

基于坐标旋转的偏心过渡圆弧定心约束坐标测量方法

王涛, 杨林林, 雷天才, 孟玉堂, 王国起

中国工程物理研究院机械制造工艺研究所

摘要: 针对偏心圆弧球壳类零件检测难题, 本文提出了通过平移坐标系的方法, 解决了相切偏心短圆弧的准确测量问题。将此方法应用于由偏心短圆弧旋转形成的球壳类零件内外球面检测中, 实现了该类零件的准确测量。应用结果显示, 该测量方法测量准确, 可以有效地解决相切偏心圆弧检测评价困难的问题。

关键词: 偏心圆; 短圆弧; 内外球面; 坐标旋转

中图分类号: TG806; TH124

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2021.07.022

Entering Constraint Coordinate Measuring Machine Method of Eccentric Transition Arc Based on Coordinate Rotation

Wang Tao, Yang Linlin, Lei Tiancai, Meng Yutang, Wang Guoqi

Abstract: The detection of eccentric circular arc spherical shell parts has always been a big problem in the industry. In this paper, a method of translating coordinate system is proposed to solve the accurate measurement problem of tangent eccentric short arc. This method is applied to the inner spherical surface detection of spherical shell parts formed by eccentric short arc rotation. The accurate measurement of these parts is realized. The application shows that the measurement method is accurate and can effectively solve the problem of difficult detection and evaluation of tangent eccentric arc.

Keywords: eccentric circle; short arc; inner sphere; coordinate rotation; coordinate measuring machine

1 引言

偏心相切圆弧构成的球壳零件内曲面由相切圆弧和相切直线段构成, 整个球壳内曲面通过圆弧和直线段沿中心轴旋转形成。由于圆弧的圆心不在回转轴线上, 通常无法一次测量评价沿中心轴旋转的圆弧整体形状。而且此类回转零件大多在车床上

车削完成, 沿中心轴旋转的圆弧整体形状是加工中的关键参数, 直接关系到工件的整体形状。当采用依次测量过中心轴线截面的测量方式时, 按零件形状建立坐标系, 沿 XZ 平面或 YZ 平面测量短圆弧, 但过渡圆弧偏心角有大有小, 当偏心角小于 30° 时, 直接测量圆弧拟合得到的圆心位置误差较大, 由此评价圆的半径测量误差随之增大, 测量结果可信度大大降低^[1,2]。

本文提出了坐标旋转定心约束的测量方法。通

收稿日期: 2021年3月

- [4] 高世龙, 安立宝, 李晨辉, 等. CBN 刀具车削淬硬钢表面粗糙度的试验与预测[J]. 现代制造工程, 2015(10): 102-106.
- [5] 唐林虎, 沈浩, 常青山, 等. 低中高速干式硬态车削高硬高强高耐磨淬硬钢的试验研究[J]. 现代制造工程, 2018(4): 1-5.
- [6] 李素燕, 都维刚, 马彩凤. 高速硬车削参数对淬硬钢表层特征影响的研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2016, 32(3): 78-82.
- [7] 王晓光, 魏彩乔. 硬车代磨表面粗糙度试验研究[J]. 现代制造工程, 2011(7): 70-72.
- [8] 崔伯第. 硬车削淬硬轴承钢 GCr15: 表面粗糙度的试验研究[J]. 机械设计与制造, 2013(7): 150-152.
- [9] 杜倩倩. 硬态车削淬硬钢切屑形成机理及表面完整性研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2016: 41-43.
- [10] Sarnobat S, Raval H. Experimental investigation and analysis of the influence of tool edge geometry and work piece

hardness on surface residual stresses, surface roughness and work-hardening in hard turning of AISI D2 steel[J]. Measurement, 2019, 131: 235-260.

- [11] 刘战强, 万熠, 周军. 高速切削刀具材料及其应用[J]. 机械工程材料, 2006, 30(5): 1-4.

第一作者: 马富荣, 助教, 硕士, 兰州工业学院机电工程学院, 730050 兰州市

First Author: Ma Furong, Assistant, College of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou Institute of Technology, Lanzhou 730050, China

通信作者: 唐林虎, 博士, 教授, 兰州工业学院, 甘肃省高校绿色切削加工技术及其应用省级重点实验室, 730050 兰州市

Corresponding Author: Tang Linhu, Ph. D., Professor, Lanzhou Institute of Technology, Provincial Key Laboratory of Green Cutting Technology and Application in Gansu Province (University), Lanzhou 730050, China

过坐标系旋转,使坐标零点与圆弧的圆心重合, Z 轴指向圆弧,测量坐标点 $(0,0,Z)$,获得的实测值 Z 即为该圆弧的半径实测值,通过沿 Y 轴旋转,实现 XZ 截面内不同圆心角对应测点的测量,然后在沿 Y 轴旋转前,通过沿 Z 轴旋转实现整个水平面 360° 范围内的圆测量。

对于球壳类零件,其加工过程中往往通过端面和内外球面的内外圆对刀,为了使测量与加工基准统一,在坐标测量过程中也通过端面和内外球面的内外圆找正,为了使基本坐标系与圆弧的圆心重合且 Z 轴指向圆弧半径方向,基本坐标系应与加工坐标系一致,避免由测量基准不一致引起的测量误差。此外通过坐标测量直接输出 Z 值(即为半径值),减少了由计算引起的误差。

2 常规测量方法与误差分析

如图 1 和图 2 所示,由于两段相切圆弧段的圆心不在中心轴线上,因此不能通过测量水平面内圆的方式进行评价,通常采用测量过中心轴线的某一截面圆弧段的方式进行测量,然后对测量点进行最小二乘法拟合计算出圆心和半径,实现对圆弧段的检测评价^[3],这样的检测评价方式只完成了单个截面的圆弧检测评价,对整个水平面旋转形成的圆弧评价具有片面性^[4]。由于测量误差的存在,在测量过程中当圆弧段的圆心角较小时,实际测量点 B_1, B_2, B_3 或 C_1, C_2, C_3 偏离理论测量位置淡蓝色线段时,会出现拟合生成的圆心位置偏离与拟合半径缩小或放大现象^[5],严重影响测量结果,如图 3 所示。

3 基于坐标旋转的定心测量方法及流程

在零件加工过程中,会通过圆弧平面等元素进行找正,这是加工中的基准,在检测过程中可以利用加工基准作为检测基准,保证加工检测的一致性,同时提高检测的准确度^[6]。图 1 所示零件可通过止口端面与内外圆进行找正并确立初始坐标系,然后通过坐标系的旋转平移使测量坐标系原点与圆弧的圆心重合,通过坐标系旋转使某一轴向直接指向圆弧方向,并以此轴向测量数值作为圆弧半径的测量值进行评价,可消除短圆弧拟合圆心半径方法对测量误差敏感的问题^[7]。同时通过坐标系的旋转可实现水平面内任何位置的圆弧检测评定。

如图 1 和图 2 所示,零件由两段相切圆弧和一段相切直线段沿中心线旋转形成,圆弧段 $R98.82$ 的圆心 O_1 坐标为 $(-5,30)$,位于中心线的左侧,圆

弧段 $R110$ 的圆心 O_2 的坐标为 $(-10,20)$,直线段与圆心 $O(0,0)$ 的距离为 100mm 。

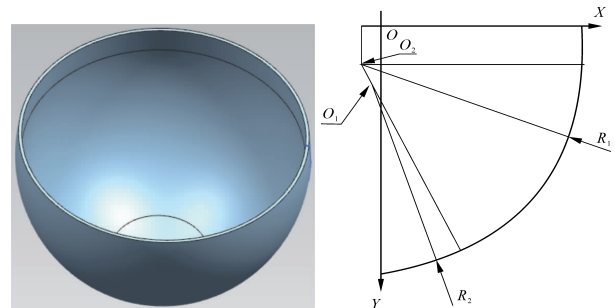


图 1

图 2

(1)以半径 110mm , 圆心 $O_2(-10,20)$ 为例阐述具体测量方法与思路,首先通过测量止口端面和外圆或内圆建立坐标系 $O_{c1}X_{c1}Y_{c1}Z_{c1}$,坐标系中 Z 轴方向和零点通过止口端面建立,由于过中心线的每一个截面都与图 1 的图形相同,因此不需要建立 X 轴和 Y 轴的方向,只需通过外圆或内圆的圆心确定 X 轴和 Y 轴的零点即可,建立的测量坐标系 $O_{c1}X_{c1}Y_{c1}Z_{c1}$ 见图 3。

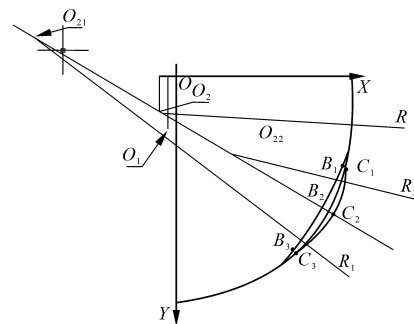


图 3 测量坐标系 1

(2)通过坐标平移变换使测量坐标系 $O_{c1}X_{c1}Y_{c1}Z_{c1}$ 的原点由 O_{c1} 平移到 O_2 ,建立测量坐标系 $O_{c2}X_{c2}Y_{c2}Z_{c2}$,需注意在测量坐标系中是平移 X 轴和 Z 轴对应图 3 中的 X 轴和 Y 轴,建立新的坐标系如图 4 所示。

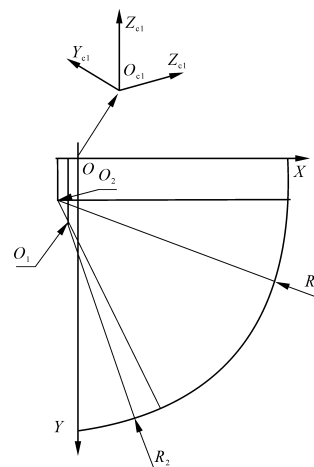


图 4 测量坐标系 2

表1 测量结果

零件号	1#		2#		3#	
检测元素	R98.82 圆弧	R110 圆弧	R98.82 圆弧	R110 圆弧	R98.82 圆弧	R110 圆弧
计量检测结果(mm)	98.816 ~ 98.831	109.992 ~ 110.009	98.814 ~ 98.828	109.994 ~ 110.006	98.813 ~ 98.826	109.995 ~ 110.011
常规方法结果(mm)	98.808 ~ 98.838	109.986 ~ 110.014	98.807 ~ 98.836	109.989 ~ 110.010	98.806 ~ 98.835	109.990 ~ 110.015
坐标旋转定心检测结果(mm)	98.814 ~ 98.834	109.989 ~ 110.008	98.816 ~ 98.832	109.995 ~ 110.008	98.812 ~ 98.829	109.993 ~ 110.009

(3)通过计算获得R110圆弧与X轴的夹角范围为 $0^\circ \sim 63^\circ$,根据测量要求选取测量点对应的与X轴的角度,旋转Z轴坐标,使Z轴方向从圆弧段圆心直接指向圆弧,建立如图5所示测量坐标系 $O_{C3} X_{C3} Y_{C3} Z_{C3}$ 。

(4)在坐标测量机上测量点(0,0,110)即为测量圆弧的某一点,测量单点完成后,评价Z的值即为评价圆弧半径值,再从测量坐标系 $O_{C2} X_{C2} Y_{C2} Z_{C2}$ 开始,通过循环沿Z轴依次旋转 90° 或其它指定度数。如图6所示,假定测点为四点 A_1, A_2, A_3, A_4 修改旋转角度数便可实现不同角度不同测点数量分布,并进行测量,再旋转Z轴坐标测量半径,测量一定数量点的圆后,对测量点Z值进行评价,即可确定测量范围内的半径变化情况,实现对偏心圆弧的检测评价。

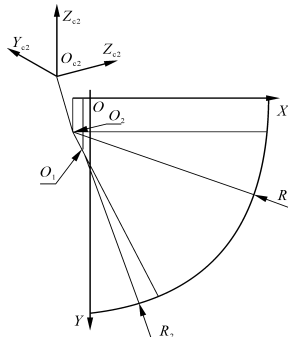


图5 测量坐标系3

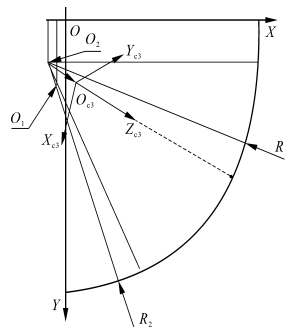


图6 旋转测量

4 应用实验对比分析

为了对本文提出的测量方法进行检验,选取3件计量检测过的工件,在Zeiss prismo ultra三坐标仪上分别应用常规检测评价方法和基于坐标旋转的定心测量方法进行检测评价,检测结果与实际计量检测结果如表1所示。

由以上结果可知,采用常规方法对偏心过渡圆弧进行检测的方法所获得的结果与计量检测结果的偏差在 $0.007 \sim 0.009\text{mm}$ 和 $0.004 \sim 0.006\text{mm}$ 之间,而使用基于坐标旋转的定心测量方法的测量结果与计量检测结果之间的偏差在 $0.001 \sim 0.004\text{mm}$

和 $0.001 \sim 0.003\text{mm}$ 之间。使用基于坐标旋转定心测量方法的测量结果与计量检测结果非常相近,验证了基于坐标旋转的定心测量方法的可行性与准确性,为偏心过渡圆弧的精确检测提供了技术支撑。

5 结语

本文提出了一种基于坐标旋转的偏心过渡圆弧定心约束坐标测量方法,通过采用圆心约束的方式解决了短圆弧检测过程中拟合求解圆心半径对测量误差敏感的问题,通过采用测量坐标系平移旋转方式解决了偏心圆弧检测评价困难的问题。通过实际工程应用试验对上述检测方法进行验证,结果显示,采用上述方法的测量结果与计量检测结果极为相近,验证了该方法的正确性,同时为偏心过渡圆弧的检测提供了一种可靠的检测方法,可推广应用到相应领域。

参考文献

- [1]彭希锋,陈爽,李海星,等.几何功能约束最小二乘法双短圆弧检测[J].中国测试,2016,42(9):36-40.
- [2]程湘红,蓝玲.短圆弧的中心测量方法研究[J].工程技术与应用,2018(1):85-87.
- [3]孟苏飞,樊曙天.非完整圆弧半径测量方法综述[J].机械管理开发,2006,93(6):51-54.
- [4]刘珂,周富强,张广军.半径约束最小二乘圆拟合方法及其误差分析[J].光子·激光,2006,17(5):604-607.
- [5]朱嘉,李醒飞,谭文斌,等.基于圆心约束最小二乘圆拟合的短圆弧测量[J].光学精密工程,2009,17(10):2486-2492.
- [6]龚正文.用精密测量设备检测短圆弧方法的探讨[J].经验与体会,2011,31(6):56-58.
- [7]蔡春燕.圆弧球径在加工过程中的检测方法[J].装备制造技术,2012(12):131-133.

第一作者:王涛,工程师,中国工程物理研究院机械制造工艺研究所,621900 四川省绵阳市

First Author: Wang Tao, Engineer, Institute of Mechanical Manufacturing Technology, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China