

钢桩内切割实时状态监测系统的研制

惠胜利, 徐龙达, 赵卫东, 田永花, 朱恒康

(海洋石油工程股份有限公司, 天津, 300462)

摘要: 钢桩内切割设备是用于平台拆除时导管架钢桩切割的设备。钢桩是否完全切断直接关系到后续导管架吊装的成败。目前, 国内使用的钢桩内切割设备均没有安装切割过程监测装置, 无法实时监测钢桩切割质量, 钢桩是否切断只能依靠经验进行判断, 给项目执行造成风险。借鉴水听器在高压水射流切割靶体识别上的应用, 提出了一种钢桩内切割实时状态监测系统, 介绍了监测系统的组成和安装固定方法, 开发出了适用于该系统的监测软件。钢桩内切割实时状态监测系统的应用对保证钢桩内切割工作的顺利完成、提高钢桩内切割工作效率具有重要意义。

关键词: 钢桩内切割设备; 状态监测系统; 水听器; 声音监测; 特征频谱

中图分类号: TE95、TP391.4 文献标识码: B 文章编号:

Design of real-time status monitoring system for steel pile internal cutting

HUI Sheng-li, XU Long-da, ZHAO Wei-dong, TIAN Yong-hua, ZHU Heng-kang

(Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300462, China)

Abstract: Steel pile internal cutting equipment is used for steel pile cutting of jacket when the platform is dismantled. Whether the steel pile is completely cut off or not is directly related to the success or failure of subsequent jacket hoisting. At present, domestic steel pile internal cutting equipment is not equipped with the cutting status monitoring system, cause the cutting quality of steel pile cannot be monitored in real time. Whether the steel pile is cut off can only be judged by experience, this will cause risks to the project implementation. Learn from the application of hydrophone in target recognition of high pressure water jet cutting, a real-time monitoring system for steel pile cutting is put forward, the composition and installation method of the monitoring system are introduced, the software suitable for the monitoring system is developed. The application of the real-time state monitoring system for steel pile internal cutting is of great significance to ensure the smooth completion of steel pile cutting and improve the efficiency of steel pile cutting.

Keywords: steel pile internal cutting equipment, status monitoring system, hydrophone, acoustic emission monitoring, characteristic spectrum

0 引言

钢桩内切割设备是油田弃置板块的核心专业装备。该设备主要用于平台拆除时, 对导管架钢桩进行水下内切割。与传统切割设备相比, 其具有适用范围广、无二次污染、作业效率高、安全性能好等优点^[1-4]。钢桩内切割设备切割钢桩过程为一次成型, 即先点击击穿钢桩后, 切割喷嘴旋转切割 360°

收稿日期:

修回日期:

基金项目: 大型导管架平台弃置拆除关键技术研究项目(CNOOC-KJ135 ZDXM05 GC00 GC2018-02).

作者简介: 惠胜利(1981-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为海洋工程.

通讯作者: 惠胜利, huishl@cooec.com.cn.

后完成切割工作。因此，对切割过程切割质量的判断尤为关键。一旦有钢桩未完全切透情况的发生，则会导致后续导管架吊装失败，严重影响项目工期并造成成本损失^{[5][6]}。

目前，国外的 Proserv^[7]、ANT^[8]等公司以及国内的天津开发区新海科技发展有限公司^[9]等具备较强的钢桩内切割设备的研制和生产能力。Proserv 和 ANT 还对钢桩内切割监测进行了研究，研制了一些用于监测钢桩内切割过程切割质量的设备，而国内对这方面的研究还处于空白，仅有大连理工大学^[10]对钢桩外切割的切割状态监测开展过研究。国内现有的钢桩内切割设备均没有安装切割状态监测系统，在钢桩内切割过程中控制切割喷嘴的移动速率以及判断钢桩是否完全切断，完全依靠操作人员的经验，给项目的执行带来很大的风险。

1. 设备概况

钢桩内切割设备的切割系统主要由高压水泵、加砂控制室、液压动力系统、压缩空气系统、钢桩内切割装置等部分组成，如图 1 所示。其基本工作原理是：在高压水中掺入磨料颗粒，经由喷嘴喷出后形成的一股高速固液两相流，射流中的磨料颗粒提供了主要的切割力，以此完成钢桩的内切割^[11]。

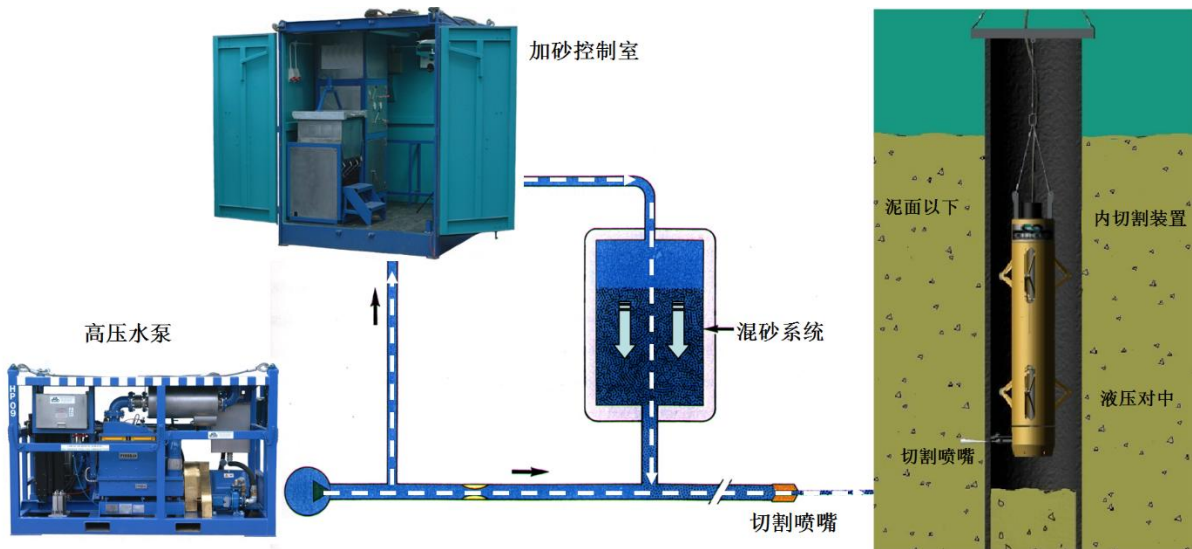


图 1 高压水研磨料切割系统工作示意图

Fig.1 Operation diagram of high pressure water abrasive cutting system

钢桩内切割装置是钢桩内切割过程的执行机构，其主要由上筒体、下筒体、对中机构、旋转机构、切割喷嘴及喷嘴支撑机构等组成。对中机构位于上筒体内，采用液压缸驱动，保证装置在切割过程中始终居中。切割喷嘴及喷嘴支撑机构位于下筒体内，用于保证切割过程中喷嘴能够始终贴近钢桩内壁，确保完成切割作业。切割旋转机构采用液压马达驱动，用于控制切割喷嘴和下筒体的旋转。

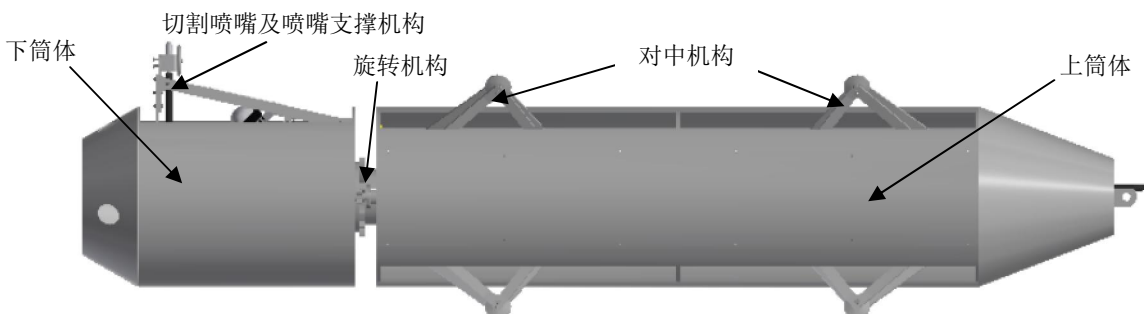


图2 钢桩内切割装置

Fig.2 Internal pile cutting device

在钢桩内切割过程中，切割喷嘴通常需要按照一个固定的旋转速度进行切割，而这个旋转速度常常由操作人员手动进行控制，每次调节的速度不是完全一致；随着设备运行过程液压油油温升高，切割喷嘴的旋转速度会慢慢变快；同时钢桩壁上常常设有加强筋和套管，切割喷嘴按照原有的旋转速度切割可能造成钢桩不能完全切透。因此，为了确保将钢桩完全切断，就必须要对现有钢桩内切割设备进行升级改造，给设备增加内切割过程监测系统。通过监测系统可以判断钢桩是否完全切透，为拆除项目的顺利执行奠定基础。

2.监测系统组成

目前，国内外通常采用水听器和监测软件相配合的方式来判断高压水切割靶体的切割状态^{[12][13]}，判断结果也较理想。这种监测方式是基于高压水切割靶体时，反射的声音信号中包含被切割靶体切割状态的特征频谱。因此，本文的监测系统采用在钢桩内切割装置上安装水听器进行钢桩切割声音信号的采集，声音信号经信号采集、信号处理和信号识别等技术，来识别钢桩的切割状态^[14]。同时，为了提高对钢桩切割状态判断的准确性，在监测系统中增加1套水下视频监测系统。水下视频监测系统通过观察高压水射流中研磨砂的反射情况，辅助判断钢桩是否切透。如果观察到有较多的研磨砂反射到钢桩内部，那么可以判断钢桩没有切透。一旦钢桩被切透，高压水射流将通过切缝流到钢桩外部，钢桩内部的研磨砂较少。水下视频监测系统还能够用于观察切割过程中的喷嘴位置、切割路径、钢桩切缝等状况。

2.1 声音监测系统

声音监测系统由水听器、高速 A/D 转换模块、声音信号处理及结果显示装置等组成，如图 3 所示。水听器测量带宽为 20Hz~20KHz，高速 A/D 转换模块采样精度为 16bit。水听器安装在靠近切割喷嘴的位置，能够实时将切割时的声音信号转换成电信号。高速 A/D 转换模块将水听器采集的模拟量声音信号转换成数字信号。声音信号处理及显示在计算机中完成，通过监测软件能够实时显示设备切割过程中的切割状态。



图3 声音监测系统

Fig.3 Sound monitoring system

水听器测量到的声音信号是包含钢桩切割的特有声音和切割背景噪声。切割背景噪声可分为三类：设备放入钢桩内静置时的环境噪声、切割喷嘴以不同速度开始旋转时的机械噪声、切割喷嘴的射流噪声等。这些背景噪声随着钢桩内切割设备工作情况的不同而不同，并且具有各自的背景噪声谱。不同参数钢桩切割的特有声音是声音监测软件用于判断钢桩切割状态的基础，如何提取出这些特有声音的特征频谱数据是本文的关键。

2.2 水下视频监测系统

水下视频监测系统包括水下摄像头、水下灯、控制台等，如图 4 所示。该摄像系统最深可用于水下 600 米。控制台配备 SD/DVR 存储器，能够将钢桩内的情况清晰地显示并记录下来，便于对钢桩内切割的情况进行分析和判断。

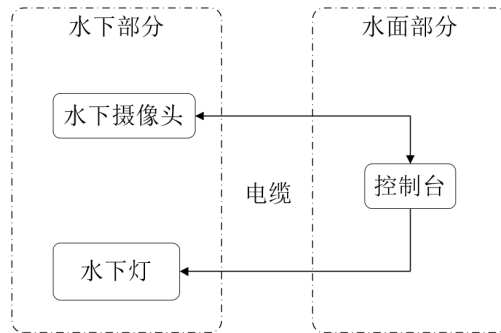


图4 水下摄像系统

Fig.4 Underwater camera system

2.3 监测系统安装

水听器放置在钢桩内切割装置下筒体内，水听器外部设有保护装置，保护探头免受返砂冲击损坏。保护装置上还设有较多的孔洞，保证水听器能够充分接收到水中的声波信号。水下摄像头和水下灯安装在下筒体的横梁上，安装的位姿可以调整，便于观察整个钢管内切割过程，如图 5 所示。监测系统的水上部分放置在加砂控制室内，监测结果方便操作人员识别，可为操作人员提供参考。

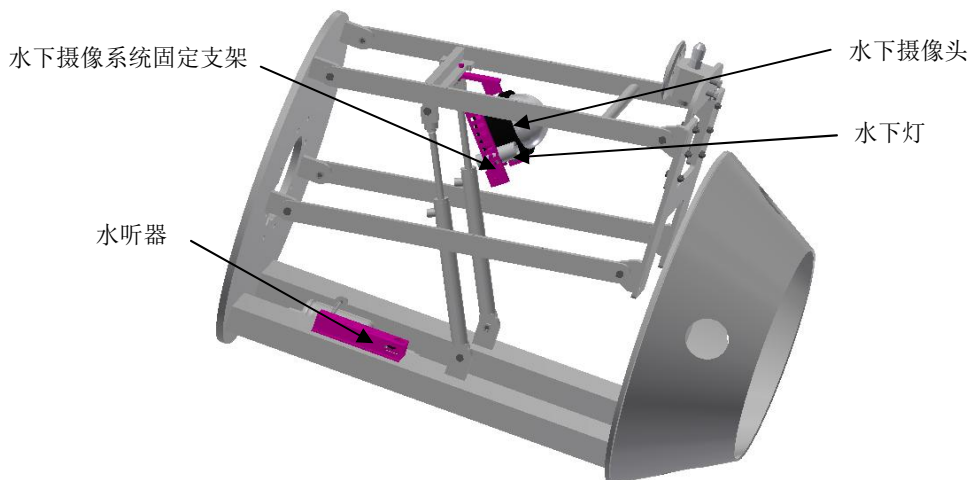


图5 监测系统安装方案

Fig.5 Monitor system installation scheme

3. 声音监测软件

3.1 监测软件功能

声音监测系统的软件采用 LabVIEW 进行编制^[15]，该声音监测软件具有切割声音数据实时显示、切割钢桩参数设置、切割数据存储和其他功能，如图 6 所示。声音监测软件可将水听器传递来的声音信号进行处理，并依据软件中的不同参数钢桩切透时的声音特征频谱，判别钢桩的切割状态，并将判断结果显示出来。

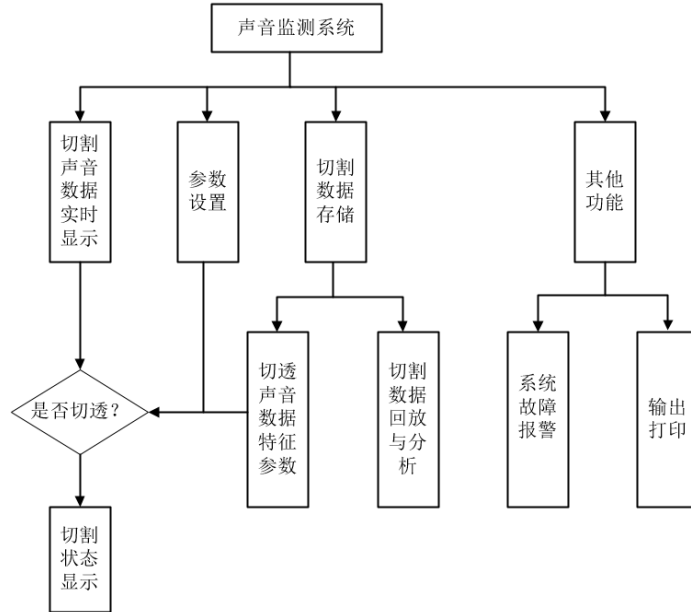


图6 声音监测系统软件功能

Fig.6 Software function of sound monitoring system

3.2 声音信号处理

水听器接收到的声音信号是时域信号，很难用一个函数式来表达信号变化的规律。因此，在监测软件中需要将时域声音信号进行离散傅立叶变换转换成频域信号，经带通数字滤波后再减去背景噪声谱，将得到的声音频域信号经过 1/3 倍频程谱处理后分别计算每个频段内的功率谱，得到如图 7 所示的功率谱信号。其中，背景噪声谱可在每次工作前提前获取，并予以保存。

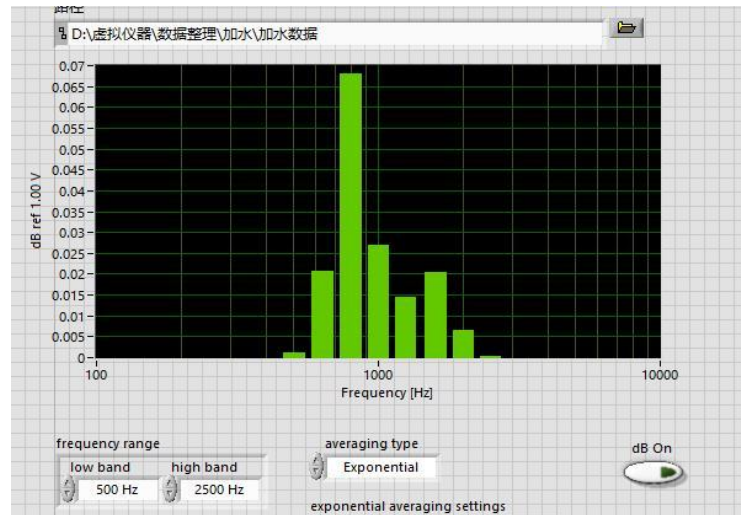


图7 功率谱信号

Fig7. Power spectrum signal

3.3 软件界面

在使用钢桩内切割实时状态监测软件时，通过主界面设置好相关切割参数后，软件就可以开始监测钢桩的切割状态，工作界面如图 8 所示。监测软件可实时显示钢桩切割声音的时域信号和功率谱信

号，能够直观显示出钢桩切透或没切透的状态，并将整个钢桩切割过程的结果显示出来。

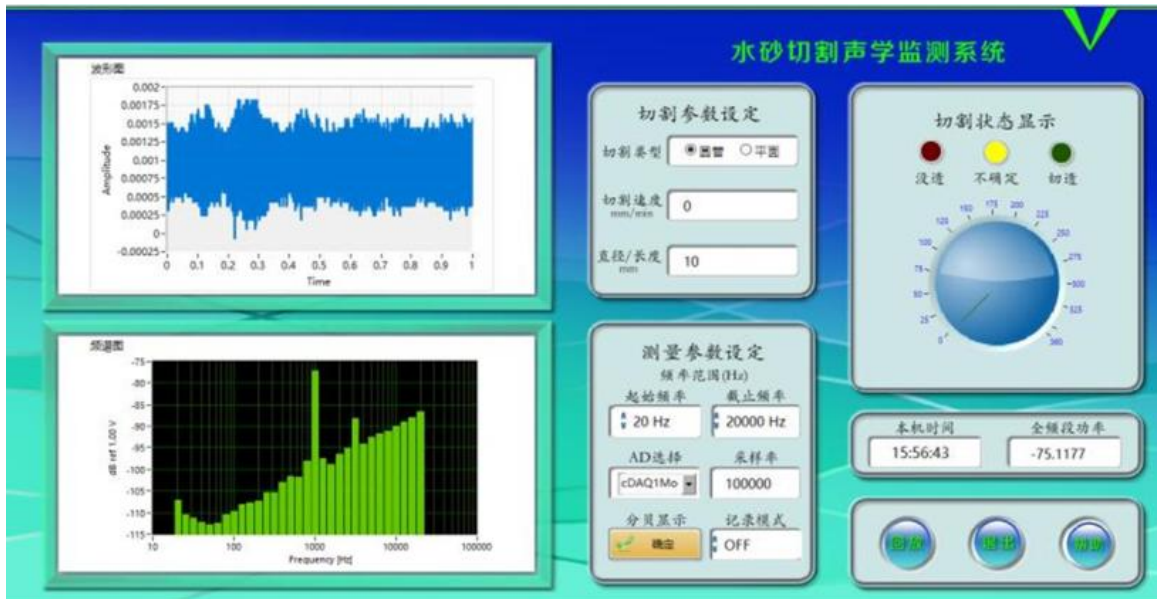


图8 状态监测系统软件界面

Fig8. Status monitoring system software interface

4. 试验

试验的目的是为了提取几种常用壁厚钢桩切透时声音信号的特征频谱和背景噪声谱，可对声音监测软件中信号识别过程参数进行优化；并可在试验过程中反复验证监测软件对钢桩切割结果的判断是否准确。同时，为了保证钢桩切割时的工作效率，厂家给出了切割不同壁厚钢桩时的切割喷嘴推荐移动速率，如表 1 所示。在监测系统的配合下，可试验过程中监测喷嘴在推荐移动速率下切割不同壁厚钢桩时的切割情况并可寻找出喷嘴移动的最佳速率，为今后提高海上切割钢桩的工作效率提供参考。

表1 切割不同壁厚钢桩时切割喷嘴推荐移动速率

Table1 The recommended movement speed of cutting nozzle when cutting steel piles of different wall thickness

序号	钢板厚度(mm)	推荐喷嘴移动速率 (mm/min)
1	20	111
2	30	74
3	40	56
4	50	45
5	60	38
6	70	32
7	80	27

5. 监测软件的优化

在实际的钢桩拆除作业中，钢桩的材质、壁厚、内径以及环境背景噪声等情况有所不同，通过试验获取的钢桩切透状态的特征频谱数据库存在一定的局限性。因此，声音监测系统软件具有可扩展性，可在后续海上实际切割钢桩的项目中，通过收集钢桩切割过程的声音信号，不断完善钢桩切割的特征频谱和背景噪声谱数据，进一步提高对钢桩内切割状态判断的准确性。

6. 结论

为了监测钢桩内切割过程的切割状态，采用声音监测和水下视频监测相结合的方式，研制出钢桩内切割状态实时监测系统，可用于识别钢桩切透或没切透的状态，保证钢桩内切割工作的顺利完成。

随着海上越来越多的平台需要拆除,钢桩内切割设备及其切割状态实时监测系统具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 李成钢, 张敬安, 郑辉, 等. 海洋油气平台退役拆除技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(8):42-44.
- [2] 刘建峰, 王彦多, 赵刚, 等. 曹妃甸 1-6 油田 SPM 导管架拆除方案设计与实践[J]. 中国水运, 2016, 16(3):297-300.
- [3] Jinfa Guana, Xiaochen Chen, Jimiao Duan, et al. Study on the safety of sparks during rear-mixed abrasive water jet cutting process under the hazardous environment[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2019, 62:103965.
- [4] Mark J.Kaisera , Robert C.Byrdb . The non-explosive removal market in the Gulf of Mexico[J]. Ocean & Coastal Management, 2005,48(3):525-570.
- [5] 陈建兵, 王超, 刘贵远, et al. 磨料射流切割套管技术研究及在海上弃井中的应用[J]. 石油钻探技术, 2013,41(5):46-51.
- [6] 冯定, 卢汉斌, 夏成宇, et al. 深水弃井作业套管切断的判断方法[J]. 石油矿场机械, 2015,44(5):83-86.
- [7] 周灿丰, 焦向东, 高辉. 磨料水射流技术及其在水下结构物切割中的应用[J]. 焊接, 2015(05):1-6.
- [8] Zeleňák, M, Foldyna J , Linde M , et al. Measurement and Analysis of Abrasive Particles Velocities in AWSJ[J]. Procedia Engineering, 2016, 149:77-86.
- [9] 吕子鹏. 泰国湾浅水桩基式平台海上拆除研究[J]. 石油和化工设备, 2019, 22(3):55-57.
- [10] 惠胜利, 陶杰, 王儒, et al. 基于 PLC 的水下切割装置速度控制系统研制[J]. 机床与液压, 2014(22):109-112.
- [11] 王超, 刘作鹏, 陈建兵, 等. 250MPa 磨料射流内切割套管技术在我国海上弃井中的应用[J]. 海洋工程装备与技术, 2015, 2(4):P.258-263.
- [12] 杨洪涛, 王从东, 张东速, et al. 高压水射流反射声信号特征频谱提取方法的研究[J]. 中国机械工程, 2010, 21(20):2434-2437,2467.
- [13] 张军, 赵德安, 李雪峰, 等. 超高压水射流切割声音特征提取与喷嘴移动速度控制[J]. 机械工程学报, 2013, 49(18):184-189.
- [14] 杨洪涛, 方传智. 高压水射流靶物探测反射声优化处理方法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2014, 37(4):457-461.
- [15] 陈国凡, 张炜, 杨洪涛, 等. 基于 LabVIEW 和声卡的数据采集同步控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2012(10):82-84.