

# 我国初唐时期(公元642年前后)西藏拉萨大昭寺 古砖的考古地磁学研究\*

中国科学院地质研究所古地磁学实验室

## 一、引言

古地磁学的研究成果为大陆漂移说的复活以及板块构造说的创建发挥了积极作用。此外,追溯人类历史时期和史前时期的地磁场强度及方向的变化特征,是古地磁学的一门分支——考古地磁学研究的主要任务<sup>[1]</sup>,它对认识地磁场的演化特点、解答地磁场起源问题,以及考古学诸方面的研究,有着相当重要的意义。本文简要报道我们实验室于1975年对拉萨大昭寺古砖的测定结果,提供考古地磁学的一些实际资料。

## 二、标本

根据历史记载,早在公元641年(贞观15年),唐太宗以宗室女文成公主与松赞干布联姻,拉萨大昭寺就是公元642年即文成公主从长安到达拉萨后第二年动工兴建的,砌墙所用的砖头系以拉萨地区红层做原料就地建窑烧成。大昭寺建成后,于公元900年曾做过修整,只是用砖砌墙把里屋东西两侧扩建加宽成往外凸出的小屋,后在元、明、清时又作修建,并对其外围做了扩建,但都是土坯砌墙。西藏解放后,党和政府采取了有效的保护文物的措施,1973年对大昭寺进行了精细的复修。本次工作所用标本就是这次修建时从里屋南侧换下的三块唐代古砖,其中,1号砖是一整块,2号、3号砖都只有半块大小,用这些古砖总共加工成10块 $4 \times 4 \times 4$ 厘米见方的立方体标本,1号砖切成6块样品,

编号为 No. 1-1、1-2、1-3、1-4、1-5、1-6; 2号和3号古砖各切成2块样品,编号为 No. 2-1、2-2; 3-3、3-4。

## 三、测定方法

根据我们现有实验条件,采用传统的Thellier法测定古强度<sup>[2,3]</sup>,其原理如下:

把含铁磁性矿物的标本加热到居里点 $T_c$ 并在磁场 $F$ 下缓慢冷却到室温,此时获得热剩磁( $TRM$ ) $\frac{1}{2} F$ ,这里 $T_0$ 代表室温, $T_c$ 代表居里温度, $F$ 代表标本冷却时的外磁场。

倘使标本在居里点以下某个温度区间( $T_1-T_2$ ;其中 $T_c > T_2 > T_1$ )加热并在磁场 $F$ 中冷却,该标本也会获得一个热剩磁,但它比从居里点冷却到室温所获得的热剩磁在强度上要小些,叫做标本在该温度区间获得的部分热剩磁( $PTRM$ ) $\frac{1}{2} F$ 。为防止混淆,特着重指出, ( $PTRM$ ) $\frac{1}{2} F$ 所代表的是这样一个部分热剩磁:在其生成过程中,当温度 $T$ 在 $T_2 > T > T_1$ 时外磁场为 $F$ ;在 $T_c > T > T_2$ 和 $T < T_1$ 时外磁场皆为零。

热剩磁不仅十分稳定,还具有下述一些特征:

(1) 当外磁场 $F$ 比较弱(小于 $n$ 奥斯特)时,热剩磁以及部分热剩磁与外磁场成比例。

$$(TRM) \frac{1}{2} F = F f(T_c, T_0; H_c), \quad (1)$$

本文1977年4月10日收到。

\* 本文研究标本是本文笔者中刘椿、林金录同志于1974年参加中国科学院青藏高原科学考察队时搜集的。在藏工作时,得到拉萨文物管理处廖思华、程竹敏和考察队林振跃等同志的大力协助,特此致谢。

$$(PTRM)_{T_i}^T[F] = f(T_2, T_1; H_c), \quad (2)$$

式中  $f$  是一个依赖于温度区间以及铁磁性矿物的矫顽力  $H_c$  等的函数, 通俗地说, 函数  $f$  反映标本获得热剩磁的能力。

(2) 部分热剩磁有可加性

$$(TRM)_{T_i}^T[F] = \sum_{j=1}^N (PTRM)_{T_i}^{T_{j+1}}[F]. \quad (3)$$

(其中  $T_c = T_{N+1}$ )

(3) 部分热剩磁有独立性, 即对部分热剩磁  $(PTRM)_{T_i}^T[F]$  来说, 当在无磁场空间 ( $F = 0$ ) 加热到  $T_i$  后冷却到  $T_1$ , 它就会完全被清除掉。

测古强度的 Thellier 法就是基于热剩磁的上述特征。此法研究对象一般限于火山岩或被其强烈烘烤的粘土, 经过焙烧制成的文物如砖瓦陶器等<sup>[4]</sup>。它们具有的天然剩磁 (NRM) 主要就是热剩磁, 稳定性较高, 一般可简化成下式表示:  $NRM = (TRM)_{T_0}^T[F]$ ,  $F$  是地磁场的古强度。

本工作采用二次加热法<sup>[1,5]</sup>, 其特点是让标本直接在地磁场中冷却而不必建立无磁场空间。具体实验步骤如下:

(1) 标本放在加热炉内缓慢加热到  $T_1$ , 并使其在  $T_1$  停留大约一小时, 然后取出放在地磁场中, 使标本坐标系的  $X$  轴指向磁北,  $Z$  轴垂直向下 (图 1a), 让它自然地冷却到室温  $T_0$ 。

(2) 对标本测量, 其结果为  $A_1^i$ 。显然:

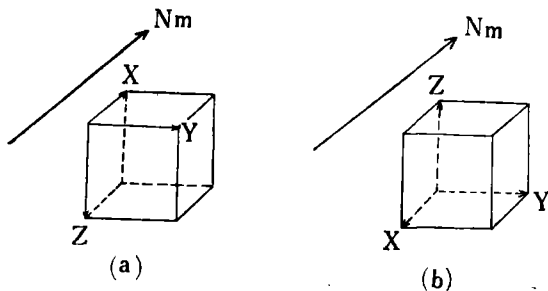


图 1 Thellier 二次加热法标本加热后, 在地磁场中冷却时所放置的方向

(a) 标本  $X$  方向与现今地磁场  $N$  向一致;

(b) 标本  $X$  方向与现今地磁场  $N$  向相反

$$A_1^i = (PNRM)_{T_i}^T[F] + (PTRM)_{T_i}^T[F_0], \quad (4)$$

式中  $F_0$  代表实验过程中地磁场的强度。

(3) 再次把标本加热到  $T_1$ , 使其在  $T_1$  停留约一小时, 然后取出沿着与地磁场相反方向放置, 使标本坐标系的  $X$  轴指向磁南,  $Z$  轴垂直向上 (图 1b), 让它自然冷却到室温  $T_0$ 。

(4) 对标本测量, 结果为  $A_2^i$ 。显然

$$A_2^i = (PNRM)_{T_i}^T[F] - (PTRM)_{T_i}^T[F_0], \quad (5)$$

由此可见,

$$(PNRM)_{T_i}^T[F] = \frac{1}{2} (A_1^i + A_2^i), \quad (6)$$

$$(PTRM)_{T_i}^T[F_0] = \frac{1}{2} (A_1^i - A_2^i). \quad (7)$$

注意:  $A_1^i, A_2^i$  皆为矢量, 故其加减是矢量加减。

显然, 对温度  $T_2, T_3, \dots, T_n (T_1 < T_2 < \dots < T_n)$ , 通过以上四个步骤可分别求得

$$(PNRM)_{T_2}^T[F], (PTRM)_{T_2}^T[F_0],$$

$$(PNRM)_{T_3}^T[F], (PTRM)_{T_3}^T[F_0],$$

..... , .....

$$(PNRM)_{T_n}^T[F], (PTRM)_{T_n}^T[F_0].$$

因对每一个温度  $T$  标本都先后加热两次, 故称二次加热法。根据热剩磁的可加性原理

$$(PNRM)_{T_n}^T[F] = (NRM)_{T_n}^T[F] - (PNRM)_{T_n}^T[F], \quad (8)$$

以及热剩磁与其形成时的外磁场成比例的特性:

$$(PNRM)_{T_n}^T[F] = f(T_n, T_0; H_c), \quad (9)$$

$$(PTRM)_{T_n}^T[F_0] = F_0 f(T_n, T_0; H_c). \quad (10)$$

将 (9)、(10) 式代入 (8) 式中得

$$(PNRM)_{T_n}^T[F] = (NRM)_{T_n}^T[F] - \frac{F}{F_0} (PTRM)_{T_n}^T[F_0]. \quad (11)$$

由此可见,  $(PNRM)_{T_n}^T[F]$  与  $(PTRM)_{T_n}^T[F_0]$  成简单的直线关系, 它所对应的直线的斜率 (绝对值)  $\frac{F}{F_0}$  即为地磁场的古强度与

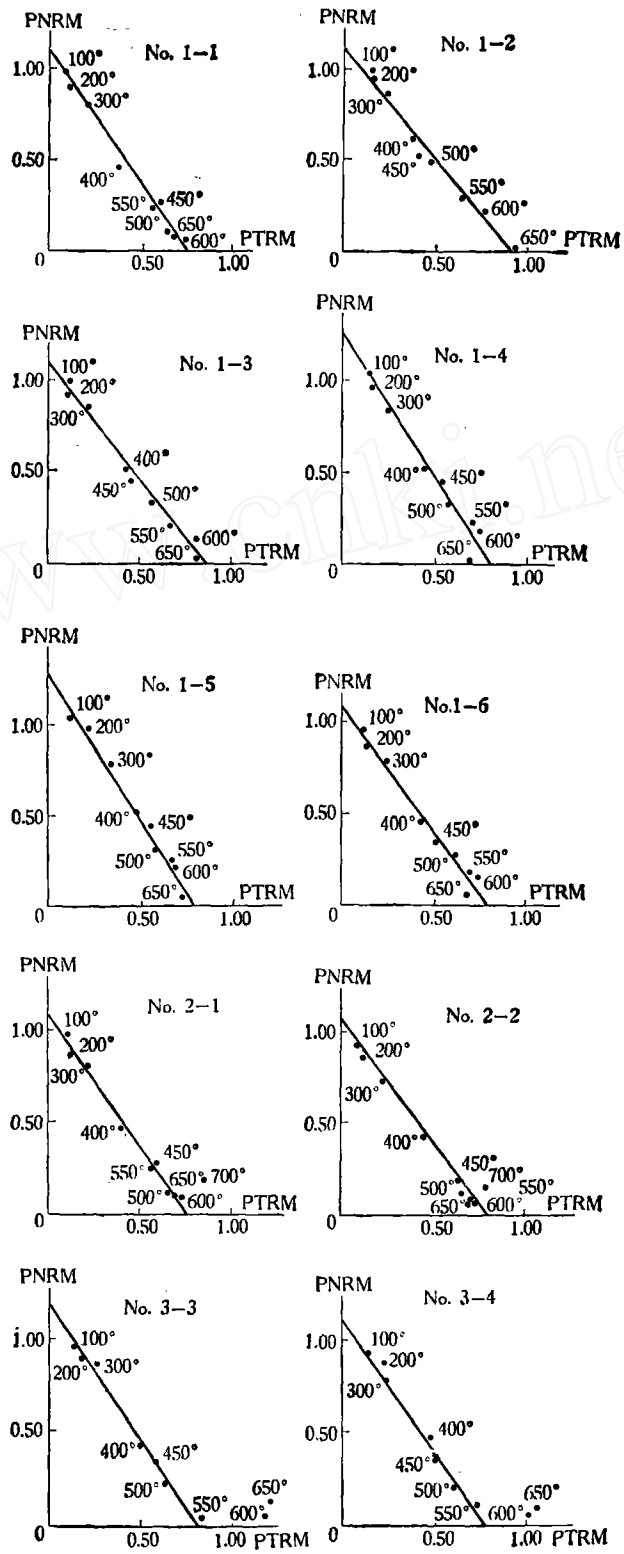


图2 标本 PNR—PTRM 关系图

现今强度之比.取  $PNRM[F]$  为纵轴,  $PTRM[F_0]$  为横轴,把对不同温度的  $PNRM[F]$  和  $PTRM[F_0]$  点划到图上,不仅可推断出  $\frac{F}{F_0}$  的大小,还能从其线性好坏判断出每个数据的可靠性,分析误差较大的数据图点产生的原因而决定其取舍,定出适宜于计算古强度的温度区间.

#### 四、结 果

前已述及,用 Thellier 法测定古强度,标本应该满足三个最基本的条件:一是属于热剩磁;二是这种热剩磁自形成后能稳定地保存到至今;三是在实验过程中铁磁性矿物不发生变化.其实, Thellier 法逐步加热、冷却的过程就可把标本中剩磁粘滞衰减和粘滞剩磁的影响消除掉<sup>[3,4]</sup>. 本工作结果绘制的  $PNRM-PTRM$  图线(图 2)表明,为求得可靠结果,略去可能是受粘滞衰减和粘滞剩磁影响较大而有明显偏离的室温端测点,即不高于  $100^{\circ}\text{C}$  的温度范围.此外,  $600^{\circ}\text{C}$  或其以上测点也表现较大偏离,可能是随温度升高而物质成分发生显著化学变化所致.自然,在这种情况下,(9)、(10)两式中对应的两个函数  $f(T_e, T_0; H_c)$  因  $H_c$  改变而不再相等,(11)式关系也不存在.事实上,这类测点已不满足 Thellier 法基本要求,在计算时也应略去.

每次测量前,我们都用 KT-3 型磁化率仪测定了标本的磁化率,发现  $600^{\circ}\text{C}$  以前磁化率大致保持不变,表明加热过程中标本的物质成分无大变化,实验表明,在  $100^{\circ}\text{C} < T < 600^{\circ}\text{C}$  的温度范围内,所用古砖满足古强度研究的必备条件.所以,我们选定适于 Thellier 法的温度区间按最小二乘法求出  $\frac{F}{F_0}$  的斜率(表 1),即拉萨地区的古强度与北京地区现代地磁场强度之比.若取北京地区现代地磁场平均强度  $F_0 = 0.550$  奥斯特,则

拉萨地区在公元 642 年前后的古强度  $F = 0.759$  奥斯特.为了比较各个地区测定的古强度值, Thellier 提出若在古代地磁场也具偶极子场特征,则可按(12)式把各地区古强度测值统一折算到  $65^{\circ}$  等倾线上的强度值.

表 1 标本的  $F/F_0$  值和选定的温度区间

标本号码	$F/F_0$	温度区间( $^{\circ}\text{C}$ )
1—1	1.416	100—650
1—2	1.194	
1—3	1.268	
1—4	1.549	
1—5	1.583	
1—6	1.363	
2—1	1.396	100—650
2—2	1.296	
3—3	1.361	200—550
3—4	1.416	
平均	$1.38 \pm 0.12$	

$$\begin{aligned} \frac{F_{65^{\circ}}}{F} &= \frac{(1 + 3\cos^2 65^{\circ})^{-1/2}}{(1 + 3\cos^2 I)^{-1/2}} \\ &= \frac{(1 + 3\cos^2 I)^{1/2}}{(1 + 3\cos^2 65^{\circ})^{1/2}} \end{aligned} \quad (12)$$

Doell 等(1961)指出,如果地磁场在古代具有偶极子磁场特征,而且地磁极基本上固定于现今的位置,那么采用(13)式把各地测得的古强度值换算到同一个地理参考点上(例如  $50^{\circ}\text{N}$ 、 $5^{\circ}\text{E}$ ):

$$F' = F(1 + 3\cos^2 P_0)^{1/2} \cdot (1 + 3\cos^2 P)^{-1/2}, \quad (13)$$

其中  $P$  是采集标本地点和磁极之间的角距离,  $P_0$  是参考点与磁极之间的角距离,  $F'$  是换算后的古强度.

也有人如永田武等用  $\frac{F}{F_0}$  来表示测得的

古强度<sup>[5]</sup>,其中  $F$  是古强度,  $F_0$  是标本产地的现今地磁场强度,然而方便、适用的是 Smith<sup>[2]</sup>(1967)计算地球等效磁偶极矩(Virtual dipole moment, 即 VDM).若地球古代磁场也像今

天这样类似于一个轴向地心偶极子磁场,尽管由世界不同地区同一时代的岩石测出剩磁方向彼此并不相同,但是按照这些方向算出的古地极位置却应是相同的;同样,由世界不同地区同时代的标本测定出的古强度虽然一般也不相同,但由此算出的磁偶极矩却应是相同的。由于

$$F = \frac{M}{a^3}(1 + 3 \sin^2 \lambda)^{1/2}, \quad (14)$$

所以

$$M = Fa^3(1 + 3 \sin^2 \lambda)^{-1/2}, \quad (15)$$

式中  $a$  是地球半径 6375 公里 =  $6375 \times 10^5$  厘米,  $M$  是地球磁偶极矩,  $\lambda$  是标本产地古纬度,  $F$  是测定出的标本产地的地磁场古强度。自然可从(16)式得知古纬度  $\lambda$  与古倾角  $I$  关系:

$$\tan I = 2 \tan \lambda. \quad (16)$$

当测定标本古强度的同时,如果也能测出古倾角,也就可以求出地球的等效偶极矩(VDM)。这种方法优点是基本磁场的颤动(Wobble)不会使算出的VDM出现离散性,因为这里测定出的古磁纬度与地磁极同地球转动轴的相对位置无关,计算出的VDM所出现的离散性主要是由实验误差和非偶极子磁场的变化造成的。

但是,如果不能同时从标本测定出倾角,显然也就不能按照上述方法计算出等效偶极矩值。在这种情况下,如果是最近几千年以来的标本,那么可以用标本产地现今磁纬度代替标本产地古纬度来计算,这样计算出的磁矩就称为约化偶极矩(Reduced dipole moments, 即 RDM<sub>s</sub>)。我们取地磁北极座标为 78.5°N、69.1°W, 求出拉萨地区地磁纬度为 18°49', 代入(15)式则得出约化偶极矩 RDM<sub>s</sub> =  $17.1 \times 10^{25}$  高斯·厘米<sup>3</sup>。

## 五、结 束 语

(1) 因 Thellier 法所得强度值的可靠性

可以根据结果的内部一致性来评定,故从 P<sub>NRM</sub>-P<sub>TRM</sub> 较好的线性关系肯定本工作所选用的古砖标本是适用于 Thellier 法研究地磁场古强度的,其结果具有较高的可靠性。

本工作结果证明,大约公元 642 年前后拉萨地区的地磁场古强度为 0.759 奥斯特,与现今地磁场强度相比,说明近千年来地磁场强度是逐渐减小的。

(2) 根据测得拉萨地区初唐时期古砖 RDM<sub>s</sub> 值为  $17.1 \times 10^{25}$  高斯·厘米<sup>3</sup>,与 Smith (1967)<sup>[2]</sup> 编纂的世界各地区考古地磁学测得的 RDM<sub>s</sub> 数据表对比均指明,公元 650 年前后的 RDM<sub>s</sub> 值几乎都在  $14 \times 10^{25}$  高斯·厘米<sup>3</sup>以上,这可能意味着公元 650 年前后是地球基本磁场变化过程中的一个峰值期,或许这种情况可能是地磁偶极子的章动造成的,还值得今后进一步研究。

(3) 这次测得公元 642 年前后的地球约化偶极矩(RDM<sub>s</sub>)值为  $17.1 \times 10^{25}$  高斯·厘米<sup>3</sup>,已知现今地球磁偶极矩为  $8.00 \times 10^{25}$  高斯·厘米<sup>3</sup>,据此可以看出最近 1300 年以来地球磁偶极矩每一百年的平均衰减率为 5.7%,对比最近一个世纪来的地磁测量结果,表明地球磁偶极矩是以每百年大约 5% 速率一直在单调地衰减着。

## 参 考 资 料

- [1] Телье Е., Телье О., *Изв. АН СССР, Сер. Геофиз.*, 1959, 9, 1296—1331.
- [2] Smith, P. J., *Geophys. J. E. Astr. Soc.*, 12 (1967), 321—362.
- [3] Coe, R. S., *J. Geomagn. and Geoelectr.*, 19 (1967), 3, 157—179.
- [4] Coe, R. S., Gromme, C. S., *J. Geomagn. and Geoelectr.*, 25 (1973), 4, 415—435.
- [5] 小嶋稔、小嶋美都子, *岩石磁気学*, 共立出版株式会社, 1972, 51—58.