

地磁台站建设中的材料磁性检测^{*}

赖加成, 游永平, 罗开奇

(福建省地震局, 福州 350000)

摘要: 介绍了福建泉州地磁台重建工作中, 对建筑材料进行磁性检测以及施工过程中进行磁性跟踪监测的一些方法。实践证明, 应用这些方法能很好地满足地磁台站建设规范的技术要求, 说明这些方法是切实有效的, 可以为以后地磁台站的建设提供经验。

关键词: 地磁台站; 建筑材料; 磁性检测; 福建

中图分类号: P318.6⁺3 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)02-0155-05

0 引言

按《地震及前兆数字观测技术规范》的要求, 地磁台所用建筑材料, 必须选择无磁性或弱磁性材料。对所用建筑材料及器件的磁性必须认真测定, 要求观测墩所用材料的磁化率小于 1×10^{-6} CGSM, 房屋建筑材料磁化率小于 1×10^{-5} CGSM (中国地震局, 2001)。为此, 所有建筑材料 (包括沙、石、水泥、铜材、铝、塑料以及电气配件等) 均须进行严格测试。

材料的磁性有强弱之分, 这是由于它们受到两种不同种类的磁化——感应磁化和剩余磁化 (永磁) 造成的。感应磁化表示磁场对材料的作用, 这时周围磁场得到加强, 材料本身的作用像一块磁铁。材料的这种磁化正比于周围磁场的强度和材料增强局部场的能力 (又称为磁化系数)。感应磁化 I 、磁化系数 k 和地磁场或周围磁场强度 F 有如下关系:

$$I = k \times F \quad (1)$$

对于大多数材料, k 远小于 1。事实上, k 值通常为 $(\pm 10^{-6})$ CGSM 或更小。而在许多火成岩和铁合金中, 剩磁或永磁 (前者是指岩石, 后者是指金属) 常常是主要的磁化, 这是相对于感应磁化而言的。永磁取决于冶炼参数以及样品的热、机械和磁处理过程。磁铁矿可能有 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ T 的剩磁, 普通的铁可能有 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ T 的永磁,

而永久磁铁可能有 $0.01 \sim 0.1$ T 或更高的永磁性。地球的磁场是一个弱磁场, 仅有 $3 \times 10^{-5} \sim 6 \times 10^{-5}$ T。由此可见, 地磁台的建筑对材料磁性的要求是非常严格的, 高精度的观测和记录仪器必须在正常良好的磁场环境条件下才能正确记录当地地磁场的变化。

材料磁性的检测方法很多, 过去常用的办法是使用磁化率仪在地磁台基建现场进行测量。我们对几种检测方法进行比较后认为, 用磁化率仪检测地磁建筑材料测量精度比较低, 无法满足高标准的数字化地磁台的要求。国际地磁学与高空科学协会 (IAGA) 在《地磁测量与地磁台站工作指南》中介绍, 可用磁通门磁力仪来检测材料的磁性。具体做法是: 如果被检测材料放在距离磁力仪探头 0.5 m 处, 它引起的磁场变化小于 1 nT 则所测材料就符合地磁台建台用材条件 (周锦屏等, 1999)。在这个思想的指导下, 我们根据建筑材料的性质、形状以及检测环境等条件又总结出了几种方法, 主要有“小箱 ΔF 检测法”和“大盘梯度检测法”。

1 材料磁性 ΔF 检测法

磁性体外部点的磁场强度 ΔF 与磁性体之间存在一种复杂的函数关系, 它与磁性体材料的磁化率 k 、磁化强度 J 、剩磁强度 J_r 、磁性体体积 V 以及磁性体的形状、磁性体轴线与磁化方向的交角、观测点与磁性体间的相互位置有关。但无论其函

* 收稿日期: 2007-08-03.

数关系多么复杂,有一点是相同的,那就是对于同一种材料, ΔF 与被测材料的体积成正比,与测量仪器探头到磁性体的距离 R 的平方(在某些特定位置为立方)成反比。由于地磁房建设选用的弱磁材料的 $k \rightarrow 0$ $k \leq 1 \times 10^{-5}$ CGSM 同一种弱磁材料的 k 值相同,对于测量灵敏度一定的磁力仪来说,如果采用体积小的样品,放在距离大的地方,可能根本测量不到 ΔF 的变化。相反,如果采用体积大的样品,放在距离小的地方, ΔF (实际检测中 ΔF 为仪器读数的变化量)不仅可以检测到,还可能增加几个数量级。换言之,对于 k 值相同的材料,采用同一台仪器,前者仪器的检测灵敏度不够,后者检测灵敏度有余(中国地震局监测预报司,2002)。也就是说利用“大体积小距离”方法,可以提高测量灵敏度。经过实践,我们认为可以提高 2~3 个量级。

1.1 小箱 ΔF 检测法的工作步骤

小箱 ΔF 检测法就是用经检测无铁磁性杂质的木板、铜钉等制作成 $(50 \times 30 \times 35)$ cm^3 的检测箱,装上石子、沙等散粒状建筑材料,将箱子靠近 G856 核旋仪探头,分别测量箱体长边两侧,若样品靠近和离开 G856 核旋仪探头所引起的磁场变化 ΔF 不大于 1 nT 该材料的磁性就符合要求,全过程探头的位置保持不动。具体检测步骤为:

(a) 选一开阔、无铁磁杂物的场地(便于堆放检测过的材料)设一检测点。我们的检测点选为一无磁测桩,截面 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$,长度 40 cm 埋入地下 30 cm 出露地面 10 cm 将探头垂直置于桩上,箭头指北(使探头的信号最强),探头中心大致处于“检测箱”中心高度。

(b) 在未放检测物的情况下连续读数 3 次,取其平均值 F_1 (称之为探头空置值)。

(c) 保持探头位置不动,将材料箱体 A 面紧贴探头北面,连续读数 3 次,取其平均值 F_A 。

(d) 将箱体翻面,将其对立面 A' 面紧贴探头北面,连续读数 3 次,取其平均值 $F_{A'}$ 。

(e) 撤离被测物(检测箱)再连续读数 3 次,取其平均值 F_2 。实际工作中,在连续测量时, F_2 可作为下一次测量的 F_1 ,以此类推。

(f) 计算平均值 $(F_1 + F_2) / 2 = F_3$ 。

(g) 分别比较 F_A 和 $F_{A'}$ 与 F_3 的差值 ΔF 以此判断被测物是否合格。如果不合格,也很容易知道问题出在哪一面。

1.2 小箱 ΔF 检测法的特点

(1) 对检测场地周围环境要求不高,哪怕附近 (10 m 开外) 有较大铁磁性物体,只要它是固定不动的,即可视为固定的叠加磁场,作为一个固定的叠加量,不影响 ΔF 的测量结果。

(2) 可快速排除短时地磁日变因素影响,提高判断速度。

(3) 由于规格小,对合格或不合格被测物处理方便、快捷。

(4) 工效高。以检测石子为例,完成一箱检测约需费时 $1 \sim 2 \text{ min}$,检测 1 m^3 石子约需费时 30 min 较“大盘检测法”提高工效 3 倍。

2 大盘梯度检测法

在地磁台建筑材料的检测中,我们还使用了大盘梯度检测法。这实际上是引用梯度测量的概念,将测量仪器当作一个高精度的“探测器”,通过测量材料外部磁场强度 ΔF 来检测材料磁性的一种方法。检测过程则是对固定的材料,移动探头位置来检测。

2.1 大盘梯度检测法的工作步骤

(a) 用无磁材料制作成 $(180 \times 180 \times 30)$ cm^3 的检测盘。

(b) 首先按 30 m 的跨度,检测安置检测盘的场地的磁场强度,通过检测要求:检测盘周围 5 m 范围内的磁场梯度小于 1 nT/m ; 工地施工等活动对检测盘的磁性干扰小于 0.1 nT 为装卸方便、使盘内磁场梯度均匀,最好先清除厚度 20 cm 左右的表层浮土,再用无磁(弱磁)材料填平或在地表直接垫高 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 后再安置检测盘。

(c) 将沙子等散粒状材料倒于盘内,均匀平铺 20 cm 左右。然后用探头贴近材料以 $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 的网距逐点读数,每个测点读数与周围测点读数差值 ΔF 小于 1 nT 为合格。

2.2 大盘梯度检测法的特点

此种检测方法可以比较方便地对沙子、沙浆、混凝土或大件、不便搬动的物件中隐含的铁磁性杂质进行搜寻。但也有以下几个明显的缺点:

(1) 要求被测物本身磁性比较小,只适宜探测其中有无隐含铁磁性杂质,而不宜检测其自身的磁性大小。

(2) 只适用于磁静日,遇有磁场变化大于 1

mT 的情况就要反复比较测量，以排除日变影响，碰到磁场变化较快的情况就很棘手。

(3) 对检测场地周围环境要求高，不允许检测场地周围有一点足以影响场地磁场的器物存在，这在一定程度上制约了现场施工。

3 水泥、铜筋的磁性检测方法

上述两种检测方法，在实际工作中主要用于检测石子、沙、土等建筑材料。为了精度上的提高与操作上的方便，对于水泥、铜筋的磁性检测，我们增设了一个高 40 cm 左右的检测平台。水泥由于有固定的规格尺寸，我们采取在检测平台上逐包检测的方法，其方法、步骤同小箱 ΔF 检测法。

针对铜筋的“长条形”外貌特征，我们基于测量材料外部磁场强度 ΔF 的基本原理，也专门设计了一种检测方法（图 1），通过检测铜筋的记录表格来了解铜筋的检测流程，检测结果见表 1。

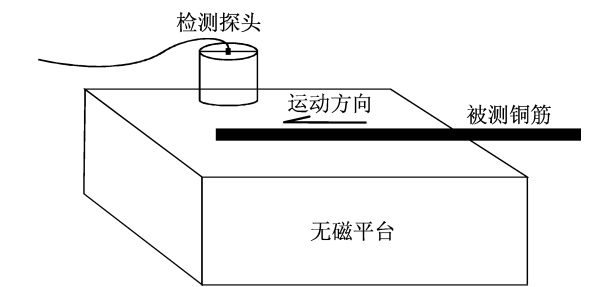


图 1 铜筋检测示意图

表 1 建筑材料磁性检测记录表

测点	空置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	空置
测试值 / mT	2.5	2.4	2.5	2.3	2.4	2.3	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3

- 检测步骤如下：
- (a) 选择磁场变化平静时段，在检测平台上固定好探头。鉴于铜筋规格有别、长短不一，我们按相同规格、相同长度将待测的铜筋聚集成一把（每把支数以工人便于拖动为限）。
 - (b) 在未放置铜筋的情况下，测 1 次探头空置值（头空置值）；
 - (c) 放上铜筋，拖着铜筋从头到尾每隔 30 cm 测 1 个点；
 - (d) 移开铜筋，再测 1 次探头空置值（尾空置值）；

(e) 将探头空置值与测点测值比较，测点与测点比较，使相邻点之间相互“监督”、相互“传递”，最终再与尾空置值比较。最后以它们相邻之间差值 ΔF 为判定依据，来判定材料是否合格。

由于检测时选的是磁场平静时段，在完成一匝长约 6 m 的铜筋检测的 3 ~ 5 min 内，通常磁场的变化是很小的，测值一般无需作日变改正。于是我们相应地也把 ΔF 卡得较小，每个测点的 ΔF 值一般要小于 0.5 mT 才能通过，否则将马上移开铜筋，反复比较 ΔF 与探头空置值的差值，以确定铜筋是否合格。如果不合格，则马上将铜筋拆分成小匝，逐一检测，将不合格材料挑选出来。由于我们所采用的铜材是国营大厂特殊工艺的产品，通常情况下，质量好的铜筋通过探头检测时都能通过，从头至尾 F 值基本上都只有很小的差别，能够满足技术要求。

4 施工过程中的磁性跟踪监测

在地磁房建筑施工过程中，为了及时发现和排除混入建筑体内的磁性物质，必须对施工过程中的各个环节进行跟踪监测。以下介绍的是几个关键环节中对建筑物磁性进行跟踪监测以及控制的方法。

4.1 混凝土浇注跟踪监测

为不影响工程质量，混凝土浇注过程中不可能为磁测工作留出足够的时间。因此，现浇混凝土的磁性检测实行边施工边检测的方式。我们还是以 30 cm 的网距将探头贴近混凝土逐点读数，每个测点读数与相邻测点读数差值 ΔF 小于 1 mT 为合格。不合格者，立即予以挖掘排除。由于事前原材料（石子、沙、水泥、铜筋）均已经过检测，所以这种检测方式虽然引用了梯度测量的概念，其实是地毯式搜寻施工过程中遗留的铁磁物质。

现场实际工作证明，尽管现场施工活动可能对检测工作造成许多干扰，但有经验的技术人员通过“审时度势”、“见缝插针”式的工作，对于及时搜寻隐伏于混凝土中的铁磁性物质还是十分奏效的。但应该强调的是，对于工程结构浇注的混凝土的检测是严把工程质量的最后一道关口，因而要格外细心。一旦有杂质混入，整个工程就有报废的危险。因为对承重混凝土构件进行剔凿会严重影响结构的承重性能，而对地下混凝土结

构的剔凿会影响工程的防水效果。

在实际检测过程中, 往往会发现个别点的场值高于或低于周围点场值。要判断这是否由混凝土中隐伏的铁磁杂质引起, 可将探头沿垂直方向往返测试。根据影响量与距离的关系 (影响量与探头离被测物体的距离的平方成反比) 如果与混凝土有关, 那么探头越接近混凝土, 其影响量必定越大, 反之, 探头远离混凝土, 其影响量相应减小。显然, 如果影响量与探头移动的距离无关, 也就说明该点的场值异常与混凝土无关了。

4.2 墙体筑砌跟踪监测

鉴于我们的仪器房墙体是用石灰石浆砌成的, 对于仪器房墙体筑砌过程的磁性跟踪监测, 我们原则上是每筑砌 30 m 的高度检测 1 次。但在实际检测过程中我们发现: 问题几乎不可能出在石灰石上, 重点应该跟踪检测的是水泥沙浆, 所以我们在检测墙体时, 主要是将探头沿着填塞了水泥沙浆的石头缝搜寻, 让铁磁异物无处遁形。

需要指出的是, 尽管水泥、沙子等原材料事前都已检测过, 施工过程的相关制度也很严明, 但仍难避免施工过程中的某一环节可能还会带来铁磁污染。只有边施工, 边跟踪检测, 实时控制, 才能达到最佳效果。

4.3 阶段性场地磁场梯度测量

按《地震台站建设规范——地磁台站》要求, 建设完成后, 各观测室内水平梯度 ΔF_h 和垂直梯度 ΔF_v 均应不大于 1.5 nT/m (中国地震局, 2004)。所以我们对施工前的场地、一个施工环节完成 (如基础浇注完毕、地板成型、墙壁砌好、屋顶盖好等) 后的室内磁场梯度都必须有个阶段性的控制。

具体做法是: 选择磁场变化平静的时段, 用两台 Q856 磁力仪按预先设计的网度 (一般为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$), 统一记录表格, 同时进行地磁场总强度 F 测量。一台仪器用于现场检测, 一台仪器用于测量地磁日变, 两者差值作为检测结果保存。每个测点的检测结果与周围其它测点的差值小于 1 nT 为合格, 否则应查找原因, 进行纠正, 直到合格为止。

必须注意的几个问题是: ① 因为此检测方法将日变站作为测量参考点, 故日变观测点的地磁环境在整个施工中应采取严格的保护措施。否则, 不同时间所测资料无法衔接; ② 在架设日变站时,

用于测量的两台仪器一定要先对时, 否则, 将导致日变改正不正确、结果不可靠; ③ 要保证日变站仪器的电池容量非常充足, 才不至于使工作白干。规模较大的场地测量工作通常应使用外接电源。

5 结论

(1) 在泉州地磁台重建工程的建设过程中, 所使用的上述建筑材料磁性检测方法、建设过程中跟踪监测方法, 有效仿吸收兄弟台站的经验做法, 也有独创。运用这些方法所取得的建设成果很好地满足了地震台站建设规范对地磁台站的技术要求, 从而也证实了这些方法的有效性。

(2) 检测工作中所用测量仪器为 Q856 质子旋进磁力仪。对于 Q856 磁力仪的应用, 应建立在熟知仪器基本功能和操作方法的基础上, 正确使用仪器, 才能取得正确的检测数据。

(3) 地磁台站建设中, 场地磁场测量、材料磁性检测乃至施工过程中的磁性跟踪监测, 归根结底都是通过测量磁性体外部点的磁场强度 ΔF 来操作实现的。应用 Q856 质子旋进磁力仪测定 ΔF 探头放置的空间位置不受约束, 可任意移动探头进行各种条件下的探测工作, 操作简单、快捷、方便。

(4) 在场地梯度测量和材料检测过程中, 通常要求每个测点读取 3 个测值。其实, 在确保测量场地附近没有干扰源 (尤其是移动的干扰源) 的情况下, 可以通过设置 Q856 内部的功能开关, 让仪器自动做 3 组测量, 并自动计算和显示 3 组测值之平均值。采取这种方法, 既可减少仪器电池消耗、减少测量过程中的记录工作量, 更可大大减轻后续资料处理的工作量以及数据录入过程中的人为错误。

参考文献:

- 中国地震局. 2001. 地震及前兆数字观测技术规范 (电磁观测) [M]. 北京: 地震出版社.
- 周锦屏, 高玉芬. 1999. 地磁测量与地磁台站工作指南 [M]. 北京: 地震出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2002. 地震监测 [M]. 北京: 地震出版社.
- DB/T9—2004 地震台站建设规范——地磁台站 [S].

Magnetism Test for the Construction Material of Geomagnetic Station

LAI Jia cheng YOU Yong ping LUO Kai qi

(Earthquake Administration of Fujian Province Fuzhou 350000 Fujian China)

Abstract

During the reconstruction of the Quanzhou geomagnetic station in Fujian, we used some methods to test the magnetism of the construction material and trace the magnetic variation. The practice shows that the engineer can satisfy the technical requirement of construction specification of geomagnetic station, which proves these methods are valid and can be used for reference of geomagnetic station construction later.

Key words: geomagnetic station, construction material, magnetic test, Fujian



王福昌 中国地震局防灾科技学院副教授。1997年毕业于曲阜师范大学数学系,获学士学位;2000年毕业于大连理工大学应用数学系应用数学专业,获硕士学位。主要从事多元统计分析和现代最优化方法的应用研究。



郭晓 中国地震局兰州地震研究所助理研究员。2005年毕业于中国地震局兰州地震研究所固体地球物理专业,获硕士学位。主要从事卫星遥感应用及地震预报研究工作。



赖加成 福建省地震局泉州地磁台助理工程师。1994年毕业于防灾技术高等专科学校(现为防灾技术学院)。主要从事地震地磁监测工作。



曾宪伟 中国地震局兰州地震研究所在读硕士研究生。2005年毕业于青岛大学物理系,获学士学位。主要从事数字化观测数据的处理和分析工作。



莘海亮 中国地震局兰州地震研究所在读硕士研究生。2005年毕业于河北大学物理科学与技术学院,获学士学位。研究方向为地震精定位与地壳三维速度结构。

注:陈立德、刘翔、叶建庆、常祖峰的个人简介已分别刊登在本刊的 Vol.30 No.1 Vol.28 No.4 Vol.30 No.3 Vol.29 No.2