



中华人民共和国国家标准

GB/T 16857.6—2006/ISO 10360-6:2001

产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第6部分:计算高斯拟合要素的误差的评定

Geometrical Product Specifications(GPS)—
Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines(CMM)—
Part 6: Estimation of errors in computing Gaussian associated features

(ISO 10360-6:2001, IDT)

2006-07-19 发布

2007-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

GB/T 16857《产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测》分为六个部分:

- 第 1 部分:词汇;
- 第 2 部分:用于测量尺寸的坐标测量机;
- 第 3 部分:旋转工作台的轴线为第四轴的坐标测量机;
- 第 4 部分:在扫描测量模式下使用的坐标测量机;
- 第 5 部分:使用多探针探测系统的坐标测量机;
- 第 6 部分:计算高斯拟合要素的误差的评定。

本部分为 GB/T 16857 的第 6 部分。

本部分等同采用国际标准 ISO 10360-6:2001《产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机(CMM)的验收检测和复检检测 第 6 部分:计算高斯拟合要素的误差的评定》(英文版)。

本部分等同翻释 ISO 10360-6:2001。

为便于使用,本部分做了下列编辑性修改:

- a) “ISO 10360 的本部分”一词改为“GB/T 16857 的本部分”;
- b) 删除了国际标准的前言。

此外,在规范性引用文件中,用采用国际标准的我国标准代替对应的国际标准。

本部分的附录 A 为规范性附录,附录 B 为资料性附录。

本部分由全国产品尺寸和几何技术规范标准化技术委员会提出并归口。

本部分起草单位:机械科学研究院中机生产力促进中心、海克斯康测量技术(青岛)有限公司、深圳市计量质量检测研究院、中国航空工业第一集团公司北京航空精密机械研究所、上海上机精密量仪有限公司、中国计量科学研究院。

本部分主要起草人:李晓沛、王晋、于冀平、高国平、诸锡荆、唐禹民、王正强、张恒。

本部分系首次发布。

产品几何技术规范(GPS)

坐标测量机的验收检测和复检检测

第6部分:计算高斯拟合要素的误差的评定

1 范围

GB/T 16857 的本部分规定了检测软件的方法,该软件是用于坐标测量计算拟合要素。相关的要素是线(二维和三维)、面、圆(二维和三维)、球、圆柱、圆锥以及圆环。

软件所包括的每个要素要做一次或多次单独检测。

由于与坐标测量系统无关,软件应单独检测。

注1:如果检测结果表明拟合要素的线性尺寸参数的性能值比坐标测量机制造商提供的坐标测量机尺寸测量的示值误差(见 GB/T 16857.2)大,则软件不宜在该测量系统应用。然而,小的性能值(由该检测结果获得),也不能完全保证适合于计算拟合的要素(对软件并不完全保证适合于计算拟合的要素)。

GB/T 16857 的本部分与完整要素和不是极端不完整的局部要素有关;然而,对完整要素的检测和局部要素的检测是分别进行的,软件可交付其中任一或两者的检测。

检测不包括很大圆锥角的圆锥。

注2:很大圆锥角的拟合圆锥极少见且能够进行稳定计算的软件亦难以得到。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 16857 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 16857.1—2002 产品几何量技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第1部分:词汇(eqv ISO 10360-1:2000)

GB/T 16857.2—2006 产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第2部分:用于测量尺寸的坐标测量机(ISO 10360-2:2001,IDT)

GB/T 18779.1—2001 产品几何量技术规范(GPS) 工件与测量设备的测量检验 第1部分:按规范检验合格或不合格的判定规则(eqv ISO 14253-1:1998)

GB/T 18780.1—2002 产品几何量技术规范(GPS) 几何要素 第1部分:基本术语和定义(ISO 14660-1:1999,IDT)

GB/T 18780.2—2003 产品几何量技术规范(GPS) 几何要素 第2部分:圆柱面和圆锥面的提取中心线、提取中心面、提取要素的局部尺寸(ISO 14660-2:1999,IDT)

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

3 术语和定义

GB/T 16857.1, GB/T 18780.1, GB/T 18780.2 和 JJF 1001 确定的术语和定义适用于 GB/T 16857 的本部分。

4 基本要求

软件供应商应满足以下基本要求:

a) 送检软件应有一个明确而唯一的识别标志(例如发行号)。

不允许把检测结果错误地应用于其他版本的送检软件。检测部门可以满足送检方和其检测证书中提出的要求,用检测证书中所标识的标准数据集重新检测。

b) 送检软件应提供以下手段:

1) 越过测量和系统的软件修正部分,有足够数值精度的标准数据集的直接输入和检测参数值的输出(见第 8 章);

2) 为计算二维拟合要素(二维表示的线和圆)向送检软件输入二维坐标;如果无法完成,则允许向标准数据集中每个点加上一个虚拟的空间 z 坐标,然后把要素投影到 xy 平面上。

注 1: 与某些测量系统相关的输入和输出过程可能在传输数值的精度上受到限制。该限制会在获得的检测结果上不利于送检软件。

c) 输入到处理器和从处理器输出的方法应与检测部门一致。

注 2: 宜采用标准符码(如 ASCII)的标准计算机可读装置。

d) 对应送检软件受检测的每个要素,应提供该送检软件所用要素参数化的说明。

注 3: 标准参数化规定于表 3。

e) 对应送检软件受检的每个要素和检测类型(见表 2),应提供相关参数类的最大允许误差 MPE_q 的说明(见 9.3)。

5 标准数据集和标准参数值

5.1 概述

用于检测送检软件的标准数据集和相应的标准参数值应按附录 A 所规定的过程生成。标准数据集是模拟要素的尺寸、形状、位置、方向和取样的范围而设计的。它们也被设计成模拟包括探测误差和要素形状误差在内的典型的坐标测量机测量误差。

按附录 A 生成的标准数据集和标准参数值仅一次用于任一送检软件的检验(见 A.1)。

5.2 参数值的初始评定

送检软件可要求把一个点子集输入软件,通常集内第 1 个子集具有预定的取样模式。这个子集用来确定参数值的初始评定。当在送检软件的操作指令中写入该要求时,并应软件供应商的请求,检测部门应生成符合预定取样模式的附加点。把这些附加点形成的子集加到按附录 A 形成标准数据集所生成的数据中。这些应在检测证书上说明[见第 11 章的 e)]。

注 1: 为确定拟合要素的参数值,送检软件最常用的算法是迭代法。为此,要求确认点子集,并从中可计算出这些值的初始评定。

注 2: 可用高斯拟合圆柱举例说明:在标准数据集中头 6 个点可认作初始评定用的子集。例如,由前 3 点确定的圆心与后 3 点确定的圆心的连线,可近似用作拟合圆柱的轴线,圆的半径可近似用作拟合圆柱的半径。

注 3: 送检软件不要求参数值的初始评定较为稳定,具有自包容能力,对实际要素的测量无须按照指定操作过程进行。

6 检测参数值和转换检测参数值

由于不同的软件供应商可能使用不同的参数化,为方便检测,如必要的话,应修改送检软件生成的检测参数值,采用转换规则将其生成为转换检测参数值。求得的转换检测参数值应与标准参数值的参数化一致,以利于两者的相互比较。

为此,软件供应商应提供有关检测参数化的详细说明。

需要时,检测部门可采用合适的转换规则。

建议软件供应商提供适于数值转化的检测参数值(见第8章),以避免把不必要的不确定度加到生成的转换参数值中。

送检软件对有些标准数据集可能未能生成结果。

注:未能生成结果的原因可能由于,例如:

- a) 送检软件显示数据集无法处理,因超出其适用范围(例如含有太多的数据点或数据点分布不当),或
- b) 缺少迭代算法的收敛点,或
- c) 软件运作期间发生致命的差错(例如浮点数溢出或试图取负数的平方根)。

7 单位

应采用表1规定的单位。

表1 单位

	标准数据集	标准参数值
点坐标	毫米	—
位置参数	—	毫米
尺寸参数	—	毫米
角度参数	—	弧度
方向参数	—	(无量纲) ^a
注:为标出转换检测参数值与相应的标准参数值之差及其不确定度,在检测证书上可以采用“微米”和“微弧度”单位。		
^a 方向参数可以表示为方向余弦。		

8 数值的不确定度

检测部门的责任是评定任一数值的不确定度。该数值的不确定度是由用来传输信息和计算上表示数值的数字有限位数而引起的,并应包括在检测证书的不确定度说明中(见第10章)。

注1:传输的信息包括标准数据集中的点坐标和标准参数值(由检测部门控制的),以及检测参数值(由软件供应商提交的)。

注2:在应用转换规则和计算 q 值中(见9.3d),计算表示法影响标准数据集到标准参数值(就标准软件而言,见图2)或标准参数值到标准数据集(就数据生成程序而言,见图3)的计算。

注3:数值不确定度还取决于由标准数据集用高斯法确定的拟合要素或等价的拟合问题的数值条件(与标准数据集中坐标值的微小扰动有关的标准参数值扰动的一种度量)的完好程度。这些条件受要素的类型和标准数据集中点的点数和位置影响。

注4:如果分析评估不那么直接,则数值不确定度可通过模拟来评估。

如果适当的不确定度由他人确定,根据信息产生方式,检测部门可认为标准数据集或标准参数值是准确的。

9 检测方法的应用

9.1 原则

检测方法的原则是比较转换检测参数值和标准参数值(见图1)。转换检测参数值可由输入标准数

据集到送检软件按转换规则得到。每个标准数据集和相应的标准参数值视作检测用的标准付。

注 1：检测部门要提供例如用标准软件或数据生成程序的标准付，如图 2 和图 3 所示。

不同的送检软件可供不同的用途(例如计算完整要素或局部要素)，且具有受小的或大的噪音或形状偏差或两者都影响的测量点。为进行相应的检测，表 2 概括了 4 种可能的检测类型。简化检测对常规检测子集，用于对用途要求不严设计的软件。软件供应商对提供的软件可选择使用的检测类型，选取的检测类型应在检测证书中记录。

注 2：由于二维及三维直线和平面不能明确表示为局部要素，所以这些要素不宜使用局部要素，简化检测和局部要素，常规检测这两种检测类型。

对每个要素及每种检测类型(见表 2)应单独进行检测。

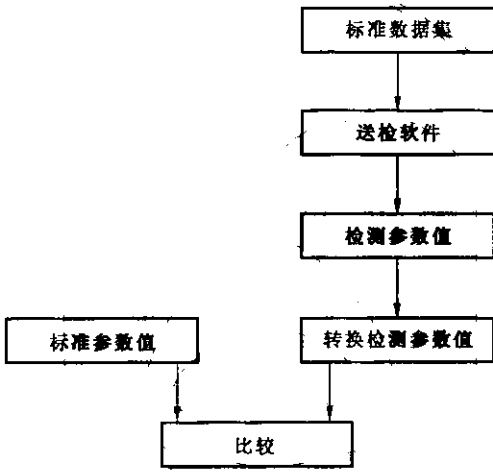


图 1 检测方法的原则

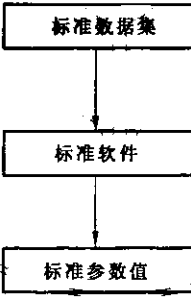


图 2 生成标准付的标准软件的使用

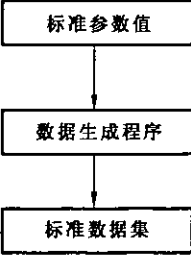


图 3 生成标准付的数据生成程序的使用

表 2 检测类型

	简化检测	常规检测
完整要素	完整要素,简化检测	完整要素,常规检测
局部要素	局部要素,简化检测 ^a	局部要素,常规检测 ^a
^a 二维及三维直线和平面不适用。		

9.2 比较基础

对任一指定要素的送检软件用于该要素的标准数据集时,比较转换检测参数值和标准参数值的基础是性能值 p ,对每种参数值规定如下:

- 位置参数:位置点 (x_0, y_0) 或 (x_0, y_0, z_0) (见表 3) 之间的欧几里德距离,分别由转换检测参数值和标准参数值确定。
- 方向参数:单位矢量 (a, b) 或 (a, b, c) (见表 3) 之间的正角,分别由转换检测参数值和标准参数值确定。

由于需要很小的角,所以当评定 p 时应特别注意不要产生大的数值误差。假设 v 和 w 是两项单位矢量,推荐一个数值稳定的方程为:

$$p = 2 \arcsin\left(\frac{\|v - w\|}{2}\right)$$

式中: $\|v - w\|$ 为 v 点和 w 点间的欧几里德距离。

- 尺寸参数:分别在转换检测参数值和标准参数值集内,正差或相应尺寸参数 r 或 r_1 或 r_2 (见表 3) 之差。就圆环来说,有两个尺寸参数 r_1 或 r_2 ,取两正差中的较大的一个。
- 角参数:分别在转换检测参数值和标准参数值集内,角参数 ϕ (见表 3) 的正差。

性能值的大小是转换检测参数值与对应的标准参数值相比匹配程度的度量,性能值越小,一致性越好。

9.3 程序

对每个要素和每个检测类型,检测部门应采取以下步骤:

- 告知软件供应商用于送检软件而获得检测参数值的那个要素的标准数据集;如果软件供应商提供了送检软件的可控文件付本,这一步也可由检测部门进行。
- 要求软件供应商说明软件检测结果的有效测量空间。
- 对要素的每个标准数据集,送检软件生成参数值:
 - 如检测参数化与标准参数化不同,则对检测参数值使用转换规则生成转换检测参数值;否则,视检测参数值为转换检测参数值;
 - 对与要素相关的每种参数值,按 9.2 的规定确定性能值 p ;
 - 如果被考虑的要素是二维圆或球或圆锥,则可不用本步骤,在转换检测参数值的集内改变方向参数的符号后再计算方向参数的性能值;对此重复步骤 2,并取最合适的结果。

注 1: 如果线或轴线的方向参数在符号上均改变,则由得到的参数确定线或轴线(但指向相反)。因此,如果方向参数出现,则检测基于比较由对应方向的转换检测参数值确定的矢量和对应的标准参数值,或全部改变符号后比较这些参数和对应标准参数值。

注 2: 只有圆锥要素其轴线方向反向是重要的,因为它以指向圆锥顶点的轴线方向确定单位矢量(见表 3)。

- 对每种要素(如合适的位置、方向、尺寸和角度)的参数值规定一个全值 q 作为按步骤 c) 中 2) 确定的最大性能值 p 。
- 对每种要素(如合适的位置、方向、尺寸或角度)的参数,在检测证书中按以下形式报告检测结果:
 - 相应的 q 值及其数值不确定度;
 - 如果送检软件对至少一个标准数据集未能生成检测参数值,则“数据集失效 n 个”(n 是失效的标准数据集的个数),且检测结果实际上是由检测参数值计算生成。

表 3 拟合要素的标准参数化

拟合要素	拟合要素的参数				说 明
	位置/ mm	方向	尺寸 mm	角度/rad	
线(二维)	x_0, y_0	—	—	—	确定数据集的矩心(拟合线上)
	—	a, b	—	—	拟合线的方向余弦
线(三维)	x_0, y_0, z_0	—	—	—	确定数据集的矩心(拟合线上)
	—	a, b, c	—	—	拟合线的方向余弦
面	x_0, y_0, z_0	—	—	—	确定数据集的矩心(拟合面上)
	—	a, b, c	—	—	拟合面法向方向余弦
圆(二维)	x_0, y_0	—	—	—	拟合圆圆心
	—	—	r	—	拟合圆半径
圆(三维)	x_0, y_0, z_0	—	—	—	拟合圆圆心
	—	a, b, c	—	—	包含拟合圆的面法向方向余弦
	—	—	r	—	拟合圆半径
球	x_0, y_0, z_0	—	—	—	拟合球球心
	—	—	r	—	拟合球半径
圆柱	x_0, y_0, z_0	—	—	—	最接近确定数据集矩心的拟合圆柱轴线上的点
	—	a, b, c	—	—	拟合圆柱轴线的方向余弦
	—	—	r	—	拟合圆柱半径
圆锥	x_0, y_0, z_0	—	—	—	最接近确定数据集矩心的拟合圆锥轴线上的点
	—	a, b, c	—	—	指向圆锥顶点生成单位矢量,拟合圆锥轴线的方向余弦
	—	—	r	—	圆锥轴线法向测得的,在点 (x_0, y_0, z_0) 处拟合圆锥半径
	—	—	—	ψ	拟合圆锥的圆锥角
圆环	x_0, y_0, z_0	—	—	—	拟合圆环的中心
	—	a, b, c	—	—	拟合圆环轴线的方向余弦
	—	—	r_1	—	拟合圆环的圆管截面半径
	—	—	r_2	—	拟合圆环的环的平均半径

10 按规范检验合格

按 GB/T 18779.1 考虑数值不确定度,如报告无“失效”和 q 值中没有一个大于相应的最大允许误差 MPE_q ,则送检软件的性能被检验通过。由此,检测部门按规范数值评定检验合格,且应将评定结果写入检测证书。

11 检测证书

检测部门发给的检测证书应包括以下内容:

- a) 标题(如检测证书)。

- b) 软件供应商的厂商名和地址,以及:
 - 1) 进行检测的位置(物理位置);
 - 2) 送检软件应用于标准数据集的位置。
- c) 检测证书的独特表示,如序数、页码和总页码。
- d) 送检方的姓名和地址。
- e) 描述和明确的标志(如送检软件的发行号)。
- f) 硬件操作系统的识别标志。
- g) 申请检测日期,同意开始检测日期,以及检测日期。
- h) 说明按 GB/T 16857 的本部分检测过的结果。
- i) 描述和明确的标志(如标准数据集的发行号)。
- j) 对检测证书生效的测量空间的尺寸。
- k) 针对每个被检要素及检测类型:
 - 1) 要素的类型(如圆柱);
 - 2) 检测类型(如完整要素,常规检测);
 - 3) 检测结果(见 9.3),包括相应的不确定度说明;
 - 4) 按规定的最大允许误差 MPE_p 检验合格的说明(仅当检测部门检验合格时);
 - 5) 告知送检软件是否使用了标准数据集中识别点子集以提供参数值的初始评定。
- l) 同意对检测证书内容负责的签名和职别,或个人(或几人)同等的认可证明。
- m) 声明检测结果只与软件所检项目和所用标准数据集有关。
- n) 声明如没有得到检测部门的书面批准,检测证书不能局部复制。

附 录 A
(规范性附录)
标准数据集生成过程

A.1 概述

本附录规定了标准数据集生成过程,以确保不同版本的同质性。本附录主要供检测部门和软件开发商用。

完整版本的标准数据集只能用一个标志(例如发行号);同一版本只能进行一次全检测,即不同的检测证书应记录不同的标准数据集发行号,除非检测是前一个版本的重复(见第4章,注1)。

对每个拟合要素,能有4种不同类型的标准数据集(见表A.1):

- a) FI和PI标准数据集用于
 - 完整要素,和
 - 局部要素,分别只对常规检测(见表2);
- b) FM和PM标准数据集用于
 - 完整要素,和
 - 局部要素,分别对简化检测和常规检测。

表 A.1 标准数据集类型及其缩写

	弱型(M)	强型(I)
完整要素(F)	FM	FI
局部要素(P)	PM ^a	PI ^a
^a 不适用于二维或三维线或面。		

对每个拟合要素和标准数据集类型,提供10个标准数据集。命名为“feature(要素).reference_data_set_type(标准数据集类型),set_number(集序号)”,其中“feature(要素)”是从表列{线(二维),线(三维),面,圆(二维),圆(三维),球,圆柱,圆锥,圆环}选择的要素标识符;“reference_data_set_type(标准数据集类型)”是从表列{FM,FI,PM,PI}选择的的标准数据集类型标识符;“set_number(集序号)”是按[0……9]范围排列的标准数据集的数字序数。例如有效的标准数据集命名为 circle3D. FI8 和 torus. PMO。

注:对每个拟合要素,简化检测包括10个标准数据集(FM或PM),而常规检测包括20个标准数据集(FM和FI,或PM和PI)。

标准数据集各点位于形为一长方体的测量空间内;标准系统以长方体的中心点为原点,沿长方体边确定方位。长方体的大小由软件供应商确定,并记录在检测证书中[见第11章的j)]。

- 每个标准数据集应按以下步骤生成:
- 生成拟合要素的标称范围;
 - 通过变形标称范围叠加形状偏差;
 - 取样标称范围生成正交投影到变形范围上的标称点;
 - 高斯零平均噪音加入每个点,模拟探测和其他误差。

以下各章将对此举例说明并做出规定。

A.2 随机生成

在标准数据集生成过程中,许多数值需随机生成。随机生成应遵循以下规则。

- a) 标量 x 在区间 $[a, b]$ 内给定, $a \leq x \leq b$: 对二个数据集, 分别取 $x=a$ 和 $x=b$; 对其他每一个, 生成一个在区间 $[0, 1]$ 内均布的随机值 y , 计算 $x=a^{1-y}b^y$ 。
- b) 标量 x 在二个区间 $[a, b]$ 和 $[c, d]$ 内给定, $a \leq x \leq b$ 或 $c \leq x \leq d$: 把数据集划分 2 个组, 每组 5 个数据集; 对其中任一组, 分别在区间 $[a, b]$ 和 $[c, d]$ 内按规则 a, 生成 x 。
- c) 在区间 $[a, b]$ 内给定整数值 n , $a \leq n \leq b$: 应用规则 a), 并圆整到最接近的整数值。
- d) 二维方向(如用单位矢量 n 表示): 对 2 个数据集分别取 $n=(1, 0)$ 和 $n=(0, 1)$; 对其余各个, 生成一个在区间 $[0, 2\pi]$ 内均布的随机值 ϕ , 计算 $n=(\cos\phi, \sin\phi)$ 。
- e) 三维方向(如用单位矢量 n 表示): 对 3 个数据集分别取 $n=(1, 0, 0)$, $n=(0, 1, 0)$ 和 $n=(0, 0, 1)$; 其余各个, 生成二个分别在区间 $[0, 2\pi]$ 和 $[-1, 1]$ 内分布的随机值 θ 和 z , 计算 $n=(\cos\theta \sqrt{(1-z^2)}, \sin\theta \sqrt{(1-z^2)}, z)$ 。
- f) 作出标准数据集的选择, 取按规则 a), 规则 b), 规则 c), 规则 d) 和规则 e), 随机生成一个在区间 $[0, 9]$ 内分布的整数值为预定值(区间极值或坐标方向), 用作标准数据集标识符。
- g) 定位(如在包含范围的最小凸起区域中选择一个点来规定): 在相应的测量空间限定的区间内随机生成分布的 2 个或 3 个坐标值; 如果所定位的范围不能完全包括在测量空间内, 则重复再次生成标准点, 直到满足限定。
- h) 形状偏差(见 A.4): 对每个傅立叶谐波函数, 在区间 $[-1, 1]$ 和 $[0, 2\pi]$ 内分布生成 2 个随机值 x 和 ϕ , 分别用作任选单位中振幅和相位; 取样(见 A.5)后, 计算全部点引起的形状偏差和求得其最大的绝对值 X_{\max} ; 生成一个在区间 $[-1, 1]$ 内分布的随机值 k , 用 $k\zeta/X_{\max}$ 的商粗略估算全部形状偏差, 式中 ζ 是在 A.4 中规定的最大形状偏差。
- i) 取样(见 A.5): 对线(二维和三维), 面和圆(二维和三维), 在每个范围子集中生成一分布点; 对其他的拟合要素, 生成在子集限定的其区间内分布的点表面坐标的两随机值; 对未能满足表 A.5 第一个脚注中的限定圆锥来说, z 坐标可用 $z=\sqrt{(c+z_{\min}^2)}$ 代替, 式中 c 是一个在区间 $[z_{\min}^2, z_{\max}^2]$ 内分布的随机值, 范围子集 z 的限定区间是 $[z_{\min}, z_{\max}]$ 。
- j) 噪音(见 A.6): 对每个取样点, 生成平均值为零的随机值 x , 偏差通常是按表 A.6 规定的作正态分布; 确定单位矢量 u , 从外指向拟合要素(二维圆、球、圆柱、圆锥、圆环)垂直于标称范围, 或与方向单位矢量 (a, b, c) (平面)重合, 或由顺时针旋转单位矢量 (a, b) (二维线) 90° 得到, 或按规则 d), 垂直于范围在平面上二维方向生成 u , 但不考虑约束的方向(三维线, 三维圆); 取 xu 为噪音矢量。

注 1: 按规则 a) 生成的值 x 具有均布对数特性。

注 2: 按规则 e) 生成的单位矢量 n 均布在单位球上。

注 3: 按规则 h) 生成的形状偏差具有在限定区间 $[0, \zeta]$ 内均布的最大形状偏差特性。

注 4: 按规则 i) 生成的取样点, 对特定的圆锥来说, 分布在圆锥范围内。

A.3 标称范围的生成

可取得标称范围的拟合要素的方位应随机选择, 无方位的二维圆和球除外。为使每个标称范围定位到相应的拟合要素中要求附加的方位; 附加方位应按以下规则随机生成(见 A.2):

- a) 矩形边的(面)方位:在面上生成二维方位;
- b) 指向圆弧中心点的径向矢量的(圆)方位:在圆平面上生成二维方位;
- c) 径向矢量到在其区间内由 (θ, ϕ) 的中心值确定的点的(球)方位(见 GB/T 16857.1—2002 的 11.13):生成三维方位;
- d) 从轴线到其区间内由 (θ, z) 的中心值确定的点的最短矢量(圆柱和圆锥)方位(见 GB/T 16857.1—2002 的 11.13):在轴线法向平面内生成二维方位;
- e) 从轴线和从环到其区间内由 (θ, ϕ) 的中心值确定的点的最短矢量(圆环)方位(见 GB/T 16857.1—2002 的 11.13):在轴线法向平面内和包含它的平面内生成 2 个二维方向;这等于令 $r_2=0$,使圆环收缩成半径为 r_1 的球,并生成三维方位。

范围大小(由任一范围点之间的最大距离确定)应在表 A.2 所列的区间内随机生成。区间是按测量空间大小的百分比规定,而测量空间大小由矩形长方体的最短边确定。

表 A.2 范围大小覆盖测量空间大小的百分比

标准数据集类型	百分比范围
FM, FI	[10%, 90%]
PM, PI	[1%, 15%]或[85%, 99%]

范围的定位应随机生成。范围还应满足表 A.3 中所列的进一步要求。

表 A.3 范围的进一步技术要求

拟合要素	标准数据集类型	技术要求*
线(二维和三维)	—	无进一步的技术要求
面		矩形边长比(较大的) ζ
	FM	$1 \leq \zeta \leq 10$
	FI	$1 \leq \zeta \leq 100$
圆(二维和三维)		中心角 α
	FM, FI	$\pi \text{ rad} \leq \alpha \leq 2\pi \text{ rad}$
	PM, PI	$\frac{1}{8}\pi \text{ rad} \leq \alpha \leq \pi \text{ rad}$
球		$\frac{1}{2}\pi \text{ rad} \leq \theta \leq 2\pi \text{ rad}$
		$\frac{1}{2}\pi \text{ rad} \leq \phi \leq 2\pi \text{ rad}$
	PM, PI	$\frac{1}{8}\pi \text{ rad} \leq \theta, \phi \leq \frac{1}{2}\pi \text{ rad}$
圆柱		圆的高度与直径比 ζ
	F	$\pi \text{ rad} \leq \theta \leq 2\pi \text{ rad}$
	P	$\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \pi$
	M	$\frac{1}{3} \leq \zeta \leq 10$
	I	$\frac{1}{20} \leq \zeta \leq \frac{1}{3}$ 或 $10 \leq \zeta \leq 100$

表 A.3 (续)

拟合要素	标准数据集类型	技术要求 ^a
圆锥		圆锥角 ϕ , 平截圆锥的高度与最大直径比 ζ^b
	F	$\pi \text{ rad} \leq \theta \leq 2\pi \text{ rad}$
	P	$\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \pi$
	M	$\frac{1}{15}\pi \text{ rad} \leq \phi \leq \frac{2}{3}\pi \text{ rad}$ 和 $\frac{1}{4} \leq \zeta \leq \frac{1}{2 \tan \frac{\phi}{2}}$
	I	$\frac{1}{100}\pi \text{ rad} \leq \phi \leq \frac{1}{15}\pi \text{ rad}$ 和 $5 \leq \zeta \leq \frac{1}{2 \tan \frac{\phi}{2}}$ 或 $\frac{2}{3}\pi \text{ rad} \leq \phi \leq \frac{9}{10}\pi \text{ rad}$ 和 $\frac{1}{15} \leq \zeta \leq \frac{1}{2 \tan \frac{\phi}{2}}$
圆环	FM, FI	$\pi \text{ rad} \leq \theta \leq 2\pi \text{ rad}$ 和 $\frac{1}{2}\pi \text{ rad} \leq \phi \leq \frac{3}{2}\pi \text{ rad}$
	PM, PI	$\frac{\pi}{2}\pi \text{ rad} \leq \theta \leq \pi \text{ rad}$ 和 $\frac{3}{4}\pi \text{ rad} \leq \phi \leq \frac{5}{4}\pi \text{ rad}$
^a 表中所用的几何定义和符号见 GB/T 16857.1—2002 的 11, 13。 ^b 先生成 ϕ , 后生成 ζ ; 对 ζ 的生成, 应用 A.2 中的规则 a), 但不考虑区间的极值。		

A.4 形状偏差的叠加

每个范围应按表 A.4 中所列规则变形。取样点的最大形状偏差 [见 A.2 的 h)] 对标准数据集类型 (FM, PM) 是 10^{-4} , 而对标准数据集类型 (FI, PI) 是 10^{-3} , 并分别以拟合要素的标称范围大小相乘。

表 A.4 给标称范围叠加形状偏差的规则

拟合要素	规则	标准数据集类型	n
线(二维)	至 n 次傅立叶谐波函数叠加到线段上	FM	3
		FI	6
线(三维)	选取通过线段的两正交平面; 把变形的三维线段投影到每个平面上, 线段成为变形的二维线	—	—
面	任一方向上至 n 次二维傅立叶谐波函数叠加到直角矩形上	FM	3
		FI	6
圆(二维)	圆弧用圆心定心的极坐标系表示; 得到的线段变形为具有至 n 次谐波函数的二维线	FM, PM	5
		FI, PI	8
圆(三维)	在圆平面内, 圆弧扰动如同二维圆形状变形; 然后外切矩形如同平面形状变形	—	—
球	球用球心定心的球坐标系来表示; 得到的矩形变形为具有至 n 次谐波函数的平面, 对应极点沿每个矩形边约束呈现相同值 ^a	FM, PM	5
		FI, PI	8
圆柱	圆柱用沿轴线排列的柱坐标系来表示; 得到的矩形在任一方向变形为具有至 n 次谐波函数的平面	FM, PM	5
		FI, PI	8

表 A.4 (续)

拟合要素	规 则	标准数据集类型	n
圆锥	圆锥用沿轴线排列的柱坐标系来表示;得到的矩形在任一方向变形为具有至 n 次谐波函数的平面。结果生成的形状偏差垂直于圆锥方向取,而不是从得到的矩形方向取	FM, PM	5
		FI, PI	8
圆环	一般圆环点 p 可表示为 $p=r_1(\theta)+r_2(\theta, \phi)$, 式中 θ 是相对于轴线的角坐标, ϕ 是相对于环 r_1 的角坐标, 而 r_2 是 p 离环的最小位移;得到的矩形 $r_2(\theta, \phi)$ 在任一方向变形为具有至 n 次谐波函数的平面, 而环变形如同三维圆形状变形	FM, PM	5
		FI, PI	8
^a 约束为确保变形范围的连续性。			

A.5 取样

每个标称范围应分成若干段等长线段(二维范围)或若干块等面积小块(三维范围),如表 A.5 所规定。

在每个子集中标称取样点应随机生成,然后应投影到变形的范围上,通常投到标称范围。

表 A.5 细分标称范围成线段或小块的规范

拟合要素	规 范	参数值
线(二维) 线(三维)	范围分成 n 段等长线段	$4 \leq n \leq 100$
面	范围通常分成以 n_x 横行和 n_y 纵列框格排列的矩形	$2 \leq n_x \leq 10$ $2 \leq n_y \leq 10$
圆(二维) 圆(三维)	范围分成 n 段等长弧段	$5 \leq n \leq 100$
球	范围分成由分别把 θ 和 z 的区间分成 n_θ 和 n_z 等长间距的小块。 θ 和 z 是拟合柱坐标系 (r, θ, z) 的角和高度坐标	$3 \leq n_\theta \leq 10$ $2 \leq n_z \leq 10$
圆柱	范围分成由分别把 θ 和 z 的区间分成 n_θ 和 n_z 等长间距的小块	$3 \leq n_\theta \leq 10$ $3 \leq n_z \leq 10$
圆锥	范围分成小块。小块是由把 θ 的区间分成 n_θ 等长间距,把 z (起点是顶点)分成两端值平方差相等(即 $z_{i-1}^2 - z_i^2 = \text{常数}$, $\forall i \leq n_\theta$)的间距而获得 ^a	$3 \leq n_\theta \leq 10$ $3 \leq n_z \leq 10$
圆环	范围分成由分别把 θ 和 ϕ 的区间分成 n_θ 和 n_ϕ 等长间距的小块 ^b	$4 \leq n_\theta \leq 10$ $3 \leq n_\phi \leq 10$
^a 当平截圆锥体的半径区间小于或等于平均半径(接近于圆柱的圆锥或薄圆锥盘)的 1% 时,表达式可近似为 $z_{i-1} - z_i = \text{常数}$, $\forall i \leq n_\theta$, 则解决了顶点高度的不合理定义。 ^b 该方式生成的小块是不精确的相同面积;在接近轴线的圆环部分得到的过大取样是允许的。		

A.6 探测和偶然误差的叠加

每个点会被带有表 A.6 所规定的标准偏差的噪音随机向量[见 A.2 的 j)]扰动。假定不同点的噪音向量在统计上彼此独立。

表 A.6 噪音成分的标准偏差

标准数据集类型	噪音标准偏差/ μm
FM,PM	2
FI,PI	10

附 录 B
(资料性附录)
在 GPS 矩阵模式中的位置

GPS 矩阵模式的全部详情参见 GB/Z 20308。

B.1 有关 GB/T 16857 本部分的信息及其应用

本部分规定了在坐标测量机软件中计算高斯拟合要素的误差评定方法。本部分给定的检测：

- 运用软件计算直线、平面、圆、球、圆柱、圆锥和圆环；
- 对坐标测量机的测量数据用高斯法(最小二乘法)进行评估；
- 软件独立于坐标机单独运行。

B.2 在 GPS 矩阵模式中的位置

本部分属于 GPS 通用标准,它影响 GPS 通用标准矩阵中尺寸、距离、半径、角度、形状、方向、位置、跳动和基准标准链的链环 5,如图 B.1 所示。

GPS 基础 标准	GPS 综合标准						
	GPS 通用标准						
	链环号	1	2	3	4	5	6
	尺寸						
	距离						
	半径						
	角度						
	与基准无关的线形状						
	与基准相关的线形状						
	与基准无关的面形状						
	与基准相关的面形状						
	方向						
	位置						
	圆跳动						
	全跳动						
	基准						
	粗糙度轮廓						
	波纹度轮廓						
	原始轮廓						
	表面缺陷						
	棱边						

图 B.1

B.3 相关的标准

相关的标准为图 B.1 所示标准链涉及的标准。

参 考 文 献

- [1] ISO 1101:2004 产品几何量技术规范(GPS) 几何公差 形状、方向、位置和跳动公差
 - [2] GB/T 17851—1999 形状和位置公差 基准与基准体系(eqv ISO 5459:1981)
 - [3] ISO 10360-3:2000 产品几何技术规范 坐标测量机的验收检测和复检检测 第3部分:旋转工作台的轴线为第四轴的坐标测量机
 - [4] GB/T 16857.4—2003 产品几何量技术规范 坐标测量机的验收检测和复检检测 第4部分:在扫描测量模式下使用的坐标测量机(ISO 10360-4:2000,IDT)
 - [5] GB/T 16857.5—2004 产品几何量技术规范 坐标测量机的验收检测和复检检测 第5部分:使用多探针探测系统的坐标测量机(ISO 10360-5:2000,IDT)
 - [6] GB/Z 20308—2006 产品几何技术规范(GPS) 总体规划(ISO/TR 14638:1995,MOD)
-