

张秀霞,刘高川,蒋延林,等,2022. 埋式地磁观测装置的设计与实现. 中国地震,38(1):131~141.

埋式地磁观测装置的设计与实现

张秀霞¹⁾ 刘高川^{2,3)} 蒋延林⁴⁾ 郭宇鑫⁴⁾ 赵卫红⁴⁾
张骞⁴⁾ 潘颖¹⁾ 高熹微⁴⁾ 李玉⁴⁾

- 1)江苏省地震局,南京 210014
2)中国地震台网中心,北京 100045
3)中国地震局地球物理研究所,北京 100081
4)江苏省高邮地震台,江苏高邮 225600

摘要 埋式地磁观测方式具有占地面积小、无地面建筑物、施工简单、不受农田保护限制等特点,与传统的磁台站观测方式相比,避免了征地和磁房建设的困难。将地磁观测场地建在观测环境优良的保护区内,有利于推广建造和开展大范围的地磁观测。本文针对现有埋式地磁观测装置仍存在的保温不足、防水处理不当、稳定性低和使用周期短的问题,提出了一种新的装配式埋式设计,从观测装置的材料使用、结构设计、建造布局、仓室保温等方面分别进行了理论计算和观测实验验证。计算和实验结果表明,该装置实际最大日温差小于 0.2°C ,理论年温差小于 8°C ,具有施工简单、稳定性高、防水性能好和保温良好等特点。

关键词: 观测装置 埋式 磁台站

[文章编号] 1001-4683(2022)01-0131-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地磁场是地球最重要、最基本的物理场之一(徐文耀,2009),地磁场观测为地球科学研究、地震预测研究(中国地震局监测预报司,2020;倪晓寅等,2019;冯志生等,2020;丁鉴海等,1994)、社会应用研究提供重要服务。20世纪70年代末,美国地质调查局开始地磁阵列仪器研发和地磁台阵观测工作,采用埋式仪器这种简易的架设方式进行地磁场观测,以便更详细地调查地热流动增强区域与地磁感应异常相关性及其来源(Towle et al,1979);日本在Izu、Chiba半岛均匀布设间距为140km磁力仪台站的基础上,并分别布设3个子台,子台的间距为4~7km的小口径台阵,服务于地震监测预报的地磁台网应尽可能靠近地震危险区,且台站分布密集(Hayakawa et al,2011)。中国地磁台网在“九五”、“十五”期间大力推进并完成了地磁固定台站的数字化建设。2006年,中国地震局首次采用埋式磁通门磁力仪方式构建地磁台阵,用于地震短临跟踪的中短期地磁场观测(许建华等,2006),之后陆续在四川

[收稿日期] 2021-08-03 [修定日期] 2021-11-23

[项目类别] 中国地震局地震科技星火计划项目(XH20021)资助

[作者简介] 张秀霞,女,1971年生,高级工程师,主要从事地震监测工作。E-mail:315742703@qq.com

刘高川,通讯作者,男,1982年生,高级工程师,主要从事地震监测工作。E-mail:geliu@seis.ac.cn

西昌、甘肃天祝、重庆三峡、云南洱源、新疆喀什、晋冀蒙地震危险区及山东地区建设了多个地磁台阵。中国地震背景场探测项目借鉴“十五”期间地磁台阵的架设经验,推广地理式地磁观测方式,使其应用于地磁背景场项目地磁台站建设。

目前,用于地磁场短周期变化观测的典型仪器为磁通门磁力仪,但该类型仪器对外界温度变化较为敏感,即存在温度漂移现象,表现形式为仪器格值、补偿线圈的线圈常数等随温度变化而发生变化,且不同仪器温度漂移特性差异较大,难以采用温度补偿等技术手段解决这些问题,所以国际上的地磁相对记录室均采用建设具有保温功能的磁房来进行观测。按照《DB/T 9—2004 地磁台站建设规范 地磁台站》和《DB/T 37—2010 地震台网设计技术要求》要求,相对记录室的日温差不大于 0.3°C ,年温差不大于 10°C (中国地震局,2004、2010),并且对磁房建设的弱磁性材料有特殊要求,使相对记录室造价昂贵,动辄上百万元,严重制约地磁观测的发展。因此,中国地震局在“十五”期间开展磁通门磁力仪台阵架设,并在中国地震背景场探测项目中大力实施地理式地磁相对记录仪器简易性架设方案。这种方式有助于节约台阵架设成本,同时可以使观测点位更加易于布设,有利于日常维护和推广应用。

经过十多年的观测经验积累,地理式地磁观测不仅要考虑观测装置的保温性能,还需要考虑观测装置在地下的稳定性对地磁观测产生的重要影响(王晓美等,2008;胡秀娟等,2018)。同时,由于缺乏指导性的建设方案,在国内开展的地理式地磁测点在建设设计、施工及长期观测中,出现以下问题:一是施工前无法针对地下潜在因素来设计固定结构,装置可能出现倾斜、沉陷和断裂等问题;二是某些测点出现装置进水、仪器潮湿的现象;三是当保温结构使用的材料传热性能较强、材料厚度较小且埋深较浅时,会出现日、年温差达不到《DB/T 9—2004 地磁台站建设规范 地磁台站》(中国地震局,2004)的要求。因此,在设计 and 施工时,针对地下潜在的影响因素设计固定结构以提高稳定性,加强密闭性以提高装置防水性和防潮性(杜斌等,2008),加大装置埋深并利用高热阻材料组成足够厚的保温结构,提升装置的保温性,使用无(弱)磁性材料并调节装置尺寸来减少铁磁性物质和周边介质的影响,有利于地理式地磁仪器的观测稳定,产出高质量的地磁观测数据。

本文针对现有地理式地磁观测装置存在的上述问题,提出了一种新的地理式设计方案,采用圆柱形有底无盖高密度聚乙烯 HDPE 管作为仪器仓主体,底部铺设碎石垫层以提高地理装置的地基稳定性,选择高热阻的保温材料并增加其厚度来控制仓内日温差。通过台站的实际应用验证,该地理式地磁观测装置在稳定性、保温、防水等方面具有优异的性能,同时兼备施工简单、可根据不同地区的观测环境进行差异施工和架设的特点,有利于全国推广应用。

1 装置结构与原理

本地理式地磁观测装置由仪器仓和主机仓 2 个主要部分组成(图 1)。仪器仓用于为磁通门磁力仪探头(及其模拟装置)提供稳定可靠的观测环境,其由主体结构、稳定结构和保温结构 3 部分组成。主机仓用于放置磁通门磁力仪主机、电源系统和网络传输系统。仪器仓和主机仓均埋入地下,二者之间由长度大于 10m 的信号线连接。

1.1 仪器仓主体结构

本装置仪器仓主体结构为长 4m 的圆柱形(有底无盖)高密度聚乙烯(HDPE)管,外径

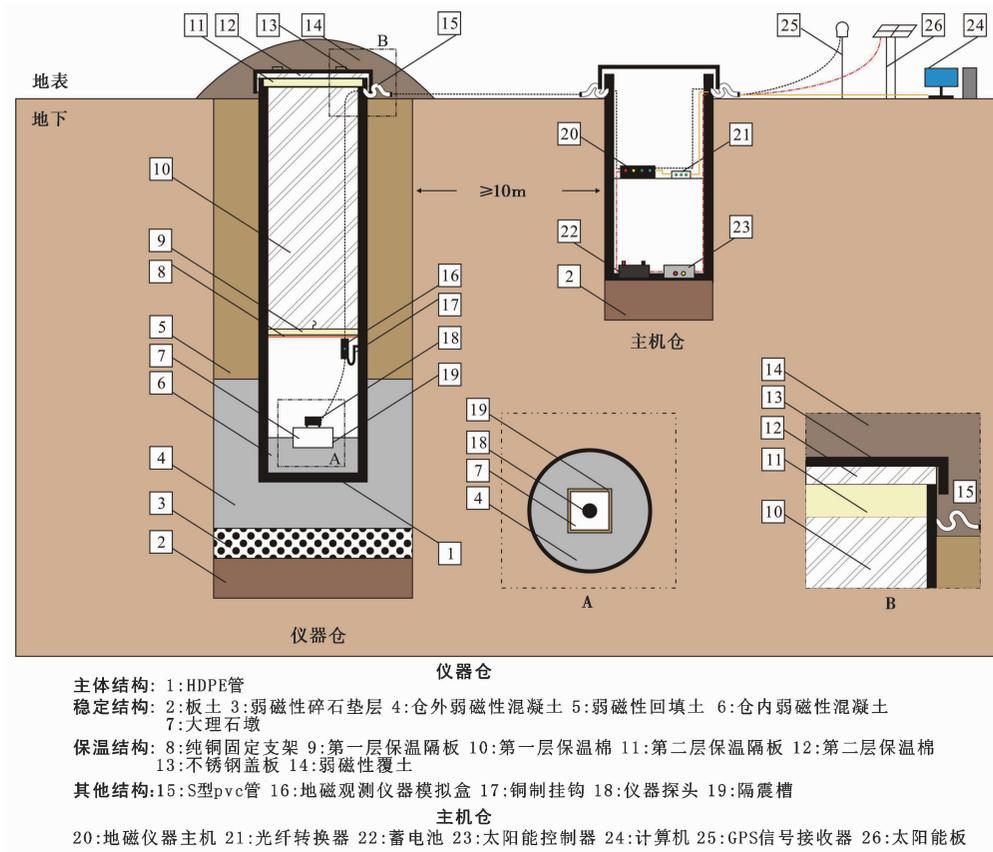


图 1 地埋式地磁观测装置结构图

1000mm、壁厚 38.2mm,见图 1 中的标识 1。管体位于 2m×2m×4.8m 的地坑内,坑体尺寸的选择以施工前进行的坑体磁性实验(表 1)为依据,该实验实测了在不同坑体尺寸及不同坑体介质条件下,地磁仪器探头所受到的干扰情况。实验表明,仪器探头距离坑体材料 $\geq 0.5\text{m}$ 时,可使土壤带来的影响降低至 0.5nT 以内。

表 1 坑体磁性实验结果

坑体材料	坑体尺寸(仪器探头距离坑体边缘最小距离)/m	干扰结果/nT
粉砂质黏土	0.3	0.64
	0.4	0.22
	0.5	0.11
	0.6	<0.1
细砂	0.3	0.89
	0.4	0.54
	0.5	0.45
	0.6	0.42
含砾砂岩	0.3	1.2
	0.4	0.64
	0.5	0.50
	0.6	0.44

HDPE 管具有高强度特性。根据出厂检验结果,40mm 厚的管壁可承受 600kN/m^2 的压强,可有效抵抗周围介质对仪器仓产生的侧向压力。根据地下工程有关规范(中国工程建设标准化协会,2015),地下结构会受到侧向的主动土压力,侧向主动土压力 F 为

$$F = k_a [\gamma_s z_w + \gamma'_s (z - z_w)] \quad (1)$$

式中, F 为侧向主动土压力; k_a 为主动土压力系数; γ_s 为土的重度; γ'_s 为含水土的重度; z_w 为地下水位距地表的距离; z 为计算深度。计算时, k_a 取黏土的对值 0.5, γ_s 取粉质黏土的对值 19kN/m^3 , γ'_s 取值 10kN/m^3 , z_w 取值 1m,此时得到 $z = 4.5\text{m}$ 处的侧向土压力 $F = 26.5\text{kN/m}^2$ 。式(1)说明,随着深度的增加,仪器仓外部的土壤会产生更大的侧向主动土压力,整个装置所承受的最大压力来自于地下 4.5m 处(仪器仓最底端),此时的侧向主动土压力 $F = 26.5\text{kN/m}^2$ 远小于 HDPE 管所能承受压力 $F' = 600\text{kN/m}^2$,如图 2(a)所示。

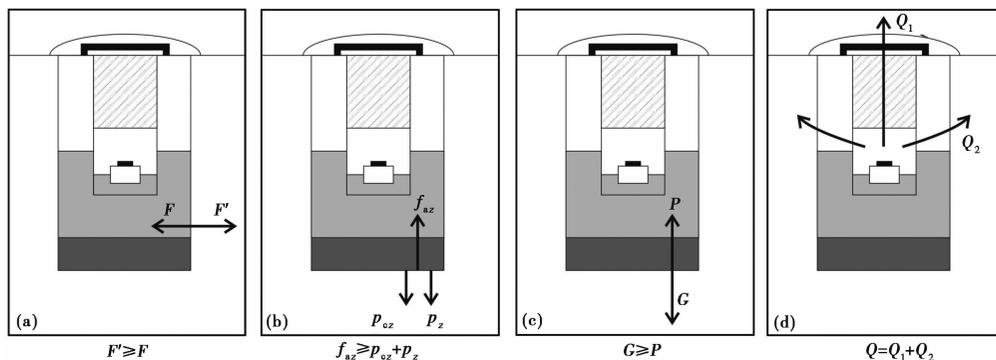


图 2 装置设计原理示意图

高密度 HDPE 管管口高出地表 200mm,防止外部水倒灌;管口通过不锈钢盖密闭,防止外部水体进入;仪器仓内部的仪器线路通过 S 型 PVC 管进出,见图 1 中的标识 15,开口向下,防止水体进入。

1.2 仪器仓稳定结构

本装置仪器仓的稳定结构由以下部分组成(见图 1 中的标识 2~7):HDPE 管外部最底层标识 2 为 500mm 厚度夯实板土,上层标识 3 为 500mm 厚弱磁性碎石层,标识 4 为管底外周边 1500mm 厚弱磁性混凝土,最上层标识 5 为 3000mm 厚弱磁性介质回填土,管内部标识 6 为 500mm 厚弱磁性混凝土,标识 7 为 400mm×400mm×200mm 尺寸大理石墩(含隔震槽)。

稳定结构中,500mm 厚度夯实板土和 500mm 厚弱磁性碎石层可提高地基的承载力,保证基底稳定,最大限度减少仪器仓的沉降或不均匀沉降,在地基工程的有关规范(顾晓鲁等,2003;中华人民共和国住房和城乡建设部,2012)中称为换碎石垫层法,该方法应符合

$$p_{cz} + p_z \leq f_{az} \quad (2)$$

式中, p_z 为垫层底面处的附加压力; p_{cz} 为垫层底面处土的自重压力; f_{az} 为垫层底面软土的修正承载力特征值。在工程中认为达到式(2)的要求可有效发挥垫层的支撑作用,如图 2(b)所示。根据观测装置所使用的垫层厚度计算得到 $p_{cz} + p_z = 103\text{kN/m}^2$, $f_{az} = 212\text{kN/m}^2$,表明 0.5m 厚碎石层的设计可有效提高本装置的地基稳定性。

稳定结构中,仪器仓内外的混凝土可增加装置整体配重,克服地下水产生的浮力。阿基

米德原理可用于简单情况下对水浮力的计算,实际上由于地下黏土的渗透系数具有复杂性,地下水浮力可能小于静水环境(中华人民共和国建设部,2004(a)),地下水浮力为

$$P = \psi_f \gamma_w H \quad (3)$$

式中, P 为基础底面受到的浮力; ψ_f 为折减系数; γ_w 为水的重度; H 为水位高度。

在设计本装置时,为保证长期稳定性,考虑到仪器仓埋入地下后可能受到的最大浮力(地下水位达到地表处),根据地下排水有关规范(中华人民共和国建设部,2004(b)),由式(3)计算地下水浮力 P ,计算时 ψ_f 取值1, γ_w 取值 $10\text{kN}/\text{m}^3$,当水位高度 H 取值为1m时,计算得 $P=10\text{kN}/\text{m}^2$ 。本装置通过仪器仓仓体自重、回填土配重和混凝土配重来克服地下水的浮力,根据装置设计,PE管仓体外部和内部均有混凝土结构,计算得到碎石垫层之上产生的全部压力 $G=97.0\text{kN}/\text{m}^2$,大于地下水浮力 $P=10\text{kN}/\text{m}^2$ (图2(c))。

稳定结构中,仪器仓外部位于碎石层之上及回填土之下的混凝土共同组成圆柱状包裹结构(总厚度1500mm),为仪器仓下半部提供支撑,抵抗周围土壤的压力,根据国家混凝土制作标准(中华人民共和国住房和城乡建设部,2011),150mm厚的C15强度混凝土立方体即可承受 $15000\text{kN}/\text{m}^2$ 的压强,远大于式(1)中侧向土压力 $26.5\text{kN}/\text{m}^2$ 。

1.3 仪器仓保温结构

本装置的仪器仓保温结构由铜制固定支架、第一层100mm厚珍珠棉隔温板、第一层3000mm厚保温棉、第二层100mm厚珍珠棉隔板、第二层保温棉、不锈钢盖板及500mm厚弱磁性覆土组成(图1中标识9~14)。在设计中,通过2个途径来提高装置保温性:一是通过仪器仓埋入地下,减少仓外环境温度变化;二是通过使用高热阻材料,减少仓内外的热量交换(图2(d))。将本装置的仪器仓视为一种圆柱形地下装置,根据地下防空建设规范(中华人民共和国建设部等,2006)及传热学的定义,地下结构的传热量 Q 由顶板传热量 Q_1 、壁面传热量 Q_2 和波动性外墙传热 Q_3 组成,由于本装置无地上墙体,故 Q_3 可视为0。则传热量为

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (4)$$

$$Q_1 = \Delta t \alpha S \quad (5)$$

$$Q_2 = \Delta t k l \quad (6)$$

式(5)、(6)中, Δt 为装置内外温差; α 和 k 分别为顶板和壁面的传热系数; S 和 l 分别为顶板和壁面的传热面积。由此可以看出,地下装置的传热量主要受内外温差及保温材料的热阻影响,根据本装置使用的材料及尺寸可得,顶板区域每度温差的传热效率为 0.013W ,壁面区域每度温差的传热效率为 18W 。该结果表明,较高的壁面传热系数会使仪器仓内部的温度快速接近周围土壤温度,增加仪器仓埋深可减少土壤的最大温差变化,有利于控制仪器仓内部的最大温差;非常小的顶板传热系数 α 可减少仪器仓和空气的热量交换,有利于控制仪器仓内部的日温差变化。

2 装置测试及性能

该装置在设计前期开展实际测试工作,二者同步进行,通过实际测试来完善装置的结构设计。测试地点为雨水多、气温高且地下水面较高的江苏高邮地震台地磁观测场地,测试时间为2020年11月1日至2021年7月31日,本测试点仪器仓主体长度为3m,仪器选用FGM-01型号磁通门磁力仪,探头位于主体仓内距地面2.5m处,仪器模拟盒及观测温度探头

位于主体仓内距地面 1.4m 处。对本装置进行磁性、稳定性测试,并对产出数据进行分析。

2.1 装置磁性测试

利用 Overhauser 质子磁力仪对装置各部分进行总强度 ΔF 磁性测试,磁力仪探头距离各部件均小于 20cm,结果如下:HDPE 管和保温材料总强度 ΔF 均为 0;大理石、不锈钢挂钩等介质材料总强度 ΔF 均小于 0.5nT; 仪器安装前测得的仪器墩面(即周围介质)总强度 ΔF 小于 0.5nT。

2.2 装置自身稳定性测试

装置进入观测后,对其进行了防水防潮检查和地下稳定性检查。装置自身稳定性测试采用建筑变形测量规范(中华人民共和国住房和城乡建设部,2016)中的测量方法,在本装置 HDPE 管口设立 4 个监测点,施工完成 1 个月后分别进行沉降观测、倾斜观测和收敛变形观测。观测结果显示:采用水准测量得到最大测站高差中误差为 0.05mm,采用 4 个监测点差异沉降计算得到倾斜度为 2.94×10^{-5} ,在管口采用固定测线法计算得到测线长度中误差为 0.29mm,上述结果符合特种建筑物的变形等级。此外,以 7 日为单位,检查装置密闭性及防水性能,测试期间无漏水、潮湿现象。

2.3 装置数据产出稳定性分析

根据基本磁场和变化磁场在一个不大的空间范围内是均匀的,其变化基本同步(丁鉴海等,1994),即其在空间上是相关的特征,对该装置产出的地埋式磁通门数据与近距离相对稳定的数据进行对比分析,其结果可以检验装置稳定性。

选取同场地的高邮台地埋式磁通门仪器和 FHD 质子矢量磁力仪 2 套仪器,其中 FHD 质子矢量磁力仪放置于可靠的仪器房内,可产出相对良好的数据,二者分别与相对可靠稳定的河北省涉县台(参考台)的绝对观测子夜数据作日均值差值分析(图 3)。从图 3 可以看出,同场地 2 套仪器的磁偏角 D 和垂直分量 Z 变化具有同步性,两者相关系数分别为 0.91 和 0.92。水平分量 H 则不同步,反映在地埋式磁通门仪器的水平分量差值曲线含有趋势性变化成分。

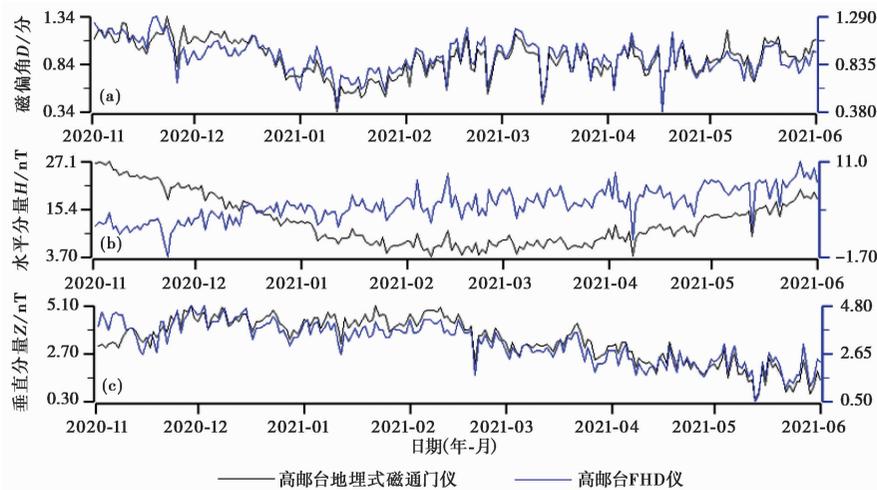


图 3 高邮台地埋式磁通门仪和 FHD 质子矢量磁力仪分量差值对比
(a)磁偏角 D ; (b)水平分量 H ; (c)垂直分量 Z

为进一步分析原因,将地理式地磁水平分量 H 与其观测温度作对比(图 4(a)),两者有明显相关,相关系数达 0.98。根据磁通门工作原理,其仪器性能与温度存在较大关系,计算得到该仪器水平分量温度系数为 $2.9\text{nT}/\text{C}$,经线性温度校正后,同场地 2 台仪器的 H 分量具有一致性变化(图 4(b))。由此可见,在排除温度的影响后,地理式观测仪器数据相对稳定,反映了地理式装置的长期稳定性。

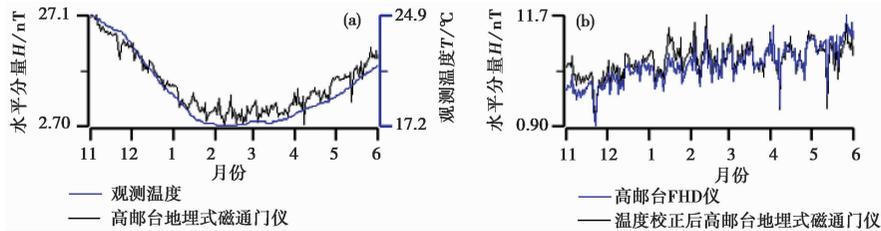


图 4 地理式水平分量观测数据
(a)与温度曲线的对比; (b)校正后与 FHD 观测数据的对比

3 温度变化对比分析

采用分别位于我国西北(青海德令哈、都兰)、西南(四川道孚、重庆石柱)、北部(山西代县)及中部(江苏高邮测试点)四个典型地区共 6 个地理式观测装置内磁通门磁力仪数据进行观测温度对比,地理式装置参数情况见表 2。时间范围为 1 年(2020 年 8 月 1 日至 2021 年 7 月 31 日),具体见图 5。

表 2 各地理式地磁观测装置参数

台站	仓体特征	温度探头位置	保温措施	覆土
德令哈	直径 1m, 3 节 9 片 1.15 mHDPE 井壁板拼接	地下 2.8m	管内填充 1 条棉被约 1m 高	无盖土
都兰	直径 1m, 长 3m 波纹管	地下 3m	管内填充 2.5m 高珍珠棉	盖土 0.4m
道孚	边长 2m, 2m 深地坑	地下 1.5m	两层保温板	无盖土
代县	边长 1.2m, 2m 深地坑	地下 1.4m	坑内珍珠岩填充	盖土 1m
石柱	边长 0.6m, 约 1m 深无磁筒 内套边长 0.3m, 高 0.3m 玻璃罩	地下 0.7m	无磁筒与玻璃罩之间填充石英沙	盖土 0.4m
高邮	直径 1m, 长 3 mHDPE 管	地下 1.4m	管内填充保温棉高约 1.3m 及两层珍珠棉保温板	盖沙 0.4m

图 5 所示的 6 个地理式装置观测到的温度具有明显的周期性变化,表现为与环境温度具有相同的周期(约 1 年),但幅度和相位不同(表 3)。6 个地理式装置观测的最大日温差和年温差明显优于高邮地面房装置,即地理式装置的周期性变化具有更小的幅度,反映了土壤作为天然的隔温层,可有效地控制地理式观测装置受环境温度的影响。

从表 3 可以看出:都兰台仪器观测温度明显滞后于环境温度,且该台年温差和日温差均最小且符合规范要求(中国地震局,2004),代县台、高邮台次之,德令哈、道孚和石柱台年温差和日温差均超过规范要求。多套仪器温度对比分析结果表明:地理式装置的保温结构直接受隔热材料和地温变化幅度变化 2 个因素控制。不同于表 3 中由气象三要素仪器记录的

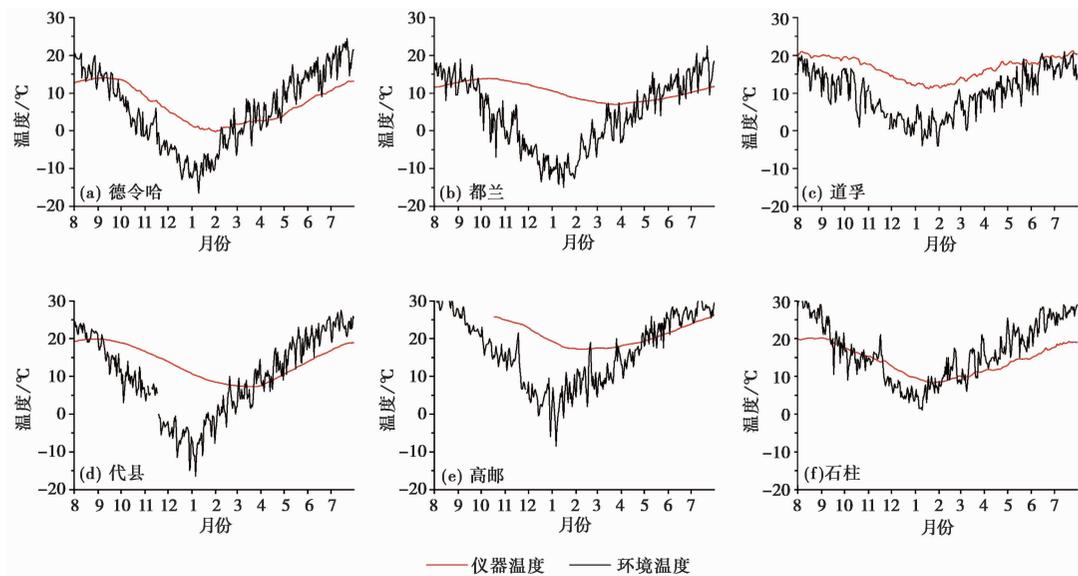


图5 地理式地磁观测装置温度对比

表3 地理式地磁观测装置温度对比

观测 台站	仪器观 测最大 日温差 /°C	仪器观测温度					环境温度					仪器观 测温度 相位滞 后/天
		日期 (月-日)	最高值 /°C	日期 (月-日)	最低值 /°C	年温差 /°C	日期 (月-日)	最高值 /°C	日期 (月-日)	最低值 /°C	年温差 /°C	
德令哈	0.7	09-06	14.1	02-01	-0.2	14.3	07-22	33	01-09	-23	56	21
都兰	0.2	10-10	13.9	03-22	7.0	6.3	07-22	30	01-10	-21	51	88
道孚	0.4	07-26	21.2	01-19	11.2	10.0	08-06	28	01-11	-11	38	9
代县	0.2	08-24	19.8	03-18	7.3	12.5	07-14	37	01-06	-22	59	55
石柱	0.3	08-08	20.5	01-23	8.3	12.2	08-05	37	01-12	-3	40	7
高邮地理式	0.2	09-08	27.4	02-08	17.2	10.2	08-18	37	01-06	-10	48	26
高邮地面房	1.4	08-19	34.6	01-10	7.0	27.6	08-18	37	01-06	-10	48	3

环境温度,地温变化幅度在台站前期勘选中无法直接获得,同时又是设计阶段值得注意的环境因素。地温测量的难度在于其受到地表温度的周期性影响,导致其随着时间而发生变化,此时的地温测量失去了可信度和可比性(金旭等,2004)。故可利用傅里叶级数计算得到浅层地温幅度特征(特科特等,1986),作为装置设计的重要依据(表4)。在忽略大地热流的情况下,不同周期变化的地表温度 θ_0 将影响地温的变化,即

$$\theta(Z, t) = \theta_0 + \Delta\theta \tag{7}$$

式中, $\theta(Z, t)$ 为以 T/n 时间为周期变化的地表温度引起的地下 Z 深度处的温度变化规律,同时得到不同深度地温的变化幅度,即

$$\theta_z = \theta_n e^{-Z\sqrt{\frac{n\pi}{kt}}} \tag{8}$$

式中, θ_n 、 θ_z 分别为地表和地下 Z 深度处的温度变化振幅,地温的变化振幅还受周期 T/n 和

表 4 地理式观测装置的实验结果验证

台站	探头摆放深度 /m	隔热材料	盖土	环境温度年温差/℃	地温变化幅度理论值/℃	仪器观测年温差/℃
石柱	地下 0.7m	石英砂	盖土 0.4m	40	9.32~17.81	12.2
道孚	地下 1.5m	两层保温板	无盖土	38	2.42~4.64	10.0
代县	地下 1.4m	珍珠岩	盖土 1m	59	4.43~8.46	12.5
德令哈	地下 2.8m	保温棉 1m	无盖土	56	0.43~0.83	14.3
都兰	地下 3.0m	珍珠棉 2.5m	盖土 0.4m	51	0.26~0.55	6.3
高邮	地下 1.4m	保温棉 1.3m 两侧保温板	盖沙 0.4m	48	3.76~7.17	10.2

热扩散率 k 的影响(陈晓冬等,2006)。由式(8)可计算出各台站探头摆放深度($\pm 0.2\text{m}$)处的地温变化幅度理论值范围(表4)。

从表4可以看出:石柱、代县台观测装置中探头埋设最浅,其地温变化幅度理论值较大,从而导致仪器年温差最大;德令哈台装置具有最少的隔热材料,其实际仪器温差和理论地温变化幅度的差别最大;高邮台装置设计最多的隔热材料,其实际仪器温差最接近地温变化理论幅度。在6个观测装置中,年温差最小的都兰台,采用了最大的埋设深度以及数量仅次于高邮台的隔热材料;其他5个观测装置的地温变化幅度理论值虽然较小(均 $<10^\circ\text{C}/\text{a}$),但实际仪器年温差均大于理论地温幅度,原因有2个:一是地理式观测装置的空心仓体结构跨越了不同地温的土壤,往往受到接近地表的高温土壤影响,这是前期地理深度设计的难点之一;二是隔热材料的设计和使用不足,这在施工阶段是可以避免的。总之,地磁观测装置的设计阶段,需要充分考虑探头下放深度,以及装置保温措施(隔热材料和盖土情况),二者缺一不可。根据以上分析结果,在本文提出的装置设计方案中,将实际观测使用的3m长仪器仓升级为4m长,其年温差预测将小于 8°C 。

4 结论

(1)HDPE材料具有无磁性、高强度和密闭性好的特点,适用于制作地理式地磁观测装置的主体结构。

(2)铺设碎石垫层可提高地理装置地基的稳定,外部设置混凝土结构可提高地理装置的抗压能力,内部增加配重可提高地理装置的抗浮能力。

(3)选择高热阻的保温材料,增加保温材料厚度,减少与外界的接触面积,可有效减少与空气的热量交换,控制装置内部日温差变化量。本装置在测试期间最大日温差小于 0.2°C ,最大年温差为 10.2°C ,反映了实验区域地温幅度的变化情况,在建设相似的地理式观测装置时,由于对地下温度的勘测具有一定难度,考虑将装置埋深(装置底部深度)设置为 $\geq 4\text{m}$,将实现年温差小于 8°C 。地下土壤最大温差随着深度增加而快速减小,通过增加装置埋深可控制装置内部最大温差变化量。

(4)配套地理式观测装置的观测仪器应采用温度系数远小于 $1\text{nT}/^\circ\text{C}$ 的仪器,以避免仪器温度系数带来的影响,获得地理式装置产出数据的最佳效果。

参考文献

- 陈晓冬,金旭,管彦武,等,2006. 长春地区地表温度日变、年变对地温测量的影响. 地球物理学进展, **21**(3):1008~1011.
- 丁鉴海,卢振业,黄雪香,1994. 地震地磁学. 北京:地震出版社,1~13,200~218.
- 杜斌,安明智,林洋,等,2008. 磁通门磁力仪在野外安装的实施方案. 地震地磁观测与研究, **29**(6):154~160.
- 冯志生,姜楚峰,冯丽丽,等,2020. 短期重现性地磁日变化感应电流集中分布与地震关系初步研究. 中国地震, **2020**, **36**(3):502~516.
- 顾晓鲁,钱鸿缙,刘慧珊,等,2003. 地基与基础. 3版. 北京:中国建筑工业出版社,361~363.
- 胡秀娟,陈晓燕,王利兵,等,2018. 不同型号磁通门磁力仪观测资料质量分析. 山西地震, (2):5~9.
- 金旭,陈晓冬,管彦武,2004. 气候变化对浅层地温测量影响的改正. 地球学报, **25**(5):579~582.
- 倪晓寅,赖见深,朱培育,2019. 汶川8.0级地震前地磁日变化异常综合分析. 中国地震, **2019**, **35**(1):65~75.
- 特科特,舒伯特,1986. 地球动力学. 北京:地震出版社,146~148.
- 王晓美,滕云田,王喜珍,等,2008. GM4型磁通门磁力仪性能检验方法. 地震地磁观测与研究, **29**(6):88~94.
- 许建华,张炼,王晨,等,2006. 地震短临跟踪黑龙江地磁台阵的架设. 地震地磁观测与研究, **27**(5):121~124.
- 徐文耀,2009. 地球电磁现象物理学. 合肥:中国科学技术大学出版社,66~80.
- 中国地震局,2004. DB/T 9—2004 地震台站建设规范 地磁台站. 北京:地震出版社.
- 中国地震局,2010. DB/T 37—2010 地震台网设计技术要求 地磁观测网. 北京:地震出版社.
- 中国地震局监测预报司,2020. 地震电磁分析预测技术方法工作手册. 北京:地震出版社,1~2,21~220.
- 中国工程建设标准化协会,2015. CECS 137—2015 给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程. 北京:中国计划出版社.
- 中华人民共和国建设部,2004a. GB 50021—2001 岩土工程勘察规范. 北京:中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国建设部,2004b. GB 50069—2002 给水排水工程构筑物结构设计规范. 北京:中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2006. GB 50038—2005 人民防空地下室设计规范. 北京:国标图集出版社.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部,2011. GB 50010—2010 混凝土结构设计规范. 北京:中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部,2012. GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范. 北京:中国计划出版社.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部,2016. JGJ 8—2016 建筑变形测量规范. 北京:中国建筑工业出版社.
- Hayakawa M, Hobara Y, Ohta K, et al, 2011. The ultra-low-frequency magnetic disturbances associated with earthquakes. Earthq Sci, **24**(6):523~534.
- Towle J N, Fitterman D V, Lescelius R H, 1979. A digital recording field system for geomagnetic-telluric-array studies. IEEE Trans Geosci Electron, **17**(2):41~45.

Design and Test of A Buried Geomagnetic Observation Device

Zhang Xiuxia¹⁾ Liu Gaochuan^{2,3)} Jiang Yanlin⁴⁾ Guo Yuxin⁴⁾ Zhao Weihong⁴⁾
Zhang Qian⁴⁾ Pan Ying¹⁾ Gao Xiwei⁴⁾ Li Yu⁴⁾

1) Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, China

2) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

3) Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China

4) Gaoyou Seismic Station, Gaoyou 225600, Jiangsu, China

Abstract Compared with the traditional geomagnetic observation method, the buried geomagnetic observation method has the advantage of small area, no surface buildings, simple construction and no restriction of farmland protection. It effectively avoids the difficulties of land acquisition and magnetic house construction, so it can be built in the protected area with excellent observation environment, which is conducive to the promotion of construction and the development of a large range of geomagnetic observation. Aiming at the problems existing in the current buried geomagnetic observation devices, a new prefabricated buried design scheme is proposed in this paper. The theoretical calculation and experimental verification of the observation device, such as insufficient heat preservation, improper waterproof treatment, low stability and short service period, are carried out from the aspects of material use, structural design, construction layout and warehouse insulation. The results show that the actual maximum daily temperature difference of the device is less than 0.2℃, and the theoretical annual temperature difference is less than 8℃, which is of simple construction, high stability, good waterproof performance and heat preservation.

Keywords: Observation device; Buried type; Geomagnetic station