

全自动排砂双筒捕砂器的研制

刘刚

中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司 黑龙江大庆 163412

通讯作者:Email:sc_liugang@petrochina.com.cn

项目支持:中国石油大庆油田有限责任公司科研项目“致密气增产机理及压裂试气配套技术研究”(110017333003014)

引用:刘刚. 全自动排砂双筒捕砂器的研制[J]. 油气井测试,2021,30(5):23-27.

Cite: LIU Gang. Development of an automatic sand-discharging double-cylinder sand catcher [J]. Well Testing, 2021,30(5):23-27.

摘要 大庆油田深层气井大型压裂后,试气产出天然气为非均匀混合物,携有大量碎屑、支撑剂及泥砂等,影响天然气产量,且对后续流程的仪表和设备造成严重损坏。研制的全自动排砂双筒捕砂器,通过控制系统监测捕砂器压差传感器传递的压差信号,超过阈值启动排砂阀,进行反向吹扫至集砂箱内,自动排出捕砂筒内的砂砾。该装置在 XS-9 井、WS-P1 井等现场应用,能够有效过滤返排及试气流程中的大粒径砂砾,有效保护流程中仪表和设备,实现精准计量,延长仪表和设备的使用寿命,提高设备的安全性和高效性。全自动排砂双筒捕砂器在深层气井的应用,为完善试气地面流程提供有效的技术支撑。

关键词 深层气井; 捕砂装置; PIC 微控制器; 排砂阀; 砂砾过滤; 压差传感器; 地面计量

中图分类号:TE353 **文献标识码:**B **DOI:**10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.05.004

Development of an automatic sand-discharging double-cylinder sand catcher

LIU Gang

Oil Testing and Production Test Branch, PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163412, China

Abstract: After large-scale fracturing of deep gas wells in Daqing Oilfield, the natural gas produced during the gas test was a heterogeneous mixture, carrying a large amount of debris, proppant and mud sand, etc., which affects the natural gas production and causes serious damage to the instruments and equipment during the subsequent process. A fully automatic sand-discharging double-cylinder sand catcher which monitors the differential pressure signal transmitted by the differential pressure sensor of the sand catcher through the control system is developed. When the differential pressure exceeds the threshold value, it starts the sand discharging valve and carries out reverse purging to the sand collecting box, so as to automatically discharge the gravel in the sand catcher. The device has been applied in Well XS-9 and Well WS-P1, which has proved that the device can effectively filter the large-size gravel in the flowback and gas production process to protect the instruments and equipment, realize accurate measurement, extend the service life of instruments and equipment and improve the safety and efficiency of equipment. The application of the automatic sand-discharging double-cylinder sand catcher in deep gas wells provides effective technical support for improving the surface process of gas testing.

Keywords: deep gas wells; sand-catching device; PIC microcontroller; sand-discharging valve; gravel filtration; differential pressure sensor; surface metering

在深层气井试气和生产过程中,要精确计量油、气、水的产量,首先必须使油、气、水分离开,而油、气、水的分离需要借助地面计量设备^[1-3]。大规模压裂是深层气井增加产量的一种极其有效的手段^[4-6]。在压后排液初期,由于井内压力较高,返排初期流速大,通常会携带部分固相颗粒物。这些颗粒物主要包括钻进中漏失的高密度钻井液中的加重材料、地层出砂、岩屑、射孔残渣、压裂砂等,特别是目前非常规气藏大规模压裂加砂后,地层出砂情况更为严重^[7-9],且持续时间长,导致地

面计量设备易损坏、易堵,限制了地面设备的正常施工,给深层气井压后初期的测气工作带来了困难。由于上述问题的存在,张怀^[10]研制出除砂器排砂预警装置,可在低温、高压、高吐砂等极端作业条件下,提高滤网除砂器的适应性及安全性,保证试气施工顺利进行。张涛等^[11]形成完善的油气井测试在线出砂监测方案,实现了对油气井出砂的准确监测与有效控制。目前,现场通常采用 105 MPa 管柱式除砂器进行除砂作业。该除砂器依靠安装在滤砂筒内不同等级的加固滤网来过滤

固相颗粒。当一个砂筒填满砂砾时,需要手动进行切换操作,同时需要操作人员时刻关注砂筒的砂量情况,造成了人力资源的浪费,效率比较低^[12-13];而离心分离器压力损失大,过滤分离器阻力上升快,需要频繁更换滤网、滤料等,运行成本高^[14-16]。一些学者提出,采用旋流除砂器利用井筒流体各相介质密度差,在离心力作用下实现分离,由于在旋流除砂器内存在旋涡状气(液)柱,气(液)中携带的固体颗粒会造成气(液)柱在锥形腔内分布是不均匀的,同时气(液)柱含有的固相杂质具有一定的黏附能力,这种黏附特性给旋流除砂器的工作带来了极大的不确定性,具有黏附能力的钻屑可以黏附在底流口附近腔体内壁上,从而减小下底流口的过流断面,最终可能导致底流口的堵塞^[17-18]。全自动排砂双筒捕砂器的设计及应用可以保证地面计量的正常工作,在解决压裂砂对地面计量设备损坏的同时,提高安全性,减轻维修保养工作量,节约成本。

1 捕砂器构成及工作原理

全自动排砂双筒捕砂器利用重力原理,使质量大于天然气浮力与推力之和的颗粒沉积到捕砂器下部,并通过压差传感器监测压差。当压差达到一定阈值后,会通过控制系统(PIC 微控制器)自动切换捕砂筒,并对充满砂砾的捕砂筒进行反向吹扫至集砂箱内,实现自动排砂。

1.1 设备组成

捕砂装置主要包括集砂箱,捕砂筒,压力传感器,电动闸板阀,PIC 微控制器等。全自动排砂双筒捕砂器结构如图 1 所示。

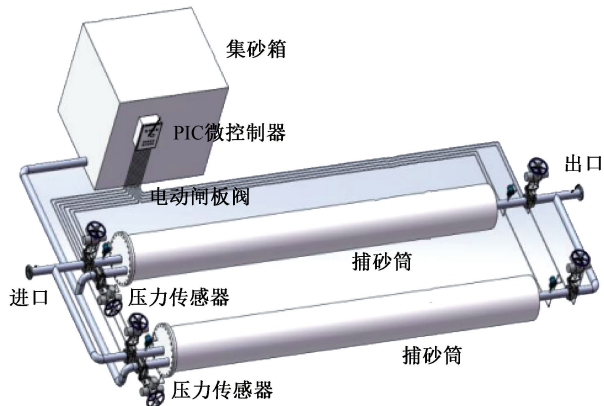


图 1 全自动排砂双筒捕砂器结构示意图

Fig. 1 Structure of the automatic sand-discharging double-cylinder sand catcher

1.2 工作原理

混合气体从装置进口进入,经过装置的沉积过滤,从出口输出纯净的气体。本装置通过在捕砂筒和进气口安装压力传感器,监测捕砂前与捕砂后的压力,与进口混合气体压力进行比较。当压差达到某一预设值时,启动排砂阀,排出捕砂筒内的砂砾。

主要技术指标:适用石油、天然气、泥浆水、 H_2S 等介质;工作压力 75 MPa;工作温度 $-29 \sim 121\text{ }^{\circ}\text{C}$;进口 78~105 法兰连接;出口 65~105 法兰连接;砂粒处理能力根据滤网尺寸(100 mm、150 mm、200 mm)而定;单滤网槽容积 28 L;控制电压 220 VAC。

1.3 沉积原理

在理想状态下,不考虑捕砂筒及阀门腔体等产生的阻力,则当如下不等式成立时,砂砾将捕集到捕砂筒底部,即

$$\rho\pi D^2/4 + \rho gV < mg$$

式中: p 为天然混合气体压强,Pa; ρ 为密度, kg/m^3 ; D 为捕砂筒直径,m; m 为单粒砂砾质量,kg; V 为体积, m^3 ; g 为重力加速度(值取 9.8), m/s^2 。

1.4 过滤原理

砂砾的直径范围很宽。但是,当砂砾直径大于筛筒直径时,砂砾不能通过捕砂筒,从而沉积到捕砂筒底部。

当捕砂筒内部积满砂砾后,天然气不能充分过滤,输入口和输出口压差增大,需要切换阀门进行手动排砂,考虑到人员的反应动作时间,可能造成排砂不及时等问题,需要将排砂设计成自动控制。

2 自动控制部分构成及工作原理

PIC 微控制器(PIC Microcontrollers)是 Microchi 科技制作的专业微控制器芯片的一种,它是小型的微电脑,用来管理不同设备中的嵌入式系统的运行^[19-20]。

2.1 硬件支持

在进口端安装压力传感器监测混合气体在进入捕砂装置前的压力值,出口端安装传感器监测产出气体的压力值,对两个压力值进行处理计算的 CPU 硬件,排砂端安装电动和手动平行式双向闸板阀等。

2.2 软件系统支持

采用 PIC 控制,将采集到的压力数据通过无线数据传输到值班室主机,工作人员设定排砂及终止排砂的条件,主机通过对采集的数据进行比较计

算。当达到工作人员预设压差时,系统报警并将指令发送给排砂阀上的电机,自动执行排砂与终止排砂任务。

2.3 逻辑原理

从控制逻辑流程图可以看出(图2),通过采集压力传感器上的上、下游压力值,在主机上进行计算处理。当实际压力差小于预设压差时,执行启动电机关闭阀门操作;否则,执行启动电机开启阀门操作。

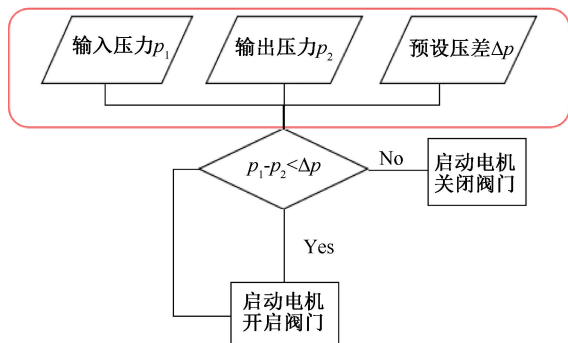


图2 控制逻辑流程图

Fig. 2 Control logic flow chart

2.4 全自动排砂双筒捕砂器部分材料选用

为保障全自动排砂双筒捕砂器整体运行安全性、可靠性和及时性,该套装置对阀门、捕砂筒,以及自动控制部分零件材料的选用提出了一定的技术要求。

2.4.1 阀门捕砂筒材料选用

- (1)各部件均采用锻造的材料制造。
- (2)所有零部件承压范围不小于75 MPa。
- (3)设计通径65 mm。
- (4)闸板阀使用定制式电动闸板、电机使用防爆伺服电机。闸板阀同时具有备用手动开闭功能,方便在设备断电时使用。

2.4.2 自动控制部分零部件选用

(1)控制硬件结构组成。控制系统主要由交流电源,可充锂电式UPS,CPU,压差传感器,无线数据传输系统组成(图3)。当主要电力(220 V AC)中断时,系统发出报警,整个控制系统仍可依靠UPS正常工作一段时间,但需要及时根据压差情况进行排砂操作。

(2)主控制系统采用PIC控制,压力传感器采用进口防硫316 L不锈钢材质。

(3)采集到的数据和控制数据通过无线数据进行双向传输,采用两地控制,设备上和值班室可以同时控制,PLC箱及触摸屏箱都配备UPS电源,确

保在停电能及时报警或做紧急处理。界面上显示设备的输入压力、输出压力,可设置输入输出压差,开启和关闭按钮可强制对闸阀进行操作,实现强制排砂。

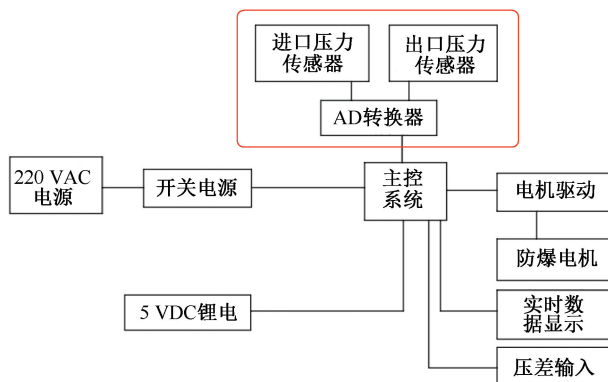


图3 自动控制硬件结构组成

Fig. 3 Composition of automatic control hardware structure

3 现场工艺

深层气井地面返排及测气流程中,高压区使用耐高压、耐高温的法兰管线进行连接。同时,在整个流程中使用多级节流装置对流体进行分级逐级节流,在流程上游使用捕砂器和砂分离器。返排流程和试气流程相对独立,分别设计和连接。在三相分离器上游使用除砂器对流体进行精细过滤。流程上增加缓冲罐,使用探砂仪在线监测流体含砂情况。

整个工艺流程主要由两部分组成:

(1) 返排流程:

采油树—法兰管线—捕砂器—转向管汇—三级节流降压装置—缓冲罐—回收罐。

(2) 试气流程:

采油树—法兰管线—捕砂器—转向管汇—节流管汇—热交换器—三相分离器—缓冲罐—回收罐。

当体积压裂完毕进行排液时,流体经过捕砂器,过滤出较大的固相颗粒,再经砂分离器对流体的较小砂粒进行分离,含有较少的固相颗粒的流体经转向管汇进入试气管线或者返排管线。

4 现场应用

自2018年使用全自动排砂双筒捕砂器在深层试气完井现场使用,获得了良好的使用效果。钻塞和测试返排作业期间,捕砂器成功过滤了大量的橡

胶块,支撑剂,铁屑,石块,避免在钻桥塞返排作业中固体颗粒直接堵塞下游管线和油嘴,保证了返排作业的顺利进行。同时,连接管线、弯头、三通、旋塞阀等管道件无击穿现象。油嘴管汇油嘴及针阀无损坏现象。分离器设备无损坏和砂埋现象。

XS-9 井是位于松辽盆地东南断陷区徐家围子断陷兴城鼻状构造上的一口开发井,为落实目的层原始地层压力流体性质和产能,进行储层参数解释评价。采用等间距压裂,压裂后合试求产,进行产能测试。设计压裂规模为液 $11\ 000\ \text{m}^3$,加砂 $600\ \text{m}^3$ 。该井大规模压后测气,井口有明显出气显示后,进入设备正式测气,试气地面流程如图 4 所示。井内流体首先通过管线进入捕砂器,捕砂器通过压差传感器监测压差。当压差达到一定阈值后,会通过 PIC 自动切换捕砂筒,并对充满砂砾的捕砂筒进行反向吹扫至集砂箱内,实现自动排砂。井口压力 $15\ \text{MPa}$,流体携砂量 8% (逐渐减少)。经过 $6\ \text{h}$ 试气,井口压力 $18\ \text{MPa}$,流体携砂量达到 5% (逐渐减少)。经过 $20\ \text{h}$ 试气,井口压力达到 $21\ \text{MPa}$,流体内基本无砂,共过滤出压裂砂 $2.1\ \text{m}^3$,未出现因为除砂导致关井现象发生。

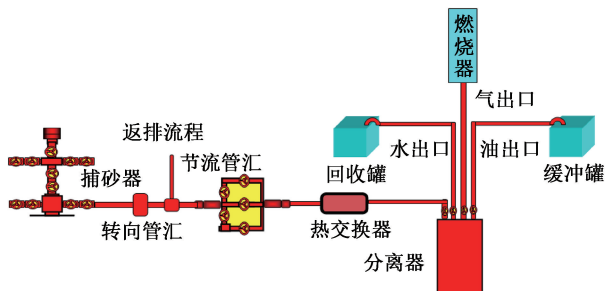


图 4 XS-9 井试气地面流程图

Fig. 4 Surface flow chart of gas test in Well XS-9

WS-P1 井是位于松辽盆地东南断陷区徐家围子断陷汪家屯-宋站低隆起上的一口开发井,WS1 井区火山岩顶面构造整体表现为南部、西南部、中部高,西北部低,主要目的层为营城组火山岩储层。为落实目的层原始地层压力流体性质和产能,进行储层参数解释评价。采用无限级滑套压裂,压裂后合试求产,进行产能测试。该井设计压裂规模为液 $22\ 000\ \text{m}^3$,加砂 $1\ 200\ \text{m}^3$ 。该井为油剂泥浆完井,井内为割缝套管,井口压力 $32\ \text{MPa}$,流体中含有不同规格的固体岩屑。测气工作结束后,共过滤岩屑 $0.5\ \text{m}^3$ 。

该套装置在 XS-9 井、WS-P1 井等现场应用效果良好,能够有效的过滤返排及试气流程中的大粒

径砂砾,有效保护了流程中仪表和设备,实现精准计量,延长仪表和设备的使用寿命,提高设备的安全性和高效性。全自动排砂双筒捕砂器与旋流除砂器的配合使用,可以过滤钻桥塞及早期放喷过程中桥塞碎屑和部分砂粒,从而防止下游设备被堵和刺坏,减少地面流程的安全风险;配套使用动力油咀能够逐级减低井口压力,实现高压和低压的平稳过渡,有效减少节流效应对下游设备的影响,同时能够实现回压的精确控制,提高试气连续性,实现安全环保连续测气。

5 结论

(1) 针对深层气井大型压裂试气返排及试气过程中大颗粒砂砾对流程中仪表和设备易造成严重损坏的问题,研制了全自动排砂双筒捕砂器,实现自动排砂功能。

(2) 全自动排砂双筒捕砂器在 XS-9 井、WS-P1 井等现场应用效果良好,能够有效过滤返排及试气流程中的大粒径砂砾,有效保护流程中仪表和设备,实现精准计量,延长仪表和设备的使用寿命,提高设备的安全性和高效性。

(3) 全自动排砂双筒捕砂器在深层气井的应用,为完善试气地面流程提供了有效的技术支撑。

致谢:感谢大庆油田试油试采分公司同意本文公开发表;感谢施工队伍在本文现场试验数据统计分析中给予的大力支持;感谢试油试采分公司试油大队相关技术人员给予的相关指导。

参考文献

- [1] 赵鸣. 低流速油气水三相流气相预分离方法研究[D]. 大庆:东北石油大学,2018.
ZHAO Ming. Study on gas liquid three phase flow preseparation method at low flow rate [J]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2018.
- [2] 潘艳芝,王栋,巩大利,等. 一种计量稠油中油气水三相流的方法和装置研究[J]. 西安交通大学学报,2016,50(7):140-144.
PAN Yanzhi, WANG Dong, GONG Dali, et al. Investigation on the oil-water-gas measurements in viscous oil [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2016,50(7):140-144.
- [3] 王永强,张凯权,汪建伟,等. 使用科式力质量流量计的多相流量计的研制[J]. 油气井测试,2021,30(3):20-24.
WANG Yongqiang, ZHANG Kaiquan, WANG Jianwei, et al. Development of multiphase flowmeter using Coriolis force mass flowmeter [J]. Well Testing, 2021,30(3):20-24.

- [4] 王洪伟. 大规模压裂注水开发一体化技术在特低渗透油藏的应用[J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(1): 102-106.
WANG Hongwei. Application of integrated large-scale fracturing and water flooding development technology in extra low permeability oil reservoirs [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018, 40(1): 102-106.
- [5] 褚春波, 郭权, 黄小云, 等. 有限元分析径向水力压裂裂缝扩展影响因素[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 59-66.
CHU Chunbo, GUO Quan, HUANG Xiaoyun, et al. Finite-element analysis on influencing factors for propagation of fractures induced in radial jet hydraulic fracturing [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 59-66.
- [6] 梁斌, 谭先红, 焦松杰, 等. 东海低孔低渗气田气井压裂投产后“一点法”产能方程[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 73-78.
LIANG Bin, TAN Xianhong, JIAO Songjie, et al. “Single-point” productivity equation for fractured gas wells in low-porosity and low-permeability reservoirs, East China Sea [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 73-78.
- [7] 李军贤. 地层出砂井测试工艺优化[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 47-52.
LI Junxian. Optimization of testing techniques for wells with formation sand production [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 47-52.
- [8] 陈华良, 刘兴华, 张洋. 140 MPa 超高压油气井地面测试技术[J]. 油气井测试, 2016, 25(6): 52-55, 58.
CHEN Hualiang, LIU Xinghua, ZHANG Yang. 140 MPa Ultra-high pressure well surface testing technology [J]. Well Testing, 2016, 25(6): 52-55, 58.
- [9] 许仁辞, 静玉晓, 石凯月, 等. 段塞捕集器结构改造与除砂性能评价[J]. 中国海上油气, 2017, 29(2): 156-161.
XU Renci, JING Yuxiao, SHI Kaiyue, et al. Improvement in the structure of slug catchers and evaluation of their desanding performances [J]. China Offshore Oil and Gas, 2017, 29(2): 156-161.
- [10] 张怀. 除砂器排砂预警装置[J]. 油气井测试, 2020, 29(1): 48-52.
ZHANG Huai. Sand draining warning device of desander [J]. Well Testing, 2020, 29(1): 48-52.
- [11] 张涛, 刘莉娟, 郭玉廷. 油气井出砂在线监测技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(3): 45-51.
ZHANG Tao, LIU Lijuan, GUO Yuting. Online sand production monitoring scheme for oil and gas well testing [J]. Well Testing, 2021, 30(3): 45-51.
- [12] 寇杰. 大罐油砂自动处理工艺研究与装置设计[J]. 石油机械, 2001, 29(11): 14-16.
KOU Jie. Technology and apparatus for automatic desanding with oil tank [J]. China Petroleum Machinery, 2001, 29(11): 14-16.
- [13] 桑义敏, 陈家庆, 张利岩, 等. 油气田系统除砂技术探讨[J]. 石油化工安全环保技术, 2007, 23(4): 5-10.
SANG Yimin, CHEN Jiaqing, ZHANG Liyan, et al. Discussion on sand removal technologies for oil-gas field systems [J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology, 2007, 23(4): 5-10.
- [14] OPAWALE A, ABDALLA T. Innovative compact sand removal technology developments qualifications and successful applications [C]. SPE 172402, 2014.
- [15] RAWLINS H. Sand management methodologies for sustained facilities operations [C]. SPE 164645, 2014.
- [16] 王虎, 韩东兴, 赖燕, 等. 天然气采集过程防砂装置的应用[J]. 石油化工应用, 2014, 33(6): 116-119.
WANG Hu, HAN Dongxing, LAI Yan, et al. Sand control during the process of collecting device used in natural gas [J]. Petrochemical Industry Application, 2014, 33(6): 116-119.
- [17] 赵益秋, 杨川琴, 王峰. 105 MPa 旋流除砂器在高压高产深井中的应用[J]. 钻采工艺, 2016, 39(2): 126-128.
ZHAO Yiqiu, YANG Chuanqin, WANG Feng. 105 MPa cyclone desander application in deep wells with high pressure and high production [J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(2): 126-128.
- [18] 杨勇, 杜通林, 李晓冬, 等. 新型高效旋流段塞流捕集器优化设计[J]. 天然气与石油, 2011, 29(5): 9-10, 14.
YANG Yong, DU Tonglin, LI Xiaodong, et al. Optimization design of new high efficiency hydrocyclone slug flow trap [J]. Oil and Gas Transportation and Storage, 2011, 29(5): 9-10, 14.
- [19] 魏秋月, 田雨. 基于 PIC18F4680 单片机的动态小压力微弱信号检测[J]. 测控技术, 2017, 36(12): 24-28.
WEI Qiuyue, TIAN Yu. Weak signal detection of dynamic small pressure based on PIC18F4680 microcontroller [J]. Measurement & Control Technology, 2017, 36(12): 24-28.
- [20] 吴光永, 刘建新. 基于 PIC 单片机的通用胎压监测系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(11): 1434-1436, 1460.
WU Guangyong, LIU Jianxin. Design of universal TPMS based on PIC MCU [J]. Computer Measurement & Control, 2007, 15(11): 1434-1436, 1460.

编辑 方志慧

第一作者简介: 刘刚, 男, 1982 年出生, 高级工程师, 2005 年毕业于大庆石油学院石油工程专业, 主要从事油气井试油测试工作。电话: 0459-5688815; Email: sc_liugang@petrochina.com.cn。通信地址: 黑龙江省大庆市乘南十八街大庆油田试油试采分公司, 邮政编码: 163412。