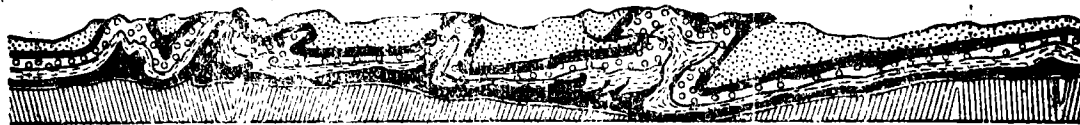


地质力学基础知识讲座



第八讲 地壳运动

武汉地质学院地质力学系 郭文蓉

地壳发生运动,是地壳内部和外部矛盾诸方面斗争总的反映。运动的结果,在地壳中形成并保留了各式各样的地质现象。地壳运动问题涉及的范围很广,论点众多,争论激烈。由于各学派思想体系发展的历史不完全相同,处理地质构造问题的方式方法也就各有差别。但无论哪个学派,只要能站住脚的话,“无论从哪一方面提出的有关地壳运动的论证,都令人信服地说明地质构造现象,亦即地壳的形成和形变的起源”。它立论的根据要在正确认识地质构造现象本质的基础上,按照一定逻辑步骤,开展工作,力求逐步踏实的前进,很可能会达到殊途同归的效果,最后才能对地壳运动问题得到符合客观规律的答案。

根据上述情况,讨论地壳运动起源问题,需从三个方面入手。

一 地壳运动时期问题

1. 地壳运动时期的概念 所谓地壳运动时期是指地壳运动中激烈阶段发生的时期。它包括大陆运动和海洋运动、各个大陆作为一个整体运动或一个大陆块中区域性的运动。地壳运动的结果,不仅表现在构造形变上,同时也影响乃至控制岩石的组成。因之,在鉴定构造运动发生时期时,需综合考

虑各方面资料,力争得出较准确的结论。

2. 关于构造运动时期的鉴定 推断方法归纳起来有下列几方面:

(1) 在地层记录完整的地区,可借助于不整合关系的上下地层年代和同一不整合所达到的范围来确定。

无论是造山运动还是造陆运动,它们发生时期的鉴定都要依靠地层中不整合或假整合来确定。造山运动多表现为角度不整合,造陆运动多表现为平行不整合(假整合)。无论那种不整合,必然存在间断面。在地层记录比较完整、沉积间断间隔较短、接触关系明显的情况下,这种方法对构造运动时期的鉴定是行之有效的,也是目前通用的。但若地层记录不完全,沉积间断时间较长的情况下,要准确地鉴定运动时期就有困难了。

(2) 借助于某种构造应力矿物的同位素年龄来鉴定。

同位素年龄的测定,是根据矿物中所含的某些放射性同位素的蜕变,测定含有该矿物的岩石或地层的形成时代。但要注意,测定同位素矿物是古老岩层中原有的矿物质加以改造而形成的,还是在有关的构造体系产生时形成的呢?前者测出的同位素年龄就不是这场地壳运动发生的时代,而是古老岩层本身的年龄。

这种测定矿物和岩石年龄的方法,普遍

运用于推断岩浆岩和嘤地层的时代,也可以测定破裂结构面的时代。伴随断裂带的错动往往有动力变质作用,同时产生新生应力矿物,利用这种矿物就可推断结构面形成时代,从而再推断该结构面从属的构造体系的形成时代。

(3) 其他方法还有沉积岩相、厚度古地理分析法,岩浆岩接触关系法等。

(4) 根据构造体系及其复合关系来鉴定。在一些古老的变质岩区,有时既缺乏完整的地层记录,又不含可以做同位素年龄测定的火成岩体或应力矿物,这时鉴定构造时期便比较困难了。此时,可用构造体系分析法。即运用一套构造体系的各个组成部分,大都是一次构造运动的产物这一原则,依据构造体系展布规律及其复合关系,借某些已知年代的构造形迹,推断复杂的古老地区中一部分构造形迹的未知年代。

李四光同志说:“一套构造体系是一定方式的一场构造运动或几次同一方式的构造运动所形成的。而那些多次运动之中,大都总有一次(往往是最后一次)是造成那一套构造体系的主要运动。这样我们就可以说,一套构造体系的各个组成部分,大都是一次构造运动的产物。”

一个构造体系所波及的范围内地层发生不同程度的变形,同时它也控制着某些新的地层沉积及岩浆活动的贯入或喷溢,乃至变质作用的发生。根据这些有成生联系的形成与形变关系的分析对比,依据构造体系的各种构造成分定向排列、展布的规律,从已知到未知,即从一个构造体系的某些已确定形成时期的构造成分,来推断同一体系的其它构造成分的形成时代。另外,根据对构造体系复合关系的分析,可以确定各个构造体系成生的相对顺序,此方法,尤其应用在沉积纪录保存不完整的地区,更具有特殊的意义。

例如,甘肃乌鞘岭古老地层中断层时代的鉴定,陇西系展布在宝鸡、平凉、西吉、海源、固源、中宁、中卫、景泰、古浪、天祝一带,为一个反“S”形的旋扭构造体系。陇西旋卷构造的西部,伸展于天祝、古浪一带的乌鞘岭地区。东南部展布于六盘山

区,该区卷入陇西系的为中生代白垩纪的六盘山系,而在乌鞘岭地区卷入旋卷构造的是前泥盆纪的南山系,组成近东西向的褶皱带。二者的地层迥然不同。那么发育在乌鞘岭地区南山系变质岩中的东西向压扭性断裂和褶皱的地块,到底是古构造还是燕山运动以来的产物?这在乌鞘岭地区是很难鉴定其形成时代的。如果采用孤立的方法来分析,认为凡是在老地层中的构造形迹,就一定是古老构造,就会把乌鞘岭东西向褶皱误认为古老地壳运动的产物。但是,根据陇西旋卷构造的形变规律来看,那些发育在古老的南山系地层中的东西向压扭性断裂和褶皱的形成时代和陇西旋卷构造的其它组分同样是白垩纪后期或白垩纪以后产生的。

二 地壳运动的方式和方向

地壳运动的方式和方向是探讨构成地壳的岩石圈(特别是大陆运动)和水圈(特别是海洋运动)运动的动力作用方式和运动方向的问题。运动方式是由地壳结构反映出来的运动形式,运动方向是指发动的方面或是主动向前推动的方面。二者是紧密联系的。

地壳运动方向既有垂直运动,也有水平运动,但水平运动方向是主导的。而在平面地理坐标系中,水平运动还有一个方式问题,如挤压、拉伸、扭动等。地壳运动方式和方向的确定,是追索地壳运动起源问题的先行步骤。

探讨地壳运动方式、方向主要从两个方面着手。一是地壳组成,二是地壳结构。这两方面的工作都是重要的。如果这两方面所依据的实际资料符合客观实际,工作方法对头,其结论应该是一致的,可以互相补充,互相验证。

1. 从地壳的组成方面来探讨地壳运动的方式、方向 主要从各种建造,特别是沉积建造来研究海陆相对运动(隆起和沉降)基底和盖层等等的运动方式和方向。很显然,这种从剖面上的方法,自然得出垂直运动的结论。如果我们从另一个角度进行分析,即研究同一时代的沉积地层在空间上的岩相一厚度变化、古生物群带的变化,则可发现随

着地质历史的发展,海陆分布是有变化的。这种大规模的海水进退规律反映作为地壳的水圈也同样有水平方向的运动。如前几讲中提到我国石炭-二迭纪南北方岩相不同,说明海水有自北而南的水平方向的运动。

2.从地壳的结构方面来探讨地壳运动的方式、方向 这里谈的结构主要是指地质构造,也就是岩块或地块中存在的各种永久形变及其组合形式,侧重石圈形变(即改造)来追索地壳运动的方式和方向。按照区域构造形迹的组合规律或构造型式反映出局部应力作用的方式和方向。这些多样性的局部运动的方式和方向,恰好显示了它们所属地区整体运动的方式和方向的统一性。从构造体系的分布和排列规律来看,尽管表现不同的运动方式,但地壳区域性运动方向和地壳整体运动的大方向是一致的,即:不是径向水平错动,就是纬向水平错动,导致地壳运动主要是水平运动这一结论。

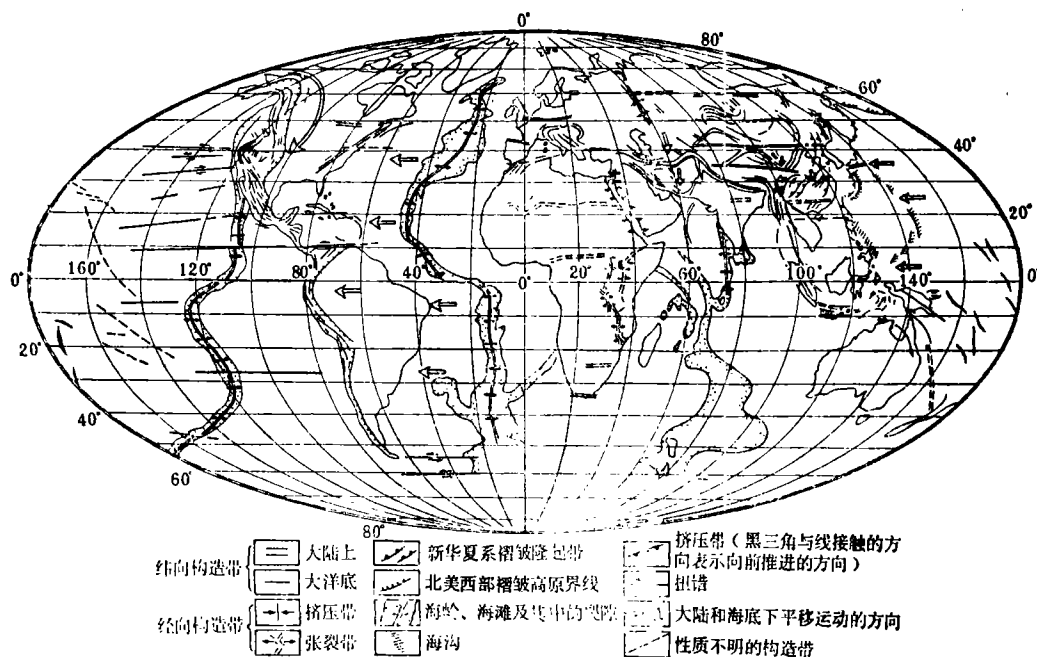
上述第一种方法推断的垂直运动是正确的,但是同样把它们由第二种方法来分析的时候,即把各种规模的隆起和沉降地区或地带分别各属一定的构造体系的组成部分的时

候,都反映出区域性的整体运动或局部运动的应力作用方式和方向。这些有条不紊的隆起和沉降地区或地带是由地表到地壳中一定深度受到水平方面挤压的结果,就是说垂直运动是起源于水平运动的。

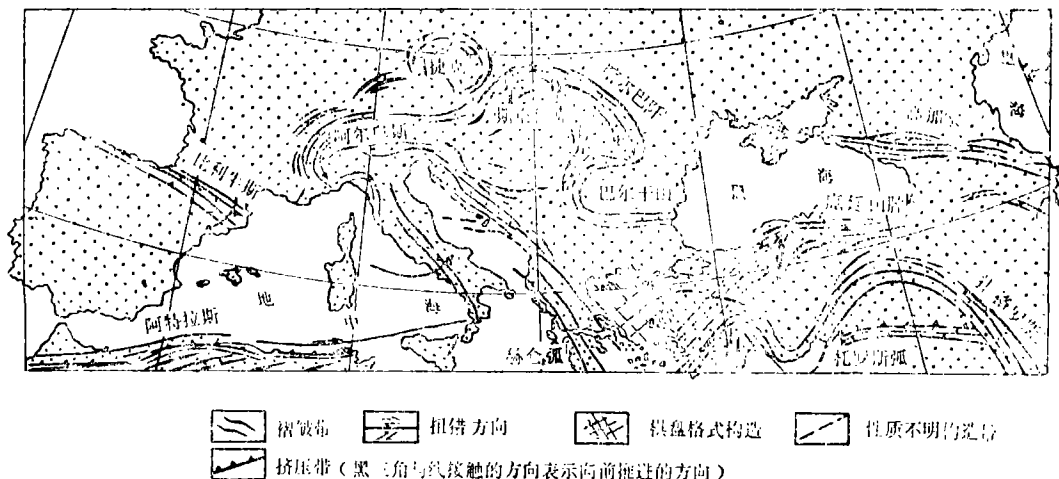
下面根据地壳表面主要构造形象,分析一下中生代以来所反映的地壳运动的方式和方向(图Ⅷ-1)。

1.巨型纬向构造体系 具有全球性、出现在一定纬度上的走向东西的复杂构造带,它们一般都是压性的,尤其是在中纬度挤压特别强烈,如北纬35°附近出现地中海带,大致相当我国秦岭-昆仑东西构造带,是一个多次运动、褶皱强烈的复杂构造带。反映了沿着径线方向有一股反复作用的巨大挤压力存在。

在大陆上,东西复杂构造带的南面,经常有巨大的平错断裂,平错的方向往往是南面相对向西,因而在巨型平错断裂以南的地带中,形成了大批褶皱和断裂的多字型构造体系。在我国中部秦岭和淮阳山字型构造以南,这种往西的拖曳现象极为显著。在国外,地中海南岸巨型纬向构造带也有巨大的



图Ⅷ-1 地球表面最突出的构造形迹和大陆运动的主要方向示意图



图Ⅷ-2 地中海周围旋扭构造示意图

平移断裂, 由于水平扭动的结果, 在欧洲东南部产生了一系列旋轴垂直的巨型旋卷构造 (图Ⅷ-2)。

在大洋底, 纬向构造带主要表现为巨型的平移断裂, 它们不象大陆上巨大构造带那样复杂。再结合目前已发现的山字型构造的弧顶都是指向赤道的定向性来考虑。

以上的构造现象都表明了地壳运动的一个主要趋向是沿着径向自两极向赤道运动的。

2. 巨大至中型径向构造带 该带也有一定的全球性, 其力学性质主要有两种——压性或张性, 但有时也显示压扭或张扭的迹象。如我国西南部的横断山脉、东南亚地区的北段、美洲西岸的科迪勒拉山脉等那样规模巨大的挤压带; 又如三大洋中的海岭、东非大裂谷那样的大型张裂带。另外, 弧顶朝西的山字型, 如我国的祁阳山字型、南美的巴西山字型构造, 就是突出的例证。这些都表明某些大陆或地块有自东向西滑动的趋势。由于各大陆或地块对其基底的固着程度不同, 致使各大陆或地块向西滑动的步调不一致, 结果滑动的前缘受到挤压, 而它的后面受到引张。如美洲大陆相对于欧洲大陆更多地向西滑动, 在大陆之间的大西洋底形成了南北向的张性海岭, 而向西滑动的美洲西岸受到太平洋的阻挡而被挤压, 形成了科迪勒拉—安第斯山褶皱山脉。从我国西南部的云贵地区的地震资料来看, 震源的资料一般在10公

里上下, 这说明地壳运动在那些地区现在还在进行, 也说明往西滑动主要限于地壳的上层。

以上的事实反映了地壳的另一个主要运动方向是沿纬线方向, 而大陆对大洋而言, 常有自东向西运动的趋势。

3. 大型的多字型构造体系 新华夏系、华夏系是规模宏伟的多字型构造体系, 是东亚大陆地区特有的构造体系, 它和中、小型的多字型构造在反映地壳运动的方式和方向上基本相同, 都反映它所在地块两侧发生过相对扭动, 即地壳运动的不平衡性。如我国东部发育的新华夏系、华夏系, 就显示了大陆相对太平洋方面向南扭动。又如主要展布在我国西北部的河西系构造, 表示了与新华夏系构造体系相反的扭动方向; 山字型构造的前弧都向赤道或向西突出, 显示了那里的地壳由于物质的不均一性, 使其所在的地块向赤道方面或向西作不平衡的水平扭动。

4. 其它大型的旋扭构造 在地壳表面有成带状东西集中分布于赤道附近的低纬度地带, 如庞大的澳大利亚旋卷构造是亚澳两洲相对扭动作用的产物, 形成了以班达海为中心的旋涡状构造 (图Ⅷ-3)。加勒比海的旋卷构造是南北美洲之间发生了北美相对南美往西的水平扭动的结果; 地中海地区, 阿尔卑斯—喀尔巴阡旋卷构造, 是由于南欧相对北非发生了相对向东扭错运动。

上述四种方式的运动, 虽然各自都有区

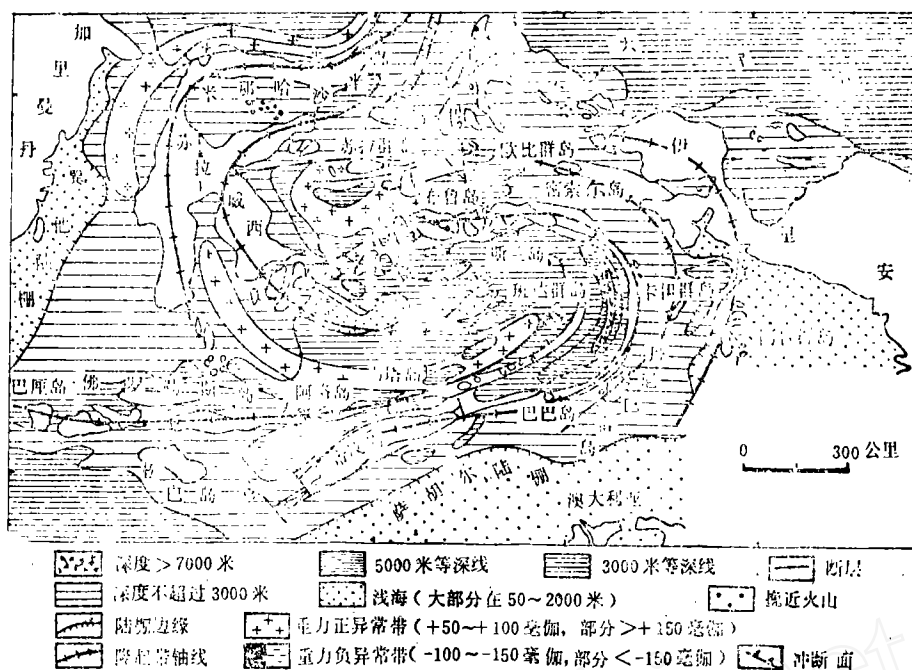


图 3 环绕班达海的旋卷构造

域性的特点,表现了不同的运动方式,但是归根结底,它们总的方向都是一致的。也就是说,从构造体系分布和排列的规律来看,地壳的区域性运动方向和地壳整体运动的大方向是统一的,一致的。这就是地壳运动的定向性规律,即地壳运动具有两种主要的运动方向:一是径向的水平运动,是从高纬度向低纬度的运动,或者说从两极向赤道运动,这种运动形成全球性的纬向构造带;另一是纬向的水平运动,是从东向西的运动,由于这种运动的不均匀,就使陆块或地块彼此靠拢或分离,这样就形成东西向的挤压或引张,并产生沿东西方向的平错。南北向或东西向的运动不平衡时,会产生扭动,形成各种扭动构造。各种扭动构造体系都可以看作是纬向构造或经向构造的变种。

三 地壳运动的起源和动力来源

在确定了地壳运动方式方向的基础上,究竟是什么力量推动了地球表层的物质向纬向或径向作平衡或不平衡的水平运动呢?地质力学认为,推动地壳运动的主要力量是起源于重力控制下的惯性离心力的作用。更具

体地说,就是在重力控制之下,由于地球自转不均衡所引起的惯性离心力的水平分力。这是发动地壳运动的主要动力。

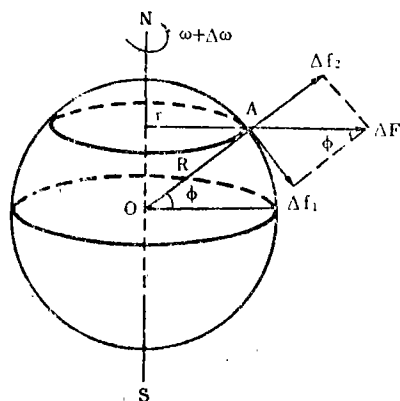
1. 地球自转的惯性力 地球由于自转,其表面形状不是理想球形,而是一个扁球形,称为旋转椭球体。极半径稍短($b = 6356.8$ 公里),赤道半径稍长($a = 6378.2$ 公里)。

设取地面一点A的质量为 m ,纬度为 φ ,与地轴的距离为 r ,地球半径为 R ,当地球自转角速度为 ω 时,球面上A点产生的惯性离心力 F 为:

$$F = mr\omega^2$$

从上式可见:惯性离心力 F 与地轴的距离呈正比,与角速度平方呈正比。所以赤道离心力最大,而两极为零。 F 可以分解为平行地表的切向分力 f_1 和垂直地表的法向分力 f_2 (图 4)。 f_2 的方向与地心引力方向相反,因此被重力抵消,而 f_1 的方向总是沿径向,并从高纬度指向低纬度,我们称这个切向分力为“径向惯性离心力”。由于这个力的作用,引起地球上层物质从高纬度向赤道方向的运移产生纬向巨型复杂构造带及有关的各种扭动构造体系。

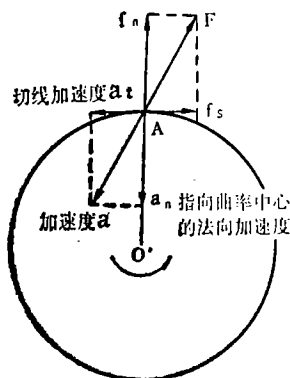
另外,地球自转时,除径向惯性离心力



图Ⅳ-4 经向惯性离心力 (f_l)

外,还有一个由切线加速度引起的“纬向惯性离心力 f_s ”(图Ⅳ-5)。只有地球角速度发生变化时,才会产生 f_s 。在赤道 f_s 达最大值。这个纬向惯性离心力引起地球上层物质向东或向西的运动。

如果再把地球表层与基底的粘结情况考虑进去,当地球自转加速时,纬向惯性力的方向由东指向西,使与基底粘结不紧的地块向西移动;当地球自转速度减慢时,纬向惯性力的方向由西指向东,使与基底粘结不紧的地块向东移动(譬如:甲、乙、丙、丁四个人站在匀速前进的车子上,甲、丁两个人站的较稳,乙站的不那么稳,丙没站稳,因此当车子加速前进时,这四个人相对于车子的运动,造成乙丙分离,丙丁靠近),结果就会导出东西方向的各种水平力。岩块或地块彼此,或因分离而产生引张力,或因受阻而发生挤压或扭动,因此也就产生了各种相



图Ⅳ-5 纬向惯性离心力 (f_s)

应的构造体系。如弧顶朝西的山字型、南北挤压带或张裂带以及大规模的扭动带等。又因在赤道地带 f_s 最大,所以当地球自转速度发生变化时,相对于其他纬度的地区沿东西向滑动更大。

2. 地球自转角速度是有变化的 如果地球在一开始就保持它现有的自转速度的话,那么在其存在的几十亿年的过程中,现有的形状和表层所形成的各种构造早已与整个力场相适应,即达到了平衡状态。但是,地史中曾有过多次全球性的、周期性的构造运动,并且从斯托瓦斯所统计的海水面升降的资料及大量的现代火山、地震资料中可以看出,第四纪以来,地球自转正处于加速的过程中。这就充分说明地球自转速度是有时快、有时慢的。根据近代天文测量和原子钟、石英钟都发现地球自转速度是有变化的。尽管它的变化很微小,在天文上和地质上都能找到这种变化的证据。例如天文观测发现地球自转速度是有长期变化、季节性变化和不规则变化的三种情况。正是这种不规则变化,有可能在漫长的地质年代中积累起来,达到一个足够大的程度,即可破坏地壳的平衡而发动一场地壳运动。又如在地质上发现全球性海水进退的规律性,现代珊瑚与古代珊瑚生长节律的对比等,都说明地球自转速度并非一成不变的。

3. 地球自转角速度的变化和地壳运动的对立统一 地球自转速度发生变化可能有两方面的原因。一个是与地球有密切关系的天体,尤其是太阳与月亮对地球所引起的潮汐作用,会直接影响地球角速度的变化。又如太阳的活动,可使地壳的等温面上升或下降,结果也会导致自转角速度的变化。众所周知,外因是变化的条件,内因是变化的根据,外因通过内因而起作用。在探讨地球自转角速度变化原因时,内因是主要的,所以还应该从地球内部的物质运动过程中去寻找。例如地球内部放射性物质的存在,也会影响等温面发生变化。从以上各种因素来看,无论是等温面的变化所引起的热对流作用,或者是重力分异作用,熔岩对流或者是整个地球的收缩或膨胀,结果都使地球的质量向中心集中或向外扩散。几十亿年来,地

球绕着太阳不断旋转，成为现在这样一个椭球体。在考虑它的运动问题时，有一条规律是不可忽视的，就是一个封闭系统绕定轴旋转物体的角动量守恒这条普遍自然规律。通常可用公式表明如下： $\omega I = C$

式中 ω 为旋转物体的角速度； I 为旋转物体绕着它的旋转轴的转动惯量； C 是常数，为固体对定轴的角动量。

当 I 发生变化时， ω 就必以反比例发生变更，就是说，当 I 减少时， ω 就必然加大。旋转着的地球，重物质向中心渗入，轻物质向上部移动的时候，地球的转动惯量变小，它的自动角速度 ω ，就相应的加快。如果地球不能整个地变成一个适当扁度的扁球来适应自转加快的要求，它就不能不从改变地壳中物质分布这方面来进行调整。这种现象在我们日常生活里是常见的。如舞蹈演员旋转动作的速度变化，也是这个道理：演员先将一只脚尖立地作轴，其余三肢全伸展开，并加力使身体绕脚尖旋转，然后突然将三肢收拢起来（起到使质量集中的作用），则旋转速度立即增加，从而显示出精彩的舞姿。

在地球自转角速度逐渐加快的过程中，地球不能整体变扁，以适应自转加快的要求，那么就不能改变地壳中物质的分布来加以调整，特别是地壳的上层各部分之间发生滑动。如由于径向惯性离心力而造成的径向水平错动，使物质从高纬度向低纬度移动；

又由于纬向惯性力而造成的纬向水平错动，使物质产生向东或向西的运动。另外，在调整的过程中，地壳表层有些部分跟不上地球自转的步伐，而发生不等速的相对滑动。这就是地壳运动的统一性。定时性和定向性的基本特征，可以从构造体系的全球分布规律表现出来。

一次地球自转速度的比较明显的加快，导致地壳表层产生一次全球规模的强烈地壳运动。在地壳运动发生的时候，地壳下部的岩浆必然乘机活动，从裂隙中侵入地壳上部，甚至喷出地表，这样使深部密度大的物质向地球表面扩散。这种现象和大陆上的径向和纬向水平扭错运动，以及对地球深部发生摩擦的影响结合起来，好像自动刹车的车伐一样，使地球自转的角速度重新又变慢了，这样又有可能发生运动方向相反的地壳运动。这就是“大陆车伐”说。

可见，在一场全球性的地壳运动发生之前，地球自转有一个加速的过程，运动发生后又有一个减速的过程。就是说，地壳运动是地球自转的自动调节器或“自动车伐”，是控制地球自转速度的自动机制。由此可见，地球自转加快就包含着使它变慢的作用；变慢的过程，又积累着加快的因素。这是对立的统一。它是和许多自然现象所显示的对立统一的普遍规律相符合的。

〔全讲坐完〕



XINFANGFA

冷冻台光窗去雾方法

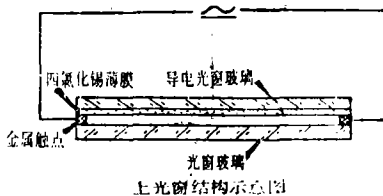
冷冻台（即冷台）是对矿物气液包裹体进行冷冻研究的重要装置。现有冷台的结构虽各有不同，如有的只有下光窗玻璃，上面物镜与冷台之间用橡皮套与冷台盖联接，使冷台工作时保持低温状态，但多数都安装有上下光窗玻璃。

制冷时，冷台光窗玻璃外面，由于内外温差大而起雾和凝霜，致使不能对样品进行观察。为了去雾，有的在光窗玻璃上绕上电热丝，通以微热电流产生微热；也有的向光窗玻璃表面吹热风或用镜头纸擦拭。

我们在实践中采用给“导电光窗玻璃”通以电流，使其产生微热减少温差的方法防止起雾和凝霜。

“导电光窗玻璃”，是按光窗玻璃的规格制成后，置于烘炉中加热到45℃左右，然后在其表面均匀地喷上四氯化锡薄膜，即得到具有一定电阻值、透明的导电光窗玻璃。

安装时，导电玻璃导电的一面朝向冷台，在其相对的边缘安装两个金属触点并用导线引出，接入适当电压



的交（直）流电源。为减少对台内冷阱低温区的影响，还需在其内加一光窗玻璃（如图）。我们在电阻为1.5千欧的导电光窗玻璃上，通以20伏交流电，可使其表面温度升至30℃左右，去雾效果良好。

（成都地质学院找矿系包裹体小组）