

文章编号: 1673-5196(2006)05-0044-04

虚拟设计中公差与配合的检验和分析方法

阎树田¹, 曾贤虎¹, 沙成梅¹, 苏玉瑞², 乔伟峰¹

(1. 兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 中国人民解放军 63883 部队, 河南 洛阳 491000)

摘要: 探讨了虚拟设计中公差与配合的检验和分析方法. 根据国家标准规定的标准公差及优先配合建立了参考数据库, 提出了公差与配合检验的准则. 通过检索参考数据库对公差与配合进行检验, 对不合理的公差给出修改建议, 然后根据生产实际选用最坏分析法或统计分析法对尺寸/公差链进行分析. 若不符合设计要求则进行百分比贡献分析, 并对百分比贡献较大的尺寸公差提出修改建议.

关键词: 公差配合; 虚拟设计; 检验; 公差分析

中图分类号: TH 122 **文献标识码:** A

Test and analysis method of tolerance and fit in virtual designing

YAN Shu tian¹, ZENG Xian hu¹, SHA Cheng mei¹, SU Yu rui², QIAO Wei feng¹

(1. College of Mechano-Electronic Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. The 63883 Unit of the Chinese People's Liberation Army, Luoyang 491000, China)

Abstract: The method for test and analysis of tolerance and fit in virtual designing was probed into. Reference data base was established on the basis of standard tolerance and preferred fit stipulated by national standards. The rules for tolerance and fit test were proposed, and the both were tested by searching the data base. The advice was then given for modifying the unreasonable tolerance which fall short of design are tolerance and fit. Then, the dimensional and tolerance chain was analysed by means of worst situation analysis method or statistic analysis method according to the practical situation of production. The percentage contribution analysis was conducted when the design requirements were not satisfied with and the advice was presented for modifying the tolerance which has a larger percentage contribution.

Key words: tolerance and fit; virtual design; test; tolerance analysis

虚拟设计(virtual design, 简称VD)是以虚拟现实为技术基础,以产品为对象的设计手段,集计算机图形学、人工智能、并行工程、网络技术、多媒体技术和虚拟现实技术为一体,在虚拟的条件下,对产品进行构想、设计、制造、测试和分析.它的显著特点之一是利用存储在计算机内部的数字化模型——虚拟产品来代替实物模型进行仿真、分析,从而提高产品在时间、质量、成本、服务和环境等多目标中的决策水平,达到全局优化和一次性开发成功的目的^[1].目前,有关虚拟设计理论与技术的研究不少,但主要是虚拟设计过程的建模、动态仿真、装配的干涉检验和装配序列规划等方面的研究,然而公差与配合作为产品设计中不可缺少的部分,与产品的装配和制造

过程是密切相关的,公差与配合的设计不仅影响到制造和装配过程,还影响到产品的功能.公差设计的不合理,可能会提高产品的制造成本以及造成产品的报废.而合理的公差与配合设计是提高产品的质量,控制生产成本的一个主要手段,因此虚拟设计过程中公差与配合的检验与分析就显得至关重要.本文就虚拟设计中公差与配合的检验及分析方法进行了一些初步的研究.

1 公差与配合的检验和分析

在虚拟环境下进行设计,建立零部件模型(虚拟设计及装配过程的建模,本文不作研究),并在此基础上进行公差与配合检验及分析,以确定是否满足设计及装配要求,对不满足设计及装配要求的相关公差尺寸进行修正,然后通过面向对象的可视化语言 Visual Basic 编程,实现公差与配合的检验分析

收稿日期: 2005-07-08

作者简介: 阎树田(1954-),男,河北保定人,教授,博导.

以及与 CAD 系统的集成,本文主要讨论检验分析的方法:根据国家标准,建立标准公差与优先配合参考数据库,然后检索数据库对公差和配合进行检验,最后进行公差分析,检验闭环尺寸是否符合设计要求,对不合理的公差与配合提出合理建议并重新设计公差与配合,其过程见图 1.

也可按整体方式建库.

表 1 标准公差参考表(部分)

Tab. 1 Referential table of standard tolerance (non completed)

基本尺寸/mm	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4
≤3	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0
>3~6	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4.0
>6~10	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4.0
>10~18	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	5.0

2) 基本偏差系列数据库

基本偏差数据库的建库方法与标准公差系列基本相同.

3) 优先、常用配合数据库

国标规定在孔、轴公差带中基孔制常用配合 59 种,优先配合 13 种,基轴制常用配合 47 种,优先配合 13 种(见表 2).基轴制优先与常用的配合表与表 2 相似^[2,3].以此为参考标准,建立数据库.

表 2 基孔制优先与常用的配合表(部分)

Tab. 2 Preference and common fits assort of hole based system (non completed)

轴	孔				
	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10
e				H 9/c 9	H 10/h 10
d			H 8/d 8	H 9/c 9	H 10/d 10
e			H 8/e 7 H 8/e 8	H 9/e 9	
f	H 6/f 5	H 7/f 6	H 8/f 7 H 8/f 8	H 9/f 9	
g	H 6/g 5	H 7/g 6	H 8/g 7		
h	H 6/h 5	H 7/h 6	H 8/h 7 H 8/h 8	H 9/h 9	H 10/h 10
js	H 6/js 5	H 7/js 6	H 8/js 7		

注:表中加方框的配合为优先配合.

1.2 公差与配合的检验准则

主要检验零件的公差与配合的合理性和正确性,即是否符合国家标准.

1.2.1 公差检验

1) 如果零件的公差标注了公差代号和偏差数值,则假定基本偏差正确,根据参考标准,检验其偏差数值是否与公差带代号相符,如果不符,给出标准数值,由设计人员进行实时的更正处理.

2) 如果零件的公差只标注了偏差数值,则从标准公差数据库中的所有数据表中进行检索,如能找到与偏差数值相符的一条记录,则公差标注正确.否则,根据该段用途尺寸,从某一参考标准中找出最大上偏差和最小下偏差,即为其公差数值范围.修改后,再做进一步的检验.

3) 如果零件只标注了公差带代号,则只简单地检验其公差等级是否符合国家规定的 20 个等级.

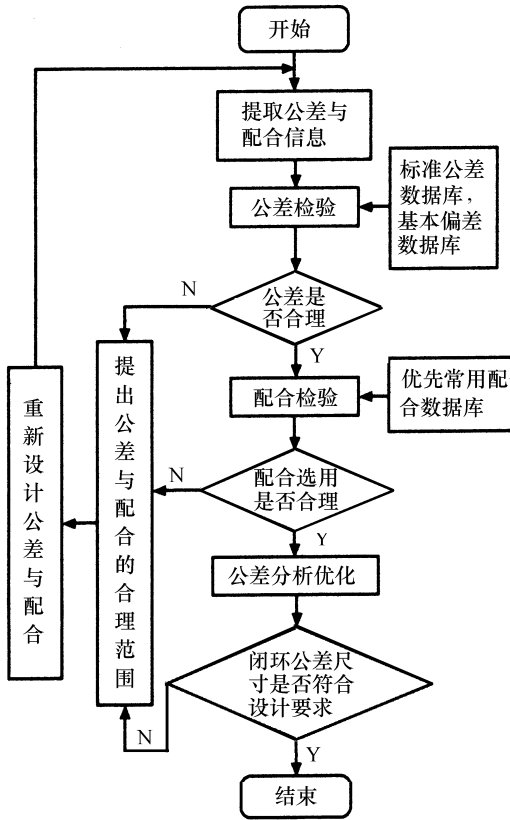


图 1 公差与配合检验流程图

Fig. 1 Flowchart of tolerance and fit test

1.1 建立检验参考标准数据库

公差与配合的检验必须根据国家公差与配合标准进行.公差的检验标准就是国家规定的标准公差值;配合的检验标准就是国家规定的优先配合和常用配合.基本偏差有 28 种,公差等级分为 20 级^[2],常用配合和优先配合也很多.它们的数据库结构相似,Visual Basic 提供的基于数据库的强大编程功能正好解决了这一问题,数据库的建立以实用方便为主.

1) 标准公差系列数据库

标准公差系列中,在常用尺寸段,即小于等于 500 mm 尺寸段内,共划分了 13 个尺寸段,在每一个尺寸段内,对应于 20 个精度等级都有一个确定的标准公差值(见表 1).在建立数据库时,可先建立常用尺寸、常用公差等级数据库,这样用起来比较方便.如果在使用中涉及的尺寸范围和精度等级很大,

1.2.2 配合检验

1) 非标准件之间的配合检验

在标准数据库表中查找,看零件间的配合是否选用了国家标准规定的优先配合和常用配合,配合选用的基准制是否合理,配合零件尺寸的公差带等级是否符合要求.检验结束后,指出配合类型和结果,给出改进建议.

2) 非标准件与标准件之间的配合检验

非标准件与标准件之间的配合,往往根据配合的用途有不同的要求,应当做特殊处理.标准件的公差不用设计人员确定,它与非标准件配合时,通常对非标准件的配合尺寸有特殊的公差要求.因而,对这类配合进行检验时,只需对非标准件配合尺寸公差进行特殊检验.例如:轴承内圈与轴颈的配合轴常采用 k6,检验时,只需检验轴颈的公差是否为 k6;同理,轴承外圈与外壳孔的配合孔常采用 K7,只需检验外壳孔的公差是否为 K7.

1.3 公差分析优化

通过对已经检验的符合国家标准的公差做进一步公差分析,检验设计尺寸/公差链的正确性,并提出改进建议.

公差分析是根据已知各组成环的尺寸和公差,计算求解最终封闭环的公差.其前提条件是要根据设计要求确定封闭环和组成环,即把相互关联的尺寸组成环联系起来,形成一尺寸/公差链.

1.3.1 生成尺寸/公差链

建立 CAD 系统与公差分析之间的有效接口,分析虚拟模型,从 CAD 系统中提取公差信息,按照设计确定的封闭环,找出与其相关的组成环,形成一个尺寸/公差链.

1.3.2 求解尺寸/公差链

1) 极值法

极值法求解尺寸链,就是以各环的极限值为依据进行尺寸链的计算.即在所有增环均为最大极限值,所有减环均为最小极限值时都满足要求,这样可以保证 100%地满足装配的正确性和零件的互换性,其计算公式如下:

$$T_0 = \sum_{i=1}^n |\xi_i| T_i$$

式中: ξ_i 为第 i 个相关组成环尺寸公差的传递比, T_0 为封闭环尺寸公差, T_i 为第 i 个相关组成环尺寸公差^[4,5].

在单件或小批量生产时,一般采用此方法,其特点为简单易行,便于实现,而且保守的公差设计能缩短装配时间,提高效率.

2) 统计分析法

统计分析法基于这样一个理论:大多数机械零件的尺寸误差在它们公差限制范围内是正态分布,多个零件的分布可以合并为一个正态分布,表示了距标称尺寸的装配误差.在计算装配误差的均值和标准偏差时,把零件的标称尺寸作为均值,而把零件规定的公差限制作为制造误差分布正态曲线的极限,常见统计法 RSS (the root sum squares) 的计算方法如下:

$$T_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_i^2 T_i^2} \text{ 或 } \delta_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_i^2 \delta_i^2}$$

式中: δ_0 为装配封闭环公差要求的标准偏差, δ_i 为第 i 个零件尺寸组成环的标准差, n 为装配组成环的个数^[6].

在批量生产时,用统计分析法求解检验,可以扩展公差,防止设计过于保守,节约制造成本.

1.3.3 百分比贡献优化处理

在检验完成后,对不满足设计要求的封闭环尺寸公差,首先确定对其影响最大的组成环公差,并根据这些公差尺寸相对于封闭环公差尺寸的百分比贡献进行分析.尺寸的百分比贡献是指在尺寸/公差链中该尺寸对要求的尺寸公差产生误差影响的百分比,可以通过下式计算:

$$P_i = \frac{(\partial U / \partial X_i) \delta_i}{\sum_{i=1}^n (\partial U / \partial X_i) \delta_i} \times 100\%$$

式中: P_i 为尺寸 i 的百分比贡献, $\partial U / \partial X_i$ 为关键尺寸对关联尺寸的偏导数^[7].通过分析可以看出哪几个尺寸公差对该分析尺寸的分布误差影响最大,可对那些影响较大的尺寸公差进行修正.

2 实例分析

图 2 为虚拟设计中某齿轮部件截面图.图中的尺寸及公差配合由设计者给定,并要求封闭环 L_0 的公差为 0.10~0.45 mm.运用上述公差与配合检验分析方法,可通过 Visual Basic 编程对其进行公差与配合检验分析.

1) 首先检验零件的公差与配合的合理性和正确性,即是否符合国家标准.提取零件的尺寸公差,检验其偏差数值尺寸是否符合标准.检索数据库, $\phi 20$ mm 直径段的上偏差为 0.020 mm,与标准偏差不一致,建议改为 0.018 mm.

2) 检验配合.根据非标准件之间的配合检验准则检验齿轮与轴的配合.检索数据库,H9/s6 配合孔比轴的公差等级低了 3 级,而且不是优先或常用

配合,建议采用 H7/s6.

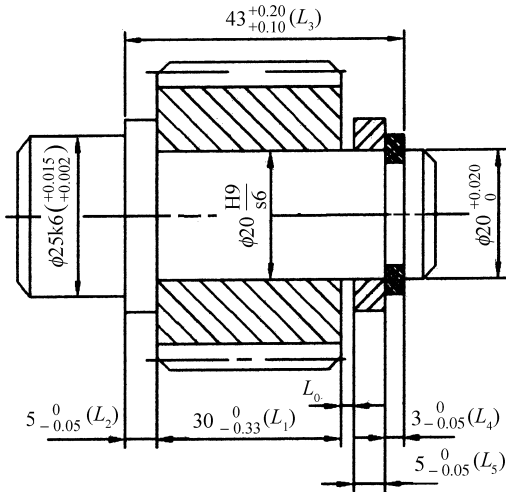


图 2 齿轮部件截面图

Fig. 2 Sectional view of gear assembly

3) 公差与配合检验完毕.

4) 根据几何尺寸信息列出装配零件的几何尺寸误差(见表 3).

表 3 装配零件的几何尺寸误差

零件尺寸	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
基本尺寸	0	30	5	43	3	5
尺寸	0.10~	0	0	+0.20	0	0
公差	0.45	-0.33	-0.05	+0.10	-0.05	-0.05

L_0 为封闭环,其他是与之相关的组成环,形成一个尺寸/公差链.用最坏情况分析法求解尺寸/公差链:

$$\xi_1 = \xi_2 = \xi_4 = \xi_5 = -1 \quad \xi_3 = 1$$

封闭环基本尺寸 $L_0 = 0$ mm, 则

$$T_0 = \sum_{i=1}^n |\xi_i| T_i = 0.58 \text{ mm} > 0.10 \sim 0.45 \text{ mm}$$

不符合设计要求,对其进行百分比贡献优化处理,计算各组成环尺寸误差的百分比贡献(见表 4).

表 4 误差百分比贡献

尺寸代号	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
误差百分比贡献	57	9	16	9	9

由表 4 可见 L_1 对其影响较大,建议对 L_1 的公差进行修改,偏差改为 0.1, 则

$$T_0 = \sum_{i=1}^n |\xi_i| T_i = 0.35 \text{ mm}$$

尺寸/公差链检验完毕,符合设计要求.

3 结语

通过面向对象的可视化语言 Visual Basic 编程,可实现虚拟设计过程中的公差与配合的检验分析.在产品装配前,找出明显的公差与配合设计错误和隐藏的不合理性错误,实时地提出改正建议,提高产品设计生产效率.本文只对公差与配合的检验分析进行了初步研究,对形位公差的检验分析及利用现有软件如 Pro/E 的 CE/TOL 模块、UG II 进行虚拟设计的公差检验分析还有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 陈定方, 罗亚波. 虚拟设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] 廖念钊. 互换性与测量技术基础 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2002.
- [3] 马海荣. 几何量精度设计与检测 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] 蔡善乐. 机器装配中的分组装配法理论分析 [J]. 甘肃工业大学学报, 1993, 19(2): 72-76.
- [5] 吴昭同, 杨将新. 计算机辅助公差优化设计 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999.
- [6] 董正卫. 带公差的数字预装配技术研究 [J]. 战术导弹技术, 2001(1): 52-57.
- [7] 王 刚, 郭连水, 韦雪琴. 基于制造能力的装配公差分析和优化方法 [J]. 航空制造技术, 2004(2): 74-77.