

用热释光年龄研究大同火山活动的时代

李 虎 侯

孙 建 中

(中国社会科学院考古研究所, 北京) (国家地震局地质研究所, 北京)

摘 要

本文利用石英的热释光技术测定了大同火山群中 8 个具有代表性剖面的烘烤层的年龄, 其值分布在 $(0.98 \pm 0.02) \times 10^5$ 年到 $(2.9 \pm 0.2) \times 10^5$ 年之间。

根据年龄值并结合火山分布的地层关系, 大同火山活动时代具有四个典型剖面, 即: 余家寨, 距今 30 万年; 园沟, 距今 20 万年; 黑山南沟, 距今 15 万年; 黄家洼, 距今 10 万年。

自二十年代起到六十年代, 中外地质学者对大同火山群的活动时代有过各种论述^[1-6]。1975 年尹赞勋又去大同火山群区进行复勘, 进一步指出: “东区火山活动大约开始于中更新世中期(约距今 30 万年), 在晚更新世早期(约距今 15 万年左右)完全结束。西区大约开始于晚更新世早期(距今 15 万年左右), 而止于大约 10 万年前, 最后火山活动至迟也发生在 6—7 万年以前”^[9]。

本文选用火山熔岩流之下的烘烤沉积物中的石英颗粒, 以热释光方法测定它的年龄, 这也就是火山活动的年龄。

一、地点的选择

火山喷溢, 熔岩流覆盖在地层上, 由于熔岩流的高温作用, 下伏地层经过了高温加热, 这种经受了高温作用的地层, 即为烘烤层。溢出的熔岩流一般温度在 $1,100^{\circ}\text{C}$ 以上。由于热传导的作用, 烘烤层受热温度向下逐渐减小。因此, 烘烤层也有着明显的变化, 我们将它分为: (1) 烧结层, 直接与熔岩流接触, 由于高温及压力作用, 致使松散的沉积物固结成硬块状, 颜色成紫红色、砖红色, 一般厚度 2—7cm, 表面往往粘有火山砂、火山灰等, 物质成分混杂, 不易分选; (2) 高温层, 成鲜红色, 半胶结状态, 厚 10—90cm; (3) 低温层, 淡红色, 厚 20—30cm。实验证明, 高温层受热作用温度很高, 因为它基本与熔岩流直接接触或相隔很薄的烧结层, 熔岩流烘烤的温度在 500°C 以上。这样高的温度足以使沉积物中的晶体所贮存的热释光能量完全消失。因此, 从样品中测量出积存的热释光, 可以认为它是在火山喷发之后又重新从原有的烘烤沉积物中所接受的天然辐射造成的。根据这一原理, 利用石英的细粒技术, 即可以测定出经受烘烤时距今的年龄, 这也就是火山喷溢的年龄。利用热释光方法测定火山熔岩流烘烤层年龄

的工作,国外也有报道^[10,11].

由熔岩流分布的地层接触关系表明,大同火山的活动时代在第四纪时期. 一般分为东西两区,西区熔岩流与黄土接触,明显地有两次活动. 东区熔岩流直接与第四纪湖相地层衔接,至少也有两次活动.

根据上述烘烤层的特点和熔岩流分布的地层关系以及烘烤层实际出露的情况,笔者初步选择了 8 个烘烤层剖面进行年龄测定. 这些剖面除缺少湖相地层下部烘烤层之外,基本上代表了大同火山群区各层位的烘烤层,所获得的年龄值具有代表性. 各烘烤层剖面及分布位置见图 1.

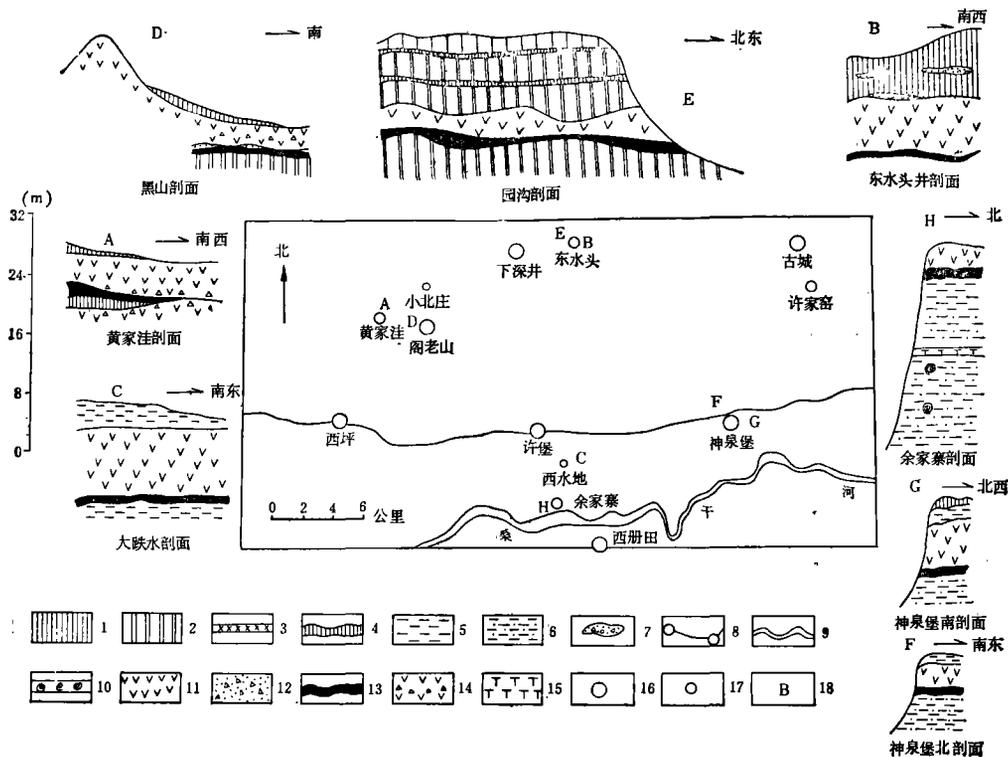


图 1 烘烤层剖面及分布位置

- 1—马兰黄土; 2—离石黄土; 3—古土壤; 4—黑炉土; 5—粘土; 6—粉砂质粘土; 7—砂砾石透镜体;
- 8—公路; 9—河流; 10—含螺化石层; 11—玄武岩; 12—砂砾石; 13—烘烤层; 14—熔渣状玄武岩;
- 15—凝灰岩; 16—县城与公社; 17—居民点; 18—采样点及编号.

二、年龄的测定

首先将标本按通用的方法进行处理^[12,13].

1. 热释光测定

将选好的样品放在热释光仪的密封加热炉内,抽至 10^{-3} 托的真空,充以 99.999% 纯氮,然后以 $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 的升温速度获得热释光生长曲线. 要求自然积存光生长曲线的峰值在不同样品之间误差控制在 3% 以内. 典型的生长曲线见图 2.

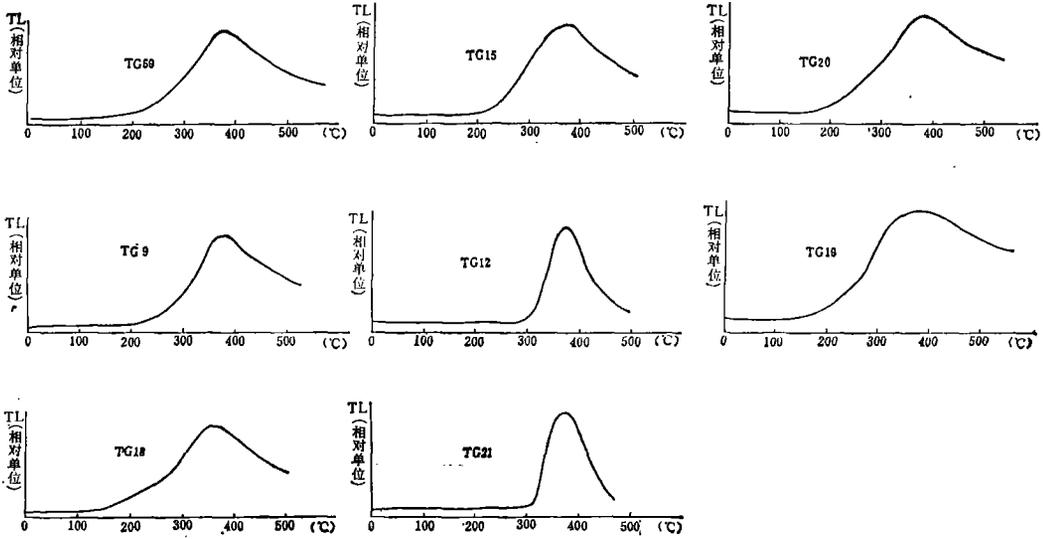


图 2 各剖面自然积存光生长曲线

样品对各种辐射的热释光响应是采用固定的辐射源（实验中采用 ^{241}Am 作为 α 辐射源， $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 作为 β 辐射源， ^{60}Co 作为 γ 辐射源）。在固定的辐照几何条件下，以不同的辐照时间，来控制样品接受各类辐射的剂量，分别得出样品对各类辐射响应的热释光生长曲线， $N + \alpha$ ， $N + \beta$ ， $N + \gamma$ 。在多数情况下只采用 $N + \alpha$ 和 $N + \beta$ 的生长曲线（见图 3 和 4）。

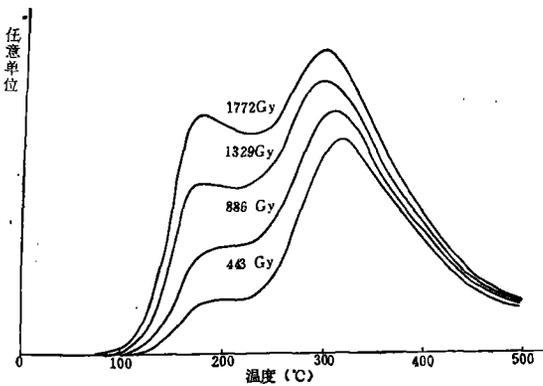


图 3 TG12 在接受不等 α -剂量的 $N + \alpha$ 生长曲线

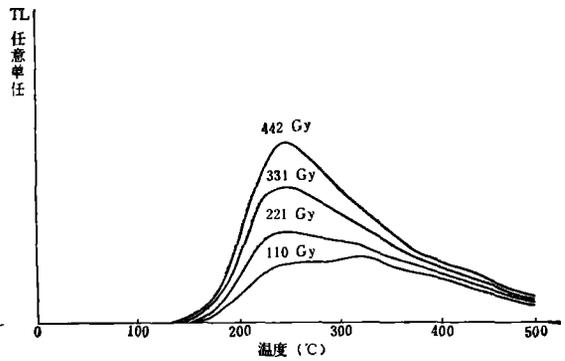


图 4 TG26 接受不等 β -剂量的 $N + \beta$ 生长曲线

为了推测样品最初对辐射的响应，只能利用受热后的样品再用相应剂量的不同类型辐射源辐照，即可获得 2α ， 2β 和 2γ 的热释光响应生长曲线。典型的曲线见图 5 和图 6。

2. 热释光的取值温度

从热释光生长曲线可以看出，样品中的自然积存光峰值正好是在 375°C 左右，它就是石英的高温峰。而在 $N + \beta$ 的生长曲线中，发光峰则是一个大的叠加峰，很难把石英的各个不同温度的峰值区分开来。而且，各种不同温度的热释光峰，随着样品所接受的剂量不等以及在照射结束之后放置时间的长短不一，它们叠加的具体情况也不一样，因而在最后所获得的生长曲线

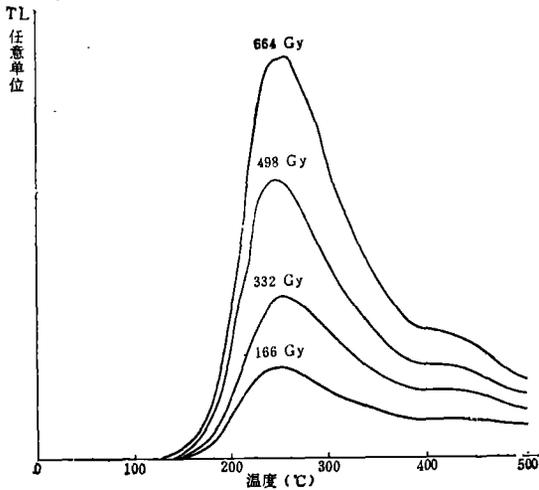


图 5 TG27 加过热的样品在接受不等 α -剂量的 2α 生长曲线

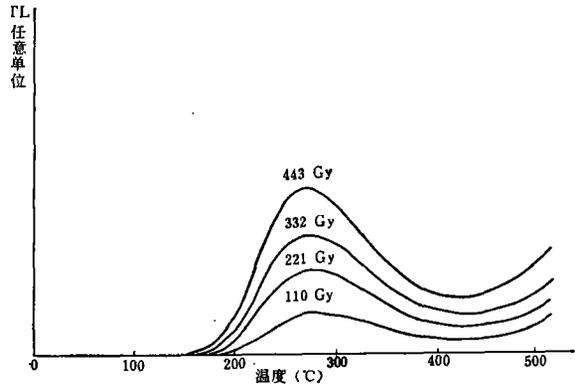


图 6 TG36 加过热的样品在接受不等 β -剂量的 2β 生长曲线

出现了相当大的复杂性。图 7 是从实验中测出的自然积存光 a 和接受了 β -剂量之后的 $N + \beta$ 热释光曲线 b, 后者明显地是一个由好几个不同峰值温度的热释光峰叠加起来的热释光峰。如果采用适当的方法对它进行解析, 可以看出利用峰值温度计数法, 会给实验结果带来较大的误差。图 8 已显示了这种叠加的特点, 而图 9 把误差充分地暴露出来了, 在一定的范围内可以求出这个误差的数值。如不加处理, 很老的样品会得出年轻得多的年龄值来, 这一点必须注意。

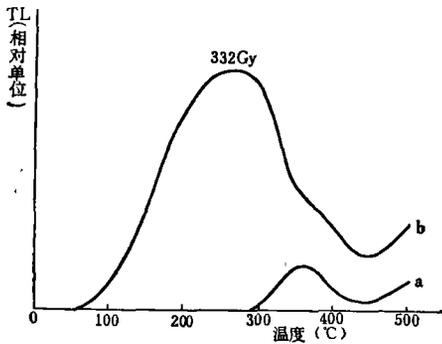


图 7 同一个 TG19 的自然积存光和 $N + \beta$ 的热释光生长曲线

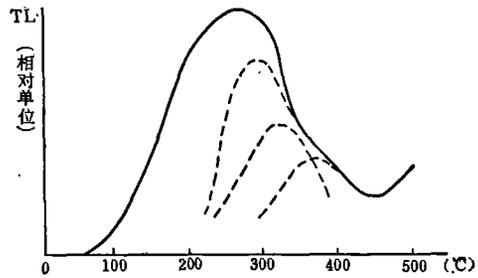


图 8 TG19 经 β 辐照后的生长曲线的剖析

为了克服这一困难, 通常是利用两种实验手段来解决。(1)是把经过辐照之后的样品放置一段相当长的时间(如长达 3 个月), 使低温峰自然衰退, 然后再测出热释光的生长曲线;(2)把经过辐照的样品在正式测量之前, 预先用 150°C 加热一次, 使其低温峰衰退 很明显, 这两种实验的手段都是为了能够使高温峰达到显著的突出而采取的步骤。在一定程度上利用这两种实验手段是可以达到预期目的的。只是在遇到有峰位移动的情况下, 仍然会带来麻烦, 并增加实验的误差。

考虑到这些因素的后果, 采用了一种数据处理办法, 根据图 7 中的 a, b 两条曲线的特点,

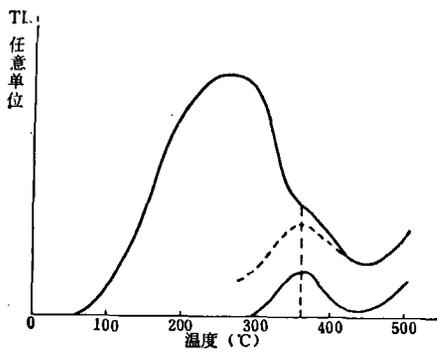


图 9 峰值温度读数的偏差

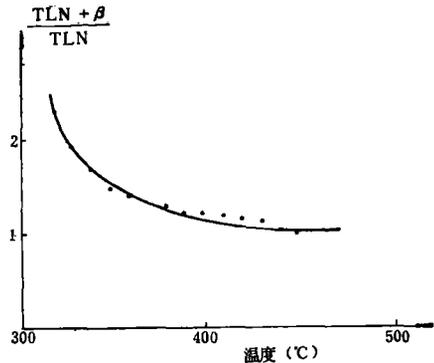


图 10 TG20 的坪曲线

可以看出它们的尾部(即高温峰后面那一部分)形状很相似,先用 $\frac{b}{a}$ 对升温湿度做图,可以获得一条曲线(图 10)。从图中可以看到,在曲线的后半部分可以得到一个“坪区”,在坪区温度范围内,这两条曲线相似或者曲率重合。这就保证了进行年龄测定的前提。实验所选择的样品对于实验中所接受的辐射剂量,与原地质时代接受辐射剂量时的响应恒定相等,于是,从生长曲线上,只要选择坪区范围内的温度,在任何一个温度值上读取热释光量都是可靠的。

3. 积存光的等效剂量

用图解法(图 11)把自然积存光和各不同的 $N + \beta$ 热释光值绘出线段 1,可以求得斜率 S_p ,再用已测量过热释光的样品进行第二次的 β 辐照,并测出热释光生长曲线,所求得的 2β 热释光峰绘出线段 2,又可求得斜率 S'_p ,通常 $S'_p = S_p$,那么就可以用等效 β 剂量的初级值(E.D.)。加上非线性校正, I 即可求出真正的等效剂量值, E.D.。即 $E.D. = (E.D.)_0 + I$,这个值就是要得到的相当于产生自然积存光所必须接受的等效 β -剂量。

4. 年剂量率

对烘烤层测定年剂量率时,环境剂量的考虑可简化为增加一份内部 γ -剂量率。因为所研究的烘烤沉积物无论在地层中或者在物质成分上都是处于均匀分布状态,在采样时也密切注意到了这一点。因此,只要把所取来的烘烤样品中铀、钍和钾的含量确定以后,分别算出它们对 D_a , D_β 和 D_γ 的贡献,然后用公式 $D_y = \eta D_a + D_\beta + 2D_\gamma + D_c$, 求出年剂量率 D_y 所有的符号以及对含水水率和氦逸散的校正均沿

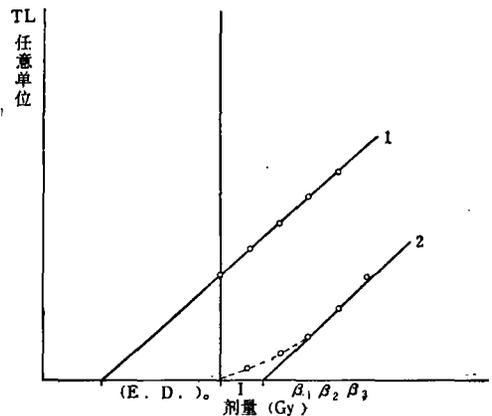


图 11 作图法求 E.D. 值

用本实验室已建立的方法^[12]。有了这些实验的结果,利用公式 $t(\text{年龄}) = \frac{E.D.}{D_y}$, 便可算出各烘烤层的年龄。全部计算结果列于表 1 中。在实验中获得的数据,其重复结果,都在实验方法所允许的误差范围之内^[12],因此,所获得的年龄值应该是可信的。

表 1 大同火山热释光年龄表

编号	样品位置	年剂量率 D_y ($\times 10^{-3}$ Gy)	等效 β 剂量 E.D. ($\times 10^{-2}$ Gy)	年龄 $\times 10^3$ 年	误差
TG59 A	大同县阁老山公社黄家 洼村北冲沟中	533.5	52059	0.98	± 0.02
TG9 B	阳高县下深井公社东 水头村水库边井旁	475.9	57512	1.2	± 0.1
TG18 C	大同县许堡公社西水 地村大跳水沟下	479.7	69500	1.5	± 0.1
TG15 D	大同县阁老山公社黑 山西南大路边冲沟中	487.3	83815	1.7	± 0.1
TG12 E	阳高县下深井公社东 水头村园沟西	398.9	77696	1.9	± 0.2
TG21 F	阳高县神泉堡公社神 泉堡村大公路北冲沟中	427.5	82950	1.9	± 0.2
TG20 G	阳高县神泉堡公社神 泉堡村大公路南冲沟中	321.9	69725	2.2	± 0.2
TG19 H	大同县许堡公社余家 寨村桑干河边	405.8	11768	2.9	± 0.2

三、对年龄值的讨论

在西区烘烤层与黄土衔接, 黄土地层的研究可为解释烘烤层的年龄提供借鉴。黄土地层自上而下划分为晚更新世马兰黄土、中更新世离石黄土上部和下部、早更新世午城黄土。第一层古土壤之上为马兰黄土, 第五层古土壤为离石黄土上、下部。

园沟剖面中的烘烤层与离石黄土衔接, 大致位于第二层古土壤之下的离石黄土中, 烘烤层本身属于第二层古土壤之下的离石黄土。据刘东生等对陕西洛川黄土沉积时间序列的研究^[4], 烘烤层的年龄值为 20 万年左右是比较恰当的。此外, 作者也做了烘烤层下面的黄土, 年龄为 24 万年^[45]。另据刘椿^[16]、李华梅等对园沟剖面中的玄武岩所进行的古地磁研究, 测定结果为布容正极性世, 对烘烤层年龄也是一个有力的佐证。

东水头水库边井旁烘烤层的年龄, 经多次测试, 其结果非常接近, 但年龄值与园沟剖面相比相差近一倍, 经从野外观察判断, 该地区可能只有一次喷发所致。假若如此, 或许是由于烘烤层形成后经某种热作用或压力作用或还有其他原因, 当然也可能发生过两次喷溢活动, 因为杨学昌等用 K-Ar 法测定上述地区玄武岩的年龄的结果, 表明也具有两次相间很长的喷发¹⁾。

黑山剖面中的烘烤层位于离石黄土的上部, 可能在第一层古土壤之下。刘椿等对剖面中的玄武岩做了古地磁测定为布容正极性世。从地层关系判断, 烘烤层地层比园沟地区要新, 所以年龄值为 16 万年是可靠的。

黄家洼剖面烘烤层夹于马兰黄土中间, 马兰黄土沉积一般认为在 10 多万年之内, 从对几个地点的观察表明, 烘烤层处在马兰黄土下部, 所以烘烤层年龄为 10 万年是可取的。

1) 杨学昌等, 第二届全国同位素地球化学学术讨论会论文汇编, 1982 年, 507 页。

东区四个剖面中的烘烤层均位于第四纪湖相地层中,并且居于该层的中、上部。近年来,经多方研究,多种证据说明,这一组湖相地层的时代可从早更新世延续到中更新世,甚至于到晚更新世。这样,四个烘烤层年龄出现在上述剖面的地层位置中是合乎情理的。就余家寨剖面来说,曹家欣指出在最上层的玄武岩层之上还有离石黄土。刘椿作了该剖面的玄武岩古地磁测定为布容正极性世。所以,烘烤层的年龄为 30 万年是可靠的。

跳水崖剖面和神泉堡附近两个剖面的烘烤层均夹在湖相地层的上部,附近的湖相地层顶部有的被马兰黄土覆盖,从地层关系和地貌部位表明,该烘烤层应比余家寨剖面年轻。在该剖面东北侧的肖家窑火山,玄武岩之上直接被马兰黄土覆盖,所以这三个烘烤层的年龄值比余家寨年轻是可能的。

在本区的湖相地层中至今尚未发现重要的化石证据,也缺少用其他方法测定的年代。只是在神泉堡北古城公社,发现有著名的许家窑遗址。据贾兰坡等研究^[4],遗址距今大约 6 万年。遗址位于湖相地层中,在梨益沟的河谷中,于文化层之下的湖相沉积物中夹有火山砂砾层,在沟的上游,湖相地层下部并有玄武岩出露。这可以对烘烤层的年龄作为一个旁证。由于本区湖相地层的断代工作较少,新构造运动十分活跃,地层关系复杂,因此需要进一步用多种方法做年代测定。

本文所测定的年龄值与尹赞勋^[9](1975)判断的大同火山的活动时代比较接近。在测定出的 8 个剖面的年龄中除去东区下部玄武岩流的烘烤层(位于湖相地层下部)被埋藏未找到标本外,其它各次活动的年龄基本具备,可以代表活动时代的中、上段。

根据所获得的年龄值并结合地层层序,下列四个地点可作为大同火山活动时代的典型剖面。

1. 余家寨 年龄为距今 30 年左右。烘烤层位于湖相地层的中部。
2. 园沟 年龄为距今 20 年左右。烘烤层位于离石黄土的中部。
3. 黑山南沟 年龄为距今 15 年左右。烘烤层位于离石黄土上部或离石黄土与马兰黄土之间。
4. 黄家洼 年龄为距今 10 年左右。烘烤层位于马兰黄土中间。

四、结 束 语

利用热释光方法测定烘烤层的年龄,并判断火山活动的时代,进而测定火山活动的年龄是一种有效的方法,给火山活动的时代提供了精确的时间概念。

本文所研究的地区大部分是第四纪湖相地层,与我国北方第四系标准地层——泥河湾地层相近或者相同,距泥河湾地层标准地点仅 50 多公里,古泥河湾湖与本区连通,因此,可认为两地的湖相地层类似。近年来,对泥河湾地层虽然做了大量工作,提出了各种对地层划分的新认识。但是,由于缺少年代数据,至今仍是争论的问题,本文是根据实验测定的结果来认识地层划分的,今后随着年龄数据的增加,此问题定会逐步得到解决。

在写作过程中徐煜坚教授提出了宝贵意见,梅屹同志参加了野外采样和实验工作,许风桔同志和卢良才同志参加了部分实验工作。在野外调查和采样工作中雁北行署科委和地震局多次给予大力支持,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 德日进、杨钟健,地质专报,甲种第八号,1931.
- [2] Barbour, G. B. & Bien, M. N., *Bull. Geol. Soc. China*, IX(1930), 4: 361.
- [3] 尹赞勋,地质学会会志,12(1933), 3:355.
- [4] 杨杰,地质论评,1(1936), 6: 691—696.
- [5] Лебединский. В. И., 大同火山群,科学出版社,1958, 3—111.
- [6] 王乃梁、欧阳青,中国第四纪研究,1(1958), 1:174—176.
- [7] 曹家欣,中国第四纪研究,2(1958), 2: 60—68.
- [8] 杨景春,北京大学学报(自然科学),1961, 1: 24—30.
- [9] 尹赞勋,文物,1976, 2: 51—56.
- [10] Guerin, G., et al., *Nature*, Vol. 286 (1980), 14: 697.
- [11] Bapat, V. N., et al., *Bulletin of Radiation Protection*, 3(1980), 51.
- [12] 李虎侯,考古,1981, 6: 539—550.
- [13] Li Huhou, *Ancient TL*, 1981, 4.
- [14] 刘东生等,国际交流地质学术论文集,第五册,地质出版社,1980, 77—81.
- [15] Li Huhou & Sun Jianzhong, *Quaternary Geology And Environment of China*, China Ocean Press, 1982, 39—41.
- [16] 刘椿,中国科学B辑,1982, 9: 823—830.
- [17] Li Huamei & Wang Jun da, *Quaternary Geology And Environment of China*, China Ocean Press, 1982, 33—38.
- [18] 贾兰坡、卫奇,考古学报,1976, 2: 97—114.