

西昆仑山第四纪火山的分布与 K-Ar 年龄*

刘 嘉 麒

(中国科学院地质研究所, 北京 100011)

买买提 依 明

(中国科学院新疆地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘 要

在海拔 4600m 以上的西昆仑山顶部分布着一群年轻火山, 其中半数以上是作者新发现的。这是地球上分布最高的火山之一。本文详细介绍了火山的分布和产状, 系统测定了火山岩的 K-Ar 年龄, 指出西昆仑山的火山活动几乎都发生在第四纪, 大体可分 6 个火山幕, 最近的一次火山喷发发生在 1951 年 5 月 27 日。

关键词: 第四纪火山, K-Ar 年龄, 西昆仑山

在新疆于田县以南约 250km 远的西昆仑山顶有一块面积约 700km² 的阿什库勒盆地 (图

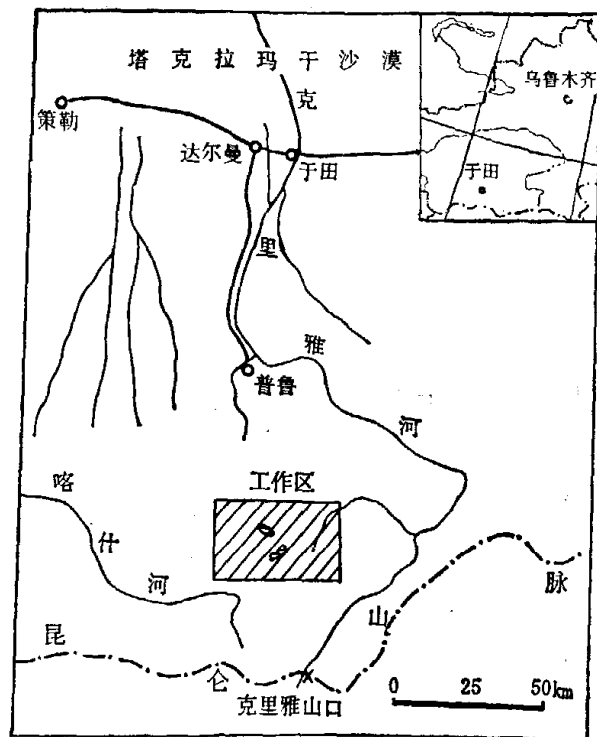


图 1 工作区位置图

1), 它呈北亏南盈的弯月形静卧在群峰环绕之中。盆地底北高南低, 西高东低, 平均海拔 4700m 上下。阿什库勒¹⁾、乌鲁克库勒和沙格斯库勒 3 个咸水湖镶嵌在盆地中央, 一座座形态醒目的火山簇立在湖泊的周围和盆地东部, 构成阿什库勒火山群, 熔岩面积达 200km²。据新疆日报 1951 年 7 月 5 日报道: “在于田县苏巴什以南, 昆仑大坂西沟一带, 5 月 27 日上午 9 时 50 分发生火山爆发。第一次爆发时只见一个山头上发出轰隆巨响, 接着烟灰像一条大圆柱似的自山顶冒出。接着又连续爆发了 3 次, 每次只隔几分钟, 未发出巨响, 只有烟灰上冒。以后几天又看到火山冒烟……”。这次火山爆发引起了人们的关注, 后来地质工作者在区域调查中找到这座火山, 并发现其他 3 座火山, 即所谓 1, 2, 3, 4 号火山^[1]。其实盆地中远不

本文 1989 年 4 月 25 日收到, 1989 年 7 月 6 日收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目。

1) 库勒: 维吾尔族语意为湖。

止 4 座火山,除此之外,我们还发现 10 座主火山和数十个子火山.这些火山几乎均以中心式喷发,形成圆锥状或截顶圆锥状火山锥,所成火山岩多为深灰色、砖红色,看上去酷似玄武岩.但经鉴定分析,按其矿物和化学成分特征应为富钾粗安岩,我们将在另一篇文章专门论述,这里着重介绍火山的形态特征.考虑到火山数目较多,按前人的 1, 2, 3……号称谓显不出各自的特点,也容易造成混乱,于此,我们按其火山的产状和形态等特点,赋予其具体名字与世人商榷(图 2).

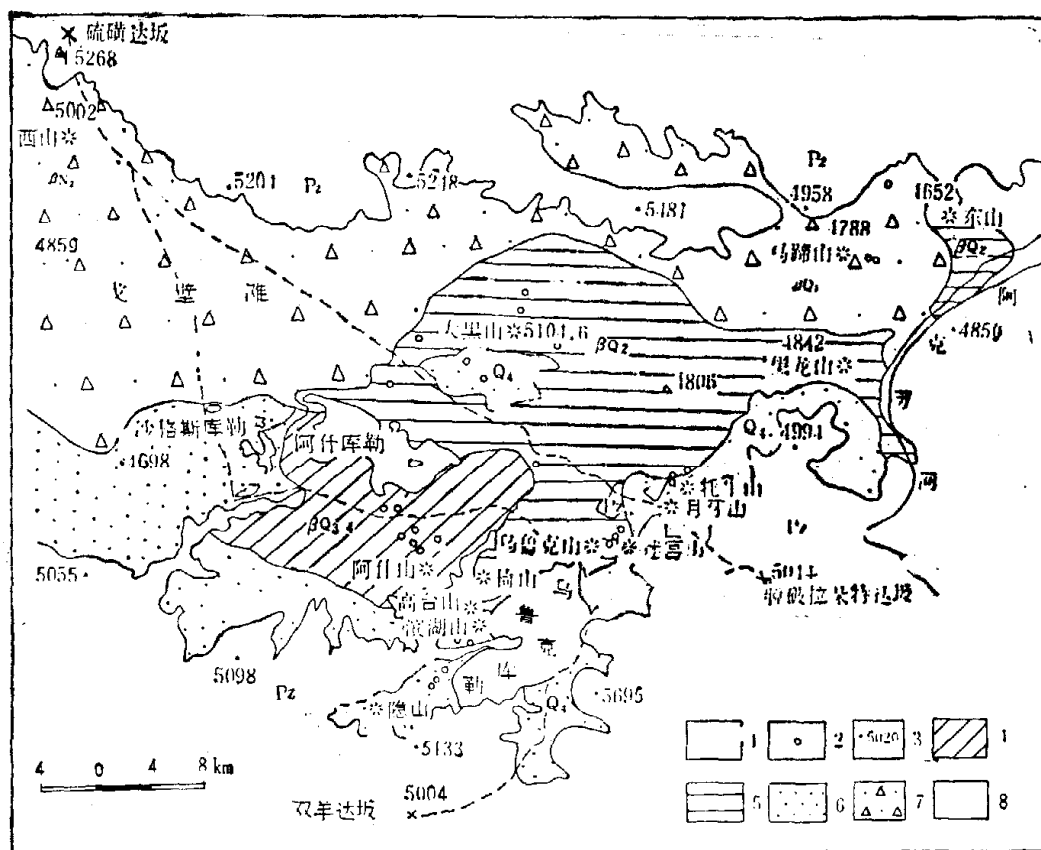


图 2 阿什库勒火山群分布图

(1——主火山, 2——子火山, 3——海拔高度, 4—— βQ_{3-4} 全新世和晚更新世火山岩, 5—— βQ_2 , βQ_1 , βN_2 中更新世、早更新世、晚上新世火山岩, 6—— Q_{3-4} 晚更新世、全新世沉积物, 7——戈壁沙漠, 8—— P_z 中生代以前老地质体)

一、火山的分布与形态

1. 西山,位于硫磺达坂正南的戈壁滩上,是阿什库勒火山群中最西边的一个火山,孤零出现,呈平缓的丘状,高 25—30m,顶部直径约 300m,底部直径约 500m,由黑色熔岩组成,周围为戈壁滩掩埋.

2. 阿什山(1号火山),即 1951 年喷发过的火山,位于阿什库勒湖南侧,为一座完好的截顶圆锥状火山,耸立在熔岩台地上,相对高度 120m,顶部直径 120m,底部直径约 350m.锥体表面坡度 $30^\circ \pm$.锥体中央为漏斗状火山口,深 50m,火山口内壁上陡下缓,由层状紫红色气孔状熔岩堆积而成,内夹灰白色片麻岩捕虏体,壁上有喷气孔,似井状.火山口的豁口在正南面,呈弧形凹陷,深 15m,宽 40m.火山锥周围为广阔的熔岩台地,其熔岩与锥体上的熔岩有

所不同,全为黑色,气孔少,近致密块状,台地向四周展布,东西延伸达 5—6km,南面为高山所挡,北面被阿什库勒所截,西北面有一高 50m 左右的圆锥状子火山并立在它的旁边。

3. 大黑山(2 号火山),与阿什火山隔湖(阿什库勒)南北相望,是区内规模最大最高的一座火山,山顶海拔 5104.6m,相对高度约 400m,山体由多次喷发的黑色熔岩叠加而成,中部呈圆锥状高高隆起,中间有陡深的火山口,火山口正南偏西方向有一“V”形开口,顺山势从上到下切割出一条“V”形谷,将火山锥体近于分成两半。火山锥两侧呈“八”字形向西南、东南方向伸出两条熔岩垄。火山口开口前方是一片平坦开阔的草地,几乎无熔岩分布,越过草地却是广阔的熔岩台地,这可能是后期喷发的岩浆呈抛物线坠落所致。

4. 乌鲁克火山(3 号火山),座落在乌鲁克湖东北角,呈完好的截顶圆锥状,好似高炮台,相对高度 80m,顶部直径 100m,底部 300m,山顶有北高南低向南倾斜的圆碟状火山口,其内堆积一些熔岩碎块和泥土,还有少许的积水。火山锥周围有广阔的熔岩台地,与阿什山、大黑山等火山喷发的熔岩连成一片,在西南方面,黑色熔岩流伸入乌鲁克湖中,显然,这个湖就是由火山熔岩堰塞而成。

5. 与乌鲁克火山在东侧毗邻的是迷宫山,那是一座呈横卧“U”字型的簸箕状火山,正西开口处被乌鲁克山所挡,因此从四周看上去仅是一个浑圆形的火山丘,进入内部才能发现中间是一开阔的火山口,犹如大的庭院,地面宽 50m,长 150m,火山口壁东高西低 80—30m,整个火山由黑色、红色粗安岩质浮岩、气孔状岩石组成。火山口内外几乎全为浮土掩盖,散落火山口内熔岩碎块也很少。在这个火山口的开口处和北部分布着十几个子火山,它们呈丘状和圆锥状,高几米到十几米,由黑色熔岩、黑色或红色气孔状火山岩组成,浮岩很小,无火山口。

6. 月牙山和牦牛山,位于乌鲁克火山东北 5km 处,中间有山岭相隔。月牙山由一弯月形火山口和处于火山中间的火山锥组成。火山口的弧形长约 250m,中央的火山锥高 60m,底部直径约 200m。在火山口开口处及火山周围有一群子火山,它们均由红色、黑色气孔状火山岩和浮岩组成。牦牛山因其野牦牛常在那里出没而得名。它与月牙山在东北方向毗邻,是一座

椭圆形平缓山丘,高 50m 上下,顶部直径约 150m,底部直径约 250m,中间有一条东西向的“V”型豁口,把火山分成两部分。山体由黑色、砖红色熔岩组成,北侧有 5—6 个子火山。它们和月牙山一道构成一个小的火山群。

7. 黑龙山是一条东西向的火山垄,分布在阿克苏河的西侧。火山垄东高西低 70—30m,宽 400—500m,长约 10km,没有明显的火山口,但从熔岩产状分析喷发中心靠近东侧。那里的火山岩全是黑色熔岩,以致密块状为主,在火山垄两侧均有分布,构成较大的熔岩台地,向东一直蔓延到阿克苏河河谷,成为第四级阶地,熔岩厚度达 100m,底部为砂砾岩。这层熔岩向东延伸与区内最东边的熔岩流相连。分布在盆地东北角的熔岩台地上无显著的火山,仅有一平缓的火山丘,称之东山,相对高度 7—8m,直径

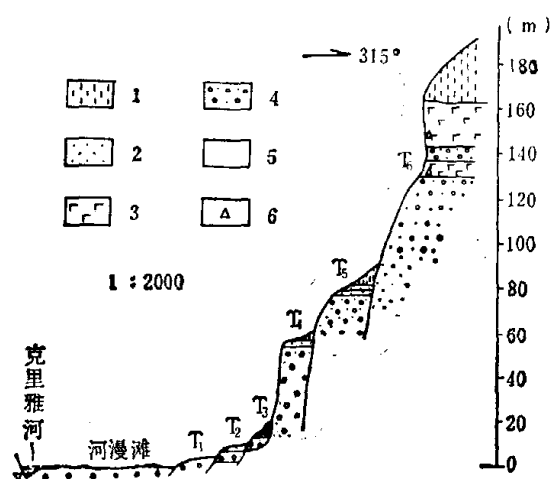


图 3 克里雅河中游康苏拉克附近河谷左侧阶地剖面

(1——黄土状粉砂与亚砂土, 2——砂土层, 3——火山熔岩层, 4——砾岩层, 5——阶地代号, 6——取样位置)

表1 阿什库勒火山群一览表

火山名称	地理坐标		地理位置	高度(m)		火山形态	火山岩	时代
	纬度 N	经度 E		海拔	相对			
阿什山 (1号火山)	35°41'57"	81°34'48"	阿什湖南侧	4868	120	完好的截顶圆锥, $\phi \pm 120\text{m}$, $\phi \mp 350\text{m}$, 锥体坡度30°, 中央为漏斗形火山口, 深50m, 开口向南	紫红色气孔状富钾粗安岩、浮岩	1951.5.27 喷发
大黑山 (2号火山)	35°46'15"	81°37'	阿什湖北东11km	5104.6	400	大型复式火山, 中间圆锥体高耸, 两侧平缓熔岩坡呈“八”字形伸展, 火山口有“V”形开口将山体切开, $\phi \pm 300\text{m}$, $\phi \mp 1500\text{m}$	黑色致密状、气孔状熔岩、底部有集块岩	0.50Ma 0.60Ma
乌鲁克山 (3号火山)	35°42'	81°39'	乌鲁克湖北东角湖畔	4820	80	完好的截顶圆锥, $\phi \pm 100\text{m}$, $\phi \mp 300\text{m}$, 顶部有向南倾斜的圆锥形火山口	黑色熔岩, 顶部少量紫色浮岩	0.20Ma
迷官山	35°41'58"	81°39'45"	乌鲁克山东侧毗邻	4822	80	簸箕形火山口, 东高西低, 口向西开, 口底长150m, 宽50m	黑色、红色浮岩	0.44Ma
月牙山	35°42'45"	81°40'53"	乌鲁克山北东6km	4805	60	弧形火山口中央含一圆锥状火山锥 $\phi \mp 200\text{m}$	红色熔岩、浮岩	0.31Ma
牦牛山	35°43'	81°41'5"	月牙山东北方向毗邻	4800	50	椭圆形低缓平顶山, $\phi \pm 150\text{m}$, $\phi \mp 250\text{m}$ 中间有一“V”形豁口	黑色熔岩	Q _i (?)
黑龙山	35°45'17"	81°45'40"	阿克苏河西侧	4842	70—30	火山锥, 东西延展, 长达10km, 宽0.5km, 东高西低	黑色熔岩	0.67Ma
马蹄山	35°47'26"	81°45'40"	盆地东北部	4788	65	马蹄形火山锥, $\phi \pm 300\text{m}$, $\phi \mp 600\text{m}$, 中间为开口的火山口, 口向南开	红色浮岩	1.63Ma
东山	35°48'17"	81°48'	盆地东北角	4652	8	平缓碟状火山口, $\phi 50—60\text{m}$	黑色熔岩	0.52Ma
椅山 (4号火山)	35°41'25"	81°36'12"	乌鲁克湖西北岸	4810	80	背靠高山, 半壁火山口似靠背, 另半壁火山口在低处似坐席, 中间为火山口, $\phi 70\text{m}$	红色、黑色熔岩	0.58Ma
高台山*	35°40'50"	81°35'40"	乌鲁克湖正西	4923	150	高台状圆形火山锥, $\phi \pm 250\text{m}$, $\phi \mp 800\text{m}$	紫灰色流纹斑岩	
滨湖山*	35°40'20"	81°35'50"	乌鲁克湖西岸与高台山毗邻	4880	80	穹隆状火山丘	紫灰色流纹斑岩	
隐山*	35°39'	81°33'38"	乌鲁克湖西南山坳处	4905	100	穹隆状火山丘	紫灰色流纹斑岩	
西山	35°50'39"	81°26'30"	硫磺达坂正南戈壁滩中	5002	30	平缓的圆形山丘, $\phi 300\text{m}$	黑色熔岩	2.8Ma

* 未做实地调查, 根据航片确定, 并参考其他资料。

50—60m.

8. 在东山西部有一马蹄形火山, 高约 65m, 顶部直径约 300m, 底部直径约 600m, 中间是向南敞开的火山口, 山体由红色浮岩组成, 大部分为浮土覆盖, 周围也淹没在戈壁滩中, 仅在冲沟处可见到少量浮岩碎块. 在马蹄山东南方向有几个子火山, 相对高度 6—10m, 由黑色熔岩组成.

9. 在乌鲁克库勒西侧山坳处尚有一些火山, 被称之为椅山、高台山、滨湖山和隐山. 椅山(4 号火山)背靠高山, 半壁火山口顺山坡呈弧形展布, 另一半在低处向前凸出, 中间凹陷为火山口的中央, 整体似椅状. 由黑色、砖红色熔岩和浮岩组成, 火山口周围可见大量火山弹, 其大小和形状不一, 直径从几厘米到几十厘米. 山前是一片熔岩台地, 堰塞了乌鲁克湖.

10. 椅山西南面的高台山、滨湖山和隐山等与上述火山有所不同, 它们的火山机构不很明显, 多呈穹隆状火山丘, 相对高度 50—80m, 岩石以流纹岩为主. 在它们中间尚有一些子火山.

上述情况表明, 阿什库勒火山群的全部火山都座落在海拔 4600m 以上, 是地球上分布最高的火山群之一, 只有南美洲阿根廷和智利之间的一些火山可以与之比高低, 不过, 阿什库勒火山的相对高度一般不大, 除大黑山之外, 只有几十米到百余米, 火山锥体的熔岩以红色气孔状岩石为多, 只是由于许多为浮土掩盖而表现得不很明显, 熔岩台地的岩石大部分都呈黑色. 火山口的形态和大小不一, 但豁口却多数朝南(表 1).

此外, 在距阿什库勒约 120km 的昆仑山北麓康苏拉克一带, 克里雅河河谷两岸相当于六级阶地上, 分布着大量熔岩流^[2], 有两层, 上层厚 20m, 下层厚 7m, 中间夹河床相砾石层. 上层顶部为黄土状粉砂和亚砂土覆盖, 下层下面也是河床相的砾石层. 两层熔岩的岩性均为富钾粗安岩, 与阿什库勒火山岩性相同^[3], 说明它们之间有密切联系.

二、火山岩的年龄测定与火山活动期次划分

火山岩经鉴定绝大部分都很新鲜, 结晶程度较低, 有少量斑晶, 基质多为玻基交织结构, 化学成分中钾的含量很高, K_2O 普遍高于 4%, 因此这种岩石比较适宜用钾-氩法定年^[4]. 我们从采集的样品中选择有代表性的样品, 用其全岩进行了 K-Ar 年龄测定, 钾用火焰光度计分析, 氩同位素在 RGA10 和 Zhi1301 质谱计测量, 稀释剂为高纯的 ^{38}Ar ($^{35}Ar/^{38}Ar$ 为 2.540×10^{-5} ; $^{40}Ar/^{38}Ar$ 为 5.597×10^{-4}). 整个实验是在中国科学院地质研究所同位素实验室完成的, 其结果列于表 2, 其中少数样品, 如 K713 和 K732, 放射成因氩含量过低, 其年龄数据仅作参考.

从测得的 K-Ar 年龄看, 阿什库勒火山和康苏拉克熔岩都比较年轻, 除西山是第四纪前夕生成的以外, 其余均为第四纪产物. 可分为 6 个火山幕: (1) 上新世末西山幕 (2.8Ma), 只有西山火山孤零产出; (2) 早更新世马蹄山幕 (1.65—1.21Ma), 除马蹄山生成 (1.65Ma) 外, 康苏拉克的两层熔岩夹于第四纪地层中, 年龄分别为 1.43Ma 和 1.21Ma, 也属此火山幕产物. 在阿什库勒盆地中, 不难看出, 西山和马蹄山都产于盆地北侧的戈壁滩中, 一个在西, 一个在东, 火山锥都被风化剥蚀得很平缓, 且大部分被浮土掩盖, 周围既无熔岩流出露, 也少见散落的火山喷发物, 表明它们生成的早. 其余的火山大部分在中更新世生成, 分早、中、晚 3 个火山幕; (3) 早期黑龙山幕 (0.67—0.50Ma), 黑龙山、椅山、东山都在此幕喷发形成. 大黑山顶

表2 西昆仑山火山的 K-Ar 年龄

样品号	采样点	样品用量 (g)	K (%)	$^{40}\text{Ar}^*$ (10^{-12}mol/g)	$^{40}\text{Ar}^*$ (%)	年龄及误差 (Ma)	
						单个样品	平均
K713	迷宫山	11.8016	3.07	2.2432 2.4077	1.94 1.93	0.42 ± 0.01 0.45 ± 0.01	0.44 ± 0.01 (参考值)
K716	乌鲁克山	10.0067	3.44	1.1797	3.67	0.20 ± 0.05	
K718	迷宫山火山口 内子火山	10.0448	3.48	1.7706 1.7151	12.37 11.71	0.29 ± 0.01 0.28 ± 0.01	0.28 ± 0.01
K720	黑龙山	10.9389	3.07	3.6435 3.5110	4.55 4.41	0.68 ± 0.01 0.66 ± 0.01	0.67 ± 0.01
K721	马蹄山	10.0487	3.12	8.9242	10.63	1.65 ± 0.16	
K723	东山	10.7627	2.99	2.7367 2.6532	5.08 4.96	0.53 ± 0.01 0.51 ± 0.01	0.52 ± 0.01
K729	椅山	11.3912	3.60	3.6962 3.5576	2.36 2.31	0.59 ± 0.01 0.57 ± 0.01	0.58 ± 0.01 (参考值)
K732	月牙山	10.2983	3.48	1.8873	1.42	0.31 ± 0.01	(参考值)
K736	大黑山中部	8.6592	2.92	3.0904 3.0451	19.73 19.54	0.61 ± 0.01 0.60 ± 0.01	0.60 ± 0.01
K738	大黑山顶	8.0032	2.88	2.5029	3.88	0.50 ± 0.13	
K740	阿什山西侧熔岩	16.7597	3.82	0.7697 0.8260	3.02 3.11	0.12 ± 0.002 0.12 ± 0.002	0.12 ± 0.002
K743	西山	8.0082	3.73	18.1133	50.0	2.80 ± 0.06	
U601	康苏拉克上层熔岩	5.9960	3.54	7.3058 7.2767	24.19 24.13	1.19 ± 0.02 1.19 ± 0.02	1.19 ± 0.02
U606	康苏拉克上层熔岩	5.1629	3.69	7.8539	27.36	1.23 ± 0.04	
U604	康苏拉克下层熔岩	6.0762	3.46	8.5719	49.84	1.43 ± 0.03	

* 表示放射成因氩, 年龄计算常数: $\lambda_s = 0.581 \times 10^{-10}/a$, $\lambda_f = 4.962 \times 10^{-10}/a$, $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4}$ (原子比)。

部主火山锥(口)年龄为 0.50Ma(K738), 而主火山锥南侧低火山锥年龄为 0.60Ma(K736), 表明前者是在后者的基础上形成的; (4) 中期月牙山幕 (0.44—0.28Ma), 月牙山、迷宫山和一些子火山是这幕生成的, 缺少大的火山, 喷出的熔岩多是浮岩和气孔状岩石, 除构成火山锥体以外, 很少有向外溢出的熔岩流, 表明这幕火山活动较弱; (5) 晚期乌鲁克幕 (0.20—0.12Ma), 生成了乌鲁克火山; 阿什火山周围的熔岩台地有 0.12Ma, 可能是阿什火山早期喷发的产物; (6) 最后一个火山幕是全新世的火山喷发, 最近的一次就是 1951 年 5 月 27 日的阿什火山喷发, 就目前所知, 除 1973 年 7 月 16 日青海西部可可西里地区有火山喷发^[9]外, 阿什山是中国大陆上最新的活火山。

三、关于1951年火山喷发

近来有人怀疑阿什山在 1951 年喷发过,甚至干脆否定 1951 年有过火山喷发。那么 1951 年在西昆仑山究竟发生过火山喷发没有?如果发生过,喷发的火山又是不是阿什山?这是一个问题的两个方面。我们认为,1951 年在西昆仑山发生过火山爆发毋庸置疑。以往的多次报道尽管说法不一,甚至有失真之处,但谁也没有否定 1951 年在西昆仑发生过火山爆发;同时无论国内国外报道与引证都是以 1951 年 7 月 5 日新疆日报的报道为基础的,如前所述,这个报道总的来看还是客观的真实的。当时如果不是火山爆发令人震惊,不是有筑路部队在其附近修筑新藏公路(现在仍可见到残存的路基),能听到火山爆发的巨响,看到火山喷发的景观,并把这消息传到山下,在相距约 200km 远的居民区是难以获得这一消息的,新闻媒介也不会做那样详细的报道。从最早报道的时间(7 月 5 日)比火山爆发的时间(5 月 27 日)晚了近 40 天推想,此消息也是事后山上(修路)人带下来的,不是哪个人臆想出来的。苏联 Синичин^[6] 1954 年撰文说:“中国地质部新疆管理局的一位姓杨的同事向他讲述过 1951 年昆仑山中火山爆发的事情,当时解放军官兵正在距火山不远的地方修路,他们看到从火山锥中飞出石块……,这一新闻最初是在乌鲁木齐一家报纸上报道的”。Синичин 又说:“和以前的资料相比,1951 年爆发的火山应该是 Чугмаер 和王教授以前看到的火山口之一,这个火山口在 1951 年又被唤醒了”。事实上在阿什库勒盆地确实有新火山,因此不能说是“讹传”。从西昆仑到东昆仑有一条近东西向的火山活动带,1973 年还有火山喷发,那么 1951 年发生过火山爆发也不足为怪。

如果承认 1951 年发生过火山爆发,再来考虑是哪个火山爆发的?笔者认为就是阿什火山,也有人称过“卡尔达西火山”和“1 号火山”。这不仅是因为当初火山爆发时有人身临其境,并有历史记载,以后的地质调查也确认是此火山^[1,7]。这座火山具有新鲜的外貌,完好的火山锥和火山口,火山锥顶部具有新近烘烤的“红帽子”,火山口中尚有井状喷气孔;它座落在黑色熔岩台地上,此熔岩台地是测得的 K-Ar 年龄中最年轻的,火山自然更年轻。在西昆仑山一带找不到比阿什火山更年轻的火山。和田地质大队 1960 年在此火山锥北侧熔岩中挖探井检查自然硫时,挖 2m 深,井内温度显著升高,3m 以下温度更高,同时有一种奇异的音响,人在其内无法坚持工作。这表明阿什山还有活动的迹象,它是座活火山并在 1951 年爆发过是完全可能的。有人根据火山锥表面覆盖一些土便认为它不是新相火山,因而 1951 年即使有火山爆发也不是它。其实这也否定不了该火山 1951 年爆发的可能与事实,因为无论从它的地质产状还是火山口壁有多层熔岩堆积来看,都表明它有过几次爆发,1951 年仅是最近一次。火山锥体是这次爆发以前形成的,山体表面保留一些浮土也很自然,何况从 1951 年到现在已近 40 年,在这期间也会沉落一些土。至于 1951 年火山爆发有无岩浆喷溢都不能排除火山爆发的可能。以往的报道大都认为无岩浆喷溢,根据我们的观察也认为近期无岩浆喷溢或者喷溢很少,这就更有利于保存山体上的浮土。

综上所述,西昆仑山火山活动自上新世末到现代可分 6 幕:西山幕(2.8Ma),马蹄山幕(1.65—1.23Ma),黑龙山幕(0.67—0.50Ma),月牙山幕(0.44—0.28Ma),乌鲁克山幕(0.20—0.12Ma),阿什山幕(全新世)。早期形成的火山风化剥蚀的比较严重,且大部分被土覆盖,多孤

1) 新疆地质局区测队,在新疆于田县南昆仑山进行地质矿产调查报告(1:100 万),1971。

立存在。后来的火山随年龄减小而变新,形态越来越完整,面貌越来越新鲜,被浮土覆盖的面积逐渐减少,浮土的厚度逐渐变薄,岩石的物质成分演变有一定的规律性。这些情况表明,年龄测定结果与火山(岩)本身的地貌、地质、岩石诸特征所反映出的新老关系非常吻合;同时,上述火山幕所反映的火山活动频率与中国其他地区的火山活动步调^[8]也相一致。

中国科学院兰州冰川冻土研究所组织的中日西昆仑考察队为野外考察提供了方便;我所同位素研究室测定了 K-Ar 年龄;中国科学院新疆地理研究所丁素英、王淑萍清绘了图件,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 赵铭钰,新疆地质,1976, 1: 27—36.
- [2] 滕志宏,岩石学报,1987, 4: 94—95.
- [3] 刘嘉麒,岩石学报,1989, 2: 95—97.
- [4] 刘嘉麒,岩石学报,1987, 4: 21—31.
- [5] Simkin, T. et al., *Volcanoes of the World*, Hutchison Ross Publ. Co., 1981, 64—82.
- [6] Сивнуын, В. М., *Природа*, 1954, 9: 89—90.
- [7] 中国科学院青藏高原科学考察队,西藏地热,科学出版社,1981, 98.
- [8] 刘嘉麒,岩石学报,1988, 1: 1—11.