

# 大尺寸测量校准技术分析

张剑宇

(广东省计量科学研究院东莞分院, 广东东莞 523120)

**摘要** 随着科技不断发展, 传统量值传递系统已不能满足当今工业生产需求。本文对于长度达几十米大尺寸结构的校准装置的精度保证进行分析。首先介绍大尺寸工业测量系统现状, 以及相应仪器发展情况, 在此基础上对单站激光跟踪仪的校准方法进行具体分析。

**关键词** 大尺寸计量; 校准技术

“大尺寸计量”一词源于“大尺寸工程计量”。早在1961年英国的Dw.Berry就给了有关“大尺寸计量”的描述, 他认为大尺寸计量是一种关于几何量的测量, 它将大测量技术与工程测量技术结合起来, 以解决工程中大型装备的测量问题。大尺寸计量已经演变成一种精密的工程测量, 使用激光跟踪仪测量点到点距离的不确定度为 $2\mu\text{m} \sim 70\mu\text{m}$ , 采用多边激光测量技术在工业环境下测量不确定度可以达到 $1 \times 10^{-6}$ , 测量要素也从单一的角度、长度测量扩展到坐标测量和形状测量。大尺寸计量技术的发展使得原有的量传体系已经不能满足要求, 首先测量范围不够大, 原有的 $1\text{m} \sim 2\text{m}$ 的标准器具无法在连续几十米的范围内将标准距离复现; 其次测量精度有限, 能够实现高精度长距离的标准装置很少, 一般都在 $3 \sim 5 \times 10^{-6}$ 左右; 另外传递的标准要素单一, 基本上都是角度或长度, 很少能够实现坐标传递。因此有关大尺寸校准技术的研究也就成了计量领域的热点问题。

## 1 工业大尺寸测量系统发展

随着科学技术的不断发展, 工业生产的不断变革, 使得工业测量的内容和手段也发生了很大的变化。尤其是进入九十年代以来, 工业发达国家对大尺寸测量的需求越来越多, 特别是在汽车、船舶、航空、航天、核工业、能源及水力电力工业中, 大型部件的测量比比皆是。除了传统的光学测量仪器以外, 大型三坐标测量机对那些方便移动的工件来说, 是最有效的测量工具, 然而固定式三坐标测量系统最大的问题是测量空间有限、测量方式被动。上个世纪80年代初, 面向现场的便携式坐标测量系统不断出现, 解决了各种工业现场测量的难题。这些系统不再是简单的直角坐标测量体系, 而是通过测角、测长及相应的计算方法求解出物体的空间坐标。系统结构紧凑、携带方便, 测量空间开放, 是面向测量对象的主动式测量。人们越来越多地使用这些高精度、可移动式空间大尺寸坐标测量系统, 如激光跟踪仪、激光雷达扫描仪、3D扫描仪和经纬仪系统等。这些仪器可以快速、准确、高效地完成定位、放样、检查和校准等测量任务。

激光干涉仪是一种高精度距离测量仪器, 配合相应的光学组件还可以完成角度、直线度的测量。干涉仪的测量范围比较大, 一般都可以到几十米。用途很广, 既可以作为高精度位置传感器, 也可以作为校准工具。固定式坐标测量系统绝大部分采用的都是正交直角坐标测量系统, 具有固定的工作台或工作空间。在三个互相垂直的轴向上分别装有导向机构、侧长元件和数显装置等, 测量时通过测头进行采点。可移动、多关节坐标测量系统采用多关节摆臂原理测量, 通过安装在各关节及连杆内部的角编码器获得各个关节及连杆的转角, 再结合关节及连杆的机械参数计算出测量点的三维坐标, 此方法经济有效, 但是测量范围有限。激光跟踪仪是上世纪80年代发展起来一种移动式高精度空间坐标测量仪器, 下面将会详细介绍单站激光跟踪仪的校准过程。激光跟踪仪空间坐标结构采用球坐标, 即空间点的敏感单元由两部分组成, 包括两个测角单元和一个测距单元。其最大特点就是可以自动跟踪目标反射镜, 实现高精度快速测量, 而且操作简单, 准备工作少, 额可以进行自动跟踪测量。经纬仪组合坐标测量系统则是一种早期的工业坐标测量系统, 系统操作简单、便于携带, 受环境影响较少, 但是采用人眼瞄准所以测量效率低。另外, 比较常见还有全站仪、室内GPS系统、3D摄影测量系统、便携式光笔测量系统和激光雷达测量系统等等。

## 2 单站激光跟踪仪的校准

### 2.1 校准参数

在现代仪器制造中, 部件的制造和装配精度已不像以前那么重要, 重要的是设法提高机构的精密性和重复性, 并通过适当的方法测出系统误差, 用软件加以修正, 称为重复性设计和重复性制造。这样, 不仅提高了仪器精度, 而且降低了对制造和装配的要求, 使成本降低、工效提高。单站激光跟踪仪中一般具有某些系统误差参数, 它表示仪器目前所处的状态, 可以通过一定的程序将其检测出来并加以校正, 状态参数满足要求是保证仪器获得标称精度的前提, 因此, 在校正仪器精度参数之前, 应首先校准仪器状态参数。单站仪所有测量参数都基于坐标计算, 坐标精度是所有测量精度的根本保证。定位重复性是定位精度的重要组成部分, 它能反映许多误差。制造商专门设有坐标测量精度和坐标测量重复性这两项技术指标, 因此, 绝对坐标精度和坐标重复性应分别加以校准。单站仪校准参数确定为:

- 1) 状态参数校正;
- 2) 坐标测量重复性;
- 3) 绝对坐标测量精度;
- 4) 空间测长精度;
- 5) 面向测量对象的精度;
- 6) 动态测量特性。

### 2.2 校准方法

状态参数校正可根据仪器操作手册进行, 不同型号的仪器具有不同的状态参数, 校正方法也不同, 例如, LTD500单站仪带有Field Check Tracker Alignment 和 Intermediate Alignment 三组程序, Field Check 用于检测状态参数产生的效果, 以决定是否进行参数校正, Tracker Alignment 用于校正并刷新状态参数, Intermediate Alignment 只对部分状态参数校正并刷新, 其它参数不变。

坐标重复性表现为多次测量同一点时反射器中心绕位置集中心的随机偏移。单站仪一般采用球型反射器, 角准时可采用磁性球座或标准球, 前者定位中心位于磁性座支撑球面的中心, 后者定位中心为标准球中心。用磁性座时采用静态测量模式, 采样时间间隔取0.05秒, 平均次数取100次, 测量每一点需0.5秒, 这样可以最大程度消除空气扰动和其它环境随机误差对测量产生的影响。采用标准球时, 需采用动态测量模式, 调用球心测量指令, 根据标准球大小和精度状况设定采样时间间隔或采样距离间隔。为了反映坐标测量重复性随距离标化的特性, 可在不同距离处校准。校准时应注意目标对定位点的逼近方向、移动速度和加速度、反射器入射角等因素, 以充分反映它们对坐标重复性的影响。

绝对坐标测量精度校准方法与经纬仪系统类似, 采用高精度CMM或标准立方体作为标准, 利用若干公共点(或全部测量点)将仪器坐标系转换至实物标准坐标系, 在同一坐标系中进行比对, 数据处理方法与经纬仪系统相同。采用 $m$ 校准时, 将反射器安装在CMM测量主轴上, 静态采点和动态采点均可。采用标准立方体时, 反射器在标准球球面上连续接触滑动, 单站仪跟踪采点给出最小二乘球心坐标, 采样速度最高可达1000点/秒。

单站仪空间测长误差随距离增大而增大, 这一点与经纬仪系统类似, 与经纬仪系统不同的是, 单站仪一般不存在明显的最佳测量空间。校准时将标准长度置于常用测量距离上, 建议取 $5\text{m} \sim 6\text{m}$ , 仪器安置在标准长度一侧, 测量时应有高度角变化, 以充分反映水平垂直测角误差。标准长度可采用基准杆, CMM或双频激光干(下转第222页)

液滴进入这个区域,在这些区域容易结垢,这属于“湿—干”结垢。由于浆液中含有  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCO}_3$  及飞灰中含有的硅、铁、铝等物质,这些物质具有较大的粘度,当浆液碰撞到塔壁时,它们中的部分便会粘附于塔壁而沉降下来。同时,由于烟气具有较高的温度,加快沉积层水分的蒸发,使沉积层逐渐形成结构致密,类似于水泥的硬垢。另外,在氧化风喷管口区域,也属于此类“湿—干”交界区,容易形成此类垢。

### 3.2 硬垢的形成与 PH 值控制

硬垢指  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  形成的垢。当石膏浆液相对饱和浓度达到一定值时,石膏将按异相成核作用在悬浮液中已有的晶体表面上生长。当饱和度达到更高值,即大于引起均相成核作用的临界饱和度时,就会在浆液中形成新的晶核,此时,微小晶核也会在塔内表面上生成并逐步成长结成坚硬垢层,从而析出作为石膏结晶的垢。石膏产生均相成核作用的临界相对饱和度为 140%。由于 PH 较低时会有少量石膏结晶的垢析出,因此保持 PH 值稳定变化是防止这种垢产生的策略之一。

对于湿法脱硫系统,在浆液内鼓入空气而将浆液中的亚硫酸钙氧化成石膏,这种强制氧化过程,当氧化风量、固含量一定时,如果系统浆液的氧化比例达不到 95% 时,由于石膏晶种不够,浆液中石膏晶粒的异相成核作用将不能全部消耗掉所产生的硫酸钙,从而使得硫酸盐浓度超过临界饱和度。当浆液的氧化比例处于 15%~95% 之间时(介于抑制自然氧化工艺和强制氧化工艺之间),硫酸钙构晶离子水平有可能大于临界饱和度,从而使得系统结垢。对于湿法脱硫系统,产生石膏垢沉淀的临界氧化比例随系统浆液的固含量、系统运行参数的变化而改变。

当浆液中亚硫酸钙浓度偏高时就会与硫酸钙同时结晶析出,形成这两种物质的混合结晶  $[\text{Ca}(\text{SO}_3)_x \cdot (\text{SO}_4)_y \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}]_z$ ,即 CSS 垢(Calcium Sulfate and Sulfate),CSS 在吸收塔内各组件表面逐渐长大形成片状的垢层,其生长速度低于石膏垢。当充分氧化时,这种垢就较少发生。氧化过程在 PH 值较低时较为充分,因此防止此类垢的 PH 值控制策略是采用较低的 PH 值。

### 3.3 软垢的形成与 PH 值控制

$\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  在水中的溶解度只有  $0.0043\text{g}/100\text{gH}_2\text{O}$  ( $18^\circ\text{C}$ )。湿法脱硫装置在较高的 PH 值下运行时,由于吸收塔内吸收的  $\text{SO}_2$  在浆液中所存在  $\text{SIV}$  离子主要以  $\text{SO}_3^{2-}$  形式存在,极易使亚硫酸钙的饱和度达到并超过其形成均相成核作用所需的临界饱和度,而在塔壁和部件表面上结晶,随着晶核长大,形成很厚的垢层,

很快会造成设备堵塞而无法运行下去。这种垢物呈叶状,柔软,形状易变,称为软垢。

系统运行的 PH 值是产生软垢的主要原因,防止软垢的产生要严格

控制塔内的 PH 值。对石灰石系统一般不宜控制超过 6.2。

## 4 PH 值与防腐

### 设备腐蚀机理:

1) 烟气中的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HF}$  等酸性气体在与液体接触时,生成相应的酸液,其  $\text{SO}_3^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  对金属有很强的腐蚀性,对防腐内衬亦有很强的扩散渗透破坏作用。2) 金属表面与水及电解质形成电化学腐蚀,在焊缝处比较明显。3) 结晶腐蚀,溶液中的硫酸盐和亚硫酸盐随溶液渗入防腐内衬及其毛细孔内,当系统停运后,吸收塔内逐渐变干,溶液中的硫酸盐和亚硫酸盐析出并结晶,随后体积发生膨胀,使防腐内衬产生应力,尤其是带结晶水的盐在干湿交替作用下,体积膨胀高达几十倍,应力更大,导致严重的剥离损坏。4) 环境温度的影响。由于 GGH 故障或循环液系统故障,导致塔内烟温升高,其防腐材料的许用应力随温度升高而急剧降低。温度急剧变化,由于防腐内衬与基体的膨胀系数不同,导致不同步的膨胀,因应力使内衬粘接强度下降。由于温度的上升,降低了内衬材料的耐腐蚀性和抗渗透性,加速了内衬老化,由于防腐内衬施工过程中存在如气泡、裂纹等缺陷,受热应力作用迅速发展,介质渗透进去后又起到了加速作用。5) 浆液中由于含有固态物,落下时对塔内物质有一定的冲刷作用,特别是对于塔内的凸出物区。

### 5 PH 值与腐蚀

吸收塔塔内 PH 值对腐蚀有一定的促进作用。虽然塔内 PH 值相对于烟道等区域高,且一般都有防腐措施,在一定的范围内不会发生  $\text{H}^+$  腐蚀,但是由于浆液中的  $\text{Cl}^-$  存在,氯离子是极强的去钝化剂,对于  $\text{Cl}^-$  腐蚀,一般认为,氯离子能够破坏钢材表面钝化膜,使其发生局部点腐蚀。这种点蚀方式及应力腐蚀方式的腐蚀速度受到 PH 值的影响,低 PH 值将加速腐蚀的发展。

目前接触石膏浆液的脱硫设备,多数按照 PH 值在 4.0~6.0 甚至 4.5~6.0 范围选择金属材料,如果低于这个范围,酸碱腐蚀也会发生。

### 6 吸收塔浆液 PH 值控制的意义

吸收塔作为脱硫系统核心设备,是脱硫系统化学反应的主要场所,作为塔内化学反应的介质,吸收塔内浆液 PH 值对整个脱硫系统的长期安全稳定运行起着决定性作用。吸收塔内化学反应复杂,腐蚀磨损严重,工作条件苛刻,因此,塔内浆液 PH 值控制的好坏直接影响脱硫系统的运行和设备的运行使用年限。在国家环保政策和减排任务不断增大的严峻形势下,脱硫系统的安全运行与吸收塔浆液 PH 值的控制密不可分。

### [参考文献]

- [1] 武文江.石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术[M].中国水利水电出版社,2005.
- [2] 孙克勤.电厂烟气脱硫设备及运行[M].中国电力出版社,2007.

(上接第 213 页)

涉仪,当采用基准杆时应注意反射器与基准端面的连接,使得标准长度与测量长度相对应,实物标准的量程应与仪器测量范围相适宜,实测长度与标准长度之差作为测长误差。

面向测且对象的精度采用标准实物直接比较,标准实物的形式视测量任务而定。由于仪器误差对实际测量的影响与校准时相一致,因此,这种方法简单、准确,它可对形状复杂但准确度不高的测量进行溯源,评定测量参数的不确定度,而不需要分析单站仪内部结构及误差特性,缺点是必须对标准实物进行绝对校准。由于单站仪的被测对象往往尺寸较大,制造标准实物费时费力,故该项校准只在特定情况下使用。

单站仪可以动态测量各种几何参数,动态测量特性有别于静态测量性能,它反映的误差更复杂更复杂。校准动态测量特性采用的标准可以根据需要采用不同的形式,可以在不同的速度下移动激光干涉仪反射镜或 CMM 测头产生动态标准长度,令单站仪与标准仪器同时

采样读数,实测长度与标准长度的差即为动态测长误差。也可测量旋转球杆,当旋转机构精度很高时,球杆的空间运动轨迹可作为标准圆,实际测量参数相对于标准参数的差为圆的动态测量误差。

### 3 结论

本文以单站激光跟踪仪系统校准方法为例,对大尺寸空间坐标测量系统的研究现状和校准技术进行了分析与总结。进一步深入研究大尺寸空间测量技术发展提供基础保证,以期进一步开发先进大尺寸空间校准系统,以满足现在日益发展工业要求。

### [参考文献]

- [1] 刘晓东.使用激光跟踪仪确定数控机床空间位置关系.制造业自动化,2004.
- [2] Berry D. W. Precise surveying in the construction of nimrod. The Chartered Surveyor, April 1961.