# 扶梯扶手带速度偏差基准定位检测装置设计与工程应用研究

贾振兵　吴颖坤　耿周杰
天津市特种设备监督检验技术研究院　天津　300192

**摘　要：**随着我国自动扶梯与自动人行道的保有量持续增长，目前已约占全球总量的一半。而扶手带作为自动扶梯与自动人行道中乘客直接接触的关键部件，其运行速度与梯级实际速度的偏差对乘客的安全至关重要。传统的检测手段在精度、操作便利性、安全性以及成本等方面存在不同程度的问题。本文设计了一种精度高、操作简便、安全可靠且成本低廉新装置，为检测提供了新的技术手段。

**关键词：**扶手带速度偏差；检测装置；工业制造

引言：随着城市化进程的加速和人们生活水平的提高，自动扶梯与自动人行道作为高效便捷的垂直交通设备，在商场、车站、机场、地铁站等公共场所得到了广泛应用。这些设备的广泛使用，极大地便利了人们的出行，但同时也对其安全性提出了更高的要求。扶手带作为自动扶梯与自动人行道中乘客直接接触的关键部件，其运行速度与梯级实际速度的偏差对乘客的安全至关重要。依据《电梯监督检验与定期检验规则》TSG T7001 - 2023 的规定，扶手带的运行速度相对于梯级实际速度的允许偏差为 0～+2%。但在实际运行中，自动扶梯与自动人行道长期运行后，扶手带会因磨损、张紧力衰减等因素影响，其与梯级的同步状态可能恶化。因此，定期准确测量扶手带速度偏差，及时发现并纠正偏差问题，对于保障乘客的乘梯安全具有重要意义。

## 1 国内外研究现状

在扶手带速度偏差测量领域，国内外众多学者和研究机构进行了大量的研究工作。目前，主要的测量方法包括人工测量和仪器检测两大类。

人工测量方法较为常见，例如在扶手带上标定固定长度后用秒表计时，通过记录通过该长度的时间来计算速度；或者由检验员站在梯级上手持带线坠的钢板尺做标记，在扶梯启停阶段测量位移差。然而，这种方法的误差也不可避免。

仪器检测法中，同步率测试仪使用较为广泛。其基本原理是通过扶手带带动测速轮转动，进而测量扶手带的速度。但在实际应用中，测速轮与扶手带之间容易因摩擦不足而发生打滑现象，导致测量数据失准。此外，一些新方案，如机器视觉或光电传感技术，虽然在理论上能够实现较高的测量精度，但这些设备普遍存在价格昂贵、系统复杂的问题，在现场快速检测中难以推广应用[1]。

### 1.1 研究目标与内容

本研究旨在设计一种新型的自动扶梯与自动人行道扶手带速度偏差测量装置，以解决现有测量方法存在的不足，实现高精度、低成本、便捷的测量。具体研究目标包括：提高测量精度，能够准确测量扶手带速度偏差；降低装置成本，采用合理的结构设计和材料选择，在保证性能的前提下，大幅降低制造成本；提高操作便利性，使装置易于安装、调试和操作；增强安全性，避免检验人员在危险环境下作业，保障检验人员的人身安全。

## 2 新型测量装置的设计

### 2.1 设计思路

针对现有测量方法存在的精度不足、操作繁琐、安全性差以及成本高昂等问题，本新型测量装置的设计思路主要围绕提高精度、简化操作、增强安全性和降低成本这几个核心目标展开。

在提高精度方面，采用激光标记的方式，利用激光的高准直性和稳定性，在扶手带运行过程中形成固定的虚拟参考标记，能够更准确地反映扶手带的位移变化，从而提高速度偏差测量的精度。

在简化操作上，通过设计机械夹紧结构，使得装置能够快速、方便地安装在扶手带上，避免了传统人工测量中复杂的标定和标记过程，以及新型检测技术中对专业操作人员的依赖。

安全性方面，本装置无需检验人员站立在运行的梯级上作业，降低了检验人员在操作过程中因失去平衡或被其他物体绊倒而发生摔倒事故的风险，保障了检验人员的人身安全。

成本控制上，在保证装置性能的前提下，选用了成

本相对较低的铝合金板材、橡胶等材料制作装置的主要部件，有效降低了装置的制造成本。

2.2 装置结构组成

2.2.1 底座设计

底座是整个测量装置的基础支撑部件，其结构设计对于装置的稳定性和适用性至关重要。本装置的底座由两块铝合金板材加工而成，这两块板材的相对位置是可调的。在板材的底部，分别固定有一层弹性垫。这种结构能保证底座强度，增加底座与扶手带之间的摩擦力，防止打滑，减轻整体重量，便于检验人员携带和操作[2]。

通过螺纹丝杆结构，实现了两块铝合金板材之间相对位置的调节。螺纹丝杆结构通过旋转丝杆，使两块板材沿着丝杆的轴向方向移动，从而改变它们之间的距离。这种结构具有调节方便、精度较高的特点，能够满足不同宽度扶手带的适配需求。

2.2.2 万向节与激光笔安装

万向节固定安装于底座上方，它是实现激光笔多角度调节的关键部件。万向节选用球铰式万向节，其具有良好的灵活性和稳定性，能够在多个方向上自由调节角度。激光笔夹持固定在万向节上，通过万向节的调节，激光笔可以在多个方向上自由调节投射角度，并在调节到位后锁紧固定。保证在电梯运行过程中，激光笔相对于底座的位置保持稳定，从而使激光线能够准确地投射在梯级和盖板表面。

激光笔投射出的激光为一条连续直线，能够同时覆盖梯级表面和盖板表面。在测量过程中，激光线作为固定在扶手带上的虚拟参考标记，随着扶手带的运行而移动。在电梯静止状态下，在梯级和盖板表面沿激光线的位置做出初始标记。当电梯启动运行后，装置随扶手带同步运行，激光线持续投射于梯级和盖板之上。电梯运行至所需行程后停止，通过测量激光线偏离梯级初始标记的距离和偏离盖板初始标记的距离，就可以计算出扶手带相对于梯级的实际运行速度偏差。这种利用激光线作为参考标记的测量方式，相比传统测量方法，大大提高了测量的准确性和可靠性。

2.3 关键技术参数确定

2.3.1 弹性垫参数

弹性垫选用橡胶，厚度设定为3mm，这是经过多方面考虑和实验验证确定的。橡胶具有良好的弹性、耐磨性和耐腐蚀性，能够在不同的工作环境下保持稳定的性能。在与扶手带接触时，它们能够提供足够的摩擦力，确保底座与扶手带之间不发生相对滑动。同时，这种材料的柔韧性较好，能够有效地缓冲底座对扶手带的压力，避免对扶手带表面造成损伤。

从增加摩擦力的角度来看，橡胶表面具有一定的粗糙度，与扶手带接触时能够形成较大的摩擦力。当厚度较小时，摩擦力相对较小，在一些特殊工况下，可能会出现打滑现象。而厚度的增加，摩擦力会有所增大，但同时也会增加弹性垫的变形量，可能会影响底座的稳定性。综合考虑来看，3mm 的厚度能够在保证摩擦力的同时，兼顾底座的稳定性和对扶手带的保护。

2.3.2 激光笔参数

激光笔选用线式激光模组，其投射出的激光线宽度为2mm、长度为400mm，这样的参数设置是为了确保能够同时覆盖梯级与盖板之间的缝隙区域，满足测量需求。

激光线宽度设置在 2mm ，主要是考虑到测量的准确性和可视性。如果激光线过窄，在测量过程中，由于电梯运行的振动和测量误差，可能会导致激光线偏离标记位置，影响测量结果的准确性。而如果激光线过宽，虽然可视性增强，但会降低测量的精度。实验表明，当激光线宽度为 2mm 时，既能保证在电梯运行过程中清晰地看到激光线的位置，又能将测量位移的误差控制在较小范围内，满足测量精度要求。

激光线长度设置为400mm，是为了能够同时覆盖梯级与盖板之间的缝隙区域，以及保证在不同规格的自动扶梯上都能正常使用，为测量提供准确的参考标记。同时，较长的激光线在测量过程中也便于检验人员观察和标记，提高测量的效率和准确性。

## 3 测量装置的工作原理与测量过程

3.1 工作原理

本测量装置的工作原理基于相对位移原理，通过巧妙利用激光笔在梯级和盖板上标记参考点，实现对扶手带速度偏差的精确测量。其核心在于将激光笔作为一种稳定且直观的标记工具，与自动扶梯的梯级和盖板形成相对位移的测量体系。

当装置安装在扶手带上后，激光笔投射出的激光线作为固定在扶手带上的虚拟参考标记，具有高度的稳定性和可视性。在电梯运行过程中，扶手带带动装置同步运动，而梯级和盖板则按照各自的速度运行。由于激光线与扶手带同步移动，通过测量激光线在梯级和盖板表面的位移变化，就可以间接获取扶手带相对于梯级的位移信息。

3.2 测量过程详细步骤

3.2.1 装置安装与调试

在进行测量之前，首先要将测量装置正确安装在扶手带上，并进行必要的调试，以确保测量的准确性和可靠性。

将底座夹紧固定于待测电梯的扶手带上，调节两块铝合金板材的相对位置以适应扶手带的宽度。通过万向节调节激光笔的投射角度，使激光笔向下投射的激光线准确地同时覆盖梯级和盖板表面。调节到位后，将万向节锁紧，使激光笔相对于底座的位置保持固定，以保证在电梯运行过程中激光笔的稳定性。

3.2.2 数据测量与记录

在电梯静止状态下，首先在梯级和盖板表面沿激光线的位置做出初始标记。启动电梯使其正常运行，此时装置随扶手带同步运行，激光线作为固定在扶手带上的虚拟参考标记持续投射于梯级和盖板之上。电梯运行至所需行程后停止，在梯级和盖板表面测量激光线偏离初始标记的距离。将测量得到的梯级位移量和盖板位移量进行详细记录，以便后续进行数据处理和分析。为了保证数据的准确性和可靠性，建议进行多次测量，并取平均值作为最终的测量结果。

## 4 与现有测量方法的对比分析

4.1 精度对比

为了全面、准确地对比新型测量装置与人工测量、同步率测试仪等现有方法的测量精度，我们精心设计并开展了一系列实验。实验选择在不同型号、不同运行年限的自动扶梯上进行，涵盖了商场、地铁站等常见应用场景，确保实验工况具有广泛的代表性。

实验数据显示，人工测量的速度偏差测量结果离散性较大。例如，在某次测量中，不同检验员得到的速度偏差测量值在 1.5% - 4% 之间波动，平均值为 2.8%。同步率测试仪的测量结果虽然相对人工测量离散性较小，但仍然存在一定的误差。在相同的测量条件下，其测量结果在 0.8% - 2.5% 之间，平均值为 1.6%。相比之下，新型测量装置在相同的实验工况下，其测量结果在 0.2% - 0.8% 之间，平均值为 0.5%，展现出了显著的精度优势[3]。

4.2 操作便捷性对比

在操作步骤方面，人工测量方法较为繁琐，操作过程中任何一个环节的失误都可能影响测量结果。同步率测试仪操作简单，但在测量过程中需要时刻关注测速轮是否打滑，操作过程仍需要一定的专业技能和经验。新型测量装置在操作步骤上实现了极大的简化。检验人员只需将底座夹紧在扶手带上，然后调节激光笔使激光线同时落在梯级和盖板表面，最后启动电梯运行并在停止后测量激光线的位移即可完成测量。整个操作过程简单直观，普通检验人员经过简单指导就能熟练操作。

4.3 成本效益对比

从制造成本来看，人工测量主要依赖于简单的工具如秒表、钢板尺等，工具成本较低。同步率测试仪作为专业的测量仪器，其制造成本较高。新型测量装置选用低价稳定的材料，通过优化结构设计，在保证性能的前提下，有效控制了制造成本。

在维护成本方面，人工测量工具几乎无需维护，定期进行校准即可。同步率测试仪由于涉及电子元件和机械传动部件，需要定期进行校准、清洁和保养，以确保其性能稳定。新型测量装置结构相对简单，日常维护只需检查底座的夹紧结构是否松动、弹性垫是否磨损等，维护工作轻松便捷，维护成本较低。

使用成本方面，人工测量虽然工具成本低，但由于测量效率低，人力和时间成本巨大。同步率测试仪虽然测量效率相对较高，但由于其较高的制造成本和维护成本，分摊到每次测量的使用成本仍然较高。新型测量装置不仅制造成本和维护成本低，而且测量效率高，能够在短时间内完成大量检测任务，大大降低了每次测量的使用成本。综合来看，新型测量装置在成本效益方面具有明显优势，能够为检验机构降低检测成本，提高检测效率，具有良好的经济效益和应用前景。

## 5 结论与展望

从投资回报率来看，新型测量装置虽然有一定的购置成本，但因其在精度、操作便捷性和效率方面的优势，能够显著提高检验工作的质量和效率，减少因测量不准确导致的潜在安全风险和经济损失。通过快速准确的检测，及时发现并解决扶手带速度偏差问题，可降低自动扶梯事故发生率，保障乘客安全，避免因事故造成的经济赔偿和社会不良影响。从检验机构的业务拓展角度，高效准确的检测能力有助于提升机构的市场竞争力，吸引更多业务，从而带来更大的经济效益，其投资回报率远高于人工测量和同步率测试仪。综上所述，新型测量装置在成本效益方面具有显著优势，更适合在自动扶梯与自动人行道扶手带速度偏差测量中推广应用。

天津市市场监督管理委员会科技计划项目 编号：2023-W21

## 参考文献

[1]自动扶梯与自动人行道扶手带速度偏离保护测试仪.梁海腾；阮一晖；周诚.中国特种设备安全，2014(11)：16-17

[2]一种扶手带的运行速度偏差测量方法的应用研究.王进；王国军；肖锋.中国特种设备安全，2015(10)：19-20,26

[3]自动扶梯扶手带使用常见问题及防范措施.任发才；蒋涛.劳动保护,2025(08)：115-118