

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1801938

基于虚拟仪器的管道泄漏监测与定位系统设计*

独 秀 魏亚楠 黄建成 武世豪 孙 宇 符宗略 张红洁

(北京石油化工学院 北京 102617)

摘 要: 随着输油管道在国民经济中的地位提高及不可避免的老化盗油等原因,管道泄漏监测日益成为管道运行安全的关键和重要保证。为了及时准确的报告泄漏点的位置,基于虚拟仪器构建了对管道的泄漏点进行监测和定位系统,并搭建管道泄漏检测实物模型,通过对压力梯度法的改进,设计出与之对应的软件系统模型。该模型基于LabVIEW平台,能够精准的对管道泄漏进行监测,通过组内组间比较可以准确的定位泄漏点位置,从而提升了压力梯度法定位精度低的问题,降低了误报的频率,实现了对管道泄漏的实时监测与定位的功能。

关键词: 压力梯度法;虚拟仪器;检测技术;输油管道;比较测量法

中图分类号: TP277;TN702 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4017

Design of pipeline leakage monitoring and positioning system based on virtual instruments

Du Xiu Wei Ya'nan Huang Jiancheng Wu Shihao Sun Yu Fu Zonglue Zhang Hongjie

(Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China)

Abstract: With the increasing status of oil pipelines in the national economy and the inevitable aging and stealing of oil, pipeline leakage monitoring has increasingly become an important guarantee for pipeline operation safety. In order to timely and accurately report the location of the leaking point, a virtual instrument was built to monitor and detect it. Through the improvement of the pressure gradient method, the corresponding software system model was designed. Based on the LABVIEW platform, the model can accurately monitor pipeline leakage, and can accurately locate the leaking points by comparing within and among the groups, thus to improve the accuracy of pressure gradient method. By this improvement, the frequency of false positives is reduced, and the function of real-time monitoring and positioning of pipeline leakage is realized.

Keywords: pressure gradient method; virtual instrument; detection technology; petroleum pipeline; comparative measurement

0 引 言

近年来,犯罪分子打孔盗油成为管道泄漏的主要原因之一,我国油气管道一直受到人为打孔盗油、气的威胁,仅中国石化所属管道在2002—2009年,就遭受打孔盗油10 000多次^[1]。同时,随着管道长时间的运行磨损、设备的自然老化、地理和气候环境的变化以及人为损坏等原因,泄漏故障时有发生,对人们的生命、财产和生存环境造成了巨大的潜在威胁^[2-3],也造成贵重资源的浪费。现如今国内外最常用的泄漏检测方法主要有声学检漏法、光纤传感检漏法、软件检漏法和智能球法^[4],但这些方法仍存在一些小流量泄漏漏报、错报,检测范围有限等缺点。通过对管道监测

定位系统设计的研究。要在尽可能短的时间里检测出管道的泄漏位置,系统应具有准确性高,实时性强等特点^[5]。基于LabVIEW软件平台,设计出管道泄漏监测定位系统,实时掌握管道的运输情况,实现对管道泄漏的实时监测,同时诊断管道是否泄漏。可以在知道管道存在泄漏情况下,及时准确得知事故的位置,最大程度减少或避免管道泄漏事故对生命、经济及环境等方面的威胁。

1 系统硬件设计

管道泄漏的硬件基本分为管道运行部分、模拟泄露部分、压力提供部分、压力调整部分、压力测量部分、数据采集部分以及供电部分。

收稿日期:2018-09-13

* 基金项目:北京市大学生科研训练项目(2017J00194)资助

其中设定压力约为 0.5 MPa,管道长度约为 5 m,设定一个泄漏口、一个放水口、一个注水口、4 组安装传感器的位置、一个压力表安装位置等。系统实物模拟如图 1 所示。

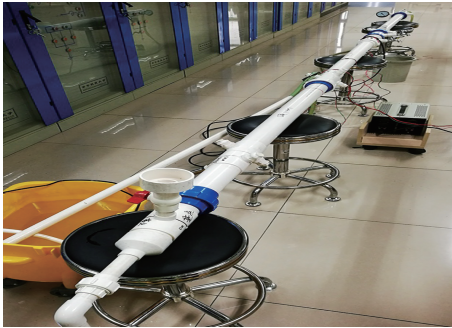


图 1 系统实物模拟

1)管道运行部分

管道部分采用 10 kg 耐压(1 MPa)的 PC 给水管进行制作,提供模拟实验的运输管道,每节管间采用活接接口进行联接^[6],作为实验用正常运行和泄露的载体。

2)模拟泄露部分

在管道上安装水龙头来模拟泄露。正常运行时,水龙头处于关闭状态;泄露时,水龙头处于打开状态。

3)供压提供部分

采用扬程为 100 m 的水泵向管内注水,水泵能够提供的最大压力是 1 MPa,且水泵电机不设调速提供压力恒定。

4)压力调整部分

在管道末端处于管道的横截面中心安装一个泄水口,由水龙头模拟。由于水泵不可调速,提供压力恒定不变,可采用水龙头泄水的大小来控制压力,并将水龙头安装在管道横截面中心,对管道整体的压力并无太大影响。

5)压力测量部分

在管道周围安装传感器^[7],由于压力梯度法定位至少需要纵向 4 个压力点才能给出定位,所以模型安装为 4 组,每组传感器均匀分布在管道周围,4 组传感器纵向分布于管道外壁,实施对管道的实时测量。

6)数据采集部分

目前,传统的多数据采集系统主要有两方法,一种方法是基于下位机单片机和上位机 PC 的系统架构,另一种是采用美国国家仪器公司(简称 NI)公司的数据采集卡和上位机 LabVIEW 的系统构架^[8]。

本文采用第 2 种方法,用直流稳压电源对 GB/T17614-1998 传感器进行供电,通过 NI 公司的 USB-6009^[9-10]采集卡进行采集。

2 系统软件设计

2.1 程序逻辑设计

通过正常情况下的压力梯度图和不正常情况下的压力梯度图可以找出两种情况下的差别^[11],利用之中差别设计

逻辑。在正常情况下管道上横向的 4 个传感器在一定公差范围内相等,不正常情况下,靠近泄漏口方向的传感器会偏小。因此,通过组内传感器的值的比较检测出是否泄露,并且根据比较次数确定出大致位置,比较次数为每组传感器个数($m-1$)。由于不正常情况下,管道纵向压力与正常情况下不同,可以通过比较两种不同设置比较关系,若满足转换之后公差内相等,则表明管道正常运行;若不满足,则表明出现泄露,此时应报警,并且控制定位单元进行比较计算,确定出泄漏点的具体位置;在正常情况下程序一直按照运行周期循环运行,在不正常情况,程序每隔 2 s 运行一次。且程序循环运行不采用软件按钮循环,采用程序内部执行循环,降低占用内存,便于大量传感器使用,程序流程如图 2 所示。

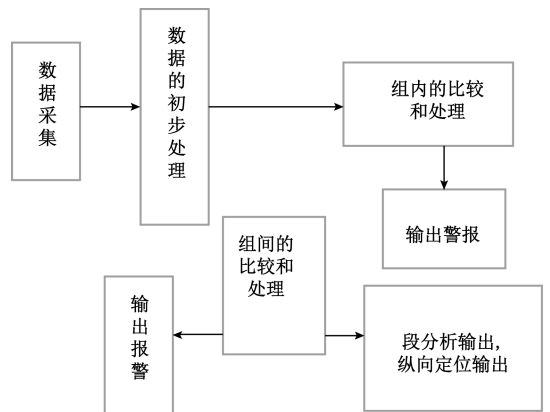


图 2 程序流程

2.2 泄漏段定位

1)选组

首先分组为 0~3,4~7,8~11,12~15 共 4 组,可以看出第 n 组第一个标号的传感器比第 $n-1$ 组第 1 个标号的传感器编号大 4,所以可定第 1 个循环次数为 4,以第 2 组为例,外循环的 $i=1$,要取 4~7,可以用 $4 \times i$ 加上内循环的 i ,即可得到第 2 组传感器编号,再通过索引变量,在取出的一位数组中取到 4 个传感器的值进行比较。选组程序如图 3 所示。

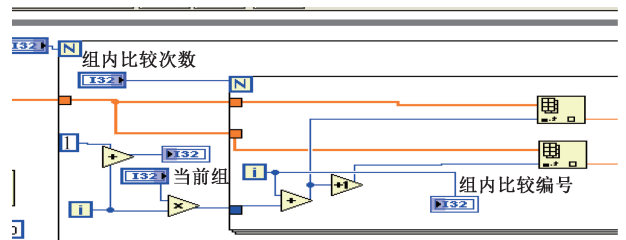


图 3 选组程序

2)比较

组内比较:通过选组选出 4 个传感器在组内每 2 个相邻的传感器进行比较,以第 2 组为例比较 3 次分别为 4、5、

5、6、6、7,若 3 次比较都通过,则正常;若有一组未通过则为泄露。

组间比较:与组内比较相似,但差别在于取数办法不同。组间比较通过拆分和求均值,在对 4 个数进行比较和显示,组间数据提取如图 4 所示。

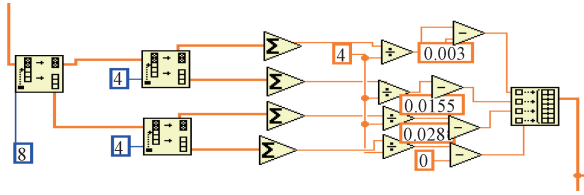


图 4 组间数据提取

取数方法:将数组索引出 16 个值,(16 个传感器的值),再将其数拆分为两组,前 8 个值为一维数组,同样的方法将第 1 组拆分成两组含有 4 个数的一维数组,共 4 组,再分别求均值,在对均值进行比较。

3)显示

显示器件为布尔选项,即红灯和绿灯。当比较正常时,输出为 1,否则输出为 0;则可以将输出连接在布尔故障显示器件上显示,另外再设一个报警灯。为了将故障灯报警灯同时显示,可利用真假结构和局部变量实现。

2.3 泄漏点定位

如图 5、6 所示,在稳定流动的条件下,泄漏将导致沿线的压力梯度分布呈折线变化^[12]。若用 P1 和 P2 得到上游管段的压力梯度,P3 和 P4 得到下游管段的压力梯度,可算出实际泄漏位置^[13]。但传统的线性压力梯度法存在定位精度低、误差大等问题^[14],针对这些问题,本文设计出三段斜率比较法,增大算法的精度和准确性,从而有效解决了首末两段泄漏时监测的情况。

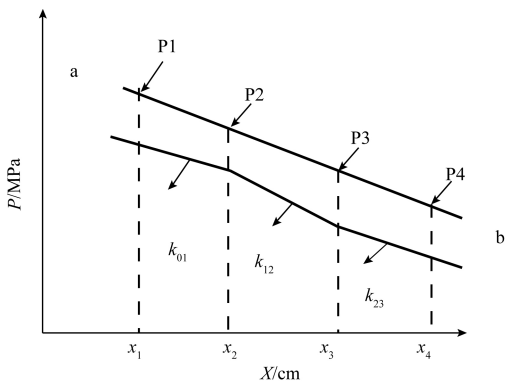


图 5 三段斜率比较

当管道泄漏时,泄漏点位置压力发生骤变,从泄漏点向两侧观察,压力梯度曲线斜率发生改变,则每相邻两点之间的斜率发生改变,判断 k_{01} (0、1 点构成的斜率), k_{12} (1、2 点构成的斜率), k_{23} (2、3 点构成的斜率) 的大小关系,由于首末段的特殊性,将具体列出首末段的泄漏情况,就可以判断

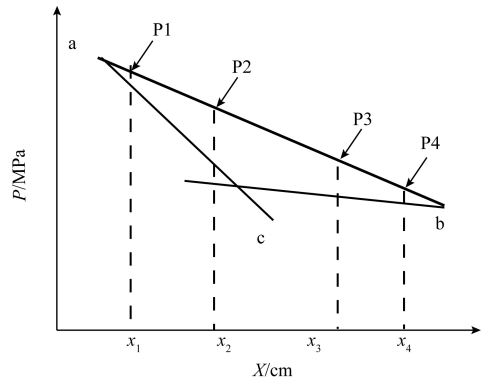


图 6 泄漏对压力分布的影响

大致位置在定位。定位时,只需要相邻 4 个点就能够确定 3 条直线,当然这 4 个点离泄露点越近越好。因此,在判断出泄漏段之后就可以直接用离泄漏点最近的 4 个传感器来确定泄漏位置。 k_{01}, k_{12}, k_{23} 的判断关系和管道泄漏段的关系如下。

- 1)当首段泄漏时: $k_{01} > k_{12} = k_{23}$;
- 2)当末段漏时: $k_{01} = k_{12} > k_{23}$;
- 3)当中间段泄漏时: $k_{01} > k_{12} > k_{23}$ 。

由泄漏时的压力梯度可知,只要泄漏不在首段末段,即可保证两边每边至少有 2 个传感器,可得到以下公式:

$$k = \frac{p_1 - p_2}{x_1 - x_2} \tag{1}$$

当出现泄漏时,通过逻辑判断判断出泄漏段,在与泄漏段相邻的两段各取 4 个传感器的均值,再利用式(1)算出相邻两段的传感器之间的组成直线的斜率,推导过程如下:

$$k_1 = \frac{y_{11} - y_{12}}{x_{11} - x_{12}} \tag{2}$$

$$k_2 = \frac{y_{21} - y_{22}}{x_{21} - x_{22}} \tag{3}$$

$$b_1 = y_{11} - k_1 x_{11} \tag{4}$$

$$b_2 = y_{21} - k_2 x_{21} \tag{5}$$

解方程:

$$y_{12} = k_1 x + b_1 \tag{6}$$

$$y_{22} = k_2 x + b_2 \tag{7}$$

得:

$$x = \frac{y_{11} - k_1 y_{21} x_{11} - y_{21} + x_{21} k_{21}}{k_2 - k_1} \tag{8}$$

3 测试验证

3.1 模拟管道参数

管道长 5 m,0 组、1 组、2 组、3 组传感器安装位置分别为 0.42,1.67,3.4,4.74 m 处;其中 0 段长 1.25 m,1 段长 1.73 m,2 段长 1.34 m;传感器每组安装 4 个,间隔 90° 对称安装,泄漏点位置在 3.23 m 处。管道设置压力 0.5 MPa。

3.2 模拟调试

调试设置为传感器间距等距设为 1,利用 16 个数字输入模拟传感器的输入对程序进行调试。

基本情况如下:当 16 个输入同时输入 1 时,传感器组内指示绿灯亮,组间指示绿灯亮,报警灯不亮,定位无效。正常情况如图 7 所示。



图 7 正常情况

当 0 传感器的模拟输入为 2,其他均为 1 时,组内指示绿灯亮,组间指示绿灯不亮报警灯亮,泄漏段显示 0 段,泄漏定位无效。0 段泄漏如图 8 所示。



图 8 0 段泄漏

当 3 组传感器模拟输入为 0,其他输入为 1 时组内灯亮,组间灭,报警灯亮,泄漏段显示 2,泄漏点显示无效。2 段泄漏如图 9 所示。

当 0 组输入为 6,1 组输入为 3,2 组输入为 1,三组输入为 0 时,组内灯亮,组间灯灭,报警灯亮,泄漏段显示为 1,泄漏位置显示为 1.5m。1 段泄漏如图 10 所示。经分析计算可知,上述模拟测试均正确无误。

3.3 实物调试

1) 传感器校准

在正常运行情况下,对传感器进行校准。校准图像依据:校准值为 0 组 0.005;1 组 0.016;2 组 0.028;3 组 0。信号滤波后图像如图 11 所示。



图 9 2 段泄漏



图 10 1 段泄漏



图 11 信号滤波后图像

2) 定位调试

在模拟调试中,直接设置每段长度相等,求出 2 个传感器的差即可,在模拟管道上每段长度不等,因此需要用 2 个传感器之差除以各段的长度,求出斜率,再用斜率进行泄漏段的定位判断,泄漏段定位判断后,取出相应传感器的压力和位置坐标,再用式(8)进行判断。

在定位调试中,最主要是对逻辑判断的调试,类似于组内组间比较的方法,确定一个合适的值,保证显示的段正确,再通过逻辑比较确定段的情况,选择要执行的真假程序框,从而显示段并给出定位。

两个逻辑判断公差最终通过调试可确定为 0.001,保证显示输出正确,并能保证定位程序的执行。调试结果示如图 12 所示。

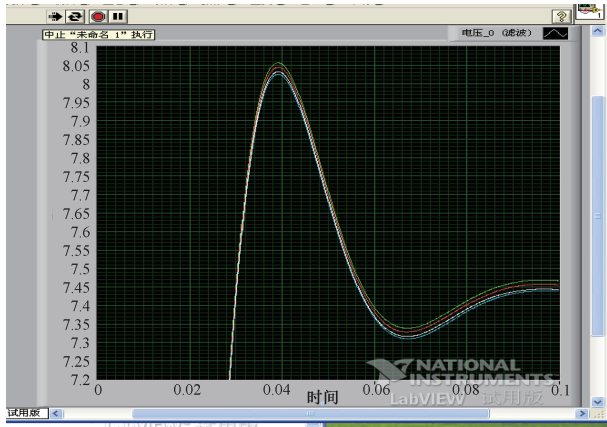


图 12 调试结果

3) 报警调试

初始阶段,各公差设置值均为 0.1;对于组间公差,发现泄露和不泄漏时都不报警,说明公差值设置较大,不能正确判断出泄漏和不泄漏,应当将公差调低;当公差调到 0.005 是发现在正常情况下,报警灯偶尔亮,报警;说明此时公差较小,应当稍稍调大;当设置为 0.006 时,泄漏时报警,正常时不报警。因此,组间公差取 0.006 较为合适的。具体情况如表 1 所示。

表 1 公差调试情况

组间公差	报警情况
0.01	无报警
0.008	无报警
0.004	多次误报警
0.006	正常报警
0.005	少量误报警

组内报警调试情况与组间报警情况调试相似,最终确定公差为 0.01。

3.4 误差分析

在运用压力梯度法进行定位时存在一些误差,这是由于建立的模型和真实情况有一定区别造成的^[15],本文采集了泄漏段两端的共 4 个传感器的值,其计算泄漏点位置仅用了 4 个传感器之间 3 段管道的长度进行计算,因此在计算精度时应用传感器 3 段之间的长度之和进行计算。

在模拟管道上泄漏点位置为 3.23 m,通过检测出的位

置在 3.0~3.3 浮动,因此可计算精度为:

$$d = \frac{x}{x_0} = \frac{0.23}{4.74 - 0.42} = 0.532 = 5.32\% \quad (9)$$

可见,模型精度在 5.32% 之内,定位绝对差 0.23 m,在一定程度上提高了压力梯度法定位长距离管道测量的精度。解决了虚拟仪器测量方法不能准确定位的缺点。

采用新型的软件与硬件相结合的检测方法,在一定程度上提高了管道泄漏检测的精度和灵敏度。

4 结 论

该系统以管道泄漏为研究对象,基于 LabVIEW 平台研发而成,能够快速、有效、精确、灵敏的实现管道泄漏的监测,通过压力梯度法、组内组间比较可以比较准确地定位泄漏点位置,从而提升了压力梯度法定位精度低的问题,降低了软件系统漏报、误报的频率。理论分析与实验结果表明,本文采用的基于虚拟仪器的仪器检测与管道定位系统易于适应、易于维护、系统运行稳定且具有较高的定位精度,这为实现管道的泄漏检测提供了良好的研究基础。

参考文献

- [1] 朱益飞. 运用先进监控技术确保油气管道安全[J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2010(6): 99-101.
- [2] 任顺顺. 油气长输管道泄漏检测技术研究[J]. 天然气与石油, 2014, 32(6): 25-28, 9.
- [3] 何绪春. 石油天然气长输管道的泄漏原因及检测方法分析[J]. 化工管理, 2017(10): 162-163.
- [4] 李健, 陈世利, 黄新敬, 等. 长输油气管道泄漏监测与实时检测技术综述[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(8): 1747-1760.
- [5] 李秀峰, 何仁洋. 埋地管道泄漏检测监测技术研究发展[R]. 2010.
- [6] 王明达, 徐长航, 付建民. 管道泄漏检测实验平台设计与开发[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(11): 104-106, 110.
- [7] 胡琼, 范世东. 基于虚拟仪器的管道流量和压力数据采集系统[J]. 交通信息与安全, 2009, 27(5): 120-123.
- [8] 李红刚, 张素萍. 基于单片机和 LabVIEW 的多路数据采集系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(4): 62-67.
- [9] 冯雪. 数据采集卡性能指标与应用[J]. 工业控制计算机, 2008, 21(5): 10-11.
- [10] 马宗骏, 张博, 牛大鹏. 基于 USB 的数据采集卡的应用[J]. 物联网技术, 2011, 1(3): 68-70.
- [11] 肖智光, 吴嗣跃, 薛小红. 管道泄漏检测技术应用分析[J]. 管道技术与设备, 2009(2): 23-26.
- [12] 康中成. 石油管线泄漏检测技术探析[J]. 黑龙江科技信息, 2010(4): 40, 259.
- [13] 曹燕龙, 王为民, 葛磊, 等. 压力梯度法定位管道泄漏点的数值模拟[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2014, 34(2): 45-48.

- [14] 王彦升,陈雷,葛焯铸,等.油气管道泄漏检测技术发展研究现状[J].山东工业技术,2013(10):192-193.
- [15] 孙良,王建林.基于泄漏瞬变模型的管道泄漏检测与定位方法[J].应用基础与工程科学学报.2012,20(1):159-168.

作者简介

独秀,本科生,主要研究方向为电气工程及其自动化。

E-mail:18210599465@163.com

魏亚楠,本科生,主要研究方向为电气工程及其自动化。

E-mail:3063412158@qq.com

黄建成,本科生,主要研究方向为电气工程及其自动化。

E-mail:5120150352@bipt.edu.cn

张红洁(通信作者),博士,主要研究方向为电工理论与新技术,光纤应力、温度探测,超导磁体技术,电磁-结构有限元分析,虚拟仪器技术等。

E-mail:zhanghongjie@bipt.edu.cn

罗德与施瓦茨公司推出 100 kHz 到 40 GHz 多端口 VNA

罗德与施瓦茨公司新推出的 R&S® ZNBT40 能在 100 kHz~40 GHz 频率范围内配置多达 24 个测量端口的矢量网络分析仪(VNA),产品开发人员可以用它测量像 5G 阵列天线这样的多端口器件。R&S® ZNBT40 的多端口结构不仅适合于测量多端口器件,还能在生产线上同时测量多个被测器件(DUT),帮助用户提高生产效率。罗德与施瓦茨公司确保 R&S® ZNBT40 的所有 24 个端口都达到所标定的性能指标,与 R&S® ZNBT40 同时推出的还有 R&S® ZNBT26,这是 ZNBT 产品系列中测量频率为 26.5 GHz 的型号。

现在有源器件和无源器件的生产厂家可以用 R&S® ZNBT40 矢量网络分析仪测量各种类型的多天线通信系统(MIMO, ISO, MISO),由于其测量频率范围高达 40 GHz,R&S® ZNBT40 除了非常适合于测量 5G NR 前端模块的应用之外,军用雷达系统、天线阵列、波束赋型芯片等也均在其应用范围之内。它既可以一次连接测量有 24 个端口的 DUT,也可同时对多个 DUT 测量。

在扩展应用方面,R&S® ZNBT 是目前市场上独有的测量频率低于 300 kHz 的多端口矢量网络分析仪,这使它成为验证测试诸如 USB-C 的各种数字线缆是否满足质量规范要求的理想测量仪器。

R&S® ZNBT 也可用于信号完整性方面的测试,如测量信号传输线之间的串扰、信号线长度的偏差、对电缆故障点进行定位等。当在开发、维修产品的过程中需要进行测试的时候,R&S® ZNBT40 是理想的选择,这尤其体现在生产测试环境,因为同时对 24 个端口进行测量可以为用户节约大量的时间和成本。

确保所有测量端口的指标参数

因为罗德与施瓦茨公司保证 R&S® ZNBT 的所有测量端口的性能均能达到标定的技术指标,所以除了测量多端口器件的 S 参数之外,它还可以同时测量 24 路信号的相位信息。另外,由于 R&S® ZNBT 未经校准的射频指标也极为优异,用户完全可以信赖其测量结果的长期稳定性。

R&S® ZNBT40 和 R&S® ZNBT26 是广为市场认可的 R&S ZNBT 多端口矢量网络分析仪系列产品的新型号。在此之前,R&S® ZNBT 系列已经有 R&S® ZNBT8 (9 kHz~8.5 GHz)和 R&S® ZNBT20 (100 kHz~20 GHz)两个型号。所有频段的 R&S® ZNBT 最多都可配置 24 个测量端口。现在用户已经可以从罗德与施瓦茨公司购买全新的 R&S® ZNBT26 和 ZNBT40 多端口矢量网络分析仪,可以从公司的网站上了解到更多相关的信息:www.rohde-schwarz.com/ad/press/znbt40。