



Echo Monitoring Technology - The 'Smart Guardian' of the Dynamic Liquid Level in Oil and Gas Wells

Ren Yongqiang¹, Yang Dong^{1,*}, Zhang Wei¹, Wei Zhihong¹, Li Jun², Wu Gang³

¹China National Petroleum Corporation Bohai Drilling Engineering Company Limited Downhole Services Company, Renqiu, China

²PetroChina North China Oilfield Hebei Gas Storage Branch, Langfang, China

³China Petroleum Logging Corporation North China Branch, Renqiu, China

Email address:

yangdong2000@cnpc.com.cn (Yang Dong)

*Corresponding author

To cite this article:

Ren Yongqiang, Yang Dong, Zhang Wei, Wei Zhihong, Li Jun, et al. (2024). Echo Monitoring Technology - The 'Smart Guardian' of the Dynamic Liquid Level in Oil and Gas Wells. *Science Discovery*, 12(6), 156-162. <https://doi.org/10.11648/j.sd.20241206.12>

Received: 4 November 2024; **Accepted:** 6 December 2024; **Published:** 13 December 2024

Abstract: The dynamic liquid level of oil and gas wells refers to the difference in liquid level between the wellhead and the pump barrel, which is related to the stable production and operational safety of oil and gas wells. The echo liquid level monitor is a professional tool for measuring the depth of dynamic liquid level in oil and gas wells. The principle of this instrument is to use sound to propagate longitudinally in gas, reflect when encountering a liquid surface, and then use electrical equipment and sensors to record the transmission time of sound waves to calculate the transmission distance and determine the depth of the liquid surface. So the page of the instrument displays a sound wave curve composed of one test point after another, but the sound wave will encounter various reflected waves such as downhole tools, perforation boreholes, couplings, irregular wellbore walls, and wellbore liquid levels in the well. The waveform of the curve will also have different manifestations according to different well conditions. This article summarizes the curve rules of shallow liquid level, middle liquid level, and deep liquid level extensively, establishes an oil and gas well wellbore liquid level curve model and analysis method, and successfully applies this method to guide the construction of Su 1-6 wells in Huabei Oilfield gas storage, achieving good results and providing a basis for accurate collection of oil and gas well liquid level data.

Keywords: Liquid Level Monitoring, Echo Method, Waveform Recognition, Calculation Model, Waveform Diagram Rules

回声波监测技术—油气井动液面的‘智慧守护者’

任勇强¹, 杨东^{1*}, 张伟¹, 魏志红¹, 李军², 武刚³

¹中国石油渤海钻探井下作业分公司, 任丘, 中国

²中国石油华北油田河北储气库分公司, 廊坊, 中国

³中国石油测井公司华北分公司, 任丘, 中国

邮箱

yangdong2000@cnpc.com.cn (杨东)

摘要: 油气井的动液面是指从井口到泵筒中原油液面的液位差, 其位置关系到油气井的稳定生产以及作业安全, 回声液面监测仪是测量油气井动液面深度的专业工具。该仪器原理是利用声音在气体中纵向传播遇到液面后反射再利用电学设备及传感器记录声波传输时间从而计算出传输距离判定液面深度。所以仪器的页面上显示的是由一个一个测试点组成声波曲线, 但声波在井中会遇到下井工具、射孔炮眼、接箍、井壁不规则、井筒液面等各种反射波, 曲线波形根据井况不同也会有不同的表现, 本文通过大量总结浅层液面、中层液面、深层液面的曲线规律, 建立了油气井井筒液

面曲线模型以及分析方法，并应用此方法成功指导了华北油田储气库苏1-6井施工，取得良好效果同时也为准确采集油气井液面数据提供了依据。

关键词：液面监测，回声法，波形识别，计算模型，波形图规律

1. 引言

油气井的动液面监测是石油开采过程中的一项重要技术手段。它指的是从井口到泵筒中原油液面的液位差，对于油气井的生产和钻井作业具有深远的影响[1]。动液面的监测不仅关系到油井的生产效率，还直接影响到钻井的安全性问题[2]。

在生产油井中，动液面的监测是确保抽油泵工作在合理区间内的关键。抽油泵的效率直接影响到单井的油气产量。过大的沉没度会阻碍供液，增加油管的形变，从而降低机械效率；而沉没度过小则会导致供液压力不足，同样会影响生产效率[3]。因此，保持合适的动液面高度至关重要，它不仅关乎油井的供排关系和作业稳定性，还对提高生产效率和降低机械损耗起到重要作用。

对于钻井作业而言，动液面的位置更是关系到施工安全。在钻井过程中，井漏是一种常见现象。如果不能及时发现并处理，可能会导致井塌和井喷等复杂情况，轻则影响钻井效率和效益，重则可能引发严重事故[4]。因此，动液面监控系统在钻井作业中扮演着至关重要的角色。它能够观察到环空液面的变化，对井漏的发生提前作出有效分析判断，为采取相应的技术措施提供依据[5]。

目前常用的动液面测量方式包括回声波法、预设压力传感器法和浮筒测量法等[6]。其中，浮筒法适用于环空套管且敞开的油井中，但对于有套压的情况并不适用，且需要人工操作，使用范围有限。压力计法则需要预先在几个深度点设置压力传感器，通过读取预设传感器的压力梯度变化来确定动液面位置，但其使用范围也受到一定限制[7]。

本文重点讨论的是基于回声波的油气井动液面监测方法。声波是一种机械波，能够在介质中传播，其传播速度是介质的一种特性。回声波法动液面监测仪主要是利用声音在气体中的纵向传播特性。当声波遇到液面后发生反射，电学设备及传感器记录声波发出的时间和反射的时间。通过理论模型和一系列计算，可以得出液面位置。由于液面高度的不同，动液面监测仪采集到的声波波形图会有所差异[8]。同时，石油设备运转产生的干扰波增加了识别液面波的难度。此外，井内天然气成分及压力的不同也会导致声波传播速度的差异。因此，需要对采集的液面波形图进行分析，排除干扰波，找到正确的声音传播速度，以精确计算出液面位置数据。

2. 回声法原理

2.1. 基本原理

回声液面监测仪的声波发声器安装在井口，产生的脉冲声波在沿油套环形空间向井底传播，途中遇到回音标和油气界面等障碍物即发生反射，反射脉冲传到井口被回声仪的微音器接收，并将声波反射脉冲转换成电信号，电流

信号经放大，再由检流器分别将反应接箍波的高频部分，以及反应较大障碍（音标、油管锚、射孔炮眼和气举阀等）的低频部分分开，记录在储存介质上，这种仪器称为双频道回声仪[9]。



图1 双频道回声仪记录波形图。

如果回声仪已测出声波脉冲在油套环形空间传播速度以及传播时间，则可以得到如式（1）的液面深度：

$$D_e = Vt \quad (1)$$

式中：V—声波脉冲在油套环形空间中的传播速度，m/s

t—声波脉冲传播时间，s

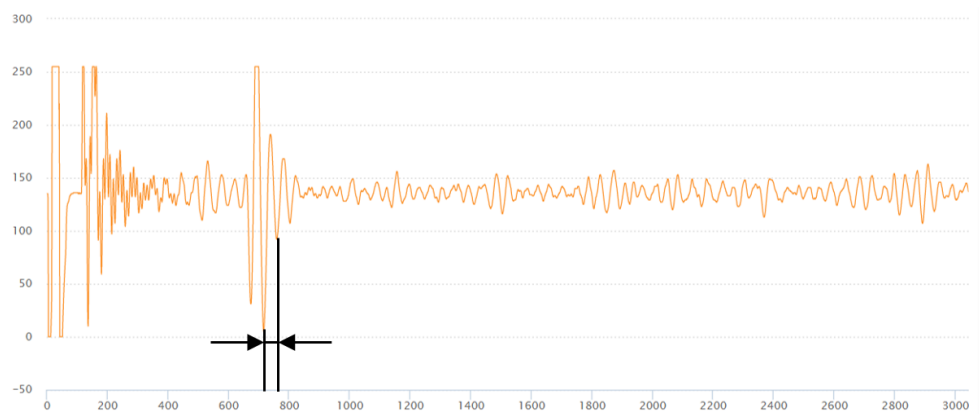
D_e—液面深度，m

2.2. 系统组成以工作方式

回声液面监测仪一般包括两个主体设备，一个是安装在井口部位的声发射装置，另一个是集成各种压力传感器、亚声波传感器、电磁阀、数据处理分析装置、防爆供电模组以及数据传输模块的检测系统。使用时根据油气井的自然情况确定发生方式，对于有套压井可利用油井自身套管气来测试，对于无套压的井可使用外接气源触发声波发射，该气源一般采用相对安全的氮气触发[10]。

触发时通过单片机瞬间开启电磁阀，高压气体突然释放到储气室，在井口处环空中的气体瞬间发生膨胀，产生膨胀冲击波。该声波脉冲沿环空向井下传播，遇到油管接箍、音标、气液界面产生反射声波脉冲，由微音器组件接收声脉冲转换成电信号，通过控制电路进行数字处理，自动计算出液面深度，测试结果是以曲线图形式存储到控制电路的数据存储器内[11]。

存储的曲线由一个一个测试点组成，一条声波曲线包含的总点数单片机处理器一一记录，而点与点之间的采集间隔时间是固定，如图1所示为测量的声波曲线图，从中发现声波曲线是由一条条高频的非常有规律的等距震荡波组成，这里我们将这个震荡称之为一个里程，即声波从仪器到液面之间的距离。所以只要找到井口波和液面波，声波的传播时间就得到了。每口井的音速值在一定时间内是基本不变的，无论是通过计算得到的音速还是直接输入音速，乘以时间就得到如图1所示的油气井液面深度曲线[12]。



（其中横坐标为一次冲击波传输距离的累次叠加，单位为m，纵坐标为声波强度单位为dB，图中箭头标识的为为一个里程）

图2 声波曲线图。

2.3. 确定井筒中声速

空气中的声速在1个标准大气压和15℃的条件下约为340m/s。但油气井中的传输介质复杂，温度不确定，特别是在关井监测时，往往还伴有高压，所以监测前需要确定声速[14]。

（1）回音标法

音标法是用声波在井口到音标间的传播速度，来代替其在整个井筒中的传播速度。基于井筒内气体成分介质一定，忽略温度的影响，测量出声波从井口到音标之间的时间，根据音标深度即可确定声波在井筒中的传播速度。

设t为接收到音标回波的时间，H为音标的深度，则声波在井筒中的传播速度 $v=2H/t$ 。在根据仪器接收到液面波的时间T来计算液面深度 $h=2HT/t$ 。

（2）节箍法

节箍法是回声仪通过环空液面进行声波测试，声波遇到油管节箍会有反射波返回到仪器接收，采用高频采集获取到两个或多个节箍的时间差，根据油管的平均长度确定出声音在该井筒的传播速度。设曲线上n个节箍的时间差

为t，则声波在该井筒的传播速度 $v=(n-1) \times 9.8/t$ 。这里假设每根油管的平均长度为9.8m。

根据以上理论，分别通过音标和节箍计算声波速度。

3. 回声波图形特征

从声发射装置发射的冲击回声波反应在曲线图形上是非常复杂的，根据滤波器滤波和现场测试经验数据，可将声波图形划分为浅层液面、中层液面及深层液面，其深度与波形图有着非常明显的特征，通过此就可简单的初步判断液面深度，再对外界振动声波产生“杂”波进行分辨以及对井内声波声速进行确定，最终即可得到油气井动液面的深度[13]。

在分析回声波图形特征之前我们先定义低频曲线为液面曲线，高频曲线为节箍曲线，液面曲线通常可以直接读取中层液面和深层液面数据的直观曲线[15]。而节箍曲线则是读取浅层液面数值的唯一方法，节箍曲线还有一个作用，就是通过套管环空测试，根据油管的高频回波来判断声波在井筒中的传播速度，各液面深度分类及特征见表1。

表1 液面深度分类及特征表。

液面分类	深度范围	特 征
浅层液面	0-9m	液面曲线无波形显示，但节箍曲线在峰值一侧有震荡曲线
中层液面	9m-100m	声波会在液面和测试仪器之间来回震荡，直至声波能量消耗殆尽
深层液面	100m以上	当声波进入井筒之后，呈现“安静”状态，待液面反射波返回给仪器时，会有一个突然增强的液面波显示

3.1. 浅层液面波形特征

浅层液面针对的是油气井液面在0m至9m范围内，这时液面几乎在井口位置，环空对声波造成影响的障碍较少，其浅层液面的液面曲线图如图2（a）所示，声波经过井口之后，呈现一条直线，但在呈直线之前，会出现几次震荡波形，仅从液面曲线判断，这几次震荡波形究竟是液面的

反射波还是在经井口设备内部反射造成的就无法知晓。此时切换至节箍曲线如图3（b）所示，我们会发现声波出井口之后会有高频的有规律的等距震荡波，说明声波在此处产生了多次里程的反复，所以据此则可判断该位置即为浅层液面的液面深度。将节箍曲线的震荡波放大如图4所示，选择任意两处规则相似形态波峰之间的里程极为液面深度。

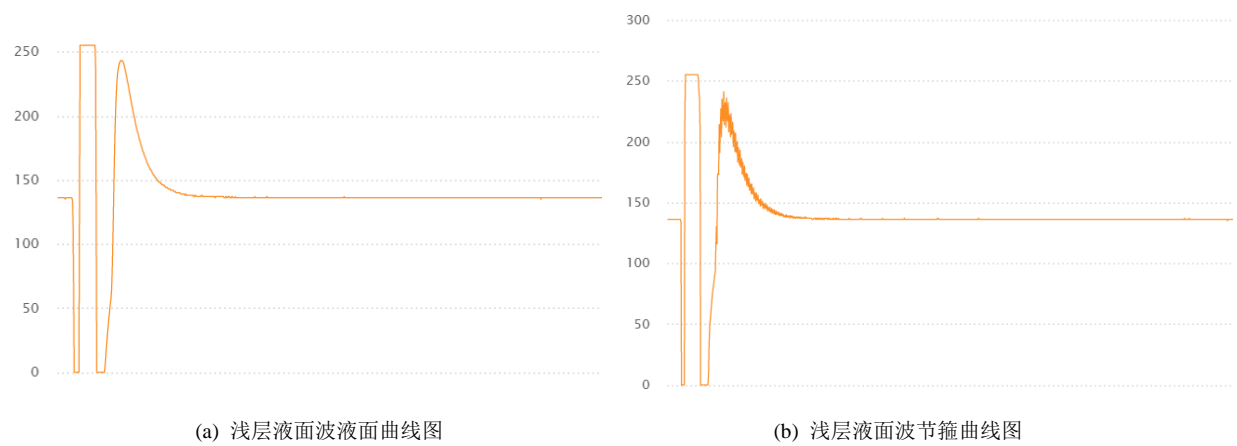


图3 浅层液面曲线特征图。

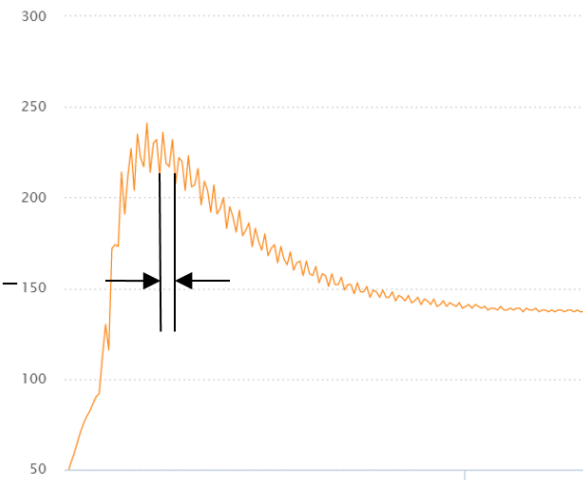
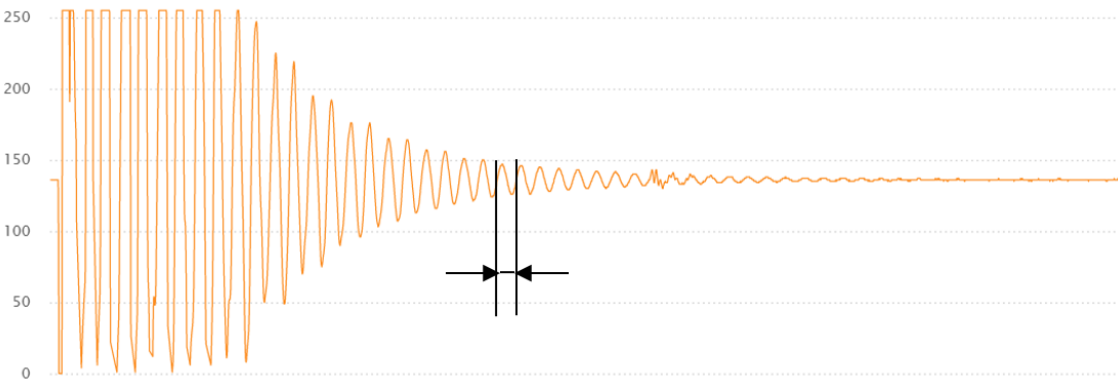


图4 放大后曲线图（图中箭头标识的里程即为液面深度）。

3.2. 中层液面波形特征

当液面在9-100米时，声波会在液面和测试仪器之间来回震荡，直至声波能量消耗殆尽，于是会呈现出如图5（a）曲线。从曲线上可以看出中液面波型的波峰的位置

都是十分规则的，震荡频率固定，整体曲线呈规律性递减，切换至节箍曲线如图5（b）所示，波形依然很稳定，根据这个特点可以排除外界及仪器带来的干扰波，此时只需选取任意两处的波峰，计算出液面深度。



(a) 中层液面波液面曲线特征图

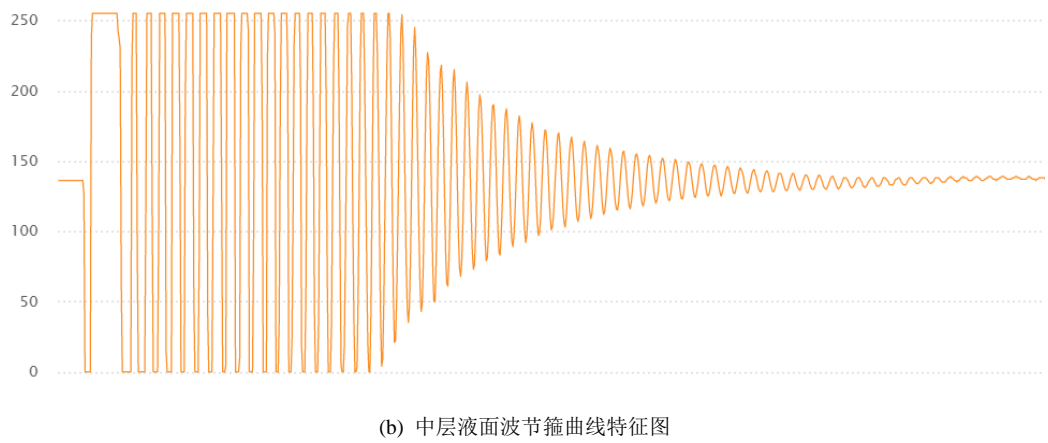
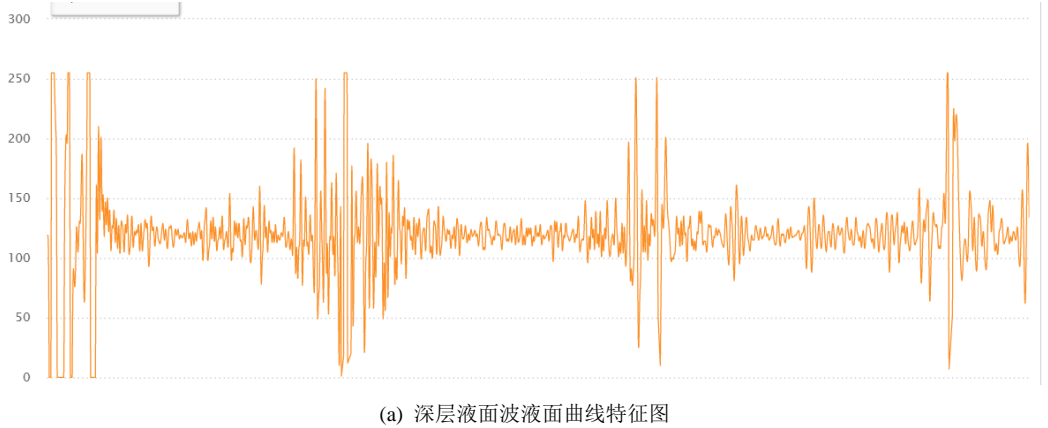


图5 中层液面波曲线特征图（图中箭头标识的里程即为液面深度）

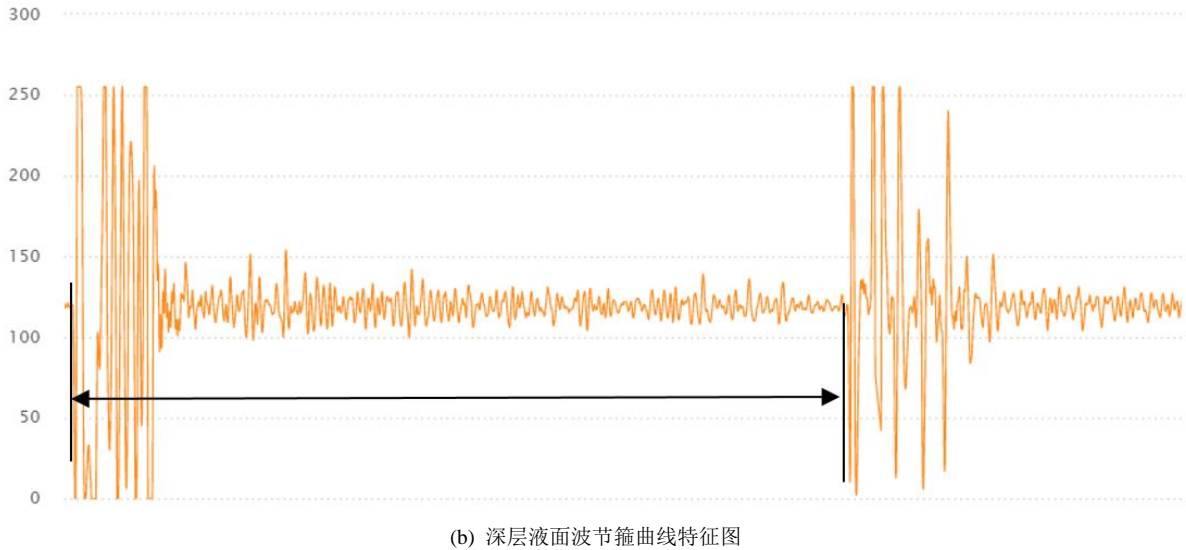
3.3. 深层液面波形特征

深层液面一般都在100m以上，声波在井中会遇到下井工具、射孔炮眼、接箍、井壁不规则、井筒液面等各种反射波，但井筒液面反射波会比其他反射波有明显的强度变化，其波形图如图6（a）、（b）所示，通过波形图分

析可以看出，当声波进入井筒之后，呈现出一段相对较为“安静”状态，待液面反射波返回给测试仪器时，会有一个突然增强的液面波显示，此时只需要找到井口位置和液面位置即为此时液面深度。



(a) 深层液面波液面曲线特征图



(b) 深层液面波节箍曲线特征图

图6 深层液面波曲线特征图（图中箭头标识的里程即为液面深度）。

4. 现场应用

位于河北省霸县境内的苏XX井为华北油田储气库管理处的注采井，为一级风险井中的储气库井。该井于2013年6月注气投产，2014年6月出现环空带压情况，存在安全风险。2020年12月对该井作业解决环空带压问题，为保证安全对该井实时液面监控作业。2021年5月连续灌液，根据工况将设备安装在节流管汇上，每隔30min进行一次监控，选取部分数据见表2。

表2 监控数据表。

时 间	液面数值 (m)	液面恢复 速率 (m h-1)	压力恢复 速率 (10 kPa h-1)
8:31	677.81	0	0
9:05	671.52	-12.58	3.04
9:55	665.67	-11.70	3.28
10:27	660.45	-10.44	3.07
11:00	656.35	-8.20	2.56
11:29	652.55	-7.6	2.14
11:58	654.57	-4.04	1.84
12:33	655.48	1.82	1.14
12:55	654.98	-1.00	0.57
13:30	655.02	0.08	0.24

通过表中可以看出液面深度值稳定在655米左右，利用常规下抽子方法探测液面650米。该油气井动液面波形分析方法是可准确测量油气井液面深度的。

5. 认识

(1) 一般面对敞开的油气井可直接将声速近似定义为340m/s，因为相较于温度气体成分相比，气体介质的密度即井内压力是更为重要的因素，所以针对高压气井液面测试作业，应首先要确定声波速度，文中音标法和节箍法是确定高压气井中声波传播速度的重要方法。

(2) 目前的回声液面检测仪都集成了先进电路系统，基本具备了自动判定液面的位置功能，但对于从事液面监测的操作人员还是必须要熟悉液面监控的基本原理和仪器的工作方式，特别是在当遇到复杂液面曲线仪器无法自动判定时，操作人员也应具备分析曲线的能力。

(3) 采用液面自动监测技术可以获得实时液面高度数据，为提高油气井生产效率以及钻井井控施工安全以及堵漏作业提供可靠的数据参考，此外液面自动监测仪的使用相比测井、电缆测量以及钻具测量更为高效准确，具有非常广阔的推广应用前景。

参考文献

[1] 范全军, 马华锋, 刘景霞. 油井动态液面监测综合分析 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(06): 9-10.
<https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcceec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FepfqVfCPVD5Bq7Se1U2zdcxg7zLy7JqHEKS2tIEpj5Sx5jK4Fs-KeIOInkzFzcIMeWRM35n3m6AGQyFvEAOXMHCS7Li2vvAOPLnHlg-xscDwfmLNVnFD2cPgybe2VcdibGal7weFRP2iKScNShKhMchw69zXvQclNoNSec9mcy1DWKLxeAauT&uniplatform=NZKPT&language=CHS>

[2] 张乃禄, 任武昆, 李军, 等. 钻完井试油液面监测系统设 [J]. 仪表技术与传感器, 2020(10): 73-77.
<https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcceec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FepfqVfCPVD5Bq7Se1U2zdcxg7zLy7JqHEKS2tIEpj5Sx5jK4Fs-KeIOInkzFzcIMeWRM35n3m6AGQyFvEAOXMHCS7Li2vvAOPLnHlg-xscDwfmLNVnFD2cPgybe2VcdibGal7weFRP2iKScNShKhMchw69zXvQclNoNSec9mcy1DWKLxeAauT&uniplatform=NZKPT&language=CHS>

764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FepPUqQILMJynfsalddvjbS_YVlrS7UYCSE3iSQE1YZWLZADueVCCwJlrCMBgizYu5D0D_71Hy4TD-5Yp_O7EMldv0WP8omOhDvtsjSjbFmDynRD48V67PT47zkDLy7mv7Rk_Bd7A3aJ2V6TB UVYADdguyMyZ2hEToDvFZF7vzly60fzCa1UYG2J&uniplatform=NZKPT&language=CHS

[3] 张乃禄, 边松岩, 颜瑾, 等. 油井动液面实时监测数据存储器研制 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2020, 35(02): 120-126.
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcceec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FervNw5cYuQwIjAYQJ_nG7qDM9r_S2a7sS8NYNUM794ecYwEGJkAZks3JgWrSVjveDLuiLZNfzoBhQ2g3vtrEP Ae7qvFiR93pwJQpUypLVjGfBpwWDb_DF4oButH4JSvY84p1kAAMjgKA_bIU4OFDeMzRIHQzebELYGCpfjo20aagMe1r3p8F9&uniplatform=NZKPT&language=CHS

[4] 敖立敏, 胡娟. 井下液面监测技术在龙凤山气田的应用 [J]. 海洋石油, 2017, 37(03): 33-36.
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcceec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FeqNAPVvwNU799lp5fRibGSXzEw7EPs083Gpp6uIBaVLC68esKYNuqLCHwSmYZZnox8DC9vACTyo2gRL-OfIgg6PgnRJHHevvsOafvk2GxOnujn_Ai18pnmgg4Z0fR5-WDxq-jkcupc9oMqH1JPRDpnXIF4Pt4u3X1bA1WVODbOUFHG-EXAkTVsN&uniplatform=NZKPT&language=CHS

[5] 陈思维. 油井动液面远程在线监测技术应用 [J]. 石油石化节能, 2013(12): 18-19, 24.
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcceec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FeqIVgyG1I6TgNoKSepE_dofVulf9JbXtZffAH6xJCA-xUqdz1OKOhP8TkbtN7SAULDr8n6J6w1zEPuNnNKyHfQZhlbPlx13_xRdD-gw6LRMY84ENrhZ6k4rTzmMWPKGv8XM4-f7CZAgKFTw4TBD_HE_73ZkmMRZYWCSjEjCly9KD8Cqjpww7AX&uniplatform=NZKPT&language=CHS

[6] 刘芳天. 动液面录取辅助方法的研究与应用 [J]. 科技与企业, 2012(4): 95. <https://doi.org/10.13751/j.cnki.kjyqy.2012.04.019>

[7] 牛贵锋, 吴江, 廖伍彬, 等. 集成式液面自动监测系统在渤海油田的应用 [J]. 石油机械, 2008, 36(7): 59-62.
<https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcceec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6Feo6a5H7Cf0G8pQTt8JC8UxAxY61LDKbXuxbgTnCW3miW3EyplEcYBbEkCTwtfJfH9hKvZDa85IKMLv45oXc4IJRVnvj2Mxf9IOPxWnOX8FAajODesn6aMIl5XPx703mVRkj2tzFveREENv0cgCnDDXDIG7iTKwbpFpmoWt1x9KzDb3rBmvKsxl&uniplatform=NZKPT&language=CHS>

[8] 张波, 罗庆梅, 王智勇, 等. 安塞油田油井动液面连续测试技术研究与应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014(4): 96-97.
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcceec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FerFBT1M8eMTBGAgz0cY_VG9YGGQegEPK2UE9IVHvvYkCrVXF6d24EloVOe4X2O2BaiB2r1SHNBvFDeSfKYEtMn4IjxS_GpT600_RKBxYi0E2leNkZFwG50bFTK00EStysRma5xG4fnnzFzFPfhR7OadjPZ025zaXqW00vFgk3C8WoQX88orL3&uniplatform=NZKPT&language=CHS

[9] 刘练, 徐开放. 井下液面监测技术在塔河油田的应用. 油气井测试, 2012(8): 52-53.
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcceec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FerPYgu1y_LLofn-TopVtkCSqYsSI2xsT1zT6qapyLaqltnSsJ24KnrfLXS_T2qMHMsAaZDRCE_b_y0SkUW0R5CMmX821nE425o5-IMHaAD2vuKKkQ3F8_4MCnCcdEAFXabNN2rCIqO7JXaY8sjBfs9soKpCDac7QwSchUEWLyKifdr88qPS3&uniplatform=NZKPT&language=CHS

- [10] 吕开河. 钻井工程中井漏预防与堵漏技术研究与应用 [D]. 中国石油大学, 2007.
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcecec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FerzI8ivHuHNTUM-Q9gdnVTCr9gaXc8J7hfZgcdGnES2EagEI1Wkseabkzypj3Td1DyPCU7nSBigSOQ9LDwuKejn1-ZsPK4Fv3fw9iMj2vfYHkQsRgce-oPVE_LXjuhuF8QLWOVK4Qk0mz6qqTEj13zQCaKTPfkuvLJSq_LPD5v8BIugqXgruVNVK36uDugKOIU=&uniplatform=NZKPT&language=CHS
- [11] 刘芳天. 动液面录取辅助方法的研究与应用 [J]. 科技与企业, 2012(4): 95.
<https://doi.org/10.13751/j.cnki.kjyqy.2012.04.019>
- [12] 井洪涛. 脉冲波测动液面的原理简介及异常脉冲波资料的合理解释 [J]. 内蒙古石油化工, 2011(10): 70-73.
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcecec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FeoWS13I20BFpHOVicReEiAH5gaIIHfEp0KbF9xux0o8fAsJohKYieM8-hiPBEbRVa8O8fO4ORKbYU34sFsM25MsIq-th0gppIXOALPaQLCSSym0wHNdmG48NojbQsO56FbwLC5zc8YohNv7QE_lyEb9FN1g0_QP9aXJZxgihy4XWWJfloNwjzSc&uniplatform=NZKPT&language=CHS
- [13] 魏佳超, 田新民, 熊学春. 新型动液面测试设备的试验与应用 [J]. 设备管理与维修, 2011 (S1).
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcecec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FeflVfV0BNXAfTEdmb4AW-BBPR6WILDeY-WGt4b9ktflzf12AvrQ8lFgmYv5fWYJ0fB4zxpZKfJ77uB35UhbPPrjJVl2LMpJUrfN6YFGgMoft9h3ZnjoNv7DVOxtKjLa6Yv0Ip1Ty7Oibi41ctd8A2xrb5RNRf4NOaeAoLJHBQ36EosboVLQqwq_&uniplatform=NZKPT&language=CHS
- [14] 何建中. 抽油机在线监测及自动控制技术研究与应用 [J]. 石油机械, 2012, 40(2): 51-53.
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcecec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6FepbtzxJ2TR8XvQLu1OAcWQfSnIz7TlApwD_xg4ytJukp1tHaW3Wd9ETZm-mlVUW3A1iWmt0d22S794AWIj5XNVhlxQZlItC5XjFYi8dsl5YnFM59acN6Uogh_Jzvp_foDrkaTEZKDKBsOtsJ-lkMNsMVzqTeiNY0qXT3RuJrjUHm_V_x4fZ2XXz7&uniplatform=NZKPT&language=CHS
- [15] 罗有刚, 程颖, 呼苏娟, 等. 动液面在线连续监测技术在超低渗油田的应用 [J]. 石油化工应用, 2015, 5(7): 57-59.
https://client.ntdss.ntu.edu.cn/https/webvpn34dba54512b1dbcecec764ab274be469e/kcms2/article/abstract?v=OJyTKzW6Feq_U3Yxl9YIZm9xR7u4viDysJRVVT-UJH9VMowmwVBMGYJHi2p-3WN2XAeO1-wXO9A2t0M1qByZVRDBOMoJn6gNojlUtD-i53-z0II71a3YytEDwdoh88jRdORxMYEQd-fcWQRqjI-mU6M95CsQR-6sdQWMz4yNN56NVTLaKy5VKi80dkDfe6Pp&uniplatform=NZKPT&language=CHS

作者简介

任勇强, 1983年2月出生, 男, 汉族, 山东省滨州市, 高级工程师, 博士, 2014年毕业于北京科技大学材料科学与工程专业, 主要从事油气田开发领域的科技研发及工艺技术研究工作。