

α 径迹的试验研究及其与地震关系的初步探讨

倪明康 龙 明 林思诚 李彤起

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文在大量试验的基础上对 α 径迹法在径迹蚀刻、判定、读数方法、误差来源等方面作了讨论, 並做了一些相应规定, 使 α 径迹法在地震预报中取得了一定效果。本文还对陇西3.6级地震前 α 径迹法的观测结果作了讨论。

α 径迹法在地震预报中的应用是近些年才开展起来的, 但是, 有关的基础性研究还不多。为此, 我们在径迹蚀刻、径迹判定、读数方法、误差来源以及径迹片的埋设、测坑环境对测值的影响等方面开展了相应的研究。为了减少测试误差, 根据实验结果我们在某些方面做了相应规定, 从而使相对误差减至20%以内, 使 α 径迹法在实际应用中取得了良好的效果。我们在武山温泉地区不同构造部位布设的六个测坑中, 位于断层上的测坑中 α 径迹对陇西3.6级地震有较好的反应。

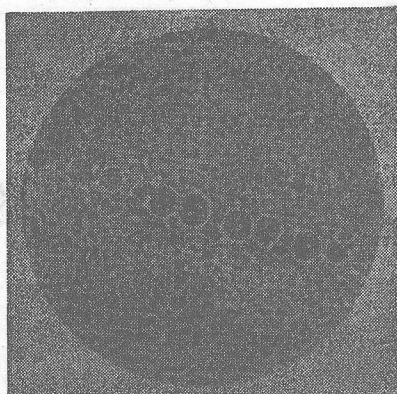
一、关于 α 径迹的试验

1. 蚀刻条件

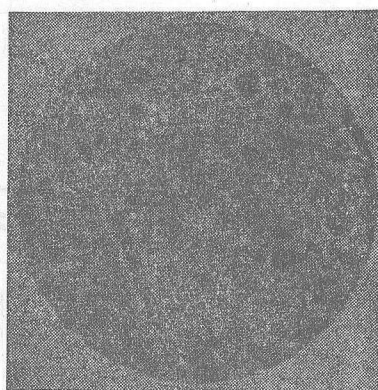
为了使不同能量的 α 粒子在径迹片上都能清晰地显示出来, 蚀刻剂的配方、蚀刻时间、蚀刻温度等都必须严格控制。为此, 我们用聚碳酸酯塑料薄膜作了蚀刻剂配方、蚀刻时间和蚀刻温度的大量试验研究, 选择了最佳蚀刻条件: 用20%的氢氧化钾200毫升, 加入133毫升无水乙醇, 在 $80^{\circ} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 的超级恒温水浴中对聚碳酸酯塑料薄膜蚀刻90分钟。

2. 径迹判定

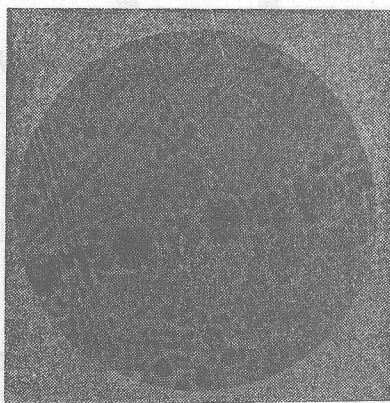
为了正确判定 α 径迹, 在无标准源等设备的情况下, 我们首先对空白片进行了大量的研究。所谓空白片, 是指未经 α 粒子辐射的聚碳酸酯薄膜与样片在相同条件下蚀刻后的径迹片。实验发现这些空白片也有“径迹”, 有的“径迹”与 α 径迹非常相似(照片1—3), 计数时必须将它们排除。空白片中的径迹分两种: 一种是真正的 α 径迹, 是由于片基存放时被周围环境中的 α 粒子辐射造成的; 另一种径迹虽然和 α 径迹相似, 但它是材料在制作过程中形成的。它们显示如下特点: (1)成条状排列; (2)以某种形态有规则排列; (3)有规则等间距排列。依靠这些特征很容易将它们与 α 径迹在显微镜下区分开来, 但用扫描仪计数时是难以将它们剔除的。此外, 还有些“径迹”呈单个或多个堆集在一起, 没有一定



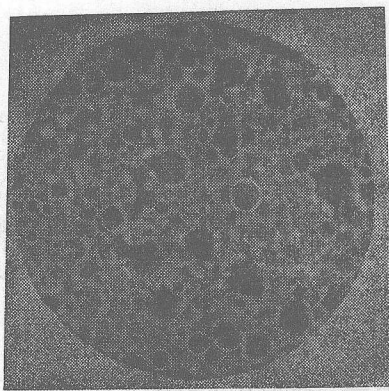
照片 1



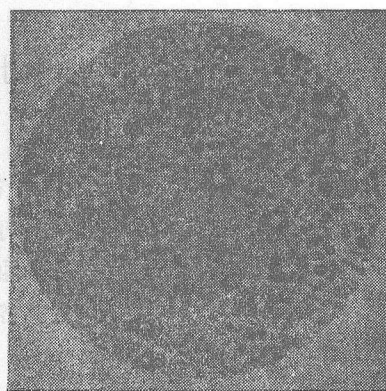
照片 2



照片 3



照片 4 (正面)



照片 5 (背面)

的形状, 边缘模糊, 这样的“径迹”同样也不能标作 α 径迹, 计数时也应该排除在外。

根据实验研究及近两年的工作实践, 我们认为: 经过蚀刻后的 α 径迹应是圆形或椭圆形的边界清晰的图像, 有的由于 α 粒子的重叠辐射, 造成二个、三个或更多的径迹重叠在一起, 但径迹边缘是清晰的。有的不同能量的 α 粒子“打”在同一点上, 造成同心圆径迹。

注: 本文所用照片均用15×40倍照像显微镜拍摄, 印像时放大5倍, 实际读数用16×40倍生物显微镜。

值得注意的是,对于悬挂的径迹片,应区分正反两面。当显微镜的焦距未调准时,我们往往会把正反两面的径迹混读起来,造成读数误差。根据我们的经验,在调整显微镜的焦距时应略过焦。这样,在看正面时,背面的径迹是暗点,边缘模糊;当焦距对准反面时,则原正面的径迹成为中心亮边缘模糊的径迹(照片4.5)。

3. 读数方法

为了使读数结果接近真值,我们除对径迹判定作具体规定外,用 16×40 放大倍数的显微镜及严格的蚀刻条件,对径迹片进行多次的反复读数与计算,最后采用在一个平方厘米的径迹面积上读 5×5 个视野,然后计算出一个平方厘米面积内25个视野径迹的平均数。其具体作法是:将蚀刻好的径迹片在显微镜下选择一个大于一平方厘米的径迹分布较均匀的区域,然后,记下载物台上刻度盘的纵横刻度,从左向右每隔2.5毫米读一个视野,当读完第五个视野后将载片向前移动2.5毫米,再从右向左每隔2.5毫米读一个视野,共读5个视野。如图1所示,依次读25个视野。最后计算出一个平方厘米面积内25个视野径迹的平均数。研究表明,对于那种读一个视野中网格的几分之几和读3~5个视野的方法是不可取的。实践证明,用我们的这种方法进行读数,不论是一个人操作还是不同人员操作,所得结果的相对误差都不超过20%。实验中,分别由三个人单独操作,其结果列于表1中。由表1可以看出,三个人读数结果的相对误差均在5%以内。

大量试验研究表明, α 径迹法在辐射材料选定时,蚀刻剂配方、蚀刻时间和温度固定不变时,误差主要来自径迹判定、径迹分布的不均匀性和读数方法。只要我们严格控制各操作步骤, α 径迹法在地震监测、断层研究等方面是一个简便易行的方法。

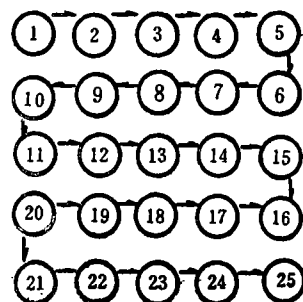


图1 读数方法示意图

Fig.1 A schematic diagram of reading method

二、误差讨论

α 径迹法有许多优点,但也存在一些问题。其中最大的问题是由于影响测试的因素多而使测定结果产生较大误差。为了使这种方法准确、可靠,我们通过试验对误差问题进行简要的讨论。

(1) 蚀刻条件的影响:对于不同的材料应选用不同的化学蚀刻方法。同种材料在相同的蚀刻条件下,径迹片上 α 径迹的大小是不同的。为了加快蚀刻,应在一定温度和一定浓度的试液中进行。当这些条件固定不变时,蚀刻的时间对径迹的显示有明显的影 响。蚀剂时间不足,径迹显示不出来,而时间过长,则可能将低能量的 α 径迹蚀刻掉。因此,蚀刻条件必须严格控制一致,不得随意变动。而蚀刻的最佳条件应是不同能量的 α 粒子均能清晰地显示出来,这样才能消除蚀刻带来的误差。

(2) α 径迹判定引起的误差:如前所述,在其他条件一定时, α 径迹判定的正确与否是造成误差的主要原因。在实际工作中,对同一径迹片的同一视野,如果由两个人分别读

实地读数结果

表 1

视野 编号	读 数			三人读数 总 和	三人读数 平均数	相对误差		
	甲	乙	丙			甲	乙	丙
1	13	4	13	40	13.3	2.3%	5.3%	2.3%
2	17	17	18	52	17.3	1.7%	1.7%	4.0%
8	10	10	9	29	9.7	3.1%	3.1%	9.3%
4	17	18	19	54	18.0	5.6%	0 %	5.6%
5	12	11	13	36	12.0	0 %	8.3%	8.3%
6	10	10	9	29	9.7	3.1%	3.1%	8.2%
7	12	10	10	32	10.7	12.1%	6.5%	6.5%
8	13	11	10	34	11.3	15.0%	2.7%	11.5%
9	10	11	10	31	10.3	2.9%	6.3%	2.9%
10	13	12	13	38	12.7	2.4%	5.5%	2.4%
11	15	18	17	50	16.7	10.2%	7.8%	1.8%
12	14	15	16	44	14.7	4.9%	2.0%	2.0%
13	15	13	16	44	14.7	4.9%	11.0%	8.8%
14	15	16	14	45	15.0	0 %	6.7%	6.7%
15	13	13	15	41	13.7	5.1%	5.1%	9.5%
16	9	9	6	24	8.0	12.5%	12.5%	25%
17	16	16	18	50	16.7	4.2%	4.2%	7.8%
18	15	13	16	44	14.7	2.0%	11.6%	8.8%
19	17	17	17	51	17.0	0 %	0 %	0 %
20	14	15	13	42	14.0	0 %	7.1%	7.1%
21	19	19	19	57	19.0	0 %	0 %	0 %
22	13	20	14	47	15.7	17.2%	27.4%	10.8%
23	14	16	16	46	15.3	8.5%	4.6%	4.6%
24	17	17	10	50	16.7	1.8%	1.8%	4.2%
25	13	12	15	40	13.3	7.7%	9.8%	12.8%
视野读数总和	346	353	351	1050				
平均读数	13.8	14.1	14.0		14.0	超过10%读数占总读数的16%		
相对误差	14%	0.7	0 %					

数，其结果的相对误差都大于50%，而由未经训练的人员去读误差更大，这主要是不能区分真假径迹所致。我们经过反复的判读和研究，特别是对空白片的研究，对识别 α 径迹作了具体规定。这样就大大减小了径迹判定带来的误差。

(3) 显微镜对读数的影响：径迹法最后的结果以单位面积的径迹数表示。在用显微镜

进行判读时,显微镜视野的面积将影响判读的结果。电子各类显微镜的质量不同,其视野的面积也不尽相同,因而判读的结果也不相同。特别是在使用不同放大倍数的显微镜时,它们之间的读数误差将会更大。这在对测试结果进行互检和外检时要特别注意。我们认为,判读时所使用的显微镜应相对固定。

另外聚焦程度对读数也有一定的影响。我们强调显微镜的聚焦程度,是由于这个问题对悬挂片尤其重要。因为悬挂片的两面都有 α 粒子造成的径迹,而正反两面的径迹有时分布是很不一致的。由于径迹片是透明的塑料薄膜,在显微镜下调焦时两面都清晰可见。因此,在调不同视野时,必须区分正反面,并标记在片基上。

(4) 径迹分布不均匀的影响: 由于测坑的环境因素及 α 粒子自然涨落和它们各自路径的不同等原因,使得 α 粒子在探测器上的分布是不均匀的,有时相差很大。同一个径迹片,有时一个视野只有几个径迹,有时有20多个径迹,相对误差高达100%。因此,在读数时一定要先通览一遍片基,选择径迹分布较均匀的区域作计数的“基地”,不要在这个基地以外任意选读。

(5) 读数方法不同引起的误差: 从目前报导看,除少数用扫描计数外,多用显微镜人工计数的方法。对于后者,只有增加读数视野的个数才能减小误差。在其它条件一定时,读的视野越多,误差愈小。我们的研究结果证实: 选择径迹分布较均匀的区域,接前述的方法读25个视野的平均数是适宜的,相对误差可控制在20%以内甚至更小。

综上所述,在蚀刻条件,显微镜固定时,径迹读数的误差主要来自径迹判定、径迹分布的不均匀性、人员的熟练程度和读数方法。实践表明,只要在这些方面采取相应措施, α 径迹法是一个比较直观、简便的有效方法。

三、径迹片的埋设与影响因素

为了研究地壳土壤中 α 粒子与地震和断层活动的关系以及 α 粒子在不同构造部位的变化特点。我们选择了武山温泉地区进行了试验。武山温泉地区处于西秦岭北缘深大断裂的南侧,岩浆活动强烈,火成岩大面积出露。主要展布有北西西、北西及近南北的构造形迹。我们在横跨聂河断裂带布设了六个测坑(图2)。测坑的主要参数见表2。

径迹片的埋放分悬挂法和探杯法两种。悬挂法是将长1.5米,直径63毫米的两头开口塑

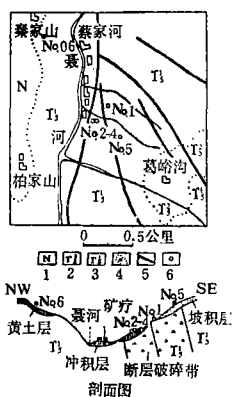


图2 武山温泉附近地质构造与测坑布置示意图

1. 第三系 2. 燕山期黑云母花岗岩 3. 印支期斑状花岗岩 4. 地质界线 5. 断层 6. 测坑

Fig.2 A scheme diagram of geological structure and test wells nearby Wushan Hot Spring

各测坑主要参数

表 2

坑号	坑测深度 (米)	埋片方式	地质地貌特点			复盖层(土壤)特点					
			地 貌	构 造	基底岩性	土层性质	比重	千容量 (g/cm ³)	含水量	孔隙度	厚度 (米)
1	1.5	φ63毫米塑料管, 悬线挂片	陡坡上距沟底约20米	断裂带内	似斑状花岗岩	上部为约1米的土层, 底部为似斑状花岗岩, 破碎	/	/	/	/	0
2	1.0	φ63毫米塑料管, 悬线挂片	沟侧坡地上。距沟底约30米	断裂带边缘	似斑状花岗岩	上部半米为砂质粘土, 含植物须根, 下部为亚粘土, 含白色小团块	/	/	/	/	10
8	1.5						2.58	1.37	20.1%	47%	
4	2.0						2.57	1.30	33.1%	49%	
5	1.5	φ63毫米塑料管悬线挂片及φ110毫米塑料管内放入探杯	高坡地距沟底约50米	断裂带边缘	似斑状花岗岩	上部为砂质土, 含花岗岩碎粒, 底部为砂土, 含钙质过石	2.65	1.55	18.5%	41.5%	5
6	1.5	φ63毫米塑料管悬线挂片, 及φ110毫米塑料管内放入探杯	聂河东岸半山坡上	断裂带外, 岩体边部	似斑状花岗岩	上部为灰色粘土, 下部为亚粘土	2.64	1.49	26.5%	43.3%	10

料管垂直放入挖好的测坑中, 把聚碳酸酯塑料薄膜剪成 1.5×3.5 厘米的长方形片基, 分别悬挂在距管底10、40、70厘米处的吊线上, 悬线挂在能塞紧塑料管的橡皮塞中间。探杯法是将径迹片片基固定在特制探杯的底部, 倒扣在塑料管内土层上。为了对比这两种方法的效果, 我们用5、6两号测坑做对比测试。两法的装置及埋法见图3。试验结果见表3。实测表明:

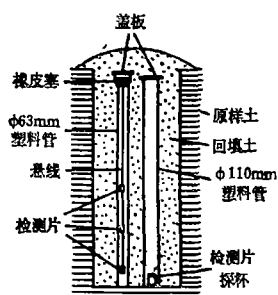


图 3 测坑剖面示意图

Fig.3 A scheme diagram section of the test well

(1) 位于断裂破碎带上的各测坑(1~5号), 不论其上部复盖层的性质如何, 在同一观测时间段内径迹数远较断裂带外的6号坑高。如: 3号坑的下伏基岩岩性、复盖层厚度、性质及测坑深度等均与6号坑相似, 但前者位于断裂带上, 故径迹数几乎高出一倍。

(2) 复盖层的厚度及其性质对测值也有较大的影响。如: 1~5号坑虽然均位于聂河断裂带上, 但由于1号坑直接埋入花岗岩破碎带上, 故其径迹数远远大于其它各坑。5号坑的复盖层属于坡积物且较薄, 因而径迹数也较2~4号坑高。

(3) 在复盖层较厚或岩性变化不大的地段, 测坑的深浅对测值影响不大。如: 2、3、4测坑分别深1.0米、1.5米和2.0米, 实测结果很相近。但由于2号坑较浅, 因此实测结果变化稍大。这可能是受到天气过程的影响。考虑到施工的方便, 并尽量减少表层的影响, 我们认为在潜水位较深的地区, 径迹片埋设深度以1.5米为宜。

(4) 在悬挂法中悬挂径迹片的高度对测值有一定的影响, 径迹片距坑底越近径迹数越高。但探杯法与悬挂法相比, 悬挂法的测值高于探杯法。

各测坑观测结果一览表

表 3

径迹数 片号	埋放日期	8.29— 10.20	10.20— 10.25	10.25— 11.9	11.9— 11.14
		52天	5天	15天	5天
一坑	1	>100	13.1	53.0	9.1
	2	>100	9.3	46.9	5.7
	3	>100	7.5	40.9	10.0
二坑	1	17.5	2.0	9.6	3.5
	2	15.5	2.0	9.3	3.0
三坑	1	26.8	3.3	10.7	3.6
	2	20.4	2.7	9.4	2.7
	3	18.0	2.6	8.7	3.1
四坑	1	27.4	3.4	10.3	4.1
	2	25.8	5.0	9.7	3.1
	3	25.7	3.2	9.5	4.0
	4	19.8	2.6	9.1	2.6
五坑	1	30.7	4.0	18.3	5.8
	2	22.7	3.6	14.1	5.1
	3	21.2	3.1	8.4	4.5
	杯	27.0	3.2	10.0	/
六坑	1	22.1	2.3	5.2	1.0
	2	18.3	1.9	4.4	0.6
	3	14.5	1.3	3.3	0.5
	杯	17.0	2.0	3.5	/

探测器埋藏时间对测值的影响

表 4

埋藏时间 片号	天三	五天	七天	十一天	十五天	五十二天
1	8.1	13.1	24.8	41.0	53.0	>100
2	5.3	9.3	21.8	34.3	46.9	>100
3		7.5	22.0	31.0	40.9	>100

(5) 径迹片的埋藏时间与测值有一定的关系, 1号测坑的试验结果表明(表4), 径迹数与埋藏时间呈指数函数关系。它们之间的关系可用下式表示:

$$\varepsilon = a \sum_{n=1}^N (1 + e^{-b^n})$$

式中 ε 为径迹片上的径迹数, a 为常数, 它与测坑的地质条件有关, b 为常数, 它是氡在一天内的衰变量。

综上所述, 实测应用中径迹数与埋片方式、时间及周围环境等因素密切相关。因此, 使用 α 径迹必须严格固定埋片方式, 确定最佳埋片时间, 定时更换。

四、 α 径迹法在地震预报中的应用

在武山温泉地区的六个测坑试验点中, 根据径迹密度, 1号测坑5日换片一次, 其它各测坑15日换片一次。在观测期间, 距武山温泉25公里的陇西于1983年10月19日发生3.6级地震。这次地震前, 在温泉布设的六个测坑中只有1号测坑有明显反映。10月15日前1号坑径迹个数在20个左右波动, 而10月15日这天的径迹数突增, 以至于镜下难以计数(182个), 10月20日以后又恢复到原值(图4)。

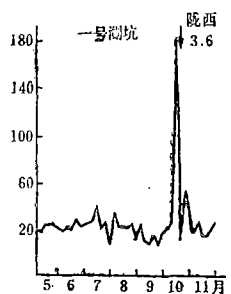


图4 α 径迹与地震对应关系

Fig. 4 Correspondence between α tracks and earthquakes

考虑到放射性的自然涨落, 我们将超出2倍均方误差的点视为异常。从图4可以明显看出, 只有10月15日这一点的径迹数远远超出2倍均方误差。由于我们五天更换一次径迹片, 所以这一点代表5天的平均值。因此, 还不能说明这一突变究竟是那一天发生的。众所周知, 径迹法的干扰因素较多, 为了更进一步证实10月15日的异常与地震活动有关, 我们对测坑环境、条件以及气象因素等外部条件作了调查。结果表明, 在这一时期内, 测坑环境、条件没有改变, 而10月份的气象资料说明天气没有突变过程。因而, 10月15日的径迹异常与陇西3.6级地震有关。

在武山温泉地区布设的六个测坑间距不大, 但只有1号测坑的测值对地震活动有明显的反映, 这可能与测坑所处位置有关。与其它测坑不同的是, 1号坑位于断层破碎带上。断层是地下气体运移的良好通道, 从某种意义上讲, 断层是地球活动的脉搏。因此, 用径迹法进行地震监测最好选择在断层上。

(本文1987年3月10日收到)

参 考 文 献

- [1] 宋玉峰, α 径迹探测技术在地震预报中的初步应用, 地震地质, Vol. 5, No. 8, 1983.
- [2] 金继宇, Radon radiation on San Andreas fault, Nature, Vol. 271, No. 1, 1978.
- [3] 尹树人, 应用 α 径迹探测基岩裂隙水, 水文地质工程地质, No. 8, 1983.
- [4] 林恩诚等, 武山温泉的水氡变化和松潘、礼县地震, 西北地震学报, Vol. 1, No. 4, 1979.

RESEARCH ON THE ALPHA TRACK ETCH METHOD AND ITS APPLICATION TO EARTHQUAKE PREDICTION

Ni Mingkang, Long Min, Lin Sicheng and Li Tongqi
(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau*)

Abstract

Based on a large number of tests, some questions about alpha track etch method in including the chemical etch of track, the judging of track, the counting of track, the source of error, etc. were discussed in this paper. In order to apply the method to earthquake prediction, some relevant stipulations were established. Correspondence between the method and the Longxi earthquake ($M=3.6$) was also discussed.

地震预报实用绘图程序软件系统的研制与应用

为了配合地震预报攻关工作,为适应今后地震预报程序化发展的要求,我们研制了一套在IBM—PC系列微型计算机上使用的实用性绘图程序软件系统(DPFE)。该系统可以在IBM—PC机及支持DOS 2.0以上版本的各类兼容机上通用。绘图仪使用SR—6602智能化个人绘图仪(串、并行口均可以)。

该系统的源程序用BASIC语言编制,执行程序用BASIC编译程序,运行速度将显著提高。该系统最大限度地开发SR—6602绘图仪的各种功能,包括:写部分汉字(串行口);写字符串,包括所有可输入字符;可以送回状态信息(串行口);绘曲线、图形;可使用六色彩笔。

(国家地震局兰州地震研究所 刘耀伟 王长岭)