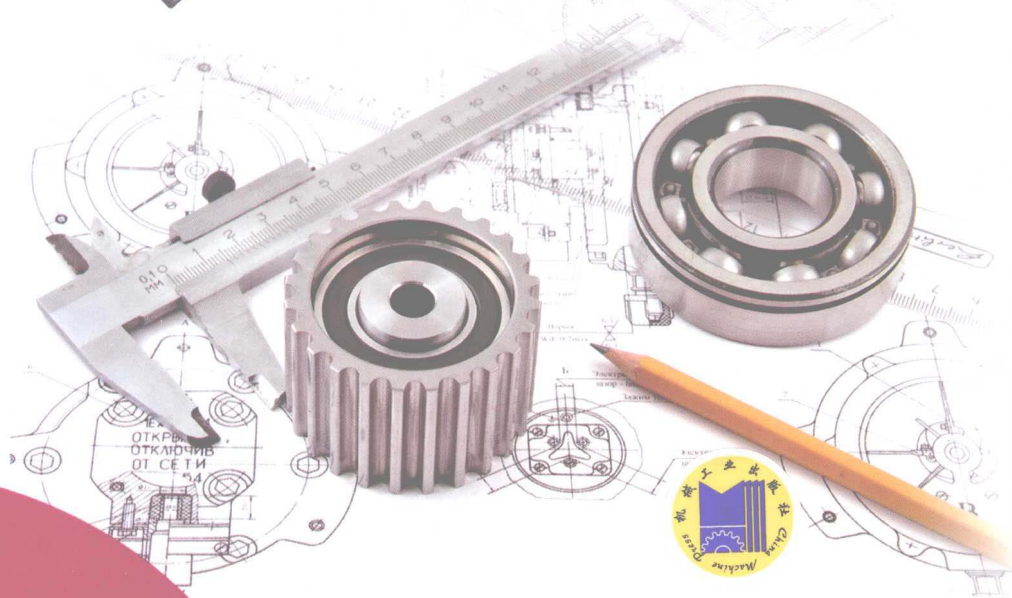




GD&T 基础及应用

王廷强 编著

制造业 **必备** 工具书



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

GD&T 基础及应用

王廷强 编著



机械工业出版社

本书着重介绍基于 ANSI Y14.5 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,并列举了高级几何公
差的实际应用。

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. —北京:机械工业出
版社, 2013. 1

ISBN 978-7-111-40311-1

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(2012)第 264779 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:赵 鹏 责任编辑:赵 鹏

责任校对:佟瑞鑫 封面设计:陈 沛

责任印制:乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11.25 印张·276 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-40311-1

定价:39.90 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

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

GD&T 是一门基础学科，是促进国家工业发展的一个重要工具。无论对基础加工业、汽车工业，还是航空航天行业，GD&T 都是不可或缺的知识。在欧美和日韩，GD&T 的教育及普及应用已经形成完全成熟的体系，并在高精尖产品的开发中起到积极推进的作用。我国作为世界的加工中心，加工制造业(如汽车行业和国防工业)如果想提高在世界范围的竞争力，尺寸工程知识的推广必不可少。本书的目的是为推进我国的加工制造业，尤其是为汽车行业和国防工业制造的尺寸工程知识的普及做出贡献。

本书共有十章：第一章介绍了 GD&T 的历史及其与国内现行的尺寸公差对比的优点；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，并重点介绍了基准的知识；第四章~第九章介绍了 14 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、检测方法三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 的综合应用，建议读者在学习前九章的知识后再参考这一部分，该部分对 GD&T 的高级应用给出 19 个实例，内容涉及汽车零部件基准的选择和建立、不同条件补偿公差的计算、MMC 和 RFS 应用要点，以及配合设计和检具设计。

对于本书存在的缺点和不足，希望得到广大读者的批评和指正。

编著者

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	1
一、公称尺寸的概念	2
二、几何公差和尺寸公差的比较	2
第二章 几何公差的符号	6
第一节 几何公差的公差控制符号	6
第二节 几何公差的修正符号	6
第三节 公差控制框	7
一、公差控制框的组成	7
二、公差控制框的读法	7
第三章 基准	9
一、基准的定义	9
二、基准要素	9
三、功能基准和非功能基准	10
四、联合基准	11
第四章 几何公差控制——形状控制	12
第一节 直线度的定义、应用及检测方法	12
一、直线度的定义	12
二、直线度控制一个平面	13
三、直线度控制一个柱面	13
四、直线度的一种特例标注方式的解释	14
五、直线度的测量及应用	15
六、拟合中心面的直线度	17
七、RFS 修正情况下的直线度及检测设置	19
八、对于腰形或鼓形特征的直线度测量	20
第二节 平面度的定义、应用及检测方法	22
一、平面度的定义	22
二、平面度控制一个平面	23
三、几何公差第一法则与平面度控制	24
第三节 圆度的定义、应用及检测方法	24
一、圆度的定义	24

二、圆度控制的应用	26
三、圆度控制的测量	26
四、圆度的讨论	27
五、圆度检测设备	27
六、零件的自由状态	28
第四节 柱面度的定义、应用及检测方法	30
一、柱面度的定义	30
二、柱面度的应用及测量	30
第五章 几何公差控制——轮廓度	33
第一节 线轮廓度的定义、应用及检测方法	33
一、线轮廓度的定义及阐述	33
二、线轮廓度的标注方式及公差带分布	33
三、线轮廓度的应用	35
四、线轮廓度的测量	35
第二节 面轮廓度的定义、应用及检测方法	37
一、面轮廓度的定义	37
二、无参考基准的面轮廓度控制	38
三、面轮廓度的测量	39
第三节 轮廓度的综合应用	41
一、复合公差框控制和组合公差框控制的比较	41
二、轮廓度在不连续面特征上的应用	43
三、轮廓度的应用及隐含的加工次序	46
第六章 几何公差控制——定向控制	48
第一节 倾斜度的定义及应用	48
一、倾斜度控制的定义	48
二、特征平面到基准面的控制应用	49
三、特征轴到基准面的控制应用	49
四、特征轴到基准轴的控制应用	51
第二节 垂直度的定义、应用及检测方法	52
一、垂直度的定义	52
二、特征面垂直于基准面的控制应用	53
三、特征轴到基准面的垂直度应用	54
四、特征轴到基准轴的垂直度控制应用	55
五、中心面对基准轴的垂直度应用	57
六、两种垂直度标注方式的比较	58
七、垂直度的综合应用	59
八、垂直度的测量	60
第三节 平行度的定义及应用	61
一、平行度的定义	61



二、平行度公差带的判断方法	62
三、特征面到基准面的控制应用	62
四、特征轴到基准面的控制应用	63
五、特征轴线到基准面的平行度控制一个特例应用	65
六、特征轴线到基准轴线的控制应用	65
七、平行度与平面度的区别	67
第七章 几何公差控制——定位控制	68
第一节 同心度的定义、应用及检测方法	68
一、同心度的定义	68
二、同心度的应用	69
三、同心度的测量	70
四、同心度和跳动的区别	71
第二节 对称度的定义、应用及检测方法	72
一、对称度的定义	72
二、对称度的应用	72
三、对称度的测量	74
第三节 位置度的定义、应用及检测方法	75
一、位置度的定义	75
二、位置度的应用	76
三、浮动螺栓的装配	77
四、投影公差带(固定螺栓的装配)	77
五、螺纹孔的检测	78
六、螺纹孔的实效边界	79
七、过盈、过渡配合中的投影公差	80
八、同轴控制的比较	84
九、同轴控制的总结	85
十、最大实体尺寸时零公差	85
十一、零位置度公差的应用范围	87
十二、零公差的应用	87
十三、位置公差控制的过盈配合	88
十四、组合公差	89
十五、组合公差控制框的配合公差	90
十六、对于组合公差框控制的尺寸特征的匹配设计	97
十七、组合公差控制框和独立组合公差框的区别	98
十八、初始定位的方式	101
十九、正负公差到位置度公差的转换	101
二十、允许偏差和实际偏差	108
二十一、补偿公差	108
二十二、非柱面匹配特征的位置	110

二十三、位置度边界	110
二十四、位置度控制的对称度(RFS)	113
二十五、位置度控制的对称度(MMC)	113
二十六、两个方向上的位置度控制	113
二十七、同步或独立要求	116
二十八、位置度总结	121
第八章 如何逻辑定义零件公差	123
一、线性分段方式——曲轴子装配	123
二、成本与几何公差控制	127
第九章 几何公差控制——跳动	133
第一节 圆跳动的定义、应用及检测方法	133
一、圆跳动的定义	133
二、圆跳动的应用	134
三、V形架的检测方式探讨	135
四、锥面到轴的控制应用	135
五、垂直于基准轴的面的控制应用	135
六、同轴于基准轴的面的控制应用	138
七、复合基准轴的测量(中心孔方式)	138
八、两种基准的方式	139
第二节 全跳动的定义、应用及检测方法	139
一、全跳动的定义	139
二、全跳动的应用	140
三、锥面到基准轴的应用	141
四、垂直于基准轴的面的应用	141
五、全跳动的测量	142
六、理想基准的建立	144
第十章 几何公差综合应用	146
一、基准建立的应用实例一	146
二、基准建立的应用实例二	146
三、汽车门外板的基准设置方案实例	148
四、汽车翼子板的基准设置方案实例	149
五、汽车梁的基准设置方案实例	150
六、补偿公差计算方法(孔或内部特征)	150
七、补偿公差计算(轴)	151
八、轴的实效边界计算方法	152
九、孔的实效边界计算方法	152
十、RFS修正的孔的配合边界与零公差注意事项	152
十一、GD&T中两种尺寸标注的比较和Ppk的应用	153
十二、尺寸公差和几何公差的转换	155



十三、MMC、RFS 和 LMC 的应用及对比	157
十四、第一法则应用实例	159
十五、零件的配合设计应用	159
十六、匹配公差应用实例	166
十七、匹配公差设计实例	167
十八、检具设计实例	168
十九、检具基准销尺寸计算实例	170

第一章 GD&T 简介

第一节 GD&T 的历史

人们在很早以前就意识到,尺寸公差系统不能充分传达设计意图。这种图形语言很难将人的创造性发明在纸上传递,并被其他人读懂。设计者定义的尺寸公差经常要被制造者或检测者假设,不能精确传达设计意图。存在多种合理解析的结果就是,如果某零件由一种解释方式制作,但与其相匹配的零件却选择另一种方式,这样一来,即使各方都按照图样规定制作,也不能保证它们能够全部装配到一起,这就不单单是加工精度问题,也是系统集成的一个难题。由此,人们意识到需要用一种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。

ANSI Y14.5——几何公差标准,是美国经多方(政府、军队和私人企业代表)研究和协作的结果,也经过全世界的其他国家代表持续地交流而不断完善,这是迄今最为完善的工程设计语言。这个标准包含大量的图符和概念,可以把它看做是我们曾经见到过包含更多词的字典和工具书。对设计者而言,这些图符更好地传递了其设计意图,更具逻辑性。这个标准目前在国内也应用最广泛。本书的内容遵循这个标准。

通过该标准,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这个标准(ANSI Y14.5)向世界精确地公布其发明创造。

本书的内容是为了帮助 GD&T 的应用者不仅在零件尺寸、外形、方向和定位等几何定义上精确理解,而且也可以确信如果零件按照 ANSI Y14.5 规则的规定开发,零件必定能在总成状态下装配(设想一下上千个零件的汽车的装配难度)。

第二节 GD&T 与国内现行的尺寸公差对比的优点

需要指出的是, 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,但这并不意味着,我们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 的必要条件。并且,在一些设备上,如钣金行业的数控冲床,有名的如日本的 AMADA 数控冲床,因为这种数控冲床的 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坐标尺寸。图 1-1 所示为 AMADA 数控冲床和钣金零件设计图。

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,以减少复杂性。对于检具的设计也要尽可能使用尺寸公差标注,以减少验证的难度。

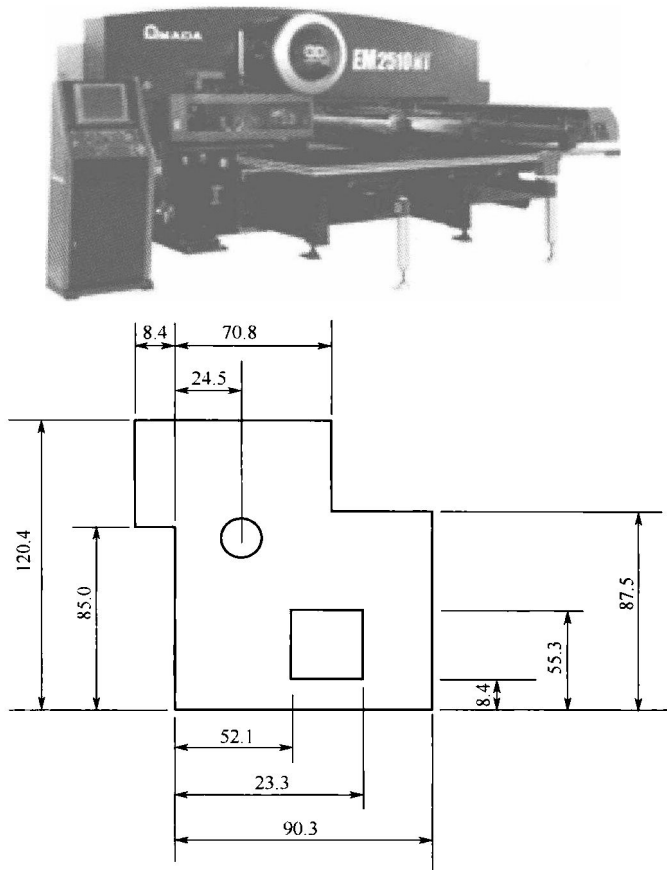


图 1-1 AMADA 数控冲床和钣金零件设计图

一、公称尺寸的概念

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并在图样上表示出来,并非需要检测的尺寸。

一个特征的理想尺寸或定位即公称尺寸,与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。对于被控制的特征(如孔、轴、槽、面等)会有一个公称尺寸和公差控制框联合控制。控制框中的公差规定了相对于理想尺寸的偏移量。

有时候基准特征被使用,用于指定公称尺寸(非直接标注公差的尺寸)定位基准或尺寸。这种情况是为了方便制造检具和工装。

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。这些公称尺寸只是指定定位或尺寸的理想位置,公差给出了允许的偏移量,并显示于控制框中。公差可以要求的窄(成本高)或者很宽(低成本)。

二、几何公差和尺寸公差的比较

1. 公差带的比较

图 1-2 所示是尺寸公差标注和该尺寸公差控制的公差带。在图中,阴影的正方形

(1mm×1mm)是尺寸公差表述的圆形特征的中心点位置的公差带。图 1-3 所示是几何公差(位置度)控制的圆形公差带和尺寸公差标注控制的方形公差带的面积的图示比较。

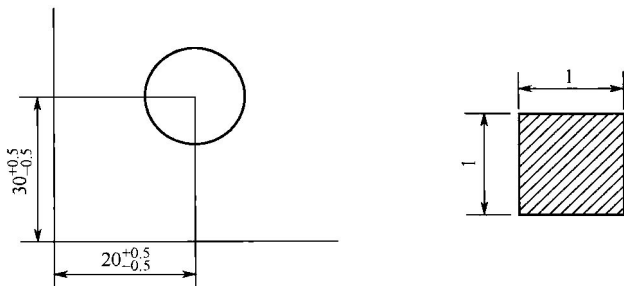


图 1-2 尺寸公差标注和该尺寸公差控制的公差带

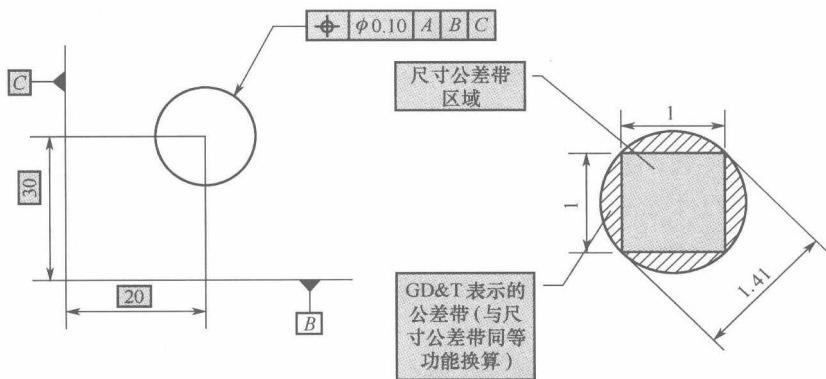


图 1-3 几何公差(位置度)控制的圆形公差带和尺寸公差标注控制的方形公差带的面积图示比较
两种公差带的面积计算比较如下:

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 GD&T 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

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

GD&T 比尺寸公差带多出的面积比

$$\frac{S_0}{S_1} = 57\%$$

可以看到, 尺寸公差带是方形的, 但对于孔(两维条件下)是圆的, 方形的公差带没有反映出孔的装配形状。一个特殊情况, 公差带没有被建立为反映孔形, 目的是在孔壁到零件外边缘之间得到一个合理的壁厚, 此例中假设尺寸不会导致这种特殊情况。

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。更大的公差意味着更具经济性。

此例是一个装配孔，孔要满足装配功能所以需要有一个位置公差。观察后可知，尺寸公差定位该孔的公差带是一个方形(图 1-2)，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是一个圆形(图 1-3)。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)。但尺寸公差的公差带分布是不均匀的，对角线方向上的变化最大，这就导致了方形公差带内切于圆形公差带，产生了一个公差带空白区域，尺寸公差无法描述这一合理公差带区域。而且这部分面积比达到了 57%。从这个例子可以看出，尺寸公差带人为地缩小了公差带的尺寸。这就意味着，合格的零件被以废品检出，造成浪费！而缩小公差带，则增加了加工成本！而且在本书后面的内容将会介绍，几何公差控制的公差带不是固定的，可以得到公差补偿，意味着其公差带可以变得更大；而尺寸公差是一个固定的公差带，不会变化，给公差分配带来困难。

那么对于异型孔，其公差带是何种形状呢？如销孔特征。一些工程图的标注习惯将长圆孔的位置度描述成圆形，或者尺寸公差的矩形，要注意这些都是不合理的！对于公差带的理解直接关系到检测销的形状设计。在讲述位置度的时候会详细解答这个问题。

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 1-4 所示，不能确定是孔定位边还是边定位孔。

像图 1-4 存在于尺寸公差标注的这种类似假设还有很多情况，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。原因就是对于复杂的零件，这种基准不确定的情况会导致不同的公差积累结果。

另外，尺寸公差不能体现实际测量或加工中在工装检具的基准的顺序性。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。基准设置的不同会产生不同的加工结果，这个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。

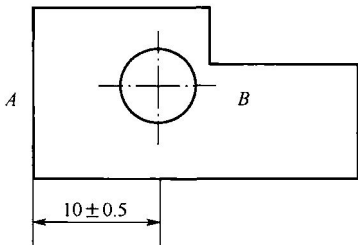


图 1-4 尺寸公差的基准不确定性

总之，尺寸公差体现不了基准顺序，有时候缺少测量的基点，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，而尺寸公差则没有这么强大的功能。

3. 对于异型特征的描述

通过图 1-5 可以明显看出，几何公差比尺寸公差表达更简练，能简单准确传递设计意图。

对于图 1-5 所示的异型件，尺寸公差的方法繁琐且不能准确表达这个零件的准确的曲线轮廓。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 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，而新的 CMM 是在三维空间验证一个零件，几何公差正是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，只有合格或不合格两个结果，但这种检具不能收集数据，如 CMM 和其他测量设备。

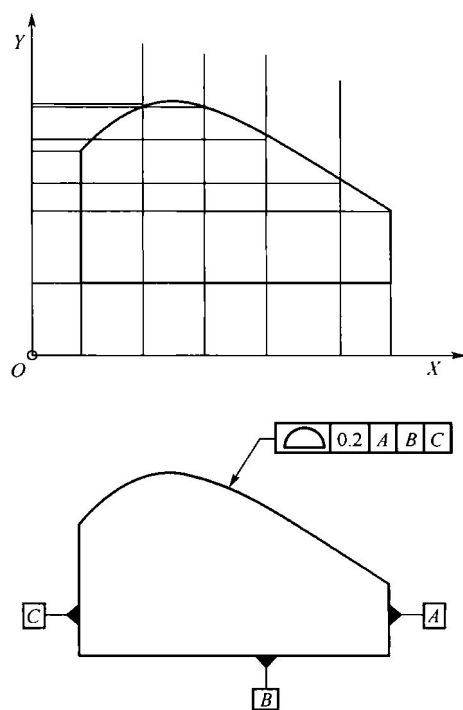


图 1-5 尺寸公差和几何公差对于异型特征的定义

第二章 几何公差的符号

第一节 几何公差的公差控制符号

几何公差符号能够传递重要的零件功能信息，是工程语言的基本语言单位。理解这些符号是学习这门工程的基础。所有的几何公差控制符号见表 2-1。

表 2-1 几何公差控制符号

公差类型		公差控制方式	符号	公差类型		公差控制方式	符号
独立特征	形状	直线度	—	相关特征	定向	倾斜度	∠
		平面度	▭			垂直度	⊥
		圆度	○			平行度	//
		柱面度①	⊘		定位	位置度	⊕
独立或相关特征	轮廓	线轮廓度	⌒			同心度②	◎
		面轮廓度	⌒			对称度	≡
					跳动	圆跳动	↗
						全跳动	↗↗

① 在 GB/T 1182—2008 中，柱面度称为圆柱度。
② 在 GB/T 1182—2008 中，用于中心点时称为同心度，用于轴线时称为同轴度。

这些几何公差控制中，形状公差控制经常用于零件初始定义的主基准的定义。如用平面度定义零件的第一个面，其他特征或基准参考这个平面定义；或用圆度定义第一个轴承孔的柱面。因为设置困难，不推荐在除主基准外使用圆度或柱面度。位置度和跳动两个公差控制现在使用最广泛，功能也最强大，也容易设置，推荐使用。

第二节 几何公差的修正符号

表 2-2 列出了一些常用的几何公差修正符号。

此外，所有默认的尺寸是在温度为 20℃ 的自由状态下测定的。被检测零件的零件图会有这样提示，如在公差控制框中引用自由状态符号Ⓢ来说明零件的测试是在自由状态下，如果没有约束条件被规定，则默认是自由状态，所以符号Ⓢ是个冗余标注。其他如 RFS 也是默认标注。统计公差的应用也越来越广泛。因为关系到成本，MMC 符号最为常用。

表 2-2 常用的几何公差修正符号

名 称	符号	名 称	符号
最大实体要求 (AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION)	$\textcircled{M}$	半径 (RADIUS)	R
最小实体要求 (AT LEAST MATERIAL CONDITION)	$\textcircled{L}$	球半径 (SPHERICAL RADIUS)	SR
延伸公差带 (PROJECTED TOLERANCE ZONE)	$\textcircled{P}$	受控半径 (CONTROLLED RADIUS)	CR
自由状态条件 (FREE STATE)	$\textcircled{F}$	参考 (REFERENCE)	()
正切平面 (TANGENT PLANE)	$\textcircled{T}$	弧长 (ARC LENGTH)	—
直径 (DIAMETER)	ϕ	统计公差 (STATISTICAL TOLERANCE)	$\textcircled{ST}$
球直径 (SPHERICAL DIAMETER)	S ϕ	范围 (BETWEEN)	$\longleftrightarrow$

第三节 公差控制框

一、公差控制框的组成

公差控制框的组成如图 2-1 所示。

二、公差控制框的读法

图 2-2 所示是一个典型的公差控制框，上面部分是尺寸公差，假如这个受控特征是孔，则这个孔的最大实体尺寸是直径 $\phi 7.2\text{mm}$ ，最小实体尺寸是直径 $\phi 7.7\text{mm}$ ，与传统的尺寸公差读法相同。

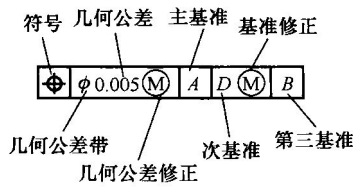


图 2-1 几何公差控制框的组成

下面部分一定要按照如下规则阅读：

阅读公差框的方法是从左向右，图 2-2 所示公差控制框意义为：“孔(或轴)的位置度控制，在孔(或轴)最大实体尺寸时(孔为 $\phi 7.2\text{mm}$ ，轴为 $\phi 7.7\text{mm}$)，公差带为直径为 $\phi 0.5\text{mm}$ 的圆(或柱面)，这个公差带是设定在 A、B 和 C 基准框架内，先将零件置于主基准 A 上，然后是次基准 B 上，最后将零件置于第三基准 C 上。”

这里要注意：由于 MMC 对于位置度公差带的修正，公差带是随实际尺寸变化的；另外，对于基准的顺序，一定不能改变次序或按照字母顺序，一定是从左到右的顺序。

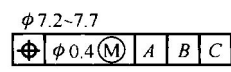


图 2-2 位置度公差控制框

这个公差框也规定了基准的尺寸要求。在此例中，如果使用基准销，那么一定是锥销，因为没有 MMC 对基准修正。没有修正的基准通常出现在没有孔定位的情况下。

公差控制框的标注有多种方式。这些公差控制框可以出现在轮廓延长线上、尺寸线上，或者是在引线上，如图 2-3 所示。在不同的标注位置，其隐含的意义有时差别很大，具体的内容将在各个几何公差控制中说明。

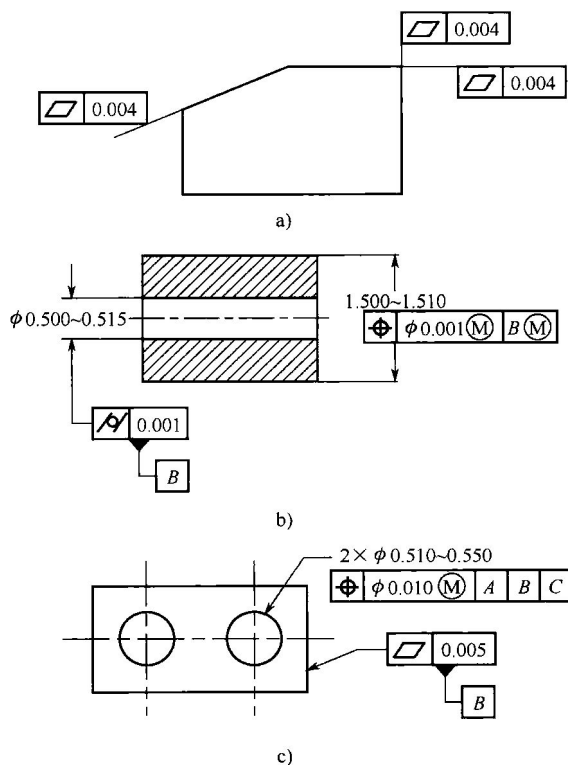


图 2-3 几何公差控制框的标注位置
a) 轮廓延长线上 b) 尺寸线上 c) 引线上