

广州抽水蓄能电站场址区断层活动性研究^②

刘行松 史兰斌 李祖信^③ 唐汉浑 林传勇^④

(国家地震局地质研究所, 北京 100029)

提 要 抽水蓄能电站建于基岩中。文中运用变形岩石显微构造分析方法和同位素年龄测定法重点分析测试了场区三个主要断层— F_{7012} 、 F_1 和 F_2 中的断层岩和方解石脉。测试结果得出三条断层都有多期活动, 早期活动相当强烈, 并在规模较大的 F_1 断层上发现有古地震遗迹, 后来断层活动的强度逐渐衰减。 F_{7012} 断层最后一次较强烈活动的时代为距今 20 万年前左右, 活动时的差应力约 120 MPa, 具有左旋滑动的性质, 断层活动的上限时间为距今 15 万年前左右。

关键词 广州抽水蓄能电站场址 断层活动性 方解石脉 断层泥 同位素年代测定

1 前 言

广州抽水蓄能电站位于从化县境内。场址所在区是现代较稳定的地块, 区内较大的断层为走向北西的 F_1 和 F_2 (距厂房 2 千米以上), 厂房附近最主要的断层为 F_{7012} (规模较小)。根据有史以来的记载, 工程区及其附近没有发生过破坏性地震, 已有资料表明它们都不是活断层。

由于该电站建在燕山期的第三期中粗粒(斑状)黑云母花岗岩体内, 要研究的 F_1 、 F_2 和 F_{7012} 断层都发育在老基岩中, 仍沿用传统研究断层活动的方法, 难以得取断层新活动(特别是最后一次活动)的确切数据。因此, 笔者以断层物质^[1,2]为对象, 利用新的分析测试技术(显微构造分析、热释光、电子自旋共振和铀系法等)来研究断层的活动。

2 区域地质背景简介

位于南岭山系南麓的广州抽水蓄能电站, 区域地质构造比较复杂, 展现出加里东、印支、燕山和喜马拉雅运动所形成的不同构造。

加里东构造阶段, 在较广阔的地区于寒武、奥陶、志留纪时期, 普遍沉积了一套总厚度 > 2500m 的以浅海相为主的类复理石砂页岩建造、硅质岩建造、笔石页岩建造、碳酸盐

① 本文收稿日期: 1992-08-22

② 国家自然科学基金助项目

③ 能源部、水利部水利水电规划设计总院

④ 参加野外工作的还有: 计凤梧、胥怀济、万景林, 等

岩建造和火山碎屑岩建造。志留纪末的加里东构造运动,使上述地层形成紧密的线型复式褶皱和相应的断层,轴向以北东东向为主;强烈的区域变质作用更使岩石千枚岩化、片岩化和片麻岩化等,以及局部地区发生中酸性岩浆侵入和混合岩化作用。总的讲,这一次地壳构造运动所形成的构造格架是区内地质构造发展的基础。其后的海西构造阶段比较宁静,区内缺少该期构造运动的证据。

印支构造阶段:包括泥盆、石炭、二叠和早、中三叠纪,沉积物以滨—浅海相碎屑岩建造、碳酸盐岩建造及含煤碎屑岩建造为主,总厚度约10000 m。印支构造运动使上述沉积层形成过渡型褶皱,轴向以北北东向为主,也有关于酸性和中酸性岩浆活动(局部地区)的报导。

燕山构造阶段:包括晚三叠世、侏罗、白垩纪,沉积物除早期为海陆交互相碎屑岩建造及含煤碎屑岩建造外,在广大的地区内结束了海相沉积的历史,中、晚期为内陆河湖、山间盆地的碎屑岩建造、火山碎屑岩建造、类磨拉石建造以及红色盆地碎屑岩建造。大量资料证明,燕山运动是区内一次最强烈的构造运动,可划分成5个构造运动幕:早侏罗世与中侏罗世、中侏罗世与晚侏罗世、晚侏罗世与早白垩世、早白垩世与晚白垩世以及晚白垩世与早第三纪之间。综观之,整个燕山运动阶段是以强烈的断层活动伴随着动力变质(沿断裂带形成宽达数百米或几公里的动力变质带)和大规模的岩浆侵入和喷发为主,其主要活动构造的方向为北东向,东西向次之。

随着强烈的燕山运动结束,地壳构造运动逐渐减弱。如紧接其后的喜马拉雅运动的主活动区已迁移到雷琼地区和沿海一带,雷琼地区多期次(频繁的)新生代玄武岩浆的喷溢就是其表现。在工程区及内陆的广大区域内仅有一些第四纪沉积物的零星堆积(以河流相和残、坡积为主)。值得特别注意的是第四纪盆地的排列方向和现代水系的发育多作北西向,这可能表明北西向构造的活动占有重要位置。

研究广州抽水蓄能电站场址区及附近的地质构造,不难找到上述各主要构造阶段的痕迹,这意味着它们对该工程区都有一定程度的影响。如:加里东运动阶段所形成的佛冈—丰良断裂带就是区内潜伏的基底断裂,工程区南侧出露的水口断层可能就是它的一部分或是在后期的构造运动中继续发展而成的,该断层走向北东东,倾向北西,倾角约45°,发育有宽约2米的断层角砾岩带;在印支运动阶段,除了沉积有泥盆、石炭系外,还生成了一些断层(如石坝墟断层等)和轴向北东的褶皱;燕山运动阶段的影响更为明显,象燕山期的岩浆活动(蓄能电站场址就在该期生成的花岗岩中),西侧沉积有侏罗系并形成轴向近东西的褶皱,也相应生成了一些断层和部分老断层的再活动等;喜马拉雅运动阶段,总体活动已明显减弱,在工程区及其附近,仅有部分第四纪的河流相堆积,以及部分断层的再活动(后述)。

3 场址区主要断层的地质概况

根据工程建设的需要,重点研究了与该工程关系较密切的 F_{7012} 、 F_1 和 F_3 三条断层(图1)。 F_{7012} 断层虽然是一条规模较小的地壳浅表断层,但由于它位处电站的厂房附近,其活动与否对该电站的安全来说至关重要; F_1 和 F_3 断层分别位于厂房的南边和北边2 Km以外,由于它们的规模较大,较长时期作为软弱带,若发生较强的地壳运动,它们将首当其冲,因

此，若它们有新活动时，也可能会对电站的安全有影响。

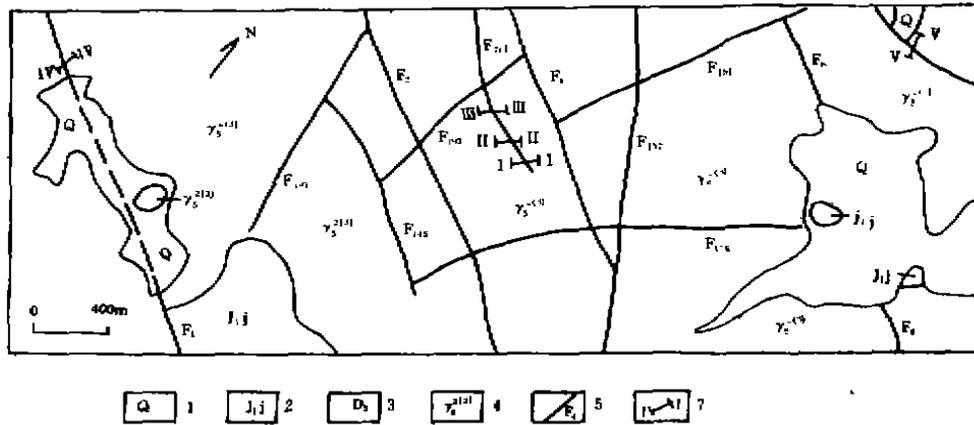


图 1 广州抽水蓄能电站场址区主要断层及考察剖面位置图

Fig. 1 A sketch map showing the main fault zones and the localities of fault section in the working area.

1 第四系 (Q); 2 侏罗系金鸡组 (Jij); 3 泥盆系上统 (D3); 4 燕山期第三期粗粒花岗岩; 5 断层及编号; 6 剖面位置及编号

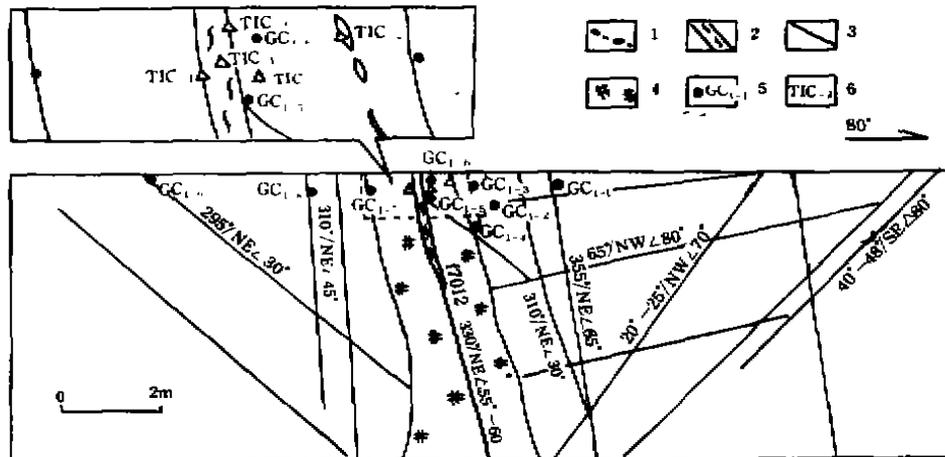


图 2 电站厂房平洞中 F7012 断层剖面及采样位置图

Fig. 2 Geological section and sampling sites along the fault F7012 in the workshop adit.

1 方解石脉; 2 断层泥; 3 节理; 4 破碎带; 5 定向标本采样点及编号; 6 测年样采集点及编号

3.1 F7012 断层

位于电站厂房的西南角，断层发育在花岗岩体中，总体走向北 34°西，倾向北东，倾角 60°—85°。在平洞中跨断层考察了三个剖面，并采集了系统的分析、测试样品。

剖面 1 位于厂房所在的平洞中 (图 2)，断层走向 330°，倾向北东，倾角 55°—60°，断层带宽约 2 m，带内发育有碎裂岩、断层角砾岩和断层泥。值得注意的是带内方解石脉十分发育，由于它的充填，断层带岩石被胶结成较完整的整体。方解石脉基本上是平行于断层面贯入的，有肉红色和乳白色两种类型。仔细观察还可发现，方解石脉有一定的穿切关系，据此可初步断定，方解石脉有不同的期次 (详细分期需在室内工作之后)，反映了断层活动

的多期次。根据断层岩（被方解石脉胶结之后）比较完整，不难初步看出，断层的最新活动并不强烈。但它相对花岗岩来说毕竟强度要弱得多，这也是不应忽视的。

剖面2位于支硐中（图3），断层走向350°，倾向北东，倾角80°。该剖面的情况与剖面1基本类似，断层带中充填的多期次方解石脉更发育。

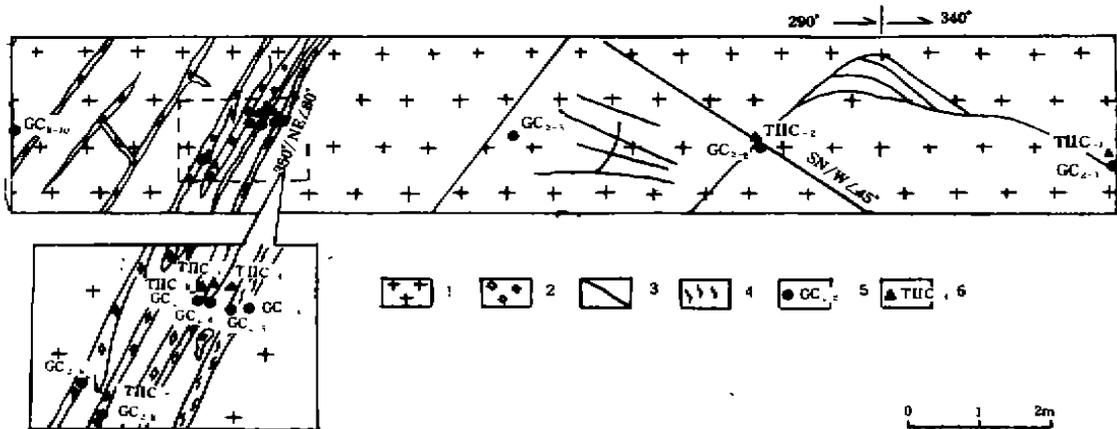


图3 支硐中 F_{7012} 断层剖面及采样位置图

Fig. 3 Geological section and sampling sites on the fault F_{7012} in the branch adit.

1 花岗岩；2 方解石脉；3 节理；4 断层泥；5 定向标本采样点及编号；6 测年样采集点及编号

剖面3位于大平硐中（图4），断层走向300°，倾向北东，倾角85°。与剖面1、2类似，除有较强烈的破碎外，方解石脉亦十分发育。

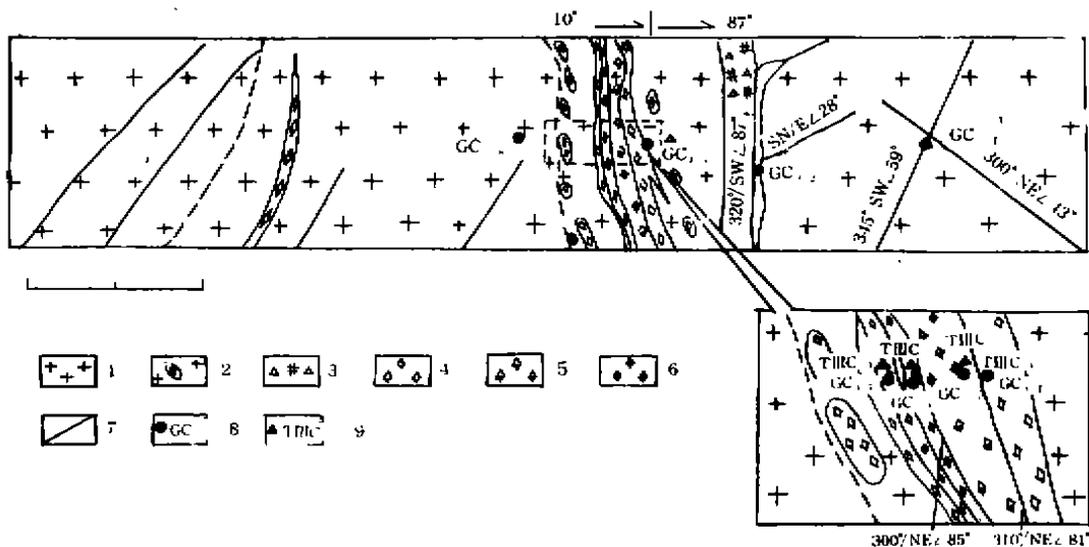


图4 大平硐中 F_{7012} 断层剖面及采样位置图

Fig. 4 Geological section and sampling sites on the fault F_{7012} in the grant adit.

1 花岗岩；2 含方解石团块花岗岩；3 角砾状破碎带；4 肉红色方解石脉；5 灰白色方解石脉；6 乳白色方解石脉；7 节理；8 定向标本采样点及编号；9 测年样采集点及编号

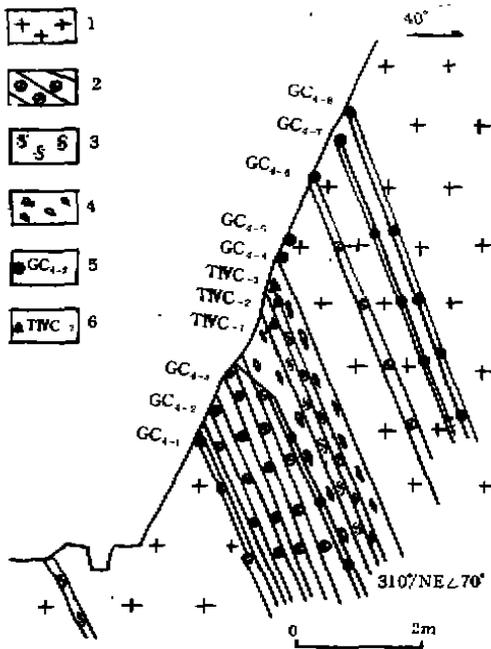


图5 F₁断层剖面及采样位置图
Fig.5 Geological section and sampling sites on the fault F₁.

1 花岗岩, 2 硅化带, 3 片理化带, 4 角砾岩带; 5 断层泥带, 6 碎裂带; 7 定向标本样点及编号; 8 测年样采集点及编号

由于F_{70,12}断层带中的方解石脉特别发育, 为我们研究它的新活动提供了十分有利的条件。

3.2 F₁断层

该断层位于电站上库西凹口的公路旁边(图5), 该剖面的断层走向310°, 倾向北东, 倾角70°, 断层发育在燕山三期花岗岩和侏罗系的接触带附近。断层活动除了使岩石强烈破碎外, 还有较强的硅化。硅化之后断层又有活动, 结果使硅化带破碎, 更生成了厚约20cm的断层泥带。由于该断层带中没有生长方解石脉, 要研究断层的新活动, 只能借助于生成较晚的断层泥。考虑到这样宽的断层泥带绝非一次断层错动的结果, 所以, 我们从该断层泥带的两侧和中间分别采集了测试样品。

3.3 F₂断层

该断层位于电站厂房东北约2Km的下库附近, 发育在燕山三期花岗岩和泥盆系的接触带附近, 断层产状约: 走向315°, 倾向北东, 倾角65°。主断面处露头不好, 所出露的断层部面(图6)上仅有发育在泥盆系中的一条次级断层。但该断层带中既无方解石脉发育, 也没有生成断层泥, 为了解断层的活动特征, 我们在

该剖面中采集了断层岩样品, 以便做变形显微构造研究。

在野外考察中, 我们采集了大量断层岩样品, 在室内运用多手段对其进行综合分析, 从而获得了有关断层活动规律的信息。

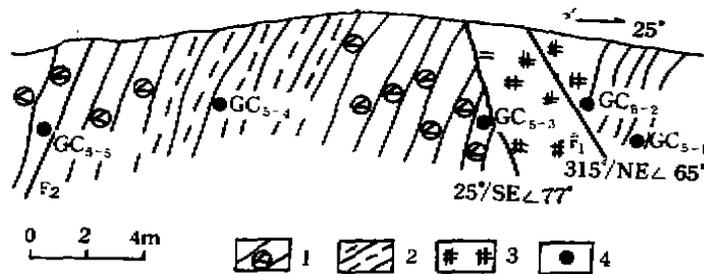


图6 F₂断层旁侧次级断层剖面及采样位置图
Fig.6 Geological section and sampling sites on the secondary fault of F₂.

1 硅化砂岩; 2 片岩; 3 碎裂岩; 4 定向标本采样点编号

4 断层活动特征

在野外考察的基础上,我们采集了大量断层岩样品,以便在室内运用多种手段对其进行综合分析测试,从而获得有关断层活动规律的信息。

4.1 断层岩变形特征

断层岩是指断层带中的或断层作用造成的构造岩,它是研究断层活动的主要对象。由于在所研究的断层带(主要是 F_{7012})内方解石脉十分发育,而且由方解石脉中可以获得更多的有关断层活动的信息,所以本文把方解石的变形单独提出来讨论。

4.1.1 F_{7012} 断层:综合对 F_{7012} 断层三个剖面上的标本的显微构造分析结果可知,有些采自断层带内的标本基本上保持花岗岩的微观特征。其中的石英晶粒巨大、新鲜,塑性变形特征不突出,只有轻微的波状消光和亚晶粒化。值得注意的是长石、云母等矿物的蚀变。斜长石蚀变较轻时,可以看到与绢云母或绿泥石的过渡关系;较严重时,则完全绢云母化。条纹长石在正交偏光下为黑白相间的条带,黑色部分为蚀变的钾长石,白色部分为钠长石;在单偏光下,钾长石为黄色的泥质,正长石成黄色的土状。

碎裂的花岗岩显示出三种结构类型。一是简单的或未经改造的碎裂结构。值得注意的是距断面很近的样品碎裂很强,已具超碎裂结构,有明显的碎砾和基质之分。二是经过改造的碎裂结构,在这里已无明显的碎砾和基质的区别,而是细粒的全晶质,看上去似细晶岩或霏细岩结构。但从其与较完整花岗岩的逐渐过渡关系看,它不是岩脉,而是由超碎裂结构经再结晶作用形成的,伴随断裂作用的石英热液活动在其中起了重要作用。三是改造后的碎理裂结构又叠加上新的碎裂,可以看出在第二种类型的结构上,叠加上有新的微破碎带。

4.1.2 F_1 断层:对标本的镜下观测发现,此断层带岩石具有以下两个特点。a 具有多期碎裂和多期硅化。早期断层活动使岩石碎裂之后,发生硅化,形成的石英集合体多为团块状。后来断层的再次活动,使这些石英团块发生碎裂,同时伴随又一次硅化作用,在碎裂岩的裂隙中穿入脉状石英集合体。这些石英条带总体完整,内部的晶体也未显示变形;b 在花岗岩与沉积岩的接触界线处(主要在花岗岩的一侧)有些玻璃质物质生成,呈两种形态。一种为脉状充填在花岗岩裂隙中;另一种为玻璃化的矿物颗粒,其原轮廓还保存着。这些就是所谓的假熔岩或假玄武玻璃,一般将其看作是古地震的重要标志之一^[3]。

4.1.3 F_2 断层:所研究的断层剖面是 F_2 断层带中次一级的断层,其活动程度与规模显然要弱于主断层。此处断层岩的变形也有两个特点。第一与 F_1 断层相同,有多期碎裂与多期硅化作用;第二是有些标本显示出一定的韧性变形特征,如片理面的揉皱、石英晶粒的定向生长,表明在断层的活动过程中,有较慢速率的韧性剪切作用。

4.2 方解石脉变形

在 F_{7012} 断层带内方解石脉十分发育,在野外工作中采集了一系列的方解石脉标本。虽然它也是断层物质的一种,但由于从其中比一般断层岩可以得出更多的有关断层活动的信息^[4],所以我们予以单独讨论。

断层带中的方解石脉一般都是在断层的每次活动之后,在其产生的裂隙中生长起来的。断层的多期活动往往伴随有方解石脉的多期次充填(有方解石脉生长的断层带)。因此,可

以根据方解石脉的期次来研究断层的活动期次; 方解石对变形作用反应灵敏, 同时又能把变形痕迹很好地保留下来, 因此通过测定不同期次方解石脉的变形参数可以半定量地比较各期次断层活动的强弱, 以及确定断层活动时的应力场; 方解石是多种测年方法(热释光、电子自旋共振和铀系法等)测年的理想对象, 实验证明, 在测年矿物中, 方解石是回零温度要求最低的理想矿物, 因此测定出直接经受断层错动的方解石的年龄, 常可代表断层活动年龄, 而未经受断层作用的方解石脉就相当于覆盖在断层上的沉积层, 其年龄值可以看作是较准确的断层活动的上限时间(因方解石生成速度较快)。

4.2.1 方解石脉期次的划分

方解石脉的期次划分可以通过野外和室内相结合来进行, 在野外主要根据脉的不同形态、不同颜色和相互交切关系等; 在室内主要通过镜下观测, 可根据以下几个标准: a. 脉的穿切关系; b. 粒度差异, 若两期脉宽相近, 而其晶粒粒度相差很大, 则可能为不同期次, 但何者为早期则尚需其他证据; c. 变形程度的差异, 主要是机械双晶发育程度及碎裂程度, 方解石变形程度越强, 方解石集合体中发育双晶的晶粒占的比例越大, 且其中发育多组双晶(两组或三组)的晶粒占的比例越大, 双晶纹也更密集, 需特别注意其所处的构造部位。如两条脉的变形程度相差较大, 其中变形强的为早期。早期的脉还可能发生碎裂, 有时只剩下一些碎块被包围在晚期完整的脉中。

根据上述标准, 综合分析 F_{7012} 断层 3 个剖面中的方解石脉可以粗分为四期: 第一期脉碎裂较强, 已见不到完整的脉体, 残留的碎块被包围在晚期脉体中, 从残留的团块看, 其粒度为 0.3 mm 左右, 晶粒普遍发育双晶, 双晶纹密集且有一定弯曲; 第二期脉晶粒粒度在 0.2—5 mm 之间, 个别标本中有大到 10 mm 者, 多数晶粒发育双晶, 其中具有两组双晶的晶粒也占有较大比例, 双晶纹较密集, 一般的双晶纹平直, 只在少数晶粒中的双晶略有弯曲和扭折, 在部分标本中可以见到此期脉有穿切石英脉的现象; 第三期脉的粒度与第二期者相似, 但变形程度相差甚大, 一般晶粒无双晶, 或少量晶粒发育很稀疏的双晶; 第四期脉晶粒细小, 粒度在 0.1 mm 以下, 不发育双晶。

4.2.2 变形参数及差应力大小

为了定量对比各期次脉的变形程度和推导变形时差应力^[5]的大小, 测定了各期脉的变形参数。包括 a. 双晶纹间距指数: 垂直双晶面方向上每单位长度(mm)内双晶纹的数目; b. 双晶纹发育程度: 发育一、二、三组双晶和未发育双晶的晶粒各占的比例。现将所测结果列于表 1 中。因为第一期脉只有一些残留碎块, 统计其双晶发育程度没有代表意义, 所以只测量了双晶纹间距指数。研究该表可以看出, 虽然是同一期脉, 但在不同标本中其变形参数相差还是较大的, 尤其是双晶化发育程度相差更大, 所推导出的差应力相差也较大。显然这可能与标本所在的具体构造部位有关, 由于这是一种半定量的参数, 用于进行相对变形程度的比较还是有意义的。为了便于比较, 取各项参数的平均值综合列于表 2 中。对第二期脉来说, 由二组和三组双晶纹推导的差应力比较接近(120 和 130 MPa), 它们与由一组双晶推导的差应力(约 70 MPa)相差较大。在双晶化程度较高时, 用多组双晶纹推导的差应力值比用一组推导的值更准确^[6]。因此, 可将其变形时的差应力值确定为 120 MPa 左右, 这与其他地区小断层活动时的应力水平相比是比较高的^[7]。由第三期脉得出的差应力为 25 MPa, 可见应力水平衰减很快。从双晶纹间距指数及双晶发育程度看, 变形强度降低也很大。第四期脉则未显示变形。

表1 方解石脉的各项参数及推导的差应力

Tab. 1 Parameters of calcite veins and inferred differential stress

采样位置	标本号	脉的 期次	粒度 (mm)	双晶纹 间距指数 (条/mm)	双晶化晶粒百分比及推导的差应力 (MPa)							
					无双晶		一组双晶		二组双晶		三组双晶	
					%	σ	%	σ	%	σ	%	σ
厂房平硐	GC1-3	3	5~15	14	80	20	24					
	G1-6	4	0.05~0.1	无双晶								
支	GC2-2	3	5~15	20	75	25	20					
		2	1~3	30	32	40	55	28	120	0		
	GC2-5	3	1~4	无双晶								
	GC2-6①a	4	0.05~0.1	无双晶								
1		~0.3	60									
平	GC2-6①b	2	2~10	36	26	20	75	47		7	170	
		3	2~10	15	80	20	24					
	GC2-6①c	2	0.5~3	32	25	22	78	46		7	170	
		3	1~5	17	75	25	26					
硐	GC2-6②	1	0.2~3	66								
		2	0.5~3	30	29	36	64	34		1	83	
	GC2-7	3	0.2~2	无双晶	无双晶							
		1	~0.3	60								
硐	GC2-9	2	0.5~5	40	24	35	85	37		4	130	
		1	~0.3	59								
	GC2-10	2	0.5~5	36	26	38	75	32	170	4	130	
		3	1~5	无双晶								
硐	GC3-3	2	0.5~3	32	28	40	68	30	130	2	100	
		3	0.5~3	无双晶								
	GC3-4	4	0.05~0.1	无双晶								
		2	0.2~2	35								
硐	GC3-5	3	~10	无双晶								
		1	~0.3	67								
	GC3-6	2	0.5~5	40	25	35	78	40				
		2	0.5~3	34	30	51	60	19	70	0		
硐	GC3-7	1	~0.3	62								
		2	0.5~3	36	24	16	85	30	130			
	GC3-7	2	0.2~3	38	25	30	78	43		2	10	
硐	GC3-7	2	0.3~5	36	26	49	75	25	90			
		3	0.5~3	无双晶								

表2 方解石脉各项参数综合简表

Tab. 2 Synthetic and simplified table from Table 1

期次	间距指数 (条/mm)	双晶化晶粒百分比及推导的差应力 (MPa)						
		无双晶	一组双晶		二组双晶		三组双晶	
			%	σ	%	σ	%	σ
1	60~67							
2	30~40	20~30	20~50	~70	20~50	~120	<7	~130
3	<20	75~80	20~25	~25				

4.2.3 断层活动时的应力方位

利用方解石双晶纹的动力学分析还可求出方解石脉变形（断层活动）时的应力场方位^[4]。其基本原理是双晶纹方位、主晶光轴方位与主应力轴（拉张轴或压缩轴）有确定的角度关系。具体做法是在旋转台上测定同一期脉中每一晶粒的双晶纹方位和主晶光轴方位，推导出相对于该晶粒的拉张轴或压缩轴。一般在一个薄片上要测定 100 个左右的晶粒，把推导出的所有晶粒的拉张轴和压缩轴分别投影在赤平面（等面积面）上作等密图，然后再根据等密图的型式及其与断层的关系推断层的活动性质。

根据上面的分析，F₇₀₁₂断层中的第一期脉已碎裂，只见到少量残留碎块，第三期脉双晶不很发育，所以无法对它们进行测定。只有第二期脉变形较强，但遗憾的是其晶粒太大，多数薄片内只有 2、3 个晶粒，无统计意义。其中我们选择了 4 个晶粒较多适于测量的薄片（GC3-4, 6, GC2-6①b, GC2-6①c）进行了动力学分析。测定后作出的主应力轴等密图如图 7 所示。其中除了 a、b 图极密部极密程度略低外，其他图的极密程度都较高，可以以极密部的位置代表主应力轴。把主应力轴（T 表示拉张轴，C 表示压缩轴）旋转后投在水平投影面上，并画上标本所在剖面处的断面 F，如图 8 所示。

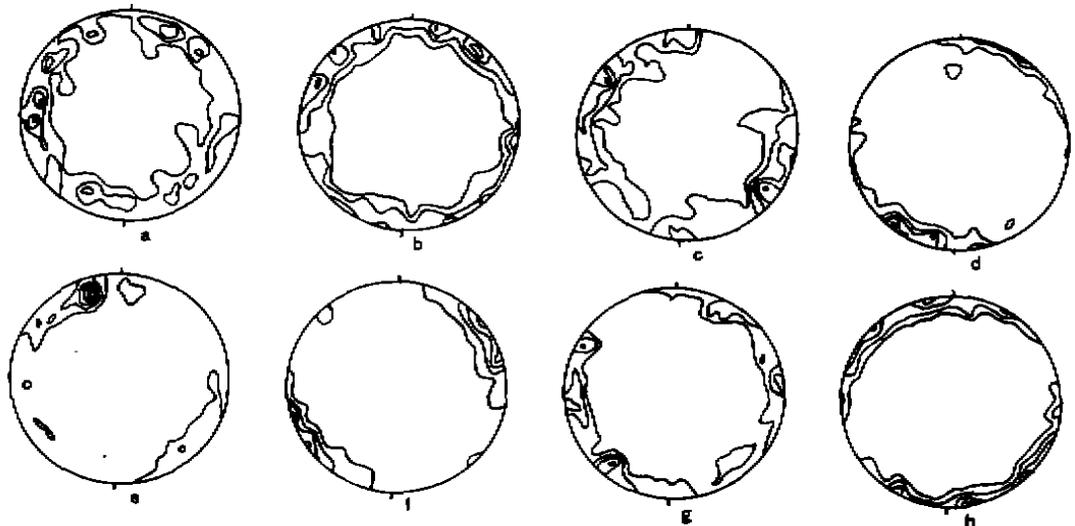


图 7 由方解石双晶纹动力学分析得出的主应力轴等密图

Fig. 7 Contour diagrams of the principal stress axes inferred from calcite twin dynamic analysis.

a 标本 GC2-6①b, 拉张轴等密图, 等密线分级: 1-3-5-7%; b 标本 GC2-6①b, 压缩轴等密图, 等密线, 1-3-5-7%; c 标本 GC2-6①c, 拉张轴等密图, 等密线: 1-3-5-7-9%; d 标本 GC2-6①c, 压缩轴等密图, 等密线: 3-6-9-12-15%; e 标本 GC3-4, 拉张轴等密图, 等密线: 3-6-9-12-15%; f 标本 GC3-4, 压缩轴等密图, 等密线: 3-5-7-9-11%; g 标本 GC3-6, 拉张轴等密图, 等密线: 3-5-7-9%; h 标本 GC3-6, 压缩轴等密图, 等密线: 3-5-7-9%

分析图 7 由 GC2-6①b, C 得出的主应力方位为北西西—南东东向挤压, 北北西—南南东向拉张, 断层显示左旋滑动; 由 GC3-4, 6 得出的主应力方位为东北—南西向挤压, 北西—南东向拉张, 仍显示了左旋滑动。由 4 个标本得出和主张应力方向基本一致, 但其主压应力方向却相反。我们知道, 由方解石双晶纹动力学分析得出的主应力方位是标本所在

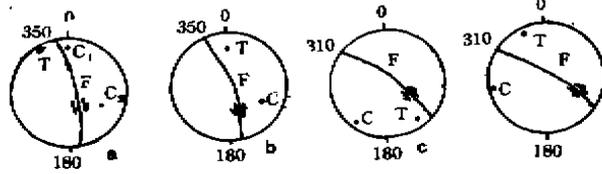


图8 主应力轴和断面在水平面上的投影

Fig. 8 The projections of principal stress axes and fault plane on horizontal plane.

a 标本 GC2-6①, b 标本 GC2-6②, c 标本 GC3-4, d 标本 GC3-6; T—位张轴; C—压缩轴; F—断层面

位置的局部力场, 如果有较多可测定的标本, 得出更多的局部应力场方位, 综合分析就可得出作用该断层的应力场方位. 在此只有4个可测定的标本, 故难以对 F_{7012} 断层晚期较强烈活动时的应力场方位作出较准确的判断, 但可初步认为, 这次活动的张应力方向可能是北西—南东, 断层以左旋滑动的活动方式为主.

4.3 断层活动特征

综合上述可以对3条断层的活动特征作出以下的分析.

F_1 断层带的断层岩具有碎裂—硅化—碎裂—硅化的结构特点, 断层有多期活动, 从假溶岩的发育可推断早期断层活动伴有石古震事件; 从晚期石英脉的完整性及脉内晶粒未变形看, 断层的新活动很微弱或基本上停歇了.

F_2 断层带中也具有多期碎裂和硅化的特点, 反映了断层多期活动, 在早期活动中有韧性剪切, 但主要是脆性断裂, 同 F_1 活动是逐渐减弱.

F_{7012} 断层中有4期方解石脉作标志, 可更详细地了解其活动. 在方解石脉充填之前和第一、二期脉充填之后断层的活动都是比较强烈的, 如第二期脉生成后活动时的应力水平约120 MPa, 断层活动具有左旋滑动性质. 从方解石脉的变形参数和差应力大小看, 此后断层活动逐渐衰减, 在第三期脉充填之后的活动已很弱, 第四期脉生成后已看不出断层活动的迹象. 总的看, 断层未显示最新活动迹象, 但花岗岩因强烈蚀变造成其强度大大降低, 这倒应引起工程足够重视.

5 断层活动时代

断层活动的时代, 特别是最后一次较强烈活动时间, 是工程建设最为关心的问题. 为此采集了大量适于测年的方解石和断层泥样品, 用 TL、ESR 和 U 系法和测定的年龄结果列于表3.

分析和使用这些年龄值时, 需弄清其他质含义, 主要是若被测矿物发生了变形 (经受断层作用), 其原有的信息是否因断层作用而清除干净 (回零) 了^[1,2,9,10].

在表3中有一组取自 F_{7012} 断层的方解石脉的 TL 年龄为20 万年左右, 显微构造研究表明, 这组脉有较强的变形 (发育双晶的晶粒占比例很高且双晶纹有弯曲和扭折), 相当于前面分析的第二期. 这期脉是否已达到回零的程度, 尚不能肯定, 不过我们可以结合在该断层中不同剖面上采集的3个断层泥样的结果分析. 其 TL 年龄为: 19.31 ± 1.45 、 21.68 ± 1.60 、 20.59 ± 1.50 万年, ESR 年龄为: 21.99 ± 3.30 、 22.96 ± 3.44 万年. 5个年龄值十分接近, 均为20 万年左右. 根据年龄值的吻合, 可以初步推断 F_{7012} 断层最后一次较强烈活动的时代为距今20 万年前左右 (中更新世晚期).

另外在 F_{7012} 断层剖面中采到的未变形的方解石脉的 TL 年龄为: 14.41 ± 1.18 、 $16.43 \pm$

1.30 万年, U 系年龄为: 14.67 ± 2.86 、 12.30 ± 2.44 、 15.85 ± 3.00 万年, 5 个数据也十分接近, 为 15 万年左右, 它们是该期方解石脉生成的年龄, 它相当于覆盖在该断层上的新沉积层, 所以 15 万年左右的年龄值是理想的 (一般方解石脉是断层活动后快速充填的) 断层活动的上限时间。

在 F_1 断层中只采集了三个断层泥样品, 其 TL 年龄为: 18.48 ± 1.35 、 16.14 ± 1.19 和 15.20 ± 1.08 万年。由于在一个较局部的地区内, 在统一的区域应力的场作用下, 区内断层活动的时间常具有同步性特点^[11], 所以根据 F_{7012} 断层最后一次较强烈活动的时间为前 20 万年左右, 可以推断 F_1 断层的活动时间可能与 F_{7012} 相同或略晚, 所以可将 F_1 断层最后一次活动的时间确定为距今 17 万年左右。至于 F_9 断层, 未取得年龄数据, 但根据同样的道理, 依据上面两条断层的年龄, 也可以认为 F_9 断层最后一次强烈的活动时间为中更新世晚期。

表 3 广州抽水蓄能电站区断层测年综合表
Tab. 3 Isotopic dating data from the fault materials.

样品号	断层名称	TL (热释光) [*]			ESR [*] (电子自旋共振)(不平衡年龄) (万年)	U 系 [△] (万年)	变形情况	
		ED (GY)	DY (GY) $\times 10^{-2}$	($A \pm \sigma$) $\times 10^4$ (a)				
T1C-1	F_{7012}	1864.51	0.9657	19.31 ± 1.45	21.99 ± 3.30		断层泥	
T1C-2		107.27	0.3515	30.67 ± 2.39			/	
T1C-3		1703.52	0.3009	56.61 ± 4.70			/	
T1C-4		479.23	0.2301	20.83 ± 1.73			/	
T1C-5		340.70	0.2364	14.41 ± 1.18			14.67 ± 2.86	未变形
T11C-1	厂 房 平 洞	2766.82	1.2763	21.68 ± 1.60	22.96 ± 3.44		断层泥	
T11C-2		857.38	0.3058	28.04 ± 2.33			未变形	
T11C-3		1991.81	0.9675	20.59 ± 1.50			断层泥	
T11C-4		591.55	0.3600	16.43 ± 1.30			未变形	
T11C-5①	F_{7012}	449.28	0.1514	29.68 ± 2.49			部分变形	
T11C-5②		325.73	0.1598	20.38 ± 1.67			部分变形	
C11C-5③		733.82	0.2348	31.25 ± 2.31			部分变形	
T11C-6	(支平洞)	400.61	0.1813	22.10 ± 1.81	12.30 ± 2.44		部分变形	
T11C-7		408.10	0.1825	22.36 ± 1.79			/	
T111C-1	F_{7012}	666.43	0.0644	103.48 ± 7.84			弱变形	
T111C-2		509.18	0.0760	67.00 ± 4.82			部分变形	
T111C-3		1456.42	0.3832	38.01 ± 3.15			15.85 ± 3.00	部分变形
T111C-4		370.66	0.1283	28.89 ± 2.46			部分变形	
T1VC-1	F_1	1153.15	0.6239	18.48 ± 1.35			断层泥	
T1VC-2		973.44	0.6031	16.1 ± 1.19			断层泥	
T1VC-3		628.74	0.4136	15.20 ± 1.08			断层泥	

* 测试者: 计凤梧等, ×测试者: 中国科学技术大学结构成份分析中心, △测试者: 闵光融

6 结 语

利用新的分析测试技术对基岩中断层活动的研究, 虽然可不再依赖有含化石等的新沉

积作为标志层,但必须具备有较理想的断层物质(方解石脉、断层泥等),要取得可靠的结果,必须要在期次划分的基础上,充分考虑构造部位等,应用合适、有效的分析测试技术,提取断层活动留存在其中的信息,才能较好地说明断层活动问题。本文研究的3条断层,虽只有 F_{1012} 条件较理想,由于它们是位于一个较小的地区内,区域应力场是一致的,它们的走向都是北西向,因此,在统一的构造应力场作用下,其活动一般都有相似的规律,将其最后一次较强烈的活动时间确定为中更新世晚期是可信的。

在野外工作中得到了广东省水利电力勘测设计院徐希贤总工程师等的大力支持和帮助,特此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 刘行松,何永年.断层活动时间的定量研究,地震,1989,5,66—75.
- 2 刘行松,李祖信,等.工程区内断层活动性研究的新方法,水文地质工程地质,1992,19(4),19—23.
- 3 唐汉军,刘行松.断层主要活动时期的研究,华北地震科学,(待刊)
- 4 刘行松,史兰斌,等.方解石脉在断层新活动研究中的应用.中国科学(待刊).
- 5 W.R.贾米森和J.H.斯潘.方解石双晶页理对于推导差异应力的应用、组构和显微构造,何永年等译,科学出版社,1980,117—124.
- 6 J.H.斯潘和J.范德李.石英变形纹和方解石、白云石双晶页理的数值动力学分析,组构和显微构造,何永年等译,科学出版社,1980,106—116.
- 7 何永年,林传勇,史兰斌.根据变形岩石的显微构造特征探讨断层的活动性,地震地质,1984,6(4),39—44.
- 8 F.J.特纳和L.E.韦斯.变质构造岩的构造分析,周金城等译,地质出版社,1978.
- 9 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.
- 10 陈文奇,等.沂沭断裂带断层泥中K-Ar、FT和TL体系年代学含义的初步研究,地震地质,1988,10(4),191—198.
- 11 刘行松,唐汉军.断层活动的同步性特点,华南地震,(待刊).

FAULT ACTIVITY IN THE SITE AREA OF GUANGZHOU WATER—PUMPING ENERGY—STORAGE POWER STATION^①

Liu Xingsong^②, Shi Lanbin, Li Zuxin^③,
Tang Hanjun^② and Lin Chuanyong^②

Abstract

Guangzhou Water—pumping Energy—storage Power Station is built in an area with the exposed bed rocks. On the basis of field investigation, laboratory analysis of many samples of fault rocks and calcite veins collected from 3 main faults F_{7012} , F_1 , and F_2 area in the site was made. Microstructural analysis and isotopic dating techniques were used and the results show that the three faults have experienced multiphase faulting, the early activity was rather intense and was accompanied with the occurrence of palaeoearthquake, then the activities became gradually weaker. The last strong faulting on the fault F_{7012} with left—lateral slip occurred about 0.2 Ma ago and the differential stress during the faulting was some 120 MPa. There is no obvious activity along the fault zones since 0.15 Ma B. P.

Key words: Calcite vein, Fault gouge, Isotopic dating, Fault activity.

① The research is supported by the National Natural Science Foundation.

② Institute of Geology, SSB, Beijing 10029.

③ Academy for Planning of Water Conservancy and Hydroelectro Planning of Water Conservancy and Hydroelectr power Projects, Ministry of Water Conservancy, Beijing 100011.