

**2008 年北京市
大学生物理实验竞赛**

项目说明

参赛学校 北京邮电大学
参赛题目 光电结合非接触测距
组队负责人 张蕴华
组队成员 常承伟 张纪伟

北京市大学生物理实验竞赛组委会制

2009 年 2 月

参赛题目	光电结合非接触测距			
负责人姓名	性别	出生年月	专业	年级
张蕴华	女	1989年9月27日	信息工程	2
手机, email	xiaohuahua927@126.com			
队员姓名	性别	出生年月	专业	年级
常承伟	男	1989年5月31日	信息工程	3
张纪伟	男	1989年8月18日	信息工程	3

摘要:

利用几何光学的方法, 建立测量光线与基线共边的相似三角形, 电阻均匀分布的滑动电位器与待测线段平行, 分别为这两个相似三角形的另一边, 滑动电位器滑动头上安装一细针, 测量时利用单丝衍射使细针处于测量光线的光路中, 待测距离按比例转化为滑动电位器分压段两端的电压, 此电压与待测距离成正比, 并设置为简单的比例系数, 将待测长度测量转化为精度更高的电压的测量, 理论分析和实际测量的不确定度均在 0.6% 以内, 实验充分结合了光电各自的优势, 利用激光对准, 通过电压测距, 具有明确的物理思想, 操作简单, 读数方便, 成本较低。

设计原理与方法:

如图 1, A、B 处各有一半导体激光器, 对准目标点 C (距离变化时转动 A 处激光器使光点再次打在 C 点), BC=H 为待测距离, 直角三角形 ABC 与 ADE 相似, DE 为与 BC

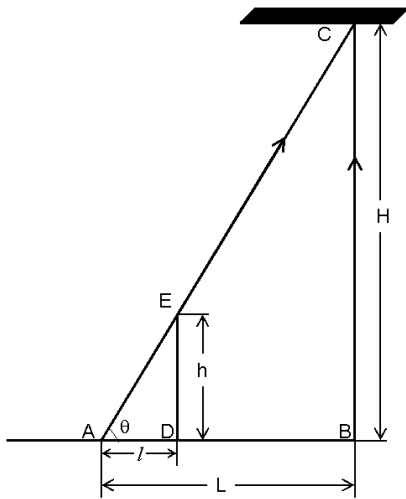


图 1 光电结合非接触测距光路图

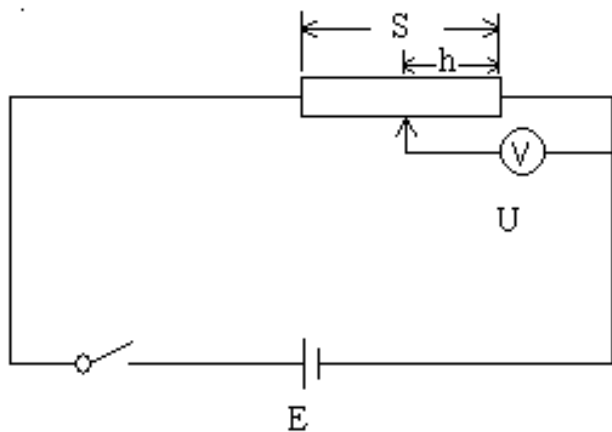


图 2 滑线电位器测量电路

平行的滑动电位器 S 的分压段, 滑动电位器和电源接为分压电路, 如图 2, 滑动头上安装细丝, 滑动滑动头使光点打在细丝上, 细丝后出现对称的单丝衍射, 此时细丝处

在光路 AC 正中 E 点，利用光的沿直线传播性质和相似三角形原理：

$$\frac{h}{l} = \frac{H}{L} = \tan \theta \quad (1)$$

H 为待测距离， h 为滑动电位器分压段 DE 间的距离， L 为两激光出射光点之间的距离， l 为激光器 A 与滑动电位器的垂直距离。滑动电位器总长度为 S ，总电阻为 R_s ，两端总电压为 E ，滑动电位器材质相同、横截面积均匀，图 3 为实测的滑动电位器不同分压长度的电阻值，电阻与长度具有很好的线性，因此 DE 段电阻 R_h 和电压 U 正比于距离 h ，有

$$\frac{h}{S} = \frac{R_h}{R_s} = \frac{U}{E} \quad (2)$$

由公式 (1)、(2) 可得：

$$H = \frac{LS}{lE} U \quad (3)$$

S 为确定值， L, l, E 在同一量程下为确定值，为使待测距离 H 和电压 U 具有简单的比例即 $H = kU$ 并能够测量要求范围的距离，在滑动电位器外串联平衡电阻 R_1 或 R_2 用来改变不同 k 值时滑动电位器两端需要的总电压 E ，如图 4，使

$$k = \frac{LS}{lE} \quad (4)$$

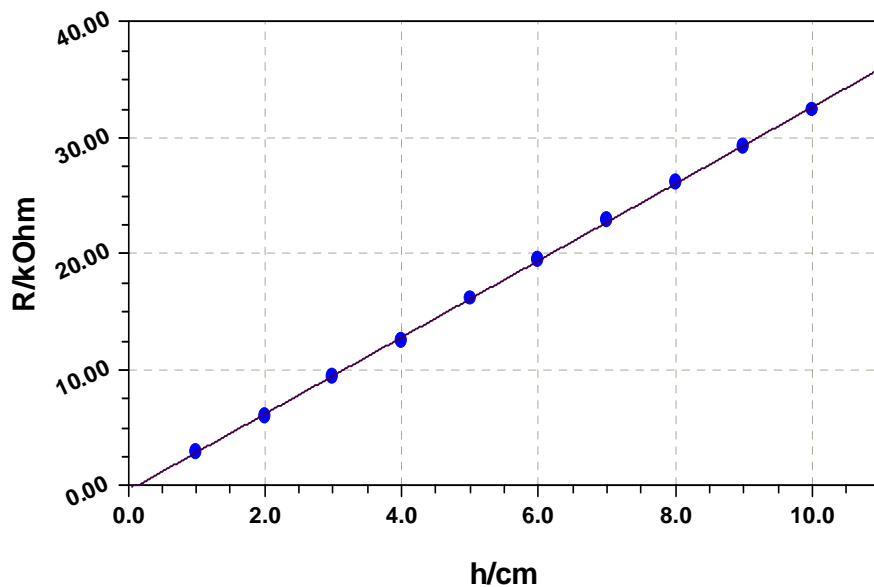


图 3 滑动电位器不同分压长度的电阻值

滑动电位器总长 $S = 0.100 \text{ m}$ 不变，为满足最大测量距离 $H_{max}=2.00\text{m}$ ，应使 $l/L \geq S/H_{max} = 0.100/2.000 = 1/20$ ，如 $L = 0.30\text{m}, l = 0.015\text{m}, E = 2.00\text{V}$ ，则 $k = 1\text{m/V}$ ，理论上测量范围为 $0.00\text{-}2.00\text{m}$ ，但对较短距离，相对误差会较大，为解决这个问题，通过改变参数换挡改变 k 值，以测量较短的距离，如改变 L 和 E 的值

$L = 0.10m, l = 0.015m, E = 6.67V$, 则 $k = 0.1m/V$, 理论测量范围 $0-0.667m$, 若屏幕显示为 $2.00V$ 时, 距离为 $0.200m$.

由 (3) 式推导距离 H 的不确定度

$$\frac{u(H)}{H} = \sqrt{\left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(S)}{S}\right)^2 + \left(\frac{u(l)}{l}\right)^2 + \left(\frac{u(E)}{E}\right)^2 + \left(\frac{u(U)}{U}\right)^2} \quad (5)$$

如果 $u(S) = u(l) = u(L) = 0.02mm, u(E) = 0.005V, u(U) = 0.001V$, $k = 0.10m/V$ 时, 则

$\frac{u(H)}{H} = 0.3\%$ 不确定度主要来源于 $\frac{u(l)}{l}$ 和 $\frac{u(E)}{E}$, 增大 l 和稳定 E 可以减小不确定度。

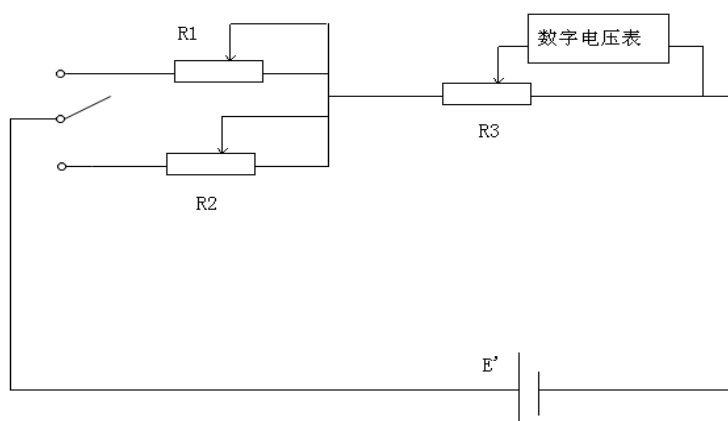


图 4 串联平衡电阻改变比例的电路图

创新点：

- 物理思想明确, 通过激光对准并把距离通过比例转化为可以精确测量的分压段的电压值, 光电结合, 发挥二者优势;
- 创造性地利用滑动电位器的均匀阻值实现距离的测量;
- 电压显示与距离为线性关系, 并可设置为简单的比例如 $0.1m/V, 0.5m/V, 1.0m/V$ 等, 方便读数, 避免了复杂的公式计算或电路换算, 操作简单, 读数方便, 成本较低, 有望开发为示教仪器。

实验仪器与装置:

半导体激光器, 电源 (电压及限流), 滑动电位器, 多圈电位器, 数字电压表, 开关装置同图 1.

测量数据与分析:

在 $k=0.1m/V$ 和 $k=1.0m/V$ 两个比例下对近距和远距进行的测量, 表 1 为测量距离与实际距离的结果。图 4 为测量结果比较曲线, 结果表明在近距离 ($20cm$) 左右测试数

据很准确，因为在 20cm 处进行了电压校准，所以附近没有误差或误差很小测量结果与实际距离相比均为正误差，尤其是在远距范围，可能某个参数稍有偏差，通过微调电压值或者电位器位置进行修正。

进一步提高精度方法：

- 1、由于近距数据电压校准调整值为 20cm 处，所以在短距误差较小，实际测量时可微调电压校准值的位置，从而减小误差，并分短距和长距设定两组调整位置，从而保证在长距短距有同样很高的测量精度。
- 2、以上所用滑线电位器为市场所售，如时间充足，可定做总长较长（如 30cm）且线性更好的滑线电位器，这样不仅可以提高精度，并且可以在同一比例系数下满足要求距离范围的测量
- 3、由不确定度公式（5）分析，满足测量范围的前提下增大 l ，提高 E 稳定性和测量精度可以进一步减小不确定度。

表 1 测量结果

次数	实际距离 (cm)	电压 (V)	测量距离 (cm)	误差 (cm)	相对误差 (%)
1	20	2.00	20.0	0	0
2	25	2.50	25.0	0	0
3	30	3.00	30.1	0.1	0.30
4	35	3.50	35.0	0	0
5	40	4.02	40.2	0.2	0.50
6	50	5.02	50.2	0.2	0.40
7	60	6.03	60.3	0.3	0.50
8	70	0.704	70.4	0.4	0.57
9	80	0.803	80.3	0.3	0.38
10	90	0.905	90.5	0.5	0.56
11	100	1.006	100.6	0.6	0.60
12	110	1.105	110.5	0.5	0.45
13	120	1.207	120.7	0.7	0.58
14	130	1.305	130.5	0.5	0.38
15	140	1.404	140.4	0.4	0.29
16	150	1.506	150.6	0.6	0.40
17	160	1.607	160.7	0.7	0.44
18	170	1.707	170.7	0.7	0.41
19	180	1.808	180.8	0.8	0.44

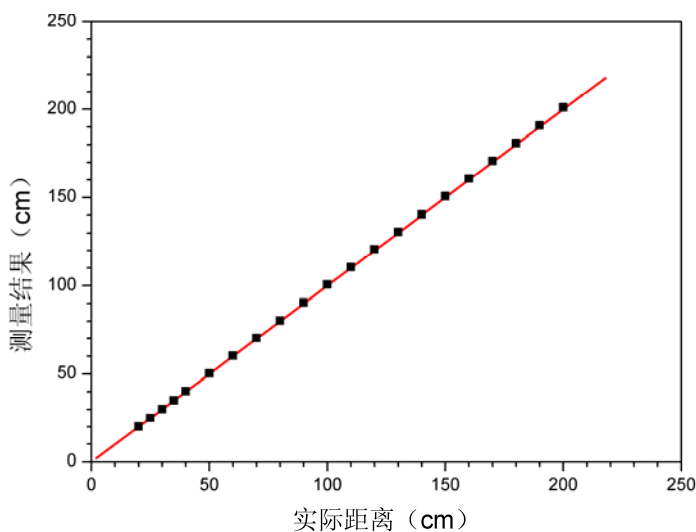


图4 测量结果比较曲线

制作成本 (明细) :

名称	单价 (元)	数量	总价 (元)
5mw 激光二极管	5	3	15
数字电压表头	60	1	60
开关稳压电源	45	1	45
仪器箱	25	1	25
滑动电位器	5	1	5
多圈电位器	4	4	16
开关	3	1	3
合计			169

结论:

光电结合非接触测距充分发挥光电各自的优势,将光的直线传播和衍射相结合,对准目标点并准确确定滑线电位器滑线头的位置,通过相似三角形将距离转化为简单比例关系的电压,测量精度较高,实际不确定度接近理论分析值,可以根据待测距离调整比例参数,操作简单,读数方便,成本较低,物理思想明确,有望开发为示教实验。

参考文献:

- 徐实学,陈延如,赵琦,小尺寸高精度激光测距系统实现方法,研究红外与激光工程,2008,37(S3):238-241

2. 田原嫫, 谭庆昌, 基于 PSD 激光三角测距传感器的最优设计, 微计算机信息, 2008 (5): 3-4
3. 彭孝祥, 张兴敢, 一种改进的脉冲式激光测距仪的设计, 电子测量技术, 2008, 31 (6): 133-135