

新型光电编码位移传感器设计方案

1 技术背景与主要设计挑战

目前的位移测量数显技术所用的传感器，常以模拟方式结构型居多，包括电位器式位移传感器、电感式位移传感器、自整角机、电容式位移传感器、电涡流式位移传感器、霍尔式位移传感器等。有研究资料表明，迅速发展的数字式位移传感器也得到了广泛的应用，其优点是信号直接送入计算机系统，如感应同步器、码盘、光栅式传感器、磁栅式传感器。本文推出的是一种称直接编码数显的位移传感器，也可称超长编码电子尺。与上述传感器相比：结构简单、性能稳定、使用方便、性价比优。与超声波、雷达、磁致等无接触的测量手段相比，是彻底改变了用电信号转换分度的方式，最大的优点是在使用过程中可与公制尺对照，标定检验方便，可信度高。

2 结构原理

本光电编码数显尺也称电子尺，是利用条形码数字化原理和机械移动触点数字化，二者巧妙结合的高科技产品。明确的说是用一定规格的黑点保持一定的间距直线排列组成的一群黑白点阵的集合，代表一个单元的刻度，相当于目前的直尺的线条刻度，也就是说用无数条黑白点阵集合，就可以代替了钢卷尺的无数条线条刻度，同时利用激光扫描器在此尺带上移动对无数条黑白点阵集合进行扫描，就可以方便的读出相应的数据。如同日常使用的条形码原理，也是利用黑白线条的间距组成一组编码，代表第一组数字 1；在直线处相邻的位置也用同样的方法组成第二组编码，代表第二组数字 2；依次类推可以在同一条尺条位置上编写很多组连续的自然数，如 1、2、3、4、…。并且它们的间距为 1 毫米，这样连续编码的符号通过激光读码器便可以一一的读出整个数列，那么这条直线黑白符号和激光读码器就构成了我们称的光电编码数显位移传感器。结构如图 1、图 2、图 3 示。

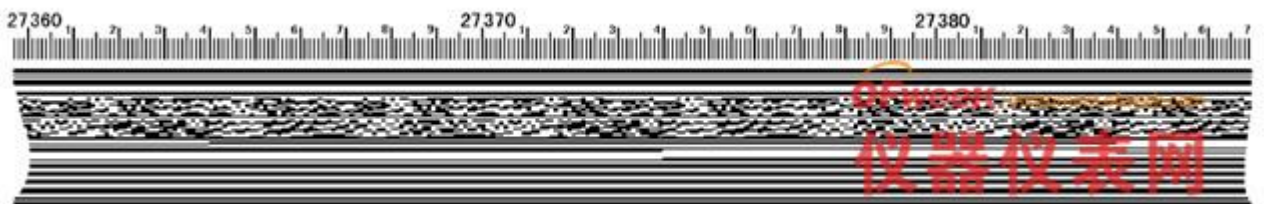


图 1 公制尺和光电编码尺在不锈钢尺带的同一面



图 2 公制尺和光电编码尺在不锈钢尺带的异面

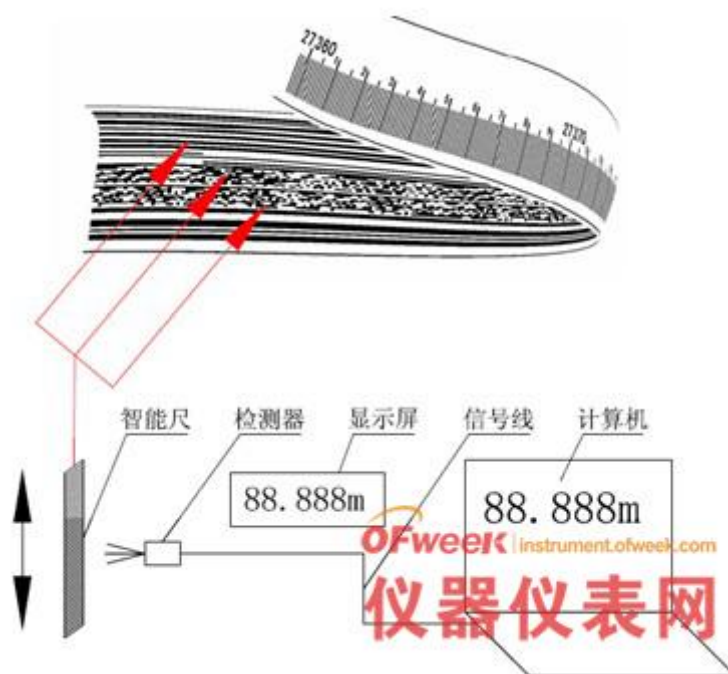


图 3 扫描显示示意图

如图 3 示。扫描器上安装显示屏，可以构成单点显示，如果扫描器通过网络与计算机对接，可以实现多点显示。是测量长度（含各种几何尺寸）、位移、液位、船舶水线、闸门开度、阀门准确定位的现代化测量工具。其特点是：属光栅扫描原理、绝对编码组成、可正反运行、失点恢复运行、双刻度对照（公英制和自动）、自动显示、大量程（0-100 米以上）、分辨率高（小于 1 毫米）、性能稳定（不受温度变化等环境干扰因素）、可以测量任意线型、操作方便、安全快捷。彻底改变了传统的模拟量 4-20 毫安电流分度的结构形式，不需要进行温度补偿等环境因素造成的麻烦，还具备存储、记忆、运算等综合处理功能，也可以与计算机对接进行更多高层次的数据信息管理，可以方便的输送到各个领域实现现代化科学管理。

3 设计技术规格

- 3.1 测量范围：0.1~100m 以上，分 10、20、30、50、100m 档系列产品。
- 3.2 测量精度：小于±1mm 或累计误差小于 3%。
- 3.3 分辨率：1mm，特殊需要，加级测量可以小于 0.5mm。
- 3.4 适宜温度测量范围：-30℃~+65℃即常规电子元件承受温度。
- 3.5 温度漂移：理论上无零点漂移和温度漂移，接近钢卷尺的线性膨胀系数。
- 3.6 重复性：绝对编码显示，可进退测量，重复测量无差异。
- 3.7 应用场合：酸碱腐蚀性强的环境，防爆防潮等级：本质安全型，IP65。
- 3.8 电源：220V 或者 24V。

4 优缺点

比较编码数显位移传感器，也可称电子尺，最适合用于超长度测量，只要有做尺材料的可能，印刷技术的配套，百米以上的电子尺就可以轻松的实现。与其它形式的电子尺或超长磁尺、或其它无接触测量形式相比有如下优点：

4.1 制作工艺简单，使用操作方便，性价比优。与拉绳传感器或其它类型的电子尺相比，制造工艺简单方便，所用的激光扫描器和条形码原理都是国内外通用的成熟技术，不仅造价低，操作方便，如果制成自动钢卷尺，便可作为便携式测量工具，一个测量点的配置仅需几百元。

4.2 性能稳定，干扰因素少，质量可靠。常用的电信号转换的传感器，大多数都是将物理或者几何量转换成 0—20 毫安电流信号，然后再将 20 毫安电流信号进行 A/D 转换分度，理论上精度可以达很高，但与处理元件等级有关，造价低的元器件，稳定性都比较差。特别是温度影响无处不在，无时不有，常规测量有失误现象。作者调查过：航运船舶上安装的超声波水声测量仪，一台数万元，说明书精度等级也不错，但实际使用时，在码头口对 5-8 深的河床测量时，有时常 2-3 米之多，性能极不稳定。雷达测量仪也有同样的问题出现。编码传感器彻底改变了电量分度的形式，完全是采用光电编码的技术，不受温度等环境因素的影响。科学的分析其稳定性，应该说就只受其尺条材料热胀冷缩时线膨胀的影响，如果与被测量体是同种材料，测量精度就有可能更好。

4.3 分辨率高：本光电编码传感器的分辨率有两种处理方案。

其一，直接显示方案：在尺带上每一毫米距离印刷一个条码，条码的高度 1 毫米，宽度 20-25 毫米，条码的间距为零，即条码的距离就是本尺的分辨率，这样的精度等级应该说与钢卷尺的精度是同步的，即是在现在的钢卷尺增加一条自动读数的电子尺了。

其二，放大显示方案：在直接显示方案的基础上，在读数器扫描处，进行局部放大显示，相当于游标卡尺的滑尺原理，进行二次读数，两次读数的组合就是本电子尺的准确读数，它的精度取决于二次分析读数的精度。根据需要，投入的多，精度就高。

按常规用尺，一般场合分辨率达 1 毫米，应该说完全可以满足需要，例如测量一米的距离，一毫米的分辨率，其绝对误差按一毫米考虑，其偏差值最大也就是 $\pm 1\%$ ，如果是 10 米量程，那就是 $\pm 0.3\%$ 偏差值。

5 推广应用领域

5.1 用于长度测量领域，可制成自动读数的智能钢卷尺，如图 4 示。即光电编码尺印刷在钢卷尺条的异面，并在钢卷尺壳中规定的位置安装激光扫描器。当使用拉出尺条测量时，扫描器也和光电编码尺条作相应的移动，同时便不断的读出相应的刻度。最大的优点是两尺可以对照读数，方便、清晰，并有运算储存功能。如果钢材市场用来测量型钢的长度，将横截面积存入智能钢卷尺，只要选种相应的型号，按确认键，便方便得出型材的重量。如果在现场测量，可以将测量过的型材数据一一存储到智能钢卷尺的内存中，待测量工作全部完毕后，回办公室与计算机对接，存入计算机系统，进行综合处理，有利于现代化科学管理的需要。智能钢卷尺是光电编码尺的推广应用，是本技术在其它领域推广应用的基础，只要有了编码尺条与其它机械设备对接，配置相应的计算机网络系统，就可以在很多领域推广应用。还可以测量几何尺寸和几何角度。由于同一条尺的两侧或者两面有公制长度尺和条码电子尺所示的长度值对照，随时可以达到对照、监控、检验的效果，保证了尺的准确性、稳定性。杜绝了人为和自然失误的现象。



图 4 智能钢卷尺

5.2 用于液位测量领域，可制成各种形式的液位仪：如图 5 示。

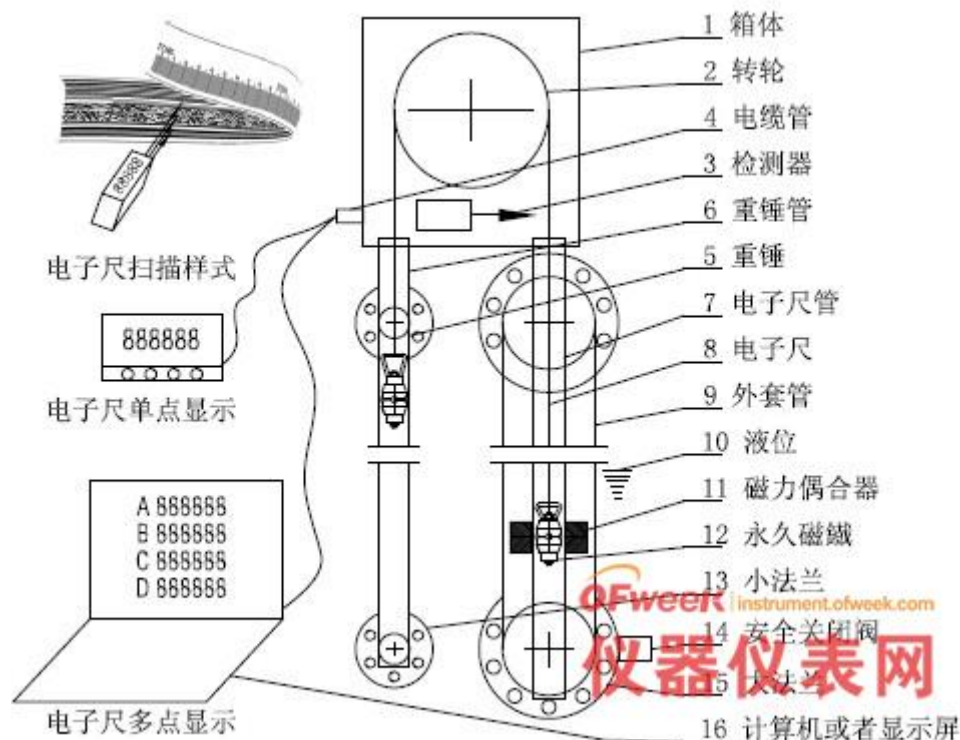


图 5 油位测量示意图

目前的油位测量仪表不少，但管用可靠的不多。如某网站 2007 年 07 月 02 日报道过《国内首套水上油料库存管理监测系统通过验收》一文中介绍：“中长燃投用全自动液位库存监测统计量精确度达到 1%。目前，这套库存检测系统经过两年多的实践运行，情况比较稳定，通过验收后已在中国长航中长燃所属，芜湖、武汉、重庆分公司推广，被中国长航集团授予科技进步二等奖。”

2010 年 4 月 26 日，作者现场考察了在推广应用的某加油站，对实际情况和理论数据进行了对比，感觉到在稳定性和准确度方面还需要提高。据现场计量人员介绍说，误差还是比较大，不稳定，只能作为去批发油时大概的储油来判断有油或者无油的参考，工人交接班时，还是要人工用油尺测量油舱的油位为依据。交接班对储油量的交接，涉及到工班间的经济责任制，测量数据必须准确。现场测量需要一定的时间，故此，交接班安排是上班的人要八时到班，下班的人要十时离岗，重上班 2 小时左右。与理论上说的“共同测舱时间由以前半小时缩短为 5 分钟”，有较大差距。因此，急需要研制出一种新型的自动显示的性能稳定的液位测量设备，本光电编码电子尺就是最佳的选择。

5.3 闸门、阀门开度测量领域，使用光电编码电子尺后，就更加方便的实施闸门、阀门自动控制。如图 6 示。

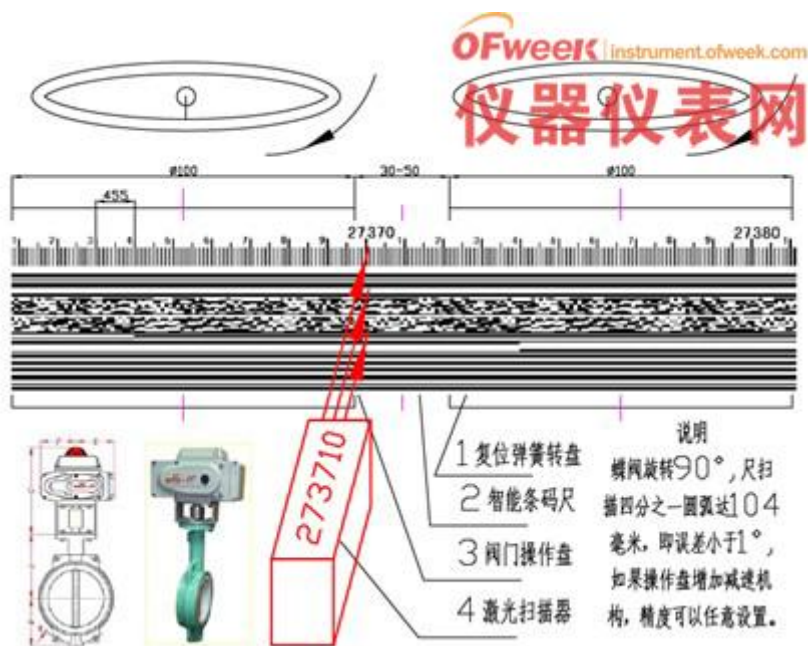


图 6 油位测量示意图

应用闸门开度自动控制比较直观,将尺条和扫描器安装在闸门的传动干处即可。比较复杂的是阀门开度的自动控制。阀门控制装置又简称阀门定位器,也是自动控制中目前需要解决的难题。特别是石油化工行业,自动控制系统中对阀门开度要求非常准确,不允许有失误的现象,光电编码电子尺就可以满足上述要求。

阀门一般有两大类型,一种是丝杆升降手柄调节装置,另一种是手柄角度调节装置。不管是哪种调节装置,都可以在调节手柄上安装尺条和扫描器,从而方便的实现扫描定位控制。

5.4 水位测量领域,用于江河湖海水位测量监控,方便科学管理,如图 7 示。

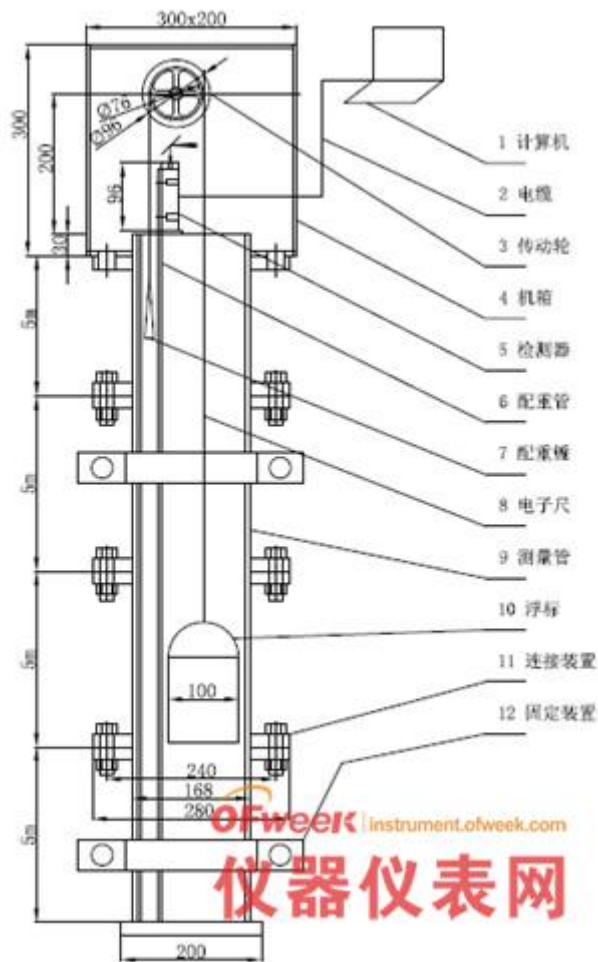


图 7 水位测量示意图

目前对水位测量的研究已经有不少测量手段，作者见过微压式和水电阻式两种比较先进，但是稳定性方面，还不理想。如果利用光电编码电子尺，去测量水位就会更进一步，性价比更好，更加安全可靠。用于水位测量安装简单方便，只要在需要在测量的地方安装一根立水管，在管中安装浮球转轮架和尺条扫描器系统，当水位发生变化时，浮球上下移动，带动尺条也随之移动，扫描器即可读出水位的涨落情况。并可以定时打印记录，记下水位变化规律。此技术特别适合水库、江、河、湖、海、大型水池等水位变化的现场管理。同时水位管理，对河、海航运也极有好处，如果各河、海航道都有准确水位预报，就可以通过卫星导航，明确前方航道的河床深浅，与目前正在用的海图连成一体，有利于船舶安全航行。

4.5 船舶水线测量领域，形成船舶电子水尺，实现准确计量。光电编码传感器安装在运输船舶上，可以构成电子水尺。电子水尺安装方式的不同，分两种结构形式：主动船舶吃水检测系统和被动船舶吃水检测系统。

其一，主动船舶吃水检测系统，是在运输船舶自身上安装的水尺，为本身船舶装载计量服务。也称四角吃水，目前已经推广了压力型传感器结构形式，但性能很不稳定，就等于是聋子的“耳朵”，应付验收用的，无实用价值。

为了搞清楚船舶电子水尺的意义，在此有必要介绍下船舶水线和装载的关系。船舶是水上货物运输的大型设备。小侧几吨，大侧几万吨，更大的侧几十万吨。特别是海洋运输，国际交往，没有任何工具可以替代。特别是较低廉的物种，如废钢、矿石、煤炭、建材等都是通过水线计量。

自两千多年前三国时期，就有曹冲称象的故事。这一古老的计量技术至今还在延用，曾经人们也动过不少脑筋，研制出高精度抓斗秤、电子皮带秤、电子轨道衡等大型计量设备，都以为使用条件苛刻，对环境要求高。不能用于港口装卸和商业交往。早在 1987 年交通部标准计量研究所曾经发（87）62 文进行研究，如图 8 示。

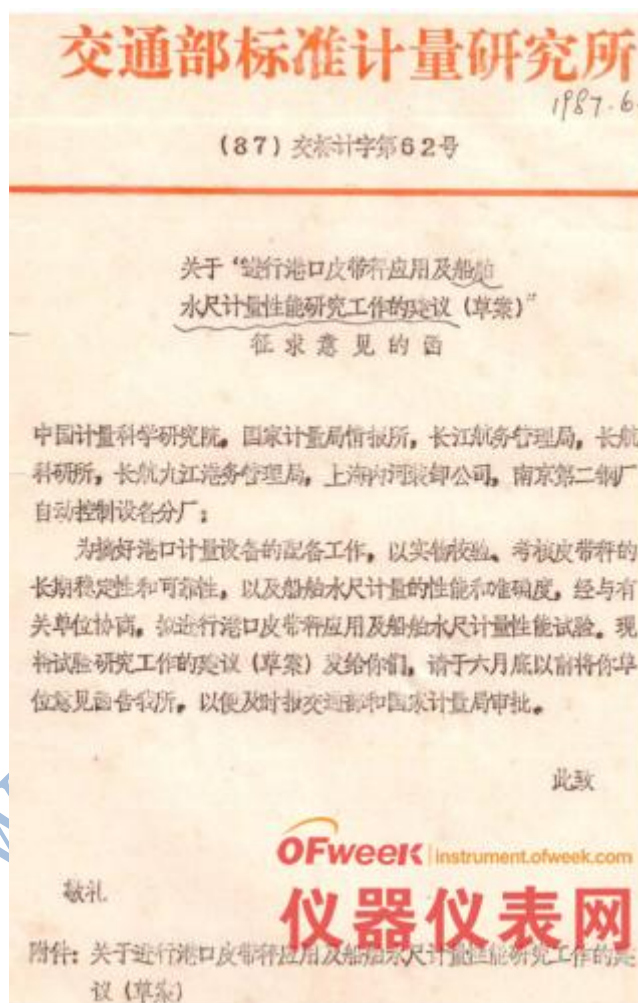


图 8 交通部文件扫描图片

到目前为止问题依旧没有解决，但水尺计重又非用不可，为此，国家各部委相关出台了水尺检测法规。如中国船检按船级社 2006《钢质海船入籍规范》要求，按船舶设计院设计审批水尺图纸制作，有数控切割字形，手工电焊定位，涂上白色油漆。按规矩要求误差正负 1 毫米，实际满足不了。这样制造的水尺比较粗糙，刻度分辨率具体的说是 40 毫米（线宽 20 毫米，线间距 20 毫米）最好的状态下估读充其量有正负 10 毫米的偏差。如图 9 示。

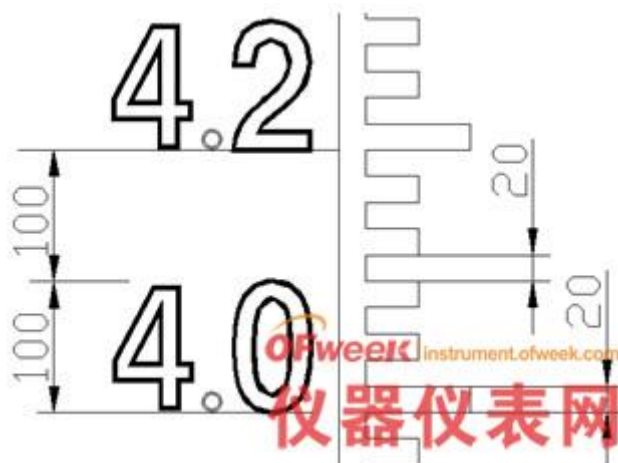


图 9 目前的外壳水尺局部样式

然而中国造船质量标准的要求：规定误差不能大于 ± 1 毫米。如图 10 示。

1.10 吃水标志和干舷标志

1.10.1 吃水标志偏差按表 3-1-44。

表 3-1-44 吃水标志偏差

单位为毫米

项 目	标准范围	允许极限	备 注
相对于直尺	± 1.0	± 2.0	—

1.10.2 干舷标志偏差按表 3-1-45。

表 3-1-45 干舷标志偏差

单位为毫米

项 目	标准范围	允许极限	备 注
相对于样板	± 1.0	± 1.0	—

图 10 《中国造船质量标准》的书上误差表截取的图片

在人工观察水尺时，存在多方面的问题：船壳外水尺受水力侵蚀，易氧化磨损脱落，或泥砂、油垢污染，字符模糊后很难辨认；刻画线粗，线宽为 20 毫米，字高 100 毫米，每 200 毫米设计为 5 个分度值，即分辨率 40 毫米，估读易产生偏差；两万吨的货船，按载重量表计算，40 毫米船舶吃水，相当于 160 余吨，如果估出读数偏差一半，就有可能产生 80 来吨的偏差。如果矿石价格 500 元/吨，就有可能损失 40000 元，这对船东或者货主都是不公道的；遇有波浪时，水面高低不平，很难找准标准的水平面。有艘日本船在江西九江港装莹矿石出港时，因遇 5 级东北风，读水尺不便，船舶起航就推迟了三天，待波浪较小时，港理货、商检、船方大夫三家一起用交通船在装货船舶的四周读尺，算出平均水尺，按装载手册算出载货量，这样操作消耗人力物力很大；还有工作环境和人的因素引起的误差等等。

中国商检局为了方便操作船舶运输进出口商品计重准确，专门出台了《中华人民共和国进出口商品检验行业标准》--进出口商品重量鉴定规程--水尺计重，

为此《规程》起草人还发过 10 篇解读文章，还有宁波局蔡号君先生的文章，《关于大宗散货在运输中短少原因的分析》，江西检验检疫局主办的《江西检验检疫科技》杂志 1/2 期刊载了九江检验检疫局谢俊先生的文章，《水尺计重在出口萤石中应用及其探讨》，这些资料，他们都以大量的篇幅反映了他们行业的艰难。较多内容的是和读者讨论希望相关行业帮他们改进船舶水尺计重方面的工作。二十多年来就是因为这些原因一再鼓励着我，终于研究出来光电编码电子尺，前后三次申请了中国专利，并完成了三次专利样机的研制。最后一代样机测试图片如图 11 示，自动显示，自动计算出平均水尺。

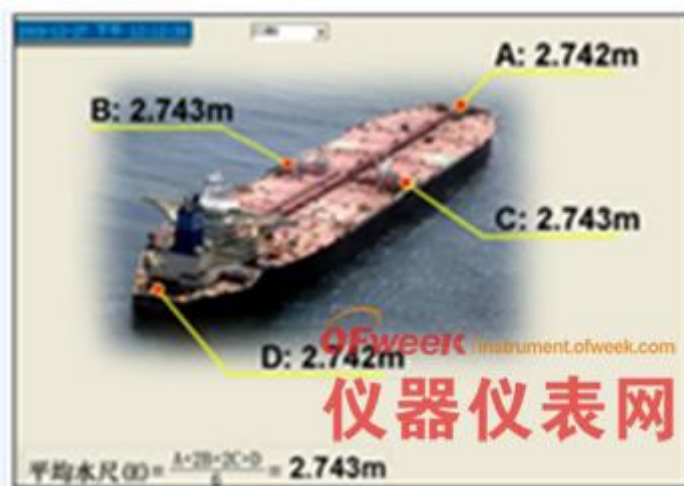


图 11 船舶水线模拟样机测量计算平均值图片

4.6 其二，被动船舶吃水检测系统，在工作船舶上安装电子水尺，为没有安装的船舶检测水线位置，从而准确的计算出该船舶的装载量。被动船舶吃水检测系统，分便携式和抬价式两种。有消息说：被动式台架船舶吃水测量装置（吃水是水线习惯称呼）长江三峡船闸配套工程已经委托某高校开发此产品，具体显示方案不详细。

4.7 用于船体变形测量，实现安全监控报警。目前新造的船舶对船体变形都没有进行测量评定，在运行的船舶由于装卸载不均所发生的船体变形也没有测量监控措施，2006 年钢质海船入籍规范第 2-34 页 1.9.1.3 款明确提出：“2006 年 7 月 1 日及以后建造的、船长不小于 150m 的所有散货船，应配备能提供船舶完整稳性资料的装载仪”，就是针对装载的均衡性提出来的，是为了避免恶性事故的发生。在中国长江航运史上，就曾经发生过因为卸载不均船体变形，攘成了沉船死人的恶性事故。那是 1970 年左右，上海轮船分公司长江 707 拖轮，拖带货 1007 驳等船队下行，该船队货 1007 驳在南京港水域被东方红#6 客轮撞损舱破后进水，因破损面积不大，决定停靠南京港客 4 号码头抢卸货物，（当时装载的是硫磺砂，比重大。），当时抢险的场面十分感人，人们都是自发的抢险卸货。该驳长 72 米，宽 13 米，型深 3 米左右，船四货舱口结构，纵向强度较差。抢险卸货时，因为囤船较短，二、三货舱卸货距离近，抢卸货物多，2 小时后，中部货物卸的多，船体中部上拱，首尾下沉，到了强度破坏极限尺寸时，未被及时发觉，合理的调整卸货顺序，致使驳船体变形断裂沉没抢卸工人 4 人溺水死亡，…。【编

者按：如果安装了船舶电子水尺，有船体变形报警功能，就可以减少或者堵截此类事故的发生。】如图 12 示，就是船舶电子水尺模拟样机测量船体舢拱和下垂的图片。

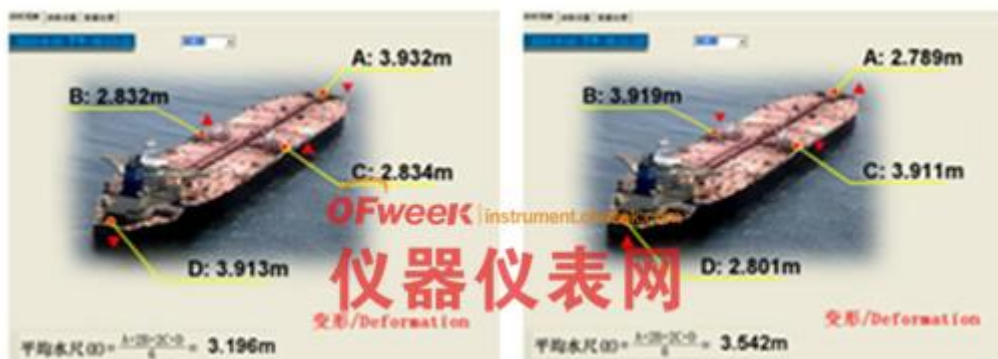


图 12 电子水尺测量船体变形自动报警

4.8 船舶电子水尺在浮船坞上推广应用，可以与现在安装的进口绕度仪媲美。

目前浮船坞上的绕度仪和液位仪，经调查目前浮船坞上安装的绕度控制系统、液位遥测系统，一般是从国外引进的较多。该仪器主要用于测量液体（包括水、油等）的温度、压力、液位高度、液体密度、重量以及船体的平衡状况。该系统集计算机、电子、机械、液压技术于一体，属综合性测量控制系统。而用于浮船坞控制的系统是浮船坞横倾、纵倾和挠度的监测仪表；极限横倾、纵倾和挠度报警装置。

2009 年 9 月中旬，我来到某船舶设计院请教，一位船体工程研究设计部部长、高级工程师接待，在坐的还有另一位本部主任工程师，也给他们观看了船舶电子水尺样机表演，他们称赞该项目好，不仅适合航行船舶，更适合浮船坞的绕度测量。一位主任工程师是专业搞浮船坞设计的，他高兴的说：“现在的浮船坞都是安装进口的绕度仪，是静压传感器型的，性能不稳定，影响因素多，每艘浮船坞安装一套需要 30 多万元，如果将来都安装自己国产的就可以创造很好效益”。根据这一启发我们考虑了浮船坞安装电子水尺的基本方案。如图 13 示。

这类型绕度仪和液位仪由于是使用的压力传感器，用其代表一定数据的模拟量，是截取曲线的一部分代表直线，常称所谓是正比例关系。一般是以 4-20 毫安电流进行分度，也就是使用高精度 A/D 转换器转换成数字符号。这种位移传感器影响因素很多，温度影响特别敏感，尽管采用精细的温度补偿方式，实际测量结果都很难达到理想的标准，可信度低。

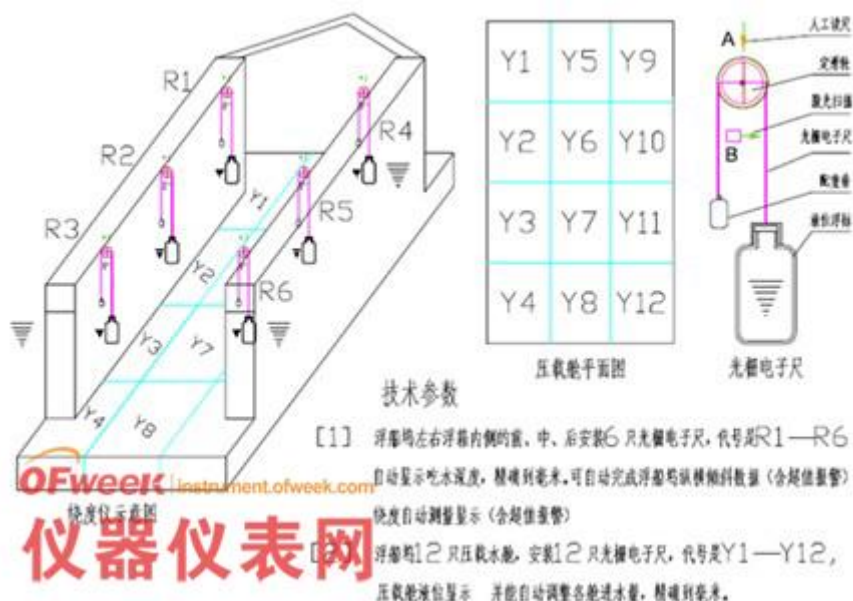


图 13 光电传感器型绕度仪

光电编码位移传感器, 也可称编码电子尺, 有极其好的发展前景, 特别是在液位和船舶技术方面推广应用, 一下就有可能普及全世界。

作者简介

戴水龙, 1942年生, 原江西九江港务局工作, 船舶机械高级工程师, 现在退休在家养老, 喜欢搞点小发明, 身体尚好。余生的愿望就是希望自己的该项发明得到有关部门的认可。

联系方式: 18779226569 0792-8233884 daishuilong@126.com QQ: 523406283