控制点模型参数、装配面信息、基准信息等。装配公差信息模型图中具有3种边,分别为尺寸边、几何公差边和装配边。尺寸边和装配边都为无向边,对于尺寸关联的特征要素为单一要素时(例如圆柱面的直径),建立的尺寸边指向其自身。几何公差边为有向边,方向由目标

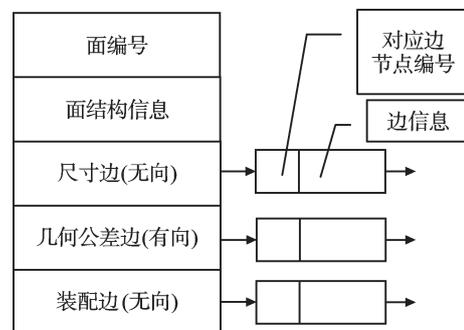


图1 面节点信息

要素指向基准要素。3种边都采用邻接链表形式存储。尺寸边的信息包括尺寸边指向关联尺寸面节点的编号、尺寸的标识、尺寸信息及尺寸的方向。几何公差边包括指向基准平面节点的编号、几何公差的标识、几何公差信息及几何公差的变动方向。装配边包括指向配合面节点的编号、装配边的方向。

## 2 基于UG的装配公差信息提取及装配公差信息模型图的建立

在根据公差数学表示模型建立计算机装配信息模型时,研究者首先要自动获取装配体中各零件内标注的尺寸公差信息、几何公差信息、基准信息及装配体内的装配信息。通过UG中提供的PMI三维公差标注模块对三维零件标注尺寸公差、几何公差。通过制图模块的标识符标注基准信息,对装配面添加装配属性(注:以上信息都标注在特征面上),并在装配环境下对零件添加装配顺序属性。利用UG提供的API二次开发模块函数<sup>[13-16]</sup>对上述信息进行提取,将获取的信息分别存储到相应的链表中。

表1 获取UG PMI标注的公差信息所用的UG Open API函数及功能

函数	功能
UF_DRF_ask_dim_info()	获得尺寸信息及其关联特征面标识
UF_DRF_ask_gdt_symbol_info()	获得几何公差信息及其关联特征面标识
UF_DRF_ask_id_symbol_info()	获取基准信息及其关联特征面标识
UF_MODL_ask_face_data()	获取特征面几何信息,包括特征面的类型、特征面的原点坐标、特征面的外法向方向坐标、特征面的包围盒坐标等信息,如果特征面为圆柱面,还可以获得圆柱面的半径。
UF_MODL_ask_face_edges()	获取特征面上边的标识链表
UF_MODL_ask_edge_type()	判断边的类型
UF_MODL_ask_edge_verts()	获取边上顶点的坐标
UF_CURVE_ask_centroid()	获取圆弧的圆心坐标

本研究将以上提取出的尺寸公差信息、几何公差信息和基准信息及这些信息关联的特征面信息分别存储到对应的尺寸链表、几何公差链表和基准链表中。

### 2.2 装配公差信息模型图的建立

笔者对提取的装配公差信息进行整理,将提取出的尺寸关联特征面信息无重复地存入到特征面链表中,并遍历基准链表,若特征面为基准面则添加基准面信息,然后将面链表中的特征面信息转存到装配公差模型图的节点中;遍历尺寸链表,将存在尺寸关联的特征面之间建立尺寸无向边,如果尺寸关联的两特征面为同一特征面,则尺寸边指向其自身;将尺寸信息存入到尺寸边信息中,并根据特征面控制点在尺寸公差带变动的方向判断尺寸边方向并存入尺寸边信息中;遍历几何公差链表,将存在几何公差的特征面

### 2.1 装配公差信息的提取

本研究利用函数UF\_ASSEM\_ask\_work\_part()获取装配体的标识,根据装配体标识利用函数UF\_ASSEM\_ask\_root\_part\_occ()获取装配体根节点事件标识,再根据装配体根节点事件标识利用函数UF\_ASSEM\_ask\_part\_occ\_children()获取装配节点下一级所有部件事件的标识,递归利用该函数,直到访问到部件是零件并获取零件的事件标识。根据零件的事件标识,利用函数UF\_ATTR\_read\_value()获取在零件上添加的装配顺序属性。还可根据零件的事件标识,利用函数UF\_ASSEM\_ask\_prototype\_of\_occ()获取零件的原型标识。最后根据零件原型标识,利用函数UF\_OBJ\_cycle\_objs\_in\_part()遍历零件PMI模块标注的指定公差类型信息的标识,分别提取尺寸信息、几何公差信息和基准信息。并根据以上信息中存储的关联特征面的标识访问关联特征面的信息。此外,根据特征面的标识读取特征面的装配属性,也存入到特征面信息中。在获取以上信息时用到的函数如表1所示。

与其基准之间建立有向的几何公差边,由目标要素指向基准要素,将几何公差信息存入几何公差边中,并同样根据特征面控制点在几何公差带变动的方向判断几何公差边方向存入几何公差边中;遍历图节点,在具有相同装配属性的两特征面节点之间建立装配无向边,并根据两特征面的法向方向确定装配边的方向,存入装配边中,最终完成装配信息模型图的建立。

## 3 装配尺寸面链表的自动生成及链表面节点的基准排序

在建立装配尺寸链时,首先需要明确装配公差分析的目标,即相当于尺寸链分析中的封闭环。在装配环境下通过人际交互指定装配模型中的目标尺寸,程

序根据尺寸标识并利用函数 UF\_DRF\_ask\_dim\_info() 获取与封闭环尺寸关联的两个特征面。

在根据封闭环关联特征面搜索装配尺寸面链表时应遵循以下原则:①使搜索出特征面节点数为最少的原则;②单一方向上只能搜索出唯一的装配尺寸面链表。通过以上两个原则可保证装配尺寸面链表中的关联零件不遗留和不重复。在搜索自动生成装配尺寸面链表时,装配尺寸面链表节点中包含的信息含有特征面的编号、特征面的标识、特征面所属零件装配顺序的编号、特征面的控制点理想位置时的坐标、特征面的法向方向(特征面为圆柱面是存储圆柱

面轴线的方向)、特征面几何公差带。搜索到每个符合要求的特征面节点时要判断该特征面是否存在几何公差,若存在将几何公差带转化为特征面控制点坐标的几何变动范围存储起来。装配尺寸面链表的具体搜索算法流程图如图 2 所示。

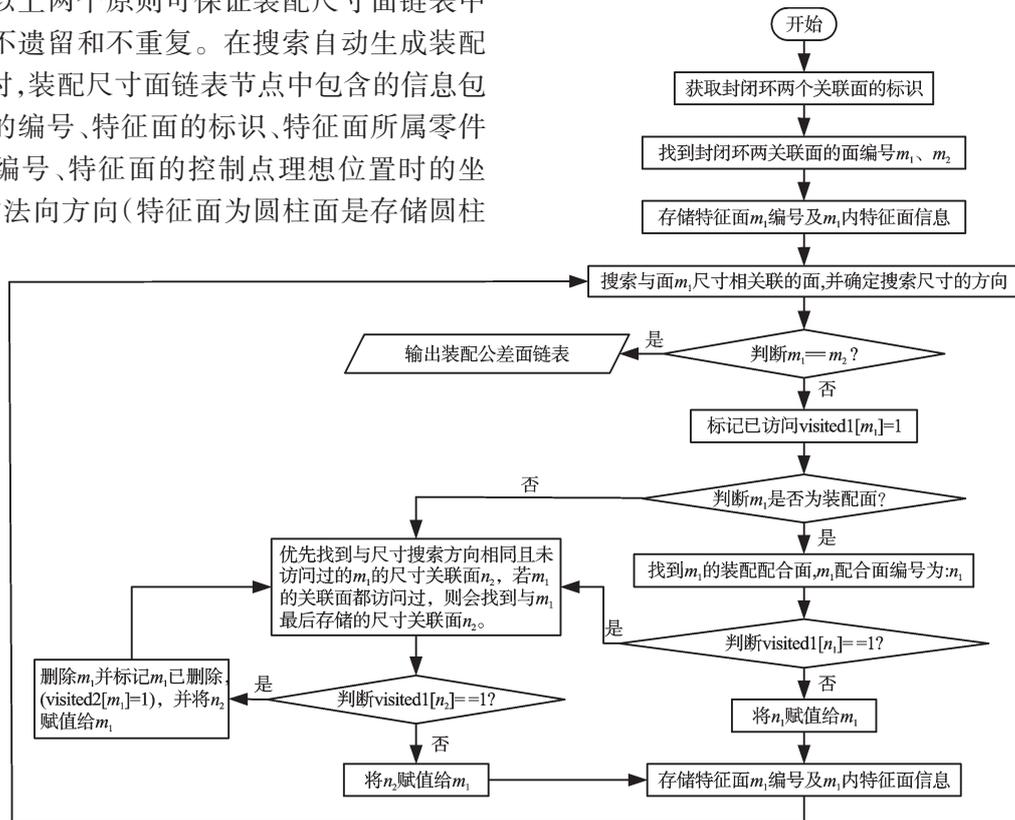


图 2 装配尺寸面链表搜索方法流程图

装配尺寸面链表自动生成后,为了给下一步的公差分析做准备,需按零件的装配顺序及零件内部基准顺序对装配尺寸面链表进行拆分。本研究在对装配尺寸面链表进行拆分时,判断相邻的两面链表节点中存储的特征面间的尺寸基准关系,将两特征面间的尺寸公差带转化为目标尺寸特征面控制点坐标的尺寸变动范围存储起来。

### 4 实例验证

笔者以图 3 中两个零件的轴孔装配为例,说明装配信息的获取方法。轴座零件如图 3(a)所示,孔板零件如图 3(b)所示,两个零件的尺寸公差、几何公差及设计基准如图 3 中所示。两零件装配时孔板的 A、B、C 基准面按次序分别与轴座的 A、B、C 基准面对齐,然后进行轴孔装配。本研究在 UG NX7.5 中对轴座及孔板进行三维建模并用 PMI 模块对轴座及孔板进行三维公差信息标注。两个零件的装配公差分析的目标是分析轴孔装配的间隙。

为叙述方便,本研究对轴座和孔板的特征面进行编号,分别如图 4、图 5 所示。轴座和孔板的装配公差信息模型图如图 6 所示。图 6 是一个由有向边和无向边组成的混合图,由两个零件公差信息的子图组成,两个子图通过装配关系连接,如图 6 中的虚线所示;图 6 中,带有编号的节点代表装配公差信息模型图的面,实线无向边代表尺寸公差,虚线无向边代表两个零件的装配面有装配接触关系。有向边代表几何公差,方向由目标平面指向基准平面。

笔者在轴座与孔板装配体中标注封闭环,封闭环的两个尺寸关联面分别为图 5 及图 4 中的孔板圆孔面 7 及轴座上圆柱面 11。本研究利用图 2 所示的搜索方法,对如图 6 所示的装配公差信息模型图进行搜索,可以找到轴座和孔板两零件 B 基准法线方向的装配面节点编号为 11-9-4-7, C 基准面法线方向的装配公差面节点编号为 11-8-6-7。然后按照零件的装配顺序和基准变动顺序对装配尺寸面链表进行拆分排序,拆分为三维装配尺寸面链表组。如轴座和孔板两零件在

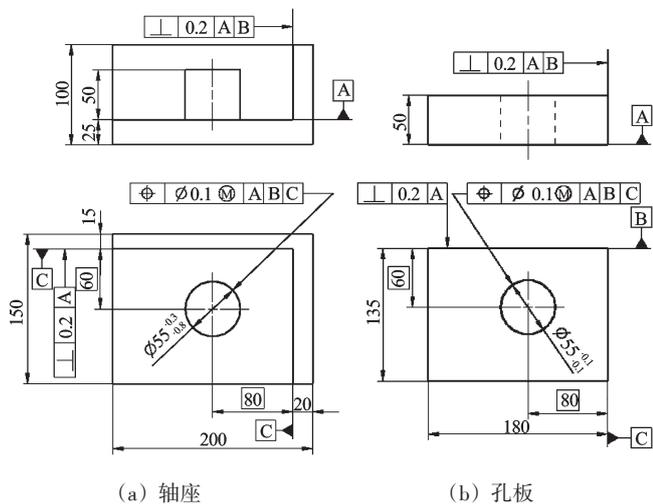


图3 零件图

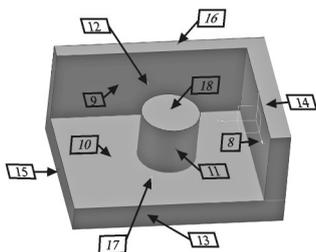


图4 轴座特征面编号

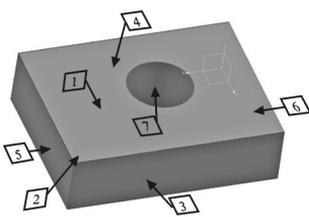


图5 孔板特征面编号

装配时以轴座为基础装配零件,即轴座装配次序为1,孔板装配次序为2,以此将B基准面方向的装配公差面节点按装配零件次序拆分为:11-9,4-7两组装配公差链表。再根据轴座与孔板圆柱面在B基准方向的设计基准面为B则根据基准排序的结果为9-11,4-7;同理轴座和孔板的C基准面法线的装配尺寸面链表的拆分结果为8-11,6-7。在进行装配尺寸面链表拆分为装配尺寸面链表组并按基准排序时,本研究将面的尺寸变动范围转换为特征面控制点坐标尺寸变动范围

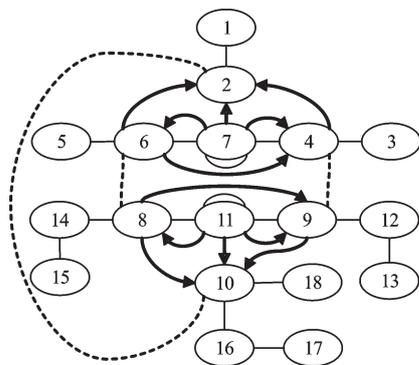


图6 轴座和孔板的装配公差信息模型图

添加到三维装配尺寸面链表组中的面节点中。

在分析轴座和孔板装配体轴孔装配间隙时,需转化为以轴座和孔板轴线的位置为研究对象。容易分析轴座和孔板轴线位置受轴座和孔板B、C基准面垂直度误差的影响,故在以轴座和孔板圆柱面轴线间的距离为封闭环时会建立B和C两个基准面方向上的装配尺寸链。以C基准面方向为例建立的装配尺寸链如图7所示,图7中A0为封闭环,其尺寸关联特征为轴座和孔板的轴线,装配尺寸链中轴座贡献的组成环关联的特征为轴座圆柱面轴线和轴座C基准面,孔板贡献的组成环关联特征为孔板圆柱面轴线和孔板C基准面。本研究建立的装配公差信息模型图以特征面为节点,圆柱轴线的信息存储在圆柱特征面的节点信息中,按图4、图5中对轴座和孔板特征面编号搜索出的C基准面方向的尺寸链面链表组为8-11,6-7,与图7中建立的C基准面方向装配尺寸链关联特征面一致,故可验证搜索算法的正确性,同理可验证B基准面方向搜索出来的装配尺寸面链表组的正确性,这里不再赘述。

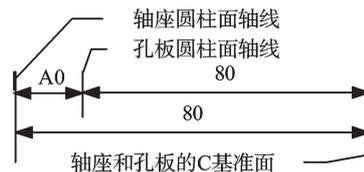


图7 轴座和孔板装配体C基准方向的装配尺寸链

### 5 结束语

本研究提出建立以特征面为节点包含尺寸公差、几何公差、装配约束的装配信息存储的混合图结构,该公差模型图的所有图节点在同一层上,并且在每个节点中添加了特征面所属零件的标识,既方便了对特征面节点按零件分区识别,又方便了对图的搜索建立装配尺寸面链表,有效解决了以往公差建模对节点存储的有序性与对公差模型搜索高效性之间的矛盾。

笔者在建立的装配公差信息模型图的基础上实现了三维装配尺寸面链表的真正意义上的自动生成,并根据装配基准顺序实现对装配尺寸面链表自动拆分排序。所建立的装配尺寸面链表与传统的装配尺寸尺寸链有别,该装配尺寸面链表组节点中存储的为传统装配尺寸链中组成环的尺寸关联面,为后续的公差分析与综合软件开发提供了新的研究方法和必要的信息。

(下转第476页)

#### 本文引用格式:

勾波,吴玉光,王光磊. 基于UG的三维装配尺寸面链表组自动生成方法研究[J]. 机电工程,2014,31(4):437-441,476.

GOU Bo, WU Yu-guang, WANG Guang-lei. Automatic generation of 3D assembly feature surface chain groups associate to dimension based on UG platform[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(4): 437-441, 476. <http://www.meem.com.cn>

效率提高了约5%。

(3) 方案4相比方案3,同等体积、重量条件下,增加肋片根部厚度,减小肋片端面厚度,拟合接近三角形肋片,最高温升降低至80.6℃,散热效率提高了约6.8%。

(4) 结合表1和表2可知,发热电子元器件的最高工作结温为125℃,而方案4最高温升为80.6℃,结合40℃工作环境温度,120.6℃的最高温小于最高工作结温125℃,满足使用条件要求。

## 4 结束语

通过仿真分析软件优化出矩形肋片尺寸,再结合“当材料、热换系数和肋基热流量对肋基过余温度之比相同时,三角形断面重量只有矩形断面的69%”重要结论,获得散热效果更优的梯形(拟合三角形)肋片断面设计方案,使得散热效率提高了约6.8%。本研究方法在一定程度上降低了电子元器件温升,提高了产品的可靠性,增加了产品的市场竞争力。

### 本文引用格式:

史贤忠,杜佳星,刘缙阁,等. 伺服驱动器散热器的热设计优化[J]. 机电工程,2014,31(4):473-476.

SHI Xian-zhong, DU Jia-xing, LIU Zuan-ge, et al. Optimization on thermal design of servo driver heat-sink[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(4):473-476.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

### 参考文献(References):

- [1] 刘明安,董秋霞,陈 硕. 开式机箱电子设备热设计的数值研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2005,6(2):62-65.
- [2] NELSON L A, SEKHON K S, FRITZ J E. Direct heat pipe cooling of semiconductor devices[C]//Proceeding of the 3th International Heat Pipe Conference, Palo Alto:[s.n.], 1978:373-376.
- [3] 邱成梯,赵淳爰,蒋全兴. 电子设备结构设计原理[M]. 修订本. 南京:东南大学出版社,2002.
- [4] 袁亚辉. 基于6sigma ET的某电子设备瞬态热设计[J]. 机械,2013,40(8):36-39.
- [5] 王 坚,徐国华. 电子设备热分析及优化设计[J]. 广东工业大学学报,2003,20(3):54-63.
- [6] 王 萌,徐晓婷. 高密度密封电子设备热设计及结构优化[J]. 电子工艺技术,2006,27(6):339-343.
- [7] 赵 地. 嵌入式计算机系统功耗散热分析及优化设计[D]. 西安:西安电子科技大学通信工程学院,2007.
- [8] Ansys Inc.. Icepak User's Guide[CP]. SASIPInc., 2011.
- [9] 余建祖,高红霞,谢永奇. 电子设备热设计及分析技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2001.

[编辑:洪炜娜]

(上接第441页)

### 参考文献(References):

- [1] 吴春侗. 面向三维装配图的尺寸链自动生成技术的研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源工程学院,2003.
- [2] DAVIDSON J K, MUJEZINOVI A, SHAH J J. A new mathematical model for geometric tolerances as applied to round faces[J]. Journal Mechanical Design, 2002, 124(4):609-622.
- [3] MUJEZINOVI A, DAVIDSON J K, SHAH J J. A new mathematical model for geometric tolerances as applied to polygonal faces[J]. Journal of Mechanical Design, 2004, 126(3):504-518.
- [4] CLEMENT A, RIVIERE A, SERRE P, et al. The TTRSs: 13 constraints for dimensioning and tolerancing [C]//The 5th CIRP International Seminar on Computer-Aided Tolerancing. London:Chapman and Hall, 1998:122-131.
- [5] CLEMENT A, RIVIERE A, SERRE P. A declarative information model for functional requirements [C]// Proceedings of the 4th CIRP Design Seminar The University of Tokyo. New York:Springer, 1996:3-16.
- [6] 刘玉生,高曙明,吴昭同,等. 基于特征的层次式公差信息表示模型及其实现[J]. 机械工程学报,2003,39(3):1-7.
- [7] 张 博,李宗斌. 采用多色集合理论的公差信息建模与推理技术[J]. 机械工程学报,2005,41(10):111-116.
- [8] 钟艳如,覃裕初,黄美发,等. 基于特征表面和空间关系的公差表示模型[J]. 机械工程学报,2013,49(11):161-170.
- [9] 吴玉光,张根源. 基于几何要素控制点变动的公差数学模型[J]. 机械工程学报,2013,49(5):138-146.
- [10] 郭长虹,席 平. 基于UG的装配尺寸链自动生成算法[J]. 航空制造技术,2005(2):72-74,78.
- [11] 许本胜,黄美发,匡 兵,等. 基于特征的三维装配尺寸/公差链生成研究[J]. 桂林电子工业学院学报,2006,26(1):54-58.
- [12] 王 恒,宁汝新,唐承统. 三维装配尺寸链的自动生成[J]. 机械工程学报,2005,41(6):181-187.
- [13] 侯永涛,丁向阳. UG/Open二次开发与实例精解[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [14] 黄 翔,李迎光. UG应用开发教程与实例精解[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [15] 薛小雯,蔡小华. 基于UG软件的串联式凸轮连杆机构的设计方法与运动分析[J]. 轻工机械,2012,30(1):31-34.
- [16] 董正卫. UG/OPEN API编程基础[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

[编辑:张 翔]