



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103307985 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 13

(21) 申请号 201310231028. 1

(22) 申请日 2013. 06. 09

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 李玉琼 靳刚 罗子人 刘河山 董玉辉

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理 事务所(普通合伙) 11390

代理人 王艺

(51) Int. Cl.

G01B 11/02(2006. 01)

审查员 乐兵兵

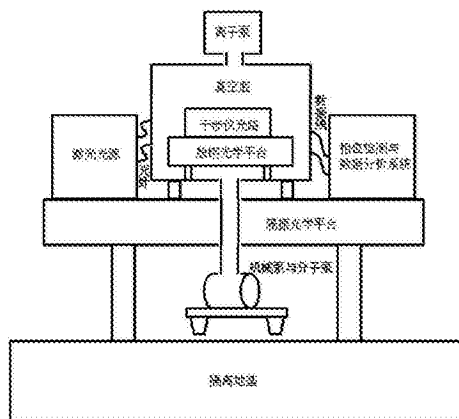
权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种等臂长外差式激光干涉测距系统

(57) 摘要

本发明提供了一种等臂长外差式激光干涉测距系统,至少包括:隔振系统,用于将外界的低频率噪声进行隔离与过滤,消除系统的震动噪声;真空系统,用于降低系统因温度波动所带来的热噪声;光源系统,用于提供2束高稳定性、高稳频的激光,同时这两束光具备相应的差分频率;干涉系统,用于产生两路等臂长外差式干涉信号,利用位移与相位之间的关系,得到被测两物体之间的位移变化信息;相位监测与数据分析系统,用于对干涉信号进行相位检测,对相位信息进行采集,并反演位移,反映干涉系统在各个频段上的测距精度。本发明可消除激光器频率不稳定性、各类噪声源对测距精度的影响,实现了长周期皮米量级的测量精度。



1. 一种等臂长外差式激光干涉测距系统,其特征在于,至少包括:
隔振系统,用于将外界的震动噪声进行隔离与过滤,降低系统的震动噪声;
真空系统,用于降低系统因温度波动所带来的热噪声;
光源系统,用于提供 2 束高稳定性、高稳频的激光,同时这两束光具备相应的差分频率;
干涉系统,用于产生两路等臂长外差式干涉信号,利用位移与相位之间的关系,得到被测两物体之间的位移变化信息;
相位监测与数据分析系统,用于对干涉信号进行相位检测;对相位信息进行采集,并反演位移;反映干涉系统在各个频段上的测距精度。
2. 如权利要求 1 所述的一种等臂长外差式激光干涉测距系统,其特征在于:
所述隔振系统包括隔离地基和隔振光学平台。
3. 如权利要求 2 所述的一种等臂长外差式激光干涉测距系统,其特征在于:
所述真空系统包括真空腔和真空泵。
4. 如权利要求 3 所述的一种等臂长外差式激光干涉测距系统,其特征在于:
所述光源系统包括沿光轴方向依次设置的:
一光源参考激光臂,用于产生准直、单色及偏振态可控的偏振参考激光;
一与所述光源参考激光臂等臂长的光源测量激光臂,用于产生准直、单色及偏振态可控的偏振测量激光。
5. 如权利要求 4 所述的一种等臂长外差式激光干涉测距系统,其特征在于:
所述光源参考激光臂包括沿光轴方向依次设置的:
一个激光器,用于产生激光光源;
一个第一半反半透镜,使激光入射后分为两路,光强减半,两路光信号分别作为参考激光和测量激光;
一个第一声光调制器,使经过的激光发生声光相互作用后产生相应的频移;
一个第一法拉第隔离器,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;
一个第一线性偏振片,校正激光偏振状态,使出射激光的偏振态保持为 P 光或者 S 光;
一个第一光纤耦合器,用于连接一条第一光纤;
所述光源测量激光臂包括沿光轴方向依次设置的:
一个第一直角反射镜,使被所述第一半反半透镜反射的激光被 90 度反射;
一个第二声光调制器,使经过的激光发生声光相互作用后产生相应的频移;
一个第二法拉第隔离器,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;
一个第二线性偏振片,校正激光偏振状态,使出射激光的偏振态保持为 P 光或者 S 光,与被所述第一线性偏振片校正的激光偏振态保持一致;
一个第二光纤耦合器,用于连接一条第二光纤。
6. 如权利要求 5 所述的一种等臂长外差式激光干涉测距系统,其特征在于:
所述干涉系统包括光学平台及干涉光路;
所述干涉系统的光学平台为殷钢光学平台;

所述干涉光路包括初始相位测量干涉光路和位移测量干涉光路；

所述初始相位测量干涉光路包括等臂长的初始参考激光臂、初始测量激光臂；

所述初始测量激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

一个第一偏振分光棱镜，使所述第二光纤射出的激光向上透射；

一个第二直角反射镜，位于所述第一偏振分光棱镜上方，使所述第一偏振分光棱镜透射的激光被 90 度向右反射；

一个第二半反半透镜，位于所述第二直角反射镜右侧，使经所述第二直角反射镜反射的激光从一个表面 45 度角入射；

一个第二光电探测器，用于将激光干涉信号转换成电信号；

所述初始参考激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

一个第二偏振分光棱镜，使所述第一光纤射出的激光向右透射；

一个第六直角反射镜，位于所述第二偏振分光棱镜右侧，使所述第二偏振分光棱镜透射的激光被 90 度向上反射，并 45 度角入射到所述第二半反半透镜的另一个表面；

一个第一光电探测器，用于将激光干涉信号转换成电信号；

所述位移测量干涉光路与所述初始相位测量干涉光路共用第一偏振分光棱镜与第二偏振分光棱镜；

所述位移测量干涉光路包括等臂长的位移参考激光臂和位移测量激光臂；

所述位移测量激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

所述第一偏振分光棱镜；

一个第一 $\lambda/4$ 波片，位于所述第一偏振分光棱镜左侧，使所述第一偏振分光棱镜反射出的激光垂直经过；

一个第一反射镜，使经过所述第一 $\lambda/4$ 波片透射的激光被 180 度反射回，并再次经过所述第一 $\lambda/4$ 波片，被所述第一偏振分光棱镜透射；

一个第三偏振分光棱镜，使经所述第一偏振分光棱镜透射的激光 45 度角入射后透射；

一个第二 $\lambda/4$ 波片，位于所述第三偏振分光棱镜右侧，使所述第三偏振分光棱镜透射出的激光垂直经过；

一个第二反射镜，使经过所述第二 $\lambda/4$ 波片透射的激光被 180 度反射回，并再次经过所述第二 $\lambda/4$ 波片，被所述第三偏振分光棱镜向下反射；

一个第三半反半透镜，位于所述第三偏振分光棱镜下方，使被第三偏振分光棱镜向下反射的激光 45 度角入射到一个表面；

一个第三光电探测器，用于将激光干涉信号转换成电信号；

所述位移参考激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

所述第二偏振分光棱镜；

一个第五直角反射镜，位于所述第二偏振分光棱镜上方，使所述第二偏振分光棱镜反射的激光被 90 度向左反射；

一个第三直角反射镜，位于所述第二直角反射镜左侧，使被所述第五直角反射镜反射的激光被 90 度向下反射；

一个第四直角反射镜，位于所述第三直角反射镜下方，使被所述第三直角反射镜反射的激光被 90 度向右反射后入射到所述第三半反半透镜的另一个表面；

一个第四光电探测器,用于将激光干涉信号转换成电信号。

7. 如权利要求 6 所述的一种等臂长外差式激光干涉测距系统,其特征在于:

所述相位监测与数据分析系统包括:

一个示波器,与所述第一光电探测器、第三光电探测器相连,观察从光电探测器中获得的干涉信号强弱,从而对光路系统进行调试,以获得最佳的干涉信号;

一个相位计,与所述第二光电探测器、第四光电探测器相连,对从光电探测器中获得的干涉信号进行相位检测,相位检测精度要求优于 0.01° ;

一个计算机,与所述相位计相连,对从相位计中获得的相位信息进行采集,并反演位移,其中,位移的反演公式是: $\Delta L = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}\lambda$, 其中 λ 为激光波长, $\Delta\varphi$ 为相位信息,单位为弧度;用 Matlab 软件对测距精度数值进行频谱展开,从而反映出干涉系统在各个频段上的测距精度。

一种等臂长外差式激光干涉测距系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种等臂长外差式激光干涉测距系统,可用于两物体之间位移变化的精密测量,测距精度可达皮米量级。

背景技术

[0002] 激光测距技术具有精度高、准直性好、抗干扰能力强等诸多优点而被广泛应用于卫星遥感、精密测量与加工、机械制造、工程建设以及安全监测等领域。目前,较为成熟的激光测距仪,其方法学原理是利用激光器向目标发射激光脉冲,通过测量激光脉冲到达目标并由目标返回到接收望远镜的往返时间或相位,来计算出目标的距离。而激光干涉测量仪是利用光束分离器把一束激光分成两束,一路通过已知的距离形成参考干涉,一路入射到测量目标反射后形成测量干涉,通过探测器及相位计读出参考干涉与测量干涉的相位差数据,从而得到目标的距离信息。激光干涉测距可达纳米甚至皮米量级的测距精度,在精密机械制造以及各种超精密测量中被广泛应用。例如中国未来的先进重力场测量及空间引力波探测项目,均计划采用外差式激光干涉测距法作为两卫星之间距离变化测量的技术源头。

[0003] 目前,现有的激光干涉测距技术测距精度一般为微米至纳米量级,无法达到皮米量级的测距精度,主要受限于等臂长的干涉光路设计、消噪参考干涉光路设计、高稳频激光器、高精度检相系统以及配套的隔噪措施等。

[0004] 这主要是因为环境中的热噪声、震动噪声以及电磁噪声会影响系统的测距精度及长周期性,同时干涉系统中的光学平台的热膨胀系数不为零,在温度涨落的影响下,平台尺度也将随之变化,从而导致光程的变化。如果参考光和测量光光程不相等,那么由温度涨落引起的光程差将无法严格抵消,从而引起激光干涉测距系统的测量误差。我们假设参考光与测量光的光程差为 D ,光学平台的线性膨胀系数为 TEC ,温度涨落值为 δT ,那么由此产生的测量误差为 $\Delta d = D \cdot TEC \cdot \delta T$ 。另外,激光的频率不稳定性由于参考光和测量光的不相等性也会引起外差式激光干涉仪的测量误差: $\Delta L = L \cdot \delta \nu / \nu$,其中, L 为参考光与测量光的光程差, $\delta \nu$ 为激光的频率不稳定性, ν 为激光的频率;同时,激光器的初始相位波动,以及光学平台、元器件及光纤等所引起的各类噪声源也会引起系统的测量误差。

[0005] 目前的激光干涉测距系统一般不具备隔噪系统,同时干涉光路不等臂,无相关的消噪参考干涉仪,其测距精度一般是纳米量级,无法达到皮米量级的测距精度,同时由于不具备隔振、隔热以及电磁屏蔽等隔噪措施,无法实现长周期的测量。

发明内容

[0006] 本发明解决的一个技术问题是提供一种等臂长外差式激光干涉测距系统,可有效降低或消除外差式激光干涉系统的测量误差,提高测距精度。

[0007] 为了解决上述问题,本发明提供一种等臂长外差式激光干涉测距系统,至少包括:

[0008] 隔振系统,用于将外界的震动噪声进行隔离与过滤,降低系统的震动噪声;

- [0009] 真空系统,用于降低系统因温度波动所带来的热噪声;
- [0010] 光源系统,用于提供 2 束高稳定性、高稳频的激光,同时这两束光具备相应的差分频率;
- [0011] 干涉系统,用于产生两路等臂长外差式干涉信号,利用位移与相位之间的关系,得到被测两物体之间的位移变化信息;
- [0012] 相位监测与数据分析系统,对干涉信号进行相位检测;对相位信息进行采集,并反演位移;反映干涉系统在各个频段上的测距精度。
- [0013] 进一步,所述隔振系统包括隔离地基和隔振光学平台。
- [0014] 进一步,所述真空系统包括真空腔和真空泵。
- [0015] 进一步,所述光源系统包括沿光轴方向依次设置的:
- [0016] 一光源参考激光臂,用于产生准直、单色及偏振态可控的偏振参考激光;
- [0017] 一与所述光源参考激光臂等臂长的光源测量激光臂,用于产生准直、单色及偏振态可控的偏振测量激光。
- [0018] 进一步,所述光源参考激光臂包括沿光轴方向依次设置的:
- [0019] 一个激光器,用于产生激光光源;
- [0020] 一个第一半反半透镜,使激光入射后分为两路,光强减半,两路光信号分别作为参考激光和测量激光;
- [0021] 一个第一声光调制器,使经过的激光发生声光相互作用后产生相应的频移;
- [0022] 一个第一法拉第隔离器,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;
- [0023] 一个第一线性偏振片,校正激光偏振状态,使出射激光的偏振态保持为 P 光或者 S 光;一个第一光纤耦合器,用于连接一条第一光纤;
- [0024] 所述光源测量激光臂包括沿光轴方向依次设置的:
- [0025] 一个第一直角反射镜,使被所述第一半反半透镜反射的激光被 90 度反射;
- [0026] 一个第二声光调制器,使经过的激光发生声光相互作用后产生相应的频移;
- [0027] 一个第二法拉第隔离器,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器,影响激光器正常工作;
- [0028] 一个第二线性偏振片,校正激光偏振状态,使出射激光的偏振态保持为 P 光或者 S 光,与被所述第一线性偏振片校正的激光偏振态保持一致;
- [0029] 一个第二光纤耦合器,用于连接一条第二光纤。
- [0030] 进一步,所述干涉系统包括光学平台及干涉光路;
- [0031] 所述光学平台为殷钢光学平台;
- [0032] 所述干涉光路包括初始相位测量干涉光路和位移测量干涉光路;
- [0033] 所述初始相位测量干涉光路包括等臂长的初始参考激光臂、初始测量激光臂;
- [0034] 所述初始测量激光臂包括沿光轴方向依次设置的:
- [0035] 一个第一偏振分光棱镜,使所述第二光纤射出的激光向上透射;
- [0036] 一个第二直角反射镜,位于所述第一偏振分光棱镜上方,使所述第一偏振分光棱镜透射的激光被 90 度向右反射;
- [0037] 一个第二半反半透镜,位于所述第二直角反射镜右侧,使经所述第二直角反射镜

反射的激光从一个表面 45 度角入射；

[0038] 一个第二光电探测器,用于将激光干涉信号转换成电信号；

[0039] 所述初始参考激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

[0040] 一个第二偏振分光棱镜,使所述第一光纤射出的激光向右透射；

[0041] 一个第六直角反射镜,位于所述第二偏振分光棱镜右侧,使所述第二偏振分光棱镜透射的激光被 90 度向上反射,并 45 度角入射到所述第二半反半透镜的另一个表面；

[0042] 一个第一光电探测器,用于将激光干涉信号转换成电信号；

[0043] 所述位移测量干涉光路与所述初始相位测量干涉光路共用第一偏振分光棱镜与第二偏振分光棱镜；

[0044] 所述位移测量干涉光路包括等臂长的位移参考激光臂和位移测量激光臂；

[0045] 所述位移测量激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

[0046] 所述第一偏振分光棱镜；

[0047] 一个第一 $\lambda/4$ 波片,位于所述第一偏振分光棱镜左侧,使所述第一偏振分光棱镜反射出的激光垂直经过；

[0048] 一个第一反射镜,使经过所述第一 $\lambda/4$ 波片透射的激光被 180 度反射回,并再次经过所述第一 $\lambda/4$ 波片,被所述第一偏振分光棱镜透射；

[0049] 一个第三偏振分光棱镜,使经所述第一偏振分光棱镜透射的激光 45 度角入射后透射；

[0050] 一个第二 $\lambda/4$ 波片,位于所述第三偏振分光棱镜右侧,使所述第三偏振分光棱镜透射出的激光垂直经过；

[0051] 一个第二反射镜,使经过所述第二 $\lambda/4$ 波片透射的激光被 180 度反射回,并再次经过所述第二 $\lambda/4$ 波片,被所述第三偏振分光棱镜向下反射；

[0052] 一个第三半反半透镜,位于所述第三偏振分光棱镜下方,使被第三偏振分光棱镜 83 向下反射的激光 45 度角入射到一个表面；

[0053] 一个第三光电探测器,用于将激光干涉信号转换成电信号；

[0054] 所述位移参考激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

[0055] 所述第二偏振分光棱镜；

[0056] 一个第五直角反射镜,位于所述第二偏振分光棱镜上方,使所述第二偏振分光棱镜反射的激光被 90 度向左反射；

[0057] 一个第三直角反射镜,位于所述第二直角反射镜左侧,使被所述第五直角反射镜反射的激光被 90 度向下反射；

[0058] 一个第四直角反射镜,位于所述第三直角反射镜下方,使被所述第三直角反射镜反射的激光被 90 度向右反射后入射到所述第三半反半透镜的另一个表面；

[0059] 一个第四光电探测器,用于将激光干涉信号转换成电信号；

[0060] 进一步,所述相位监测与数据分析系统包括：

[0061] 一个示波器,与所述第一光电探测器、第三光电探测器相连,观察从光电探测器中获得的干涉信号强弱,从而对光路系统进行调试,以获得最佳的干涉信号；

[0062] 一个相位计,与所述第二光电探测器、第四光电探测器相连,对从光电探测器中获得的干涉信号进行相位检测,相位检测精度要求优于 0.01° ；

[0063] 一个计算机,与所述相位计相连,对从相位计中获得的相位信息进行采集,并反演位移,其中,位移的反演公式是:
$$\Delta L = \frac{\Delta \varphi}{2\pi} \lambda$$
,其中 λ 为激光波长, $\Delta \varphi$ 为相位信息,单位为弧度;用 Matlab 软件对测距精度数值进行频谱展开,从而反映出干涉系统在各个频段上的测距精度。

[0064] 本发明的优点是:

[0065] 本发明等臂长外差式激光干涉测距系统实现了两路干涉光路中参考臂与测量臂的等臂性,可有效消除激光器频率不稳定性对测距精度的影响,同时集成了可消除光源系统各类噪声源的干涉光路,可有效消除激光器初始相位、光学平台、元器件与仪器以及光纤等各类噪声源对系统测距精度的影响,实现了长周期皮米量级的测量精度。

[0066] 本发明采用二级隔振系统,它是由 2.7m*3.7m*2.5m 的独立地基和隔振光学平台组成,隔振频率低于 1Hz。通过二级隔振系统能有效隔离地面振动及其它高频振动对实验平台的影响。

[0067] 本发明采用高真空系统和殷钢光学平台。真空系统由机械泵、分子泵和离子泵三级协作,能达到 8×10^{-4} Pa 的真空度。它能降低大气扰动的影响并且提供恒温环境。殷钢的膨胀系数为 $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$ 。通过真空系统和殷钢光学平台,能有效抑制热噪声对系统测距精度的影响。

附图说明

[0068] 图 1 为本发明的等臂长外差式激光干涉测距系统结构图。

[0069] 图 2 为本发明的光源系统示意图。

[0070] 图 3 为本发明的干涉系统示意图。

[0071] 图 4 为本发明的干涉系统的初始相位测量干涉光路示意图。

[0072] 图 5 为本发明的干涉系统的位移测量干涉光路示意图。

[0073] 图 6 为本发明的相位监测与数据分析系统示意图。

具体实施方式

[0074] 下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0075] 本发明提供了如附图 1 所示的一种等臂长外差式激光干涉测距系统,至少包括:

[0076] 隔振系统,用于将外界的噪声进行隔离与过滤,降低系统的震动噪声;隔振系统包括隔离地基和隔振光学平台。隔振系统主要由隔离地基和隔振光学平台组成,隔离地基的共振频率低于 10Hz,光学平台的共振频率低于 1Hz。此两部分可有效将外界的高频率噪声进行隔离与过滤,降低系统的震动噪声。

[0077] 真空系统,用于降低系统因温度波动所带来的热噪声;真空系统包括真空腔和真空泵。真空腔由不锈钢材料经表面抛光制成;真空泵由机械泵、分子泵及离子泵组成,系统真空度优于 8×10^{-4} Pa(因离子泵无震动噪声,测量时系统真空度由离子泵进行维持)。高真空系统可有效降低系统因温度波动所带来的热噪声。

[0078] 光源系统,用于提供 2 束高稳定性、高稳频的激光,同时这两束光具备相应的差分

频率；光源系统包括沿光轴方向依次设置：一光源参考激光臂，用于产生准直、单色及偏振态可控的偏振参考激光；一与光源参考激光臂等臂长的光源测量激光臂，用于产生准直、单色及偏振态可控的偏振测量激光。光源系统主要由激光器、半反半透镜、直角反射镜、声光调制器、线偏振片及光纤耦合器等组成。激光器光源功率要求不低于 10mW，频率稳定性要求优于 1MHz/3h，功率稳定性要求优于 0.5%/3h；声光调制器要求其频率稳定性优于 10^{-7} ，差分频率满足光电探测器的响应频谱及相位计的测相精度要求，一般取 10KHz-2MHz；法拉第隔离器主要用于防止光的反射，阻止影响激光器的频率及功率稳定性；线偏振片主要用于调整光的偏振态，使两束光保持为同一偏振态，P 光或者 S 光；光纤一般采用单模保偏光纤，以保证光的偏振态。通过调整两光路中光学元器件及仪器的位置，使两路光的光程基本相等，同时两光纤也采用长度相等的光纤，尽量使两路光的光程保持相等。光源系统的主要功能是给激光干涉仪提供 2 束高稳定性、高稳频的激光，同时这两束光具备一定范围的差分频率，一般为 10KHz-2MHz。

[0079] 干涉系统，用于产生两路等臂长外差式干涉信号，利用位移与相位之间的关系，得到被测两物体之间的位移变化信息；干涉系统包括光学平台及干涉光路。光学平台采用具有低热膨胀系数的殷钢光学平台，其热膨胀系数低于 $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$ ，干涉光路由偏振分光棱镜、 $\lambda/4$ 波片、直角反射棱镜、反射镜、半反半透镜及光电探测器组成，其中光电探测器需满足前面差分频率的频响要求。

[0080] 相位监测与数据分析系统，对干涉信号进行相位检测；对相位信息进行采集，并反演位移；反映干涉系统在各个频段上的测距精度。相位监测与数据分析系统主要由示波器、相位计及计算机构成。示波器的主要作用是观察从光电探测器中获得的干涉信号强弱，从而对光路系统进行调试，以获得最佳的干涉信号；相位计的主要作用是对干涉信号进行相位检测，相位检测精度要求优于 0.01° ；而计算机的主要作用是对相位信息进行采集，并反演位移，其中，位移的反演公式是：
$$\Delta L = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda$$
，其中 λ 为激光波长， $\Delta\varphi$ 为相位信息，单位为弧度；用 Matlab 软件对测距精度数值进行频谱展开，从而反映出干涉系统在各个频段上的测距精度。

[0081] 如图 2 所示，光源参考激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

[0082] 一个激光器 1，用于产生激光光源；

[0083] 一个第一半反半透镜 21，使激光入射后分为两路，光强减半，两路光信号分别作为参考激光和测量激光；

[0084] 一个第一声光调制器 41，使经过的激光发生声光相互作用后产生相应的频移；

[0085] 一个第一法拉第隔离器 51，用于对经过的激光进行调整，防止激光返回激光器 1，影响激光器 1 正常工作；

[0086] 一个第一线性偏振片 61，校正激光偏振状态，使出射激光的偏振态保持为 P 光或者 S 光；

[0087] 一个第一光纤耦合器 71，用于连接一条第一光纤；

[0088] 光源测量激光臂包括沿光轴方向依次设置的：

[0089] 一个第一直角反射镜 31，使被第一半反半透镜 21 反射的激光被 90 度反射；

[0090] 一个第二声光调制器 42，使经过的激光发生声光相互作用后产生相应的频移；

[0091] 一个第二法拉第隔离器 52,用于对经过的激光进行调整,防止激光返回激光器 1,影响激光器 1 正常工作;

[0092] 一个第二线性偏振片 62,校正激光偏振状态,使出射激光的偏振态保持为 P 光或者 S 光,与被所述第一线性偏振片校正的激光偏振态保持一致;

[0093] 一个第二光纤耦合器 72,用于连接一条第二光纤。

[0094] 如图 3 所示,干涉光路包括测量光源系统各类噪声源的初始相位测量干涉光路和测量两物体(M1 与 M2,可在测量物体上粘上反射镜)之间的位移变化的位移测量干涉光路。

[0095] 如图 4 所示,初始相位测量干涉光路包括等臂长的初始参考激光臂、初始测量激光臂;

[0096] 初始测量激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0097] 一个第一偏振分光棱镜 81,使第二光纤射出的激光向上透射;

[0098] 一个第二直角反射镜 32,位于第一偏振分光棱镜 81 上方,使第一偏振分光棱镜 81 透射的激光被 90 度向右反射;

[0099] 一个第二半反半透镜 22,位于第二直角反射镜 32 右侧,使经第二直角反射镜 32 反射的激光从一个表面 45 度角入射;

[0100] 一个第二光电探测器 112,用于将激光干涉信号转换成电信号;

[0101] 初始参考激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0102] 一个第二偏振分光棱镜 82,使第一光纤射出的激光向右透射;

[0103] 一个第六直角反射镜 36,位于第二偏振分光棱镜 82 右侧,使第二偏振分光棱镜 82 透射的激光被 90 度向上反射,并 45 度角入射到第二半反半透镜 22 的另一个表面;

[0104] 一个第一光电探测器 111,用于将激光干涉信号转换成电信号;

[0105] 初始相位测量干涉光路干涉信号包含了激光的初始相位、光源系统中的元器件与仪器、隔振光学平台以及光纤等各类噪声,此干涉光路中的两干涉臂臂长相等,可有效消除激光的频率不稳定性噪声。

[0106] 如图 5 所示,位移测量干涉光路与初始相位测量干涉光路共用第一偏振分光棱镜 81 与第二偏振分光棱镜 82;

[0107] 位移测量干涉光路包括等臂长的位移参考激光臂和位移测量激光臂;

[0108] 位移测量激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0109] 第一偏振分光棱镜 81;

[0110] 一个第一 $\lambda/4$ 波片 91,位于第一偏振分光棱镜 81 左侧,使第一偏振分光棱镜 81 反射出的激光垂直经过;

[0111] 一个第一反射镜 101,使经过第一 $\lambda/4$ 波片 91 透射的激光被 180 度反射回,并再次经过第一 $\lambda/4$ 波片 91,被第一偏振分光棱镜 81 透射;

[0112] 一个第三偏振分光棱镜 83,使经第一偏振分光棱镜 81 透射的激光 45 度角入射后透射;

[0113] 一个第二 $\lambda/4$ 波片 92,位于第三偏振分光棱镜 83 右侧,使第三偏振分光棱镜 83 透射出的激光垂直经过;

[0114] 一个第二反射镜 102,使经过第二 $\lambda/4$ 波片 92 透射的激光被 180 度反射回,并再次经过第二 $\lambda/4$ 波片 92,被第三偏振分光棱镜 83 向下反射;

[0115] 一个第三半反半透镜 23, 位于所述第三偏振分光棱镜 83 下方, 使被第三偏振分光棱镜 83 向下反射的激光 45 度角入射到一个表面;

[0116] 一个第三光电探测器 113, 用于将激光干涉信号转换成电信号;

[0117] 位移参考激光臂包括沿光轴方向依次设置的:

[0118] 第二偏振分光棱镜 82;

[0119] 一个第五直角反射镜 35, 位于第二偏振分光棱镜 82 上方, 使第二偏振分光棱镜 82 反射的激光被 90 度向左反射;

[0120] 一个第三直角反射镜 33, 位于第二直角反射镜 32 左侧, 使被第五直角反射镜 35 反射的激光被 90 度向下反射;

[0121] 一个第四直角反射镜 34, 位于第三直角反射镜 33 下方, 使被第三直角反射镜 33 反射的激光被 90 度向右反射后入射到第三半反半透镜 23 的另一个表面;

[0122] 一个第四光电探测器 114, 用于将激光干涉信号转换成电信号。

[0123] 位移测量干涉光路中的干涉信号反映的是两物体之间的位移变化, 同时也包含了光源系统的各类噪声, 它所包含的相位信息是以上两类噪声的相位信息之和, 同样, 此干涉光路的两干涉臂臂长也相等, 也可有效消除激光的频率不稳定性噪声。如果我们用第二路干涉信号的相位信息减去第一路干涉信号的相位信息, 通过位移与相位之间的关系反演, 即可得到两物体之间“干净”的位移变化信息, 从而精确反映两物之间的位移变化, 测距精度可达皮米量级。

[0124] 如图 6 所示, 相位监测与数据分析系统包括:

[0125] 一个示波器, 与第一光电探测器、第三光电探测器相连, 观察从光电探测器中获得的干涉信号强弱, 从而对光路系统进行调试, 以获得最佳的干涉信号;

[0126] 一个相位计, 与第二光电探测器、第四光电探测器相连, 对从光电探测器中获得的干涉信号进行相位检测, 相位检测精度要求优于 0.01° ;

[0127] 一个计算机, 与相位计相连, 对从相位计中获得的相位信息进行采集, 并反演位移, 其中, 位移的反演公式是: $\Delta L = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda$, 其中 λ 为激光波长, $\Delta\varphi$ 为相位信息, 单位为弧度;

用 Matlab 软件对测距精度数值进行频谱展开, 从而反映出干涉系统在各个频段上的测距精度。

[0128] 本实施例提供的一种等臂长外差式激光干涉测距系统, 最终实现两物体之间位移变化的精密测量, 测距精度可达皮米量级。

[0129] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已, 并不用于限制本发明, 对于本领域的技术人员来说, 本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

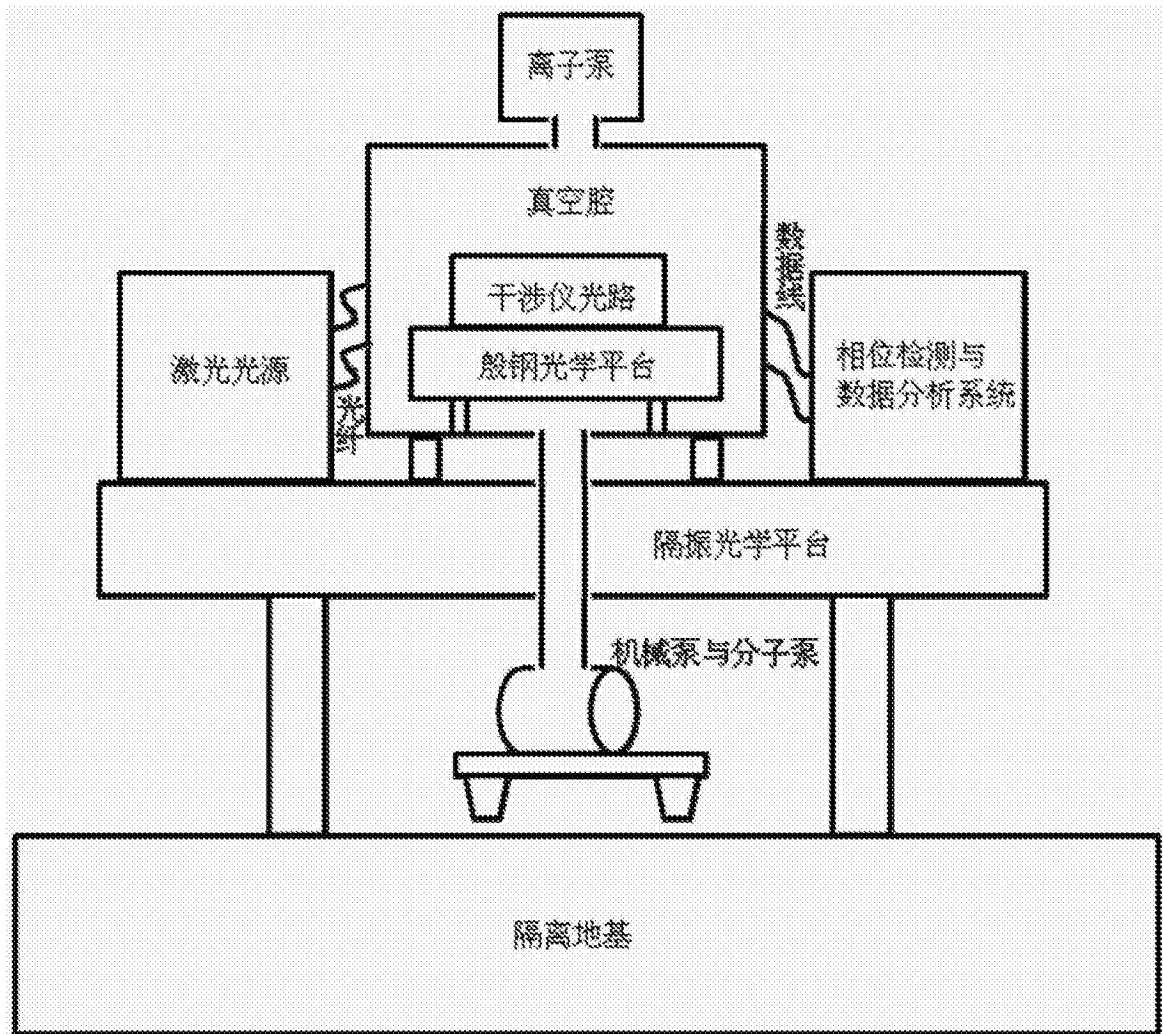


图 1

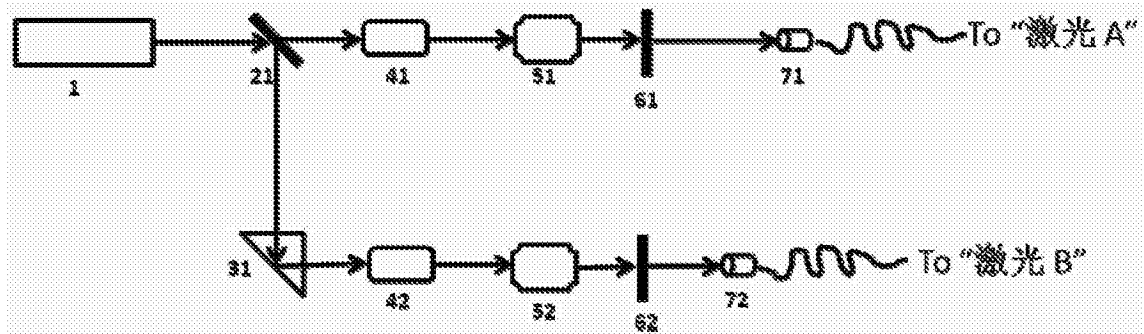


图 2

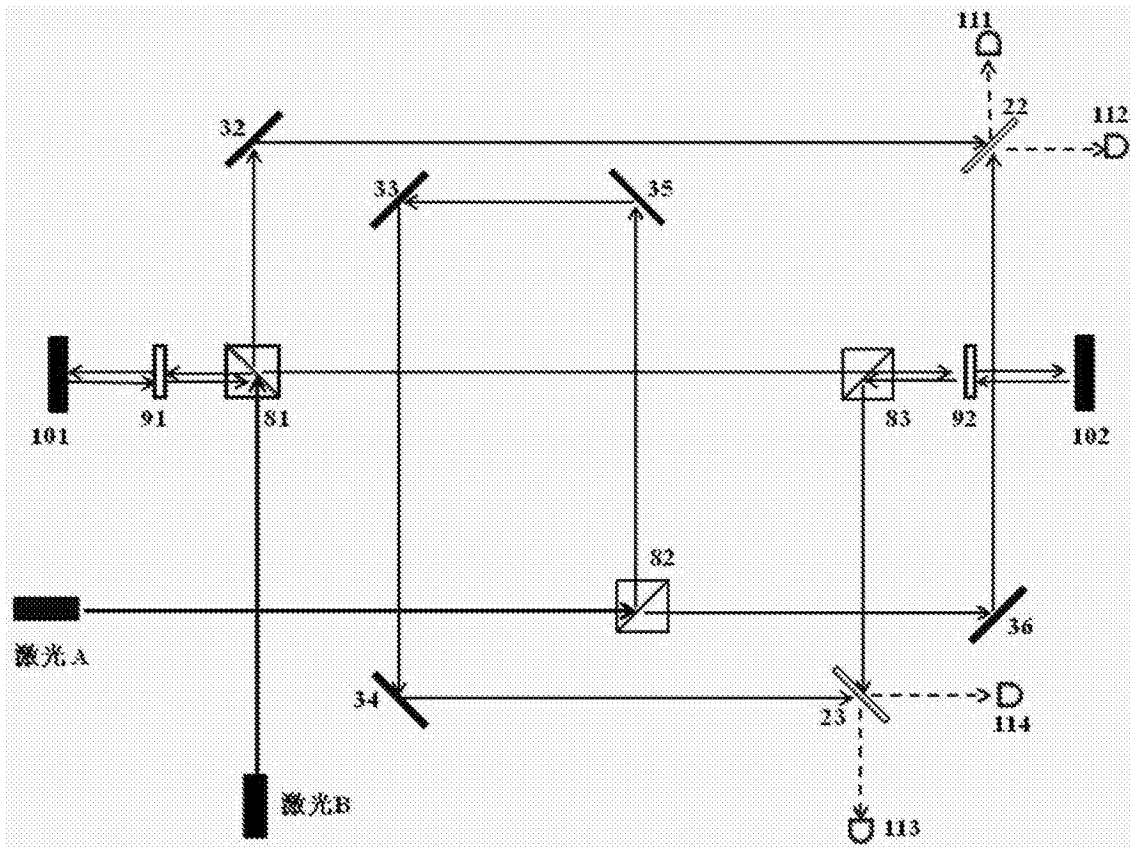


图 3

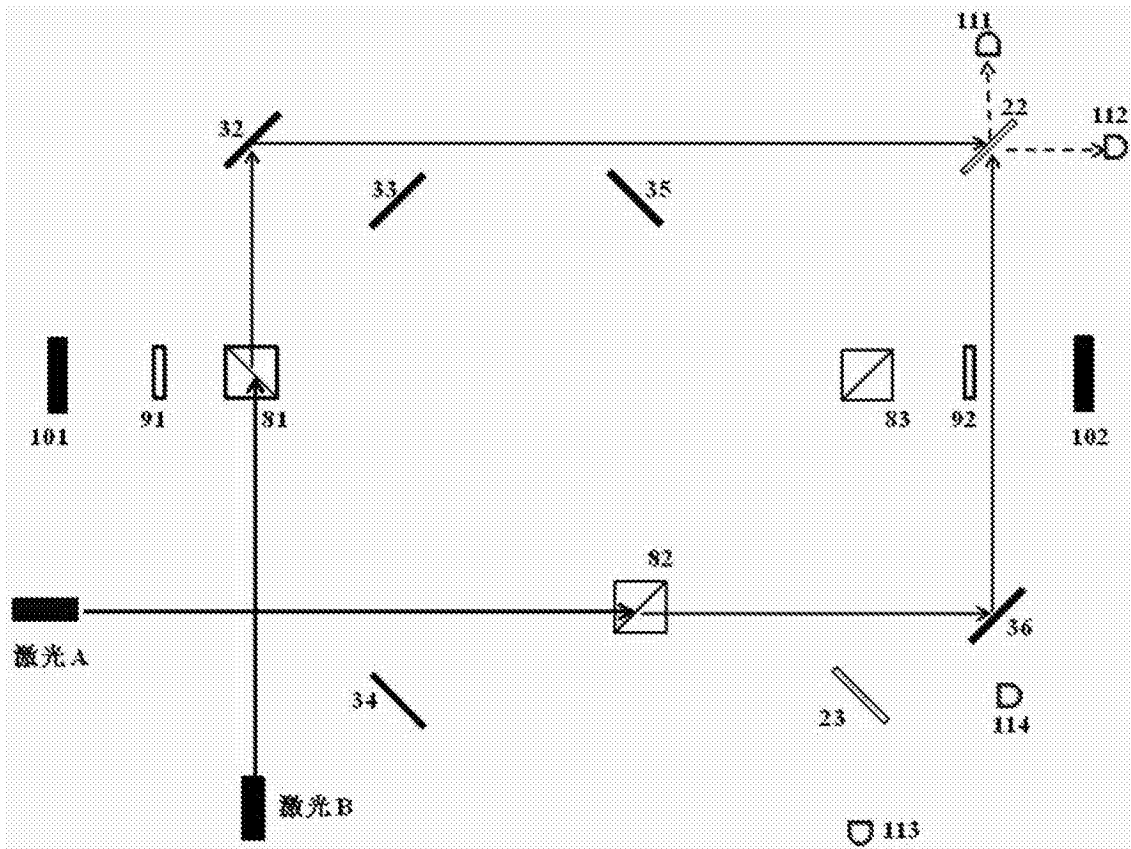


图 4

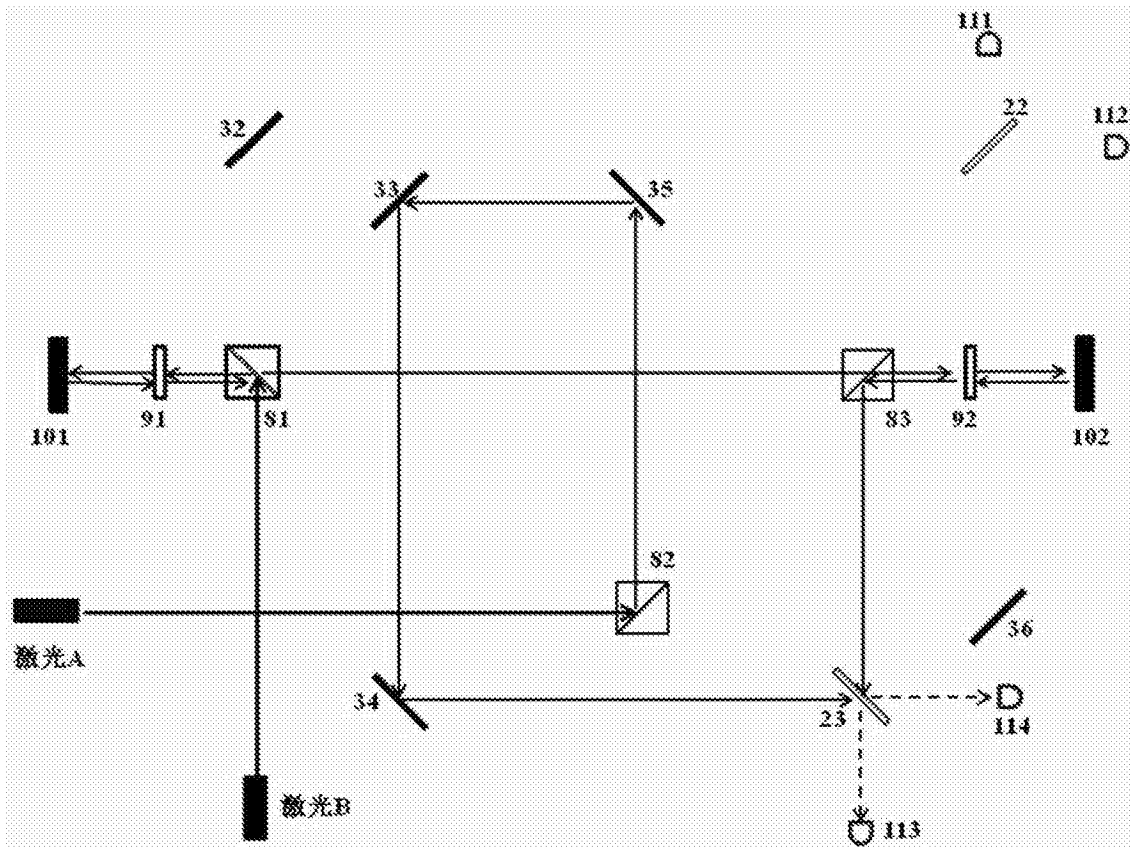


图 5

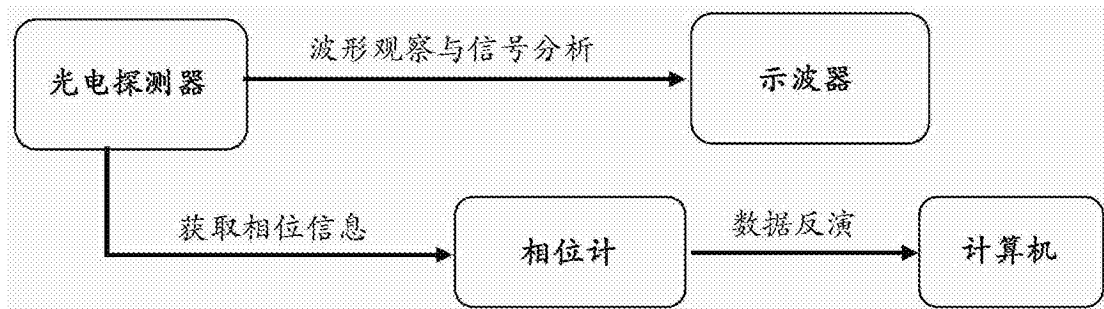


图 6