

汽车先进技术论坛丛书

QICHE XIANJIN JISHU LUNTAN CONGSHU

GD&T 基础及应用

第2版

王廷强 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



汽车先进技术论坛丛书

GD&T 基础及应用

第 2 版

王廷强 编著

机械工业出版社

本书着重介绍基于 ASME Y14.5 和 ISO 1101 标准的几何公差知识,详细地阐述了几何公差基础知识及其高级应用,以引导读者入门,并举例说明几何公差的实际应用。

本书共有十章。第一章对 GD&T/GPS 的历史和相对于尺寸公差的优势做了对比。第二章和第三章综述了几何公差的符号组成和控制框语法,并重点介绍了基准知识。第四章到第九章介绍了几种几何公差控制方法的定义、应用及检测,从基础知识到高级应用、检测方法几个方面让读者从理论到实践全面掌握几何公差的实际应用,其中精选了大量的应用实例可以作为几何公差设计时的参考。第十章是 GD&T/GPS 的综合应用,建议读者在有前九章的扎实知识后再参考这一部分。第十章对于 GD&T/GPS 的高级应用给出实例,内容涉及汽车零部件基准的选择建立、不同条件的补偿公差的计算、MMC 和 RFS 应用要点、配合设计和检具设计。

本书面向实际应用,对机械工程(如汽车类)设计人员、检测人员和加工制造人员都有极高的参考价值,对供应商质量管理和汽车零部件采购项目的从业人员也是不可或缺的工具书。

图书在版编目(CIP)数据

GD&T 基础及应用/王廷强编著. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2016.7

(汽车先进技术论坛丛书)

ISBN 978-7-111-54292-6

I. ①G… II. ①王… III. ①形位公差 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 161099 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:孙 鹏 责任编辑:孙 鹏

责任校对:潘 蕊 封面设计:路恩中

责任印制:常天培

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2016 年 10 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.75 印张 · 303 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-54292-6

定价:69.90 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前言

“中国制造 2025” 强国战略纲领中提出，我国 2025 年的目标是迈入制造强国行列，2035 年达到世界制造强国阵营中等水平，2049 年（即建国百年）进入世界制造强国前列。这是制造业重大的历史机遇，需要工程制造行业的各类人才共同努力，并做出应有的贡献。

我国的制造业已经取得令世界瞩目的成绩，但是当前我国工业的附加值低，大而不强，缺乏核心技术，仍处于较低的质量效益水平。转型升级的艰巨任务仍需要我们工程人员的努力。

GD&T/GPS 是一门基础学科，是促进国家工业发展的一个重要工具。无论是基础加工工业、汽车行业，还是航空、航天行业，GD&T/GPS 都是不可或缺的知识。欧美和日韩对 GD&T/GPS 的教育体系已完全成熟，普遍应用于工业制造领域，并在其高精尖的产品开发中起到了积极推进的作用。

GD&T/GPS 在系统集成、降低项目风险、降低成本和提高质量方面提出了根本性的解决方案。GD&T/GPS 综合了工业发展史上成熟的设计经验，其核心理念是把设计工作中的加工工艺的可行性、测量方案的可行性进行先期分析。这门学科还将设计流程标准化，并且用精确逻辑性的图形语言加强了世界各地加工厂的沟通协作，使复杂、大型产品开发得以实现。

笔者工作中曾拜访过国内许多企业。国内加工业对于 GD&T/GPS 的应用还处于初级水平。明显的例子是普遍存在三坐标测量设备的应用和工装、专用检具的设计不正确，图样、工艺文件和检测方案不一致等情况。

本书基于 ASME Y14.5、ISO 1101 和 GB/T 1182 等几何公差标准，内容侧重于应用，以及检测和检具的设计。检具设计的关键工作在于计算，读者在设计检具或夹具时可以参考这些检具设计知识要点。

本书内容旨在介绍这门学科的应用知识，提高设计开发效率，降低企业开发、生产成本。

目 录

前言

第一章 GD&T 简介	1
第一节 GD&T 的历史	1
第二节 GD&T 与国内现行的尺寸公差对比的优点	2
一、图样上的三种尺寸公差	2
二、几何公差和尺寸公差的比较	3
三、美标 ASME Y14.5 和欧标 ISO 1101 的区别	6
第二章 几何公差的符号	9
第一节 几何公差的公差控制符号	9
第二节 几何公差的修正符号	10
第三节 公差控制框	11
一、公差控制框的组成	11
二、公差控制框的语法	11
第三章 基准	13
一、基准的定义和 3-2-1 原则	13
二、孔槽定位	15
三、基准布置的深入探讨——基准阵列的问题	17
四、基准要素	21
五、功能基准和非功能基准	21
六、联合基准	22
第四章 几何公差控制——形状控制	23
第一节 直线度的定义、应用及检测方法	24
一、直线度的定义	24
二、直线度控制一个平面	24
三、直线度控制一个圆柱面	25
四、直线度控制中心线或中心面	26
五、直线度的测量及应用	27
六、拟合中心面的直线度	30
七、RFS 修正情况下的直线度及检测设置	30
八、对于腰形或鼓形特征的直线度测量	32
第二节 平面度的定义、应用及检测方法	34
一、平面度的定义	34
二、平面度控制一个平面	35
三、几何公差第一法则与平面度控制	35



第三节 圆度的定义、应用及检测方法	37
一、圆度的定义	37
二、圆度控制的应用	39
三、圆度控制的测量	39
四、圆度的讨论	40
五、圆度检测设备	41
六、零件的自由状态	41
第四节 圆柱度的定义、应用及检测方法	43
一、圆柱度的定义	43
二、圆柱度的应用及测量	44
第五章 几何公差控制——轮廓度控制	46
第一节 线轮廓度的定义、应用及检测方法	46
一、线轮廓度的定义及阐述	46
二、线轮廓度的标注方式及公差分布	46
三、线轮廓度的应用	48
四、线轮廓度的测量	49
第二节 面轮廓度的定义、应用及检测方法	51
一、面轮廓度的定义	51
二、面轮廓度的控制与基准参考	51
三、面轮廓度的测量	53
第三节 轮廓度的综合应用	56
一、组合公差框控制和独立组合公差框控制的比较	56
二、轮廓度在不连续面特征上的应用	58
三、轮廓度的应用及隐含的加工顺序	61
第六章 几何公差控制——定向控制	63
第一节 倾斜度的定义及应用	63
一、倾斜度的定义	63
二、特征平面到基准面的控制应用	64
三、特征轴到基准面的控制应用	64
四、特征轴到基准轴的控制应用	66
第二节 垂直度的定义、应用及检测方法	67
一、垂直度的定义	67
二、特征面垂直于基准面的控制	68
三、特征轴到基准面的垂直度	68
四、特征轴到基准轴的垂直度控制	71
五、中心面对基准轴的垂直度应用	72
六、两种垂直度标注方式的比较	73
七、垂直度的综合应用	74
八、垂直度的测量	76



第三节 平行度的定义、应用及检测方法	78
一、平行度的定义	78
二、特征面到基准面的控制应用	79
三、特征轴到基准面的控制应用	79
四、特征轴线到基准面的平行度控制一个应用特例	81
五、特征轴线到基准轴线的控制应用	81
六、平行度与平面度的区别	83
第七章 几何公差控制——定位控制	84
第一节 同心度（同轴度）的定义、应用及检测方法	84
一、同心度（同轴度）的定义	84
二、同心度的应用	85
三、同心度的测量	86
四、同心度和跳动的区别	87
第二节 对称度的定义、应用及检测方法	88
一、对称度的定义	88
二、对称度的应用	88
三、对称度、同心度和位置度的对比	89
第三节 位置度的定义、应用及检测方法	91
一、位置度的定义	91
二、位置度的应用	92
三、浮动螺栓的装配	93
四、延伸公差带（固定螺栓或销的过盈装配）	93
五、螺纹孔的检测	94
六、螺纹孔的实效边界	95
七、过盈、过渡配合中的延伸公差	97
八、位置度、同心度（同轴度）和跳动控制的比较	100
九、同轴（轴线重合）控制总结	101
十、MMC 时的零公差约束	101
十一、零位置度公差的应用范围	103
十二、零公差的应用	103
十三、位置公差控制的过盈配合	104
十四、组合公差	104
十五、组合公差控制框的配合公差	106
十六、对于组合公差框控制的尺寸特征的匹配设计	113
十七、组合公差控制框和独立组合公差控制框的区别	116
十八、初始定位的方式	117
十九、尺寸公差到位置度公差的转换	120
二十、允许偏差和实际偏差	124
二十一、补偿公差	124



二十二、非圆柱面匹配特征的位置	126
二十三、位置度边界	127
二十四、位置度控制的对称度 (RFS)	129
二十五、位置度控制的对称度 (MMC)	129
二十六、两个方向上的位置度控制	129
二十七、同步或独立要求	132
二十八、位置度总结	138
第八章 如何逻辑定义零件公差	139
一、线性分段方式——曲轴子装配	139
二、成本与几何公差控制	143
第九章 几何公差控制——跳动控制	149
第一节 圆跳动的定义、应用及检测方法	149
一、圆跳动的定义	149
二、圆跳动的应用	150
三、V 形架的检测方式探讨	151
四、锥面到轴的控制应用	152
五、垂直于基准轴的面的控制应用	152
六、同轴于基准轴的面的控制应用	153
七、复合基准轴的测量 (中心孔方式)	153
八、两个基准的方式	154
第二节 全跳动的定义、应用及检测方法	155
一、全跳动的定义	155
二、全跳动的应用	156
三、锥面到基准轴的控制应用	156
四、垂直于基准轴的面的控制应用	157
五、全跳动的测量	157
六、基准的建立	160
第十章 几何公差综合应用	162
一、基准建立的应用实例一	162
二、基准建立的应用实例二	162
三、汽车门外板的基准设置方案实例	164
四、汽车翼子板的基准设置方案实例	165
五、汽车梁的基准设置方案实例	166
六、补偿公差计算 (孔或内部特征)	166
七、补偿公差计算 (轴或外部特征)	167
八、轴的实效边界计算	168
九、孔的实效边界计算	168
十、RFS 修正的孔的配合边界与零公差注意事项	168
十一、GD&T 中两种尺寸标注的比较和 Ppk 曲线的应用	169



十二、尺寸公差和几何公差的转换	171
十三、MMC、RFS 和 LMC 的应用及对比	173
十四、第一法则（包容原则）应用实例	174
十五、零件的配合设计应用	175
十六、匹配公差设计实例一	182
十七、匹配公差设计实例二	183
十八、检具设计实例	183
十九、工艺基准的设置及检测方案设置	185
二十、公差分析	188
二十一、环套的最小壁厚计算	190
术语解释	192

第一章 GD&T 简介

第一节 GD&T 的历史

对于几何公差，世界上通行的有美标 ASME Y14.5 [几何尺寸及公差 (Geometry Tolerancing and Dimensioning, 以下简称 GD&T)] 和欧标 ISO 1101 [产品几何公差规范 (Geometrical Product Specifications, 以下简称 GPS)]。GD&T 和 GPS 工程理念都是相同的，只是在符号的表达上稍微有些差异。它们在尺寸控制逻辑上都是相同的，但是对于一些公差控制的理解还是有差异，比如包容原则的定义。历史上 GPS 先出现，后来才有 GD&T，它们在发展过程中相互借鉴，发展至今已有 100 多年的历史。GPS 的总标准 ISO 1101 其下包括 30 个左右的子标准，难以全部收集学习。而 GD&T，主要内容都包含在 ASME Y14.5 中。所以对于初学者，使用 ASME Y14.5 来系统地学习比较合适。在 GD&T 和 GPS 有差异的地方，本书会做详细区分讲解。国内的几何公差标准是 GB/T 1182，遵循欧标 ISO 1101。

几何公差产生是因为随着生产技术和检测技术的提高，尺寸公差系统已经不能充分传达设计意图，设计者迫切需要一种能够有精确逻辑的工程语言来传达设计意图。尺寸公差这种工程图形语言很难将创造性的发明通过纸上传递，并被其他人准确理解。设计者定义的尺寸公差通常会有多种合理解释，而制造者或检测者不同的解释，会导致不能精确传达设计意图。如果某零件由多种解释中的一种方式加工，但与其相匹配的零件却选择另一种方式加工，那么即使各方都按照图样的规定制作，也不能保证它们能够装配到一起。这就不单单是加工精度的问题了。现代的工业加工方式，供应链分布很广，并且数量多，这样给系统集成造成了大量困难。由此人们意识到需要一个更好的方式来解决这个问题，于是便开始了几何公差的探索。

工业生产中重要的是正确地解读图样，以合理的成本来进行加工生产，而不是无限制地提高零件精度。

几何公差标准 (ASME Y14.5/ISO 1101) 正是在这种背景下产生的，是各国政府、军队和私人企业代表研究和协作的结果，也是经过全世界的国家相关领域的人员持续地交流而不断改进而形成的迄今最为完善的工程设计语言。几何公差标准包含大量的图符、概念和逻辑法则。相关标准可以看作是包含图符和语法的工具书。对设计者而言，这些图符能更好地传递设计意图，更具逻辑性。目前这两个标准 (ASME Y14.5/ISO 1101) 在国内应用最广泛，它们的工程理念完全一致，除包容原则和少数的特殊修正符号，不影响相互解读。从标准收集难易来说，笔者建议从 GD&T 入手学习，本书的内容遵循 ASME Y14.5/GD&T 标准。

这两个标准的实施，使人们能够用这种图符语言精确且有逻辑地传递设计意图，设计者可以更详细地描述一个工程设计，并且保证了加工人员和检测人员在相同的条件下能够更好地协作完成工作。设计者可以通过使用相关标准 (ASME Y14.5/ISO 1101) 向全世界精确地公布其发明创造。

本书的内容可帮助应用者在零件尺寸、外形、方向和定位的几何参数上精确理解



GD&T/GPS。应用者可以确信，如果零件合理地按照 ASME Y14.5/ISO 1101 规则开发，零件必定会在总成状态下完成装配，即使是开发含有上千个零件的汽车类设备。在正式开始我们的内容之前，让我们先比较传统的尺寸公差系统和 GD&T/GPS 系统，了解一下几何公差控制的优越性。

第二节 GD&T 与国内现行的尺寸公差对比的优点

开始本节内容之前，有必要声明一下，GD&T（以下或称几何公差）固然是复杂和高级工程设计时必不可少的设计工具语言，但这不意味就完全抛弃尺寸公差的学习。扎实的尺寸公差知识是学习 GD&T 的必要基础。一个标注完善的尺寸公差可以很容易地转换为明确的 GD&T。并且在一些设备上，如钣金行业中的压力机，有名的如日本的 AMADA 压力机，因为这种自动压力机的 G 代码是使用坐标尺寸定位加工特征的，尺寸公差在这种设备上就体现出比 GD&T 更好的优越性。制造者可以直接根据图样转换出 G 代码。如果使用 GD&T 标注，制造者还要费时间转换成相对坐标。图 1-1 所示为 AMADA 压力机和钣金零件设计图。

另外，对于使用直尺或游标卡尺就可以完成检验的零件，尽可能使用尺寸公差标注，以减少检测的成本。对于检具的设计也要尽可能使用尺寸公差标注，以减少验证的成本。

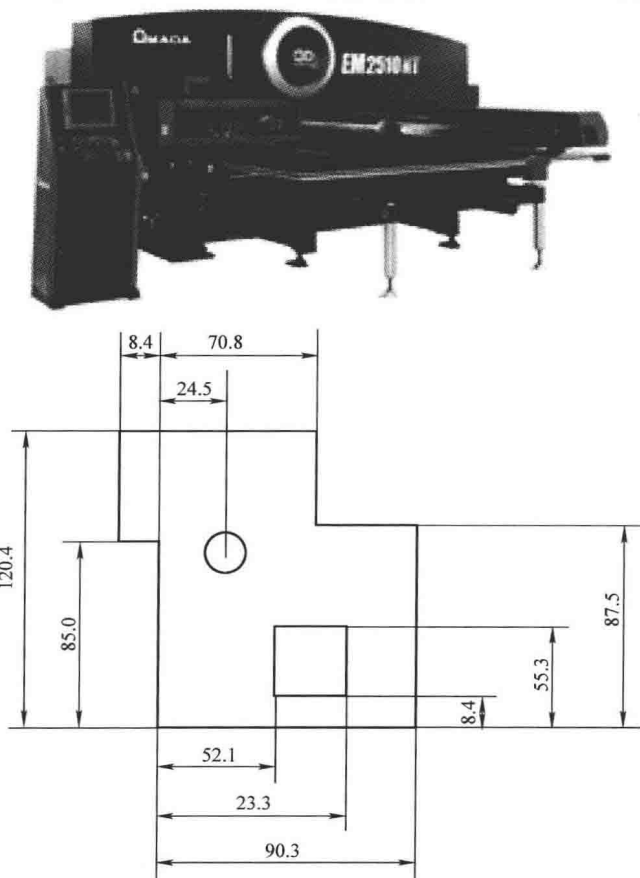


图 1-1 AMADA 压力机和钣金零件设计图

一、图样上的三种尺寸公差

如图 1-2a 所示，公称尺寸不包含公差。公称尺寸用来定位公差带的位置。公称尺寸被包含在矩形框内在图样上表示出来，并非需要检测的尺寸。

一个特征的理想尺寸或定位就是公称尺寸，距理想尺寸允许在一定范围内的偏差，就是传统的尺寸公差。公差是被用来控制特征的加工变差。被控制的特征（如孔、轴、槽、面等）通常会有一个公称尺寸和公差控制框（如位置度、轮廓度等）联合控制。控制框中的公差规定了相对于理想尺寸的偏移量。

公称尺寸不意味着零件上的特征必须符合理想位置或尺寸。这些公称尺寸只是用于理想的定位或理想的尺寸，公差给出了允许的偏移量，并显示在控制框中。公差带可以要求得很



窄（成本高）或者很宽（成本低）。

公称尺寸就是图样上或数模上标注或量取的尺寸，是一个特征的理想尺寸。公称尺寸定义了特征的理论轮廓线或公差带的起始位置，体现的是设计者的设计趋势。这不同于基孔制或基轴制配合的相关标准中公称尺寸的定义，比如这种标注方式在 GD&T 中是不允许的。例如，公称尺寸 23.0mm 落在公差带之外，不是设计或加工中的理想尺寸。公称尺寸 23.0mm 在基轴制或基孔制中不是设计者的设计趋势。

如图 1-2b 所示，参考尺寸通常是尺寸链中作为工艺参考的验证尺寸，一般为尺寸链中的冗余尺寸，同样不需要检验。参考尺寸在图样中应标注在括号内。

如果公称尺寸后有公差，就是尺寸公差。如图 1-2c 中的线性尺寸公差，这样的尺寸是需要检验的。

在图 1-2d 中，这个尺寸标注的公差默认在标题框中，通常这些尺寸如果没有特殊要求，不需要检测，通常由生产过程中的设备来保证精度。

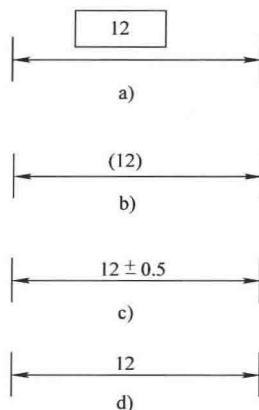


图 1-2 三种常见的线性尺寸

a) 公称尺寸 (Basic Dimension) b) 参考尺寸 (Reference Dimension) c)、d) 线性尺寸和公差 (Linear Dimension and Tolerance)

二、几何公差和尺寸公差的比较

1. 公差带的比较

首先我们从这个经典的例子说起，图 1-3 所示为一个孔板尺寸公差的标注和这个尺寸公差控制的正方形公差带。

通常情况下尺寸公差带是正方形的。在一些特殊的要求下（如保证某一方向上的壁厚或特定的功能），尺寸公差带也可能是矩形的。

在实际装配中，孔和轴的配合间隙在 360° 方向上都应该相等的。这就意味着配合轴的浮动范围（轴的轴线的位置公差带）应该是一个圆柱面。所以实际装配情况的公差带与尺寸公差定义的矩形公差带是不相符合的。

正方形的公差带没有反映出孔的实际装配条件。轴的轴线在矩形的公差带内浮动，在 360° 方向上距离理论的装配中心是不等的。当轴

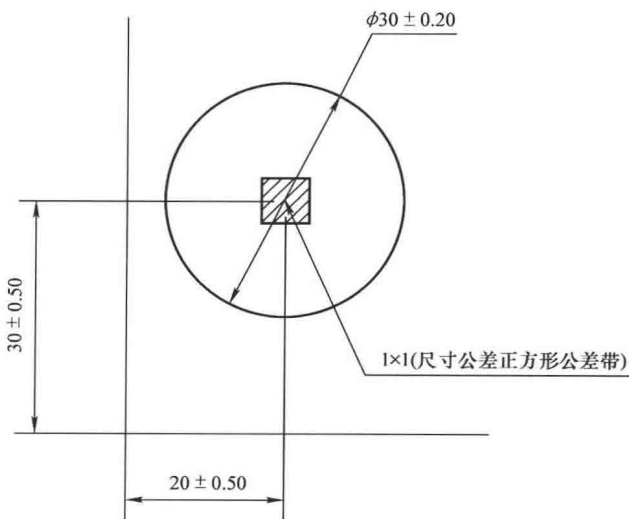


图 1-3 尺寸公差约束的公差带

线处于正方形的对角线位置上，距离理论装配中心最远，导致的装配间隙最小。当轴线处于



正方形的4个正交方向上配合间隙最大。所以为了保证装配间隙或避免干涉,设计者应该以这个矩形公差带的对角线的距离来计算。但是通常的做法都是以正交方向上的浮动距离来计算的,这就导致了产品在最终成品上会出现干涉的风险。

可以判断出,这个实际配合的圆柱面公差带外切于尺寸公差的正方形柱面。即如果正方形的公差带能够满足配合,那么以这个正方形对角线为直径的圆柱也能满足装配。对于这个装配的圆柱面公差带,可按图1-4进行等效GD&T设计,这个位置度公差控制方式描述了一个圆柱面公差带 $\phi 1.4\text{mm}$,为正方形公差带的对角线长度。

如果实际零件尺寸落在圆和正方形不相交的区域,就意味着合格的零件被当作不合格的零件拒收。这一部分的面积是尺寸公差带不可避免产生的,造成了浪费,同样地,也因为公差控制更严,加工成本也会增加。

两种公差带的面积计算比较如下:

正方形的尺寸公差带面积

$$S_1 = 1 \times 1 \text{ mm}^2 = 1 \text{ mm}^2$$

圆形的几何公差带面积

$$S_2 = \pi \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2 \text{ mm}^2 = 1.57 \text{ mm}^2$$

两种公差标注的面积差

$$S_0 = S_2 - S_1 = (1.57 - 1) \text{ mm}^2 = 0.57 \text{ mm}^2$$

几何公差比尺寸公差带多出的面积比

$$S_0/S_1 = 57\%$$

几何公差的公差带比尺寸公差带的面积区域大出57% (见计算式),并且,如果应用最大实体原则,意味着当尺寸由最大实体尺寸增大到最小实体尺寸时,这个值还可以随着扩大,这就是几何公差中的公差补偿。更大的公差意味着更具经济性。但是我们不应该判断至少57%的零件被浪费掉了,因为稳定生产的零件尺寸遵循不相关随机分布,是一个正态分布曲线,尺寸集中在中值附近,需要知道相关的标准差才能计算出不合格的零件数量。

对于这个装配孔,要满足装配功能,需要一个位置公差。我们观察一下,尺寸公差定位这个孔的公差带是一个正方形,如图1-3所示。如果不考虑壁厚影响和其他特殊要求,在此例中几何公差规定的公差带应该是一个圆形。就是这个孔和轴的装配在任何方向上应该是等间隙的,如图1-4所示。假设一个螺栓穿过此孔,合理的理解是围绕螺栓在任何方向上间隙(即设计公差带)的分布是均匀的(圆形的公差带)。但是很明显,尺寸公差的公差带的分布是不均匀的,对角线方向上的变化最大,这就导致了正方形公差带必须内切于圆形公差

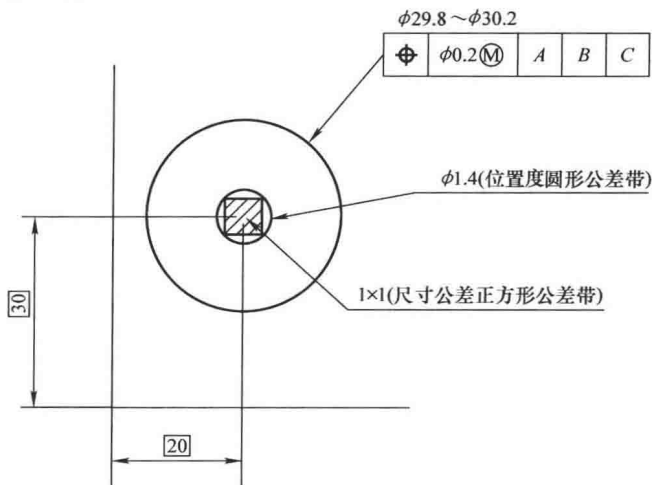


图1-4 几何公差(位置度)约束的等效公差带



带，牺牲了空白区域内的公差带，尺寸公差无法描述这一合理公差带区域。位于这个区域内的公差（实际能够满足装配）被作为不合格的零件检出。看一下这部分的比例，达到57%！从这个例子可以看出，尺寸公差人为地缩小了公差带的大小。这就意味着，合格的零件以废品的形式被检出，造成浪费！而缩小公差带，则增加了加工成本！而且我们在本书后面会介绍，几何公差控制的公差带不是固定的，可以应用公差补偿的理念，在公差要求的范围内扩大公差带，以降低成本；而尺寸公差是一个固定的公差带，无法优化，给公差分配带来困难，成本相对较高。

尺寸公差的矩形公差带无法适应复杂的装配。比如异型孔，如销孔特征的公差带是何种形状呢？一些工程图的标注习惯将长圆孔的位置度描述成圆形，或者为尺寸公差的矩形，我们要注意这种标注方式会造成最终无法装配的风险！对于公差带的理解直接关系检测销的形状设计。我们在讲述位置度的时候会详细解答这个问题。

几何公差的公差带可以按照实际的装配需要去定义，也容易验证，能够实现检具检验。

2. 基准的问题

尺寸公差往往需要假设测量基准点，造成两个配合零件即使都按照图样制作，也可能造成实际不能够装配在一起，如图1-5所示。

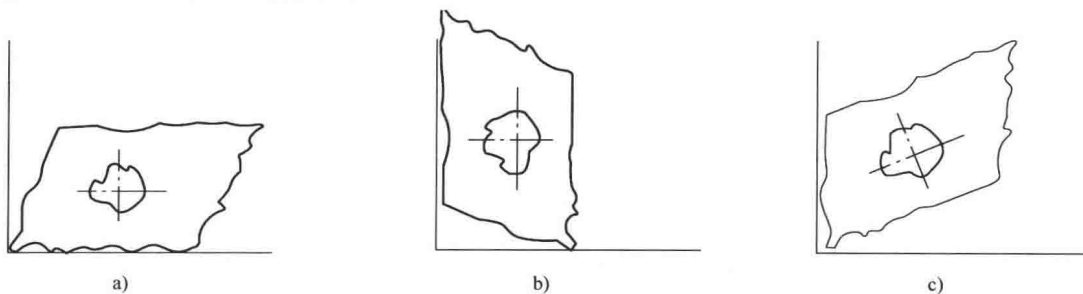


图1-5 尺寸公差的基准不确定性

对于任何实际加工零件，如图1-5中的孔板，在微观状态下会产生这种平行四边形的情况。这个零件如果在设计时以底边定位，设计者无法使用尺寸公差语言来表达这个要求。若加工者或其他的供应商无法直接和设计者沟通，则会按照设备的情况进行工艺定位加工中间的孔，如图1-5b所示。这种假设按照尺寸公差图样理解没有错误。检测者可能也假设出一个测量基准来测量中间的孔，如图1-5c所示。从这个流程可以看出，尺寸公差存在合理假设，描述逻辑不严密造成了最终检测可能合格，但是无法完成装配的情况。基准的不确定造成了项目的风险。

图1-6存在两种合理的解释：①先加工孔B，然后由孔B定位加工边A；②先加工边A，然后由边A定位加工孔B。这两种工艺方式实际上在一定精度要求下会造成明显的变差。类似存在假设的尺寸公差标注的还有很多。假设就意味着多种可能，处于假设状态的设置也会因人而异。对于复杂的零件，这种基准不明的情况会导致不同的公差积累结果。图1-5和图1-6所示的标注不能明确加工的工艺和测量的基准。

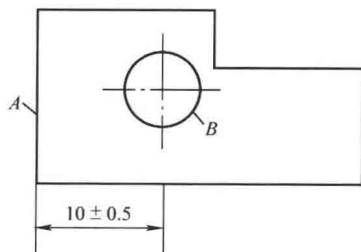


图1-6 尺寸公差工艺不确定性
(不能确定是孔定位边，还是边定位孔)



另外,尺寸公差不能体现实际测量、加工或工装检具设计时基准选择的顺序性。几何公差有完善的基准定义。这个优点虽然是几何公差的核心内容,但不是被很多人了解。基准的设置不同会产生不同的加工结果,这在尺寸公差中也会体现。一个复杂的零件,对于一个有经验的工程师,他会将所有的尺寸尽量设置在一个基准点上,也就是说所有的测量起始于相同的一点,但不能解决所有的基准定位问题。

总之,尺寸公差体现不了基准顺序,有时缺少测量的基准点,并很难描述一个复杂的零件。一个零件在空间中有六个自由度,几何公差可以很容易地通过基准约束这些自由度,而尺寸公差没有这方面的功能。

3. 对于异形特征的描述

通过图 1-7 可以明显看出,几何公差比尺寸公差表达更简练,能简单准确地传递设计意图。

图 1-7 所示是对一种零件的两种标注方法。对于这个异形件,尺寸公差方法不仅繁琐而且不能准确表达这个零件准确的曲线轮廓,因为在坐标点之间的曲线轮廓是没有定义的。而几何公差的方法可以连续地描述这个曲线。由于 CAD、CNC 和 CMM 技术的发展,加工工艺和检测方法日趋先进,几何公差方法的优势更加明显。

传统的尺寸公差测量方式停留在二维和坐标法验证层面,而 CMM 是在三维空间验证一个零件,几何公差正是为适应这种先进检测加工设备而产生的。对于几何公差,更快的方式是使用功能检具,只验证合格或不合格两种结果。但这种检具不能收集数据,如数量型测量工具 CMM 设备。

本书的前部分内容是关于几何公差的基础知识介绍,后部分内容是一些精选的几何公差应用实例。

三、美标 ASME Y14.5 和欧标 ISO 1101 的区别

ASME Y14.5 和 ISO 1101 在几何公差符号上几乎是通用的,除了沉孔符号不同;另一个最大的区别是包容原则上的设置。但只是表达方法上的不同,它们实现零件的尺寸控制的工程理念是一样的。

ASME Y14.5 默认为包容原则,而 ISO 1101 默认为独立原则。ASME Y14.5 的公差第一原则就是包容原则:一个尺寸特征的形状由这个尺寸特征的最大实体尺寸控制。其意义是规则形状的尺寸特征(圆柱面、球面和平行面)表面不应该超出尺寸范围内的最大实体尺寸(MMC),最大实体尺寸为理想尺寸,也是图样中所代表的理想(包容)边界。从逻辑上推理,这个 MMC 边界的形状公差为零,不存在任何形状变差,如直线度或平面度(当然

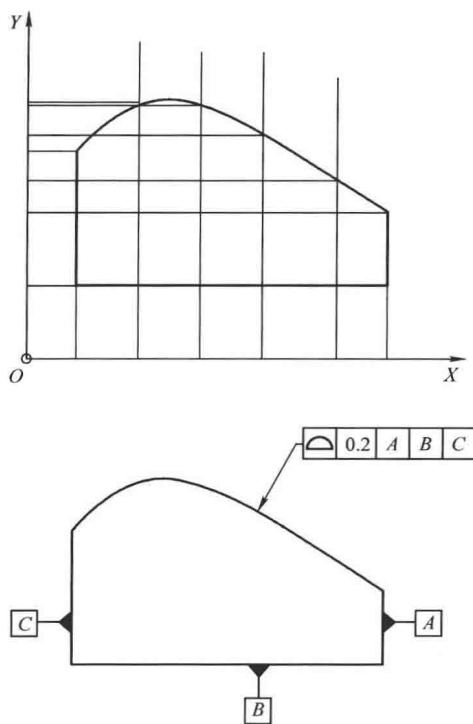


图 1-7 尺寸公差和几何公差对于异形特征的定义



实际生产过程中不可能生产出这个尺寸的零件)。

ASME Y14.5 的第一法则：当一个特征只存在尺寸公差时，最大实体尺寸 MMC 代表特征的理想边界。

图 1-8 所示是用传统的基轴制和基孔制方法设计的轴和套筒，基轴制和基孔制方法设计的零件没有几何公差约束，默认直线度或圆度等几何公差为零。但实际上这种理想状态的零件不存在，所以在配合设计上必然会出现一些合格零件产生干涉并无法装配的现象。

图 1-9 所示是 ASME Y14.5 法则的一个解释，以传统尺寸公差标注的最大实体尺寸 (MMC) 和最小实体尺寸 (LMC) 为边界来限定几何公差。

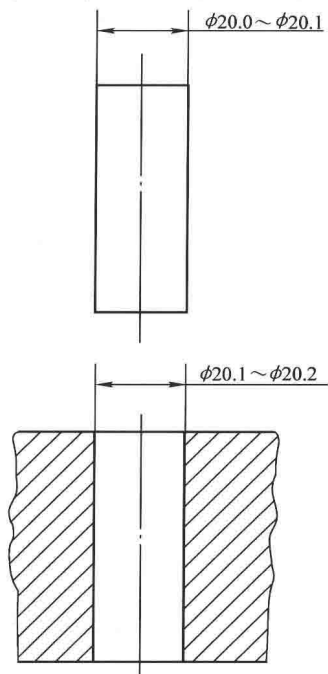


图 1-8 尺寸公差与包容边界

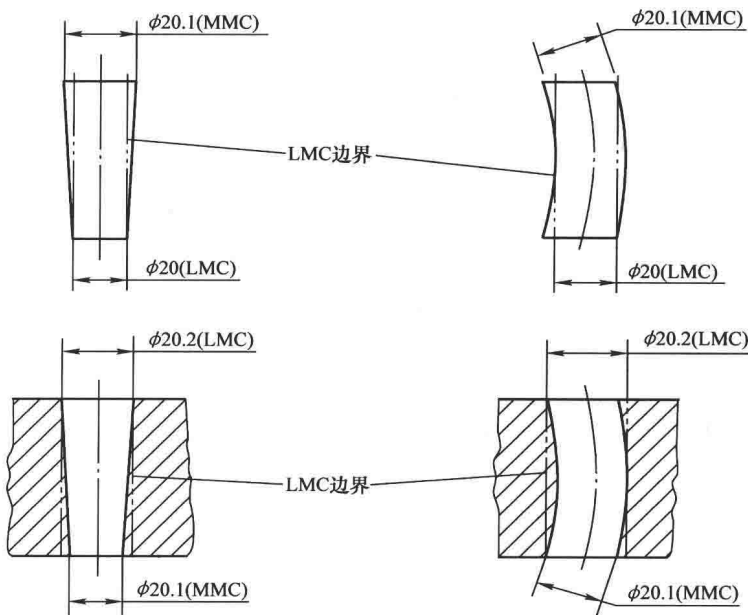


图 1-9 GD&T 法则的解释

对于独立要求，ASME Y14.5—2009 规定使用符号 ① 来定义，如图 1-10 所示。此时，尺寸公差的最大边界不再与形状公差（本例为直线度控制）相关，在检测上各自独立进行验证。这个零件的最大包容面不再是最大实体尺寸 $\phi 35.7\text{mm}$ ，最大的包容边界（配合边界）是 35.9mm 。

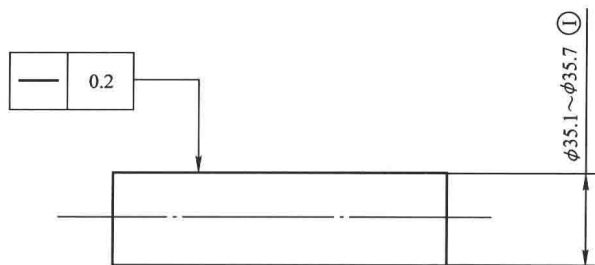


图 1-10 GD&T 独立原则的表示方法

对于包容原则控制下的特征，当实际加工的尺寸特征从最大实体尺寸 (MMC) 变化到最小实体尺寸 (LMC) 时，形状变差（如圆度、直线度或平面度）允许相应数值的增量。

欧标 ISO 8015 对于包容原则规定尺寸特征（如圆柱面特征或两个平行面）不应破坏最大实体尺寸 (MMC) 的理想界面。包容原则在图样上的表示方法是在尺寸公差后使用符号



Ⓔ来定义。注意，不同于 ASME 的规定，如果没有符号Ⓔ在尺寸公差之后，在欧标中默认为不相关原则。

图 1-11 所示为包容原则的解释，零件的理想最大实体包容界面 $\phi 20.1\text{mm}$ 不能超出。每一个截面的尺寸不能小于最小实体尺寸 $\phi 20\text{mm}$ 。也就是这个零件的通规理论尺寸是 $\phi 20.1\text{mm}$ ，止规理论尺寸是 $\phi 20\text{mm}$ ，当然制作时也要考虑 10% 的制造和磨损误差。这样就限制了零件的直径尺寸在 $\phi 20 \sim \phi 20.1\text{mm}$ 之间变化。当轴的直径尺寸恰好为 $\phi 20.1\text{mm}$ ，那么这个轴的圆度和直线度误差应该为零，以满足包容原则。

图 1-12 所示的零件在 ISO 中是独立原则，在这个轴的每一个截面上，只要相对尺寸在 $\phi 20.1\text{mm}$ 之内、圆度在 0.05mm 之内且直线度在 0.02mm 之内，那么零件为合格。这意味着这个零件由于圆度误差和直线度误差，最小包容界面可能大于 $\phi 20.1\text{mm}$ 。在设计这个轴的配合零件（孔）时最小尺寸应该大于 $\phi 20.1\text{mm}$ 。独立原则下定义的零件，受控特征的形状不受控制或需要格外的形状公差控制框进行控制，对于本例的轴来说，最大包容界面或匹配特征的边界面是最大实体尺寸 $\phi 20.1\text{mm}$ 加上形状误差（圆度 0.05mm 和直线度 0.02mm ）的综合结果。

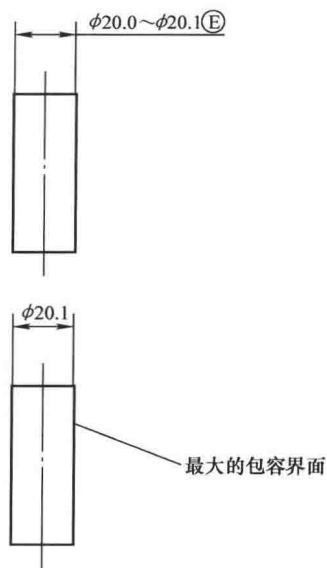


图 1-11 ISO 中的包容原则定义方式

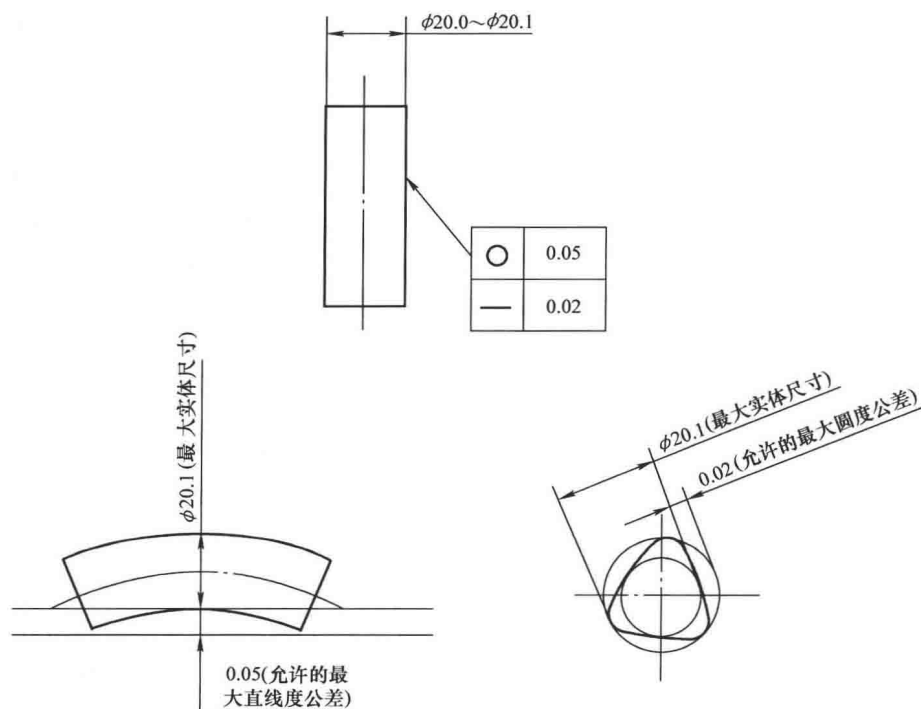


图 1-12 ISO 的独立原则表示方法及解释