

## 从找矿勘探到地球系统

——汪品先院士在华东六省一市首届青年地学科技论坛上的报告(摘要,蔡阿新、王汝建根据录音整理)

(同济大学教育部海洋地质重点实验室,上海 200092)

同志们:

我的题目是《从找矿勘探到地球系统》,讲一讲地球科学现代发展趋势。地球科学发展到今天,已经跟原来的含义有很大的不同,它以前主要是找矿。到现在,它还要考虑环境。原来打交道的是固体的地球,现在则是固体和流体的地球,也就是说地质科学本身在演变。半年前,在爱丁堡,美国和英国的地质学会联合起来开了一个大会,叫做“地球系统过程”大会,它标志着地球科学的研究和发展有了一个新的方向,它再也不是原来意义上的固体地球的研究。这次大会所讨论的题目跟以前的地质学不一样了。它有十九个专题,这里举几个例子。一个是太古代地球和现代地球的生物界有什么不同,当时的生物系统是厌氧的,处于还原环境状态下;现在我们的生活环境是需要氧气的,没有氧我们则无法生存,那么从太古代到现在,地球从还原环境变到今天,生物是怎样变的,这就是一个很有意义的题目。再比如说,“热液系统”,深海的热液作用在地质历史上曾发生过很重要的作用,在生物圈演化中也有很重要的关联,这也是爱丁堡会议的一个主题。又比如说,“沉积系统和微生物群落”,它们是相互作用着的,地质的沉积学很多实际上是生物的作用,这方面我们还了解得很少。我和澳大利亚、英国的科学家们共同发起研讨了一个专题,题目叫做“热带大洋在地球系统中的作用”。我们认为:在第四纪的研究中,单纯强调高纬度是不对的,热带是地球表层能量的源泉,驱动着地球表面的许多变化。以前的地质科学和其他科学虽然有结合,但结合得不密切,现在的地球科学是气态、固态、液态三者连结在一起进行研究的,地球科学不再是单纯的地质学。我们研究的目的变了,原来是资源,现在是资源和环境及其它的基本过程;手段变了,原来以观测为主,现在是观察、实验和数字模拟三者的结合,这样才能探讨全球性的问题。现在研究的地球科学,是把岩石圈、气圈、水圈和生物圈四个圈层结合在一起,研究它们的相互作用,最明显的变化是发生在第四纪的研究当中。

现在地球科学和从前的概念完全不一样,过去最典型的工具是罗盘和锤子,这个传统方法不能丢,野外工作是根本;但又绝不止这些,光这些是远不够的。现在的地质科学引进了物理、化学等学科的许多新方法、新技术。从宏观上讲,现在应用的地球物理方法已经可以研究到地球核心去了。用地球化学同位素的方法可以研究到很深的程度,譬如一种牙齿化石,研究牙齿里的珐琅质,用碳同位素方法,可以指示当时这个动物是食植物的,还是食肉的,甚至于可以知道它是吃树叶的,还是吃草的,有关这方面的研究,已经相当深入。

我国的地学界前辈,在十多年前提出了“上天、入地、下海”的口号,中国的地球科学在这几个方面都有很大的进展。所谓上天,主要是指应用遥感、遥测的手段。应用这种方法,我们第一次能够得到全球大范围的图像,这就是所谓的“数字地球”。上海的严晓海博士(同济大学原来的学生),得到了美国总统奖,他在美国研究的结果是用十年的遥感资料,画出了地球最热的海区,十年的平均表层温度都大于 28℃,大洋表面再也没有比这里更热的水了,这就是所说的“西太平洋暖池”,是地球上表层大气环流和大洋环流的一个能源,这种现象只有用遥测遥感才能看得到。还有,海水的温度过去靠一个点一个点地测,用海水温度计测定,这样永远测不到同一时间里海水的温度分布。用遥测遥感的方法,一下子就可以测出全面的水温,更不要说测地形了。现在对于月球及月球背面、金星表面的地形了解,超过了我们对深海地形的了解,这就是靠遥感。

\* 作者系中国科学院院士

再说到行星地质学的研究,给了我们很多新的启发。现在回过头来看类地行星,地球的条件确实是得天独厚的,地球在太空上看是蓝的,因为它表面有水,而且表层温度是平均 15 度,金星表面是 460 度,火星是零下 60 度。金星太热,火星太冷,地球正好居中,所以地球上才有生命。再说,金星的大气里主要是  $\text{CO}_2$ ,基本处于还原环境。那里的水,已经相当少,都在大气层里面,而火星只有一点点在冰里面,气里面极少。有了这些对行星的了解,再反过来看地球,就更明白人类生活是一个怎样的环境。再如,金星周围的大气圈,其压力是地球的九十倍, $\text{CO}_2$  是地球的 26 万倍,云有 25 公里厚,主要是硫酸云,再反过来看地球,我们就能进一步了解自己了——这些说的是“上天”。

“入地”,就是用大陆超深钻、大洋钻探或地球物理方法,了解深部的地层,探索地壳的下部甚至更深的地球内部。大陆超深钻这里就不细说了。这里想讲一讲现在海底以下几百米的地层里面,发现有活着的生物,这是在极端条件下生活着的细菌,其中还有从中新世晚期活到现在的细菌,有几百万年的年龄,而且它还活着,这是轰动世界的一个发现,欧美国家的许多科学家把它当作 21 世纪地球科学研究新对象的第一块牌子。估计地球上的整个生物量有十分之一是在地底下。更宝贵的是,这些东西在长期极端的条件下,新陈代谢极其缓慢,从生物技术上来看它肯定有价值。为什么?说不定这种生物体所含的基因和我们熟悉的基因完全不一样。现在甚至在玄武岩里都发现有那种细菌活动的证据,这里就提出一个新问题:不要认为只有沉积岩间隙中有生物,火成岩里也会有生物,如果真是这样的话,那么原来的许多概念,岂不完全要变更了。美国宇航局在九九年成立了一个“星球生物研究所”,今年还创刊了一种杂志,叫做“星球生物学”,象上述的那种生物,在别的星球上可能也是存在着的,这是美国一些科学家目前研究的一个重大课题。

关于“下海”,现在用各种各样的地球物理手段,能精确地了解深海的海底。比如海底测深,从前靠缆绳上挂一个炮弹壳丢进海底,再来量缆绳的长度。现在用声波的方法不仅可以精确测水深,还可以测出微地形。比如发现海底不光有洋中脊,还有许多转换断层,这样就为发现“海底扩张”和建立“板块学说”创造了条件。世界大洋有八万公里长的海底洋中脊,海底的山,不比陆地的逊色。这些洋中脊,就是板块的界线,这就确立了我们所熟悉的板块学说。不仅如此,对海底地形的探测还发现四千米深海底地形有波痕。有波痕必有波浪,四千米深的海底谁去掀起这个波浪?原来海底还有“流”,这种“流”又是怎么来的?实际上这是温度和盐度差别所造成的“流”,这些“流”是我们以前所不了解的。如果我们用氢的同位素“ $^3\text{H}$ ”去“示踪”,可以发现海冰旁边的水自己在往下流,因为结不了冰的水又冷又咸,一直往下沉,沉下后流向世界各地。用碳同位素( $^{14}\text{C}$ )测出世界大洋三千米水深的年龄,可以发现:大西洋的水年龄最轻才 250 岁,跑到南大洋有 500 多岁,到我们这儿已为 1700 岁,咱们这儿是全世界海水深层流的终点站。有些人认为:地球上有一个“大洋传输带”,全世界的大海也似一条河,在不断地流。并且说如果把这传输带掐断了,世界将会进入冰期,这当然只是一种观点的认识。还有人把世界海洋的水流比喻为血管网络,把世界的东西看成一盘棋,这就叫做“地球系统”。

有人认为现在的物理学、化学、地学都搞的差不多了,后面的人只要修修补补就行了。其实根本不是这样,科学只是在原来的基础上进入了一个新的阶段,我把它说成是刚刚开头,如果把地质学看作是地球系统科学的话,我们刚刚开始进入研究阶段。刚才我说地球的几个圈层,其中水和碳在这几个圈层里循环着,这个循环也正是我们的研究任务。地球上的水分为固态、液态、气态,金星上的水都在气体里了,火星上的水则在固体状态中,正因为地球上的水三态并存,才有冰期和间冰期的变化。在二万年前左右,整个北半球高纬度地区,包括美国大部分及加拿大,还有欧洲的大部分地区都压在冰底下,这冰层有二、三公里厚(甚至达四公里),整个海平面下降,温度下降,大气浓度要比现在低一倍左右。为什么地球上会有这么多冰呢?二十世纪早期就有人提出,这与地球运动轨道有关。地球的地轴是“歪”的,今天赤道和黄道的夹角是 23 度半,但从前并非如此,是在不断变化,而且二万年变一遍。象这种类型的天文周期,影响着地球上的气候环境。有一个现象非常明确,地球确实存在冰室期和暖室期的交替变化。今天我们有幸生活在两极都有冰的时候。地球历史上更长的时期是暖室期,三千多万年来,先是南极有冰,北极还没有冰,要到三百万年前才有。地质历史上出现两极都有冰的,从寒武纪以来只有第四纪有此现象,这是因为地球上的大陆本来都在

南半球,以后慢慢地往北飘移,因此南半球容易形成冰盖,北半球较为困难。我们现在研究地质历史,如果要问二十世纪里古气候研究什么成绩最突出,那就是解释第四纪冰期形成的地球轨道周期理论。二、三十年代提出、六十年代才证明的米兰柯维奇理论认为,地球轨道驱动可以产生多次冰期。二十世纪前半叶只相信有阿尔卑斯山的“四大冰期”,米兰柯维奇的一套很少有人相信。随着对深海的研究,证实他的学说是对的。八十年代时,美国举行了米兰柯维奇学术讨论会,因他早已死去,只好请他儿子在会上作了个报告,讲了他爸爸当年是怎样研究的,他的学说主要是什么呢?他认为地球在围着太阳转和在自转的过程中,有很多现象是周期性变化的,这个变化就是所谓岁差、斜率和偏心率周期。

现在的计时都是用天文周期计时的,如日、月和年,有没有更长的周期呢。当然有,咱们很少用,因为寿命没那么长,但是地质上要用,比如二万年的岁差周期、四万年斜率周期、十万年偏心率周期。现代科学家还正在发现千年尺度的一些“准周期”现象。这些现象是怎样发现的呢?这是经过深海里面一种单细胞生物叫有孔虫的壳体,用同位素来研究发现的,这里不再细讲。现在,人们在南、北极冰盖里打了钻孔,冰芯里发现有气泡,成分中有 $\text{CO}_2$ ,发现古大气中 $\text{CO}_2$ 无论浓度还是同位素成分与今天都不相同,并且有冰期、间冰期的变化。通过资料分析,还发现间冰期和冰期的变化并不对称,从间冰期进入冰期是逐渐变冷,从冰期到间冰期却是突然变暖的。那么为什么地球冷起来慢,热起来快?现在有一种认识,认为可能是由于深海海底的天然气水合物的作用。这种天然气(主要是甲烷)被锁在冰里,一旦稍微遇到一点压力变化和温度变化,它就被释放出来,这样大气里一下增加了很多甲烷,就会改变大气的成分,造成温室效应。所以天然气水合物不仅在储量上是其他全部矿物燃料的二倍,可能是未来的能源,而且它可能还是环境变化的一个原因。

今天的间冰期什么时候结束?现在对此问题有二种说法,一位是比利时科学家贝尔歇,他预测地球还有五万年是热的,然后才冷下来;还有一种说法来自美国的雷莫,她认为地球的冰期正在到来,下一步将是五万年的冷期,五万年后再次回暖。这两个预测正好相反,实际上,这二家是由于对 $\text{CO}_2$ 含量的看法不一样而引起。我们要看到:气候的变化不能只看到水热循环的物理过程,还要看到它的化学过程;不能只考虑水和冰,还必须考虑到碳——碳的循环。近来发现,在冰期旋回中往往是 $\text{CO}_2$ 先变,然后冰盖大小才变,而且低纬度的变化比北极的变化还早。当前流行的说法认为:靠北大西洋的变冷而驱动全球,这种看法恐怕是不对的。最近在南海的大洋钻探发现,碳循环有四十万年的长周期,这些热带的碳循环看来驱动了全球。全世界气候万年尺度的变化有二个驱动区,一个是刚才所讲的“传送带”的枢纽,即北大西洋的北部,起着“传送带”“开关”的作用;还有一个就是西太平洋“暖池”,这是地表海、气环流能量的源泉。

韩非子有一句话叫做“冰炭不同器而久,寒暑不同时而至”。地球就是一个“冰炭同器”的系统,既有冰盖又有 $\text{CO}_2$ ,二个东西都在变,久而不变是不可能的。所谓冰,实际上是水热循环,是物理过程;所谓碳,即是 $\text{CO}_2$ 和甲烷,是生物地球化学过程,二者的结合造成了地球气候的演变。碳在刚才所说的四个圈层里面轮回,但是在这四个圈层里,碳在大气圈中含量是最少的,海水里的碳是大气里的60倍,而在岩石圈里,要高好几个数量级。只要它们稍微变动一下,就影响到大气。大家都知道,大气中的 $\text{CO}_2$ 浓度现在越来越高,在夏威夷岛上,从58年开始记录,到现在几十年直线上升。为什么有此 $\text{CO}_2$ 升高的现象?主要是人类用汽车用得太多了,矿物燃料燃烧得太多了。

这里有一个问题,人类用掉的燃料,石油、煤、天然气等的量和夏威夷上空估测的量,二者是对不起来的,中间有一部分燃烧释放到大气里的碳“下落不明”。它跑到哪里去了?其实它是被海洋吸收掉了。海洋的表面有很多浮游生物,它们可以吸收大气的 $\text{CO}_2$ 造成有机碳,也可造成钙质的壳沉到海底,我们把它叫做“生物泵”,等于是生物把大气的碳“泵”到海底去了。这些“碳”到了海底以后还要变, $\text{CaCO}_3$ 到了海底后要溶解,有机碳到了海洋里要氧化,这样的变化又有一个新的周期。因此海水对大气中的 $\text{CO}_2$ 起调节作用,既有碳酸盐和有机碳的产生,也有碳酸盐溶解和沉积的调节。不过深海和浅海对大气 $\text{CO}_2$ 的调节,时间尺度是不一样的。

到了海底,碳循环也还没有结束。当板块俯冲下去的时候,海底地层里的  $\text{CaCO}_3$  会产生变质作用,变质作用是要放出  $\text{CO}_2$  的。当这些岩石随着以后的构造运动又抬升上来形成山脉,山脉上的岩石出露以后发生风化,化学风化是要消耗  $\text{CO}_2$  的。这就是说:岩石的风化消耗  $\text{CO}_2$ ; 沉积物的变质放出  $\text{CO}_2$ , 这又是一种碳循环,不过这个碳循环的时间尺度更长。这个时间尺度相差太远了,最短的如陆地植被变化只有一年左右,长的如板块运动引起的碳循环是千万年的尺度。难就难在这里,不同圈层的变化是完全不同的时间尺度,它们迭合在一起很难分辨。正因为这样,地球系统的地质变化是非常多样性的,既有轨道周期的变化,也有构造运动的变化,又有行星演化尺度的变化。在地质历史上,地球有“暖室期”和“冰室期”之分,论时间长度暖室期是主要的,冰室期是次要的。在冰室期中,还有冰期和间冰期之分,论时间长度冰期是主要的,间冰期是次要的。因此,我们是生活在非常短的时期里,这种时期在地质历史上占的比例非常小。刚才讲述地球上的大气早期是  $\text{CO}_2$  为主,跟金星上一样,后来发生变化,氧气比  $\text{CO}_2$  多了。这个靠什么呢? 就是靠绿色植被。地球从奥陶纪开始到泥盆纪形成植被,通过光合作用使大气中的氧越来越多。

海水的成分现在和过去也是不一样的。寒武纪开始一下子生物都有壳、有矿物质骨骼了,后来自中生代侏罗纪开始,海里的很多浮游生物都有钙质壳了,这主要是海水的成分在变。美国科学家提出一个想法,世界大洋从寒武纪到今天,可以分成二类不同的时期,一种是“文石”洋,一种是“方解石”洋。今天我们是处在“文石”洋阶段。而寒武纪到泥盆纪,中侏罗纪到早第三纪都是“方解石”洋。这主要是取决于海水里的钙镁比值。海水里镁多的话,容易形成“文石”,镁少的话容易形成“方解石”。这个成分的变化,使得化石都不一样,中生代晚期有很多贝壳长的非常大,当时是方解石大洋,容易形成钙质壳,后来是文石的大洋,就不容易形成了。这种变化,把生物的演化和海洋水圈的演化结合起来了。

为什么海水的成分会变化? 一个原因是大陆的风化; 另外一个更重要的原因在海底。其实海底是漏的,海底的水漏下去,也有水冒上来。在大洋中脊有三百多度的“热液”从海底冒出来,象一股股黑烟,冷却后形成硫化物矿,可以有十几米高,这就是“黑烟囱”。“烟囱”上面还可以放出“气”来,但这不是气,是水。这水里溶解了很多东西,从地幔中带上来,可以成矿。如果取一块“黑烟囱”的碎片,表面上用电子显微镜一看,全部是密密麻麻的细菌,“热液”里生活着大量特殊类型的细菌。这个洋底的热液作用,既是资源,可以并正在形成多种金属矿藏; 它也是地球深部和表层物质交流的地方,在长时间尺度上影响着地球表面的环境。从生理上讲,也有很特殊的意义,这里生活着一批不要阳光的生物,很可能将揭示地球生命起源的奥秘。这里的生物个儿可以长得很大,你看这一条蠕虫类的生物(图片),有三尺多长,它没有肠子,没有消化器官,既无嘴巴,也无肛门,它全靠“共生”的一些生物。这种生物给了我们人类很大的启发,原来地球上不是万物生长都靠太阳。万物生长靠太阳是指有光的食物链; 生在海底的有另外一个黑暗的世界,那个黑暗的食物链,它的能量靠的是地热。我们这儿是靠太阳能,它那儿是靠的地热能; 我们这里靠氧气,它那里靠硫。两者如何“碰头”,如何“衔接”,现在还完全不知道。再看一下生物分类,原来只认为是动物和植物,那么现在就不对了。有人把生命分类演化和地质年代结合氧化还原作了一张示意图,我们原来所说的动物和植物仅在这个系统里占有一个角角; 特别有趣的是“古细菌”,它是一种不要氧气,只要硫,而且耐高温的生物,100度不在话下。上面所说的热液细菌许多就是“古细菌”。这关系到生命的起源,这使我们的眼界大开。深海底下完全是另外一个世界。

综上所述,我们现在才是登泰山而知天下之大。地球,我们对它的了解,真是沧海之一粟。从太阳系看,暖室期和冰室期的交替是地球的特色,地球上几千万年、几亿年是暖室期,也有几千万年是冰室期,而且它变过去了又回来,自己能交替,别的星球就没有这种特征。如金星,它处在460度,太热了,回不来了。火星又太冷了,零下60度,也回不来了。可地球却是能交替的,这就是我今天说的最后一个部分,即所谓的“盖娅”学说。

英国有一位科学家叫拉甫洛克,他提出一种想法,他说地球太妙了,简直象个神,这就叫“盖娅”。“盖娅”是希腊神话里的地神,他说地球象神一样,自己冷了会变热,热了会变冷。它氧气不够就会有植物,植物多了  $\text{CO}_2$  变氧气; 太暖了回冷,太冷了又会回暖。它自己修补自己、自己控制自己,只有生物才有这种能力,

所以他主张研究“地球生理学”。这种现象实际上是生物圈和地球的协同演化,生物圈的演化对地球必有影响,地球的演化对生物圈也必有影响,用不着什么“神”。这也正是地球系统科学、或者叫全球变化科学的主题。可见地球科学与当年大不相同了。以前主要是描述现象,现在则要追索机理。

我刚才所说的地球的暖室期和冰室期,它是怎么变化的呢?这也需要研究。如果用同位素的方法来看,在恐龙全面灭绝的时候,也就是说白垩纪末的时候,地球上的海水温度是很高的,大概比今天要高 $15^{\circ}\text{C}$ ,后来又怎样冷下来的呢?现在有二种看法,一说是环南极洋流,一说是高原隆升。南极早先是冈瓦纳大陆的一部分,后来南美、澳洲板块分离出去,南极大陆周围都是海,形成环南极洋流,不再和低纬区进行热量对流,陷入“热封闭”状态,自成一个系统,这样的封闭它就冷了。还有一种说法,认为是青藏高原的隆升改变了全世界的气候。高原隆升,风化加强,消耗大气中的 $\text{CO}_2$ ,世界上的 $\text{CO}_2$ 浓度在新生代也是越到晚期越少。这里和中国的关系很密切,因为青藏高原在中国。中国在早第三纪的时候,是东高西低,晚第三纪以来,变成西高东低,改变了整个环境格局。大江东流,那是很晚的事。长江、黄河都很新。长江三角洲,我们能找到的,只有第四纪的,第三纪的长江三角洲在哪里,谁也不知道。这不光是影响环境格局,也影响成矿。中国的石油形成早第三纪是高峰,你看始新世、渐新世都有,到了中新世以来就很少了,为什么?地形变了,大湖消失了。现在中国湖泊都不算大,地表水向东流入海洋,早第三纪的大湖期已经过去。青藏高原隆升也改变了中国的气候带。在始新世的时候,中国的干旱带横贯东西。上海那时也是干旱带,到了二千万年以后干旱带才移到西北去了。

中国地质学上精彩的题目不仅在陆上,也在海里。我刚讲到“西太平洋暖池”,在这个暖池区,太阳的辐射能量最高,水被晒的很热,产生的汽就往上冒,这就产生了暖空气上升,造成了大气上升的一个不稳定区。还有北大西洋北部,海水结冰,没有结冰的水往下沉,这又是一个不稳定区。这就造成了全世界气候系统的二大不稳定区,一个是西太平洋暖池,一个是北大西洋深层水的源区。西太平洋暖池这块地方很特别,连生物的多样性也是全球最丰富,有人把它比喻为“金三角”,这是生物多样性的“金三角”。无论陆地上的生物还是海洋中的生物,这个地方花色品种最多,因为它是澳大利亚板块和欧亚板块碰撞的地方,而且是印度洋和太平洋的交汇地。不仅如此,它也是海洋从陆地向大洋供应泥沙最多的地方。因此,西太平洋暖池是世界上能量流、物质流和基因流的一个中心。中国的科学家应当研究这个问题,怎么会形成这种暖池?暖池又是如何演化?如何影响全球环境的?中国地质学上有趣而且重要的问题太多,正是你们青年地质学家可以大显身手的地方。