

国际地球物理学的动态及其展望

趙九章

(中国科学院地球物理研究所)

地球物理学各个部門的研究,虽然很早就已开始,但大规模开展还是最近三、四十年的事。第二次世界大战前后,随着生产技术不断革新和国防上的需要,地球物理学一些部門有很大的进步。1957年7月1日开始的国际地球物理年是世界上规模最大的一次科学活动,参加的国家共有57个,地区遍及全球。科学活动项目有:火箭及人造卫星探空、气暉及极光、宇宙綫、地磁、冰川、电离层、气象等12个部門。由于这样大规模的宣传推动,特别是苏联成功地发射了三个人造卫星、三个宇宙火箭,人类已处于星际航行的前夕。地球物理学的領域得到广阔的开展,它的許多部門得到新的生命力,通过大量的科学研究工作,取得巨大的进展。

十余年来,地球物理学比较明显地向着三个方向发展:

一、通过宇宙空間探测、太阳活动,以及日地空間相关現象的研究,地球物理学和天文物理学更密切地結合起来。行星际空間物理、太阳系形成,以及地球起源等都是要解决的一系列的重大科学問題。

二、在掌握宏观的天气过程、大气环流演变規律以及微观的云雾降水物理机制的基础上,研究各种尺度的天气变化的能量释放轉化过程;探索人工影响与触发連鎖反应的可能途径;并进一步开展大范围控制天气与改造气候的工作。

三、地壳物理学是地質科学的一个生长点。通过綜合的地球物理測量及直接鉆探,研究地壳及地球内部的物理状态、物质組成及发展过程;闡明地壳及地球成因的机制,从而对大地构造运动、元素聚散、成矿規律、地震活动等提出系统的理論。

以下将分別扼要地敘述地球物理学最近在这三个方面的动态和进展。

物理学者研究的对象。通过地面間接观测,对2—3百公里的高空大气情况有了初步的了解,各种理論的推断和不同的观测事实,也能互相吻合,这些結果大部分都被以后的火箭及人造卫星所証实。

苏联最早利用气象火箭携带仪器到100公里左右,对大气結構进行系统性的直接探测。1946年美国利用俘获的德国V—2火箭,以后又設計自制了一些火箭,在美国本土及海上发射探空火箭。苏联高空气象台科学家根据历年大量观测的数据,经过詳細的分析研究,在1957年发表从地面到80公里高空的气压、温度、密度随高度的分布,这是目前最可靠的高空大气結構資料,其結果較美国火箭委员会1952年所发表的結果前进了一大步。从地面到100公里高空的大气組成,一般可以看成是均匀的,大气中的气压与温度有直接的关系,通过火箭探测的密度或气压資料可以推算出温度。但在100公里以上,由于光化反应、扩散以及湍流混合,大气成分将随着高度而有显著的变化。目前利用空气取样及射頻質譜仪探测所得到的資料,尚不足以决定100公里以上大气成分变化的特征。人們不得不根据不同的假設来推算100公里以上的大气結構。但这些計算模式,不可能全面考虑制約大气分层形成的各种因素。因此它們可以运用的程度还有問題。最可靠的密度測量現在有两种方法:(1)观测人造卫星在軌道的变化,从空气阻力所引起的制动来計算密度;(2)另一方法是在火箭上升軌道的頂点噴放一团鈉蒸气,通过鈉气扩散的观测来計算密度。苏联1958年发射的一級地球物理火箭,曾利用这个方法測得430公里高度的大气密度。这两种方法不附帶有任何可疑的假定的,因此所測得的大气密度比較可靠。根据这些資料,人們发现220—230公里高度的密度和温度較火箭所測得的数据大一个数量級,这就引起了高空能量的来源問題。因为据估計100公里以上氧原子在放散微波过程中,温度将大大地降低,而那一层高空的热传导又远不足以补偿这种热量的消

二十世紀初年,平流层以上的大气层一直是地球

耗。目前有許多不同的學說來解釋這一問題，其中如卡普曼認為高层大氣的高溫可能是行星際熾熱氣體侵入加热的結果，這種氣體是日冕的延續，其溫度可達數十萬度；另外但尼爾認為150公里左右的中层高空可能有吸收對流層傳出的低聲頻波能而加热；最值得注意的解釋則是蘇聯卡拉索夫斯基教授所提出的，他認為高层空氣的加热原因，是和太陽粒子流在等離子體的氣體中的能量釋放過程有關。

卡拉索夫斯基教授所提出的解釋，从高空內外輻射帶的存在可以得到支持。高空內外輻射帶的發現，是利用人造衛星及宇宙火箭進行空間探測的最重大科學成就之一。1957年11月3日蘇聯發射的第二個人造衛星，在磁緯度 55° 區域，首先記錄到輻射增強50%，而地面宇宙綫強度並無相應的增加。可以推斷這是由於未能到達地面的低能量粒子所引起的。在1958年5月15日，蘇聯發射的第三個人造衛星上，裝有特殊的設計閃爍計數器，對這個現象作更進一步的測量，結果證明：無論在南北半球一進入磁緯度 $55^\circ-65^\circ$ 區域，都測得較強的輻射，這個輻射帶是由能量約為10萬電子伏特粒子所組成。至於內外輻射帶分為兩個區域的形態，維爾諾夫通訊院士在1959年4月蘇聯科學院通報上，已有較完整的概念。美國在1958年2月1日發射的1958 γ （探險者1號）衛星，也在赤道上空1,000公里處測得了強大的輻射。由於強度超出量程過多，儀器被堵塞而傳不出遙測訊號，以後在1958 γ 、1158E衛星上改裝了輻射儀，才証實內外輻射帶的存在。范阿倫（Van Allen）1959年3月在美國地球物理學報發表的論文中，尚無內外兩個輻射帶結構的概念。因此，美國把內外輻射帶稱為范阿倫層是沒有根據的。

關於內外輻射的形成理論，對於外輻射帶，卡拉索夫斯基及范阿倫傾向於如下的想法：太陽噴射出的等離子狀態的粒子流，由於地磁場的作用，這些帶電粒子在接近地球時就被磁場所“俘獲”，圍繞着地磁綫作螺旋的進動。在磁赤道上空，螺旋綫距較大，愈往兩極，綫距愈來愈密，到達一定緯度，粒子將被折射回來，此點稱為鏡點。這是早些時候龐加萊（Poincaré）、斯圖默（Störmer）和阿尔芬（Alfvén）等為解釋磁暴及极光所提出的理論。美國在1958年曾利用衛星探險者四號及火箭觀測高空核爆炸的地球物理效應，測得高空核爆炸後所發生的人造輻射帶、磁暴及鏡點地區的人造极光。這些事實對粒子被俘獲的觀點提供了一些有利的論證。但關於粒子來源，則還有不同的看法，維爾諾夫及辛格則認為由於宇宙綫粒子反射所造成或至少部分由於宇宙綫粒子所造成。

關於內輻射帶的形成，眾說紛紜，一般認為宇宙綫及太陽粒子流中的中子，可以不受磁場的影響，穿透到達內輻射帶。由於發射中子乙種射綫衰變而成帶電粒子，被磁場俘獲而形成內輻射帶。維爾諾夫於1960年1月在蘇聯科學院通報上發表蘇聯第二個宇宙火箭所測出的結果與第一個宇宙火箭測得的結果相比較，外輻射帶在高緯度區向低空延伸，且最大強度也有增加，可見輻射帶隨時間的變化相當大。變化的規律、形成和粒子的存在期相互有關。由於觀測到的資料還太少，理論研究也還剛剛開始，這方面的工作還有待於今後的深入探測和研究。

內外輻射帶的結構和形成的理論，還有待進一步的研究和發展。應當指出：沿着磁力綫在兩個反射鏡點往返旋轉進動的電子，組成一個相對論的電子層。被圈圍的等離子氣體將因電子的庫倫碰撞而劇烈增溫，其過程和熱核反應相似。由此而釋放出來的大量能量，使高空大氣溫度增高，可以解釋卡拉索夫斯基所提出的問題。因此，內外輻射帶的發現，不僅在地球物理學方面有重大的意義，通過相應的探測儀器的設計，今後還可以在內外輻射帶進行一系列的實驗，觀測等離子區一些特征，而這些特征是不容易通過室內實驗獲得的。

高空核子爆炸所引起來的磁暴、電離層擾動、電波傳播中斷以及人造极光，對於發展磁暴形成理論及日地相關關係物理過程的研究提供了重要的依據。由於磁暴及极光和太陽活動有密切的關係，這兩種現象常常圍繞極區而相伴的出現，使人們相信磁暴是由於太陽噴射出來的高速帶電粒子，在地磁場牽引下所引起的。這種想法，早在十九世紀末已由皮克蘭的實驗所証實。而太陽噴射粒子的機制以及磁暴形成的理論是最先由皮克蘭、斯圖默所建立，以後又經卡普曼、弗羅、馬丁加以發展。但他們既沒有考慮粒子流所“凍結”的磁場，也沒有考慮到粒子流與行星際空間介質的相互作用。30年代以後，磁流體力學開始發展，阿尔芬提出粒子流的“凍結”磁場，推算粒子流趨近於地球磁場所產生東向及西向飄移和磁暴“急始”和“主相”之間關係。預言相應於這兩個電流還將出現兩個极光帶，並算出它們的緯度。這種預言後來為蘇聯尼柯斯基所証實。

但是無論是卡普曼或阿尔芬的理論，都沒有考慮行星際空間介質的影響。根據50年代初期大氣哨聲及黃道光以及最近人造衛星、宇宙火箭探測的結果：整個日地空間是導電的，使外層空間對地球起了屏障的作用，磁場被凝聚於等離子氣體之中。因此，星際

电离介质中的电流能否直接影响地球磁场决定于气体所能施加于地磁场应力的。近年来,根据磁流体力学及等离子区物理来进一步发展磁暴理论是许多科学家注意的问题。

国际地球物理年期间,大量日地相关现象资料累积,特别是随着探空技术的进展,人们将通过特殊的高空实验来阐明高空电磁场中的基本物理过程,从而建立更完善的日地空间相关现象的理论。

二

最近十余年,由于无线电探空的普遍采用,气象学家更密切结合天气分析,进行天气变化物理过程的研究,天气学的面貌已发生巨大的变化。近年来天气学的主要方向有二:(1)大尺度天气系统模式的建立。四十年代罗师培学派对于大范围流场虽提出了行星波的模式,对研究大型流场起了巨大的作用,但个别天气系统的模式尚未建立,多数工作着重于研究气旋发生发展过程中地形及加热场的作用、台风活动以及急流的维持和再生。这些研究均有助于数值预告模型的建立。(2)许多严重的危险性天气都与中小尺度的天气系统相联系。在国外对于中小尺度天气系统的研究已有蓬勃的发展,按目前水平,已经提出了有关中小尺度天气系统的分析方法和它们的结构,提出一些定性预报规则,从发展的趋势来看,中小尺度天气学将成为今后天气学一个重要分支,这是因为它不但对改进危险性天气预告有重大的意义,也是探索控制天气研究的开端。

在大气环流方面,大气中角动量的维持以及动能的平衡问题,是很多科学家注意的问题。大量研究工作阐明了:角动量消耗生长的地区以及输送的机制;基本流场动能、扰动动能、扰动位能及基本位能的转化的过程,有些工作注意研究不同天气系统在天气形势转变期间,各种能量转换的机制。发现能量转换的方向是随着天气形势而变的。这些研究对于大气环流的物理机制的了解是很有帮助的。1939年罗师培提出长波理论以后,对于中期和季节变化过程的研究有显著跃进,许多研究指出,环流的中期演变是和长波的发生发展分不开的。抓住长波发生发展这一个主要环节,对于中期变化的研究有了很大的推进。从长波的大气分析指出,中期环流的巨大变化是和阻塞高压的生成和崩溃有很大关系的。但是目前对于阻塞高压形势的发生发展的天气过程还是没有弄清楚,而这方面动力的研究则更是缺少。

由于大气环流动力学的深入了解和新型快速电子

计算机的制成,天气预告已逐渐从半经验方法走向客观化的数值预报。苏联、美国、瑞典、日本等国都已设置了专用的大型计算机,为运算天气方程组之用。近年来的大量研究试验已判明,对于大范围流型系统的短期数字预告已赶上甚至超过天气学预告方法,有的国家已把数值预告业务化,并把预告范围扩大到整个北半球。在中期数字预报方面,虽然在生产实践上需要最为迫切,但它的进展是比较缓慢的,除了应用短期模式作延伸预报以外,还没有一个有效方法。大气环流中期的突变过程,目前是各国气象学者注意的一个问题,但是这个问题还很缺乏动力学的了解,因此,也没有相应的数值预报方法。关于大气环流的平均状态的形成,1956年美国菲利普斯用含有固定的热源和摩擦消耗的环流模式进行了数值试验。当引入任意的扰动以后,计算的流场出现了东西风带,急流、副热带高压、三个平均经圈环流,以及移动的气压系统等。这是长期数值预告的一个重要开端,在苏联马希柯维奇的计算比美国菲利普斯更进一步。在他的模式里不但考虑了长短波辐射,甚至还考虑了水汽;加热场和运动场是相互制约的,但尚未见到数值试验的结果。

高空的大气环流也是近年大家注意的对象,在30公里左右的环流状况,已有相当的了解:在冬季极圈附近有一强大的西风,称为极地冬夜急流,到了夏季则改成了强大的东风。每年一二月极地高空有一次非常迅速的增温,在5—6天里可以增加40℃。增暖之后,黑夜急流结构被破坏,高空环流形势也随之而急速改变。此后约半月左右低空环流也随之而引起了一次大变化。这个现象的重要性不仅在于高空大气的物理机制,而在于指出高空变化可能引起低空环流的变化。可以设想,随着探空技术的发展,大气环流的研究也需要注意高空大气环流以及在其中发生的物理过程对低空大气层的影响。

掌握天气变化机制与大气环流的变化规律,通过天气分析与天气方程组的运算来作出客观定量的天气预报,是气象学研究的一个方面;在掌握天气的宏观变化与微观过程的基础上,设法影响或控制天气,是气象学另一个重要方面。在云雾物理及降水过程方面,四十年代以前进展较慢,1911年A·维根纳已提出过冷却水珠饱和气压远较冰面饱和气压大的事实,但迟至1933年这个事实才被勃极朗运用来解释天然降水中的过程。在四十年代左右,勃极朗、芬德埃森等人的研究,冷云(温度低于0℃)降水机制的理论出现了,这给人工影响或控制过冷云雾打下了一个理论

基础。但暖云(温度高于 0°C)的降水,例如暴雨,是低纬度经常观测到的现象,1938年霍吞首先简单地计算了水滴在凝并中长大的过程,四十年代中,经过许多人的研究,特别是1947—1949年朗格缪、习惜金等人的工作,奠定了暖云降雨的机制。根据这些理论,人们对影响或控制暖云提出一些方法,取得一定效果。

由于人工降水对工农业生产的巨大作用,在四十年代以后,各国都重视人工降雨的研究工作,人员数目增加好几个数量级,研究论文也大量地出现。然而由于人们对于降水的机制还未能彻底了解,因而对它的影响或控制还没有充分的把握。如何把宏观天气条件与微观的云雾物理过程结合起来研究降水的机制,是一个关键。例如根据经验,云中如有较大的风速切变或较大的颠簸则较容易降水,这就意味着湍流可促使云中水滴凝并的增加,从而导致降水。但是,是否还有其他可能促使降水的机制还不清楚。目前对于冷云的降水机制比较清楚得多些,对于冷云的影响也更成功些。

除了降水机制外,人工降水科学研究的另一个关键问题是一些可以影响云雾催化剂的物理机制还不十分清楚,例如碘化银的催化机制就有不同的说法,我国已确实有效的土炮消雹方法,它的机制还有待于研究。弄清楚这些机制不但可以提出人工影响云雾的新途径,而且对于云雾降水的机制的了解也将有很大的帮助。

更进一步的问题在于气流的控制。因为不论用催化剂还是用声波等来影响云雾,都没有从云雾发展的最根本的条件上下手。大家知道天气变化是大气运动的结果,也就是气流发展的结果。我们不控制气流就难于彻底控制云雾和降水。目前最有经济意义的人工降水还是利用有利的地形在向风山面继续不断的上升气流中对地形云层进行催化,促使其降水,但这是利用大气中已有的上升气流的有利条件。至于如何对气流进行控制,想法和试验都不多。仅有一些试验也大多是由云雾催化入手,使云中的水成冰放出潜热造成对流。试验结果,得到了象一小朵云那样的对流,也没有系统。对大规模大范围的控制气流的工作,目前只有一些另辟的想法。到现在为止还没有对天气控制的一般原理的研究,缺少原则性的、基础性的研究。因此,长远来说,需要建立以控制气流为对象,从而控制天气的天气控制学。

在这方面,首先是对中小系统如何控制的问题,因为中小系统范围比较小,控制的现实性要大一些,

而这些系统也正是不易预报的,是常与危险天气有密切联系的。近年来科学先进的国家大量利用雷达和稠密的观测网对中小型天气系统进行了大量的观测,对这种系统的结构有了初步了解。进一步搞清中小尺度天气系统的性质,搞清中小尺度控制的可能途径,对预报与控制都有很大的好处。既可帮助中小天气系统科学研究的发展,也是天气控制的开端。

三

对于地壳及地球内部的地球物理学研究,进展比较缓慢,长期以来还处于系统不够完整的阶段。这是由于目前所用的科学工具,还不够有力。各种地球物理现象如重力、地磁、地震等,都只能反映地壳及地球内部的定性的情况,很难得到精确定量的科学数据。近年来全世界地球物理学者正在注意以下几个问题:

(1) 着重于地壳的系统研究,主要对象是地壳及其下“中间层上部”,企图弄清其中的物理状态、物质组成及各处形变应力的分布等。这些基本情况都直接和地壳最上部分的大地构造、造山运动等地质现象有密切关系。弄清了这些关系,就可以进一步研究矿床的形成条件和分布规律。

为了达到这种目的,目前主要是依靠地震波在地球内传播的原理来探知一些情况。过去人们在很长时期内,仅利用天然地震波,特别是近地震波的传播来研究地壳,但结果常只是轮廓性的,精细程度不够。最近几年来在世界许多地区,正进行着利用人工爆炸和地球物理勘探的地震方法一样来研究地壳,称为地壳测深,这样可以比较精细地探明地壳的结构和厚度,与此同时,也观测地面上重力场、磁力场的分布现象作为辅助的科学依据。

地壳测深工作在苏联科学院地球物理研究所的主持下,已有很多进展,该所利用人工爆炸及主要为折射波的传播来确定地壳的分层和厚度问题。先后曾在苏联哈萨克斯坦南部天山山脉地区、里海东岸土克明尼亚地区研究地壳。国际地球物理年期间又在苏联远东勘察加半岛、千岛群岛一带的海面上进行地壳测深,以研究太平洋与亚洲大陆的接触。苏联地质保矿部全苏地球物理勘探研究所则已开始乌拉尔及伏尔加河的广大地区上开展较大规模的地壳测深工作,计划在七年內,通过全部苏联领域布置进行地壳测深的控制网,以探明地壳在苏联境内的结构和厚度。在欧洲,目前匈牙利也准备进行同样的工作。

在美国及其他国家也正在大陆及海洋上进行地壳

測深工作，太平洋地区預計地壳是最薄的，現在測定的結果說明太平洋上地壳最薄处只4公里，最厚处约为15公里。因此苏联及美国的科学家都积极設法企图用鉆探方法进行5公里的深鉆探工作，以打穿地壳取得地壳以下的直接資料，这不仅可以弄清地壳及地球内部的一些地球物理学基本問題，对于基础科学如固体物理学亦有极其重大的意义。在美国大陆，根据天然及人工地震波传播研究地壳的結果，已可編制成一张全美地壳的地形概略图，反映了地面实际地形的特点。在南美洲安达斯山脉地区，地壳測深的結果說明，安达斯山脉的根是为許多支柱状体所形成，岩石較輕，插入地壳以下的“中間层”中。

我国西藏地区，具有世界上独特的地形，研究其下地壳結構和高原的形态驗證地壳均衡学說无疑地将是地球物理学上有时代意义的重要問題。

(2) 在地震方面，为了配合地震区巨大工业的建設，地震区域划分以及探索地震預告的可能性，是地震学研究的一个主要方面。通常的地震烈度区域划分是以仪器及宏观調查及統計資料为基础，結合大地构造資料，在广大地区內根据地質条件相同地区內过去曾发生过的个别地震影响，作为規定这个地区烈度的判据。但这只是一个粗略的估計，缺乏物理的基础。为了进一步区分同一烈度带內各个地区的地震危险，各国学者曾作了不少工作，苏联学者认为地震区域划分是地震預告的一个阶段，他們現在正在系統地由三方面研究这个問題：(一)震情的研究，即是說研究大小地震在時間及空間上的分布。如果这个分布規律可以找到，便可由小地震发生的頻率和地点来推測大地

震发生的可能性。为了得到更可靠的統計依据，他們将地震仪的灵敏度大大加高，以便記錄大量的微弱地震。同时为了准确地測定震源位置，他們建立了一套完整的观测方法，其特点是将地震勘探和天然地震的方法联合应用。(二)研究地震的地质地貌特征，特别是地震和构造类型、构造发展特点，以及地震和最新大地构造运动的关系。某些地质学家企图以垂直构造运动的速度在地面上的变化与地震活动性对比，这似乎是一个很有前途的方向。(三)地震成因的研究。这是用深地震測深的方法来研究震源处介质的构造，并用高温高压的模拟方法来研究深处介质的物理性質和断裂形成的机制。以上三方面研究的目的，就是要来改进地震区域划分的方法，对地震数据作出可靠的內插和外推，以便对尚未发生地震的地区作出可信的預測。很显然，这样的地震区域划分，也就带有預告地震的基本因素。

以物理观点为基础的定量地震区域划分工作中，装备精密仪器的区域地震台站网将起着日益重要的作用，透过大量微弱地震資料的累积分析，弄清震中位置的分布、震源的物理机制、大小地震之間及地震頻率与震源强度之間的关系，在这个基础上进一步开展地震預告的研究，是今后地震学者注意的重要方面。

(3) 在地球物理探矿方面，今后主要的趋向是研究直接探矿方法。目前已有的一些研究工作如：根据地下放射性物質的地球化学理論来找石油；利用激发电位原理直接找侵染状金属；利用核反应原理直接在矿井中找稀有元素等，是朝着这个方向前进的开端。

更 正

本刊第6期“生物科学与农业”文內182頁第二栏16行以后脫漏一段，应补充如下：

关于微量元素在动物营养中的作用方面，曾經做了大量的研究工作。这些工作，得出了在实践上有重要意义的結果，証实了不論是为了改善动物的生长和发育，或者是为了預防各种传染病，都必須在动物的飼料日料里添加微量元素。这些研究提供了补充飼料的分区以及制訂动物的矿物营养的卫生标准的必要材料。

同栏22頁“在畜牧业实践中广泛利用从这里輸出的公牛和它的后代，”后应为：“将在5—7年內大大地提高所有集体农庄和国营农場商品牧場牛羣的乳中脂肪的含量。”一并更正。