

古地磁学对地层、岩石和大地构造的意义

П.Н. 克罗波特金

一、研究古地磁学也就是研究岩石的自然剩余磁性。这是地球物理学中的一门新科目，在苏联、西欧以及美国，都引起了地质学家们的极大兴趣。近五年来，地球物理学中的这门新科目发展得相当快，它对地质学的理论研究已具有很大的意义。此外，在石油矿床和天然气的勘探上，古地磁学也实际地应用来对比地层剖面和测井上。在苏联，无论是在地质部门（莫斯科地球物理勘探研究所，全苏地质研究所，列宁格勒石油地质勘探研究所等等），或者是在科学部门（莫斯科地球物理研究所），乌克兰科学院，亚美尼亚科学院以及其他科学院，都制定了近年来大力开展研究古地磁学的计划。许多新型的高灵敏度的仪器也已设计出来进行岩石的剩余磁性的研究。在1958年4月，于莫斯科召开了全苏古地磁学会会议，制定了今后的计划。并组织了委员会，在这个委员会的成员中有地球物理学家，也有地质学家。1956年在英国曾召开了古地磁学大会，参加大会的有来自印度、澳大利亚及其他国家的学者们。这次会议的文献具有重要的价值。将于1958年年底在伦敦，由苏联科学院和英国的主要科学机关组织召开国际古地磁学代表大会。

二、岩石的剩余磁性主要决定于磁性矿物——磁铁矿(Fe_3O_4)、赤铁矿(Fe_2O_3)、褐铁矿($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、磁赤铁矿(Fe_2O_3)，假象赤铁矿，磁黄铁矿及其他磁性矿物的存在——这些矿物在形成时在地磁场的磁力线方向上发生了磁化，然后，它们就将这种定向磁性保存几百万年。由于磁铁矿细小混合物的存在，甚至象钛铁矿、菱铁矿、闪石、蛇纹石、铬铁矿也有剩余磁性。磁铁矿和赤铁矿能够与钛铁矿一起形成所谓固熔体，这种熔体也具有铁磁矿物的性质。所有以上列举的矿物，一直到分散在岩石中的很小的颗粒，就象微细的磁针一样，它们当岩石形成时，所具有的那种定向磁性位置可以长期地保存在岩石中，就象在地球上替我们保存下来的表明生物发展历史的古生物遗迹一样。这些磁性矿物替我们保存了地磁场变化和磁极移动的历史。地球磁轴的位置靠近地球的旋转轴，但有时向这个方向，有时又向另一个方面偏转：例如现

在的地磁轴与旋转轴成 10° 交角。但是根据有关地磁轴的位置之许多资料的统计，许多相反的偏转互相抵消。这样一来，对任何一个地质时代所确定的地磁轴的平均方向就都与地球的旋转轴相符合，因此就可能确定整个地质时期地球地理极的移动，并能计算出地理纬度和以前各个地质时期地壳的各个地区的相互位置关系。

三、自形成时起即很好地保持磁化方向的岩石称为磁性稳定的岩石。例如一些7亿年到10亿年的红砂岩和基性熔岩。如北美上湖区附近十亿年以上的居英纳凡(Кьюинаван)系的红砂岩和基性熔岩。但岩石经受到变质作用和矿物发生重结晶时，就破坏了原有的磁化方向。因此，深变质的岩石和风化很深的岩石都不适于作古地磁的研究。

几乎所有的火成岩和5—10%的沉积岩，如红色砂岩、红色粘土和泥灰岩、许多褐色、黄色或紫色的含有相当数量的磁铁矿物的砂页岩、铁矿石、锰矿石、含氧化铁的铝土矿以及火山凝灰岩和凝灰质砂岩等，都是磁性稳定的岩石。根据最新的资料知道，化学沉积的或生物化学沉积的石灰岩也属磁性稳定岩类，但磁化很弱，只有用高灵敏度的仪器才能进行研究。

磁性不稳定的岩石如：大多数灰色和暗色泥质岩，一些碳酸岩类和砂。这些岩石已部分地或全部地依现代磁场的磁力线方向重新磁化了，其中的感应磁性已超过剩余磁性，因此也不适于作古地磁的研究。

四、古地磁研究中所研究的剩余磁性向量，有三种岩石可以获得：1.火成岩；2.碎屑岩沉积；3.化学沉积岩。

火成岩当岩浆固结和冷却时产生所谓降热磁化，这就是说当温度接近所谓居里点($500^\circ\text{—}650^\circ$)时，铁磁性矿物特别易于磁化，而磁化方向也最易保持不变。

沉积岩的剩余磁性的定向完全是另一种方式形成的。每一个磁性矿物的颗粒通过岩层落入水底时都象一个微小的磁针，它能沿着作用于它的磁场的磁力线转动自己的磁轴。由于许多颗粒都具有了这种定向，

結果就反映出整个岩石的磁化方向。这点可用实验方法来检查：把有磁性的砂子撒在盛满水的2公尺高的器皿中，砂沉入底时已获得与現代磁力綫方向一致的磁性定向。此外也可用最近沉淀在海底的松散沉积物来作試驗。

化学沉积岩，例如一些碳酸岩和铁矿石，磁化定向的产生与前两种不一样，是第三种类型。当膠体粒子由溶液中分离出来时已具有磁性，而且在其聚集形成較致密的岩体时也保持着这个磁性。

根据这三类完全不同的岩石所确定的一定地質时期内地磁場的方向性，結果都一样，这一事实直接說明了古地磁学的主要結論是正确的。

五、对于地层学，对于研究出新方法进行地层对比和电測鑽井來說，古地磁学提出的地磁場回返的事实具有一定的意义。由于回返的結果，磁极有时靠近地理北极，有时靠近地理南极。这样的变化也在岩石剩余磁性向量的定向上留下了烙印。显然，这种回返現象在地質年代地层表上可能是世界性的标志。因此可用来对比地层。赫拉莫夫認為回返时期的長短，也就是地磁場发生較快的变动的时期長短，約为一万至五万年。稳定正常的或相反的磁极位置相互交替的时期，在上新統和第四紀約有三十万至五十万年。赫拉莫夫，把西土庫曼上新統沉积岩分成14个这样的帶，每帶厚約200—300公尺。这些帶可能就相当于地层磁帶，这是根据玄武岩和其他噴出岩的剩余磁性分出来的，如爱納尔遜在冰島作了划分（新生代約有30个帶）阿柯宾在阿尔明尼亞，罗什在法国、奥勃代克和朗柯在美国以及日本的許多地球物理学家在本州所作的划分等。

上第四紀和中第四紀的沉积层和火成岩各处都以磁性正常定向为特点，而下第四紀沉积层和上新統最上部的岩石則是相反的磁性。因而最后一次回返应发生在下第四紀，約五十万年以前。

在較古老的地質时代，如泥盆紀，各次回返期之間的时间是相隔很長的，有时达数千万年。

正如上文指出的，苏联正在研究勘探石油和天然气时按岩石的古地磁率来作剖面測井和对比所用的方法和仪器。在这方面，不久以前作者发表了一本名为“沉积岩层的古地磁对比法”。

六、对于岩石学和古气候学，古地磁学提出的有关兩极、赤道和地球的各个气候帶的移动情况的結論，也是极有价值的。我們知道，有許多沉积岩和有用矿产的形成都取決于气候条件。鹽和石膏沉积在干燥炎熱的地帶，煤炭形成于湿潤的热帶或潮湿寒冷的地帶。冰磧层和冰川則发生在接近地理極地的酷寒地

区。斯特拉霍夫院士曾指出，鉄、錳、鋁、磷等矿床的形成也决定于气候。

在沉积岩的分布上早就存在着謎一样的問題，例如这样的事实，即西伯利亞在北緯50°和63°之間，也就是已接近極地的寒武紀地层中产有鹽，在中国北緯20°和40°之間，也就是接近赤道的地方，在震旦紀下部发现冰磧层。好象这应是相反的事。还有一些反常的古气候現象，如加拿大馬肯齐河位于北緯60°，这一帶含鹽的泥盆紀地层分布很广，苏联勒拿河河口附近位于北緯75°左右，这里含鹽沉积也广泛分布。

在北緯77°—80°，也就是靠近現代極地的斯匹茨卑尔根島和格陵蘭有石炭紀的石膏和硬石膏，含有热帶植物化石的煤，而在現今的亞热带，在北緯20°的印度却发现上石炭紀的冰川沉积。

有一些地質学家早就根据这些奇怪的事实作出結論，自古生代至今兩极发生了很大的移动或者說大陆向兩极移动了（魏格納、斯特拉霍夫）。地理極地的長期变动与所謂岁差，章動震动是不一样的，根据苏联的最古老的普尔科夫天文台（列宁格勒附近）早已发现了緯度逐漸变化的現象。这个天文台已作了將近一百年的极精确的天文观察，发现北极逐漸离开普尔科夫向美洲或格陵蘭移动。不久前苏联的奥尔洛夫和英国的柯德与梅尔修尔对50年来世界天文站所所作的天文观察果实的資料作了分析，比較精确地算出这个运动的情况如下，現代的極地向紐芬蘭島或拉布拉達半島（西經56°—69°）以年速6—12公分的速度移动。天文学家和地球物理学家格德、曼克和列文認為这个移动是整个地球朝轉动軸的緩慢挪移，軸的方向在地球上仍保持未变。地球的这种移动以及相应的兩极沿地表的移动，可能是由于地心物質的重力分異不均匀而引起的。

上文已指出过，根据岩石的剩余磁性也可确定出兩极的变动。

确定了岩石的剩余磁性向量的方向并校正了最后錯动引起的岩层傾度以后，就可以測出这一岩石的剩余磁性向量的偏角D和傾角I。当岩石形成时（如果是沉积岩就是沉积时期，如果是火成岩就是冷却时期）通过其形成的磁子午綫 φ ，这样就很易將其画在地球仪或平射投影图上，因为这个子午綫与現代地理子午綫与現代地理子午綫形成偏角D。形成岩石的古地磁緯度可用傾角I按公式 $\text{ctg}(90^\circ - \varphi) = \frac{1}{2} \text{tg} I$ 算出。

把剩余磁性的向量的許多測量数据作統計处理时，古地磁緯度 φ 应与岩石形成时的那个地理緯度符合。从取岩石的一点沿古地磁子午綫作一弧，使其等于 $90^\circ - \varphi$ ，我們就可找出相应时代的極地位置。这样，按

根据苏联、西欧、北美磁性稳定的岩石确定磁极位置

地 質 时 期	北 极 位 置		取 标 本 的 地 区 和 岩 石 的 組 成	平 均 位 置	
	緯 度 (北緯)	經 度 (东經)		緯 度 (北緯)	經 度 (东經)
寒 武 紀 "	0° 15°	158° 173°	美国德克薩斯州的粉砂岩(Cm ₂) 英国开尔符基烏埃尔斯砂岩系(Cm ₁)	8°	166°
志 留 紀 " "	19° 16° 22°	138° 140° 141°	美国罗茲希爾, 馬里兰沉积岩层(S) 苏联波利亚尔內依, 烏拉尔橄欖岩(S) 苏联波利亚尔內依, 烏拉尔, 石英閃长岩(S ₃ -D ₄)		
泥 盆 紀	34°	156°	英国烏埃尔斯, 石英砂岩, 頁岩(D)	34°	156°
下石炭紀 "	41.5° 51.5°	135° 142°	美国巴尔達特, 德克薩斯, 鈣質結構和頁岩(C ₁) 英国捷尔比希爾的中部砂岩, 及砂岩与噴出岩夹层(C ₁)	46.5°	138.5°
上石炭紀与二叠紀 " " " " " "	45° 36° 43° 36.5° 45.7° 45° 43° 38° 45° 45°	120° 116.3° 164° 169° 165° 130.5° 168° 162° 185° 178°	美国奈科, 亚利桑那, 砂岩(C ₃) 美国苏巴因, 亚利桑那砂質頁岩层(P ₁) 英国埃克謝德爾, 德文什尔火山岩(玄武岩)(P) 苏格兰英契比因系橄欖玄武岩(P) 挪威奧斯陸, 地盤玄武岩和輝石斑岩(P) 法蘭西东南部埃斯捷列尔, 流紋岩(P) 法蘭西尼德克, 佛日山脉, 斑岩(P) 法蘭西莫恩謝尼, 莫尔凡, 紅色砂岩(P) 法蘭西全文捷尔, 紅色砂岩(下紅色岩层)(P) 苏联別尔木城西南的卡馬河的紅色泥岩和粉砂岩(烏菲姆斯建造和嘉桑建造(P ₂))		
三 叠 紀 " " " " " "	55° 54° 55° 63° 43° 52° 59°	107° 90° 88° 93° 131° 176° 114.3°	美国斯普林哥德埃爾, 犹他, 砂岩(T ₃) 美国霍利奧林附近, 馬薩諸塞, 礫岩(T ₃) 美国康涅狄格, 玄武岩岩层和基性岩(T ₃) 美国布兰苏伊克, 新澤西紅色砂質岩层(T ₃) 英国南布克伊彼拉, 泥灰岩和砂岩(T ₁) 苏联基洛夫城东南的雅亞特長河的紅色砂質泥岩和泥灰岩(薩韋建造和維特卢日斯基建造(P ₂ +T ₁)) 北西伯利亚, 叶尼塞河流域, 噴出暗色岩(T)	57° 51°	94.5° 140.5°
上白堊紀和老第三紀 " " " "	77° 74° 73° 60°	127° 133° 113° 158°	美国达科塔, 砂岩(Cr ₂) 北爱尔兰安特里姆, 玄武岩岩层(Pg ₂) 法蘭西中部的侵入体(Pg ₃) 西士庫曼, 砂岩和其它沉积岩(Pg ₁ -Pg ₃)		
新第三紀和第四紀	接近現代地理極位置 (70°-90°北緯)				

偏角D和傾角I就不准在地球仪或平射投影图上画出极地的位置, 或按球面三角的公式算出这个位置。

上表是古生代、中生代和新生代磁极位置的综合表, 这是根据苏联、西欧和美国的岩石所作古地磁研究計算出来的。极地移动的曲綫是依据朗柯、爱尔兰格的类似資料(一部分是美国和欧洲的)以及赫拉莫夫的資料繪制的。他們都指出, 寒武紀极地的位置是在現代赤道太平洋地区的西部, 以后在古生代逐漸向太平洋西北岸移动, 中生代时, 移向东北西伯利亞, 在新生代时, 經過北冰洋极地向現代的 极 地 位 置 移动。

我曾經把欧洲和亞洲北半部的古地磁和古气候的資料作过对比, 結果說明, 关于各种沉积岩分布的地質資料与古地磁学家作的沉积位移的結論是相符合的。几乎所有謎一样的古气候的反常現象都将得到解釋, 如果承認极地发生过位移的話。根据苏联、西欧和美国的岩石所作古地磁研究的資料知道, 在中生代

(自三叠紀起)和新生代, 极地移动的速度是每年2—3公分, 而方向就是近50年来天文观察資料所确定的方向(西經50°~70°)。但显然現代极地位移的速度比中生代和新生代位移的平均速度即一亿七百万年来的平均速度, 要大几倍。

七、古地磁学对于大地構造学也有特殊的意义, 因为古地磁学最先使我們能确定地壳上各个地块(大陆)的水平移动, 从而檢查了各种关于地槽凹陷、地塹、海洋盆地中的山脉、褶皺形成的構造理論。

問題在于对比过去地質时代极地的位置 and 移动的資料时, 出現系統差異, 而且只有在假定各大陆发生了相当大的相对水平位移时才能对这种差異加以解說。例如, 寒武紀至新生代极地位移的曲綫(依据美国岩石的古地磁研究制成)比西欧和苏联岩石的古地磁研究制成的曲綫要稀得多, 虽然兩者形狀相似。这两条曲綫在現代地理极地附近汇合, 但极地位置的差数在二叠紀和三叠紀地层上是46°~47°, 寒武紀地层

是 15° 。朗柯、波依斯等人解釋这个差数是由于三叠紀以后北美向欧洲以西移动。朗柯估計位移的幅度为 24° 。波依斯估計为 45° （經度）。

爱尔兰格根据澳大利亚上古生代，侏罗紀和第三紀岩石的古地磁研究制成了极地位移曲綫图，印度和英国的科学家根据印度、印度斯坦的侏罗紀、白堊紀、下第三紀和上第三紀火山岩的古地磁研究制成了曲綫图，这两个图与欧洲的曲綫图差別还要大。所有这些极地位移曲綫中只是最年輕的上第三紀和第四紀地层才在現代极地区汇合，而古生代、三叠紀和侏罗紀地层的极地位移曲綫則相差甚大。另一方面，很清楚，任何时代地球只能有一个轉动軸，而磁軸的平均位置就应当与它相符合。

如果要把已得极地位移曲綫綜合起来，或是，例如把澳大利亞、欧洲和北美上古生代岩石的古地磁研究算出来的极地位置，或是澳大利亞、印度、非洲、南美侏罗紀岩石的古地磁研究算出来的极地位置結合起来，必須假定过去地質时代的各大陆的位置关系与現代的不一样。这样就会算出，澳大利亞自上古生代至今已向东北移动了数千公里，而印度斯坦自侏罗紀至今已自南向北也移动了許多公里。根据古地磁的研究資料，非洲、印度斯坦、澳大利亞和南美的各个地台在古生代末期和侏罗紀应彼此离得很近。

我們知道，地史学家早就（自修士1870年）确定这些地区曾是一个統一的整体，形成連綿一片古生代大陆——崗瓦納古陆。大西洋和印度洋海盆地的形成和扩大显然都与地壳的張力作用有关，結果崗瓦納大陆由于相互距离漸远而形成許多“小块”。

古地磁学提出的大陆位移的結論，在水平移动的时间、方向、規模（距离）上都完全符合地質学家——魏格納、多依特、李奇柯夫等——提出的構造理論——活动論。因此，几乎所有研究过古地磁学的地磁学家都支持这个学說。

1952~58年以俄文出版的李四光教授的兩本書，我已很仔細地讀过，知道他也認為地壳的块狀水平位移起很大的作用，并把它看作是各种構造錯动的原因。

在加利福尼亞、苏格蘭和苏联（苏联吉尔吉斯塔拉斯—費尔干大断裂）直接研究了扭碎錯动，知道地壳的水平位移确有不小的意义。这些位移的規模大概达100~200公里。不久以前，著名的地球物理学家古登别尔格在其1956年发表的一篇論大陆水平位移的文章里，已对这种情况加以注意。

八、我个人認為，如果我們坚持大地構造学上的固定論，也就是否定水平运动和只承認地壳和复盖物質的垂直运动，正象別洛烏索夫和王一別梅連發揮的学說認為的那样，那末將不能解釋構造錯动的現象。比較正确地概念还是苏联奥布魯契夫和烏索夫院士提出的脉动說。这个学說假設地球的收縮期和扩展期是相互交替的，因此：地壳（硅鋁层）是发生块狀水平位移的，也就是由長期为張力占优势的地区向收縮力为主的地帶移动。

我在1948年举行的第一屆全苏構造学會議上作的报告中以及1948~1956年間发表的文章內，都提出了地球物理的和地質的論証支持这个脉动說。

在張力帶形成撓褶、断层、地堑，因此所謂是硅鋁层厚度减小。与地壳的伸張和变薄的狹窄地帶相适应的是发展初期阶段的地槽凹陷，以及地台和褶皺区边界的边缘凹陷。这样，伸張的最寬濶的地区变成海洋盆地，地壳变得很薄（只3~8公里）沒有所謂花崗岩层。

在另一些地区則相反，这里在許多次地球收縮作用的过程中都集中了水平收縮力，因此造成褶皺山脉，形成褶皺、逆掩断层、大冲掩断层，地壳及花崗岩层則加厚。显然地壳这种加厚，一方面是由于褶皺和逆掩断层的重叠和水平作用力把地壳的下部压扁，另一方面則是由于岩漿侵入地壳（花崗岩侵入体等）和火山岩溢流到地表。使得地壳变厚和大量的岩漿由地壳深处基层上升，好象就是受到这些压应力被挤上来的。

从上文所述已很清楚，古地磁学对于研究地层学、岩石学和大地構造学的理論性問題，对于古地磁对比方法的实际应用，都具极大的意义。