

激光技术

JIGUANG JISHU

ZAI MEIKUANG JIAOCHE TISHENG ANQUAN

JIANCZEHONG DE YINGYONG

在煤矿绞车提升安全监测中的应用

合肥工业大学出版社

周孟然

著



国家自然科学基金(项目编号:50574005)

安徽省教育厅自然科学基金(项目编号:2005KJ081)

安徽理工大学博士基金(项目编号:11020)

淮南市“舜耕英才”培养对象(淮人才字[2007]1号)

资助项目

激光技术在煤矿绞车 提升安全监测中的应用

周孟然 著

责任编辑 周孟然		著 周孟然	
ISBN 7-811-0982-1	本 册	合肥工业大学出版社	出 版
10.23	印 张	合肥市中街路193号	地 址
175千字	字 数	280000	册 数
全 国 统 一 书 号	发 行	0521-2803038	总 经 销
安徽江淮音像出版社	印 制	0521-2803198	发 行 所
www.ahupress.com.cn	网 址	2007年1月第1版	版 次
press@ahupress.com.cn	E-mail	2007年1月第1次印刷	印 次

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

激光技术在煤矿绞车提升安全监测中的应用/周孟然著. —合肥:合肥工业大学出版社, 2007. 4

ISBN 978-7-81093-571-5

I. 激… II. 周… III. 激光应用—矿井提升机: 绞车—安全监察 IV. TD53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 035823 号

激光技术在煤矿绞车提升安全监测中的应用

周孟然 著

责任编辑 陆向军

出版 合肥工业大学出版社
地址 合肥市屯溪路 193 号
邮编 230009
电话 总编室:0551-2903038
发行部:0551-2903198
版次 2007 年 4 月第 1 版
印次 2007 年 4 月第 1 次印刷

开本 787×1092 1/16
印张 10.25
字数 177 千字
发行 全国新华书店
印刷 安徽江淮印务有限责任公司
网址 www.hfutpress.com.cn
E-mail press@hfutpress.com.cn

ISBN 978-7-81093-571-5

定价:20.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

前 言

煤矿绞车（提升机）在煤矿中作为地面与井下物质与人员流通的运输工具，在操作安全性和提升控制精确性等方面都有很高的要求。为了便于对提升机运行的准确操作，方便物质与人员上下，防止冲罐、坠罐等恶性事故的发生，精确测得提升机箕斗（罐笼）任一时刻在矿井中的位置与运行速度这两个数据指标具有十分重要的意义。本书的研究成果能实现实时测量矿井提升机与地面的距离及其运行速度，实现高精度的测量（测距在 $0\sim 1000\text{m}$ 、检测误差 $\pm 5\text{mm}$ ）。该成果利用激光测量的无传递误差性能，安全监测系统无需辅助校正开关，能准确地显示提升机的实际位置，并可获得理想的位置控制信号。该成果在煤矿中具有广阔的应用前景。

该研究成果的技术原理是利用工作在红外波段的激光，通过测量调制光波往返于被测距离上相位差的方法来测定距离，即以光频作为载波，再用一较低调制频率对光波进行幅度调制，直接测量幅度调制光波在发送端和接收端的相位差。为提高相位检测的精度，根据外差接收原理，把与调制信号相差一低频的同一本机振荡信号分别与发送和接收信号进行混频放大，取出两差频信号，再用数字信号处理方法检测两差频信号的相位差，利用相位差确定被测两点间的距离。

系统能达到的性能指标为：（1）测距 $0\sim 1000\text{m}$ 。（2）检测误差： $\pm 5\text{mm}$ 。（3）显示方式：本地液晶显示和远程工控机同步动态显示，提供绞车的动态运行图形、速度图形显示。（4）操作方式：本地键盘操作和远程工控机均可。（5）可编程多位置接口：可在任何的检测点上输出开关量信号，取代现有的磁感应开关信号。

在公开出版的国内外文献中，有关利用激光技术来直接测量提升机运行位置和速度的研究资料非常有限，且报道的也均是在军事和地质测量上的应用，应用于煤矿提升机的位置安全监测未见报道。本书的创新之处在于：把激光技术应用于煤矿绞车的安全监测上，建立了提升机安全监测定位系统的数值算法模型及激光测距相位法检测的 FFT 算法模型及硬件结构，通过算法误差分析，建立了高精度的位置监测系统。本书在详细分析矿井提升机安

全监测定位系统相位法的基础上,利用 FPGA 资源丰富、易于完全的硬件结构的可定制性、高速的串并行工作方式等特点,设计了符合煤矿绞车提升安全监测定位的相位法检测的 FFT 硬件处理机单元,用 FPGA 来实现 FFT 算法的硬件结构。该系统能满足不同提升系统对提升安全监测的要求,这是对煤矿安全生产的一个理论研究和实际应用,该研究达到了国内领先水平。

本书的研究成果于 2005 年获中国煤炭工业协会科学技术二等奖和淮南市科技进步三等奖。

由于笔者水平有限,书中疏漏和谬误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2007 年 3 月

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 研究的目的和意义	1
1.2 提升机安全监测的现状	2
1.2.1 现有方式	3
1.2.2 存在的问题	4
1.3 激光安全监测定位系统	5
1.3.1 激光安全监测定位系统的现状和发展	5
1.3.2 分类及优缺点	8
1.4 基于激光技术的提升机安全监测	10
1.4.1 激光安全监测定位的理论依据	10
1.4.2 采用 FPGA 实现的相位检测	11
1.5 总体思路与技术方案	12
1.5.1 研究内容	12
1.5.2 研究方法	13
1.5.3 技术方案	13
1.6 解决的问题	13
第 2 章 相位式激光安全监测系统总体设计	16
2.1 激光相位法安全监测定位的原理和方法	16
2.1.1 相位法测距原理	16
2.1.2 相位法激光跟踪定位常用方法	17
2.1.3 基于 FFT 算法的数字相位计	22
2.2 典型的相位测距系统简介	24
2.2.1 相位测距系统的方案简述	24
2.2.2 现有测距系统存在的问题	24
2.3 相位式安全监测定位系统的总体设计方案	25
2.3.1 提升机安全监测系统现状	25
2.3.2 跟踪定位系统参数确定	25

2.3.3 测距系统的总体框图	30
2.3.4 测距系统结构简介	30
第3章 相位式激光测距安全监测系统的主要结构单元	33
3.1 光学系统	33
3.1.1 发射光学系统	33
3.1.2 接收光学系统	34
3.2 精密信号源	36
3.2.1 DDS 概述	36
3.2.2 精密信号源的实现	37
3.3 半导体激光器调制驱动电路	39
3.4 自动增益控制电路	40
3.4.1 自动增益控制电路的构成	40
3.4.2 自动增益控制电路工作原理	42
3.5 差频放大电路	42
3.5.1 MC1496 差频原理	42
3.5.2 MC1496 差频的电路实现	43
3.6 A/D 采样单元	44
3.7 主处理器电路硬件设计	45
3.7.1 键盘接口电路	46
3.7.2 复位及监控电路	46
3.7.3 时钟接口电路	48
3.7.4 液晶显示接口	51
3.7.5 串口电路	54
第4章 激光测距中相位检测的 FFT 算法硬件设计	59
4.1 用 FFT 实现相位法的检测	59
4.1.1 FFT 实现相位法检测原理	59
4.2 FPGA 芯片开发简介	72
4.2.1 FPGA 简介	76
4.2.2 基于 FPGA 的开发过程	81
4.2.3 VHDL 语言	83
4.3 FFT 处理机的常用硬件结构	86

4.3.1 顺序处理机	86
4.3.2 级联处理机(流水线处理机)	86
4.3.3 并行迭代处理机	87
4.3.4 阵列处理机	88
4.4 FFT 硬件处理系统的优化	89
4.4.1 提高 FFT 处理机速度的措施	89
4.4.2 提高 FFT 处理器运算精度的方案选择	93
4.5 FFT 硬件处理系统的构建	96
4.5.1 蝶形运算单元的设计	97
4.5.2 双端口 RAM 的定制	101
4.5.3 旋转因子 ROM 的定制	103
4.5.4 控制单元的设计	104
4.5.5 地址发生器的设计	106
第 5 章 实验结论及分析	109
5.1 FFT 处理器实验结果与分析	109
5.1.1 实验结果	109
5.1.2 结果分析	112
5.2 安全监测系统实验设计结果验证	112
5.2.1 合作反射物实验结果	112
5.2.2 开关信号控制器实验结果	114
5.2.3 系统实验数据验证	115
5.2.4 提升系统现场调试数据	118
第 6 章 系统调试与优化	119
6.1 电路的调试与优化	119
6.1.1 信号完整性分析	119
6.1.2 硬件调试	120
6.1.3 软件调试	121
6.2 工业性试验报告	122
6.2.1 主要技术参数和性能	122
6.2.2 试验目的和要求	123
6.2.3 试验内容	123

6.2.4	试验方法	123
6.2.5	工业性试验报告	124
6.2.6	对系统技术先进性、实用性及安全性等的考查	129
6.2.7	试验结论	129
第7章 结论及需解决的问题		130
7.1	结论	130
7.1.1	创新性成果	130
7.1.2	研究的意义	131
7.2	需解决的问题	131
7.2.1	算法功能上	131
7.2.2	系统实现功能上	132
附录		133
参考文献		146

第1章 引言

1.1 研究的目的是和意义

矿井绞车（提升机）作为煤炭行业的大型机电设备，担负着提升煤炭、矸石，下放材料，升降人员和生产设备的重要任务，素有“矿井咽喉”之称。其运行的安全性、可靠性和经济性，对煤矿安全生产有着重要影响，是煤矿最关键的大型机电设备之一^[1~4]。

矿井绞车提升系统有着控制复杂、环节多、运行速度快、惯性质量大、运行特性复杂的特点，工作状况经常在四个象限中交替转换。虽然矿井提升系统本身有一些安全保护措施，而且为了增强提升机的可靠性，人们从机械、电子、维护、管理等方面进行了改进，取得了一定的效果。但是，由于现场使用的恶劣环境条件（粉尘、淋水和下落重物的冲砸等）造成了各种机械零件和电气元件的功能失效，操作者的人为过失和对位置跟踪监测研究的局限性，使得现有保护未能达到预期的效果，致使提升系统的过卷事故至今仍未消除，其造成的影响及损失均为各类提升事故之首^[5]。一旦提升机的位置跟踪失去控制，没有能严格地按照给定速度曲线运行，就会发生提升机超速、过卷事故，轻者造成楔形罐道损害、罐笼的损害，影响矿井正常生产，严重的可拉倒井架，使得钢丝绳挫断、提升容器坠落和砸坏井筒内的机电设备，从而造成重大人员伤亡事故和重大设备事故，给煤矿生产带来极大的经济损失^[6~7]。

在煤矿生产中，因为位置跟踪监测的不准确、各种开关失灵使得系统在减速点没有减速而造成的过卷事故很多。如：徐州韩桥煤矿潘家屯副井多绳落地摩擦式提升机，由于原设计深度指示器采用的是传统控制方式，曾经发生几次过卷事故。最严重的一次是提矸石时，减速点没有起作用，司机也没有发现，没有及时采取措施，造成高速过卷，致使楔形罐道全部冲毁，天轮下的防撞木撞碎，给生产带来严重危害；广东韶关凡口铅锌矿四台提升机（一台交流拖动、三台直流拖动），在使用传统行程跟踪方式时，提升机过卷事故时有发生，有几次严重的过卷事故造成较大的设备损失，导致全矿停

产；1998年，河南平顶山市石龙区西区煤矿副井提升机由于行程控制系统故障发生坠罐事故，死亡14人；2002年，淮北芦岭煤矿主井提升机由于行程跟踪系统失灵，提升机在生产中发生过卷事故，事故使得主井架损毁，煤矿生产停工，造成了巨大的经济损失；2004年淮南新集煤矿由于位置检测控制系统故障发生坠罐事故，停产20多天，造成了巨大的经济损失。

提升机运行的状态不仅仅要符合《煤矿安全规程》的规定，而且总是把提升机运行的安全性和可靠性放在首位，为此，需对提升机的实际运行状况进行监控，对过速、过卷、深度失效、减速点滞后、加速度、减速度过大等方面进行监测^[8~10]。

可见，解决提升机位置跟踪监视问题，是防止提升机严重过卷的关键^[11~13]。目前煤矿提升机位置跟踪监测采用的是旋转编码器脉冲计数和计算机的定点校正技术，其控制系统得到的位置信号都来自于间接位置信号，和实际的箕斗（罐笼）位置差别有时很大。为消除提升机箕斗运行中的位置误差，国内外均想通过直接测量箕斗的位置信号对提升机进行位置跟踪控制和位置显示，到目前为止尚无成功的实例。山东兖州矿务局难题招标中屡次提出解决主、副井提升机箕斗位置显示问题，一直没有得到很好的解决方案。因此，研制高精度的矿井提升机位置跟踪显示系统是迫在眉睫的重要课题。

1.2 提升机安全监测的现状

随着现代化技术的发展，我国矿井提升机从传统的交流拖动发展到现在的可控硅直流拖动以及交流变频拖动，计算机、可编程控制器（PLC）也广泛地运用于提升机控制，但在位置跟踪监测方面还没有得到足够的重视。在提升机系统中，位置跟踪控制部分是其中的关键环节，提升系统的安全可靠性在很大程度上取决于位置跟踪控制环节的精确度和可靠性^[7]。

目前我国矿井提升机电控系统的位置跟踪控制部分大多采用机械模拟行程监测和控制。由于这种位置跟踪控制系统的固有缺陷，限制了提升机控制系统的控制精度及安全性能。特别是在多水平提升和建井阶段的提升中，提升速度图结构复杂，采用原先的位置跟踪监测和控制很难满足所期望的行程控制和保护功能。一些较为先进的煤矿采用了基于PLC的电控系统，包括对各种行程开关量的逻辑控制运算、对各种行程模拟量的计算机控制，但位置跟踪监测系统仍然采用旋转编码器脉冲计数方式实现。

1.2.1 现有方式

提升机位置跟踪控制是利用计算机来对提升机的行程进行采样, 根据设计确定的行程—速度曲线给出只与提升行程有关的速度给定值, 经速度调节系统控制提升机的运行速度。

目前, 国内矿井提升机系统的位置跟踪主要是依靠基于机械传动方式的深度指示器和基于电气方式的轴角编码器、行程开关来提供位置跟踪控制信号^[13~17]:

(1) 采用深度指示器指示行程

深度指示器是通过机械传动把提升机直线提升的距离反映到一个角度面板上, 并通过指针的转动反映提升机的行程, 这种方式一方面可以使得提升机司机直观地看到提升机的行程, 另一方面指示器在相应的位置上设置行程开关, 当指针转到该位置时, 行程开关动作, 提供给控制系统行程控制信号。

深度指示器把提升机几百米的行程反映在小于 360° 的面板上, 且它是通过机械传动的方式把提升电机旋转的圈数反映在面板上, 可靠性不高, 而且在实际使用中需要经常进行精度整定。深度指示器的精度一般是很低的, 因而这种方式只是系统行程控制的辅助方式。

(2) 对编码器发出的行程脉冲进行计数

这种位置跟踪监控方式是利用高速计数器对与提升机主轴硬连接的旋转编码器发出的行程脉冲进行计数, 行程控制计算机对该计数值进行处理得到提升容器的位置和提升行程, 并提供给行程控制使用。

位置跟踪控制系统中的关键技术之一是行程计数的准确性。在实际运行的系统中往往因行程计数的不准确而导致位置跟踪控制失效, 表现为提前减速、停车或滞后减速, 从而导致过卷事故。

影响位置跟踪准确性、可靠性的主要因素有:

- ①编码误差: 编码器本身的起、停位置引起的误差。
- ②运行误差: 由于滑绳、钢丝绳伸长、钢丝绳衬垫磨损等引起的误差, 运行误差与提升机的运行状况有关, 随机性大。
- ③连接轴的断裂: 使旋转编码器不能反映提升机的工作状态。

引起的这种误差一旦在一些关键点(减速控制点)产生, 就会使控制系统按照错误的状态信息进行控制, 而无法进行减速, 从而导致过卷、过放事故。

这种位置跟踪监测方式是通过间接检测目标（旋转编码器发出的脉冲）来反映被测目标（箕斗）的信息，其精度及可靠性均不理想。

(3) 采用计算机的定点校正技术

随着控制技术的发展，数字式控制系统和可编程控制器在提升电控系统中的应用日益广泛，数字行程控制已是现代提升电控系统的基本功能。解决位置跟踪计数误差（编码误差、运行误差）的有效方法是采用定点校正技术。

所谓的定点校正技术是指在井筒中的一定位置安装同步校正开关，当提升容器运行到此位置时使开关动作，控制系统强制将开关的实际位置值写入计数器并从此值开始计数，这样做不但可以克服运行误差，而且可以消除计数器的累积误差。但从现场运行情况来看，若对校正不进行适当的判别和保护，往往会造成误校正现象而导致计数值突变，使行程控制失效。有些系统虽然采用了一些措施（如设置多个同步校正点、选择高性能的磁性开关、校正动作闭锁等手段），但由于采用了这些保护措施，一旦同步校正有误，便进行事故停车，虽然可在一定程度上提高系统的安全性，但使得系统的稳定性受到影响，从而影响生产。

同时，采用这种方法还存在以下问题：

①校正点开关不管是机械式的位置开关，还是感应式开关，不论是国产的，还是进口的，由于受移动箕斗运行中摆动对开关的撞击（尤其是多绳摩擦轮提升机）和井筒中下落重物（箕斗卸煤时撒落下的原煤）的碰砸很容易损坏，修复工作量很大。尤其是在关键的控制校正点损坏时，极易导致过卷、过放事故。

②受校正点点数的限制，在两校正点开关区段内误差仍然较大。

1.2.2 存在的问题

我国煤矿提升机正在使用的位置跟踪监测方式，基本是基于模拟技术的过卷开关、同步校正开关等方式。目前电控系统大都采用接触式刷子开关、行程开关或井筒磁感应开关向控制系统反馈减速、停车、过卷信号，通过电控系统自动控制提升机按正常的速度曲线运行，实现减速、爬行、停车。

由于矿井井筒环境十分恶劣，提升机对各种开关的冲击非常频繁，每日箕斗卸煤造成的少量原煤散落对磁性校正开关的碰撞现象也比较频繁，以及开关质量较差，使得开关失灵难以避免。目前采取的这些安全措施仍然无法解决位置跟踪监测中存在的问题，而且由于上述隐患可能造成的事故表现为

随机性和突发性,使得系统难以把握事故的征兆,只能通过教育提高提升机司机的技术水平和责任心来控制提升系统,避免这类事故的发生。

一旦提升机到达减速位置时因减速开关失灵而导致减速失控,提升机将以全速到达井口停车位置,这时尽管停车开关、机械刹车工作正常,也会因提升机运行速度快、惯性质量大,井筒开关、继电器、机械闸反应时间长(一般为1.5秒)^[7]而导致提升机产生严重过卷、过放事故。

《煤矿安全规程》第373条明确规定:在过卷高度或过放距离内,必须安放楔形罐道或其他类型的缓冲装置,旨在把好提升系统的最后一道安全关。目前国内大多数提升设备都安装有防止过卷装置,这种装置的安装情况主要有^[6]:第一是安装在深度指示器上的终点过卷开关;第二是安装在井架上的过卷开关;第三是安装在井底和井架上的两套楔形罐道。但由于断轴、减速开关失灵或误动作,提升速度没有减慢,再加上钢丝绳的滑动、蠕动和伸长等原因,深度指示器不能正确反映提升容器的位置,往往是罐笼过卷2~4m时,过卷开关才动作,这时提升容器由于惯性将冲击楔形罐道,直逼天轮,可能损坏提升设备甚至井筒设施,造成人员伤亡的事故。因而其实质上只能使得全速过卷、过放这种不易控制的重大恶性事故变成能控制的非灾害或轻灾害事故,改善系统的安全状况,这也只能是安全的最后一关。

1.3 激光安全监测定位系统

根据一些事故的调查情况,提升机过卷事故主要原因是提升机位置跟踪监测系统的精确性、可靠性不高,采用机械模拟行程监测和控制有其固有的缺陷,为了提高位置跟踪监测系统的性能,我们可以采用高性能的激光测距技术^[18~22]来解决提升机跟踪定位的精确性、可靠性问题。

1.3.1 激光安全监测定位系统的现状和发展

测定两点间的距离是一个古老又年轻的课题,它一直是人类生产活动中不可缺少的组成部分。随着时间的推移,测距的手段在不断地增多、精度在不断地提高,测量内容也在不断地丰富。

较早采用的是用刻度尺进行直观的距离丈量,随着制尺技术的提高,这种方法虽然有一定的精度,但是费人力、费时间,而且在长跨度和地形复杂的地方,用丈量就非常困难了。

望远镜在1910年发明,使人们观测遥远的目标成为可能。在大地测量

学科的推动下,1915 年诞生了三角测量方法。这种方法是用精密线尺经反复丈量得到一条基线边,以此为边建立一个三角形,用经纬仪测得三角形的三个内角,再利用三角形的基本关系,推算出其他边的长度。经过几次三角形的测量,就可以把待测的边扩大到较长的测程上去。用经纬仪进行三角形测量,一次被测距离可达 10 千米以上。但这种方法是通过测角进行的,中间必须经过十分复杂的计算,并且由于三角形扩大过程中所产生的累积误差,精度往往满足不了工程上的要求。

20 世纪上半叶,光速的精确测定促使测距技术有了一次质的飞跃。用调制光作为尺子就可以以光的速度进行测距。1941 年,瑞典学者贝尔格斯川(Bergstrand)发明了著名的 Geodimeter (Geodimeter Distance Meter) 原理,并于 1948 年与瑞典的 AGA 厂合作,制成首台具有实用价值的 Geodimeter 样机,使长测程、高精度的直接距离测量使用成为现实,为以后的精密测距发展开创了一条宽广的道路。

20 世纪 60 年代,随着激光器的研制成功和半导体器件的广泛使用,开始出现激光测距仪。激光具有能量集中、方向性强、单色性高等优点,使测距仪容易做到远测程、高精度。加之电路上采用晶体管和集成电路,仪器结构小巧、携带方便,使得 20 世纪 50 年代被视为珍品的普通光源光波测距仪相形见绌。此后的二三十年里,随着激光、红外光、半导体、集成电路、微处理器等的发展,又研制出了各种新型的高效率、小而轻、自动化、全能化的光电测距仪^[56]。

多年来,一些工业比较发达的国家如瑞典、德国、瑞士、美国和日本等都在致力于激光测距仪的研制,其产品的技术指标也有了长足的进步,体现在:

◆高精度:瑞士 Kern 公司的 ME-5000 型激光测距仪的测程精度高达 $\pm (0.2\text{mm} + 0.2\text{ppm} \cdot D)$ 。

◆长测程:目前人卫激光测距已经可以做到上万千米的测程。

◆小体积与轻质量:日本 SOKKIA 公司 RED_{MINI}2 型测距仪总重量只有 800 克。

在众多产品中,用半导体砷化镓红外光束为光源、测程 1~3 千米、精度为 $\pm (2\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D) \sim \pm (5\text{mm} + 5\text{ppm} \cdot D)$ 的短程测距仪在数量和品种上都占了绝大多数。它们将发射镜筒和接收镜筒安装在经纬仪上,可同时实现测距和测角,并且一般带有专用电子计算机和自动显示装置,不但可以由测得的仰角立刻把斜距换算成水平距,同时又可以通过测得的气象元素

(温度、气压、湿度)对所测的距离进行气象改正,这种仪器通常称为“全站仪”^[57]。

与国外相比,我国测距仪的研制起步较晚,但也取得了丰硕的成果。其中在人卫激光测距方面已经达到国际先进水平,拥有上海、北京、长春等10个SLR(Satellite Laser Ranging)站,测距精度达到5cm的就有4~5个。

近程和中程测距仪的应用范围更加广阔,在这方面我国进行了不断的研究和生产,表1-1列出我国各个时期有代表性的几种光电测距仪及全站仪的情况^[23~24]。

表1-1 我国研制的光电测距仪及全站仪一览表

年份	单位	型号	光源	精度	测程
1973	北京大学与北京测绘仪器厂等	HGC-1	红外	$\pm(15\text{mm}+1\text{ppm}\cdot\text{D})$	2km
1976	清华大学与北京光学仪器厂等13家单位	DCH-1	红外	$\pm(10\text{mm}+5\text{ppm}\cdot\text{D})$	2km
1980	常州第二电子仪器厂	DCH03 DCH-2	红外	1~2cm	300m~500m
1991	常州大地测距仪器厂	D2000 D3000	红外	$\pm(5\text{mm}+5\text{ppm}\cdot\text{D})$	2.8km
1992	苏州第一光学仪器厂	DCH-2	红外土	$(5\text{mm}+5\text{ppm}\cdot\text{D})$	3km

从表中看出,大多数型号的测距仪还是采用红外光束作为光源,精度做得很好,测程也在2~3km,基本上满足工程上的测量需求。

激光测距仪经过不断的发展,目前来说其基本原理和系统构成已经非常成熟,其性能的提高只有依靠一系列的科学技术领域的发展,在某些环节上加以改善。

(1) 光源方面

GaAs 半导体激光器仍然是最有前途的测距光源,随着半导体技术的发展,将重点解决其输出功率小、方向性不佳以及输出波长随温度漂移等问题,从根本上提高测距的稳定性、精确度和增加测程。

(2) 调制器方面

无论是从调制器件上还是直接的调制电路上,都需要实现更高的效率、更快的响应和更好的相位均匀性,特别需要具有良好的高频调制特性。

(3) 光电接收方面

在精密激光测距中,需要小型化的快响应器件,频带达到 10^{10} Hz,而在小型化仪器中,则要求工作电压低而灵敏度高光电转换器件。

(4) 系统方面

方案应该以微处理器或数字信号处理器为重心,采用超大规模集成化部件,综合考虑测量、程序控制、数据处理、存储和输出的多功能系统。

另外,自动目标跟踪和无合作目标的短程测距仪也是新的发展方向。随着激光技术、电子技术、计算机技术的迅猛发展,测距仪作为光、机、电等高度综合性的产物,将沿着更小型化、高精度、远测程、易操作以及多功能的道路发展下去^[61~68]。在民用方面,高精度加工机床、高精度测距仪在生产中大量地应用;在军事方面,激光雷达可精确监测超音速飞机的三维信息,全自动武器火控激光测距系统可在恶劣的战场环境中获知高速目标的精确动态位置信息。

1.3.2 分类及优缺点

光电测距仪的种类繁多,一般可以按照以下进行分类:

(1) 按测量时间的方法分类

光波以光速 C 在空中传播,在待测两点间往返一次所需时间 t_{2D} 与两点间距离 D 的关系可由 $D = \frac{1}{2} C t_{2D}$ 表示,可知距离的测量转换为时间的测量。根据测量时间方法的不同,一般可以将光电测距仪分为脉冲式和相位式两种^[25~26]。

① 脉冲式测距仪

脉冲式测距仪是直接测定光脉冲信号在待测两点间往返的时间,从而求得被测距离的。测距仪发射系统发射一束光脉冲,由被测目标反射,在发射处接收返回来的脉冲信号,测出发射脉冲和接收脉冲的时间间隔,就可按公式求出测距仪到被测目标的距离。

脉冲式测距仪是激光技术在测绘领域中最早应用的,它的原理和结构简单,功耗小,并且由于激光的发散角小、脉冲持续时间短、瞬时功率很大,因而可测极远的距离。它在大多数情况下不使用合作目标,利用被测目标物对脉冲激光的漫反射获得反射信号来测距。

它在地形测量、工程测量、云层和飞机高度测量、战术前沿测距、导弹运行轨道跟踪、人造卫星测距、地球与月球间距离的测量等方面得到了广泛的应用。