

# 隧道断面 测量仪中的 激光测 距\*

李长明

**摘要：**主要阐述了隧道断面测量仪及激光测距技术，从激光测距的原理入手，探讨高精度测距系统的研究，从而解决困扰隧道工程界的非接触监测断面收敛的难题。

**关键词：**隧道断面 激光测距 动态监测

## Tunnel Section Laser Distance Measuring Instrument

Li Changming  
(Institute of  
Exploration  
Technology,  
Chengdu,  
610081)

**Abstract :**  
Tunnel section  
measuring  
instrument and

laser ranging technique are presented. Researches on high accuracy ranging system is discussed based on laser ranging principle. The difficult problem of contactlessly measuring sectional convergence in the tunneling field is solved.

**Key words :**  
tunnel, section, laser, ranging, dynamic measuring

## 1 DMY1型 激光隧道断面 测量仪

DMY1型激光隧道断面测量仪(见插一广告)是我所自行研制的新一代的测量仪器,于1997年5月通过了地矿部的鉴定,达到了国内领先水平。

DMY1型激光隧道断面测量仪采用无合作目标,非接触测量方式,因此,在测量中对被测量通道无任何阻断,不妨碍交通,对隧道

施工无任何影响。该仪器的研制成功，使国内隧道界在断面测量的手段、方法上，由以前的全靠人工测量发展为计算机自动化控制，产生了质的变化，极大地提高了测量速度和测量精度。该仪器已在数个隧道工程中得到实际应用，并达到理想的效果。如在北京地铁复兴门至八王坟一线隧道建设过程中，北京地铁监理公司用此仪器来检测隧道的断面开挖尺寸；在西昌南新马鞍山铁路隧道的建设过程中，此仪器不仅用来检测断面尺寸，而且在监测新开挖断面的初期变形中得到广泛应用。自开发推广以来，该仪器以其精确的测量，方便快捷的操作，经济的价格得到了广大用户的肯定，是隧道开挖施工、衬砌施工、工程质量监理、竣工验收测量等工作中的有效测量手段。

激光隧道断面测量仪是机、电、光一体化的新一代隧道测量仪器。其核心是激光及激光测距。本文就激光测距有关方面的问题，作初浅的探讨。

## 2 激光及激光测距原理

### 2.1 激光的概述

激光，亦即“受激辐射而放大的光”，从1960年问世以来，30多年中得到了迅猛的发展，它以其独有的三大特性单色性、良好的方向性、能量集中，很快被应用于各类测量中，使测量方法不断革新，测量精度显著提高。激光测距是其中应用最早且最为成熟的一种。目前，国际上各种型号的激光测距系统已有近100种之多，绝对测量精度已达毫米量级。近几十年来，我国激光测距仪的研制和应用也取得了一定的进展，研制出了一系列的激

光测距仪。如武汉地震大队等单位于1969年研制成功JCY1型激光测距仪，又于1974、1980年分别研制成功JCY2、JCY3型激光测距仪，其测程均可达几十千米。

## 2.2 激光测距原理

激光测距通常有2种方法：激光脉冲测距法和激光相位测距法。其共同点都是通过直接或间接地测量信号在被测距离上往返所需时间 $t$ ，按下式来计算距离 $D$ ：

$$D=Ct/2 \quad (1)$$

式中： $C$ ——空气中的光速。

### 2.2.1 激光脉冲测距法

其工作过程如下：由激光器发出一极短的脉冲波(主波信号)，该脉冲光经远处的被测目标反射后返回，反射光脉冲(回波信号)由光电探测器接收，根据主波信号与回波信号之间的时间间隔，依据公式(1)，即可计算出待测

目标的距离

D。

时间间隔t

的测量是通过计数钟频脉冲的个数来实现的。在激光测距系统中，有一个钟频脉冲发生器，一般每秒产生3000万个或1500万个脉冲。因此，每个脉冲的时间就是1/(3000万)或1/(1500万) s。测距系统中还有一个计数器，从发射激光脉冲起开始数钟频脉冲的个数，一直数到接收到回波信号为止。数清了钟频脉冲的个数，也就测出了激光脉冲至目标的往返时间间隔t。设N为计数器计到的脉冲个数，f为计数脉冲的频率，则：

$$t=N/f \quad (2)$$

将公式(2)代入公式(1)得：

$$D=CN/(2f) \quad (3)$$

计数器数钟频脉冲个数时，可能多数一个或少数一个，就是说误

差为 $\pm 1$ 个脉冲。那么，系统的分辨率则取决于计数脉冲的频率 $f$ 了。一般来说，在激光脉冲测距系统中，计数脉冲的频率为30 MHz，代入式(3)，则得：

$$D = 3 \times 10^8 \times (\pm 1) / (2 \times 30 \times 10^6) = \pm 5 \text{ m}$$

此即激光脉冲测距法的精度， $\pm 5 \text{ m}$ 的误差。

激光脉冲测距系统的结构较简单，测程远，功耗低，但其测量精度较低，一般为 $\pm 5 \text{ m}$ ，所以此原理多数用于军事上。

### 2.2.2 激光相位测距法

激光相位测距法是将光源调制成频率为 $f$ 的交变光，该交变光经被测目标反射后由光电探测器接收。假设调制光经距离 $D$ 的往返后产生的相位变化为 $\Delta\phi$ ，则光由发射到接收所经过的时间 $t$ 为：

$$t = \frac{\Delta\phi}{2\pi f} = \frac{2\pi D}{c} \quad (4)$$

式中：调制光的调制角频率， $\omega = 2\pi f$ 。

将式(4)代入式(1)得：

$$D = \frac{C}{2\pi f} \cdot \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

显然，当波长  $\lambda > 2D$  时，则

$n = \frac{2D}{\lambda}$ ；而当  $\lambda = 2D$  时，则：

$$n = 2n \quad (6)$$

式中：n波动的数目。

将式(6)代入式(5)，整理得：

$$D = \frac{C}{2\pi f} \cdot \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

式中： $L_s$ ——度量长度的单位长度，称为测尺长度， $L_s = \frac{C}{2\pi f}$ 。

可见，激光相位测距法实际上是将  $L_s$  作为度量距离的一把尺子，用来量出被测距离。但是，相位测量技术只能测出式(7)中的  $n$ ，而波动数目  $n$  无法

测得，即 $n$ 具有模糊性。解决该问题的方法是加长测尺长度，即降低调制频率，使得 $2D$ ，如此，式(7)中的 $n$ 为零，测出即可测得待测距离。换言之，即用一较低频率的交变光来解除 $n$ 的模糊性。但是，当待测距离 $D$ 很大时，测尺长度 $L_s$ 须选得很大，这样在系统相位测量精度不变的情况下，将使距离测量的绝对误差增大，而要提高测量的绝对精度，就会限制测程。为了解决这一问题，在测距系统中一般是将测尺长度不等的几把光尺配合起来使用。设待测距离 $D$ (如 $D=895.76\text{ m}$ )，选择测尺长度为 $L_{s1}$ (如 $L_{s1}=1000\text{ m}$ )的调制光为粗尺，用来解除式(7)中的 $n$ 的模糊性，保证足够的测程；而选用测尺长度为 $L_{s2}$ (如 $L_{s2}=10\text{ m}$ )的调制光为精尺，

用来保证测量的绝对精度。假设系统的相位检测精度为 $P\%$ ，则用 $L_{s1}$ (绝对精度为 $L_{s1}\cdot P\%$ )测得不足 $L_{s1}$ 的尾数 $D_1$ ，而用 $L_{s2}$ (绝对精度为 $L_{s2}\cdot P\%$ )测得不足 $L_{s2}$ 的尾数 $D_2$ ，将两者结合就可得到 $D$ 的精确结果。

用此原理设计的测距仪精度目前已达到毫米级。

### 3 实际意义

我所研制的DMY1型激光隧道断面测量仪的激光发生器选用了半导体激光器，测距原理采用了相位测距法，测距误差 $< 3\text{ mm}$ 。作为隧道断面的检测仪器，已能完全满足工程测量上的需要。

目前，国内外各种隧道施工中，新奥法被广泛推广，而新奥法中极其重要的一个环节，就是动态监测，它是连接施工与设计之间的

纽带。然而，动态监测隧道断面收敛及塌方报警，多年来一直使隧道工程界感到困惑，成为较难解决的问题。日本专家提出，当隧道断面收敛日变形量达到0.2 mm时，就应提出塌方警报，且此观点已作为规范写进了相关的教科书中。

在现在的断面收敛监测仪中，基本上都采用接触式测量，此方法费工费时，阻断交通，影响施工，且人为误差较大。非接触式监测断面收敛及塌方报警的研究已迫在眉睫，随着激光测距技术及电子技术的发展，这个困扰隧道界的问题已有望解决。目前，激光测距系统的相位检测精度 $\left[ \frac{1}{2} \right]$ 可以达到1/1000 ~ 1/5000。如果我们选用1/5000的鉴相精度，用300 MHz的调制频率来调制，则可求出其测距精度d为：

$$d = \frac{c/f}{(2)} = \frac{3 \times 10^{11}}{(300 \times 10^6)} \times (1/5000) = 0.2 \text{ mm}$$

从理论上来说，已基本满足了隧道断面收敛的精确测量。

\*原地矿部重点地质科技项目(编号：8505522)。

作者简介：  
男，30岁，中国地质科学院探矿工艺研究所工程师；  
1992年毕业于成都地质学院探

矿工程系；  
一直从事钻探及岩土工程仪器、仪表和工具的研究开发工作。

作者单位：  
610081 成都市西北桥；电  
话：028-3171127。

#### 参考文献

[1] 张云熙.  
现代图像元器件及设备指南.  
北京：国防工业出版社，  
1995.

收稿日期：  
1999-01-15