

# 局部尺寸在功能公差设计中的应用和 替代标注研究

徐旭松<sup>1</sup>, 吴德辉<sup>2</sup>, 范 真<sup>1</sup>

(1. 江苏理工学院机械工程学院, 江苏 常州 213001;  
2. 博世电动工具(中国)有限公司, 浙江 杭州 310052)

**摘 要:** 为了更好地运用现行公差标准中局部尺寸的定义进行尺寸公差设计, 首先以一种自动上料机构为例介绍了 ASME Y14.5 和 ISO/GPS 公差标准中局部尺寸的概念及不同之处, 分析了在两个不同标准体系下设定局部尺寸、采用公差原则和附加符号来实现几何功能的差异; 随后, 以电机轴的几何规范为例, 分析了当采用两点测量法无法检测局部尺寸的情况下, 在保证几何功能的同时采用几何公差项目进行替代标注, 以规避检测局部尺寸。正确理解局部尺寸的概念、相关符号及其检测特点, 避免歧义性的标注, 对合理保证零件的功能、可装配性和控制制造成本有积极意义。

**关 键 词:** 局部尺寸; 产品几何技术规范; 几何尺寸与公差; 公差原则; 面轮廓度  
**中图分类号:** TG 801 **DOI:** 10.11996/JGj.2095-302X.2017060814  
**文献标识码:** A **文 章 编 号:** 2095-302X(2017)06-0814-06

## Study on Local Size in Functional Tolerancing and Its Alternative Annotation

XU Xusong<sup>1</sup>, WU Dehui<sup>2</sup>, FAN Zhen<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu 213001, China;  
2. BOSCH Power Tools (China) Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310052, China)

**Abstract:** In order to make better use of the definition local size for the design of mechanical tolerance under current tolerance standards. The concepts of local size in ASME Y14.5 and ISO/GPS were introduced. The differences in the use of local size in ASME Y14.5 and ISO/GPS were analyzed with the application of local size in an automatic feeding mechanism. The two tolerance standards differ in setting the local size, using tolerance principle and adding symbols to realize geometrical functions. Then, the geometrical specifications of the motor shaft were analyzed when using two-point measurement methods can't detect the local size. The geometric tolerances items were used to replace the dimensioning of sector-cylinder to avoid the detection of local size. It is of positive significance to correctly understand the concept of the local size, relevant symbols and its detection characteristics, and to avoid ambiguous dimensioning, which can guarantee the functionality and assemblability of parts, and can improve the economy.

**Keywords:** local size; geometrical product specification; geometrical dimension and tolerance; tolerance principle; surface profile

ISO/TC213 产品几何技术规范(GPS)和美国 ASME Y14.5-2009(GD&T)是产品几何尺寸与公差设计中广泛使用的两个重要的基础性标准<sup>[1-2]</sup>。虽然其大多数内容是相同的(约 80%~90%),然而因为 ASME 和 ISO 的标准制定出发点和术语定义不同,导致局部尺寸(或局部实际尺寸)的概念、应用和检测在 ASME Y14.5 和 ISO/TC213 GPS 标准体系下的应用存在差别,应用时存在一些需要注意之处。另外,在 ISO 体系下,两点法测量局部尺寸存在二义性,在标注时应该规避,以避免图样标注出现不确定性。

正确运用公差标准中的术语定义来确定和标注尺寸要素的局部尺寸,对保证零件功能、可装配性和降低成本有重要作用。本文采用 2 个实例来分析 ASME 和 ISO 标准中局部尺寸的概念、应用时的异同、以及如何替代标注。

## 1 ASME局部尺寸(local size)

如图 1 所示的自动上料机构,其工作原理是:盛料筒中装满钢球,因重力原因,钢球会填满钢球运输管道,并与工作台发生接触。当最下方的钢球被工作台的其他装置取走后,上面的钢球会自动落下,并与工作台接触。图 2 所示为盛料筒和钢球的零件简图,钢球运输管道的内径尺寸及公差为  $\phi 18^{+0.25}_{+0.05}$ ,钢球的直径及公差为  $S\phi 18^0_{-0.1}$ 。试分析图样所标注的尺寸与公差能否满足功能要求,即钢球是否能顺利通过钢球运输管道。

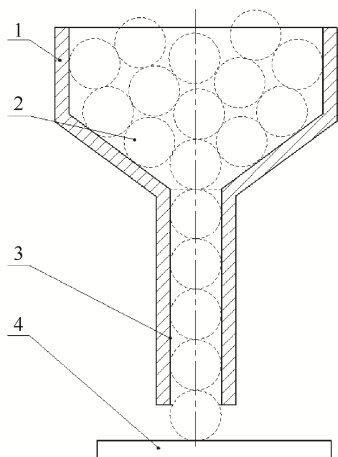


图1 自动上料机构

(1. 盛料筒; 2. 钢球; 3. 钢球运输管道; 4. 工作台)

根据 ASME Y14.5-2009 尺寸与公差原则中的规则 1, 尺寸要素(feature of size, FOS)的尺寸默认

遵循包容要求(或称包容原则)<sup>[2]</sup>。包容要求包含 2 个要点: ①局部尺寸应在尺寸公差范围内; ②最大实体状态(maximum material condition, MMC)的理想边界-最大实体边界(maximum material boundary, MMB)不得被侵犯。图 2 中的钢球运输管道尺寸标注可理解为: 始终存在一个直径为  $\phi 18.05$  的圆柱形的理想空间, 该空间的边界就是 MMB, 在 MMB 以内永远没有材料。而对于钢球的尺寸标注, 可以理解为: 其最多能够侵占的空间是一假想的理想球, 该理想球的直径为  $S\phi 18$ 。因为  $\phi 18.05$  的圆柱空间完全能通过  $S\phi 18$  的球, 故图 2 所示图样中的尺寸标注若遵循包容要求, 钢球能 100%的顺利通过钢球运输管道, 且能保证最小间隙  $0.05(\phi 18.05 - S\phi 18 = 0.05)$ , 满足功能要求。

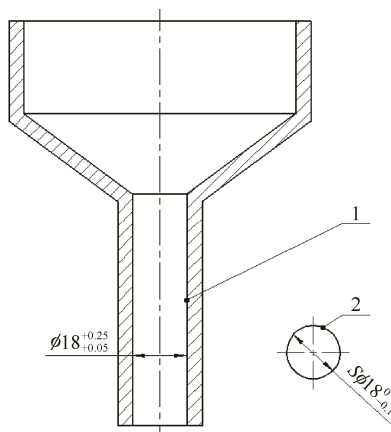


图2 盛料筒和钢球零件简图

(1. 钢球运输管道; 2. 钢球)

独立原则只要求 FOS 的局部尺寸控制在尺寸公差范围内, 所以较之采用包容要求更经济。同样是图 2 中标注, 若采用独立原则, 功能能否实现?

为了更好分析问题, 有必要理清 ASME 标准中局部尺寸的数学含义<sup>[3]</sup>。

(1) 如图 3 所示, 若存在一条云线(即一段光滑、且不会自相交的曲线), 有一假想球的直径等于尺寸要素在最大实体状态(对于孔而言)或最小实体状态(对于轴而言)时的直径, 该假想球的球心沿云线移动形成运动轨迹, 球的表面轨迹的包络线称为内包络空间  $H_i$ 。对于图 2 所示的钢球运输管道, 该假想球的直径等于钢球运输管道的最大实体尺寸  $\phi 18.05$ , 即假想球的直径为  $S\phi 18.05$ 。

(2) 如图 4 所示, 若又存在另外一条云线, 以尺寸要素最小实体状态(对于孔而言)或最大实体状态(对于轴而言)时的直径为假想球的直径, 该假

想球的球心沿云线移动形成运动轨迹, 球表面轨迹的包络线为其外包络空间  $H_o$ 。对于图 2 的钢球运输管道, 其最小实体状态时的直径为  $\phi 18.25$ , 假想球的直径为  $S\phi 18.25$ 。

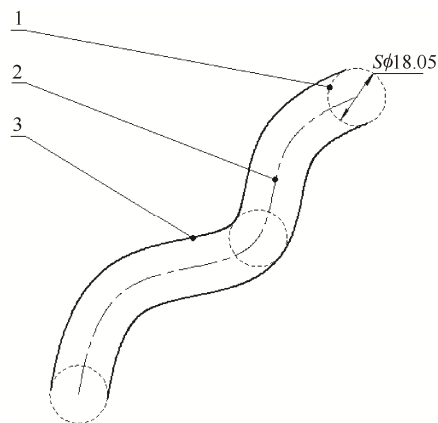


图 3 内包络空间  $H_i$

- (1. 直径为  $S\phi 18.05$  的假想球; 2. 云线(球轨迹);  
3. 内包络空间  $H_i$ )

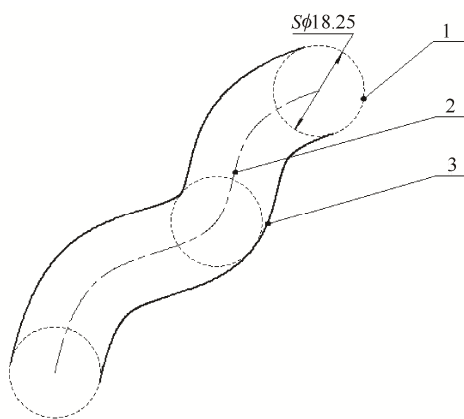


图 4 外包络空间  $H_o$

- (1. 直径为  $S\phi 18.25$  的假想球; 2. 云线(球轨迹);  
3. 内包络空间  $H_o$ )

(3) 如图 5 所示, 若钢球运输管道内表面  $S_a$  和  $H_i$ 、 $H_o$  之间同时满足以下 3 个条件:

①  $H_i \subset H_o$ , 内包络空间  $H_i$  在外包络  $H_o$  以内;

②  $S_a \subset H_o - H_i$ , 实际零件表面(或被测要素拟合表面)在  $H_i$  和  $H_o$  之间;

③ 实际表面  $S_a$  包含内包络空间  $H_i$  的边界。

那么该运输管道内表面的局部尺寸合格。

而球的外包络空间和内包络空间的云线是一个点, 图 2 所示球的尺寸标注为  $S\phi 18_{-0.1}^0$ , 其占用的最大空间不会超出  $S\phi 18$ 。钢球运输管道内表面的内包络空间  $H_i$ (图 3)能通过直径为  $S\phi 18.05$  的球, 所以对于图 2 的零件图, 若直接采用独立原则,

钢球也可以顺利通过钢球运输管道, 零件的功能可以实现。因此, 可在尺寸标注的后面附加独立原则的符号(图 6), 或者标注上“在 MMC 时的理想形状不作要求”。

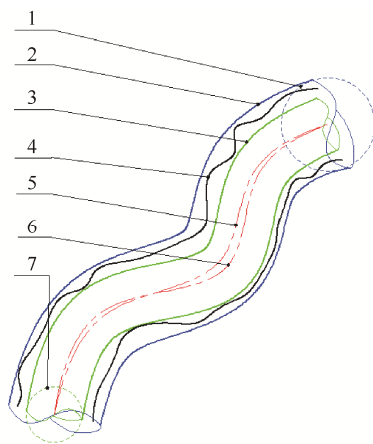


图 5 ASME 局部尺寸的要求

- (1. 直径为  $S\phi 18.25$  的假想球; 2. 外包络空间  $H_o$ ; 3. 内包络空间  $H_i$ ; 4. 实际零件表面  $S_a$ ; 5. 外包络空间的云线; 6. 内包络空间的云线; 7. 直径为  $S\phi 18.05$  的假想球)

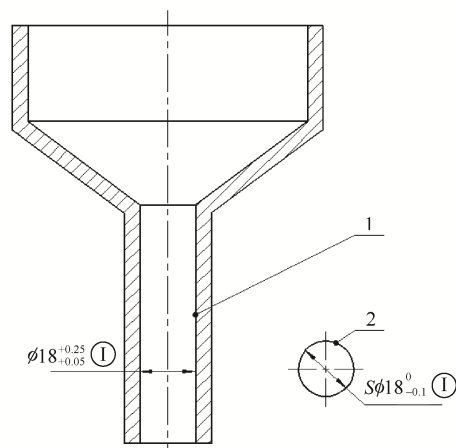


图 6 采用独立原则的盛料筒和钢球零件简图

- (1. 钢球运输管道; 2. 钢球)

## 2 ISO/GPS 局部尺寸(local size)

ISO/GPS 现代产品几何技术规范关于局部尺寸有如下定义: 提取组成要素的局部尺寸是指一切提取组成要素上两对应点之间距离的统称, 为方便起见, 简称为提取要素的局部尺寸<sup>[1]</sup>。由于 GPS 采用默认独立原则, 对于尺寸要素, 只控制其局部尺寸, 而 GPS 局部尺寸默认的是两点尺寸(参见 ISO8015、ISO14405-1)<sup>[4-5]</sup>。以圆柱要素为例, 对于被测非理想圆柱面, 提取圆柱面的局部尺寸是指要素上两对应点之间的距离, 其中: 两对应点之间的连线通过拟合圆圆心; 横截面垂直于由

提取表面得到的拟合圆柱面的轴线<sup>[6]</sup>。在工程应用中,若采用两点测量法检测尺寸要素的局部尺寸,常发生零件局部尺寸虽然合格,但装配成功率不高或零件功能要求无法得到满足。那么在 ISO/GPS 标准下,采用默认的独立原则,图 2 所示的盛料筒钢球运输管道和钢球的公差标注能 100% 的满足功能需求?

图 7 所示,如果钢球运输管道的实际内孔截面是一个奇数棱圆(三棱圆),根据 ISO 的定义,该管道的实际截面采用最小二乘法拟合得到最小二乘圆,过该圆圆心的任意两点的尺寸即是 ISO 的局部尺寸。若要使得钢球 100% 通过该截面,该截面的最大内切圆必须大于钢球的最大直径。然而,因为 ISO 定义的默认局部尺寸是两点尺寸,相应的功能截面(最大内切圆)的直径是不受控的。若没有圆度公差的约束,最大内切圆可以变得很小,而同时局部尺寸(两点尺寸)却可能合格。因此,在 ISO 标准中,如果没有特殊的修饰符号或者圆度控制,该钢球运输管道的功能不一定能实现(对于一批产品而言)。

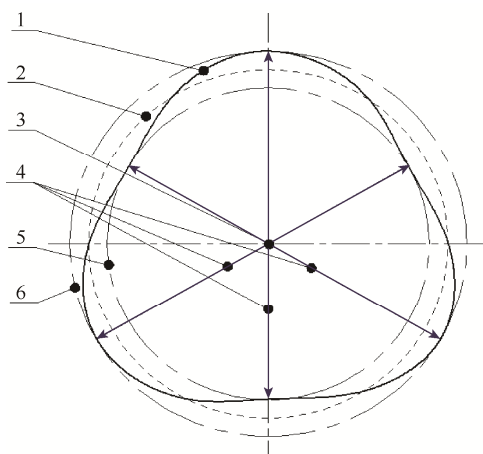


图 7 奇数“棱”圆的局部尺寸

(1. 管道实际内孔截面; 2. 最小二乘圆; 3. 最小二乘圆圆心; 4. 局部尺寸; 5. 最大内切圆; 6. 最小外接圆)

补救办法: ①采用包容原则是可行的方法,但不及采用独立原则来得经济。②根据 ISO14405-1,不采用默认的局部尺寸标注,而采用带有修饰符号的局部尺寸标注,如图 8 所示。LS (local sphere)也默认采用独立原则,但控制的不是两点尺寸,而是假想球体的直径。其与 ASME 标准中采用独立原则的局部尺寸的含义一致,因此能保证钢球运输管道 100% 实现功能。③也可以采用局部尺寸标注加上圆度公差控制的方法。

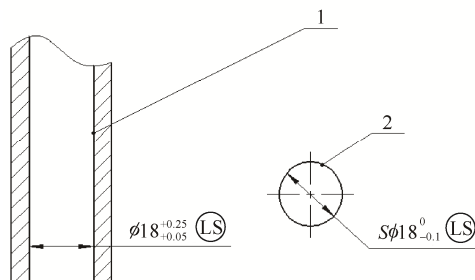


图 8 采用修饰符号 LS 的盛料筒和钢球零件简图

(1. 钢球运输管道; 2. 钢球)

### 3 ISO局部尺寸歧义性与替代标注

ISO/GPS 是一种面向产品功能的公差设计语言,规范公差是为了保证产品的几何功能。公差设计/标注应使得图样只有一种解释,从而保证不同人阅读图纸不会引起歧义<sup>[7]</sup>。在对图 7 的分析中可知,用两点测量法检测局部尺寸存在歧义性<sup>[8]</sup>: ①对于提取非理想圆柱要素,若其轴线为非理想直线或不唯一时该如何来定义截面。②检验圆柱要素的所有截面来验证局部尺寸是否合格显然是不可能。这导致局部尺寸的实际检测结果或无法满足设计功能要求或无法认证,从而使得图样标注中的局部尺寸可能存在不确定性。那么,能否采取其他几何公差控制项目来替代,以规避检测认证局部尺寸带来的问题?

以图 9 所示的电机轴装配为例,几何功能需求(geometric functional requirement, GFR)为电机轴左端小轴的轴线相对于壳体 D-E-F 基准系保证位置度(注:几何功能需求或装配精度)。由几何功能需求出发,根据装配定位方式(平面+三段扇形圆柱面),保证可装配性、装配间隙、运动精密度等要求,并按基于装配定位约束公差设计的 3 个步骤设计公差<sup>[9]</sup>: ①定功能,分析产品中各零件是如何装配的,哪些是定位与配合面,哪些是产品的关键功能面等; ②定基准,基准一般选择在零件的装配定位面,根据产品装配的优先次序定出第一、第二和第三基准; ③定公差,首先选择公差项目类型,如确定孔在零件中方位关系,推荐使用位置度。自由曲面推荐使用轮廓度;其次确定公差值(一般通过公差分析);最后进行公差修正。

图 10 为电机轴的定位面或关键功能面的几何规范标注方案<sup>[10-11]</sup>: ①主定位基准面 A 规范 SP1 平面度,保证定位平面 A 与壳体左端面之间的接触精度; ②次定位面为三段扇形柱面(基准 B),标

注 SP2 局部尺寸(直径)及公差,并使用包容要求来保证可装配性;③为了保证较大的装配间隙和装配质量,在 SP3 标注中,对被测要素使用最大实体要求;④为保证运动的精密性,SP4 设定扇形圆柱面处于最小实体状态时,左端小轴的轴线允许同轴度误差 0.04。

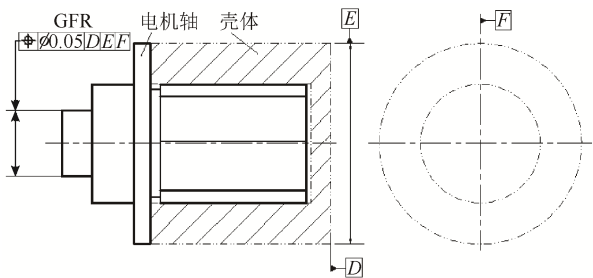


图 9 电机装配图及功能需求

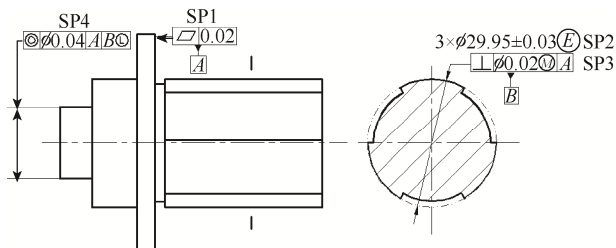


图 10 电机轴的几何规范标注简图

分析此几何规范方案<sup>[12]</sup>:①在包容要求下,SP2 可以采用环规来检测认证基准 B 的最大/最小实体边界尺寸( $\phi 29.98/29.92$ );②SP3 垂直度可用标称直径  $\phi 30$  且垂直于基准 A 面的量规或量仪来检测认证;③SP4 第二基准 B①中基准 B 的最小实体边界( $\phi 29.92$ )也可认证。但该标注方案中的 SP2 存在一个问题:三段扇形柱面不是完整圆柱面、直径不存在局部尺寸,也无法按两点法测量,将三段扇形圆柱面看作完整圆柱面标注直径易引起歧义。而从满足功能需求的角度看,SP2 实际上仅仅是为了标注出基准 B 的最大/最小实体边界尺寸,并不需要检测其局部尺寸(直径)。

既然三段扇形柱面不是完整的圆柱面,可将其看作三段自由曲面。在 GPS 公差标准中,自由曲面无局部尺寸的概念,也没有规定类似齿轮、螺纹的专门描述自由曲面精度的公差(偏差)项目,但可以规范线轮廓度或面轮廓度。因而,可将图 10 中 SP2 和 SP3 改用复合面轮廓度公差控制,如图 11 所示。自由曲面 B 的理论正确几何曲面为直径  $\phi 29.95$  的三段扇形柱面,SP2 面轮廓度公差无基准,属于形状公差控制,公差带为一直径为  $\phi 0.06$

球的两包络面之间的区域,且球心位于直径为  $\phi 29.95$  的理论正确圆柱面上;SP3 面轮廓度为相对于基准 A 的定向公差,公差带为一个直径为  $\phi 0.1$  的球的两包络面之间的区域,且球心位于直径为  $\phi 29.95$  的理论正确圆柱面上。

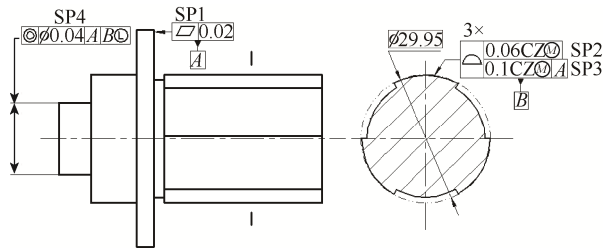


图 11 复合轮廓度公差控制三段扇形圆柱面

面轮廓度公差带是由一系列直径为公差值  $\phi t$  球的两包络面之间的区域,诸球的球心位于理论正确几何形状的表面上,如图 12 所示。

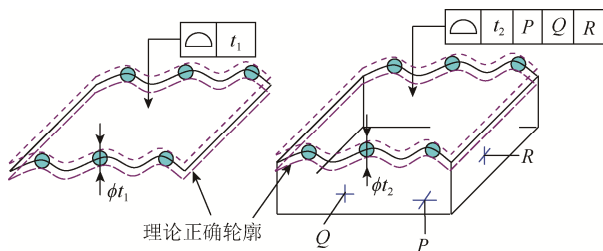


图 12 面轮廓度公差的公差带

图 13 为图 10 和图 11 标注 SP2 的公差带示图。图 14 为图 10 和图 11 标注 SP3 的公差带示图。从中可看出,图 10 和图 11 中的 SP2/SP3 公差标注的公差带一致、几何功能上等价。而图 11 的标注避免了标注和检测三段扇形圆柱面局部尺寸,消除了图 10 标注中的歧义。

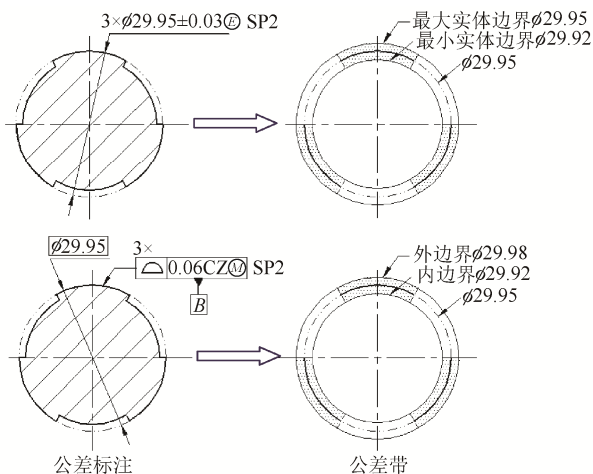


图 13 SP2 几何规范公差带示图

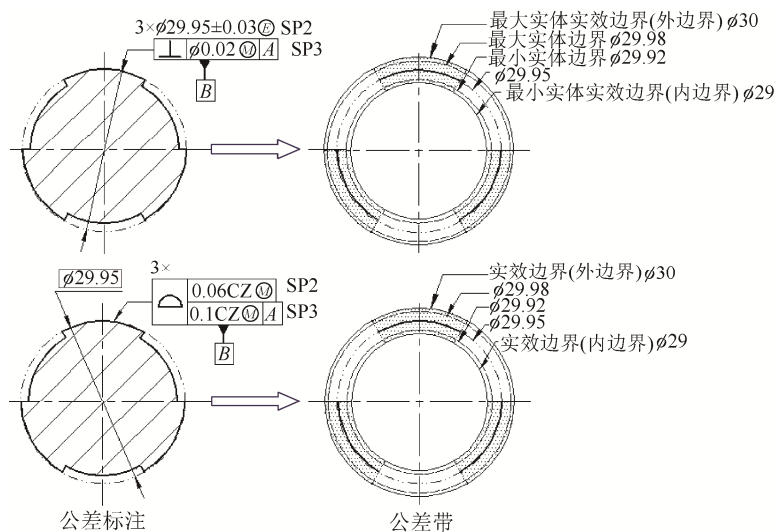


图14 SP3几何规范公差带示意图

## 4 结束语

(1) 近年来, ISO/TC213 陆续推出了新一代 GPS 系列标准, 出现了一些新的术语和定义。SAC/TC240 正努力将国际标准转化为国家标准, 以使得这一制造技术标准在国内更好地应用和推广。我国等同采用 ISO/GPS 标准, 已将 ISO/GPS 标准部分转变为国标, 而美国、加拿大等一些国家采用的是 ASME Y14.5 标准。在国际协作日益密切、生产分工国际化的当前, 正确理解两个标准中对应的术语和概念, 合理规范尺寸与公差对设计、制造和检测至关重要。

(2) ISO/GPS 和 ASME Y14.5 标准体系下的局部尺寸定义和认证方法存在差别, 默认采用不同的公差原则, 在标注局部尺寸时应注意图样采用的是哪个标准, 同时应注意一些附加符号的含义和使用。当两点法测量局部尺寸出现歧义性的情况下, 可采用其他几何公差项目替代标注。

(3) 公差设计与标注应力争使得图样标注与功能需求匹配, 避免错误设定公差, 导致几何功能无法得以实现或违背设计意图、成本增加。

## 参考文献

- [1] 全国产品尺寸和几何技术规范标准化技术委员会. 产品几何技术规范(GPS)标准汇编[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [2] American Society of Mechanical Engineers. ASME standard Y14.5-2009. Dimensioning and tolerancing principles [S]. New York: ASME Press, 2009.
- [3] American Society of Mechanical Engineers. ASME Standard Y14.5.1M-1994. Mathematical definition of dimensioning and tolerancing principles [S]. New York: ASME Press, 1994.
- [4] ISO/TC213. ISO 14405-1:2010. Geometrical product specifications(GPS)-dimensional tolerancing-part 1: linear sizes [S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 2010.
- [5] ISO/TC213. ISO 8015:2011. Geometrical product specifications(GPS)-fundamentals-concepts, principles and rules [S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 2011.
- [6] 刘巽尔. 公差原则和相关要求问答[M]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 34-36.
- [7] CHENG Y, NI Z, LIU T, et al. An intelligent approach for dimensioning completeness inspection in 3D based on transient geometric elements [J]. Computer-Aided Design, 2014, 53(5): 14-27.
- [8] 蔡敏. 基于数学定义的圆柱要素公差数学建模与分析技术的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [9] 杨将新, 徐旭松, 曹衍龙, 等. 基于装配定位约束的功能公差规范设计[J]. 机械工程学报, 2010, 46(2): 1-8.
- [10] CHAVANNE R, ANSELMETTI B. Functional tolerancing: virtual material condition on complex junctions [J]. Computers in Industry, 2011, 63(3): 210-221.
- [11] AMILLOTTA A. A method for computer-aided specification of geometric tolerances [J]. Computer-Aided Design, 2013, 45(12): 1604-1616.
- [12] ISO/TC213. ISO 2692-2014. Geometrical product specifications (GPS) - geometrical tolerancing-maximum material requirement (MMR), least material requirement (LMR) and reciprocity requirement (RPR) [S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 2014.