

一种新型高程差传感器的研究

摘要：本文介绍的是一种新型的高程差传感器的研制，本传感器是在小型轨检车水平检测的基础上提出来的。本篇主要说明了高程差传感器的提出背景、工作原理、以及在实验基础上对高程差传感器的特性参数的实验研究与分析，以此来证明此传感器的正确性与实用性。

关键词：高程差；压力传感器；实验测试；倾角

中图分类号：TP212.1 文件标识码：A 文章编号：1006-883X(2006)01-0023-04

朱洪涛 方华伟 王志勇



一、引言

铁路轨道状态检测装置是铁路运输高速化和现代化管理的重要技术装备，其主要作用是检测轨距、水平、轨向、高低等轨道几何状态。

大型轨检车中采用了以陀螺仪为核心的惯性式测量系统，该系统测量精度高，响应快，能够很好地满足测量系统的需要。然而，由于大型轨检车价格昂贵，开发难度大，运营费用高，操作困难，体积大，使用效率不高，在很大程度上限制了大型轨检车的适用范围。

由南昌大学和江西日月明公司合作开发的小型轨检车检测系统（以下简称轨检仪）是一种新型轨道几何状态检测装置，它主要用于测量轨道静态几何状态参数，能够全面代替道尺与人工拉弦等原始的静态检查手段，迅速全面地得到轨道的几何状态信息，与大型轨检车配合使用，一静一动，共同构成了轨道检查的数字化设备基础。

受价格、体积与维护条件等各方面原因的影响，大型轨检车中常用的惯性测量基准并不适用于轨检仪。轨道水平状态是轨道状态检查的核心项目之一，轨检仪一般采用倾角传感器来承担该项目的检测。

目前，市场上成熟的倾角传感器可分为摆式（机械摆、液体摆或气体摆等）与伺服加速度计两大类。摆式传感器普遍存在频响低、分辨力低的问题，不能适应轨检仪的应用要求。因此，现行的轨检仪系统中多采用伺服加速度计类的倾角传感器，但是，这类传感器存在二个比较突出的问题：价格比较高，尤其是进口产品非常昂贵；受振动、横纵向加速度的影响非常大，加速度的影响已经成为困扰。

二、轨检仪水平检测的制约性问题。

水平检测是用左右两轨轨顶的高程差来表示的。轨检仪借助于倾角传感器测量左右两轨轨顶连线的倾角，再按标准轨距 1435mm，通过三角函数关系换算成高度差，存在以小测大的问题，这是造成轨检仪对倾角传感器的分辨率和精度要求很高的主要原因。

我们在实际工作经验的基础上，提出了一种以液体为介质的基于差压理论的新型高程差倾角传感器的技术构想，它能完成对高程差的直接测量，具有线性度好、受振动、加速度影响小、成本低等一系列优点特别适用于轨检仪对水平项目进行测量。

三、高程差传感器的原理

一般来说,普通的液体摆式倾角传感器之所以频率响应不高,根本原因在于它是利用液体受重力作用保持液面水平这一机械运动过程,从被测对象发生倾斜到液面恢复水平状态,需要一个较长时间。

我们可以换一个思路:如果仍用液体作为介质,使液体处于密闭容器中,当容器发生倾斜时,液体相对于容器并不产生相对运动,但是,根据帕斯卡定理不难想到,容器中各处的压力将会产生相应的变化。因此,我们可以利用压力的变化而不是液体的机械运动来测量倾角的变化。

从理论上讲,由于在液体中压力的传递速度相当于液体中的声速,远远大于机械摆或液体摆等机械运动的速度,因此这种传感器的频响应明显地高于各类摆式倾角传感器。同时,通过敏感元件的合理布局巧妙地处理静态压力与动态压力之间的关系,并对液体阻尼进行的合理利用,便能够从原理上有效地降低传感器受振动、加速度的影响的程度。

高程差倾角传感器工作原理示意图可以简单地表示为一根细管在其两端连接两个压力传感器组成,管中充满液体。两端压力传感器零点与增益经过仔细调节后达成一致,按差动方式连接。

高程差倾角传感器的工作原理如下:

当两压力传感器处于同一水平时,两侧压力测点处的压力是相同的,由于2个压力传感器的特性相同,其输出电压的差值为零。

当传感器倾斜时,根据帕斯卡定律,两侧测压点处的压力将出现相反的变化,一侧压力加大,另一侧减小。两侧的压力差为:

$$\Delta p = \rho_{\text{液}} g H \quad (1)$$

因此,压力差与两侧压力测点之间的高度差 H 成正比,进而可以求得角度:

$$\theta = \arcsin H / L \quad (2)$$

这种高程差倾角传感器在某些需要测量高度差的场合下,有其显著优点,它直接以高度差来表示倾斜度或倾角的大小,比用其他倾角传感器测量角度后再通过换算而转换为高度更直接。而且,由于两个压力传感器之间的距离可根据应用的场合进行设计,传感器的尺度可以尽可能地接近被测对象的长度(如轨距 1435mm),避免用倾角换算为高度差时因被测对象尺度过大而面临的以小测大的问题。

如:某倾角传感器的精度为 1° ,两测点间距为 100mm,测量误差为: $100 \times \tan 1^\circ = 1.75\text{mm}$,当两测点间

距变为 1000mm 时,测量误差为: $1000 \times \tan 1^\circ = 17.5\text{mm}$ 。

若采用高程差倾角传感器,精度为 1mm,由于采用的是压力差原理,当高度不变时,压力差不变,故精度不变,所以,当两测点间距由 100mm 变为 1000mm 时,由于传感器可进行匹配设计,精度仍可期望为 1mm,不会由于间距发生变化而产生更大的误差。

四、高程差传感器技术参数的实验研究

基于以上分析,我们设计并制作了试验样机,并对样机性能进行了实验研究。根据我们实际应用情况的要求,我们选择了上海朝辉压力仪器有限公司的产品 PT124-210B 型产品,此压力传感器是采用扩散硅压阻效应制成的。其特点是全密封不锈钢焊接结构、小体积、高灵敏度、零点满度可调节。其技术参数如下:

量程范围: $0 \sim 10\text{kPa}$

精确度: $0.2\% \text{ F.S.}$

输出信号: $0.5 \sim 4.5\text{V}$

供电电压: $+5\text{VDC}$

温度补偿: $-20 \sim +65$

零点漂移: 小于 $\pm 0.05\% \text{ FS/}$

量程漂移: 小于 $\pm 0.05\% \text{ FS/}$

过载压力: 1.5 倍满量程或 300MPa

此传感器出来的信号较大,当两压力传感器差动输出,高度差为 1mm 时,合成信号输出幅值为 $(4.5 \sim 0.5) / 1000 = 4\text{mV}$,此信号较小,需要从电气上进行处理,如放大,滤波,调零等,我们采用的是 AD620 作为前置放大电路, TL084 实现跟随,滤波,放大,调零电功能。同时,利用示波器,分析仪,标准电源,高精度铣床进行测试实验。

1、灵敏度实验

灵敏度是传感器输出量增量与被测量输入量增量之比。线性传感器的灵敏度就是拟合曲线的斜率,即 $K = \Delta y / \Delta x$,非线性传感器的灵敏度不是常数。我们对灵敏度实验的数据如下:

固定压力传感器一端,升高压力传感器另一端,测量出两压力传感器之间的高度差,记录数据见表 1。根据数据,采用 Matlab 进行曲线拟合,得到如图 1 所示图形,其线性数学模型为:

$$y = 3.3388x + 10.6761 \quad (3)$$

由上可知,所测数据基本呈现线性关系,灵敏度为:

$$K = 3.3388(\text{mV/mm})$$

2、回程差实验

回程差是反映传感器在正(输入量增大)反(输入量减

小)行程过程中输出—输入曲线的不重合程度的指标。

按每次增量为 2.00mm 正反行程记录数据,记录每个位置的数据如表 2。两次记录数据高次(5 次)拟合对比如图 2 所示。

根据上述实验两次记录的数据,在每一点求两次记录数据的差值,即可验证回程差性,数据比较如表 2。可得到正反行程最大差值 $x: \Delta H_{max} = 0.931 \text{ mV}$

所以回程差为:

$$e_H = \frac{\Delta H_{max}}{Y_{F.S.}} \times 100\% = \frac{0.931}{4000} = 0.023\% \quad (4)$$

表 1 灵敏度实验数据

输入高度 (mm)	0	2	4	6
输出电压值 (mV)	10.917	16.868	23.853	31.033
输入高度 (mm)	8	10	12	14
输出电压值 (mV)	37.399	44.322	50.968	58.587
输入高度 (mm)	16	18	20	22
输出电压值 (mV)	65.012	70.573	76.716	84.014
输入高度 (mm)	24			
输出电压值 (mV)	90.553			

表 2 正反行程实验数据与正反行程最大差值 ΔH_{max}

输入高度 (mm)	0	2	4
正行程输出(mV)	-36.323	-29.8671	-22.7197
反行程输出(mV)	-36.4434	-28.8243	-21.8333
差值 ΔH_{max}	-0.1204	1.0428	0.8864
输入高度(mm)	6	8	10
正行程输出 (mV)	-16.0357	-8.74329	-1.92343
反行程输出(mV)	-15.1326	-7.98971	-1.68271
差值 ΔH_{max}	0.9031	0.75358	0.24072

表 3 线性度实验数据

输入高度 (mm)	34	32	30	28
输出电压值 (mV)	114.25	107.69	100.85	94.11
输入高度 (mm)	20	18	16	14
输出电压值 (mV)	66.52	60.13	53.60	46.50
输入高度 (mm)	6	4	2	0
输出电压值 (mV)	20.43	13.77	6.47	-0.70
输入高度 (mm)	-8	-10	-12	-14
输出电压值 (mV)	-27.28	-33.70	-40.69	-47.53
输入高度 (mm)	-22	-24	-26	-28
输出电压值 (mV)	-74.77	-80.65	-87.98	-94.97

3、线性度实验

线性度实验主要是验证传感器输出 - 输入校准曲线与工作直线之间的吻合程度。记录数据如表 3。对表中数据进行曲线拟合如图 3 所示。线性拟合数学模型为:

$$y=3.3634x - 0.2390 \quad (5)$$

根据端点线法,以传感器校准曲线两端点的连线作为拟合直线。由上述拟合知,拟合直线的方程式为:

$$y=3.3638x-0.1188 \quad (6)$$

通过对拟合直线与理论直线每测量点对应的误差计算可得: $\Delta L_{max}=0.665\text{mV}$ 。

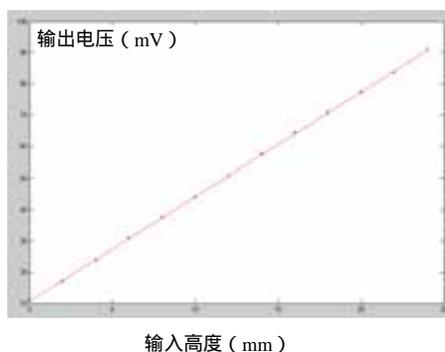


图 1 灵敏度曲线拟合示意图

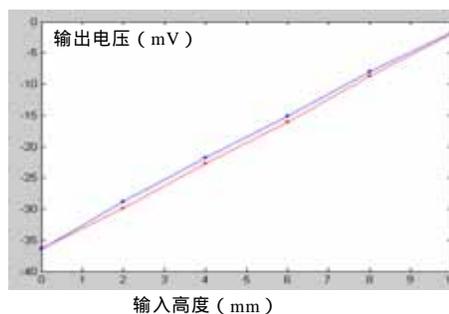


图 2 回程差拟合示意图

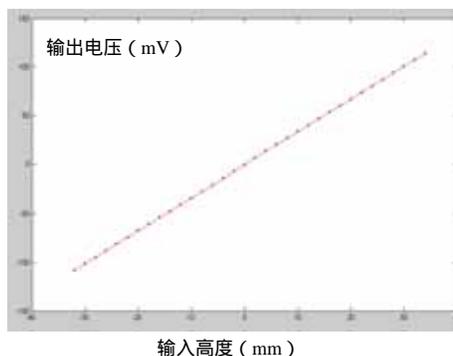


图 3 线性度曲线拟合示意图

通过对拟合直线与理论直线每测量点对应的误差计算可得： $\Delta L_{max}=0.665\text{mV}$ 。

则线性度误差为：

$$e_L = \pm \frac{\Delta L_{max}}{y_{F.S.}} \times 100\% = \pm \frac{0.665}{4000} = \pm 0.017\%$$

故此高程差传感器有较好的线性度。

五、结束语

本课题研究的传感器是一种经济型的能够直接测量高度的高程差传感器，通过我们的实验可以证明，此传感器的性能是能够达到小型轨检车的基本要求的，同时，此传感器用途广泛，不仅可以用于铁路的轨道检测，测井斜，房屋的建筑，同时还可以广泛的用于坦克，舰船，飞机，车辆和机器人等姿态测控系统等工程中。

参考文献：

- [1] 贾伯年 俞朴主编. 传感器技术(修订版)[M]. 南京: 东南大学出版社. 2000.
- [2] 杨宝清编著. 现代传感器技术基础[M]. 北京: 中国铁道出版社. 2001
- [3] 张维胜. 倾角传感器原理和发展[J]. 传感器世界. 2001.(8)
- [4] 余瑞芬著. 传感器原理(第二版)[M]. 北京: 航空工业出版社. 1995.8.

The Study of New-style Sensor Based On Dif-high

Abstract: The study of a new-style sensor based on dif-high is introduced in this paper. The sensor is brought forward based on plane measurements of trace recording vehicle. The background, the operating principles and the experimental study and analysis based on the experiment of the new-style sensor for characteristics are described, which improved the correctness and practicality.

Keywords: altitude dispersion; pressure sensor; experiment measurement

作者简介：

朱洪涛，南昌大学教授，硕士生导师，江西省高校中青年学术带头人，全国高校机电控制与机器人研究会常务理事，研究方向为测试控制与机电一体化技术。

方华伟，机械电子工程专业硕士研究生，研究方向为测试、控制与机电一体化。

通讯地址：南昌大学（南区）机电研究所测试控制与机电一体化实验室 邮编：330029。

EMAIL：toptree2003@163.com 电话：0791 - 8305370

王志勇，南昌大学讲师，研究方向为测试与控制技术

本文编辑：陈明 读者服务卡编号 005