

空间环境之地磁(电)探测

燕春晓

一、地球磁场和电场

1 地球磁场

地球磁场是随着地球的演化而形成的。地球就像一块巨大的磁石，它的磁场分布充满了整个地球空间(图1)，可以从地球内部一直延伸至行星际空间数十个地球半径处，地表磁场在南北磁极点磁场最强，可达到约7万nT。

长期的地球磁场的观测和研究表明，地球磁场是随时间和空间而变化的。地磁场及其变化是地球深部和近地空间物理过程的重要信息来源之一，如地震、火山喷发、局部地磁异常、地磁脉动和磁暴等都可以产生地磁扰动，由此也可以利用地磁场及其变化服务于人类的生产生活，如指南针的磁定向和磁导航；由地磁场的突变(磁暴)预报太阳活动和空间天气预报；地磁扰动和磁暴会对无线电通信、导航

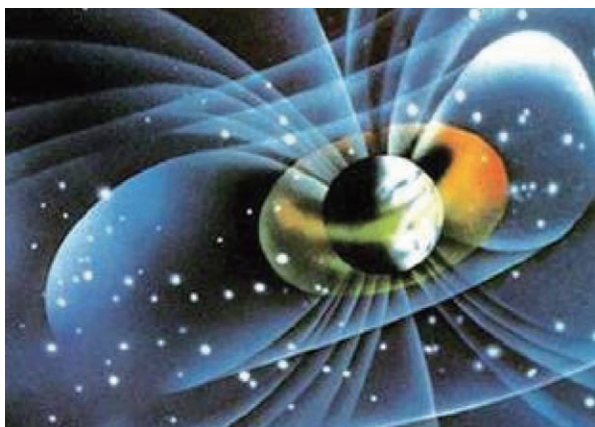


图1 地球磁场立体示意图

和气候产生的影响；地球磁场的异常变化作为预报地震和火山的一种因素；地磁场观测结合其他地球物理观测可进行地质调查等。

2 地球电场

地电场也是重要的地球物理场之一。大地电场是由地球外部的各种电流变化产生的磁场在地球内部感应产生的电场势形成的电场。大气电场是一个跨越多种学科的特性参量。雷暴的产生与发展，地震的孕育与发生，太阳活动及环境污染，甚至沙尘暴的来临，都会引起地球电场的相应变化。

因此，自二百多年前，人们发现大气中存在电场以来，一直在研究大气电场的发生机制以及它与其他自然现象的相关性。

3 地磁(电)场的变化特性

大地电场与地球变化磁场密切相关，两者的

场源都是来自地球外部的各种电流体系，地磁(电)场的变化主要有长周期变化、地电微变化、脉动、地电(磁)暴等：

(1) 长周期变化：变化是连续出现的，具有确定的周期性。有年变化、月变化、日变化等。

(2) 地电微变化：由于高频地电变化幅度较小，所以称为地电微变化。由雷电引起的高频地电变化的频率为1~104赫兹。

(3) 地电脉动、地磁脉动：地电脉动、地磁脉动是经常出现的一种地电、磁场的短周期扰动(图2)，是太阳风与地球磁层的作用，以及磁层内部各种因素相互作用所引起的电、磁场变化现象。太阳辐射的带电粒子一方面绕着地磁场的磁力线运动，另一方面还沿着磁力

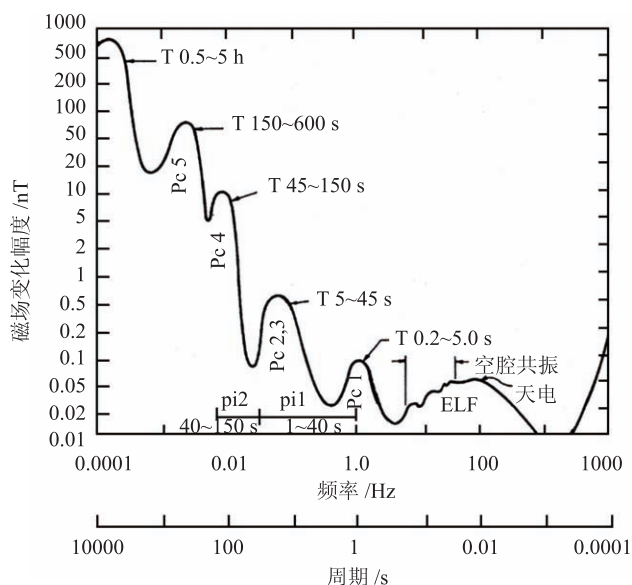


图2 地磁脉动周期

线的方向在两极之间往返振荡，带电粒子的这种运动产生的电磁效应是电磁脉动的场源。

(4) 地电湾扰：由太阳辐射产生的高速太阳风（带电粒子流），在电场作用下，在高度约 300 千米的极区电离层形成电流系，并在距离地心约 5~7 个地球半径的远处形成一个赤道电流环，它们分别是地电湾扰和地电暴的场源。地电湾扰是具有形态规则而无周期的电磁扰动，形如海湾而得名。一般在高纬度地区湾扰幅度大。

(5) 地电、磁暴：地电暴和地磁暴是地球电场、磁场的强烈扰动，几乎在全球同时发生，是由太阳剧烈活动引起的。电场扰动在地磁赤道处变化幅度最大。随着纬度的升高变化幅度逐渐减小。

(6) 极光：极光（图 3）的形成主要是由于来自太阳的带电粒子入射到地球磁场的势力范围，受到地球磁场的影响，带电粒子聚集在磁极附近，从高纬度进入地球的高空大气，激发了高层空气的分子或原子而造成的发光现象。



图 3 极光

二、地球电场、磁场的组成及观测方法

1 地磁场的组成

地球磁场是由地球内部的磁性岩石以及分布在地球内部和外部的电流体系所产生的各种磁场充分叠加而成的；起源于地核的主磁场部分占总磁场的 95% 以上，来自地壳磁性岩石产生的局部异常场占 4%，产生于电离层、磁层和行星际空间的空间电流体系的外源变化磁场只占 1%。

地磁场有复杂的空间结构和时间演化，认识它的时空特征，探索其起源，研究地磁现象与其他自然现象的关系，使之成为人类社会服务是观测和研究地磁场的意义所在。为了描述地磁场的空间分布特点，习惯上采用图 4 所示观测坐标系，分别取地理北向，地理东向和垂直向下记为 X 、 Y 、 Z ，为地磁场的三分量，在地磁场的测量和研究中还常用到其他四个要素，即地磁场的水平分量 H ，磁偏角 D ，磁倾角 I 和磁场总强度 F ，地磁场的这

7 个要素中只有三个是独立的，世界大多数台站的磁照图记录习惯用 HDZ 要素，地磁场的绝对观测多用 HDI 或者 FDI 要素，高纬度地磁观测也用 X 、 Y 、 Z 。

2 地电场、磁场观测方法

我国的地磁（电）观测工作已有一百多年历史。对地磁（电）场的观测也有多种仪器设备，国家重大科技基础设施——东半球空间环境地基综合监测子午链（简称“子午工程”）在全国布局了 15 个地磁（电）观测台，涵盖了所有常规地磁（电）观测仪器，共有 6 种 45 台观测设备，分别是磁通门磁力仪，感应式磁力仪，overhauser 磁力仪，磁通门经纬仪，地电场仪，大气电场仪，在空间上形成了沿东经 120° 子午链，从北起漠河，南至南极中山站，以及东起上海、西至拉萨的沿北纬 30° 纬度线附近的一横一纵以链为主，链网结合的观测模式，覆盖了我国广阔的地域，可以监测地磁场， H 、 D 、 Z 三分量，地磁场总强度 (F)，地磁场偏角 (D) 和倾角 (I) 地磁脉动等磁场变化，

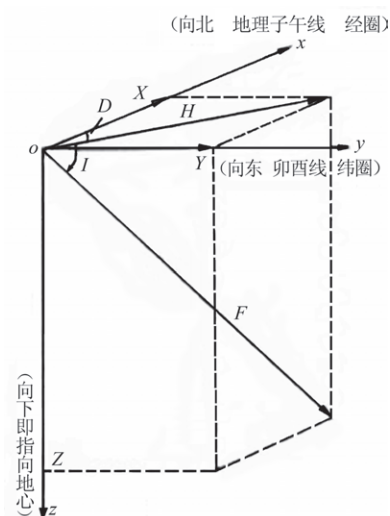


图 4 地磁坐标及 7 要素

以及地电场和大气电场变化。

(1) 磁通门磁力仪(图5): 是一种连续测量和记录地磁场三分量 H 、 D 、 Z 时间变化的数字化相对记录仪。可以观测地磁场的长周期性变化和剧烈扰动变化。

(2) Overhauser 磁力仪(图6): 是一种既可以测量地磁场总强度(F)的绝对值,也可以测量地磁场时间变化的观测仪器。

(3) 磁通门经纬仪(图7): 是另一种测量地磁场偏角(D)和倾角(I)绝对值的观测仪器。

(4) 感应式磁力仪(图8): 是观测变化磁场,特别是地磁脉动的有力工具,地磁脉动的观测研究

是诊断高空磁层及分析球内外场耦合以探测地下构造的重要手段,不仅具有重要的科学意义,而且在宇航、通信、勘探等有着广泛的应用,现在地磁脉动已成为了解太阳风和磁层能量输运过程的重要手段之一,而且也是研究磁层-电离层耦合过程的基本手段,对地磁脉动的理解有助于认识磁层的动态特征。

(5) 地电场仪: 地电场仪(图9)运行于固定地(电)磁台站或附近,用于地表地电场水平分量连续记录。地电场观测的主要任务是地表分量及其时空变化。大地电场是由地球外部的各种场源在地球表面感应产生的分布于整个地表或较

大地域的变化电场。地震发生前地电场强度及其时空变化都会改变偏离其正常的背景形态。

(6) 大气电场仪: 大气电场仪(图10)作为一种最常用的大气电场探测设备,可以长时间连续地测量地面大气电场的强度和极性,既能够记录晴天的大气电状态,又可记录雷暴发生前的电活动以及雷暴过程中的电场变化,在雷电监测预警等许多方面具有重要应用价值。

三、结语

地磁(电)场是基本的地球物理场,是人类赖以生存的空间自然环境,正是因为地磁场的存在,保护了人类不受太阳风等地球外部空间灾害性自然环境冲击。地磁(电)场环境与人类的日常生活如通信、导航等密切相关,同时地磁(电)场的扰动变化也是灾害性事件如地震、火山喷发、雷电、空间电磁暴等的风向标。关注地球磁场、电场环境,对其进行密切探测是关系到我们人类生存的重要任务之一。

(北京中国科学院国家空间科学中心 100190)

作者简介

燕春晓, 硕士, 中国科学院国家空间科学中心助理研究员, 子午工程主管设计师, CHIMAG 地磁仪项目负责人, 参加过载人航天, “双星”探测计划等重大航天型号任务, 有多年的空间环境探测研究和数据分析经验。



图5 磁通门磁力仪主机



图6 Overhauser 磁力仪主机



图7 磁通门经纬仪



图8 感应式磁力仪



图9 地电场仪



图10 大气电场仪