

阳原盆地化稍营地区断层主要活动时期的研究*

唐汉军 刘行松

(国家地震局地质研究所, 北京)

摘 要 研究一个地区断层主要活动时期是了解地壳构造运动或断层发育历史的基础。本文仍沿用了传统研究法, 并将同位素法和石英形貌法测年与显微构造分析法引进到研究断层主要活动时期的工作中, 取得了能相互映证的结果, 最后确定阳原盆地化稍营地区的断层经历过: 元古代前; 燕山期; 6~9 千万年; 上新世——早更新世和最后一次较强烈活动在 20—30 万年以前等五次主要活动时期。

关键词 断层主要活动时期 同位素法 石英形貌法 显微构造分析

断层主要活动时期的研究可分为长时间尺度和较短尺度两种, 前者是为了解地壳构造运动和断层活动发展历史等; 后者主要服务于工程建设或强震活动等。本文结合为河北省桑干河上的某工程提供断层活动性依据, 对阳原县境的化稍营地区断层活动开展了研究工作(图 1)。通过工作取得的主要成果, 当然是断层最晚一次较强烈活动的时间。因工作中应用同位素(裂变径迹、热释光和铀系)法测年、石英形貌(干涉显微镜)法定年和显微构造分析法密切配合, 更取得了许多可喜的结果, 进行综合分析 with 区内的地壳构造运动吻合得很好。看来以断层带内变形物质为研究对象的研究思路, 在研究断层主要活动时期方面是有前途的, 本文就是这样研究的一次尝试。

1 化稍营地区地质发展简史

研究区属华北地台中山西台背斜的一部分。中一晚元古代大陆地块的裂陷解体, 发育拗拉槽, 在五台—太行山区有大规模的基性岩墙群活动。晚元古代后期拗拉槽相对封闭, 进入稳定的地台盖层发展阶段。其发展延续到新生代, 又进入一个新的发展时期, 在阴山山前断裂带和张家口—北京—蓬莱断裂带以南地区, 强烈拉张裂陷, 形成一些断陷

* 国家自然科学基金资助(4880138)

参加野外调查的还有: 胥怀济、陈孝德、张渤海、万景林, 能源部水利部天津勘测设计院的靳纯余、蔡一廷, 国家地震局测量大队的应绍奋等。

带和大型的裂陷盆地 (马杏垣等, 1989)^[1]。

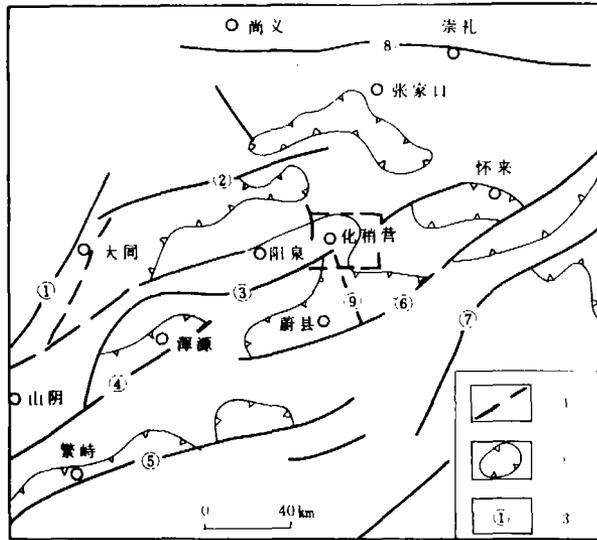


图1 化稍营地区构造位置图

1, 断裂及推测断裂; 2, 盆地界线; 3, 断裂编号: ①鹅毛口—口泉断裂; ②阳高—天镇断裂; ③六棱山北麓断裂; ④恒山北麓断裂; ⑤五台山北麓断裂; ⑥蔚县南山山前断裂; ⑦紫荆关断裂; ⑧崇礼—赤城—古北口断裂; ⑨壶流河断裂。

根据图2中岩系的分布看, 区内发育有太古界和长城系, 并沿断层有侵入的岩浆岩, 象姚家庄出露的辉石岩等。在漫长的古生代到中生代早期阶段, 处于较稳定的隆起剥蚀状态, 直到侏罗纪的燕山运动阶段, 才开始沉积了侏罗系, 并沿断层有再一次较广泛的岩浆活动。其后又经历过白垩纪到早第三纪的沉积间断, 自晚第三纪开始, 作为山西断陷带北端拉张活动段的组成部分, 进入了一个新的地质发展时期。断层活动占主导地位, 主要表现在以区域性的断层带, 如油房断层和壶流河断层为边界控制断层, 形成了晚第三纪到早更新世的沉积湖盆。从该沉积层的岩相变化看, 其沉积时的水体深度变化不大, 但沉积厚度却可达300—400m。由此可知, 该沉积层是断层定向持续活动一边断陷边沉积的产物。早更新世结束有一次较大规模区域性抬升, 湖盆消失。抬升时间持续了整个中更新世。晚更新世的沉积在区内有较广泛的发育, 但它的厚度仅8—70m, 表明沉降幅度较小。全新世仅在现代河谷和山坡脚有冲、残、坡积, 且厚度在30m以内。根据自1963年以来的测量资料, 研究区没有较强烈活动的征兆, 是一个相对较稳定的地段¹⁾。

图2标出了研究区发育的主要断层, 其中的壶流河断层和油房断层是控制湖盆生成和发育的区域性断层, 另外, 结合某工程的需要, 对桑干河峡谷段基岩中发育的F₂₀₇、F₂₁₄和F₂₁₃断层也做了相应的研究。

1) 应绍奋等, 地壳形变与地震活动的关系, 1991年。

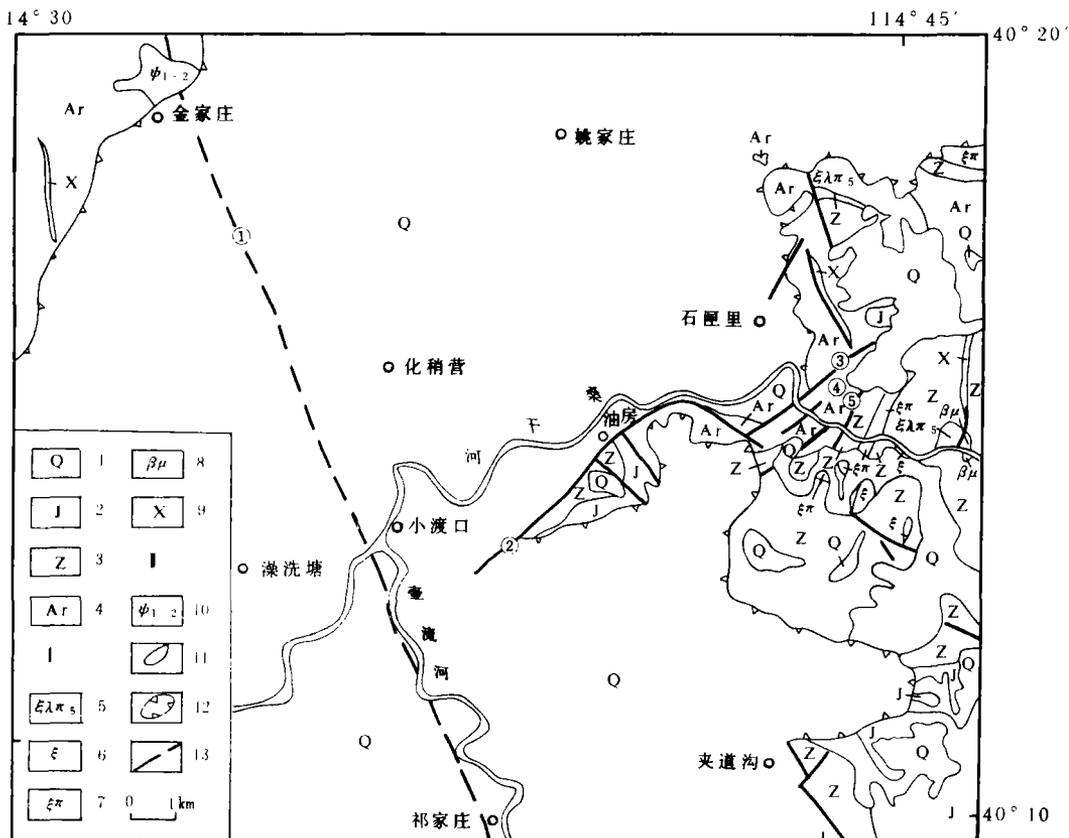


图2 化稍营地区地质构造图

1、第四系，2、侏罗系，3、长城系，4、太古界，I、燕山期；5、长石石英斑岩，6、正长岩，7、正长斑岩，8、辉绿岩脉，9、煌斑岩，I、前元古代；10、辉石岩，11、地质界线，12、盆地界线，13、断层及其推测，①壶流河断层②油房断层③F₂₀₇断层④F₂₁₄断层⑤F₂₁₃断层。

2 断层调查及活动时期的研究

2.1 壶流河断层：位于化稍营附近，总体走向北北西，断续延伸长达120余公里（多处被上更新统及全新统掩盖）。在祁家庄村旁小沟边及村南都可见到断层切断下更新统的剖面，从该剖面采集的孢粉样品，经严富华等鉴定为早更新世¹⁾。即该断层错断下更新统，被全新世壤土层面覆盖，为正断层。北延至山边一姚家庄，前元古代辉石岩出露，其中发育有三组小断层：①北5~20°西（最发育）；②北80°西；③北40~60°东。图3是其中一条实测剖面，在断层带内更有花岗岩脉和伟晶岩脉侵入（据区测资料可能是燕山期）。根据岩浆活动可知，壶流河断层在前元古代和燕山期曾有过两次较强烈活动。而研究该断层的后期活动，显然只能以断层带中的断层物质为研究对象，共采集了FT样品六个、TL两个和显微构造分析的定向标本五块。实验室的研究结果分别列于表1和表2中。继续向北追踪到怀安县张家屯南，为太古代的黑云母斜长片麻岩、柘榴石角闪斜长片麻岩

2) 严富华等，阳原祁家庄及辛堡等处样品孢粉分析报告，1991年。

等出露,在该断层的延伸线部位,发育成北北西向宽谷(宽约40米),总体看岩石较破碎,但找不到主断层,仅在其旁侧一横向小支沟边见到同向小断层,走向北25°西,倾向北东,倾角75°。采集断层泥样品的热释光年龄见表2;应用干涉显微镜对其中的石英形貌研究结果列于表3。

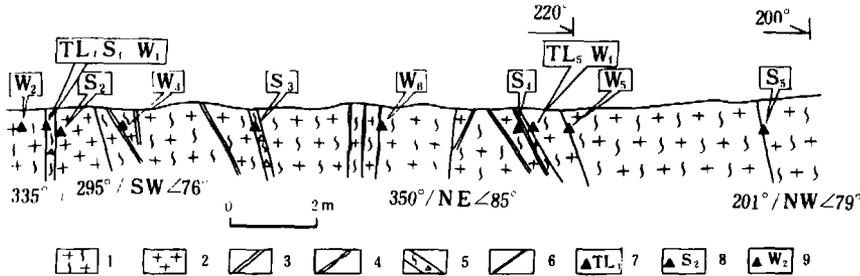


图3 姚家庄磷矿断层实测剖面

- 1、辉石岩, 2、花岗岩脉, 3、方解石脉, 4、伟晶岩脉, 5、破碎带, 6、断层, 7、热释光采样点及编号, 8、显微构造定向标本采集点及编号, 9、裂变径迹采样点及编号

表1 阳原姚家庄磷矿剖面磷灰石裂变径迹年龄表*

样品号	位置及样品名称	中子通量 $n (\times 10^{16}/\text{cm}^2)$	自发径迹密度 $\rho_s (\times 10^7/\text{cm}^2)$	诱发径迹密度 $\rho_i (\times 10^7/\text{cm}^2)$	密度 ρ_s/ρ_i	裂变径迹年龄 $m \cdot Y$
W-1	断层泥	3.341	0.0358	1.1243	0.0319	62.50±4.3
W-2	断层破碎带	3.341	0.0795	1.6747	0.0474	92.88±5.7
W-3	断层破碎带	3.341	0.0706	1.5991	0.0441	86.47±5.4
W-4	断层泥	3.341	0.0456	1.3588	0.0336	65.82±4.2
W-5	断层破碎带	3.341	0.0410	1.0151	0.0461	90.02±6.0
W-6	断层破碎带	3.341	0.0481	1.0838	0.0444	87.01±5.9

*测试者:王庆隆、万景林

2.2 油房断层:位于化稍营东南桑干河南岸,总体走向北东—北东东,在油房村附近作弧形拐弯,东段转成北西向,全长约十余公里,曾与壶流河断层一起作为沉积湖盆($N_2 \sim Q_1$)的边界。自油房向西至小渡口一带沿途有其出露点。油房村附近的断层剖面(图4),断层发育在长城系与下更新统接触处,下盘为高于庄组白云岩,在光滑的断层面附近是白云岩碎块组成的断层角砾岩(钙质胶结),断面上有厚约2米多的红、白色断层泥砾,其上为另一新断面,发育的杂色断层泥砾带厚约10cm,含花岗质混合片麻岩的挤压透镜体,断面上有大量水平擦痕,再上还有另一最新断面,也有薄层断层泥夹于其中,发育清晰直立擦痕;上盘是下更新统,有受断层错动的正牵引。综观之,该断层经历过多次活动,早期以压扭性为主,表现在断层中有挤压扁豆体和水平擦痕;晚期主要为拉张性正断活动,如下更新统的正断牵引和直立擦痕等。

沿断层走向向西追踪,基岩与下更新统多呈断层接触,并形成宏大的断层陡坎,航

表 2 热释光样品测年结果表*

野外编号	实验室编号	断层及样品名称	年龄结果 (年)
TL-4	TLG811	姚家庄断层 (壶流河断层), 方解石	$(19.90 \pm 1.69) \times 10^4$
TL-5	TLG812	姚家庄断层 (壶流河断层), 方解石	$(24.40 \pm 1.93) \times 10^4$
TL-6	TLG813	F214 断层, 方解石	$(27.58 \pm 2.31) \times 10^4$
TL-7	TLG814	F214 断层, 方解石	$(69.32 \pm 5.75) \times 10^4$
TL-8	TLG815	F214 断层, 方解石	$(27.12 \pm 2.11) \times 10^4$
TL-9	TLG816	F213 断层, 断层泥	$(30.63 \pm 2.30) \times 10^4$
TL-10	TLG817	F207 断层, 断层泥	$(20.27 \pm 1.50) \times 10^4$
TL-11	TLG818	F207 断层, 方解石	$(23.67 \pm 1.87) \times 10^4$
TL-12	TLG819	王峪口南 (林场) 断层 (壶流河断层), 断层泥	$(27.64 \pm 2.02) \times 10^4$

* 测试者: 计凤桔

表 3 断层泥中石英粒表面侵蚀程度的分类统计*

编号	断层名称	A		B		C		D		E		总计 总粒数
		粒数	%	粒数	%	粒数	%	粒数	%	粒数	%	
TL-6	F214 断层	1	1	47	54	28	32	3	4	8	9	87
TL-9	F213 断层	0	0	21	31	27	40	3	4	17	25	68
TL-10	F207 断层	1	1	21	24	48	54	4	4	15	17	89
TL-12	王峪口南 (林场) 断层 (壶流河断层)	0	0	33	32	50	48	6	6	14	14	103

* 分析统计者: 胥怀济

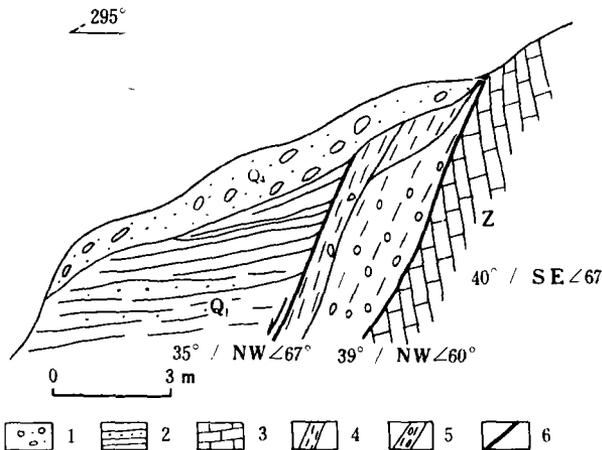


图 4 油房村南约 200m 处油房断层剖面图
1、全新世残、坡积层, 2、早更新世粉砂、片麻岩。粘土层, 3、白云岩, 4、断层泥, 5、断层泥砾, 6、断层

空照片上有清晰的线性形迹。西延到官厅村及其以西, 在下更新统中可以见到一系列断层面, 图 5 就是其中之一。研究这一系列剖面发现, 它们的共同特点: 正断层, 切断下更新统, 无例外地被上更新统 (据孢粉分析及区域对比) 覆盖着。

2. 3F₂₀₇断层: 位于壶流河断层东约 10km, 走向北 50—70°东, 倾向北西, 倾角 60~85°, 长约 3.5km。断层发育在花岗岩混合片麻岩中, 柳沟村旁山坡脚有清晰的断层剖面 (图 6)。研究该剖面知, 断层经历过多次活动, 早期生成的断层物质已变质胶结成构造岩; 后期生成的断层带宽约 2m, 上盘为碎裂角砾岩, 断面上有厚 20~50cm 的断层泥带; 下盘为碎裂花岗岩混合在断层带中采集了显微构造的定向标本和测年样品, 结果分别列于表 2、表

3. 铀系法测年结果见表4。

2. **4F₂₁₄断层**: 位处 F₂₀₇断层东约 500m, 切断太古代花岗质条带状混合片麻岩和燕山期闪长玢岩。总体走向北 55—65°东, 倾向南东, 倾角 60~80°, 长 1.5~2km。图 7 是该断层的剖面, 断层破碎带宽 7~8m, 有清晰的断层面, 发育有宽 10~20cm 的白色断层泥带, 其中含有闪长玢岩角砾, 断层擦痕直立。其测年结果列于表 2、表 3 和表 4 中。

2. **5F₂₁₃断层**: 位于 F₂₁₄断层东约 1km, 走向北 25~35°东, 倾向南东, 倾角 60~70°, 长约 1km。研究该断层延至公路旁剖面, 它断于花岗质条带状混合岩与长城系石英岩的接触处, 可见到两条断面, 发育在长城系内的断面清晰, 有厚达 20~40cm 宽的断层泥带发育, 采集了测年样品, 其结果列于表 2 和表 3 中。

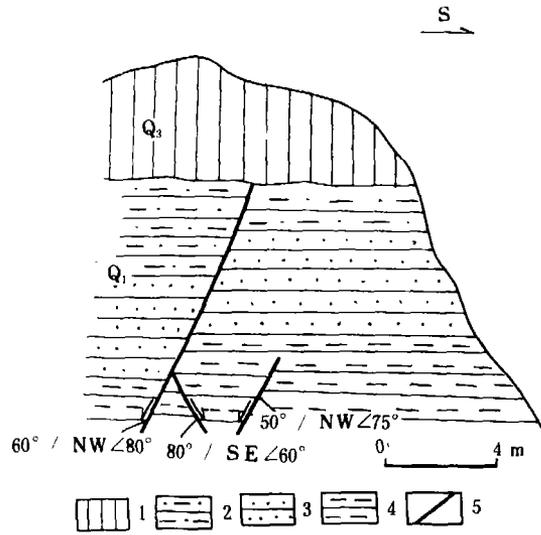


图 5 小渡口东南 2km 处水库东沟断层剖面图其中 1、晚更新世黄土 2、早更新世亚砂土 3、早更新世粉砂层 4、早更新世粘土 5、断层

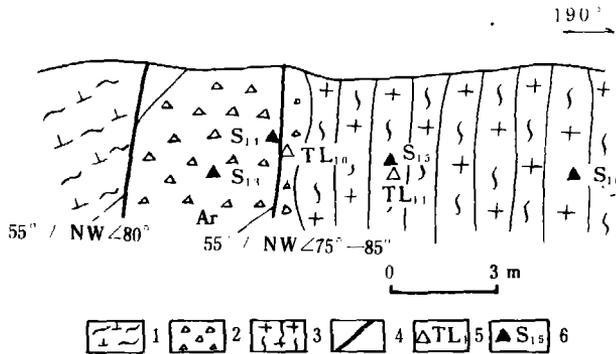


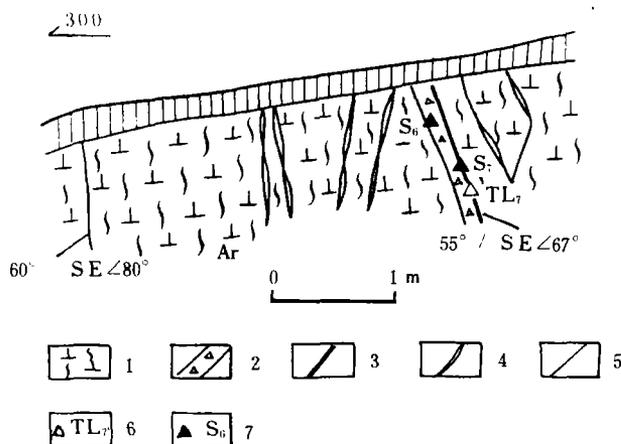
图 6 柳沟村北 F₂₀₇断层剖面图

1、构造岩, 2、断层角砾岩, 3、花岗质混合片麻岩, 4、断层, 5、测年样品采集点及编号, 6、显微构造样品点及编号

表 4 铀系样品测年结果表 *

样品号	断层名称	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	铀系不平衡年龄 (万年)
TL-8	F214 断层	1.2641 ± 0.0800	0.8329 ± 0.0675	17.35 ± 3.14
TL-11	F207 断层	1.15306 ± 0.0670	0.89864 ± 0.0682	22.10 ± 5.12

* 测试者：闵光融

图 7 F₂₁₄断层剖面图

1、闪长玢岩，2、断层角砾岩，3、断层泥，4、方解石脉，5、断层，6、测年样品采集点及编号，7、显微构造标本点及编号

3 断层主要活动时期的确定

众所周知，岩浆侵入是跟随着强烈的构造运动，特别是断层活动后的事件，象基性岩类的岩浆，它是来自地壳的较深处，断层活动给它创造了侵入的通道。从上述的简介看，研究区主要有两期岩浆侵入事件，早期生成的如姚家庄的辉石岩等，它表明在前元古代壶流河断层曾有过一次较强烈活动。对照研究区发展简史，自晚元古代后期拗拉槽的相继封闭，其后是一个漫长地质时期的稳定阶段，地壳构造运动相对宁静。直到燕山运动时期，随着地壳构造运动重新活跃，断层的强烈活动又开始了，多种类型的岩浆岩沿着断层生成就是很有力的证据。随着第二次较强烈活动的结束，又进入一个相对较长的地质时期的稳定。根据研究结果看，自此以后地壳构造运动有逐渐减弱的趋势，从区内其后无岩浆活动就是证明。但是，这并不等于区内的运动就停止了。当然是确定断层后期活动就再不能沿用传统地质法中的岩浆活动为依据。因此，我们结合区内地质发展历史，引进新测试技术来研究断层带中的断层物质，确定断层活动的主要时期。如对姚家庄发育在辉石岩中的断层的研究，显微构造分析法发现其中有假玄武玻璃生成（陈孝德等，1991）¹⁾，人们把假玄武玻璃看作是地震断层错动的标志物（Sibson，1975，1983，1986，杨主恩，1981）^[2-3]，意即假玄武玻璃是发生强震时，在断层快速破裂的错动过程中，错动面附近岩石在快速错动摩擦熔融的结果。表 1 列出的裂变径迹年龄为 6~9 千万

1) 陈孝德等，断层岩显微构造研究，1991 年。

年,用作测试的原岩应生成于元古代前,其生成后仅经历过燕山期的强烈活动(断层错动和花岗岩脉、伟晶岩脉的侵入)。我们知道,裂变径迹法测年是国际公认较成熟的,它对元古代以前生成的磷灰石的测试结果为:6~9千万年,绝非偶然,它应代表一次重大的热事件,这也就是生成假玄武玻璃的第三次断层的主要活动——强烈地震事件。

根据地质发展史,上新世以后本区进入一个新的发展阶段——华北地台区断陷带和大型裂陷盆地形成。其时,区内壶流河断层与油房断层一起作为边界断层控制了湖盆的生成和发育,活动时期从上新世开始延续到整个早更新世,这就是区内第四次断层主要活动时期。这一结论也得到应用干涉显微镜对从壶流河断层、 F_{207} 断层、 F_{214} 断层和 F_{213} 断层中采集的断层泥样品中石英形貌取得的结果(表3)的证实。胥怀济同志根据四个样品中石英粒表面侵蚀程度主要是B、C两级,认为其主要活动时期是上新世到早更新世²⁾。两个角度取得的结果基本一致。

对区内断层的地质调查知壶流河断层和油房断层都切断了下更新统,特别是后者有确凿证据(上更新统覆盖在断层上)证明被上更新统覆盖着,说明在早更新世以后到晚更新世之前还有一次较显著的断层活动。结合从上述断层(除油房断层外)带采集的断层物质(方解石和断层泥等),经实验室应用热释光、铀系法分别测试定年(表2、表4),配合显微构造分析确认,那些没有经受过断层作用的方解石(如TL-4、TL-6、TL-8和TL-11,无变形纹等)是在断层活动基本停止后生成的,相当于覆盖在断层上的沉积层,因此,TL、U系法测得的20万年左右年龄,可看作是断层活动的上限时间(刘行松等,1989,1991)^[6,7],再结合以断层泥为测试对象取得的年龄值等,可以有把握地确定出断层最后一次较强烈活动时间为20—30万年,与地质法得出的结果吻合,即第五次主要活动时间。

4 小 结

总结上述,化稍营地区的断层经历过五次主要活动时期:第一次在元古代前;第二次为燕山期;第三次是6~9千万年;第四次在上新世—早更新世;第五次为20~30万年。

众所周知,地壳构造运动(含断层活动)是复杂多变的,随着时间的推移表现出阶段不同,大量研究材料证明,每一个活动阶段都不是简单的重复,除部分继承外,更多的还是新生(李琿等,1965)^[8],而每一次活动的强烈程度和时间的长短,可能与导致其活动的原动力有关。本文得到的每一主要活动时间的长短和强度的不同就是一例。

由于断层活动方式和规模等的不同,沿用传统研究方法常有漏掉某些断层活动事件(如强烈地震的发生等)的可能,而直接研究断层物质,就可以弥补这一漏洞。研究实践证明,以断层物质为研究对象,结合区域地质构造发展研究,可以很好地研究断层活动事件,是研究断层主要活动时期的理想途径。

本文的研究实践表明,将新的分析测试技术引进到研究断层主要活动中是可行的,而且它还能独立取得需要的结果,当然,也可以用它来映正根据地质发展取得的结果。据

2) 胥怀济,石匣里水库坝区及其附近断层泥石英粒表面形貌的干涉显微镜研究,1991年。

此，在实施研究中，最好能将两者结合起来。特别是在研究一条具体的断层时，利用分析测试技术更能取得比较确切的结果。本文中的第三次活动，仅依据地质发展是得不到的，而它对壶流河断层来说是一次不应忽略的强震发生的事件。当然，据此要来说明一个地质时期的强震活动周期显然是达不到的。不过根据以断层物质为研究对象的研究思路，当分析测试技术有重大突破时，有更细致的基础工作的配合，相信最终是能够达到的。本文提出第三次活动是强震事件，需要说明，它代表的是一系列强震的发生，而不是单个地震。

我们知道，强震的发生是在断层主要活动阶段，因此，应用分析测试技术综合研究的工作，目前虽然还达不到确定出一个活动阶段中强震重复发生的周期，但在了解断层在某一阶段中是否会发生强震等方面就具有实际意义。

(1992年2月20日收到初稿)

参 考 文 献

- 1 马杏垣，张家声，劳秒元. 前寒武纪构造格架，中国岩石圈动力学地图集。
- 2 杨主恩. 北京密云北石城断裂带的断层特征及其地震事件的可能证据. 地震地质，1981，3 (4).
- 3 Sibson, R. H. Generation of Pseudotachylite by Ancient Seismic Fault. Geophys. JR. astr. Soc. 1975, (43).
- 4 Sibson, R. H. Continental Fault structure and the shallow Earthquake Source. J. Geol. Soc. London, 1983, 140 (5): 741—767.
- 5 Sibson, R. H. Earthquake and rock deformation in crustal fault zone. Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 1986, 14: 149—175.
- 6 刘行松，何永年. 断层活动时间的定量研究. 地震，1987，(2): 66—75.
- 7 刘行松，胥怀济. 应用同位素测年法综合研究断层新活动. 地震地质译丛，1991，13 (3): 57—60.
- 8 李琛，张世良，刘行松，等. 对长江三峡东段新构造的几点新认识. 构造地质问题，北京：科学出版社，1965：49—64.

A STUDY ON THE MAJOR PERIODS OF FAULTING

Tang Hanjun and Liu Xingsong

(Institute of Geology, SSB, Beijing 100029)

Abstract

The Information on the major periods of fault activities in a region is a basis for understanding the history of crustal motion or fault development.

In this paper, the major periods of faulting in Huashaoying area, Yangyuan Cornty, have been studied by means of the traditional geological methods combining with isotopic dating, quartz surface textuer observing and microstructural analysis, and the better results have been obtainde. The main periods of faulting in the area are as follows: pre-proterozoic era; Yanshan cycle; the period of 60--90ma; Pliocen -- Early Pleistocene epoch and the last period of 0.2--0.3ma

Key words: Major periods of faulting, Isotopic dating, Quartz surface textuee, Microstructtral analysis