

谢佳兴, 侯博文, 刘庆华, 等. 卢氏地磁基本站场址勘选及环境测试[J]. 华南地震, 2024, 44(1): 73-83. [XIE Jiaying, HOU Bowen, LIU Qinghua, et al. Site Survey and Environmental Test of Lushi Geomagnetic Basic Station[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(1): 73-83]

## 卢氏地磁基本站场址勘选及环境测试

谢佳兴, 侯博文, 刘庆华, 路中慧, 邳红魁

(河南省地震局, 郑州 450018)

**摘要:** 通过对卢氏徐家湾乡小岭口山洞场址、横涧乡青山村场址、段家村场址进行异地选址踏勘和环境调查, 并对徐家湾乡小岭口山洞和段家村场址现场环境进行密跨度和环境噪声测试, 结果发现: 观测环境噪声对比山洞内比山洞外较好; 数据同期对比山洞内存在8.19%的屏蔽效应。综合考虑认为, 山洞受本身特殊的封闭环境, 状态稳定、干扰源少, 环境噪声相比山洞外较优, 但对地磁观测存在一定的屏蔽效应, 无法更准确的反馈磁场变化, 故不适合地磁观测场址要求, 最终确定段家村拟选点作为卢氏地磁基本站的最终建设场地。

**关键词:** 地磁观测; 山洞观测; 场址堪选; 环境测试; 屏蔽效应

中图分类号: P315.78

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)01-0073-11

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.01.08

## Site Survey and Environmental Test of Lushi Geomagnetic Basic Station

XIE Jiaying, HOU Bowen, LIU Qinghua, LU Zhonghui, ZHI Hongkui

(Henan Earthquake Agency, Zhengzhou 450018, China)

**Abstract:** The site selection and environmental investigation of Xiaolingkou Cave site in Xujiawan Township, Qingshan Village site in Hengjian Township and Duanjia Village site were carried out, and the dense span and environmental noise test of Xiaolingkou Cave and Duanjia Village site in Xujiawan Township were carried out. The results show that the observation of environmental noise in the cave is better than that outside the cave; compared with the same period the data, there is 8.19 % shielding effect in the cave. It is considered that the cave is in a stable state and has fewer interference sources because of its special closed environment. The environmental noise is better than that outside the cave. However, there is a certain shielding effect on geomagnetic observation, and it is impossible to feedback the magnetic field change more accurately. Therefore, it is not suitable for the requirements of geomagnetic observation site. Finally, the proposed site of Duanjia Village is determined as the final construction site of Lushi geomagnetic basic station.

**Keywords:** Geomagnetic observation; Cave observation; Site selection; Environmental testing; Shielding effect

收稿日期: 2023-03-15

基金项目: 中国地震局地震应急青年重点任务(CEA\_EDEM-2022); 中国地震局监测预报科研三结合课题(3JH-202401091)联合资助。

作者简介: 谢佳兴(1995-), 男, 工程师, 主要从事地震地球物理观测仪器运维工作。

E-mail: 411043515@qq.com

通信作者: 侯博文(1993-), 男, 工程师, 主要从事地震监测预报工作。

E-mail: houbowen@mail.ustc.edu.cn

## 0 引言

地磁台站观测环境的好坏决定着地磁观测资料的质量,其中包括观测对象、观测场地、观测仪器等,因此,地磁观测场地的堪选必须进行高质量、强技术、专业化的技术测试,保证记录到的地磁场的短期和长期变化应能代表所在区域地磁场特征<sup>[1-2]</sup>。卢氏地磁基本站因受浩吉铁路(原名:蒙华铁路)施工、运行影响,铁轨道路最近距离台站仅120 m,观测环境受到严重破坏,观测数据已不可用。为支持国家重点项目的实施和地方经济建设,在多方协调、论证的前提下,按照“有人看护、无人值守、远程维护、多维产出”的标准化无人值守台站模式进行设计,并结合当地地形地势条件,在具有可依靠利用基础条件(包含现有山洞、规划用地、租用补偿用地等)的前提下,本着节约、高效、专业的指导思路,组织实施团队开展卢氏地磁基本站场址异地勘选及环境测试工作。

## 1 卢氏地磁基本站简介

地磁观测的基本任务是取得连续、完整、准确、可靠的地磁观测资料,通过分析其前兆异常,为地震预报服务;地磁的长期跟踪变化,必须要求地磁站附近不能出现任何电磁干扰,地磁观测设施和观测室建设必须严格按照《地震台站建设规范 地磁台站》(DB/T 9-2004)相关技术要求规范建设<sup>[3]</sup>。卢氏地震监测站位于三门峡市卢氏县城西南坡底村

东侧,海拔615 m,距县城8 km,总占地面积约10 450 m<sup>2</sup>。台站位于北东向的卢氏盆地之中,有洛河流经盆地,县境跨黄河与长江两大流域,盆地主要岩性为第三系砂砾岩、紫红色砂质页岩等,

周边主要为震旦系安山岩、白云质及碳质页岩,仅南部有元古界黑云大理岩和石英片岩出露。卢氏地磁基本站位于台站院内南侧,观测始于1985年,观测质量良好,年变化和趋势性变化清晰。主要观测室为地磁质子矢量记录室和地磁相对记录室,质子矢量记录室占地10 m<sup>2</sup>,相对记录室占地60 m<sup>2</sup>。

## 2 铁路施工运行影响

浩吉铁路,原建设工程名为“蒙西至华中地区铁路”,简称“蒙华铁路”,是中国境内一条连接内蒙古浩勒报吉与江西吉安的国家Ⅰ级电气化铁路;是中国“北煤南运”战略运输通道。2012年1月,蒙西至华中地区铁路煤运通道项目获批;2015年6月,线路开工建设;2019年8月,线路命名为浩吉铁路;2019年9月28日,浩吉铁路全线通车投入运营。货运牵引机车主要有和谐1型电力机车和谐3型电力机车。自2012年开工建设至2019年正式开通运营以来,对距离铁路最小距离仅120 m的卢氏地磁观测产生了严重的干扰,极大超过了《地震台站观测环境技术要求 第2部分:电磁观测》(GB/T 19531-2004)有关标准规定。目前,铁路每天经过列车120余次左右,已使卢氏地磁观测数据基本无法使用(图1)。



图1 浩吉铁路与卢氏地震台地理位置图

Fig.1 Geographical location map of Haoji railway and Lushi Seismic Station

### 3 异地选址踏勘

#### 3.1 场址遴选

第一步,确定磁场片区范围:2021年初,针对现有观测环境受铁路运行干扰破坏的严峻形势,项目实施团队成员根据地磁观测的特殊要求,结合当地区域航磁分布特征,发现卢氏县域西部地区磁场梯度变化宽缓、均匀,适合布设地磁观测场地。第二步,确定台网布局规划要求:按照《中国地球物理站网(地磁)规划》(2020—2030年)要求,地磁基本站大部分地区间距需达到约200 km,重点监视防御区间距需达到50~100 km布局要求,《地震台网设计技术要求:电磁观测网》(DB/T 37-2010)我国二级固定地磁观测网观测站间距需达到200±50 km的布局要求,卢氏县域西部片区与最近的洛阳地磁基准站直线最近距离约150 km,片区全域均满足地磁站网布局要求。第三步,确定片区水文、地质条件:卢氏县气候宜人,四季鲜明,地处亚热带与暖温带的过渡带,具有大陆性季风气候的特点。春秋较短,冬夏较长,昼夜温差大,降水量时空分布不均,小气候复杂多变。年降水量为646.9 mm,全年日照时数2021.2 h,年平均气温12.6℃,极端最高气温40.6℃,极端最低气温-18.8℃,无霜期为184天,年平均风速为1.2 m/s。基础条件满足地磁基本站观测要求。第四步,确定片区矿产资源分布:卢氏县矿藏众多,储量丰富,有十大类52种矿藏,潜在经济价值超万亿元。钼钨储量3亿吨,居河南省前列;铁矿储量7800万吨,远景储量1.5亿吨,居全省第二位;锑矿和锂矿为河南特色矿产,储量居全国前列;南部优质化工灰岩储量6.12亿吨,经中国无机盐工业协会钙镁盐分会检测鉴定和工业试验,认定为长江以北最优质的化工灰岩。县域矿产主要分布于中部地区,北部属于牧场,南部属于生态保护区;铁磁性矿山分布较少,可供选址的区域较大。其中,铁矿主要分布在中部雄耳山和崤山一带,可根据区域地理位置进行排除。第五步,确定片区地质构造环境:卢氏县域内断裂构造较为发育,主要断裂走向,可分为北北东—北东向、北西—北西西向及近东西向三组,主要包含华北断块南缘断裂、朱阳关—南阳—信阳断裂、丹凤—西峡断裂和山阳—内乡断裂。第六步,确定卢氏县西部地区国土空间规划:根据卢氏县城乡总

体规划(2016—2035),卢氏县内已建成郑卢高速、三淅高速和卢洛高速,现已规划在建卢栾高速、浩吉铁路现已基本建成并开展试运行。县域境内无大型高压输电线路、无大型工厂,土地分为城乡规划用地、基本农田、一般农田、林地和草地,高标准粮田分布较少,但黄河流域属于基本农田区域较多,西南部长江流域属于自然保护林较多,遗留废弃灌溉水电洞较多,少部分废弃山洞、林地和草地可供地磁场址拟选区。第七步,确定初选片区:根据初选基础条件,在通过15个片区的核查、筛选,最终确定东明镇、横涧乡、朱阳关镇、沙河乡、徐家湾乡5个片区作为拟选片区。第八步,场地环境勘察:根据初步拟选片区,实施组成员驱车历程3个月历程进行现场勘察,结合当地地形地质条件、地形地貌、水文气候、附近干扰源、土地属性和供电、防雷、通信等辅助设施条件最终确定横涧乡青山村、徐家湾乡小岭口山洞和东明镇段家村作为地磁基本站拟选点<sup>[4-8]</sup>(图2、表1)。

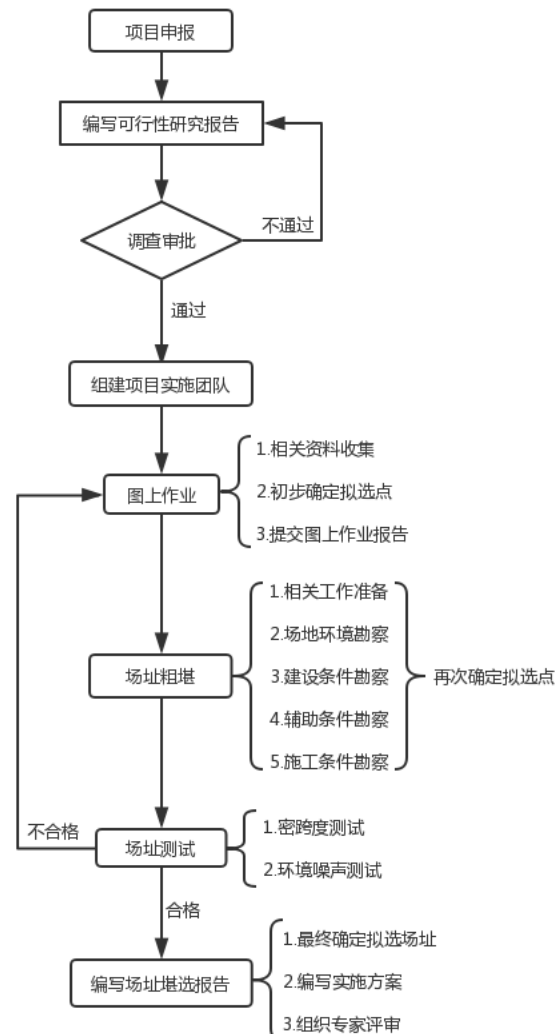


图2 地磁台址堪选流程图

Fig.2 Flow chart of geomagnetic station site selection



表 1 卢氏县域主要活动断裂特征  
Table 1 Characteristics of major active faults in Lushi County

编号	断裂名称	产状			断层性质	最新活动时代	地震活动
		走向	倾向	倾角/(°)			
F8	华北断块南缘断裂	NWW/EW	SW	45 ~ 80	逆断层	Q <sub>1-2</sub>	1654 年息县 5.0 级地震
F9	朱阳关—南阳—信阳断裂	NWW	SW	60 ~ 80	正断层	Q <sub>1-2</sub>	公元 46 年南阳 6.5 级地震
F10	丹凤—西峡断裂	NW	SW	—	正断层	Q <sub>1-2</sub>	
F11	山阳—内乡断裂	NWW	NNE	50 ~ 70	正断层	Q <sub>1</sub>	

3.2 环境调查

青山村拟选点位于卢氏县横涧乡青山村正北向约 250 m，拟选点部分区域为当地村民耕地，土地属性为基本农田，现种植为核桃树幼苗，其余部分为林地山坡，可供观测场地施工使用，经咨询同意外租使用；拟选点位于 X028 县道旁 150 m 处，距离在建卢洛高速约 4.5 km，距离浩吉铁路西安岭隧道最近约 3.1 km，距离在建卢栾高速约 4.5 km，10 km 内无大型工厂、高压电网和风力发电站。拟选点位于最近住户 200 m，距离最近变压器分口 300 m，距离最近网络分口 200 m，各项基础条件完备。拟选点位于华北断块区南缘断裂和朱阳关—南阳—信阳断裂交界处，主断面总体向北倾斜，局部断面倾向反转，产状要素复杂多变。以拟选点为中心，按照矿产量比例要求，7 km 范围内周边矿产分布主要为小型八介沟铜多金属矿、后峪铅锌多金属矿和横涧壮沟铁矿，但经现场核实和咨询当地自然资源与规划局，该部分区域矿区均为微小型矿区，已基本开采完，未发现铁磁性物质遗留，应满足观测要求。

徐家湾乡小岭口山洞拟选点位于徐家湾小河口村正南向约 1.7 km，山洞高、宽约 2 m，进深约 300 m，该山洞为当地水电废弃山洞，产权隶属于当地乡政府和村委会共有，经咨询同意外租使用，洞内干燥、地面平整，洞口处于山坡中段，地势较高。从村庄至山洞位置为乡间村村通水泥道路，山洞位于水泥路旁山坡 50 m 处，距离在建卢洛高速 2.0 km，距离在建金卢水库 1.9 km，10 km 内无大型工厂、高压电网和风力发电站。山洞位于最近住户 200 m，距离最近变压器分口 1.0 km，距离最近网络分口 200 m，各项基础条件完备。拟选点位于华北断块区南缘断裂和朱阳关—南阳—信阳断裂交界处，主断面总体向北倾斜，局部断面倾向反转，产状要素复杂多变。以山洞为中心，按照矿产量比例要求，7 km 范围内周边矿产分布主要为小河口

金矿，10 km 范围附近矿产分布主要为夜长坪铜矿、白云岩矿和砂岩矿，各矿区距离均满足观测要求。

段家村拟选点位于卢氏县东明镇段家村东南方向约 1.1 km 处坡顶林地和基本农田结合区，后期可采用征租结合的方式进行场地建设，其中林地部分进行场地征用，用于地磁观测场址建设，耕地部分作为观测保护区进行围墙圈划保护；场地地势东高西低，南低北高，部分耕地现为集体种植烟叶，经咨询当地乡镇府和村委会，经耕地所有人同意，同意将现有耕地进行出租，作为地磁观测场地保护区进行圈划。从村庄至拟选点为乡间村村通水泥道路，浩吉铁路轨道距离最近约 8.3 km，三淅高速距离最近约 3.1 km，10 km 内无大型工厂、高压电网和风力发电站。拟选点位于最近住户 1.1 km，距离最近变压器分口 1 km，距离最近网络分口 0.5 km，各项基础条件完备。拟选点位于华北断块区南缘断裂的西末端，主断面总体向北倾斜，局部断面倾向反转，产状要素复杂多变。以拟选点为中心，按照矿产量比例要求，7 km 范围内周边矿产分布主要为小型田家坪铅矿，但经现场核实该矿区已被开采完，未发现铁磁性物质遗留。其余宋家村铁矿距离拟选区 7.2 km，郭家河铁锰矿距离测区 7.5 km，距离均满足要求<sup>[9]</sup>(表 1、2)。

4 场地环境测试

根据拟选点现场环境调查，横涧乡青山村、徐家湾乡小岭口山洞和东明镇段家村均满足地磁基本站建设基础条件，但后期经咨询当地乡镇府和村委会，在进行密跨度测试工作结束后，青山村拟选区耕地所有人不再同意土地租用，要求所拟选地区采用全部征用、一次性赔偿方式进行结算，但根据基本农田不容许征用的原则，经多次协商未果，决定放弃对该拟选区的环境测试工作和备选使用，只对东明镇段家村和徐家湾乡小岭口山洞进行环境噪声

表2 拟选场址周边环境调查统计表

Table 2 Statistical table of surrounding environment survey of proposed sites

基本条件	拟选点	备注	辅助条件	至拟选点 距离/ km	最近干扰源	至拟选点 距离/ km	标准要求/ km
地质 环境	青山村	华北断块区南缘断裂和朱 阳关—南阳—信阳断裂交 界处	水泥道路	0.15	卢洛高速、卢栾高速	4.5	≥0.8
	徐家湾乡小 岭口山洞		水泥道路	0.05	卢洛高速(在建)	2.0	≥0.8
	段家村		水泥道路	0.3	三淅高速	3.1	≥0.8
地形 地貌	青山村	地势东高中低西高的沟 谷,拟选点海拔高度 697 m	供电(100 kVA)	0.3	浩吉铁路	3.1	≥3.1
	徐家湾乡小 岭口山洞	地势东高中低西高的沟 谷,拟选点海拔高度 759 m	供电(100 kVA)	1.0	金卢水库(库容量: 1.6×10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	1.9	≥10(库容量: 1×10 <sup>10</sup> m <sup>3</sup> )
	段家村	地势东高西低,南低北高, 拟选点海拔高度 873 m	供电(100 kVA)	1.0	浩吉铁路	8.3	≥3.1
土地/ 山洞 属性	青山村	基本农田和林地结合区 (租用)	通信(移动)	0.2	横涧壮沟铁矿(小 型,已开采完)	3.5	≥0.735
	徐家湾乡小 岭口山洞	当地水电废弃山洞(租用)	通信(移动)	0.2	小河口金矿	6.2	≥0.735
	段家村	基本农田和林地结合区 (征租结合)	通信(移动)	0.5	郭家河铁锰矿(小 型,已开采完)	7.0	≥0.735

表3 拟选场址周边水文气候统计表

Table 3 Statistical table of hydrological climate around the proposed sites

地点	年降水量/mm	年平均气温/℃	无霜期/d	全年日照时数/h	极端最高/低气温/℃	年平均风速/(m·s <sup>-1</sup> )
青山村,徐家湾乡小 岭口山洞,段家村	646.9	12.6	184	2021.02	40.6/-18.8	1.2

测试工作,同时考虑到山洞本身的特殊条件,在进行测试时,选择对山洞内外同时进行测试,并进行数据同期对比分析,发现山洞对地磁观测存在一定的屏蔽作用,决定放弃对该拟选区的备选使用,最终确定段家村拟选点作为卢氏地磁基本站的建设场地<sup>[10]</sup>。

4.1 密跨度测试

(1)测点布设。根据《地震台网设计技术要求:电磁观测网》(DB/T 37-2010)二级固定地磁观测网观测站的观测场地符合 50 m×50 m 范围内地磁场总强度  $F$  分布均匀,且水平梯度  $\Delta F \leq 5$  nT/m 要求。在初步遴选的基础上,根据拟选场地环境,选用地势较为平坦且与山坡相邻的区域开展测试。测点位置由罗盘定位,皮尺拉线,约 20 cm 高木桩标识,依次编号。

青山村(图3)拟选点选择采用地势较为平坦的核桃树耕地进行密跨度测点布设,测点位置由罗

盘定位,皮尺拉线,约 20 cm 高红色木桩标识,依次编号。观测场地采用 50 m×50 m 范围 5 m 等间距测试,针对部分测点受地形高差影响,采用人工架设探头杆进行消除,基本保证测区处于一个等值线平面,消除高差对测试数据的影响。

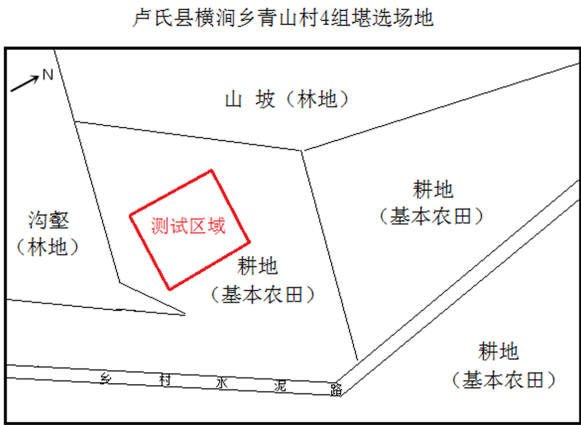


图3 青山村拟选点密跨度测试布设区域图

Fig.3 The layout area map of the dense span test of the proposed site of Qingshan Village

徐家湾乡小岭口山洞(图4)因受其山洞本身条件限制,选择采用在山洞口空地和山洞内进行密跨度测点布设,其中山洞口选择较为平坦的地势,测点位置由罗盘定位,皮尺拉线,石膏粉标识,依次编号。第一次选择对小岭口山洞内进行1 m×80 m范围场地测试,对小岭口山洞口进行10 m×10 m范围场地测试;测试结束后对数据进行分析处理,发现部分数据受场地环境原因变化较大,超差现象严重,综合分析认为:测试时,发现前期山洞遗留铁丝、灯泡等铁磁性物体,虽然对其进行清理,但可能只清理掉山洞内地面遗留铁磁性物质,对隐藏覆土下的未进行详细清理,可能对观测数据造成一定影响。第二次首先对测试场地进行地毯式清查,清除像灯丝、铁丝、卡口等一切可能对观测造成影响的铁磁性遗留物体后再进行测试,本次共采用山洞口和山洞内两个地点以1 m等间距测试,其中山洞口空旷场地采用10 m×10 m范围;山洞内采用进深1 m×80 m范围,由于洞口位置地势原因,山洞内第一个测点布设于距离洞口15 m处开始进深向内测试。

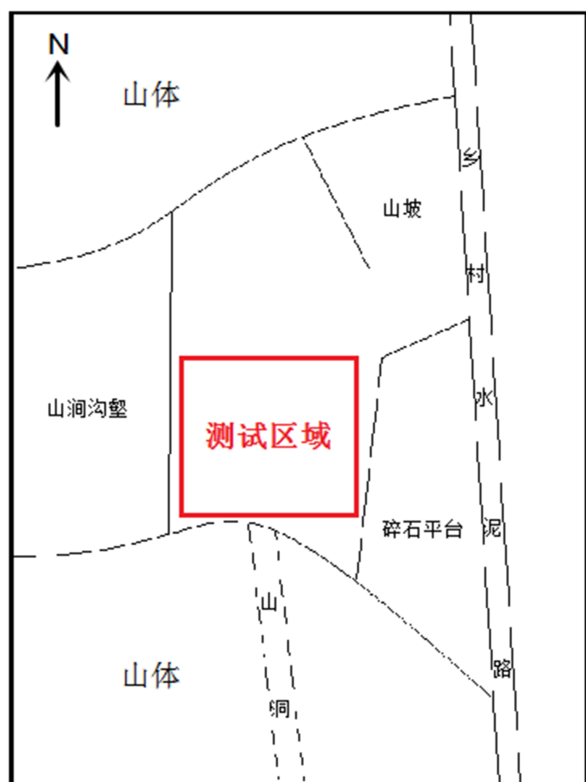


图4 小岭口山洞拟选点洞口密跨度测试布设区域图

Fig.4 The layout area map of the dense span test of the proposed site of Xiaolingkou Cave

段家村(图5)拟选点选择采用地势较为平坦的烟叶耕地进行密跨度测点布设,测点位置由罗盘定

位,皮尺拉线,约20 cm高红色木桩标识,依次编号。观测场地采用50 m×50 m范围5 m等间距测试,针对部分测点受地形高差影响,采用人工架设探头杆进行消除,基本保证测区处于一个等值线平面,消除高差对测试数据的影响。

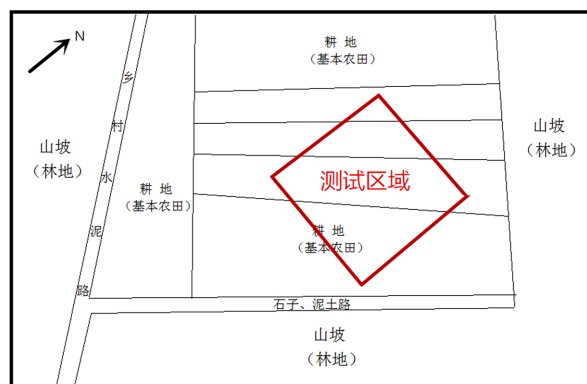


图5 段家村拟选点密跨度测试布设区域图

Fig.5 The layout area map of the dense span test of the proposed site of Duanjia Village

(2)技术要求。测试采用5人组成的小组,两人负责测量机的操作,1人负责日变站的操作,1人负责测量数据的记录,1人负责计时。采用3套G-856质子磁力仪观测,编号分别采用仪器号361、305、306直接使用。其中三套仪器对比测试后发现361和306仪器更为稳定,因此选择将305仪器作为备机,361仪器作为日变站,306仪器作为测量机使用;测量前,测定使用的361和306两台质子磁力仪的仪器差 $df$ ,利用 $df=f_{\text{日变站}}-f_{\text{测线}}$ 计算,通过30组采样计算,其中徐家湾乡小岭口山洞拟选点山洞外测区 $df=5.0$  nT,山洞内测区 $df=0.9$  nT,段家村拟选点测区 $df=2.3$  nT,确保在整个测量过程中只要更换测区就必须进行一次仪器差值测试,保证所有仪器工作状态正常和测量数据的真实可靠。测量时,利用探头杆将质子磁力仪探头高度架设至1.5 m,同时利用人工根据场地环境条件,随机调整探头高度,保证测量过程中探头处于一个等值线平面;采样间隔设置为10 s,每测点读取3个数后取其均值进行记录;测量时间选择避开磁扰日,受到人为干扰、仪器互扰、误差较大的观测数据时进行重测记录。

(3)计算方法。计算各测点观测值的均值与同时段日变站观测值均值的差值 $\Delta F_{ij}$ , $i$ 为测点编号, $j$ 为测线编号。

$$\Delta F_{ij} = F_{ij} - F_j + dF \quad (1)$$

$$\Delta F_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \Delta F_{ij} \quad (2)$$



上式中： $i$ 为测点序号； $j$ 为磁力仪在测点 $i$ 的读数的序号； $F_{ij}$ 为相应磁力仪的读数； $F_j$ 为相同时刻日变站的观测值。 $\Delta F_i$ 反映了测点 $i$ 处相对于日变站处的磁场的空间差别。计算结果应取位到0.1 nT。所有的计算结果应进行复核。

(4)结果分析。青山村拟选点利用 $F_{ij}$ 值绘制所测区域地磁场分布等值线图(图6)，等值线间距为5 nT。测点按照由南向北、自西向东的顺序依次进行编号，测区范围为50 m×50 m，测点按照5 m间隔进行测量。由图分析：拟选场地测区整体梯度较小，磁场稀疏，中间种植核桃树苗较为平坦地区梯度更为稀疏，该区域为布设地磁探头最佳位置，西侧和东南侧较为密集区主要可能和测区地势起伏较大相关，东北角较为密集区主要是因为测点旁边遗留一座废弃的水泥沙石建造的空水池，整体环境磁场较稳定，梯度值符合地磁台址遴选建设要求。

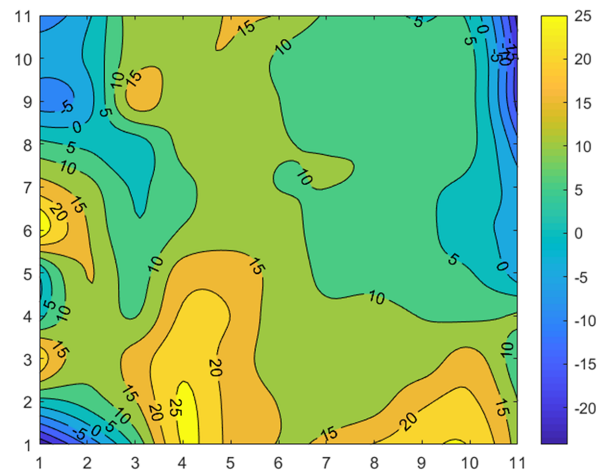


图6 青山村拟选场址地磁场分布等值线图  
Fig.6 The isoline figure of the geomagnetic field distribution of the proposed site of Qingshan Village

徐家湾乡小岭口山洞拟选点选择山洞内外两个测区进行测试(图7~8)，分别利用 $\Delta F_i$ 值绘制所测区域地磁场分布等值线图。山洞内测点受山洞本身的特殊因素限制，按照由南向北81个测点、自西向东2个测点的顺序依次进行编号，测区范围为1 m×80 m，测点按照1 m间隔进行测量。按照南北走向将测点分为两条侧线，其中东部全部测点命名为侧线1，西部全部测点命名为测线2，由图分析：因受地理条件限制影响，测量范围不足说明磁场梯度变化情况，但根据相邻两点 $\Delta F_i$ 值的变化动态分析，相邻测点的水平梯度 $\Delta F \leq 5$  nT/m，梯度值符合地磁基本站台址遴选建设要求。山洞口等值线间距设置为5 nT，测点按照由南向北、自东向西的顺序依次进行编号，测区范围为10 m×10 m，测点按照1 m间隔进行测量。由图分析：拟选场地测区整体梯度较小，磁场稀疏，南侧靠近山洞磁场梯度较好，可根据场地环境向山洞内部延伸布设地磁探头，西北侧较为密集区部分是因为测点旁边为山谷走向，北侧距离山体较近，可能对磁场观测产生了一定影响，但整体环境磁场稳定，梯度值符合地磁基本站台址遴选建设要求。

段家村拟选点利用 $F_{ij}$ 值绘制所测区域地磁场分布等值线图(图9)，等值线间距为5 nT。测点按照由南向北、自西向东的顺序依次进行编号，测区范围为50 m×50 m，测点按照5 m间隔进行测量。由图分析：拟选场地测区整体梯度较小，磁场稀疏，西侧耕地区磁场梯度较好，可根据场地环境选择地磁探头布设位置，东南侧较为密集区部分是因为测点旁边遗留一座废弃的烟叶浇灌蓄水池，内部建造含有少量钢架导致，整体环境磁场稳定，梯度值符合地磁基本站台址遴选建设要求。

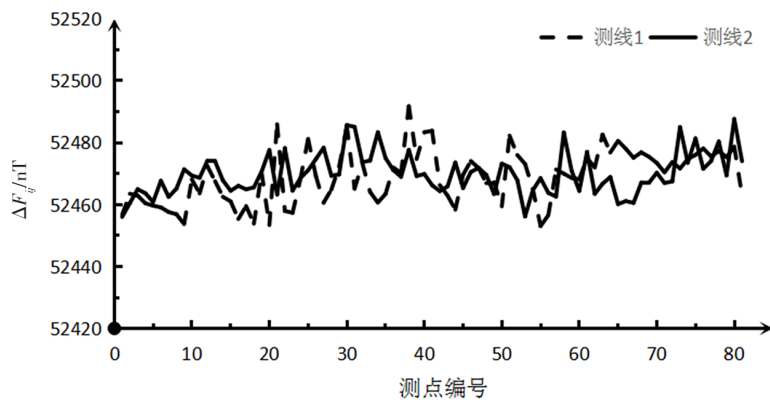


图7 徐家湾乡小岭口山洞内部地磁场强度值  
Fig.7 The intensity value of the geomagnetic field inside the Xiaolinkou Cave in Xujiawan Township

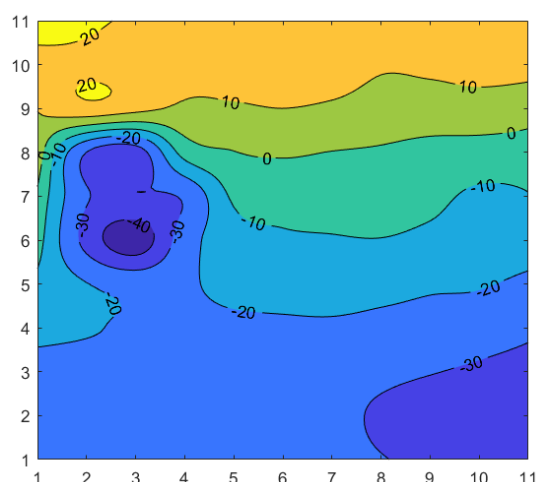


图8 小岭口山洞口地磁场分布等值线图

Fig.8 The isoline figure of the geomagnetic field distribution of the proposed site of Xiaolinkou Cave in Xujiawan Township

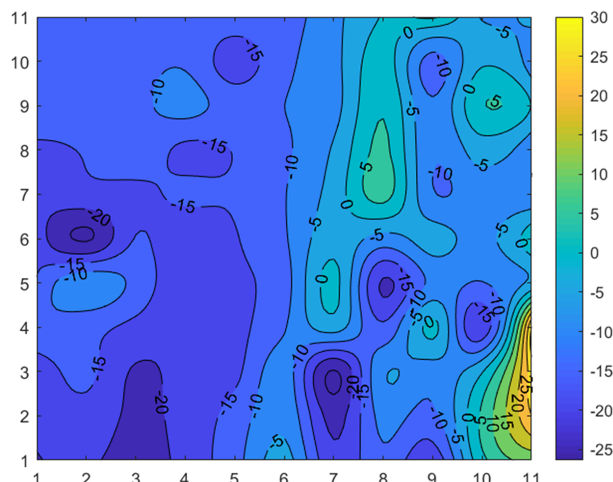


图9 段家村拟选场址地磁场分布等值线图

Fig.9 The isoline figure of the geomagnetic field distribution of the proposed site of Duanjia Village

## 4.2 环境噪声测试

(1)测点布设。徐家湾乡小岭口山洞拟选点环境噪声测试测点布设点选择在山洞内外两个测点(图10),山洞外选择磁场梯度测区分布较为稀疏的南部靠近山洞口区,山洞内测点选择山洞进深约60 m处,探头底部采用岩石打磨铺设找平,下挖1.5 m深坑放置,顶部利用塑料桶防护后采用泡沫遮盖,再铺设塑料布进行防水处理后用覆土掩埋,尽可能保证测点探头防水、保温。由于受数据线长度限制,观测主机、供电电瓶、笔记本等利用塑料收纳箱遮盖布设于山洞内进深30 m处, GPS架设至山洞口外半山坡处,保证仪器正常授时,数据传输利用数采直连方式,实时记录,利用U盘一天两次下载保存。

段家村拟选点环境噪声测试测点布设选择在磁场梯度测区内(图11),且分布较为稀疏的西部区域,观测主机、供电电瓶、笔记本等利用塑料收纳箱遮盖,探头布设于距离主机北侧约15 m处,采用人工挖1.5 m深坑埋设。第一次:探头底部采用地板砖铺设找平,顶部采用无磁塑料板和木板遮盖,再利用塑料膜遮盖后,回填土壤掩埋。观察数据发现,Z分量出现严重超差、台阶现象严重,打开发现埋设探头位置土壤特别粘稠,湿度较大,可能对探头和信号线产生影响导致。第二次:将探头放置于塑料收纳箱中,将信号线利用塑料膜包裹后,再进行土壤回填掩埋,避免探头和信号线直接与土壤直接接触,从而避免一定湿

度、温度干扰,确保测试数据稳定、可靠。GPS架设至测点南部木制线杆处,保证仪器正常授时,数据传输利用数采直连方式,实时记录,利用U盘一天两次下载保存。



图10 徐家湾乡小岭口山洞拟选点环境噪声测试布设点位置图

Fig.10 Location map of the layout points of the environmental noise test of the proposed site of the Xiaolinkou cave in Xujiawan Township



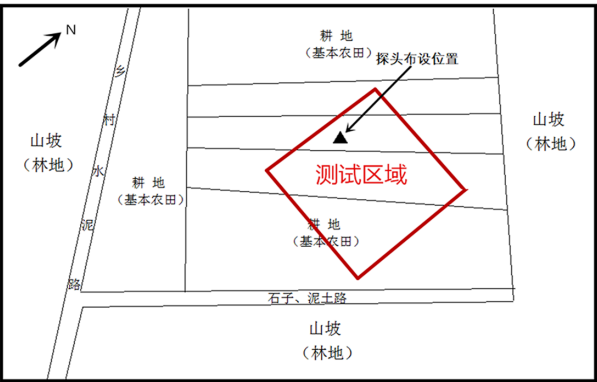


图11 段家村拟选点环境噪声测试布设点位置图

Fig.11 Location map of the layout points of the environmental noise test of the proposed site of Duanjia Village

(2)计算方法。同步差及屏蔽效应计算:  
同步差计算公式:

$$X_{(Z,H,D)}=A_1(t)-A_2(t) \tag{1}$$

日变幅屏蔽效应计算公式:

$$\frac{|Z_1-Z_2|}{Z_2}\times 100\% \tag{2}$$

其中 $X_{(Z,H,D)}$ 为各分量同步差值; $A(t)$ 为地磁各分量日变幅( $A_1$ 为山洞内值, $A_2$ 为山洞外值), $t_2=t_1+1$ ( $t$ 为观测日期); $Z_1$ 为山洞内 $Z$ 分量日变幅, $Z_2$ 为山洞外 $Z$ 分量日变幅。

静态骚扰测试一阶差分计算:利用环境噪声测试连续48 h数据作为基础数据进行一阶差分计算,差分值 $\Delta\leq 0.5$  nT为合格。

电磁环境噪声计算:任意选取测试期2 h内的数据中选取10段连续10 s数据,计算每10 s观测数据的峰峰值和RMS值,再获取这10段10 s数据的平均值即为测试点此时段的背景噪声峰峰值和RMS值。噪声计算结果应取位到0.01 nT,峰峰值 $\leq$

0.2 nT,RMS值 $\leq 0.07$  nT为合格。

峰峰值计算公式:

$$N_p=\max(x_1;x_{10})-\min(x_1;x_{10}) \tag{3}$$

其中 $\max(x_1;x_{10})$ 为10个数据中的最大值、 $\min(x_1;x_{10})$ 10个数据中的最小值。

RMS值计算公式:

$$N_{\text{RMS}}=\sqrt{\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{9}} \tag{4}$$

其中 $\bar{x}$ 为10 s数据的平均值。

(3)结果分析。徐家湾乡小岭口山洞拟选点选取连续观测48 h数据分析计算可知(表4),山洞内外整体环境较好,环境噪声变化主要都在 $\pm 0.2$  nT范围以内,一阶差分计算除少量部分数据由于仪器工作状态故障和地磁场自身扰动较大引起外,整体数据运行稳定;为进一步分析山洞内数据测试情况,对比山洞内外观测数据一致性,通过120 h数据同期对比山洞内外各分量日变差异,发现 $D$ 和 $H$ 分量数据一致性较好, $Z$ 分量数据差异变化较大,经 $Z$ 分量日变幅消除仪器差后对比山洞内外计算,发现山洞内对比山洞外存在8.19%的屏蔽,故山洞受本身封闭的特殊条件,对地磁观测产生一定的影响,不适合直接进行地磁基本站的使用(图12~14)。

段家村拟选点静态骚扰测试经连续观测48 h数据分析计算可知,该测区及周边整体环境较好,环境噪声变化主要都在 $\pm 0.2$  nT范围以内,一阶差分计算除少量部分数据由于仪器工作状态故障和地磁场自身扰动较大引起外,整体数据运行稳定,数据一致性较好;电磁环境噪声计算分别选取测试期第二天05~07 h和16~18 h各2 h内的数据中

表4 Z分量日变幅及屏蔽效应

Table 4 Daily amplitude and shielding effect of Z component

时间/仪器	GM4-1(山洞内)	GM4-2(山洞外)	日变幅屏蔽效应	仪器差值	日变幅加仪器差后屏蔽效应
	$Z_1/\text{nT}$	$Z_2/\text{nT}$	$\frac{ Z_1-Z_2 }{Z_2}\times 100\%$	$Z_\Delta$	$\frac{ (Z_1+Z_\Delta)-Z_2 }{Z_2}\times 100\%$
8.29	26.3	28.4	7.39%	0.383	6.04%
8.30	20.5	22.4	8.48%	0.383	6.77%
8.31	20.4	19.4	5.15%	0.383	3.18%
9.01	18.0	21.7	17.05%	0.383	15.28%
9.02	24.0	27.0	11.11%	0.383	9.69%
日变幅屏蔽效应均值			9.944%		8.19%
结 论			山洞内存在8.19%屏蔽效应		

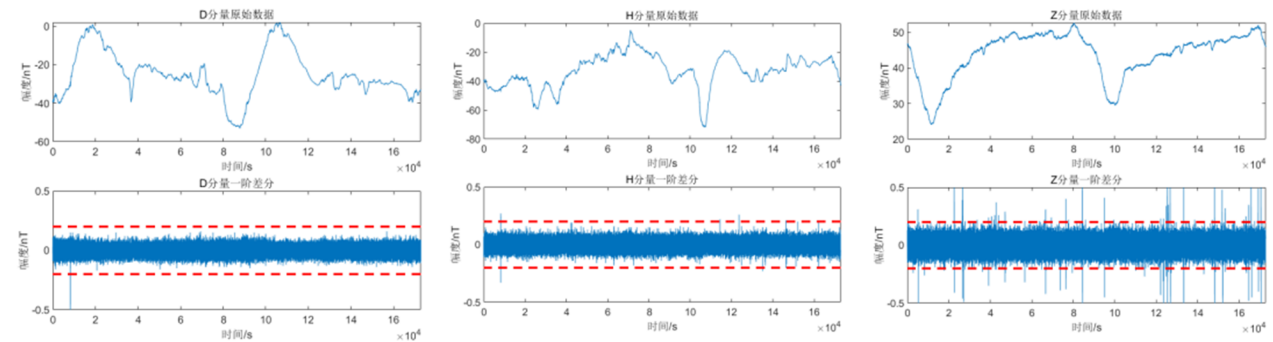


图 12 徐家湾乡小岭口山洞(内)拟选点测试日变曲线及环境噪声曲线图

Fig.12 The daily variation curve and environmental noise curve tested in the proposed site of Xiaolinkou Cave(inside)in Xujiawan Township

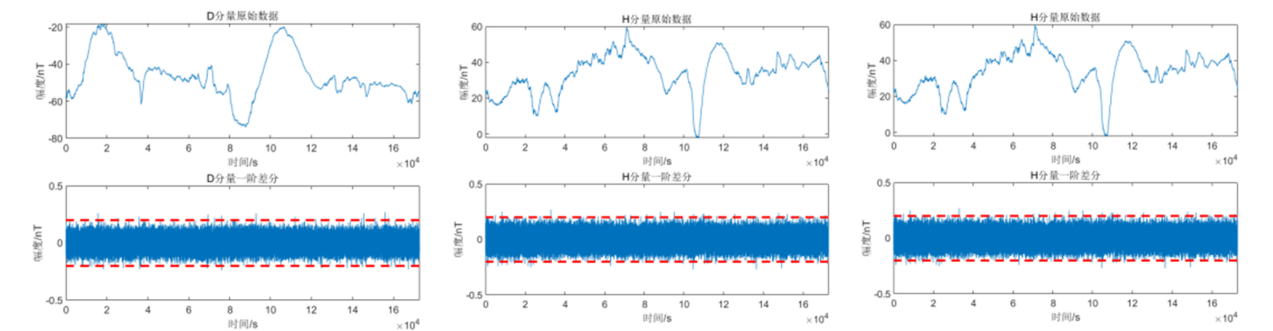


图 13 徐家湾乡小岭口山洞(外)拟选点测试日变曲线及环境噪声曲线图

Fig.13 The daily variation curve and environmental noise curve tested in the proposed site of Xiaolinkou Cave(outside)in Xujiawan Township

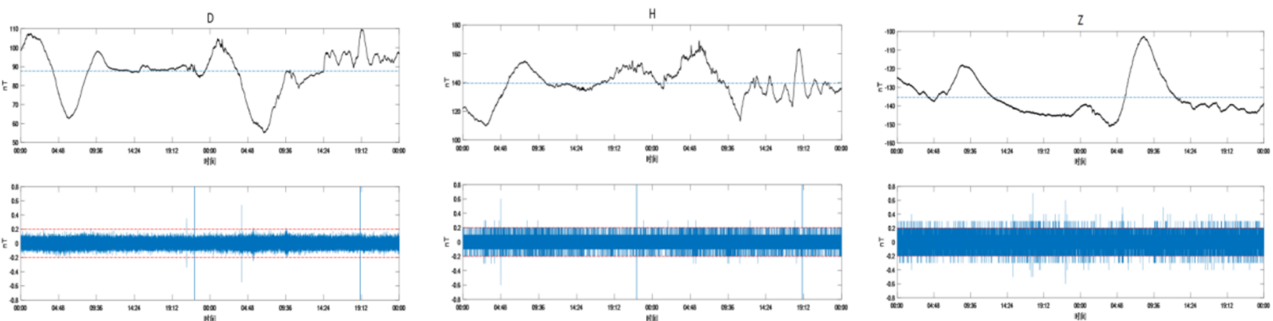


图 14 段家村拟选点测试日变曲线及环境噪声曲线图

Fig.14 The daily variation curve and environmental noise curve tested in the proposed site of Duanjia village

表 5 段家村拟选点环境噪声峰峰值、RMS 值计算统计表													
Table 5 Statistical table of environmental noise peak-to-peak and RMS value of the proposed site of Duanjia Village													
次数/ 时间	测项	标准值	测试抽样段/ 单位:nT										结果
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
第一次/ 05 ~ 07 h	D	峰峰值	0.11	0.17	0.11	0.12	0.14	0.09	0.16	0.11	0.10	0.16	合格
		RMS 值	0.0457	0.0493	0.0378	0.0381	0.0497	0.0294	0.0629	0.0372	0.0334	0.0559	合格
	H	峰峰值	0.22	0.13	0.14	0.22	0.14	0.16	0.17	0.11	0.2	0.23	合格
		RMS 值	0.0818	0.0379	0.0474	0.0692	0.0435	0.051	0.0634	0.0395	0.0621	0.0836	合格
	Z	峰峰值	0.14	0.27	0.16	0.18	0.15	0.26	0.17	0.17	0.2	0.1	合格
		RMS 值	0.0633	0.0962	0.0508	0.0616	0.056	0.0948	0.0655	0.052	0.0597	0.0312	合格
第二次/ 16 ~ 18 h	D	峰峰值	0.14	0.07	0.08	0.12	0.07	0.11	0.15	0.08	0.1	0.09	合格
		RMS 值	0.0475	0.0285	0.0249	0.0299	0.0294	0.0486	0.0472	0.0301	0.0399	0.0333	合格

(转下表)

(接表5)

次数/ 时间	测项	标准值	测试抽样段/ 单位:nT										均值	结果
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
第二次/ 16~18 h	H	峰峰值	0.14	0.17	0.08	0.16	0.13	0.07	0.07	0.11	0.29	0.33	0.155	合格
		RMS值	0.0443	0.045	0.0339	0.0422	0.0421	0.0298	0.0244	0.0327	0.1561	0.1172	0.05677	合格
	Z	峰峰值	0.08	0.17	0.17	0.19	0.09	0.19	0.11	0.3	0.25	0.11	0.166	合格
		RMS值	0.0333	0.0496	0.0558	0.0592	0.0306	0.0556	0.0343	0.1152	0.091	0.0468	0.05714	合格

选取10段连续10 s数据计算峰峰值和RMS值,计算结果均满足环境噪声标准要求(表5);测试期间当地的观测环境没有受到短周期磁骚扰源的影响;环境噪声测试符合地磁基本站台址遴选建设要求<sup>[11]</sup>。

5 总结与讨论

随着城市化进程的加速发展和社会经济的逐步提升,重大民生工程的建设是近年来造成地磁观测环境影响的主要因素;现阶段地磁观测设备无法达到现影响抗干扰技术,异地搬迁成为地磁观测环境保护和恢复地磁观测的主要手段,因此,高质量、强技术、专业化的技术环境测试,是地磁台址遴选的必要条件。

(1)卢氏地磁观测台址异地迁建严格按照地磁台址遴选技术要求,从前期工作准备、可行性研究、调查审批、图上作业、场址粗勘、环境测试和专家评审,逐步实施、专人负责、领导监督,形成了一条完整、成熟的作业流程,保证了场址遴选的顺利进行。

(2)场址遴选基于利用现有基础设施的条件下,通过林地、耕地、山洞等拟选场址的调查、测试及场址属性的确认,山洞存在地磁观测的屏蔽效应,耕地属于基本农田无法征用,林地可根据实际情况进行土地规划划拨使用,但鉴于地磁观测的环境保护范围要求,最终认为通过林地和耕地结合区,利用征租结合的方式进行场址确认最为适合当下地磁台址的建设。

(3)场址环境测试严格按照《地震台站观测环境技术要求第2部分:电磁观测》(GB/T 19531.2-2004)相关技术要求,从场址粗勘对周边干扰源的挨个排查、逐一落实,段家村拟选点避开了呼北高速、浩吉铁路、风力发电和郭家河铁锰矿等各种干扰源;场址环境测试,磁场水平梯度≤5 nT/m,电磁环境噪声峰峰值≤0.2 nT、RMS值≤0.07 nT,电磁

环境稳定,符合地磁二级固定地磁观测网观测站各项环境技术要求。

(4)场址环境测试仪器架设和测试过程的防磁、防潮、防干扰和温度控制是保证获取准确、真实数据的关键。卢氏地磁观测拟选点场址环境噪声测试,采用开挖1.5 m深土坑,找平布设、泡沫包裹、填土掩埋探头,控制日变观测环境温度,利用塑料布将信号线进行包裹,避免探头和数据线与土壤直接接触,切实保障观测环境趋于稳定;通过至少两次测试数据分析和环境观察,保证观测数据的日变和噪声真实反应当地环境实际情况。

参考文献

[1] 李德前,陈慧杰,魏贵春,等.应城地磁台电磁观测环境测试[J].大地测量与地球动力学,2015,35(02):356-359.

[2] 李勇,陈楠,陈南,等.大连九龙地磁台观测环境的初步分析[J].防灾减灾学报,2011,27(02):60-66.

[3] 王治业,王维远,姜华,等.大连地磁台址的选择思路及建设方案[J].地震地磁观测与研究,2009,30(06):81-84.

[4] 曹白伦,匡福江.云南云县地震台迁建观测站概述[J].地震科学进展,2022,52(4):176-182.

[5] 侯永骏,韩明,刘旭东,等.大连地磁台环境保护与迁台选址[J].防灾减灾学报,2012,28(04):58-63.

[6] 张永刚,李娇,郝永梅,等.德都地磁台迁建新址遴选结果分析[J].防灾减灾学报,2015,31(03):80-84.

[7] 吴海军,王刚,杨维辉,等.同江地磁台遴选结果[J].防灾减灾学报,2012,28(04):64-67.

[8] 全建军,夏忠,刘水莲,等.永安地磁台的遴选与建设[J].地震地磁观测与研究,2013,34(Z2):96-101.

[9] 中国标准化委员会.地震台站观测环境技术要求(第2部分)电磁观测:GB/T 19531.2-2004[S].北京:地震出版社,2004.

[10] 中国地震局.地震台站建设规范地磁台站:DB/T 9-2004[S].北京:地震出版社,2004.

[11] 张英杰,张小涛,王莉森,等.涉县地磁台电磁环境测试与分析[J].地震地磁观测与研究,2017,38(04):93-97.