地球物理科学当前的任务

——在中国地球物理学会1984年春节学术座谈会上的讲话

顾　功　叙

地球物理科学研究，这里指的只限于地球内部或称固体部分的地球物理，在我国及全世界范围内的工作比较集中的是两个方面：（ 1 ）地球物理勘探，为的是探测地下矿物资源，是为人类造福的；（ 2 ）地震预报，是探索地震发生的过程及其前兆，从而企图预报地震发生的时间、地点、强度，也是为造福人类的，是新近才发展起来的工作。另外是“大地球物理”（苏联科学家这样称呼）属基础研究，是为增加人类对地球的自然知识的，其目的性还不大清楚。

一、地球物理勘探

地球物理勘探目前是探测石油构造的必不可少的手段，但对其他矿产的探测，地球物理勘探在许多情况下常常是无能为力的。目前，不论是石油或其他矿产，地球物理勘探技术的作用愈来愈遇到挑战性的困难。未来17年中地球物理勘探在新技术、新方法、新原理方面能有多大进展确是不易预料的。石油方法、 17年中估计地震波勘探仍是主要的，不能放弃或被其他技术所取代，依靠日新月异的反射波技术拾取野外资料，复杂的数学方法，大型计算机的数据处理等等，可能到了一定程度也会饱和，不再大步前进。利用地震波、电磁原理、地球化学等原理直接找油气，不找构造， 17年中可能有所进展。的确，探测地下的物理学化学手段太缺乏， 17年内也看不到有重大的突破，石油以外的其他矿产也是如此。直接的原理大家有所思索，但试探研究还很不够。这方面在我国必须先排除那种头脑简单、眼光短浅、急于求成的指导思想，要大力鼓励支持探索创新的科学研究，抛弃那种引进仿效、自己无所作为的心理状态，才能有一线希望突破。

二、地　震　预　报

17年内，如何突破一点？目前国内外都还毫无头绪。我国的地震预报工作一度誉满全球，但不科学的宣传经不起客观的考验，现在调子已一落千丈。在国外一度曾比较科学地根据地震波传播速度的变化，可同时准确预报地震发生三要素（时、空、强），并提出了有关的物理理论（膨胀学说），也轰动一时，当时似乎突破点已经找到，成功预报地震已接近实现，但不过二、三年后，发现情况并不如想像的那样简单，至今这方面的声音已经消失。1981年二名美国青年科学家预报秘鲁又将发生1960年那样的大地震,引

需要全本请访问 www.ertongbook.com

起国际关系问题，闹了一场大笑话．可见重大科学突破的得来总是来之不易的，必须经过无数次实践、理论、再实践的反复，才能真正达到目的，最后，也还允许失败，这是自然规律不依人们意志而转移的。

国外现在都已转向基本研究，重新寻找方向，主要做短期前兆的物理学研究。但在我国至今还有一些科技人员已被行政化，科学素质很差，目光短浅，不求甚解，空谈、缺乏求实精神，知识水平既低又窄（特别是物理科学的基础，概念模糊），看不清自己事业应走的科学路子，缺乏办法。想碰运气，走捷径，想入非非，那是注定没有前途的。

研究地震预报问题，的确还比医治癌症具有许多特殊的难处，大概可归纳为四点：①要求同时准确预报地震三要素（例如，时间不差一两天，强度不差 1 — 2级，地点不差30—50公里，还必须三者同时都报准，只报准其二，仍将造成人为的地震灾害）；②地下深处不易探测（不象探测空间）；③地体不能做实验或解剖（不象物理学和生物学）；④检验机会太少（不象医学上的病例）。

在我国首先要排除地震工作的指导思想上管理方法上的瞎指挥和盲目性，必须变行政领导为学术领导，否则就无法开展正常的科学研究，这可能要斗争十年以上，要大力加强探索性研究，变不科学的尝试为科学的，要抓研究地震发生的物理过程与各种前兆出现的直接因果内在关系，要使观测、理论、野外实验在一人身上体现，不是在三个人身上分割，要有一批学术上造诣高超，有献身科学的精神，有攀登科学高峰抱负肯投身做学问的人，形成一支主攻的队伍。

希望到本世纪末对地震发生物理过程研究有所进展，但不能希望在前兆问题上有什么突破。就是这样要求，也得看我们人的水平，管理水平如何提高，人们努力的程度等，否则达到这样的地步也是困难的。到现在我们千万不能为了照顾大家的情绪而搞假、大，空，自欺欺人，随便作盲目乐观的预测。几年前一次讨论地震预报工作规划的会上有人提出1985年就突破预报地震三要素的关．我当场就问什么根据，并说是一句空话，明年已是1985年了，肯定不能突破，这样照顾人们的情绪，结果是打击情绪。

三、大 地 球 物 理

可以试探一些工作，是目标还不清楚的研究，不可能投入大量人力物力。现在趋势似乎企图探测了解地壳深处的不均匀性特别是横向的。工具仍只能是地震波，但要以高分辨率的反射波技术为主，电磁测深、重力等只能配合使用，其分辨率极低，只能提供旁证和参考，到本世纪末来说可作如下的考虑：

（1）对某些重要金属矿区或重要地质争论区进行深反射波探测的试验，目的是细结构的不均匀性，企图弄清浅部成矿带成矿的深部来源（是否有岩浆囊存在之类的可能），这对研究弄清成矿规律发现新矿区有好处。另外，有可能检验某些重大的地质理论问题。

（2）少量发展深钻探（10—15公里深）要改进钻探技术本身以及取得某些能解决的重大地质和地球物理的实际钻探资料。苏联在这方面走在前面，到本世纪末我国似乎也应有所作为，当然主要是深钻井技术，但要有地球物理工作的引导。

（3）探索改进地震波探测深部的技术，以及原理完全新的地球物理测深原理和技术

公元2000年我国地磁和高空物理学的进展（一）

——地磁图的编制和有关科学问题的研究

朱岗昆　　徐文耀

地磁图是以地磁要素及其长期变化的空间分布为主体的专业用图。它不仅是地面、海洋、空间磁测资料的综合表达形式，而且也是研究地磁场形态学、地磁场起源、地核、地幔、地壳电磁性质、地球演化、地球动力学、地质构造、矿产分布等重大理论问题和实用问题的重要依据和基本资料。因而编制地磁图是地磁学的重要内容之一。

地磁图的编制，涉及到大量、繁复的观测和数据的处理，而观测数据处理的基础是关于地磁场起源的物理理论。所以地磁图编制工作的整个程序乃至测点布置、测区划分、仪器类型、精度要求等，在很大程度上决定于实践需要的发展和我们对地磁场起源及其长期变化的认识，而合用的地磁图反过来又促进了地磁理论的发展。所以地磁图的编制，实际上涉及到科学研究的三大方面：观测、分析和理论研究。

一、世界地磁测量和全球地磁图的编制

从1698年到1700年，英国著名科学家E·Halley(亦即哈雷慧星的发现者)首先在大西洋地区进行了磁偏角的测量，并于1701年制作了第一张全球地磁图。后来德国自然科学家Von Humboldt在1800年前后，在法国、古巴、墨西哥及秘鲁等国进行了地磁巡测。至1836—1841年期间，著名物理学家G·F·Gauss组织了哥丁顿地磁学协会，先后发展了地磁场强度测量和地磁场三分量的光学记录。由于他的积极建议，第一个地磁台于1838年开始建立。至今，已有为数200个以上的良好的地磁台遍布于世界各地。在本世纪最初的40年内，美国华盛顿卡莱基研究院（CIW）的地磁学部，组织了大规模全球性地磁测量，在陆地先后组织了50次以上的地磁巡测，在海洋，先后使用了二条无磁性调查船，亦即1905～1908年的Galilc船和1922～1929年的Carnogie船，进行了海洋巡测。由于后面这条无磁性船于1929年为大火所焚，英国海军部打算建立3 Research无磁性船替代使用。至1956年苏联建成Zarya号无磁性船，继续巡航于大西洋、印度洋、太平洋及南半球诸洋面，其间曾停泊于我国上海港。美国CIW先后所获的资料，均已发表，总共8大卷；理论分析和研究为E. H. Vestne等人所完成，刊载于CIW专刊第578号和580号。

自从第二次世界大战结束以来，除了地面和海洋巡测外，又开始了飞机航测工作，以加拿大、日本和美国等国家的成绩最为突出。空中航测自有其速度较快的优点，但测

量精度较低，地磁的长期变化仍需赖地球表面地磁复测或地磁台记录作为标准。其后，又使用了火箭和人造卫星进行了地磁测量。探空火箭携带磁强计可进行垂直探测，而人造卫星携带适宜的磁强计仪器，可在全球的空间范围内在较短的时间间隔内完成测量，因此在磁静期间，记录通化工作较易。人造卫星进行地磁测量，早年的例子为苏联的第三颗人造卫星和美国的先锋三号；但最成功和最有效的例子，是美国于 1979 年 10 月 30 日发射成功的一颗地球测量卫星（MAGSAT）。在这颗卫星上面，装备有铯蒸汽标量磁强计和磁通门分量磁强计，轨道倾角为 96.76°，近地点和远地点的高度各为 352 公里和 561 公里。虽然卫星工作还不到一年，但已获得了相当可喜和可观的成果（参考地球物理研究快报通讯 1982 年第四期）。

如前所述，第一张地磁图是在 1701 年由 Halley 绘成的，这张地磁图显示了地球陆面和洋面各地的磁偏角（东偏和西偏）大小。其后，美国 CIW 对地球磁场作了广泛和深入的分析研究，制作成全球空间范围和不同年代所有地磁要素的地磁图，包括 1945 年在内。此后，对地磁场水平和垂直分量每隔十年发布地磁图一次，由于航海和航空的需要，对地磁偏角的全球等值线图每隔五年发布一次。英国海军部、美国的水文局和苏联的有关单位，先后均发布了 1955.0, 1965.0, 1975.0 和 1980.0 年代的全球地磁图，彼此间独立地进行工作，但原始资料有些彼此交换使用。对这些全球地磁图进行了球谐分析和国际科学界的讨论与协商，共同制定和发布了国际地磁标准场（IGRF/DGRF），诸如 DGRF 1965, 1970, 1975 和 IGRF 1980，包含了地球主磁场和长期变化场各阶各次的高斯系数。在制作全球地磁图并进行分析时，尽可能利用下述四大途径所得的全部资料，即（1）陆地地磁巡测，包括地磁台和复测点，（2）海洋地磁巡测，（3）航空磁测，（4）人造卫星的地磁测量。美国除在 1979 — 1980 年施放和利用第一颗地磁测量卫星（MAGSAT）外，正计划于本世纪九十年代初，施放第二颗地磁测量卫星，预期在学术和应用水平方面，将又有新的突破。

二、我国地磁台站建设和中国地磁图

众所周知，我国远在 2000 年前，就发现了地面磁针的指南特性和磁罗盘的广泛应用，但作为地球物理学的一个重要分支的地磁科学，直至近代才逐渐发展起来。十九世纪末，由于外国传教士和西方科学的输入，第一个地磁台于 1842 年由沙俄建于北京；此后，法国教会 1874 年于上海，英国人 1885 年于香港，德国人 1889 年于青岛，日本人 1915 年于台湾先后建立了地磁台：其中仅上海徐家汇／佘山地磁台迄今已连续维持百年以上的珍贵记录。解放前，由前中央研究院物理所在南京短期设立过地磁台，抗日战争初期在桂林雁山设台，后迁重庆北碚，乃停止记录。解放后，在中国科学院地球物理研究所的部署和积极推动下，先后建立了八个地磁台站：

北京台（正式记录开始于 1957 年），兰州台（1959 年），佘山台（1877年），广州台（1957 年），长春台，武汉台，拉萨台和乌鲁木齐台。此外，为了配合野外地磁测量的需要，曾先后在敦煌、芝崖等地增设过临时地磁台。

1966年河北邢台大地震后，为了积极配合地震预报工作，先后在中国科学院和国家地震局的大力支持下，在陆尧红山，天津青光等地增设了三要素的地磁台。最近几

年，随着各省市地震单位的建设，又在全国各地利用各种测磁设备，先后共布设单要素台站达二百个之多。在上述各种地磁台站中，最初建立的八台，及文革以来建立的少数地磁台，台址布局尚属均匀，是发展地磁科学基本的地磁台。八台中除乌鲁木齐外，均发表有正式记录，其中尤以佘山和北京台的质量为佳。

1936 年以前，我国境内地磁测量均由于外国人所测，先后间断地共测过 553 点和 1128 点次。解放前 13 年，我国才开始自己进行测量，先后在东南沿海，长江沿岸、海南及西沙群岛和西南地区，共计测 127 点。解放后，在中国科学院地球物理研究所的领导下，地磁测量工作有了较大的发展。大体上分四个阶段：第一阶段从 1950 年至1959年，在全国共测 235 点次；第二阶段迄至七十年代初，规模较大，具有初步普查性质，积累有 1740个测点：第三阶段，侧重于长期变化点的测量，为数限制在百个以下，并着重于西藏地区；第四阶段仍正在进行中，着重于复测点的测量。由于地质、物探和海洋工作的需要，我国已开始进行过飞机航测和近海地区的海上测量，但仅限于地磁场单要素（总强度或垂直分量）测量，远远不能适应需要。

关于编制中国地磁图工作，早期先后绘制有三个年代，亦即 1936, 1945和 1950年，但所根据的实际资料较稀和不均匀。后来主要由中国科学院地球物理研究所结合地磁巡测分期进行，根据所收集中国境内的地磁数据，经过通化，先后编成了 1960.0 年,1970.0 年和 1980.0 年的中国地磁图，内容为 D（偏角），I（倾角），H（水平强度）Z（垂直强度）等值线及其年变率图，可供国际和产业部门的参考使用。分析比较这三个时期的地磁图，在通化和分析方法方面逐步有了改进，质量也有所前进，其中以 1970 .0年的图比较齐全，因为利用了较多的（ 1740 个）测点数据，积累有我国七个和日本三个地磁台的时间变化规律，以及测点的空间分布亦比过去较为均匀，与此密切联系，先后还开展较多的分析研究工作。

三、 差距、设想和发展前景

差距：比较以上二大节，在地磁图编制和有关科学问题方面，我国虽然有了较大的进步，但与国际上先进国家比，仍然存在着很大的差距，主要表现在：（ 1）缺乏获得地磁资料的先进手段；（ 2）分析和制图方法比较落后；（ 3）有关课题研究和不同应用开展不力。

关于第一点的差距是很明显的，西方国家已发展至飞机、火箭和卫星测量，我们只限于地面和沿海区域的测量，虽然在地质、物探和海洋部门已经使用了飞机，初步进行了海上测量，但迄今仅限于地磁场单一要素（总强度 F 或垂直分量 Z）。绘制各个年代地磁图所根据的资料仅限于中国地区，还偏于交通比较方便的东半部；对于海上测量以及收集全球范围的资料，始终没有放到日程上来。

关于第二点的差距，在这里只能简短地提一下，详细材料可参考作者另一文章，表示地磁场空间分布的方法，大体上可总结为下列五大类：（a）球谐、矩谐及柱谐分析法；（b）惯用的泰勒级数法和样条函数法、Chebychev 多项式法、Hermitc 函数法等方法；（c 用正交矢量表示磁场，在球坐标中磁场可用环型和极型矢量来表示；(d) 磁场的欧拉位表示法和（ e）磁场用电流密度来表示。显而易见，卅多年来我国制作不

需要全本请访问 www.ertongbook.com

同年代的地磁图，主要是使用泰勒多项式法或图解方法，它的优点在于简便易行，程序简单；用于大区域也可用于小区域；对每个要素单独可以绘制地磁图，而球谐法必须同时具备 X、Z（或y，Z）两个分量的测量才能进行。但泰勒级数法也有许多缺点：（1）一般来说，得到的磁场分布不满足 $\nabla^2 V_1 = 0$ 这一基本方程，在理论上是有缺陷的，所得结果不能向上外推，与航测无法联系，与全球或外界不易比较。（2）各项系数的物理意义不大明显直观，长期变化的特点不容易直接由系数的对比上反映出来。（3）反映磁异常的最小尺度不易确定。（4）只有当 X、y、Z 或 H、D、Z 三分量都有测站测值时，才能得到全部七个要素的地磁图，否则只能得到有观测值的那些分量的图。（5）不同分量的地磁图之间往往出现矛盾现象。例如在 $Z=0$ 的地方，往往 $I \neq 0$ 等等。其它各种表示地磁场空间分布的方法，也各有其特点和优劣之处。在实践中根据资料情况和使用目的，选择适当的分析方法是十分重要的，同样重要的是使用地磁图时要充分注意它们的适用范围和局限性。

第三点的差距是有关课题研究和多种应用开展不力，严重地妨碍上述二点差距的顺利转化，致使重大实用问题的解决无由实现，大大地影响经济效益和国防任务的保证，又使地磁科学许多理论问题难于进行，罕难开展深入研究。

几点设想和发展前景

其一、航测编图实施方案。在我们可见的未来，使用卫星测量和编图（例如美国的 MAGSAT）不很现实　但单靠地面测量，由于我国幅员广大，既有海域，地形又很复杂，必然导致费用多、人力大、测点分布不合理，速度又太慢，显然不符合四化和实用要求。为此我们建议尽可能地使用飞机航测手段，若干具体设想简述如下：

（1）测区划分：建议按八个基准地磁台（长春、北京、兰州、乌鲁木齐、上海、武汉、拉萨、广州）将全国划分为八个测区。这是因为：a，我国八个基准台几乎均匀分布在全国，历史长、质量高，对通化资料有利；　b 每个测区大致为 $10^\circ \times 10^\circ$ 大小，航测工作可在较短时间内完成，这对于长期变、日变等项目改正十分有利。

（2）测点距离的选择：测点距离是由地磁图要求的精细程度决定的。一般说来，要求 $S \leqslant \frac{Lmin}{2}$。其中 Lmin 是要求反映出的磁异常最小尺度。因此，大陆异常 Lmin～100° $S \leqslant 50^\circ$；区域异常 Lmin～10°，$S \leqslant 5^\circ$；局部异常 Lmin～1°，$S \leqslant 0.5^\circ$。我国东西跨 60° 经度，南北跨 35° 纬度（大陆部分），地磁图所反映的磁异常最小尺度取 5° 为宜，因此可取 S～2°—3°

（3）测线选择：测线以平行纬度为宜。因为地磁静日太阳日变化 Sq 在同一纬度上大致相同，测线间距 S=2°～3°，每个测区约 5—6 条测线，每条长 1000Km 左右，测点距离可小于 S，取 1°～2°为宜。

（4）仪器、飞行高度：最好能测三分量。高度须由飞行上的技术要求而定。虽然低高度对近似反映地面磁场更有利，但如果我们关心的不是尺度太小的异常，则不必太低。

（5）通化和资料处理可以沿用旧法，但应尽快使用或探索较新的其它路子。

其二、嵌套式中国地磁场模型。局部地区地磁图必须具有二个特点：1、它与世界地磁图密切相关，因为它是全球磁场的一部分；2、它能反映出波长更短的磁场变化，

否则它就没有存在的价值了。为此我们建议建立“嵌套式地磁场模型”，即： IGRF反映全球尺度的磁场变化，然后用我国地磁测点的值减去 IGRF 相应值，用此残差作中国磁场异常图，上述二种图迭加即得中国地磁图。再缩小一步，比如做华北地区的图，可用华北测点值减去中国磁场图相应的值，得残差，作图，即得华北地磁异常图，而华北地磁图可由中国地磁图与华北异常图迭加而得，以此类推可以得出一级比一级更高的异常图以及区域愈来愈小的地磁图。这样一套地磁图，既可清楚地看出不同尺度磁场分布的一般特点（幅度和空间分布特征），又与全球模型紧密联系。

其三、组织协作和进一步开展有关课题的研究. 地磁测量和地磁图的编绘，是一项细致复杂需时需人力的但十分有意义的工作，它要求野外测量与处理、实际编绘与理论研究、研究单位与使用单位的密切协作。建议国内组织科学院有关部门和单位，地质部，石油部、军事部门等的全面合作，最大限度地利用海、陆、空（包括卫星），国内、国外的资料，最大限度地减少不必要的重复和浪费，编好我国各个年代（包括 1990 年及 2000 年）的地磁图。与此同时，围绕我国地磁图的编制，必须进一步开展有关的科研工作，把课题研究与编图实施方案有机结合起来。下面列出若干重要的课题： 1、航测、卫星测量和复测测量最佳实施方案的规划和实施； 2、资料鉴别，通化，快速处理与绘图的研究； 3、绘制全球地磁图和参与 IGRF 的制订；与此同时，洋为中用，须研究有效利用美国 MAGSAT 所获得的珍贵资料； 4、地磁场（除球谐分析及泰勒多项式）新分析方法的探索和实施； 5、内外磁场分离的理论与方法，不同外源电流系统及其分离的研究； 6、局部区域地磁场的分离理论和实践研究； 7、各种地磁图的不同应用研究； 8、地磁场长期变化及地磁场起源的理论研究。

公元2000年我国地磁和高空物理学的进展（二）

关于磁情预报的研究

朱岗昆　　张景秀

磁情预报是近年来地磁和高空物理领域中，理论与实际密切结合的课题。磁情预报研究的进展标志着日地相关现象和磁层物理过程研究的不断进步。这一课题受到国内外地磁与高空物理科学家的普遍重视。例如1979年4月底，美国NOAA在Colorado召开了一次规模相当大的太阳—地球物理预报会议，印有四本文集，汇集了各国科学家关于太阳—地球物理预报的研究成果。中国科学院地球所早在1950年就开展了磁暴研究工作，之后又开展了磁情预报工作。 1982年9月底，中国地球物理学会在北京首次召开了“磁暴预报学术交流会”，对磁暴预报和相关问题进行了交流和讨论，以利于这项工作今后在国内继续发展。

一、磁情预报的重要性

磁暴预报在宇航环境，通讯运输、电力保证，以及平流层增温和大气科学研究等方面有着重要的应用价值，这里不消多说。需要补充的，就是磁静日的预报也十分重要。因为物探及测量等部门中，他们的测量工作往往要求在磁静日进行，比如航测就是一个例子。过去，地震预报者往往喜欢运用磁暴(例如二倍法)作为预报的先兆(有待科学验证)。由于地磁场时间变化的频谱十分宽广，看来利用磁静日进行探讨亦有必要。还须指出，地磁场在地质史年代有过多次倒转的事实，这就牵涉到古磁层、古气候、古生物等重大课题，但对这样的“倒转”进行预测，牵涉到地球磁场起源和太阳系演化等问题，暂不属于本文所讨论的范围。

二、磁情指数和预报对象

经过科技工作者长时期对地磁学的研究，发展有各种各样的磁情指数。以日为单位的指数，早期有所谓 HR_HqZRz及ΔH_i,年代最长的有C及Cp,各种A指数（An，As,A_K，Ap),ΣKp,C,及aa指数；以月为单位，如J·Bartels的指数w,u及u_l；以三小时为单位的有各种K指数(K，Kp,Kn,Ks,Km,)，各种a指数(a_n，a_s，a_K，a_P)，以小时计的如Dst指数。以数分计的如AE(亚暴指数,以2.5分计，也可以分计，也可以合并为小时计），及Q指数(15分计）。这些指数可供预报研究之用，反过来，又是我们预报的对象。

众所周知，磁扰期间，磁暴大致可分为急始和缓始，初相、主相及恢复相，其发生

时刻及幅度大小，直接为预报和使用者所关心。关于磁静状况，除使用以日计的C和Cp,三小时的K及Kp外，尚可考虑包括磁静日的日变状态。

三、磁情预报的类型。

按预报时间长短划分，目前在世界上有超长期、长期、短期预报和警报几种。例如美国宇航局（NASA）对1968～2030年太阳黑子相对数R和地磁活动指数Ap的年均值，作出了超长期预报。根据过去多个太阳黑子周的地磁和极光资料进行统计分析，并外推其后数年地磁活动指数Ap月均值，这是对几年期间作的长期预报。短期预报是指对几天，1个月时间的预报。而各国的太阳地球物理中心遇有磁扰期间发布消息，是对当天或明天所作的警报预报。条件较好,比较正规的预报中心,有美国的 Boulder 和苏联的莫斯科；此外，法国、澳大利亚和日本等国也做得不错。我们根据国际上的宇宙报及国内的实测数据，主要进行每月的月预报及逐日修正的短期预报和警报。

按预报所使用的手段和方法，大致又可分为下列四个方面，亦即统计性预报，相关性预报，效应性预报和物理性预报。现分别予以简述，但寄重点和希望于物理性预报。尚需指出，这样的划分并非是绝对的，往往彼此交错重叠，有时很难截然划分。

四、关于统计性和相关性的磁情预报

统计性预报方法是指利用地磁场时间变化的自身规律进行预报，而相关性预报特别是指利用日地相关性规律进行磁情预报。这两种都是受到重视、大量应用并将继续深入使用的手段和方法。

磁情自身统计性规律，表现为11年周期（位相滞后），季节分布（9—10月和3—4月最大，6—7月和12—1月最小）和27天重现性。这些规律无论在长短期预报中均得到应用。磁暴可分为非重现性和重现性两大类，各具特点，在实践中应注意分别处理。太阳活动高年非重现性磁暴比例大，而在太阳活动低年，尤其在极小年前一、二年，重现性磁暴最多。特别对缓始性强度小的磁暴，重现性最强，因此在低年（例如1975—1976年）利用重现性这个规律把握更大些。此外，重现性磁暴中具有更为显著的半年波性质，而重现性间隔大部分在26—28天范围内，随不同太阳黑子周，季节和高低纬度等有所变异。这些统计性规律，早在30年代就为著名的地磁学家J·Bartels所发现，随后的例子，可参考1947年A·G·Mcnish 和A·H·shapley所作具体的统计。

由于太阳活动和磁暴密切相关，因此太阳活动的预报、警报是磁暴预报的一个重要依据。近年来，我国紫台、云台和北台对太阳活动进行联合监测和预报，积累了不少好的经验。而在1979年国际太阳～地球物理预报会议专集内，各国的专家更提供了相关性预报许多良好的例证和具体作法。大致可归纳为下列两种情况。其一是利用单项的太阳活动因子。早期主要依靠：（1）位于太阳中心子午线45。之内或磁性复杂的黑子群，及有无二级以上耀斑的发生。（2）有无持续的射电暴发（Ⅳ型及Ⅱ型）。（3）有无质子事件发生。（4）日面宁静区暗条消失情况。近年来随着空间探测及观测精度的改进，又注意依靠：（1）冕洞的出现与发展。（2）日面磁场及行星际磁场IMF状况。其二是利用多项综合的太阳活动因子。例如美国日地空间环境预报中心曾利用10个

太阳活动前兆因子，分别予以不同权重的分数。设总分为G，如$G<45$时，认为今后几天内将不发生磁暴或只有小的磁扰；如果$45\leqslant G<60$时，则可预报在耀斑两天后有$50\leqslant Ap<100$的磁暴，如果$G\geqslant 60$时，则可预报耀斑两天后将发生$Ap\geqslant 100$的大磁暴。

对磁静日的预报，除考虑有无磁扰发生可能以外，事前应注意各类S和L不同的特征，特别是对静日和异常静日（AQD）多作统计性处理。

五、关于效应性预报

无论太阳活动预报或磁情预报，其目的在于它的地球物理效应将有害（或有利）于国防和国民经验建设与否。因此，在1979年国际太阳～地球物理预报会议上，特别邀请不同部门的使用者（包括宇航、国防、通讯、气象、水文、电力等），共同讨论这方面的问题和要求，并有较好的专题发表。其主要内容有下列三大方面：（1）磁场扰动对于通讯和电力传输的影响，包括电离层短波传播；VLF讯号传播；地下电话和电报传输：以及电力传输。（2）磁层对轨道空间飞行器的影响，包括空间飞行器充电；辐射损伤；和大气阻力对轨道的影响。（3）磁场对气候和天气的影响，包括长期的和短期的效应，也包括对流层及其耦合过程。目前国内有关方面仅着重于太阳质子事件及电离层突然骚扰(SID)预报，看来在质量或数量（范围）各方面均有待于今后继续改进和加强。

六、关于物理性预报

众所周知，磁暴是太阳风（喷发）的等离子体与地磁场相互作用所引起的一种复杂的变化，并往往伴随着极光、电离层扰动和宇宙线暴等现象。因此，从本质上有效地解决磁情预报问题，必须特别注意磁暴发生的物理机制。近年来，由于空间探测及计算科学的迅速发展，在这个方面已有可喜的迅速发展。由于篇幅有限，这里只着重扼要介绍有关太阳风与磁层能量耦合函数及大范围电场的作用。

从六十年代至今，不少科技工作者利用不同的磁情指数，探索与太阳风诸参数的相关性。根据经典的修正后的Chapman方案（1964）：

$$D=Dst+Ds=DCF+DR+DP+DT$$

式中D表示扰动物，它是由太阳等离子体的冲击（DCF），环电流（DR），极区电离层电流（DP）以及磁尾电流（DT）引起的。D_{St}表示暴时变化，DS表示磁扰的地方时差异。于此，磁暴的预报，初步可根据空间探测及有关资料，推算磁暴开始DCF及主相D_{St}发展的数量级。例如，根据Siscoe等人（1968）的分析太阳风冲击效应可由下式表示：$\triangle H=1.31\times 10^{4}(\sqrt{P_2}-\sqrt{P_1})^{\prime}$，式中$P_1$和$P_2$各表示冲击前与冲击后的太阳风压力。

根据Akasofu最近发展的处理方法（1981,1982），他引进了所谓太阳风—磁层能量耦合函数ε（t），及总能量消耗率U_T，由下式表示：

$$\varepsilon\ (t)=VB^{2}Sin^{4}(\frac{\theta}{2})\ l_0^2\ \text{erg/sec}$$

$$\varepsilon\approx U_T=U_R+U_J+U_A=4\times 10^{20}(\frac{\partial\overline{Dst}}{\partial t}+\frac{\overline{Dst}}{\tau_R})+3AE\times 10^{15}$$

式中V是太阳风速度，B是行星际磁场强度，θ是行星际磁场投影到晨昏子午面的极角，$l = 7\,R_E$；U_R为环电流注入，U_t为电离层中的焦耳热，U_A为极光粒子能流；τ_R表示环电流粒子的寿命，随ε值大小为不同的常数。

Akasofu 和他的同事们信服地指明 ε（t）与亚暴及磁暴主相发展的紧密同步相关，在ε和 | Dst | 之间具有下列关系

$|Dst| < 50\gamma \quad \varepsilon < 10^{19}\,erg\cdot s^{-1}$

$|Dst| \sim 50\gamma \quad \varepsilon \sim 10^{19}\,erg\cdot s^{-1}$

$|Dst| \sim 100\gamma \quad 10^{19}\,erg\cdot s^{-1} < \varepsilon < 10^{20}\,erg\cdot s^{-1}$

$|Dst| \geqslant 200\gamma \quad \varepsilon > 10^{20}\,erg\cdot s^{-1}$

总之，可得下列简单的近似公式

$$|Dst| \sim 60\,(\mathrm{Log}\varepsilon - 18)^2 + 25$$

如前所述，Akasofu等人发现高纬度亚暴期间ε与AE指数具有紧密的相关性。最近，我们分析低纬度台站（如北京）的磁暴，清楚地表明能量耦合函数ε与地磁指数a_p和k_p之间也有很好的相关，在磁暴发生时有如下经验关系：

$$\varepsilon \sim 1 - 2 \times 10^{17} a_p$$

可以认为这是Akasofu近期工作的一个补充。

在法国教授R·Gerdrin的指导下，吴雷等人(1981,1982）分析了太阳风电场（IEF）y分量Ey与磁情指数Km的关系，进而探讨Ey对磁层大尺度对流电场Em的耦合。这里Ey=-V·Bz由太阳风资料计算出来，而Em数值（等离子层顶位置）是根据空间飞行器GEOS－1及ISSE－1所携电子密度探测器的测量结果。在不同磁情指数K状态下，得到下列的经验关系式：

当$Km < 5 + E_y = -0.68 + 0.34Km$ (mv/m)

当$Km \geqslant 7$ $Ey = -6.54 + 1.85Km$ (mv/m)

与此同时，Ey与相应的E_M的关系如下：

$E_M = 0.13Ey + 0.09$ ($mv/_m$)

$E_M = 0.04Ey + 0.22$ ($mv/_m$)

E_M与E_y的关系式可认为是太阳风～磁层电场的耦合方程，由上可见，传输效率$\triangle E_M/\triangle E_y$在不同磁情状态下有较大的差别。

（附带指出，吴雷等人得到Bz与K_m的线性经验关系为：$Bz = -2.58Km + 8.70$）

至此，尚需提及Burton等人(1975）的工作，他们曾分析研究行星际状态与Dst的经验关系，

$$得出\frac{d}{dt}D_{st} = -a\left\{D_{st} - b\left[P'(t)\right]^{\frac{1}{2}} + C\right\} + F\left[E'(t)\right] + \frac{d}{dt}\left\{b\left[P'(t)\right]^{\frac{1}{2}}\right\}$$

式中撇号表示在磁层鼻部的测量数值，a，b，c均为经验测定的常数。这里不打算论述细节，只泛指出D_{st}的变化，受制于三项物理因素：右式第一项表明与环电流成比例的环电流衰减，第二项表示与太阳风电场有关的环电流注入，第三项表示由于磁层顶电流变化所引起的D_{st}变化。由此，Burton 等人曾根据此式对不同主相状态的磁暴作了具体的分析。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

七、如何改进和提高今后的预报工作。

我们认为从我国现实出发，为有效提高磁情预报水平，必须解决好下列问题。争取至公元2000年左右，使这项工作有可能达到国际上90年代预期的水平。

1、密切磁情预报使用者与科研工作者之间的联系，有必要在磁暴对宇航、通讯、磁测、电力、输油、天气气候、人体医学等影响方面进行必要的调查，开展地球物理效应的核实及研讨工作，以便预测磁情预报的未来需要，合理布置力量。

2、加强国内太阳、地磁、电离层等有关学科的协作和联系，组织集体攻关，在观测资料上相互提供方便。

3、增加必要的观测手段，以扩充资料来源。在条件可能的情况下，建立太阳～地磁～电离层各部门间的快速资料传输系统，以便满足发布警报的需要。

4、利用我国现有的大量资料进行系统的分析研究，努力摸索磁暴前兆现象，深入探索太阳活动与磁暴之间的相关性，在此基础上建立我国自己的统计和相关预报模式。

5、大力开展对磁层物理和行星际空间物理的理论研究，弄清磁暴活动物理过程，努力攻克物理预报。

6、充分利用国际预报和警报资料，广泛开展国际间有利于我们的交流和合作。

公元2000年我国地磁和高空物理学的进展(三)

电离层和高空大气物理的研究

宋　笑　亭

电离层是地球上层大气的一部分，分布在地球表面以上几十公里至上千公里的高度，它是由电子、离子及中性的分子、原子组成的等离子体介质。根据电子浓度随高度分布的特征，电离层又大致可以分成D层、 E层及F层等几个区域。

过去几十年中，虽然已对电离层的各个方面进行了广泛的研究，例如在电子浓度剖面、成分、温度、漂移、扩散、与太阳及地磁的关系，电离层骚拢的机理及预报方法等方面曾进行了不少工作，也取得了不少成果，尤其自 1958 年国际地球物理年以来，国际上进行了不少联合观测，加之火箭卫星上天，尤其是卫星探测提供了丰富的上电离层资料，但是由于电离层本身的各种过程的复杂内在联系，尤其是由于电离层与它上、下各层的相互作用与相互关系的复杂性，使得电离层的许多基本问题目前尚未搞清。因此目前电离层研究的基本情况是除了低电离层的探测，电离层骚扰机制的研究以及作为空间环境及通信实际应用的基本参量的探测分析比较活跃外，许多研究力量已深入到将电离层作为整个上层大气的一部分，从它与磁层及中层大气的关系与相互作用中，或更广泛地说是从研究日地空间的各种相互作用过程中来研究它的产成、运动及变化规律．理论工作方面把由来自行星际空间的粒子、场及能量与地球磁层的相互作用，及地球磁层内部场、粒子、电流系统和能量的输运过程作为研究这一复杂的耦合链的关键途径。电离层传播研究，也由最初限于研究E层 F层的下半部分穿透电离层达到磁层范围，波段也向超高频及超长波方面发展。产生这一概念性转变的原因，与其说是由于几十年的地面观测及近十几年来的卫星观测已积累了相当丰富的资料，倒不如说是由于与之相伴的近十几年来磁层研究的迅速发展，磁层在日地物理现象中所起的作用，以及人们对整个上层大气物理化学过程的关连性的理解，促成了这一概念性的转变。下面将就电离层探测、理论研究、电离层传播及预报等几个方面从国际国内现状出发，探讨我国科学工作者在这一领域中在 2000 年将有可能取得那些进展。

一、电离层探测

在电离层物理和电离层传播研究中，电离层探测是极其重要的一个方面。电离层探测的手段和技术水平日益发展，且已达相当水平。目前看来其总的趋势是：如同电离层研究本身一样，已把电离层探测纳入日地物理综合研究范围；设备向数字化，大功率（指

雷达），线性调频方向发展；数据处理向自动化、综合管理、综合分析、不断扩大服务项目的方向发展；在探测布局上，特别注意低电离层、极区电离层、赤道电离层探测。因此，电离层探测在地球物理的研究和对地球周围环境监测方面起着重要作用。

地面探测：

地面垂直探测、地面返回探测、地面哨声探测仍在起着很大作用，尤其哨声探测还可用于探测磁层。垂直探测已逐步形成全球性垂测网，理想的布局是经度每隔 20 度，纬度每隔 10 度设一个观测站，目前我国台站布局接近这一要求。有些国家如加拿大，靠近极区，主要采用卫星通讯，电离层垂测站有所减少。但从世界范围来看，垂直探测过去是，现在仍然是电离层探测的基础。最近发展起来的新型测高仪，可以利用返回电波的全部重要参量：群时延、幅度、相位、多普勒频移、入射角、波的极化和波前畸变等参数，以探测电离层结构和动态特性。

1958年Gordon首先提出将汤姆逊（不相干）散射技术用于探测电离层，用大功率雷达检测电离层空间中各个电子的散射波，在实验上取得成功。它可测量的参数为：电子浓度，电子与离子温度，离子成份漂移、与水平风速，由中性风或太阳风等离子体与磁场相互作用而产生的极化电场的强度和方向，以及其它空间物理参数。由此可见，它可以作为研究电离层的综合实验室，把各种参数进行统一研究和分析。目前全世界共有近十个大功率雷达站，在赤道地区，极区电离层的研究中起着重要作用。

空间探测：

近二十年来，发射了不少能探测上部电离层的卫星，如信标卫星，顶部探测器等。信标方法主要是利用法拉第和多普勒效应获取积分电子含量。这一参数对空间飞行体测速定位，折射修正等都起一定作用。在理论上也可以用于研究电离层扰动特征，目前国际上已取得了一个太阳黑子周的资料，并将考虑用于电离层扰动预报。我国已用此技术进行了某些观测，如日食效应，但至今尚未形成一定规模的布站，获取系统完整的资料。目前利用国际上现有导航卫星系统的信号来研究电离层是比较廉价的。

空间渡船计划原定要在遥测、遥控；空间实验室；空间粒子加速器实验三个方面开展国际合作。其中空间实验室在 F 层飞行时本应用于观测电离层并可进行主动扰动实验，以及磁层中各种物理过程的研究。

资料是科学研究的重要资源，探测是研究的基础。估计国际上在今后十几年内，除空间探测、大功率雷达等会继续发展之外，垂直探测还会继续存在，并向高度自动化方面发展。按照我国的实际情况，应充分利用我国地处中低纬度，幅员辽阔，有较好布局的台站基础，并配以卫星信标接收及哨声观测，形成现实可行的观测体制，为理论研究，传播预报提供数据基础。

二、电离层理论研究

近十年来电离层磁层的耦合被认为是一个重要问题，有人提出了电离层、等离子体层作为一个完整体系的模型，与下列三个主要问题相关连：（1）磁暴后等离子体层的填充问题；（2）等离子体层夜间离子向电离层沉降，是否是夜间 F 层存在的原因；

（3）冬夏两个半球的等离子体输运问题。

电离层和磁层等离子体相互转化的关键问题在于：

1．在等离子体层填充过程的早期阶段从两个半球的共轭点出发的碰撞等离子体流相互作用的物理过程是怎样的？是否包含二流不稳定性？在亚音速与超音速的界面上是否有激波面，它是否从赤道上空的等离子体层沿磁力线向极区电离层传播，在填充的早期阶段离子的分布函数是如何演化的。

Banks等人在1971年提出了磁暴后H^+离子超音速流从一条等离子体层力线管在电离层的两个共轭点出发，在赤道附近以接近相等的强度碰撞，开始了填充过程。这种超音速流被称为“极风”。但是这种在两共轭点等强度的流的假设只能适用于春秋分，虽然他们在等温与绝热情况下解了连续性方程，动量方程及能量方程，但是由于等强度的假设，两个相反方向之间的极风流之间二流不稳定性，以及从电离层的温的等离子体流导致了在等离子体层中的冷的各向同性的等离子体分布等问题，使这种理论模型仍处于假设阶段。

2．如果上述模型有问题，不是超音速流，那么填充过程又如何随着亚音速流使离子从电离层输送到等离子体层的呢？一个被填充到饱和的力线管是否可以被识别出来？

实验研究中所观测到的主要离子成分除H^+外，对内等离子层主要是He^+，而对外等离子体层主要是O^+。

实验研究中所关心的主要参数，是填充的时间常数及填充饱和后的力线管含量。

Banks等1971年的结果指出，在不变纬度 L＝5 的力线管，填充时间常数为 5 天，Baity1978年的结果给出在L＝3.2处的力线管,填充时间为 6 天,Park1974年的结果给出，对于 L＝2.5，填充时间为 1天，L＝ 4 ,填充时间为 8 天。这方面的研究还在不断发展。

3.等离子体的填充过程是如何依赖于季节的，在冬夏至时是否会有重要的两个半球之间的等离子体输运过程？

在冬夏至时虽然在力线管的两个端点日照不同，大气成分不同，因此就出现不等强度的离子流。这就会影响填充过程。另外热层风的不对称性会通过中性成分与离子之间的滞动使离子运动产生向上或向下的分量，先是在 F 层，最终到顶部电离层。

4．在等离子体层与电离层之间的等离子体流的日变特征是什么？等离子体层离子的下沉是否是维持夜间 F 层的原因？是否有超音速流在日落之后出现于等离子体层电离层系统之中？与磁层对流电场有关的力线管的膨胀与压缩影响电离层 —— 等离子体层的等离子体交换？

观测事实指出的确有等离子体流从等离子体层下沉流入电离层，可能是维持夜间 F 层的原因，维持夜间 F 层的另一个原因，可能是软电子（200ev）电离。由于磁层对流电场的共转运动，引起力线管的畸变也影响电离层与等离子体层之间的等离子体交换。

5．不同种类的离子在流动过程中的表现有何不同？

观测指出 H^+，H_e^+，O^+，D^+，O^{2+}，N^+，N^{2+}，N_e^+ 几种类型离子在流动过程中的表现确有不同。其白天夜间的流动方向（由电离层流向等离子体层或者由等离子体层流向电离层）各不相同，季节效应也不同。

6．在等离子体层中是否还有可以区分的多种区域，内层和外层，这些区域是否可

以按基本流或其它特征加以区分？这些区域在电离层现象中有无象轻离子凹槽这类的现象来标明？

等离子体层目前是被分为外区和内区，内区处于稳定的扩散平衡，而外区处于动力学状态，内压力线管离子含量只有月变化无逐日变化，而外区日平均管含量在填充过程中逐渐增加。

上述问题被认为是比较薄弱的关键性问题，目前虽然有某些实验资料，但理论上大部分尚处于假说阶段，因此是未来十几年理论研究的前沿课题。

电离层理论研究的另一个重要方面是场的研究。定量地确定全球电场形态和三维电流结构，以便了解其特性及变化，它们对电离层和中性大气的影响，了解它们对磁层电动力学的影响。

为了模拟包含在磁层与高纬电离层耦合中的电动力学参数，目前采用两种不同的方法。第一种方法是用电场和电导率分布来计算电场和磁场；另一种方法是利用地面上观测到的地磁变化计算电离层电场和场间电流。

另外电离层不均匀性的研究目前也很活跃，其中包括小尺度的电动力学现象；电离层不均结构与电离层闪烁的研究也有新的进展，特别是在赤道地区，电离层行扰研究也在不断发展。

三、电离层传播研究

电离层传播研究包括电离层闪烁与卫星通信，其中包括：闪烁形态的研究，涉及到无线电波在随机不均匀介质中传播理论的研究，穿越电离层的通信及雷达系统的性能及电路设计。

人工加热电离层与 VHF 通信和探测：五十年代兴起的 VHF 低电离层散射和流星余迹散射的通信距离可达千余公里，能否再远一些， VHF 雷达视距探测可达数千公里，能否更远一些，能否作超视距探测？战时是否可以破坏电离层而扰动对方的通信网？这都是十分引人的议题。近年来美国、苏联、加拿大、西德所开展的电离层加热和人工变态电离层的试验研究表明，人工加热电离层形成的电子不均匀散射体相当于 10^8 米^2 的一块巨大雷达目标，为VHF数千公里的电离层通信和雷达超视距探测展示了新的前景，同时也为电离层物理研究提供了新的途径。

实时选频与短波通信振兴：短波远距离通信是靠电离层反射来实现的，由于电离层介质的随机度化，必须进行最佳工作频率选择，近年来出现的对流层散射，电缆通信以及卫星通信的多种高速率、大容量的通信技术，曾使短波通信一度为之冷落，甚至出现被取代的危机。但是近年来由于计算机技术和时同计划的发展，使我们能够对电离层状态进行“实时”测量和预报，促进了短波通信自动实时选频系统的发展，使短波通信技术获得了新的发展，目前国际上比较成功的系统，有美国的卡斯（ CURTS ）系统，探测设备选频系统，及加拿大的探测器共用网络。

返回散射传播与环境、目标探测：近年来由于大功率宽频带发射机、通信处理技术及宽频段电扫技术的发展，已经成功地利用电离层返回传播散射机研制成高分辨率的天

波雷达，这样，电离层返回散射传播有希望能成为比较经济的远距离环境或目标的探测手段。可以用以遥感海洋状态，进行空中交通管理，也可用于电离层结构探测。

射线描迹技术与电波传播过程模拟：近年来射线描迹技术已成为模拟无线电系统中的一种重要手段。它是在假设的电离层模型下，运用 Sncll 定律和射线方程组来描绘电波在电离层中的轨迹，目前可以实现的模拟有：无线电射线通过任意电离剖面的轨迹描述；实现无线电输出图象的人工合成资料的模拟；从实测结果模拟反演环境参数或电离层结构；电离层波导传播的模拟；高频通信系统性能的模拟

四、2000年我国电离层研究的展望

根据当前国际国内电离层及上层大气物理的研究状况和我国的实际情况，作者认为在电离层探测方面充分利用我国幅员辽阔，经纬度配置合理，观测历史长久的电离层垂测网，配置以哨声观测网，信标及导航卫星接收网、 VLF 观测网形成适合我国条件的观测系统，以提供可靠的观测资料。在本国探测及国际合作的基础上可以在电离层物理、电离层电场、电流、电离层与等离子体层与磁层耦合的理论研究方面，在电离层行扰，电离层闪烁方面作出有水平的工作。

有关上层大气成分，风、化学反应方面的研究，也应充分重视，如能建立我国自己的中层大气观测雷达，则可成为研究上述问题最好的手段，参加国际合作也是一种途径。

在通信应用方面，有可能形成我国电离层预报警报中心，为传播研究传播预报服务，并逐步形成我国太阳，地磁、电离层预报警报数据中心。

需要全本请访问 www.ertongbook.com