



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108287338 B

(45) 授权公告日 2024. 07. 26

(21) 申请号 201711376318.X

(56) 对比文件

(22) 申请日 2017.12.19

CN 207675937 U, 2018.07.31

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 杨蕾

申请公布号 CN 108287338 A

(43) 申请公布日 2018.07.17

(73) 专利权人 天津市计量监督检测科学研究院

地址 300192 天津市南开区科研西路4号

(72) 发明人 刘红光 路瑞军 李青

(74) 专利代理机构 天津盛理知识产权代理有限

公司 12209

专利代理师 赵熠

(51) Int. Cl.

G01S 7/497 (2006.01)

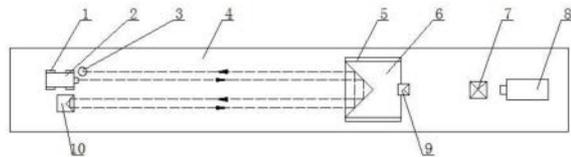
权利要求书1页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

基于误差相消原理的激光测距仪检定系统及其检定方法

(57) 摘要

本发明属于几何测量装置检定装置技术领域,涉及一种激光测距仪检定装置,尤其是一种基于误差相消原理的激光测距仪检定系统及其检定方法,包括一检定台,将该检定台的固定端内安装有一固定调整装置,该固定调整装置内用于固定待检的激光测距仪,所述固定调整装置固定待检的激光测距仪后,所述检定台内安装有一自行走靶标车,该自行走靶标车内安装有移动反射器件,在所述检定台固定端位于固定调整装置的旁侧安装有反射靶和至少一个固定反射器件,所述自行走靶标车内位于移动反射器件的后端部安装有一测量反射镜,在远离固定端的检定台的端部安装有一激光干涉仪,所述测量反射镜用于反射激光干涉仪发射的激光束。



1. 基于误差相消原理的激光测距仪检定系统的检定方法,其特征在于:使用的检定系统包括一检定台,将该检定台的一侧端部设置为固定端,所述固定端内安装有一固定调整装置,该固定调整装置内用于固定待检的激光测距仪,所述固定调整装置固定待检的激光测距仪后,该激光测距仪的出射端与检定台延伸方向相平行,所述检定台内安装有一自行走靶标车,该自行走靶标车可沿检定台在水平方向内往复移动,其特征在于:所述自行走靶标车内安装有移动反射器件,在所述检定台固定端位于固定调整装置的旁侧安装有反射靶和至少一个固定反射器件,所述自行走靶标车内位于移动反射器件的后端部安装有一测量反射镜,在远离固定端的检定台的端部安装有一激光干涉仪,所述测量反射镜用于反射激光干涉仪发射的激光束,在激光干涉仪和测量反射镜之间的光路内安装有一分光镜;每个固定反射器件均接收移动反射器件反射的激光束,并将激光束再次反射至固定反射器件,由激光测距仪发射的激光束,在移动反射器件和每个固定反射器件之间发生反射后,最终经移动反射器件反射至反射靶表面;

每个固定反射器件均接收移动反射器件反射的激光束,并将激光束再次反射至固定反射器件,由激光测距仪发射的激光束,在移动反射器件和每个固定反射器件之间发生反射后,最终经移动反射器件反射至反射靶表面;

检定方法包括以下步骤:

步骤1:将激光测距仪、固定反射器件、反射靶安装在固定端,将移动反射器件和测量基准部分中的反射器件以背对背的方式固定在自行走靶标车,激光干涉仪和分光镜安置在检定台末端;

步骤2:通过激光测距仪调整装置矫正激光测距仪的位姿,使激光测距仪出射光线与自行走靶标车运动方向平行,同时调整每个固定反射器件和反射靶的位置,使其形成四倍程光路;通过调整检定台末端激光干涉仪的位姿,使激光干涉仪光束与自行走靶标车运动方向平行,光路准直完毕;

步骤3:自行走靶标车在初始位置开始测量,激光干涉仪记数清零,同时激光测距仪测量初始距离 $D_0$ ;

步骤4:移动自行走靶标车运动到待校准位置时锁紧,记录激光干涉仪的位移数据 $L_i$ ,同时记录激光测距仪此时的测量距离 $D_i$ ;

步骤5:激光测距仪在每一个校准位置的示值误差为: $\delta = D_i - D_0 - 4L_i$ 。

2. 根据权利要求1所述的基于误差相消原理的激光测距仪检定系统的检定方法,其特征在于:所述移动反射器件和固定反射器件均采用角锥棱镜,在角锥棱镜的底面镀增透膜,在棱镜的三个直角面镀增反膜。

## 基于误差相消原理的激光测距仪检定系统及其检定方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于几何测量装置检定装置技术领域,涉及一种激光测距仪检定装置,尤其是一种基于误差相消原理的激光测距仪检定系统及其检定方法。

### 背景技术

[0002] 随着几何量测试技术的不断发展,精密测量技术从常规尺寸测量不断向大尺寸测量发展,尤其近20年,精密测量仪器的测量范围已达到十几米、几十米乃至上百米,广泛应用于航天器、飞机、船舶、风电、水电等大型装备制造领域。目前国内应用的测量范围大于50m的仪器有:激光干涉仪( $\geq 60\text{m}$ )、激光跟踪仪(跟踪距离 $\geq 60\text{m}$ )、脉冲式激光测距仪、光笔测量仪、手持式激光测距仪(100m)、光电测距仪、全站仪等,成为大型装备、大尺寸部件加工、检测、定位的必备工具。这些仪器大都采用激光测距的原理,测量距离远、测量精度高,这就对大尺寸测量仪器的量值溯源能力提出了迫切要求。

[0003] 以JJG 966-2010手持式激光测距仪检定规程为例,其要求的测量范围为200m以内。因此,这类大尺寸测量仪器的检测一般要求在较大的范围内进行,但由于空间所限,普通的实验室空间根本无法满足。目前现有的测量方法在百米内大多采用室内检测的方式,如中国计量科学院建立的室内80m大长度激光比长国家标准装置和26m比长仪;中航工业北京长城计量测试技术研究所研制的35m比长装置;浙江省计量科学研究院、天津市计量监督检测科学研究院、河北省质量监督检测院分别研制的50m长度标准装置等等。

[0004] 除检定规范对于测量范围的限制外,室内大空间检测方式还存在一些问题:①造价十分昂贵,建设难度高,一般检测机构很难承受,以浙江省计量科学研究院为例,室内50米长度标准装置造价高达142.5万元;②占地面积大,一般实验室条件很难满足几十米甚至上百米的空间要求;③检测效率低,例如JJG966-2010手持式激光测距仪检定规程要求,50米内检测示值误差,至少需要测量12个点,一个检定员测量一台激光测距仪需要行走的路程接近600米,检测人员不堪重负。

[0005] 有上述内容可知,目前大于百米范围的检测多采用野外基线场方式,基线场属于国家线纹量值传递系统中的一等标准量具。但在实际检定过程汇总,野外基线场检测存在诸多问题:①基线场的建立非常困难,城市中要选定几百甚至上千米平直且无自然障碍、无人畜干扰的地带十分困难。②能找到满足上述条件的场合一定是在远离城市的地方,这给检定工作带来极大的不便,且费时费力费能源。③野外基线场在地面上或地桩上布点,仪器及反射体的架设和对线均非常吃力,不但须两个以上人员操作,而且还往往因对线不准而得不到正确可靠的结果。④野外自然气候条件下作业受天气影响相当大,由于天气变化经常造成检定效率低下,工作质量也无法提高。

[0006] 综上所述,针对大尺寸、远距离激光测距类仪器的检测,无论是室内的大长度标准装置还是野外基线场都存在着造价高、占地面积大、检测效率低、操作复杂等问题。如果能从技术上将测量空间缩小,甚至将野外基线场搬进普通实验室,实现长距离测距“室外检测室内化”的突破,将具有重大的研究价值和应用前景。由于远距离的测量仪器大都采用激光

测量技术,这就为课题提出的通过光路折叠,完成光程倍增的实现创造了可能,将中远距离的基线场测距缩短至室内完成,将大空间的室内长距离测量缩短至小空间内的短距离测量,代表着未来的发展趋势。

[0007] 近年来,国内外诸多科研机构利用光路折叠的原理开展了针对激光测距类仪器检测的研究工作,比较典型的光路折叠、光程倍增的方法有如下几种:

[0008] (1) 2011年华南理工大学陈伟琪利用相互平行的平面反射镜固定在室内,通过激光束在平面镜间多次反射来模拟长度基线场的方法检定全站仪,平面镜之间的距离通过激光干涉仪来标定,平面镜之间的平行度和距离标定是影响检测准确度的主要因素;2015年广东省计量科学研究所的潘嘉声、黄酥等人同样利用固定式、相互平行的平面反射镜,通过全站仪与手持式激光测距仪比对测量的方法检定手持式激光测距仪,虚拟基线达100m,扩展不确定度 $U=1.4\text{mm}$ , $k=2$ [20]。存在的问题:①在长距离范围内,光程标定技术难度非常大,同时大平面反射镜的平面度和反射镜之间平行度都会引入较大的测量不确定度,测量系统的稳定性差。②测距仪入射角的准确度、平面镜之间的平行度都会严重影响激光束在立体空间范围内的准确位置,导致光路调整以及反射靶捕获目标光斑异常困难,测量不易实施。③系统的测量方法尚属于离散式测量,不具有大范围连续测量的能力。

[0009] (2) 2013年西安理工大学李倩等人利用直角反射镜组对光线在动态空间内进行多次折叠,将50m测量距离缩短在十几米的空间内,通过全站仪标定光程来检测手持式激光测距仪的示值误差,系统的测量范围达到50米;2016年江苏省测绘产品质量监督检验站提出利用直角棱镜进行光路折叠模拟长度基线场检定全站仪,研究停留在方法设想和技术难点评估层面,未进行深入研究。申请号为2013100161742,专利名称为“手持式激光测距仪检定系统及检定方法”存在的问题:①直角反射镜组和直角棱镜的反射特性,虽然保证了激光束之间在水平面内保持平行,但在垂直面内依旧存在光束平行性保证问题,尤其是托板在动态移动过程中,光束的位置约束十分困难。②系统中实现四倍光程需要三组直角反射器件,共6个反射镜,结构过于复杂。移动过程中,反射镜之间的垂直度、镜组之间的位置度都会导致测量不准确,影响系统的测量稳定性。

[0010] (3) 中国地震局地球物理研究所杨维芳的博士论文中提出利用角锥棱镜阵列建立虚拟长基线的方法,指出用25个角锥棱镜在室内40m的距离上建立1km长的基线是可行的。同样存在着结构复杂、光程标定困难、测量重复性差、不易操作、不具有连续测量能力等问题。但值得借鉴的是反射器件利用角锥棱镜的逆向反射特性保证了激光束在空间范围的平行性,使得光线准直约束变得简单易行。

[0011] (4) 另外武汉乐通光电有限公司高新技术研究所利用光纤放入室内来代替野外基线来检测激光测距仪,提出了非常好的技术方案。但在调研中发现,光束在光纤内呈随机反射状态,每一光程段的长度都是随机的,光纤任意的折转曲率和折弯角度都将直接引入误差,不具有可操作性,实验处于探究阶段。

[0012] 综上所述,目前光程倍增的方法尚缺乏能够应用到一线检测的准确度高的测量方法,存在着光程标定技术难度大、系统结构复杂、测量稳定性差、操作困难等问题,激光束在折叠过程中的位置约束是提高测量准确度的关键,尤其是反射器件在动态移动过程中如何提高激光束的自适应能力需要进一步探究。

## 发明内容

[0013] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种结构合理,测量稳定性强,便于操作,激光束测量准确度高的一种基于误差相消原理的激光测距仪检定系统及其检定方法。

[0014] 本发明是通过以下技术方案实现的:

[0015] 基于误差相消原理的激光测距仪检定系统,包括一检定台,将该检定台的一侧端部设置为固定端,所述固定端内安装有一固定调整装置,该固定调整装置内用于固定待检的激光测距仪,所述固定调整装置固定待检的激光测距仪后,该激光测距仪的出射端与检定台延伸方向相平行,所述检定台内安装有一自行走靶标车,该自行走靶标车可沿检定台在水平方向内往复移动,其特征在于:所述自行走靶标车内安装有移动反射器件,在所述检定台固定端位于固定调整装置的旁侧安装有反射靶和至少一个固定反射器件,所述自行走靶标车内位于移动反射器件的后端部安装有一测量反射镜,在远离固定端的检定台的端部安装有一激光干涉仪,所述测量反射镜用于反射激光干涉仪发射的激光束,在激光干涉仪和测量反射镜之间的光路内安装有一分光镜。

[0016] 而且,每个固定反射器件均接收移动反射器件反射的激光束,并将激光束再次反射至固定反射器件,由激光测距仪发射的激光束,在移动反射器件和每个固定反射器件之间发生反射后,最终经移动反射器件反射至反射靶表面。

[0017] 而且,所述移动反射器件和固定反射器件均采用角锥棱镜,在角锥棱镜的底面镀增透膜,在棱镜的三个直角面镀增反膜。

[0018] 采用上述基于误差相消原理的激光测距仪检定系统的检定方法:

[0019] 步骤1:将激光测距仪、固定反射器件、反射靶安装在固定端,将移动反射器件和测量基准部分中的反射器件以背对背的方式固定在自行走靶标车,激光干涉仪和分光镜安置在检定台末端;

[0020] 步骤2:通过激光测距仪调整装置矫正激光测距仪的位姿,使激光测距仪出射光线与自行走靶标车运动方向平行,同时调整每个固定反射器件和反射靶的位置,使其形成四倍程光路;通过调整检定台末端激光干涉仪的位姿,使激光干涉仪光束与自行走靶标车运动方向平行,光路准直完毕。

[0021] 步骤3:自行走靶标车在初始位置开始测量,激光干涉仪记数清零,同时激光测距仪测量初始距离 $D_0$ 。

[0022] 步骤4:移动自行走靶标车运动到待校准位置时锁紧,记录激光干涉仪的位移数据 $L_i$ ,同时记录激光测距仪此时的测量距离 $D_i$ 。

[0023] 步骤5:激光测距仪在每一个校准位置的示值误差为: $\delta = D_i - D_0 - 4L_i$ 。

[0024] 本发明的优点和积极效果是:

[0025] 1、本检定系统中,检定台用于放置待检的激光测距仪,并安装有反射靶和至少一个固定反射器件,自行走靶标车作为移动端安装有移动反射器件,移动反射器件和多个固定反射器件用于折叠光路,倍增光程,背向移动反射器件的自行走靶标车内安装有测量反射镜,测量反射镜配合检定台后端部激光干涉仪用于检测移动反射器件位置的变化量;

[0026] 2、本检定装置中,移动反射器件和固定反射器件均采用底面和三个直角面镀增反膜的角锥棱镜,则是为了解决激光束在反射器件中的能量衰减问题;

[0027] 3、本发明中,通过一个移动反射器件和多个固定反射器件相配合,将多路光束的折叠集中在一个反射器件内完成,传统的光程倍增方法, $n$ 个反射器件对应的光程为 $(n+1)$ 倍,而新型倍程方法中 $n$ 个反射器件对应光程为 $2n$ 倍,因此倍程效率大大提高;另外,采用上述结构也避免了传统模型中动态移动时多个器件之间的相对位置变化导致的系统测量稳定性问题,移动端只需要控制移动反射器件的方位精度,就可以准确的实现光路折叠,因此提高了操作的便利性;除此之外,激光束进入反射器件后,出射光线与入射光线保持平行且具有轴对称性,当移动反射器件发生任意方位偏转角度时,出入射的激光线具有误差相消特性,光程总和不变,进一步提升了系统操作的便利,保证了系统测量的准确度。

[0028] 4、本发明中,采用上述基于误差相消原理的激光测距仪检定系统的检定方法,基于光程倍增和误差相消原理,对于光线折叠,在有限的空间内建立倍增的虚拟长度测量系统,从而对于待检测的激光测距仪进行检定,提供一种,结构简单,易于控制,测量稳定性好,模型本身具有误差相消特性,测量准确度高的一种检定系统及其检定方法。

### 附图说明

[0029] 图1为本发明的结构示意图;

[0030] 图2为本发明多个固定反射器件的原理图;

[0031] 图3为误差相消特性的原理图。

[0032] 1.固定调整装置、2.激光测距仪、3.反射靶、4.检定台、5.激光测距仪、6.移动反射器件、7.分光镜、8.激光干涉仪、9.测量反射镜、10.固定反射器件

### 具体实施方式

[0033] 下面通过实施例对本发明作详细说明,所述实施例是说明性的,而非限制性的,不能以此限定本发明的保护范围。

[0034] 1、研究方法:

[0035] (1) 光程标定及误差相消方法

[0036] 如图2所示,在理想姿态下,激光测距仪于 $O1$ 处发射激光束入射至移动反射器件 $A$ 点,光束经过反射从 $B$ 点平行反射至固定反射器件 $O3$ 点,当测量模型处于非理想姿态时,光线与反射器件的光轴发生了 $\theta$ 角度的偏转,导致光束入射至 $A'$ 点,从 $B'$ 点反射至 $O2$ 点。设 $O1$ 至 $A$ 的光程为 $a$ , $O1$ 至 $A'$ 的光程为 $a'$ , $O2$ 至 $B'$ 的光程为 $b'$ , $O3$ 至 $B$ 的光程为 $b$ ,由于反射器件的逆向反射特性和轴对称性,无论方位角 $\theta$ 如何变化都有: $a+b=a'+b'$ ,测量模型自身具有误差相消特性,只需标定出通过光轴 $O$ 处的光程,即可得到高准确度的倍增光程。

[0037] 上述的误差相消模型是建立在诸多假设上的,如反射器件具有完全轴对称性、逆向反射的平行性等等。从理论完备性上,或是工程有效性上,这样的模型基础过于简单和理想化。因此,我们将在理想模型的基础上深入研究,以期给出测量方法的通用模型,解决更具普遍性的问题。

[0038] (2) 反射器件的选择及设计

[0039] 分析现有光学反射器件的反射特性、反射率以及加工工艺,理论分析并设计反射器件的技术参数。现有的三类反射器件:角锥棱镜、平面反射镜、直角棱镜,由于角锥棱镜具有定向反射特性,并且光线在棱镜内的光程是一个常量,课题拟选用角锥棱镜建立室内基

线。

[0040] 光线经角锥棱镜底面入射,在底面有两次反射,两次折射(垂直入射情况除外),在三个直角反射面的三次反射中,如果入射角大于临界入射角,则发生全反射,反射损失为零;如果对某一个反射面的入射角小于临界入射角,则在该面发生部分折射,造成光能损失。一般材料的反射率都在85%-90%之间,以反射率为85%的铝镜计算,经过12次反射后,激光反射回来的能量仅为初始能量的14.2%。

$$[0041] \quad I = \alpha^{12} I_0 \quad (1)$$

[0042] 式中: $I$ 为反射能量, $\alpha$ 为镜面反射率, $I_0$ 为初始能量。

[0043] 当今镜面镀多层膜系已是非常成熟的技术,为了减少光学器件的反射损失,课题组拟采用在角锥棱镜的底面镀增透膜,在棱镜的三个直角面镀增反膜,保证在全反射不完全的情况下完成全反射的功能,光线通过角锥棱镜时的能量损失只有底面的两次反射损失和玻璃的吸收损失,取角锥棱镜镀单层增透膜后的底面反射系数为0.005,光学玻璃的透明系数 $P$ 为0.99,则角锥棱镜的透过率为:

$$[0044] \quad \tau = 0.995^1 \cdot 0.99^1 \quad (2)$$

[0045] 式中: $l$ 为光轴长度(单位:cm),角锥棱镜展开后,光轴长度 $l$ 为:

$$[0046] \quad l = \sqrt{2} \times r = \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} h = h \quad (3)$$

[0047] 式中: $r$ 为角锥棱镜底面的内切圆半径, $h$ 为棱镜高。取角锥棱镜的高为50mm计算,角锥棱镜的透过率为:

$$[0048] \quad \tau = 0.995^1 \cdot 0.99^5 = 0.95 \quad (4)$$

[0049] 通过后续的实验和理论论证,设计角锥棱镜的镀膜参数,解决激光束在反射器件中的能量衰减问题。另外,经市场调研,角锥棱镜的加工工艺已实现光束平行度公差为 $\pm 1''$ 的批量生产,通光孔径可达120mm甚至200mm。因此,目前的镀膜和加工工艺都足够满足测量模型对反射器件的各项指标要求。

[0050] (3) 虚拟长度基线系统的设计与搭建

[0051] 如图1所示,通过激光干涉仪检测移动端的位移变化量 $L$ ,光路转折系统将测距仪的测量距离扩展至 $4L$ ,进而检定测距仪的示值误差。激光干涉仪的线性测量精度高达 $\pm 0.5$ ppm,测量距离达80米,足够满足系统对测量精度和测量范围的要求。

[0052] 由测量系统可知虚拟基线的长度 $L$ 为:

$$[0053] \quad L = \frac{nL_y}{\cos \theta} \quad (5)$$

[0054] 其中, $n$ 为系统的光程放大倍数, $\theta$ 为标准光束与被测光束之间的角度, $L_y$ 为激光干涉仪示值。

[0055] (4) 虚拟长度基线的测量不确定度分析。

[0056] 由光程倍增原理建立数学模型,分析不确定度分量来源,通过数学分析研究不同叠加模型的误差链中的干涉效应,得出优化方案。

[0057] 依据不确定度合成公式 $u_c^2(y) = \sum (\frac{\partial f}{\partial x_i})^2 u^2(x_i)$ 由式(5)得:

$$[0058] \quad u^2(L) = \left| \frac{L}{L_y} \right|^2 u^2(L_y) + \frac{L^2}{\theta^2} u^2(\theta) + \frac{L^2}{n^2} u^2(n) \quad (6)$$

[0059] 其中:  $\frac{\partial L}{\partial L_y} = \frac{n}{\cos\theta}$ ,  $\frac{\partial L}{\partial n} = \frac{L_y}{\cos\theta}$ ,  $\frac{\partial L}{\partial \theta} = \frac{\sin\theta}{\cos^2\theta} L_y$ , 可得:

$$[0060] \quad u^2(L) = \left| \frac{n}{\cos\theta} \right|^2 u^2(L_y) + \frac{L_y \sin\theta^2}{\cos^2\theta} u^2(\theta) + \frac{L_y^2}{\cos\theta} u^2(n) \quad (7)$$

[0061] 课题依托的50米长度检测台的直线度为 $5'10^{-5}$ ,光路准直后,以200米处激光束在反射靶上最大偏移量40mm计算, $\theta$ 为0.0002弧度,因此式(7)中第二项非常小,可以忽略不计; $n$ 为测量系统的光程倍数,在室内实验室环境下,温度湿度相对稳定,空气折射率的不确定度几乎可以忽略,式(7)中第三项为零则:

$$[0062] \quad u^2(L) = \left| \frac{n}{\cos\theta} \right|^2 u^2(L_y) \approx n^2 u^2(L_y) \quad (8)$$

[0063] 计算标准不确定度分量:

[0064] ①激光干涉仪的50米处定位误差引入的不确定度分量 $u_{jg}$ : $\alpha$ 为置信区间半宽度, $k$ 为置信水平的包含因子, $k=\sqrt{3}$

$$[0065] \quad u_{jg} = \frac{a}{k} = \frac{0.5 \times 50}{\sqrt{3} \times 1000} = 0.014 \text{mm} \quad (9)$$

[0066] 其中:激光干涉仪的线性测量误差为 $\pm 0.5 \text{ppm}$ ,服从均匀分布。

[0067] ②阿贝误差引入的不确定度分量 $u_{ab}$ : $\alpha$ 为置信区间半宽度, $k$ 为置信水平的包含因子, $k=\sqrt{3}$

[0068] 影响测量系统阿贝误差的因素包括检定台直线度、前轮或后轮同轴度误差导致自行走靶标车的扭摆、前轮和后轮高度差导致自行走靶标车前后的俯仰误差、四轮行走的滚转误差等。假设阿贝臂 $L$ 为100mm,估计综合因素导致的角度误差为0.001弧度,服从均匀分布,则:

$$[0069] \quad u_{ab} = \frac{a}{k} = 100 \times 0.001 / \sqrt{3} = 0.058 \text{mm} \quad (10)$$

[0070] ③余弦误差引入的不确定度分量 $u_{yx}$ : $\alpha$ 为置信区间半宽度, $k$ 为置信水平的包含因子, $k=\sqrt{3}$

[0071] 假设系统设计允许50m处的偏移量为20mm时,经过四倍光程的扩展,200米处反射靶上的偏移量为80mm,在200m处余弦误差 $e_{yx}$ 服从均匀分布,引入的不确定度分量为:

$$[0072] \quad u_{yx} = \frac{a}{k} = \frac{e_{yx}}{\sqrt{3}} = 200 \times 10^3 \left| \frac{1}{\cos\theta} - 1 \right| / \sqrt{3} = 0.009 \text{mm} \quad (11)$$

[0073] 因此,光线的偏移距离应该控制在一定范围内,表1为不同的偏移量引起的余弦误差。

[0074] 表1余弦误差

[0075]

| 偏移量 (50米处) | 偏移量 (200米处) | 余弦误差 (mm) |
|------------|-------------|-----------|
| 10mm       | 40mm        | 0.004     |
| 20mm       | 80mm        | 0.016     |
| 40mm       | 160mm       | 0.064     |

[0076] ④激光束光不垂直角锥棱镜的底面导致测距不稳定引入的不确定度分量 $u_{c_j}$ : $\alpha$ 为置信区间半宽度, $k$ 为置信水平的包含因子, $k=\sqrt{3}$

$$[0077] \quad u_{c_j} = \frac{a}{k} = \frac{0.07\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.040\text{mm} \quad (12)$$

[0078] 其中:测距稳定性影响误差最大估计为0.07mm,服从均匀分布。暂不考虑其他影响测量不确定度因素,200米虚拟长度基线的合成不确定度 $u(L)$ :

$$[0079] \quad u(L) = n\sqrt{u_{jg}^2 + u_{ab}^2 + u_{yx}^2 + u_{c_j}^2} = 4 \times 0.07\text{mm} = 0.28\text{mm} \quad (13)$$

[0080] 由于实际中存在诸多复杂因素,200米虚拟长度基线的测量扩展不确定度预期达到 $U \leq 1.0\text{mm}$ , $k=2$ 。

[0081] 2、可行性分析

[0082] 实验1:基于直角反射镜组的光程倍增实验

[0083] 测距仪安放在测长机的头座上,反射镜组安放在可移动的尾座上,转向镜作为被测目标放在头座上,所有的测量器件都通过橡皮泥固定。测量开始,首先调整光路,通过测长机尾座来回往返移动,调整测距仪的位置姿态,保证出射激光束与导轨平行,返回到目标板的激光束的偏离距离不超过10mm。光路调整完毕后,调整测长机的机器零位,转动微动手轮,将100毫米刻线与分米段零位双刻线对准,测距仪测量,记录起始数据,移动尾座至900mm处,调整微动手轮将100毫米刻线与分米段900毫米双刻线对准,测距仪再次测量,记录数据。每次测距仪取三次测量读数,测量不同的起始位置五次,测量结果如下表所示。

[0084] 表2测量数据(单位:mm)

| 位置 | 测距仪读数 (起始位置) |      |      | 测距仪读数 (终止位置) |      |      | 读数差值 |
|----|--------------|------|------|--------------|------|------|------|
| 1  | 1121         | 1121 | 1121 | 2921         | 2921 | 2921 | 1800 |
| 2  | 1342         | 1342 | 1342 | 3142         | 3142 | 3142 | 1800 |
| 3  | 1426         | 1426 | 1426 | 3226         | 3226 | 3226 | 1800 |
| 4  | 1556         | 1556 | 1556 | 3356         | 3356 | 3356 | 1800 |
| 5  | 1621         | 1621 | 1621 | 3421         | 3421 | 3421 | 1800 |

[0085] 测量实验过程中,测距仪工作正常,测距性能稳定,没有受到光路折叠的影响。从表2中测量数据可以看出,五个不同位置,共计15次测量比对,测距仪的读数差值均为1800mm,光程测量的距离增加了一倍。实验结果表明:激光测距仪适用于基于反射镜组的光程倍增方法,为后续开展光程倍增测量方法的研究奠定了基础。

[0087] 实验2:基于角锥棱镜的光程倍增实验

[0088] 课题组利用角锥棱镜、Leica手持式激光测距仪、三坐标测量机搭建了一个基于角锥棱镜的2倍程光路测量系统,验证激光测距仪是否适用于基于角锥棱镜的光程倍增方法。坐标测量机为Leitz型号PMM XI 12.10.7的高精度计量型仪器,X轴方向行程可达1200mm。

[0089] 测距仪和反射靶固定在调整工作台上,角锥棱镜固定在三坐标测量机可移动的工

作台上,首先通过调整工作台准直激光束,保证出射激光与坐标测量机导轨平行,返回到目标板的激光束的偏离距离不超过10mm。光路调整完毕后,记录手持激光测距仪的起始读数值为1.153m,然后控制坐标测量机由近向远移动工作平台,每移动100mm记录手持激光测距仪的读数值,共计十次测量。测量结果如下表所示:

[0090] 表3测量数据(单位:mm)

| 测量次数     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 坐标测量机位移值 | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 700  | 800  | 900  | 1000 |
| 测距仪读数值   | 1353 | 1553 | 1753 | 1953 | 2153 | 2353 | 2553 | 2753 | 2953 | 3153 |
| 测距仪读数差值  | 200  | 400  | 600  | 800  | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 |

[0092] 实验过程中,测距仪工作正常,测距性能稳定,没有受到角锥棱镜折叠光路的影响。从表3中十次测量的数据可以看出,手持式激光测距仪的测量距离是坐标测量机位移的两倍,光程测量的距离增加了一倍。实验结果表明:激光测距仪适用于基于角锥棱镜的光程倍增方法。

[0093] 基于误差相消原理的激光测距仪检定系统:

[0094] 基于误差相消原理的激光测距仪检定系统,包括一检定台4,将该检定台的一侧端部设置为固定端,所述固定端内安装有一固定调整装置1,该固定调整装置内用于固定待检的激光测距仪2,所述固定调整装置固定待检的激光测距仪后,该激光测距仪的出射端与检定台延伸方向相平行,所述检定台内安装有一自行走靶标车,该自行走靶标车可沿检定台在水平方向内往复移动,本发明的创新在于,所述自行走靶标车5内安装有移动反射器件6,在所述检定台固定端位于固定调整装置的旁侧安装有反射靶3和至少一个固定反射器件10,所述自行走靶标车内位于移动反射器件的后端部安装有一测量反射镜9,在远离固定端的检定台的端部安装有一激光干涉仪8,所述测量反射镜用于反射激光干涉仪发射的激光束,在激光干涉仪和测量反射镜之间的光路内安装有一分光镜7。

[0095] 本实施例中,每个固定反射器件均接收移动反射器件反射的激光束,并将激光束再次反射至固定反射器件,由激光测距仪发射的激光束,在移动反射器件和每个固定反射器件之间发生反射后,最终经移动反射器件反射至反射靶表面。

[0096] 本实施例中,所述移动反射器件和固定反射器件均采用角锥棱镜,在角锥棱镜的底面镀增透膜,在棱镜的三个直角面镀增反膜。

[0097] 采用基于误差相消原理的激光测距仪检定系统的检定方法,其创新在于:

[0098] 步骤1:将激光测距仪、固定反射器件、反射靶安装在固定端,将移动反射器件和测量基准部分中的反射器件以背对背的方式固定在自行走靶标车,激光干涉仪和分光镜安置在检定台末端;

[0099] 步骤2:通过激光测距仪调整装置矫正激光测距仪的位姿,使激光测距仪出射光线与自行走靶标车运动方向平行,同时调整每个固定反射器件和反射靶的位置,使其形成四倍程光路;通过调整检定台末端激光干涉仪的位姿,使激光干涉仪光束与自行走靶标车运

动方向平行,光路准直完毕。

[0100] 步骤3:自行走靶标车在初始位置开始测量,激光干涉仪记数清零,同时激光测距仪测量初始距离 $D_0$ 。

[0101] 步骤4:移动自行走靶标车运动到待校准位置时锁紧,记录激光干涉仪的位移数据 $L_i$ ,同时记录激光测距仪此时的测量距离 $D_i$ 。

[0102] 步骤5:激光测距仪在每一个校准位置的示值误差为: $\delta = D_i - D_0 - 4L_i$ 。

[0103] 本发明中,通过一个移动反射器件和多个固定反射器件相配合,将多路光束的折叠集中在一个反射器件内完成,传统的光程倍增方法, $n$ 个反射器件对应的光程为 $(n+1)$ 倍,而新型倍程方法中 $n$ 个反射器件对应光程为 $2n$ 倍,因此倍程效率大大提高;另外,采用上述结构也避免了传统模型中动态移动时多个器件之间的相对位置变化导致的系统测量稳定性问题,移动端只需要控制移动反射器件的方位精度,就可以准确的实现光路折叠,因此提高了操作的便利性;除此之外,激光束进入反射器件后,出射光线与入射光线保持平行且具有轴对称性,当移动反射器件发生任意方位偏转角度时,出入射的激光线具有误差相消特性,光程总和不变,进一步提升了系统操作的便利,保证了系统测量的准确度。

[0104] 所述基于误差相消原理的激光测距仪检定系统的检定方法,基于光程倍增和误差相消原理,对于光线折叠,在有限的空间内建立倍增的虚拟长度测量系统,从而对于待检测的激光测距仪进行检定,提供一种,结构简单,易于控制,测量稳定性好,模型本身具有误差相消特性,测量准确度高的一种检定系统及其检定方法。

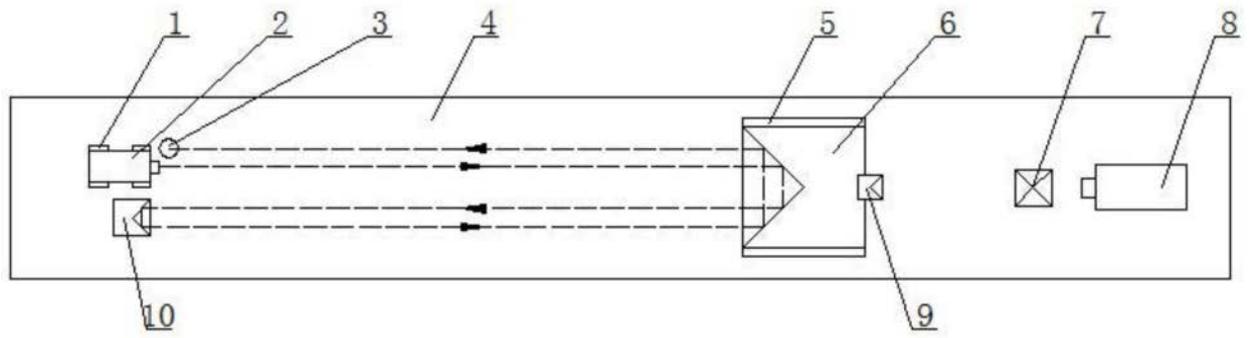


图1

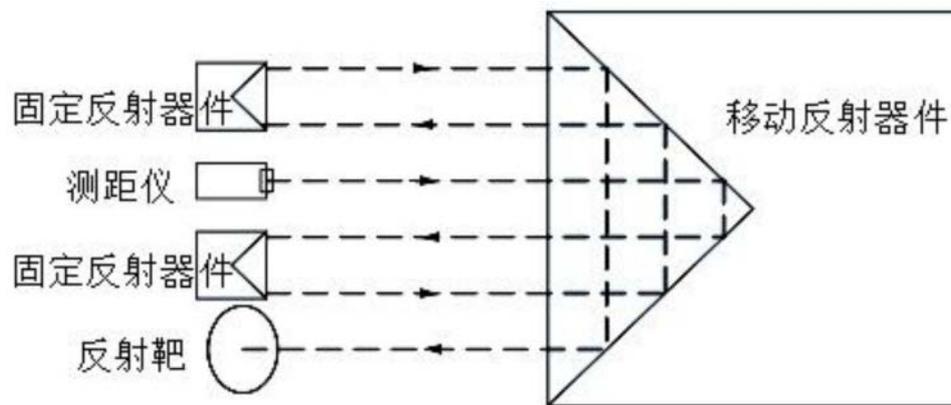


图2

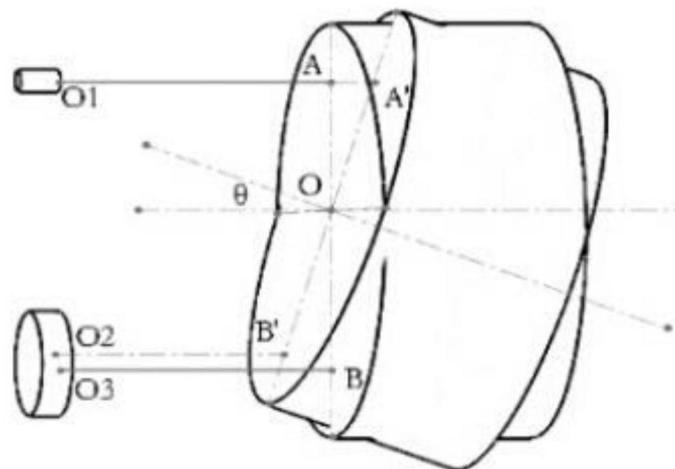


图3