

摘要：介绍了激光测距的原理及激光测距技术在城市轨道交通直线电机气隙测量中的应用，并提出了实际测量中相关问题的解决方法。

关键词：城市轨道交通；直线电机；激光；气隙；测量

目前，新型的城市轨道交通车辆采用了直线电机（LIM）牵引方式，直线电机有别于传统的旋转电机，它将电机的定子和转子分开布置，即定子位于列车侧，转子（又称感应板）敷设在轨道中央，在电流和磁场的作用下，定子与转子产生的相互作用力使列车相对于轨道运动，为保证一定的牵引力、减少能耗和列车限界的要求，直线电机的定子和转子的距离（以下称作气隙）应保持在一定的范围内，因此气隙日常测量维护是确保列车正常运行的重要环节，由于气隙测量是一个动态测量，且受线路长度、线路条件、直线电机电磁场干扰强度等因素影响，实际测量难度较大，目前国内外同行在该领域的研究仍在不断探索中，下文简单介绍激光测距技术在该领域中的应用。

1 原理介绍

20世纪90年代初，随着半导体激光二极管技术的开发，激光的实际应用发生了革命性的变化，半导体激光测量器具有测量精度高、体积小、重量轻、可靠性高、转换效率高、功耗低、驱动电路简单且不易受电磁场干扰等优点开始运用于测距领域。激光测距原理分为3种：一是脉冲法激光测距，测距仪发射出的激光经被测量物体反射后又被测距仪接收，测距仪同时记录激光往返的时间，光速和往返时间的乘积的一半就是测距仪和被测量物体之间的距离，脉冲法测量距离的精度一般在 $\pm 1\text{ m}$ ，适合于测定距离较远的物体（如建筑、地质等方面）；二是三角法激光测距（又称结构光扫描仪），以半导体激光器作光源，使其产生的光束照射被测表面，经表面散射（或反射）后，用面阵CCD摄像机接收，光点在CCD像平面上的位置将反映出表面在法线方向上的变化，即点结构光测量原理；三是相位法激光测距，它是用无线电波段的频率对激光束进行幅度调制并测定调制光往返测线一次所产生的相位延迟，再根据调制光的波长，换算该相位延迟所代表的距离。相位式激光测距仪一般应用于精密测距。目前广州地铁四号线直线电机气隙的测量主要采用三角法激光测距原理。

2 测量实施

车辆直线电机气隙是由车辆侧的定子和轨道侧的感应板构成，实时测量时若将测量装置安装在直线电机上则易受磁场干扰和列车运行的影响，测量出来超标点在线路中的精确定位难度较大，因此实际测量是采用分开测量的方法，即在线路中的某个点测量所经过列车直线电机定子（相对于轨面）高度，另外运用移动测量设备测量线路感应板（相对于轨面）高度，两者之差即为直线电机气隙值，该测量方法基本上能够反应出全线直线电机气隙的水平，在实际生产运用中效果较为理想。

下面就具体的测量方法作一介绍。

2.1 定子高度测量

定子高度测量是将激光测量器预埋的车辆段出入线的轨道中央（可以将测量器布置成与感应板等高，见图1）。采用三角法激光测距时，来自探头的激光光束照射在直线电机定子底面，并形成光点，该光的一部分被反射，通过光学镜头到达安装在传感器内部的CCD电荷耦合器的线性阵列（图2）。光点在阵列中的位置根据传感器与被测表面的距离按比例改变，内部数据处理系统能识别出其位置并直接给出被测距离。该测量方法适用于任何具有漫反射表面的材料的测量，表面反射率的变化由集成电子仪器加以补偿。



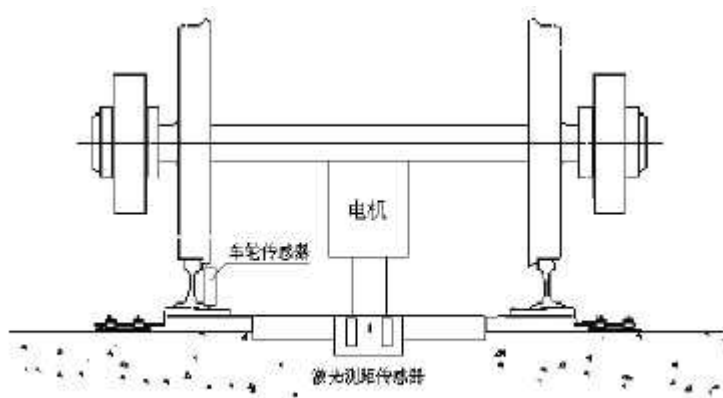


图1 激光测距传感器的布置图

系统测量时采用2套激光测距传感器来实现电机底面沿电机长度方向的2条轮廓曲线的数据采集，从而测出在动态环境下电机定子的高度，该测量方法亦称在线测量，它能够真实地反映定子的高度。

采用预埋设备的方法，系统相对固定，因此系统规模相对较大，功能也较为齐全，系统主要包括以下部分：中央控制管理系统、探测站（数据采集及前置处理设备）、车号自动识别装置、标定装置及其他辅助设备（图3）。考虑到方便操作、经济实惠等原则，探测站系统进行集成配置，包括多套激光测距传感器、车轮传感器、主机系统、微波天线、分线箱、电缆及整体钢枕系统等。

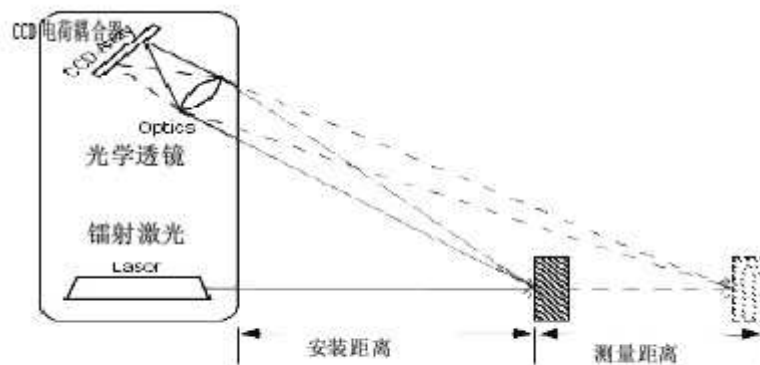


图2 三角法激光测距原理图

整个数据处理方法基于一个数字信号处理器（DSP），它自动控制激光能量和 CCD 阵列的曝光时间。同时应用同周期补光 RSTC 技术可以测量多种不同的表面，如光亮的金属，黑色的橡胶和粗糙的油漆面等。

该测量系统的优点是能够在车辆运行时实时在线测量电机定子的高度，同时具有自动判别列车运行方向、自动测速、自动计轴、计算列车数量，并根据设定的直线电机气隙最小值，实现故障或超限的预警、报警。缺点是系统投资规模和占地空间较大。



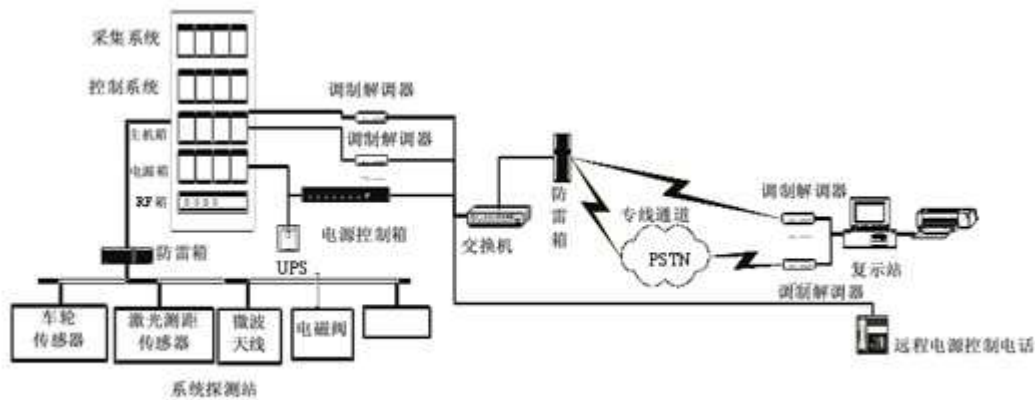


图3 控制结构示意图

2.2 感应板高度测量

感应板高度测量采用高度集成化的移动测量设备（以下称测量小车），测量小车由激光测量编码器定距、计算机图形处理等多种技术结合而成，测量小车走行部能够通过5#道岔和65m小半径曲线以及既有的城市轨道交通任何坡度线路，且满足铁路限界的要求，它具有体积小，重量轻等特点。操作者通过推动小车，便可实时监控当前里程对应的感应板的高度，大大提高了工作效率并降低了劳动强度。

与定子高度测量一样，该系统也是采用三角法激光测距，监测仪由2个激光传感器组成，分别测量感应板的两边，通过位移传感器等间距采样并计算当前的里程，然后经计算机处理分析后在显示屏上显示实时测量结果，测量小车采样频率高，可达到16kHz，测量精度 ≥ 0.04 mm，可进行事件触发（即发现数据超标才开始记录，以节约内存空间），传感器的采样间隔可调，数据处理可靠，不失真。系统构成图和主体示意图分别如图4和图5所示。





图4 系统构成图

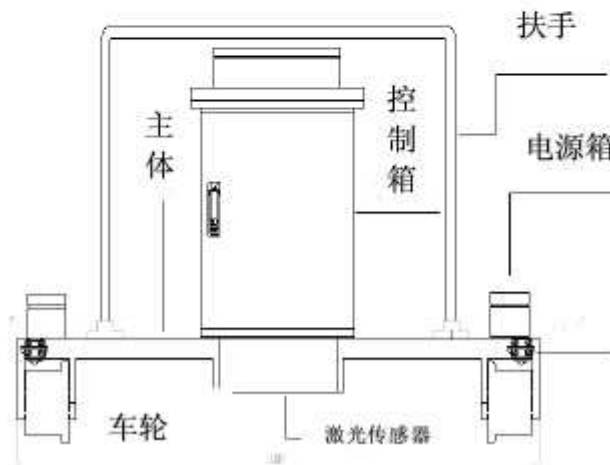


图5 主体示意图

为了适应全天候的气候条件，尤其是避免白天强烈日照对激光头采样的影响，激光驱动电路采用特殊设计使得激光头的激光点强度能够自适应闭环，保证测量数据不随环境温度、颜色、光亮度（太阳照射或夜晚较暗环境）等变化而变化，但该系统缺点是测量易受恶劣天气影响，且感应板上有杂物时也会影响测量精度。

传统测量法是采用人工方法对感应板高度进行抽样测量，操作者将高度测量尺靠在轨道上，通过调节尺的游标进行测量，由于现代城市轨道交通线路建设里程越来越长（如广州地铁四号线双向全长达 93.12 km），传统的手工测量方法效率低，一天仅能测量约 0.7 km，工作强度高，而且是非连续测量，易造成漏检的情况。激光测量小车的使用可以很好地替代手工测量，不但提高了工作效率，测量速度可达到 3 km/h，同时可以减轻操作者的工作强度和连续进行测量，为感应板管理人员提供了精确的技术参数，并便于测量数据的管理。

最后将测得定子高度减去转子（感应板）高度即为直线电机气隙值，从实测的数据表明广州地铁四号线直线电机气隙值基本为 11~12 mm，满足正常使用范围要求。

3 结束语

激光测距技术在广州地铁四号线直线电机车辆气隙测量领域的运用虽然刚刚起步，但是已经取得了明显的效果，它不但改善了测量效率，提高了测量精度，降低了检修作业人员的劳动强度，更避免了以往使用测量尺而造成的漏检情况，为直线电机车辆的安全、可靠运行提供了保障。随着技术的不断发展和功能的不断完善，激光测距技术在轨道交通领域中的应用将更加广泛。

参考文献：

[1]宋丰华. 现代空间光电系统及应用[M]. 北京：国防工业出版社，2004.



- [2]张小红. 机载激光雷达测量技术理论与方法[M]. 武汉: 武汉大学学术丛书, 2007.
- [3]崔炳哲. 应用激光光学[M]. 科学出版社, 2002.
- [4]杨中平. 日本直线电机地铁的发展[J]. 都市轨道交通, 2006, 19(1): 19-24.
- [5]广州市地下铁道总公司轨道交通车辆直线电机气隙测量研究成果报告[R]. 2007.

