

文章编号: 1001-1749(2023)01-0084-09

无线节点技术在城市地下空间探测中的应用

卓武¹, 陈松², 冯美娜¹, 肖关华¹, 唐美斌¹

(1. 中国石油 东方地球物理公司辽河物探分公司, 盘锦 124010;
2. 中国地质调查局 武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 武汉 430205)

摘要: 随着城市的不断发展,城市地表空间越来越不足以满足社会日益发展的需求,因此城市地下空间作为重要的载体将逐渐受到重视。要想充分利用城市地下空间,首先必然要勘探清楚地下空间的地质情况,从而保证高效、安全、充分地利用它。无线节点作为一种集野外布设受地表条件影响小,布放简单,对环境破坏小,效率高,更适合环境复杂而敏感区作业等众多优点的地震勘探仪器,能较好地适应城市地下空间探测任务。以JN城市某区域为例,介绍了无线节点地震仪器设备的应用情况,并取得较好的效果。

关键词: 无线节点; 城市地下空间; 浅层地震

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.01.11

0 引言

近年来,地下空间开发利用及与地下空间相关的安全运营已经成为我国大中型城市面临的重要课题,地下空间作为城市的重要载体受到越来越多的重视。地下轨道交通、综合管廊建设等均与地下空间规划、利用密不可分^[1-3]。要高效、安全、充分地利用地下空间,就必须首先查清楚浅层地下空间的地质情况,包括岩性分层、基岩面埋深及起伏、活动断裂、地裂缝、孤石、空洞、富水性等。

地下空间探测技术包含有地震勘探、微动探测、探地雷达、高密度电法、瞬变电磁法,水工环地质调查、多参数钻探、井间CT等^[4]。针对城市地下空间的探测,地震勘探技术在勘探成本、适用性来说是一种非常合适的技术。在城市区域开展地震勘探会出现复杂地表条件的问题,虽然以往有线地震仪器设备采集的数据可靠性很好,但城市地区存在局部水

域、建设施工区域、城市基础设施等复杂地表,使得传统有线地震设备存在一定的不适应性。

目前无线节点地震仪器陆续被研发出来,并使用在各种地震勘探当中。无线节点仪器打破了数据传输的环节,由原来的采集、传输、记录,改变为现在的采集、就地记录、数据下载合成,这样就地简化了系统结构,同时使得施工更加方便快捷^[5]。节点仪器具有野外布设受地表条件影响小,布放简单的特点,对环境破坏小,更适合在环境复杂而敏感区作业。其检波器无需过路线、高架线、过沟线,即使在城市地表复杂地区,也能精准、快速摆放到位。

本次在JN城市某区域,将采用无线节点地震仪器开展采集工作。

1 技术方法

1.1 节点设备

节点仪器的组成包括数据采集电路、存储和控

制电路、通讯和接口电路以及 GPS 授时原子钟等部分, 采用外置或内部电池供电、自主工作、连续采集、数据就地存储等方式, 最终室内合成地震数据^[6]。

节点类型主要分为分离式节点和集成式节点 2 类, 目前主要的节点仪器有如表 1 所示的几种。

本次使用的节点仪器是一种可以自主存储式无线地震数据采集仪器, 是一种集成式节点仪器, 因其轻便、小巧, 从而可适应不同地表环境要求^[7]。无线节点仪器与 428XL 仪器野外适用特性对比分析^[8]见表 2。

无线节点仪器与有线仪器在排列施工方面的对比如图 1 所示。有线仪器后边道采集完成之后滚动到前边道, 中间是正在接收道, 而无线节点每道埋置后, 即刻开始连续记录, 实质上在设计的接收段外形成了额外的接收道, 增大了地震采集的炮检距, 从而增加采集覆盖次数。可以得出节点仪器相比有线仪器在某些方面具有一定的优势。

1. 1. 1 野外采集系统

野外采集主要是节点单元, 它体积小, 重 1.1 kg, 内置高灵敏度检波器、高精度 GPS、采集站、电池、存储数据单元、24 位模数转换器、蓝牙等(图 2)。

表 1 无线节点仪器分类

Tab. 1 Classification of wireless node instrument

	生产厂家	节点名称	模数转换
分离式节点	GeoSpace	GSR、GSX、GSB	24 位
	INOVA	Hawk	24 位
	SAS	Orion	32 位
	iSeis	Sigma	32 位
	Global	AutoSeis	32 位
	知微汇众	FLEXSEIS	32 位
	BGP	eSeis	32 位
集成式节点	GeoSpace	GCL	24 位
	Fairfield	Zland	24 位
	Wireless Seismic	RT3	24 位
	知微汇众	ALLSEIS	32 位
	DTCC	SmartSolo	24 位
	INOVA	Quantum	24 位
	BGP	eSeisII	32 位

表 2 无线节点仪器与 428XL 仪器野外适用特性对比

Tab. 2 Comparison of field application characteristics between wireless node instrument and 428XL instrument

对比项	无线节点	传统有线仪器(428XL)
站线结构	单站单道、独立	4 站组成一根采集链
采集方式	无线、灵活	有线传输, 受地形、工农限制
排列铺设	无过路、过沟线	有过路、过沟线
排列故障排除	边摆排列边排除	排列连接后逐个排除
重量	轻(1 道 1.1 kg)	较重(4 道 25 kg)
摆放便捷性	便捷, 所需人、车少	所需人、车较多
电瓶使用时间	25 d 连续工作	5 d~6 d

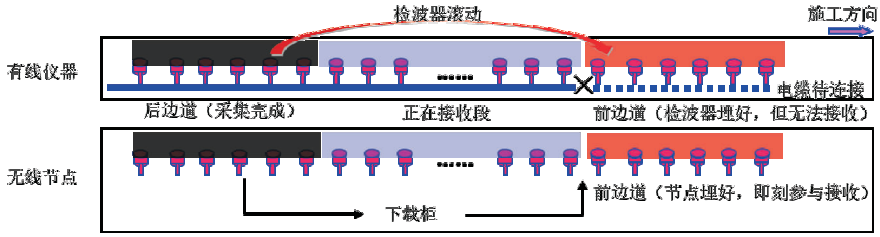


图 1 排列施工对比示意图

Fig.1 Arrangement construction comparison diagram



图 2 无线节点仪器

Fig.2 Wireless node instrument

1.1.2 GPS 同步授时

节点设备是基于 GPS 授时以实现各节点的时间同步产生的地震信号接收设备,必须保证各节点的时钟严格同步,然后对比各节点的时间合成地震数据。

GPS 时间基准是原子时钟系统,其起算点是 UTC 时间。随着时间的积累,GPS 时间与 UTC 时间的差异通过时间服务部门定期公布。GPS 时间的周和秒减去闰秒的调整时间,得到 UTC 时间的周和秒,可以换算得出 UTC 时间的年月日时分秒。

节点系统内部有高精度时钟,当节点接收到 GPS 时间信号后,节点的内部时钟与 GPS 时间同步。因此节点开始采集地震信号时,若 GPS 信号丢失存在丢失情况,其也可以利用内部时钟计时,并连续采集地震数据。回收节点数据时,处理系统将自动对每个节点的时钟漂移进行分析,从而确保了采集数据的时间精度。

1.2 无线节点采集技术流程

无线节点仪器采集技术流程如图 3 所示。

1.2.1 节点仪器埋置

首先室内技术人员将制作好的任务书分发到野外施工人员,由野外施工人员负责领取 IGU、手持器到相应的点位安装 IGU 并开启,以及设置桩号和检查 IGU 状态正常与否。针对无线节点的特殊性,明确各种不同地表的埋置标准,突出首次摆放质量,

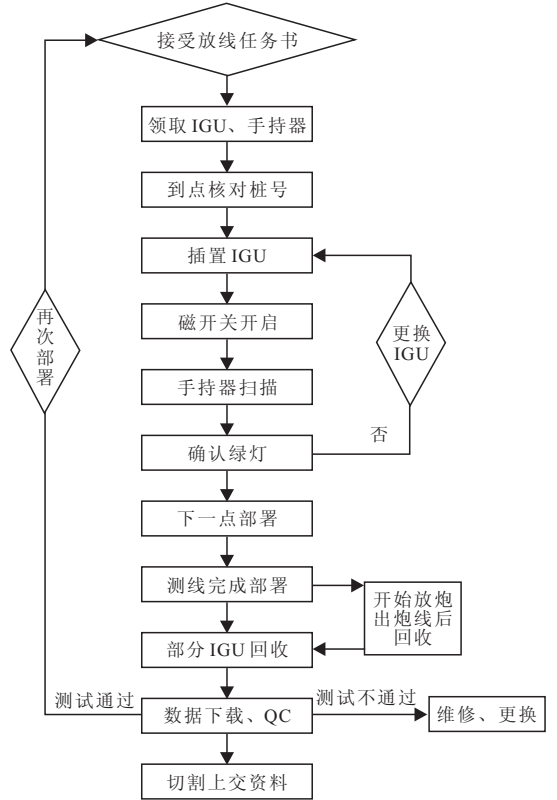


图 3 无线节点仪器采集技术流程

Fig.3 Acquisition technology flow of wireless node instrument

确保接收效果,其埋置标准见图 4。

1.2.2 野外质控

野外要对节点仪器部署检查,首先利用便携式手持器与服务器连接,获取排列信息,待节点放置完成后,对其进行激活并检查节点状态是否正常,如果正常则赋予节点点号和坐标位置信息;其次通过野外观察 LED 信号信息来对 IGU 进行 QC^[9];最后利用扫描软件扫描获取 IGU 序列号,并与相应线号桩号相关联,完成部署。

1.2.3 数据回收

数据回收采用如图 5 所示的数据下载柜,下载柜兼具充电功能,在传输数据时,可对每个接入的节



图 4 节点仪器埋置标准

Fig. 4 Embedding standard of node instrument



图 5 节点数据回收系统

Fig. 5 Node data collection system

点进行充电。首先将无线节点插入数据下载柜的固定位置,每个柜子一次可容纳 32 个节点,然后用光纤将数据下载柜、数据收集控制台和数据管理控制台连接起来,当节点数据传输完成后,记录系统根据从编码器中提取时断信号的 GPS 时间,就可以输出地震数据,再转换成标准的数据格式,并记录到传统的存储设备上。

节点采集的数据要进行 QC 质控,放线人员使用扫描软件将节点布设信息文件发送给室内,由技术人员利用 DMC 读取并检查节点质控文件,监控

窜道、漏点等布设情况,与野外实时联动,发现问题及时整改,对每日回收节点的日检报告进行检查,确保节点指标正常。

1.2.4 数据处理

节点采集仪器的关键在于记录系统的稳定性以及时钟系统要保证高精度,数据采集过程中节点仪器与内置 GPS 进行时钟校准,从而保证节点内置时钟的精度。节点仪器采集数据处理如图 6 所示的流程图,无线节点采集完地震数据后回收到室内,利用数据下载柜将采集的地震数据下载到外接硬盘或者连接到局域网的计算机设备。利用相关数据切割软件进行处理时,内部时钟的时间将作为后续数据切割的标记。数据切分主要是按照每一炮的 TB 将对应的有效各道地震记录信息,从连续记录道集内分割出来,定义每炮接收起止段,形成单炮数据,并完成数据的相关^[10]。对于数据切分所用到的 TB,它是由激发系统的信号发生器产生的,并且由激发源上的记录设备进行记录^[11]。

2 应用实例

2.1 工区概况

按照国家规定须在某区域建设新旧动能转换综合试验区,并实施北跨东延、携河发展,规划建设高起点、高标准、高水平的国家新旧动能转换先行区,集聚集约创新要素资源,发展高端高效新兴产业,打造开放合作新平台,创新城市管理模式,综合提升基

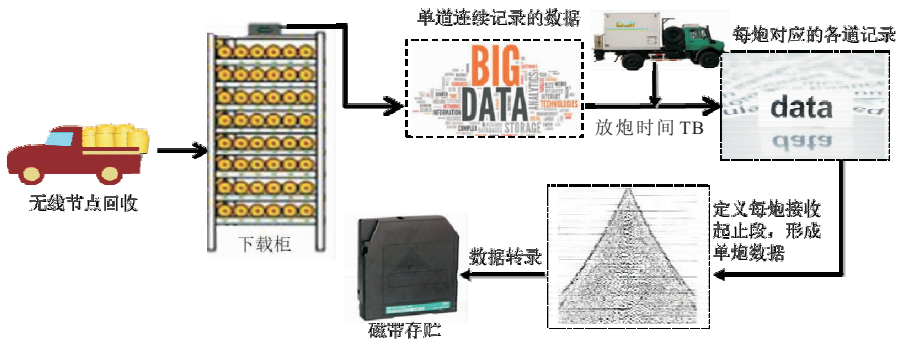


图 6 节点数据处理流程
Fig. 6 Flow of node data processing

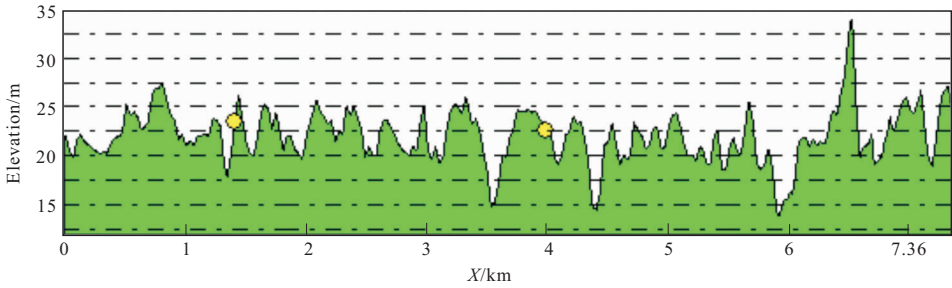


图 7 测线高程分布图
Fig. 7 Elevation distribution map of survey line



图 8 工区障碍物
Fig. 8 Survey area obstacles

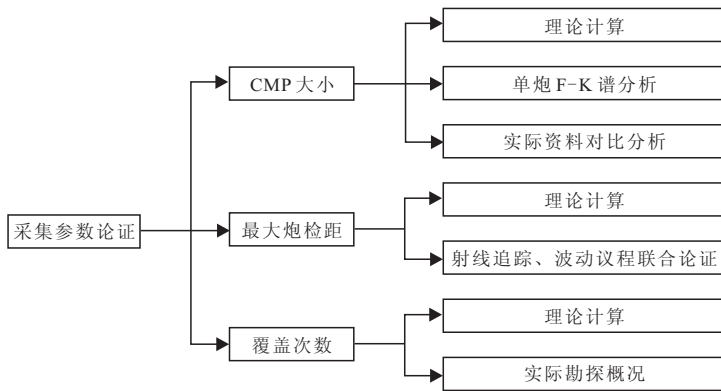


图 9 采集参数论证流程图

Fig. 9 Flow chart of acquisition parameter demonstration

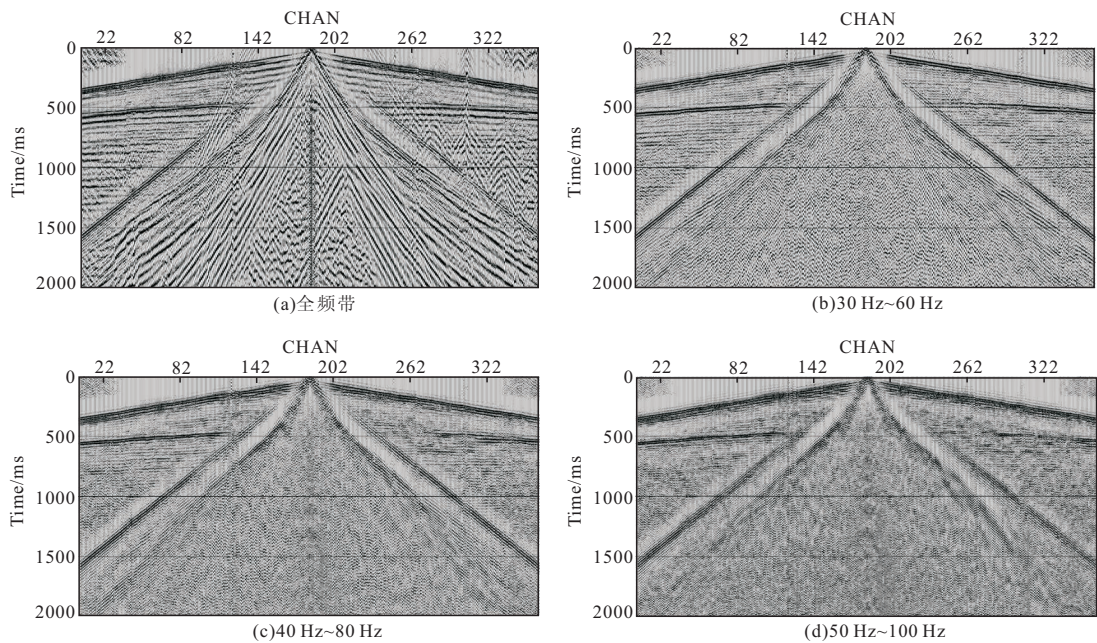


图 10 单炮记录

Fig. 10 Seismic shot record

基础设施和公共服务水平,建设现代绿色智慧新城。

为了给先行区智慧城市建设提供科学、可靠的物探资料参考依据。我们通过浅层反射地震探测,获得高分辨率反射成像,从而获取新旧动能转换先行区城市中心地下基岩面、第三系和第四系的内部结构,并探测测线经过位置是否有断裂发育,以及探测断裂构造结构特征及断点位置^[12]。

因城市地区存在局部水域、建设施工区域、城市基础设施等复杂地表,使得传统有线地震设备存在一定的不适应性,为此采用无线节点地震技术实施地震测线的采集工作。

本次部署测线呈东西走向,炮公里长度为 7.35 km,测线高程分布见图 7。

工区测线穿过了小型河流,呈南北走向,正好和本次测线方位垂直,并且在工区内还存在数控厂、农田地、省道等障碍(图 8),若采用有线地震仪器,必然给采集施工带来不便,而无线节点就能很好地解决由于这些障碍物造成的施工难题。

2.2 采集参数

根据二维地震采集“高密度、小面元、长排列”的技术方法,通过射线追踪、波动方程正演论证及邻区实际资料的系统对比,设计制定采集方案,采集参数论证流程见图 9。

通过参数论证,确定的采集参数如下:

1) 观测系统参数。观测方式:1 线×1 炮×360 道,纵向观测系统为 538.5—1.5—3—1.5—538.5,

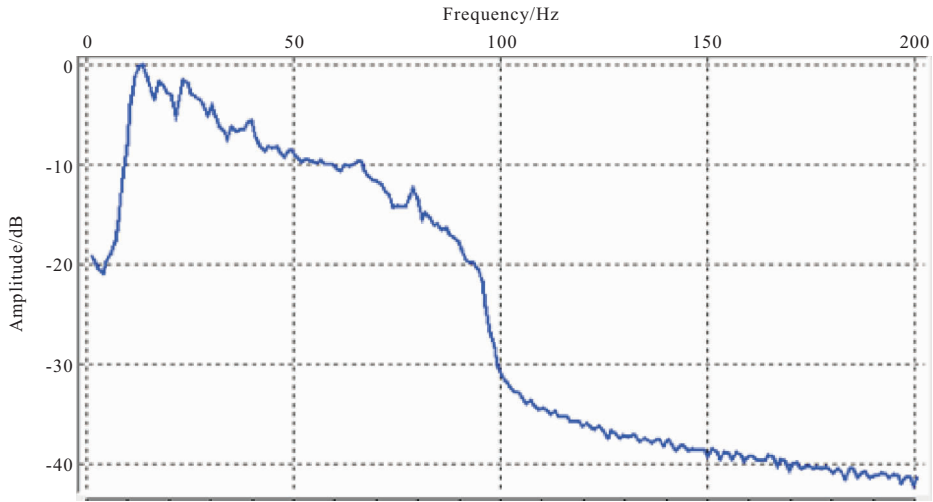


图 11 单炮记录频谱分析

Fig. 11 Spectrum analysis of seismic shot record

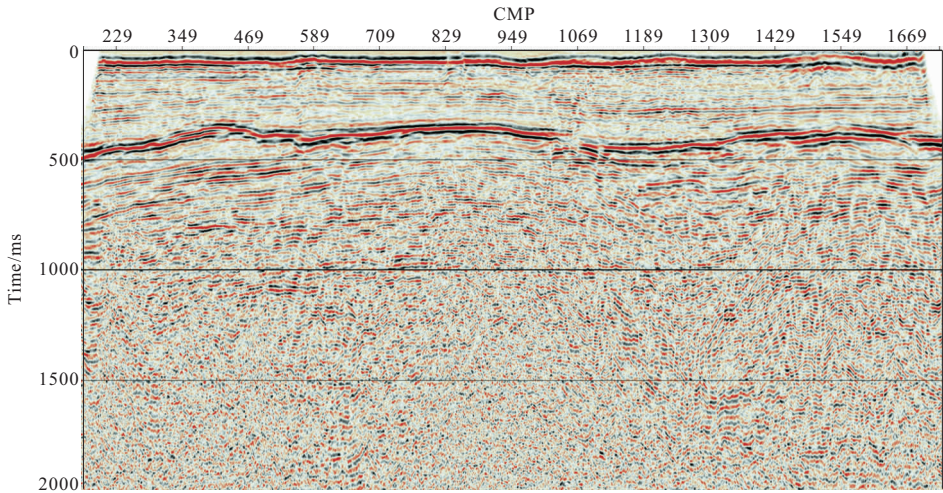


图 12 地震叠加剖面

Fig. 12 Seismic stacking profile

覆盖次数为 180 次,接收道数为 360 道,道距为 3 m,炮间距为 3 m,最小偏移距为 1.5 m,最大偏移距为 538.5 m。

2) 激发参数。可控震源类型: AHV-362, 出力: 65%, 台次: 1 台 1 次, 扫描频率在 6 Hz~100 Hz 之间, 扫描长度为 8 s, 起止斜坡为 500 ms/500 ms。

2.3 应用效果

经过前期的方案论证和现场试验结果,本次浅层反射地震数据采集,采用可控震源单点单炮激发方式,炮点距和道距均为 3 m,采用 360 道单道单只无线节点接收。

2.3.1 单炮记录分析

由图 10 可以看出,单炮的有效反射波清晰可

见,整体信噪比较高,目的层信息都很丰富。由图 11 可知,采集单炮频带较宽,高频能达到 100 Hz,主频在 50 Hz 左右,说明采用无线节点仪器能够满足技术要求。

2.3.2 叠加剖面分析

针对地震信号的非线性、时变性,我们采用以常规处理技术为基础的针对性处理技术,来提高目标区域构造成像分辨率,准确刻画地层界面形态。以“高信噪比、高保真度”为原则,进行浅层地震资料处理。

图 12 为本次地震采集测线的叠加剖面。从剖面来看,主要目的层第四系、第三系地层反射信息丰富,同向轴连续,断点干脆,整体成像效果较好。

3 结论和认识

本次通过采用无线节点地震采集技术在新旧能源转换新区的应用, 可知无线节点技术在采集道数可任意扩展, 理论上无带道能力限制, 并且适合各种高效采集模式, 无作业等待时间, 野外施工简单方便, 无大线束缚, 能快速、高质量地形成排列, 有利于提高生产效率, 能够满足各种复杂环境的布设需求, 特别是有线仪器无法进入区域, 绿色环保, HSE 风险更低。

无线节点还能获取高品质的浅层反射地震资料, 经过数据处理得到的叠加剖面显示本次测线位置第四系反射层可稳定追踪, 横向地质构造特征清楚, 且浅层分辨率较高, 整体效果较好, 为先行区智慧城市建设提供了科学、可靠的物探资料参考依据。

虽然无线节点技术具有一定的优势, 但也有须待改进的地方, 无线节点仪器工作状态不可实时受控, 因其是“盲采”, 所以没有实时质量监控能力, 采集的地震数据合成滞后, 相信随着技术的进步, 无线节点技术会日趋完善。

参考文献:

- [1] 程光华, 苏晶文, 李采, 等. 城市地下空间探测与安全利用战略构想[J]. 华东地质, 2019, 40(3): 226—233.
CHENG G H, SU J W, LI C, et al. Strategic thinking of urban underground space exploration and safe utilization[J]. East China Geology, 2019, 40(3): 226—233. (In Chinese)
- [2] 赵鹏飞. 地下轨道交通空间的人性化设计研究[J]. 综合运输, 2016, 38(06): 53—55.
ZHAO P F. Research on humanized design of underground rail transit space[J]. China Transportation Review, 2016, 38(06): 53—55. (In Chinese)
- [3] 强健, 王恒栋, 祁峰. 综合管廊的区间设计[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(09): 1480—148.
QIANG J, WANG H D, QI F. Section design of utility tunnel[J]. Tunnel Construction, 2019, 39(09): 1480—148. (In Chinese)
- [4] 赵锴, 姜杰, 王秀荣. 城市地下空间探测关键技术及发展趋势[J]. 中国煤炭地质, 2017, 29(09): 61—66+73.
ZHAO P, JIANG J, WANG X R. Urban underground space exploration key technologies and development trend[J]. Coal Geology of China, 2017, 29(09): 61—66+73. (In Chinese)
- [5] 龚义杰, 张振, 陈立波. Z—LAND 节点地震数据采集

系统的工作原理及应用[J]. 物探装备, 2017, 27(04): 257—260.

GONG Y J, ZHANG Z, CHEN L B. The working principle of Z—LAND node seismic data acquisition system and its application[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2017, 27(04): 257—260. (In Chinese)

- [6] 施继承, 史子乐, 黄艳林, 等. 全球陆上节点地震数据采集设备现状与市场需求分析[J]. 物探装备, 2019, 29(01): 5—9.

SHI J C, SHI Z L, HUANG Y L, et al. The status and development trend of the global land nodal system[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2019, 29(01): 5—9. (In Chinese)

- [7] 史子乐, 黄艳林, 李静, 等. 陆上地震数据采集节点设备现状与发展[J]. 石油管材与仪器, 2019, 5(01): 14—18.

SHI Z L, HUANG Y L, LI J, et al. Status and development trend of onshore seismic nodal instrument[J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2019, 5(01): 14—18. (In Chinese)

- [8] 何磊, 关玉东, 司亚. 428XL 仪器 LSS 有线放炮方式在复杂地表三维勘探中的应用[J]. 物探装备, 2013, 23(03): 169—172.

HE L, GUAN Y D, SI Y. Application of sercel 428XL LSS system for 3D seismic exploration in complex area[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2013, 23(03): 169—172. (In Chinese)

- [9] 李珊珊. 运用 QC 方法提高外围地震勘探部署成效[J]. 石油工业技术监督, 2019, 35(03): 18—19+27.

LI S S. Improving deployment effect of peripheral seismic exploration using QC method[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2019, 35(03): 18—19+27. (In Chinese)

- [10] 高立兵, JACK CALDWELL, 李庆喜. 无线地震采集系统在不同地区的应用实例[J]. 物探装备, 2011, 21(2): 101—106.

GAO L B, JACK CALDWELL, LI Q X. Application of wireless seismic acquisition in different areas[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2011, 21(2): 101—106. (In Chinese)

- [11] 廖声刚. 获得准确验证 TB 和钟 TB 时差数据的方法[J]. 物探装备, 2005(02): 100—102.

LIAO S G. Method for obtaining correct time difference data between testing TB and clock TB[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2005(02): 100—102. (In Chinese)

- [12] 武娇阳. 浅层地震勘探在城市活断层勘查中的应用技

术[D]. 成都:成都理工大学,2012.

WU J Y. The technology of seismic exploration in the exploration of active fault in cities [D]. Chengdu,

Chengdu University of Technology, 2012. (In Chinese)

Application of wireless node technology in urban underground space detection

ZHUO Wu¹, CHEN Song², FENG Meina¹, XIAO Guanhua¹, TANG Meibin¹

(1. Liaohe Geophysical Prospecting Company, BGP Inc., PetroChina, Panjin 124010, China;

2. Wuhan Center of Geological Survey(Central South China Innovation Center for Geosciences), CGS, Wuhan 430205, China)

Abstract: With the city's continuous development, the urban surface space is increasingly insufficient to meet social development needs; therefore, as an essential carrier, the urban underground space will be paid more and more attention. If we want to make full use of urban underground space, we must first explore the geological conditions of underground space to ensure its efficient, safe, and full use. As a kind of seismic exploration instrument, the wireless node has many advantages, such as being less affected by surface conditions, having a simple layout, less environmental damage, high efficiency, and being more suitable for operation in complex and sensitive areas. It can better adapt to the urban underground space exploration task. Taking a particular area of JN city as an example, this paper introduces the application of wireless node seismic equipment and achieves good results.

Keywords: wireless node; urban underground space; shallow seismic