1983年12月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL Dec., 1983

闽粤板内断块构造活动及其热震效应

王洪涛 范光禄 林爱明*

(福建省地震局)

摘 要

本文依据温泉、地震、构造、岩浆岩分布及其热破裂实验结果,论述了闽 粤地区热场特点,讨论断块活动与热震关系。研究表明,燕山运动以来,断块 分异作用强烈,与地壳深部二次重要热幕活动(距今90—120百万年及157—165 百万年)密切相关。现代热场主要是中生代热幕活动继续发展的结果。分析发现,闽粤构造活动在新生代,其岩浆活动的前峰明显减退。但却存在自北东往 西南冷热交替的块断热震耗散结构特征。断块活动性越强,热震效应越显著, 同时呈现从内陆向台湾渐次增强特点。

剖折闽南—粤北断块的热震能量耗散比率,表明每一断块具有特定的耗散 结构。这是地壳下部与上地幔进行能量传递、转换过程的渠道。它主要取决于 上地幔热流及向横不均匀性。热震能流约占地表大地热流2%±。

本文根据等效原理,探讨构造力和热应力对板内地震孕育及破裂机制联合 作用问题。提出"菱形"断块的周边的深断层端点、拐点是易于热破裂有利场 所,并可能存在曼森一科芬效应导致深部岩石热疲劳和弹性 破 裂——发生 地 震。说明研究热震效应是具有理论和实用价值的新课题。

一、引言

闽粤位于我国东南部,东临西太平洋地震带。本区内温泉众多,中生代岩浆岩广泛分 布,新生代构造变动、地震活动强烈,是研究断块活动热震效应良好的地学环境。

地震,地热关系密切。温泉是地球内热在浅部的显示^[1、7]。温泉活动受地热 异 常区控制,又受浅部构造、岩性及水文地质等因素影响,存在非平衡的热力学过程。因而探寻板内温泉的区域性差异,结合地壳地质构造单元和地球物理场的特征^[2],可以勾划出地 下 热状态的特征,和探寻板内断块构造活动所发生的地震现象与地热异常带的关系^[8,4,5,6]。

*王屏路,游良斌参加部份研究工作。

Ñ

本文分析了闽南一粤北断块周边的地热、地震之间能量比率关系,借助长乐一诏安断裂 带中,动力热变质岩的显微结构构造的特征,讨论地壳深处热力作用过程与现代构造动力学相 互关系。这样"古今兼论"的方法,对探索热震之间关系,可能是一条有效的途径。

温泉

闽粤是我国温泉最多的地区之一,两省温泉出露共达392处,占全国16.3%,释放热能约占21.36%,其中,中高温(60℃—80℃)有126处;高温(80℃—100℃)共有22处;大于100℃的热泉有四处(钻孔内温度)。

温泉主要集中于北纬26°20′到北纬23°,在福建北部和广东的肇庆一顺德一宝 安一带 罕见温泉出露(图1)。

上述温泉的空间位置明显地受活动断裂控制。

岩浆岩

闽粤大片出露燕山期花岗岩和晚侏罗一白垩世中酸性火山喷出岩。古生代花岗岩和新生 代玄武岩分别出露在西部和东部沿海地区(图 2)。

岩浆活动具有如下特点:从空间分布看,岩浆活动具有由西北向东迁移的规律。由时间 上看,从早古生代到新生代均有岩浆持续活动,但中生代末期活动的规模和强度最大。活动 方式具有先侵入,后侵入一喷发,到喷发的特点。物质成分,存在先中酸性,后基性的演化 过程。上述说明我区地壳活动以中生代最为剧烈,具有从西北向东南呈波浪式推进的特点。 新生代以断块活动为主,断裂表现为逐渐向深处扩展的特征。



图1 闽粤地区温泉分布图 Fig.1.Distribution of the thermal Springs in Fujian-Guangdong region.

图 2 闽粤地区岩浆岩分布与岩浆迁移趋势图 Fig. 2 Distribution of magmatite and magma migratory aptitude

构造

闽粤位于北北东向构造系的第二隆起带。其断裂走向主要有北北东,北东、北西向和东

西向。北北东、北东向断裂带,主要有长乐 一南澳、邵武一河源和政和一海丰断裂带。 第四纪以来前者活动性较强,后者活动水平 显著降低。南岭东西向构造带,北起北纬 26°20′南至北纬23°。北部(26°20′-25°20′) 为东西向次级凹陷,南部为隆起。在南岭东 西向构造带的南北界以及次级隆起、凹陷交 接地带,均断续发育着东西向断裂。此外, 在海南岛、阆粤地区尚发育区域性东西向构 造,将闽粤北东向隆起带分割成四个"菱形" 断块。自北而南有闽北、闽南一粤北、粤南 及雷州半岛一海南岛断块(图3)。

地震

该区系华南地震最活跃的地区,有史记 载以来,共发生43次Ms≥5级地震,最大8 级。地震主要受上述北北东一北东向断裂控 制。强震发生于北北东、北东向断裂与南岭



图 3 闼粤断块构造分区与震中分布图 Fig. 3 Divide region of block structures and the distribution of epicenters in Fujian-Guangdong.

东西向构造带交汇部位,或者是东西向次级隆起带的南北两侧和闽粤沿海(见图3)。在福建的漳州、华安、龙岩及广东河源、海丰等内性陆常见震群活动。

三、讨 论

(1)地热场特征

由氢同位素(H/D)测量结果,查明温泉水绝大部分来自大气降水。温泉的可能热源 有以下几种:通过高热区内导水断裂的深循环变为热水,地球化学放热现象,如硫化物之氧 化;尚未冷却岩浆余热或脉岩活动加温。钻孔测温表明,区内花岗岩,火山岩的地热梯度一

般达3—4℃/100米,高于正常的热梯度。说 明有深部的热源对深循环水的加温。通过水 温,流量、比热等参数和按经纬度(10′×10′) 分格作面积加权滑平均统计(即以式①求出 每个温泉的热释放量),反映该区热释放场 的特征。

Q=(T-T_o)c·g·t·d (1) Q-每个热泉年释放能量(尔格/年),T--温 泉温度(C),T_o--温泉区平均年气温,(C) C--温泉水比热(卡/克、度) d---热水比重 (克/升),t--时间(年) δ --平均,热水流量 (升/天)。

由图4看出,该区浅部热场总走向为北东



图 4 闽粤赣温泉释放能值图

Fig. 4 Energy release value of the . thermal springs in Fujian, Guangdong and Jiangxi

向,具有从西向东,自北向南的冷热交替,相间分块出现的特点。江西为中等热场,一般每 格(50-100)×10¹⁸尔格/年,闽北地区(北纬26°20′以北)为低热区每格<50×10¹⁸尔格 /年,闽南一粤北区(北纬23°-26°20′)为热区,一般达200×10¹⁸尔格/年,最高达804× 10¹⁸尔格/年;广东攀庄一顺德一宝安一带未见温泉出露,雷州半岛一海南岛为次级高热区 (100-200)×10¹⁸尔格/年。我们发现,在冷热过渡带往往呈现出高温热泉活动带。

此外,依据钻孔测温资料和同类岩石热导率,估算的本区大地热流值。江西沉降带地表 热流值约为1.30HFu*,上地幔热流为0.40HFu;闽南一粤北地表及上地 幔 热 流 值1.80、 0.98HFu;台湾地表热流达2.0-2.2HFu。显示出我区具有自西向东增高的特点。

(2)地热场与岩浆岩、构造及地震的空间能量关系

基于中、新生代区内构造一岩浆活动频繁、剧烈,块断分异明显、热事件鼎盛,现代有 地热、地震存在断块分区的特征。通过热震的"空间一能量"关系,结合地壳、上地幔热流 值的计算^[7],能够揭示深层构造变动,所引起的地质一地球物理现象之间的内在联系(见 表1)。

地热场与岩浆活动、构造、地震活动关系

表 1

Table 1.Relationship between geothermal field and magmaticactivity, structure and seismological activity.

	A lower last while the second state of the sec	the state of the second s	Add to the Tax and the second s		
	构造单元名称	江西沉降带	间粤隆起带	台湾隆起带	全球
	>60℃温泉占总数%	20	30	48.5	
	地表热流(HFU)	1.3	1.8	2.0	约1.5
地	上地幔热流(HFU)	0.4	0.98	>0.98	
海	大规模岩浆活动年代	中生代弱	中生代强	中新生代均强	
л	地壳垂直形变速率(毫米/年)	1.8~2.5(嶺南)	2.5~3.5(沿海地带)	6.0~9.7(花莲)	
活	地震活动强度(Ms)	$5 \sim 6$	6~8	多次≥7.0二次8.0	
动	地窟平均释放能流速率(HFU)	4 14 × 10 - 5	1.46×10-3	1.2×10-3	1.5×10-3
44	地热、地层比率Ki	3.14×104	1.23×103	1.83×10 ²	9.8×10 ²
10,	与全球对比值				
征	$r_i = \frac{K_i}{K_o}$	32,2	1.25	0.2	1.0

对比发现:①现代热场仍是中生代热场的继续和演变的结果,与该区构造一岩浆岩带的 空间格局及迁移趋向酷似。②断块构造单元的活动性越强,热流值越大,地表热显示亦越强 (这与美国西部盆地山脉区很相似),岩浆、活跃层、地震活动性也相应增强,而且隆起区 热流、地温梯度偏大(3.4-5.4℃/100米),中高温泉密度大。凹陷区偏低(1.0-1.3℃/100 米)。③岩浆活动年代越新,地表热显示越明显。在中、新生代岩浆岩出露区,温泉众多, 水温高,反之则低。④强震多发生在北北东一北东走向的冷热场过渡带。计算指出闽北一粤 北东西两侧冷热过渡带的温泉和地震的释放能量之和,发现具有几乎相等的能量效应。东侧 为21.13×10²¹尔格/年,西侧达22.17×10²¹尔格/年。所区别的是取决于深断层带的地热, 地震的耗散比率不同。计算得出热震效应突出的β断块存在总的耗散能流为0.035HFu,约 占其大地热流1.94%。同用断块构造活动总能量法,求得的热震效应约占1.17%颜相近。但

•HFu-热流单位(徵卡/厘米3秒)

其中震一热相对比率 $\varepsilon_k = 0.4451$,高出现代地球平均比率($\varepsilon_{ko} = 0.1071$)约占4倍

(3)热应力、热破裂机制

近年从花岗岩试样加热引起的微震动实验⁽⁸⁾表明,当加热温度上升的速率分别 是,A =23.3℃/分,B=10℃/分,C=3.3℃/分,D=0.83℃/分时所产生的声波振幅最小的是1 -7毫伏,中间7毫伏-35毫伏,最大35毫伏以上。结果说明,加热引起的破裂音波数,将 随温度上升成指数增大。大约在700℃试件完全崩坏,形成粉粒平均直径为1毫米±的石英、 长石及黑云母碎片。实验发现在630℃附近音波数达最大,700℃几乎趋于零。发出最大振幅 则在550℃附近。实验指出了岩石热致破裂主要由下列机制产生:(a)基于岩石试件热梯度 而产生热应力造成破坏。它在均匀介质中同样发生,这是最大振幅起因的机制。(b)因矿物 热膨胀系数的各向异性或矿物粒间膨胀系数不同,引起粒间应力集中造成破裂。这是在650℃ ±出现音波数峰值的原因。(c)当热流流经断裂面时,在断裂缝端点形成应力集中,是 550℃-600℃范围引起震动发射率高的原因。其中(a)是与温度差 ΔT 大体成正比。机制 (c)则与流经断层表面的热流Q成正比。按该区地壳的"温度-深度"公式计算:

$$\Gamma(Z) = T_{\circ} + \frac{Q_{\circ}Z}{\lambda} + \frac{D^{2} \cdot A_{\circ}(1 - e^{-\frac{Z}{D}})}{\lambda}$$
(2)

T。--地表温度℃, T(z)--地壳某一深度的温度℃, Q--上地幔热流 HFu, λ-岩石热 导率(毫卡/厘米、秒度), A。--花岗岩层热产率(HGu)(卡/厘米³、秒), D--花岗 岩层的厚度(公里), e-自然对数的底。



图 5

a.当加热率为A时,三种振幅类型的振动幅对速率与温度关系
 b.当加热速度为C时,三种振幅类型的振动幅对速率与温度关系

Fig. 5. Relationship between the break frequency of granite caused by heat and humidity.

a.Emission rates of shocks belong to three ampltude classes. The heating rate is A.

b.Emission rates of shocks belong to three amplittde classes. The heating rate is C.Shocks converge to zero at about 700 c.

我们可发现随着深度的增加,不同热单元的温度竟达上百度⁽¹¹⁾(表2)。地壳温差引 起的热应力可用下式表达:

第5卷

表 2

闽粤赣地壳的温度—深度关系表 Table 2. Relationship between the crustal humidity and

depth in Fujjan-Guangdong

										the second s							
温此热	华 南 地 区					华北地区			主要	莫霍面热	花岗岩层	花岗岩层热导	花岗岩				
で ¹ ¹ ¹ ¹ ¹	间南一向北			唐山北京大港			- 计算	s a	值流	热产率	率λ(毫卡/	层厚度					
深度 (公里)					「二」 东南		柏各庄	模型		O.(HFU)	A.(HGU)	厘米•秒•度)	D(公里)				
5	83	152	138	162				1		0.4	9	6.5	10				
10	162	269	251	303	ļ			*	Δ			0.0					
15	199	364	350	431				2		0.8	15	6.5	10				
20	242	446	441	550	364	525	625	2		0.0	10	0.0					
25	296	520	526	666				з		1.0	10	6.5	10				
30	315	588	608	778				Ŭ	Δ	1.0		0.0					
35	349 4	655	688 4	888	532	883	957	4		1.4	9	6.5	10				
40	382	719	76C	998	•				A								
· 45	413	782	844	1106	Į				<u></u>	从小平区时	产位时间 异汉王						
50	445	844	922	1214													
1 Ante dale ana							}										

•引自文献(7)

 $P_1 = A \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot E$

(3)

A—比例常数, α—岩石热膨胀系数, ΔT--温差值℃, E—岩石杨氏模量。

设花岗岩杨氏模量E = 3.0×10¹²达因/厘米², α = 30×10⁻⁵/℃, A = 0.1, ΔT = 339℃, 则得: P₁ = 3.0551×10¹⁹达因/厘米²。

当热应力作用于无限介质中单位长度的小断裂面时,其应力集中判别系数为 $K_1 = \frac{2}{\pi} \cdot P_1$,

故由于地壳,上地幔热结构差异引起的应力集中,是不能忽视的因素。

另一方面由机制(c)引起的应力集中判别系数K₃,用下式表示:

 $K_{3} = \frac{1}{2} \left\{ 3 \times \left(\frac{\lambda + 2u}{u} \right)^{2} - 4 \right\} \cdot \left(\frac{\lambda + 2u}{u} \right)^{-2} \cdot Q \cdot \Delta T \cdot \alpha \cdot \pi$

u、λ-花岗岩热弹性常数(拉梅常数),Q-热流,α-热传导系数。

随着温度继续上升,岩石破裂强度下降,岩石应变积累增大。但其增长的速度到一定的 温度时,速度将急剧超过强度下降的速率,到700℃时岩石完全热破裂。总之,岩石的热力 学特征对壳内岩石破裂过程有重要影响。

(4)热动力作用微观特征

人们早就发现,强震和火山、地热活动部位,总是不断地进行空间移动,暗示地壳活动 有随时间转移的现象。它与地球内部不同深度的热力扩展及地球化学作用密切相关。从闽粤 沿海热动力变质岩的镜下观察,发现长乐一南澳的的地震带,原是在强烈的构造热动力联合 作用下,导致原岩(花岗岩、火山岩、沉积岩)发生变质、混合交代而形成的一种高温低压 变质带。它受太平洋板块对陆壳的俯冲、碰撞的历史进程所控制。

镜下观察表明,按岩石刚性程度不同,可分为刚性、脆性和塑性三类。当受热动力迭加 作用时,原岩明显被改造,生成具不同的结构一构造及矿物共生组合特征的岩相带。如花岗 第4期

岩经动力压碎、碾磨作用,形成了碎裂岩→糜陵岩化花岗岩→糜陵岩。它以石英强烈波状消 光、长石双晶弯曲、滑晶或奇特的压力影象等为特征。如又洗加了热力作用,则清晰见到微 小碎晶发生重结晶及暗色矿物被分鳞、生成呈片麻状、眼球状构造的混合花岗岩或硅化岩。 对于流纹岩类,,则主要产生斑晶破裂、压碎、粉粒化以及促成绢云母、白云母从无定向趋 于定向分布,或出现绢云母条带穿切碎裂纹理,甚至产生应力矿物一蓝晶石等现象,最后成 为千糜岩。由凝灰岩、粉砂岩、页岩经热动力变质,常生成各种片岩,如二云母石英片岩、 叶腊石片岩。出现片状矿物定向排列,石英拉长的鳞片变晶结构和片状结构。新生成有红柱 石、矽线石、柘榴子石的温标矿物。这些岩石具有多种多样矿物间的交代结构,如蠕英、缝 合线、聚粒变晶、环带、棋盘格子等结构,并且出现不同时间序列和方式的碱、硅质交代, 如 $N_a \rightarrow S_i \rightarrow K$, $K \rightarrow N_a \rightarrow K \rightarrow S_i$ 等, 岩石中脉体与基体的比例有显著的消长关系(脉体从 10%→50%→85%,基体相应减少),次生蚀变矿物增加,压力和温标矿物应运而生。空间 上随着热增长,生成从断层外侧至中心的片麻岩、条痕混合岩、均质混合岩、混合花岗岩。 整体上显示从北西向东南方向加深变质的规律。绝对 年 今 反 陕,有82~98、62 4~66 6、 119~167百万年三组较集中的数据,分别是老第三纪、白垩纪及侏罗纪时期的产物。加与台 东纵谷的高压低温变质带成对,代表中、新生代以来,太平洋板块与亚欧板块消减历中的重 要标志。显而见知,古今板块边界的热震效应,同地壳浅层的断层、地震事件与深部热物质 运动能量传递的耗散结构*有关。现代的热场和地震是反映现代断块活动的能量状态, 但 这 些特征是中、新生代热演化的继续和发展,两者有非常相似的构造物理效应。并在岩石中留 下历历在目的震热微观结构痕迹。

(5)动热变形模式

如上所述,依据动热事件对该区地壳改造遗留的痕迹,我们将其划分为若干构造变形带见图(6)。①台湾岛弧变形带[a.台东板块碰撞亚带,b.台西变形亚带]②台湾海峡沉降带③闽粤隆起变形带,④江西南部缓慢上升变形带,⑤赣北相对稳定区。其震源机制的优势分布^[10]见表(3)、图(6)。



图 6 **闽粤地区现代变形带与地震力场优势分布示意图** Fig. 6. Modern deformation zones and the advantage distribution of seismological force field in Fujian-Guangdong.

运用等效原理,我们将其简化为有约束条件的,具不同温度状态的"金属"横梁弯曲问题,即包含构造力和热应力联合作用的弹塑性模式^[9]图(7)。

*藉散结构:指在非平衡条件下,形成的有结序构。它使系统由不稳定跃迁到一个新的稳定而有序的一种结构。

西北地震学报

表 3

闽、粤、台地震震源机制特征简表

Table 3

The characteristics of the machanism of earthquake sources in Fujian, Guangdong and Jiangxi

编	发耀时间	段 中	位 置	深度	震氣	节	面	A	, 节	面	В	Р	轴	Т	轴	资料
号	年月日	地点	$\phi_N \lambda_E$	(公 里)	₩s.	走向	倾向	倾角	走 向	倾 向	倾 角	方 位	仰 角	方位	仰角	来源
1	1604.12.29	泉州海外	25.0 119.5	壳内	8.0	55°			325°			280°		10°		1
2	1918.2.13	广东南澳	23.5 117.0	壳内	$7\frac{1}{4}$	313°	NE	70°	37°	NW	80°	83.	2°	352°	18°	2
8	1966.9.26	广东汕头海外	22.3 117.5	壳内	5.3	31	NW	65	306	NE	80	256	10	351	25	2
4	1975.4.4	福建漳浦海外	23.8 117.8	売内	2.2	60			27			44		134		8
5	1975 10.14	福建斥门海外	23.9 118.6	20	2.5	25			347			96		175	i	8
8	1978.1.24	福建东山	23.6 117.4	23	3.1	16			293			78		350		8
7	1978.8.10	福建平潭海外	25.3 120.5	23	5.1	25	NW	57	97	SW	45	327	83	231	45	8
8	1979.4.6	福建永春	25.4 118.0	8	2.1	339			69			45		316		8
9	1975.4.28	福建华安	25.2 117.9	壳内	2.1	80			14			316		226		8
10	1975.5.6	福建龙岩	24.8 117.1	売内	2.6	62	SE	84	42 [·]	SE	2	169	43	64	19	8
11	1975.6.23	福建漳州	24.6 117.6	壳内	1.7	37	SE	25	337	NE	72	89	26	343	19	8
12	1962.8.19	广东河源	23.7 114.7	5.0	6.1	332	SW	88	62	NW	80	287	9	17	6	2
13	1974.2.22	广东海丰海外	22.0 115.5	売内	40	20		90	290	NE	50	73	28	328	28	4
14	1941.12.17	台湾台南	23.3 120.3	売内	7.0	44	NW	72	156	NE	41	355	47	107	18	6
15	1955.8.5	台湾花莲	24.2 121.4	壳内	6.0	123	SW	80	38	NW	60	257	28	355	13	5.
16	1964.11.26	台灣苏澳	24.9 122.0	20	$6\frac{1}{4}$	50	NW	75	130	sw	40	290	46	177	21	6
17	1964.1.18	台湾嘉义南	23.2 120.6	15	7 . 0	295	NE	87	26	SE	80	70	8	160	5	5
18	1968,12,31	台湾纵谷	23.3 121.4	売内	5,5	333	SW	23	307	NE	70	19	64	224	26	5
19	1972.9.23	台湾台东	22.3 121.1	26	6.6	10	NW	35	86	SE	70	325	13	225	35	6
20	1972 1 25	台湾火烧岛东	22.6 122.3	29	8.0	163	SW	85	73	SE.	85	298	0	208	7	6

资料来源:1、昆明地震大队;2、《中国地震震源机制的研究》;3、福建省地震局;4、广东省地震局;5、张裕民,地震地质1979.4,6、郑家全等人,地震学报1979.1、



图7 闽粤板内断块动热变形模型 Fig. 7. Model of intraplate block moveheat deformation Fujian-Gcangdong. 第4期

模型1 设二变形带初始长度L,温度T。各参数记于图形内,当T>T₁,α₁>α₂时(岩 石热膨胀系数),则带①的自由膨胀为α₁L(T₁—T₀),带②自由膨胀为α₂L(T₂—T₀), 若岩石受到地下热流作用增强,带②伸长少,带①则受到压缩,相应带②受拉伸,压应力使 带①缩短量等于:

$$\varepsilon_1 L = -\frac{\varphi_1 L}{E}$$
 (6)

结果导致带①缩短量有所减少,其最终伸长量为:

$$\alpha_{1}L(T_{1}-T_{o}) + \frac{\varphi_{1}L}{E}$$
 (7)

γ 中变形带应力值(φ包含有符号)

L —纵弹性系数,ε—应变,S—岩带截面积。
同理,带②受带①的影响,最终拉伸量达:

$$\alpha_{2}L(T_{2}-T_{o}) + \frac{\varphi_{2}L}{E}$$
 (8)

因二带相互粘结,它们的伸长量应当相等,

$$\alpha_{1}L(T_{1}-T_{o}) + \frac{\varphi_{1}L}{E_{1}} = \alpha_{2}L(T_{2}-T_{o}) + \frac{\varphi_{2}L}{E_{2}}$$
 (9)

在无外力影响下,带①与带②处在力的平衡状态:

即

$$\varphi_1 S_1 = -\varphi_2 \cdot S_2 \tag{10}$$

联立⑨和(10)式,得出:

$$\varphi_{1} = \frac{-\alpha_{1}E_{1}(T_{1} - T_{0}) - \frac{\alpha_{2}}{\alpha_{1}}(T_{2} - T_{0}))}{1 + \frac{S_{1} \cdot E_{1}}{S_{1} \cdot E_{1}}}$$
(11)

$$\varphi_2 = -\frac{S_1}{S_2} \cdot \varphi_1 \tag{12}$$

$$\widehat{K} = \frac{1 - [\alpha_2 (T_2 - T_0) / \alpha_1 (T_1 - T_0)]}{1 + \frac{S_1 \cdot E_1}{S_2 \cdot E_2}}$$
(13)

则

$$-\overline{\mathbf{k}} \cdot \boldsymbol{\alpha}_1 \cdot \mathbf{E}_1 \left(\mathbf{T}_1 - \mathbf{T}_0 \right)$$
 (14)

显然 K 取决于岩带彼此间粘结性及热学参数,被称为热应变约束系数。

当 \overline{K} < 0 时, φ_1 为压应力, φ_2 为拉应力 当 \overline{K} < 0, 恰成相反。

模型2 是岩带一端被约束固定,另一端连接刚板上,可自由伸缩活动,如同板块构造活动的自由边界。该模型通过一弹簧受到另一壁反作用。假如带①和②均从无应力状态上升到T₁,T₂温度则与上式⑨相似,下式成立:

$$-L = \alpha_1 \cdot T_1 \cdot L_1 + \varphi_1 L_1 / E_1 = \alpha_2 \cdot T_2 \cdot L_2 + \varphi_2 \cdot L_2 / E_2$$
(15)

若处在平衡状态, $\varphi_1 \cdot S_1 + \varphi_2 \cdot S_2 = P$

 $\varphi_{1} = \frac{1}{2}$

P为弹簧压缩力。L一弹簧受力变形长度。

令単資玉宿单位长度力为Ks,则P=Ks·L

$$\mathfrak{M}, \ \varphi_{1} = \frac{-\frac{S_{2} \cdot ES}{S_{1}L_{2}} (\alpha_{1}T_{1}L_{1} - \alpha_{1}T_{2}L_{2}) - \frac{K_{s} \cdot \alpha_{1}T_{1}L_{1}}{S_{1}}}{1 + \frac{K_{s}L_{1}}{S_{1}E_{1}} + \frac{S_{2}E_{2}L_{1}}{S_{1}E_{1}L_{2}}}$$
(16)

设 $K_s = 0$,即弹簧处在不受力状态下,刚板起着连接作用,得:

$$\varphi_{1} = \frac{-E_{1}(\alpha_{1}T_{1}L_{1} - \alpha_{2}T_{2}L_{2})/L_{1}}{1 + \frac{S_{1}E_{1}L_{2}}{S_{2}E_{2}L_{1}}}$$
(17)

这是相邻两带之间热应力一般式。

如果,带①与②带原始长度相等,且设各带温度增量相同。即 $T_1 = T_2 = T$,并设 $L_1 = L_2$ 则上式简化为:

$$\phi_{1} = \frac{-ET'(\alpha_{1} - \alpha_{2})}{1 + \frac{S_{1}E_{1}}{S_{2}E_{2}}}$$
(18)

上式说明二岩带的热应力,主要取决于岩石热膨胀系数、岩带截面积、岩石弹性模量及 温度上升的机制。

若令K_s = ∞,弹簧无法伸长,上式又变成全约 束 的 热 应 力 问 题。φ₁ = - E₁•α₁•Τ₁ (19)

假如取上地幔热膨胀系数等于3.5×10⁻⁵/℃, E=1.307×10¹⁰达因/厘米² (纯橄榄岩动 力弹模性量)取地壳底面正常温度600℃,局部熔融体温度为1020℃,按上式求得 φ_1 = -1.82 ×10⁸达因/厘米²。

在水平方向上,相邻断块间的温差计算得有339℃±,其热应力则达3.05×10¹⁰达因/厘 米²,显而易见,无论在纵向或横向热弹性力的作用,对地壳深处弹性应变能的积累都占有 特殊地位。

但要指出,若要引起地壳断层构造屡屡发生地震破裂,除了与地下热流作用有关的静态 机制外,更重要是必须考虑动态非定常的热应力问题。因为,岩块被"焊接"之后,在围压环 境中,具有延性材料的特点。如不是受到象"热冲击"那样的较大温度变化,那么,热应力 即使超过岩石屈服点,一般仅产生塑性变形,即蠕变。只有当较大的温度变化反复进行,循 环多次时,会因疲劳导致破裂。即热疲劳性破裂现象。这对于板内蠕变一剪切体系的断层再 活动尤为重要⁽²⁾。利用该区南澳原地重复二次发生M_s≥7.0级地震(1600—1913年)进行 计算,求出在地震释放高潮间(约5年)有1.6HFU的热流迁移。占该区平均大地热流值 86.7%。据美国LASL(1979)在落基山脉芬顿山断裂带,人工钻探(3060米)的压裂实验 证明,当断裂进入微破裂扩展阶段,能够获得温度高达205℃,热流约5HFU的长期热能输 出。曼森一科芬⁽⁹⁾从实验提出循环塑性应变和达到破坏的次数之间的确存在以下的关 系:

$$\varepsilon_{\mathbf{g}} \mathbf{N}^{\mathbf{\beta}} = \mathbf{C}_{\mathbf{o}} \tag{20}$$

 $ε_q$ 一塑性应变范围, C_o, β—为与实验条件有关的常数, 一般 $\beta = \frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$, N— 温度循环次数(达到破坏时)。

第4期

综上所述,该区热活动鼎盛受中、新生代以来安第斯式岩浆作用及台湾岛弧的演化所控 制。形成从西到东,由北至南的冷热交替的构造热单元。其活动性越强,热震效应越显著, 并具有从内陆向台湾渐次增强的特点。研究热震效应的能量耗散速率得出,通过超壳断层耗 散方式约占其大地热流值的2%,震热结构的区域差异则主要取决于上地幔基础热状态的横 向非均性。运用等效原理,探索构造力与热应力对板内地震孕育及其破裂机制,认为"菱形" 断块周边的深断层的端点、拐点是易于热致破裂的场所。热震过程的温度条件,主要是550° ~600℃和700℃但要引近断层屡屡发生地震破裂事件,可能要依赖于被称为热疲劳现象的 "曼森一科芬"效应。从岩石显微结构研究证明,古热动力过程与现代地震动力学现象,有 着非常相似的机制以及空间耗散结构。显然,深入研究断块构造的热震作用,对于探索板内 地震、地热活动规律以及上地幔物质运动的机制和构造运动驱动力问题是有益的。

本文承蒙国家地震局研究员丁国喻、兰州地震研究所研究员郭增健同志启迪和热诚勉励 以及国家地震局分析中心付研究员强祖基同志指导,特此致谢。

(1982年10月5日收到初稿,1983年4月收到修改稿)

参考文献

- 〔1〕中国科学院地质研究所地热组,地热研究论文集,科学出版社,1978.
- 〔2〕郭增健、秦保燕编著,震源物理,地震出版社,1979。
- 〔3〕严道光、贺准城,岩浆上涌和层间展布及其与地震关系,全国第一次地震科学讨论会 论文集,1979。
- 〔4〕强祖基、马丽,华北盆地现代地壳与上地幔动力学模式与地震,全国第一次地震科学 讨论会论文集,1979。
- 〔5〕王洪涛、范光禄、王屏路, 闽赣地壳热震特征初步研究, 全国第一次地震科学讨论会 论文集, 1979。
- 〔6〕王洪涛、范光禄、王屎路、游良斌,初析闽粤赣温泉与地震、地震地质,三卷一期, 1981。
- 〔7〕张汝惠、解政文、武冀新、谢毅真,刘明,唐山及其邻区热流值的分布,地震地质, 四卷,四期,1982。
- 〔8〕兼间强、前田丞,加热しニょろ花岗の岩微小破坏音とその発生机构,地震,第二辑 31卷,4号,1976。
- 〔9〕竹内洋一郎, 热应力, 科学出版社, 1977。
- 〔10〕汪一鹏,我国板内地震和中新生代应力场,地震地质,一卷三期,1979。
- (11) Diment, W.H., Urban, T.C., Sass, J.H., Marshall, B.V., Munroe, R.J., and Lachenbruch, A.H., Temperatures and heat contents based on conductive transport of heat, in White, D.E., and Williams, D. L., eds., Assessment of Geothermal Resources of United Stats-1975: U.S.Geol. Survey Circ. 726, 84-103, 1975.

1)王洪涛、范光禄、王屏路,略论长乐一诏安断裂带构造演化与地震,1981。

A STUDY ON TECTONIC MOVEMENT OF INTRAPLATE BLOCK AND GEOTHERM—EARTHQUAKE EFFECT IN FUJIAN, GUANGDONG AND JIANGXI

Wang Hongtao Fan Guanglu Lin Aiming* (Seismological Bereau of Fujian province)

Abstract

Based on the experimental results of the thermal springs, the earthquakes, the structures, the distribution of magmatite and the thermal breaks, this paper states the characteristics of the geotherm field and discusses the relations between block movement and the Geotherm-Earthquake in Fujian, Guangdong and Jiangxi regions. The result of this study shows that the block differentiation actions are very strong in the regions since the Yanshan movement, it is closely related to the two important thermal stage actions (90 million to 120 million years from now and 157 million to 165 million years from now) in crustal deep. Modern thermal field is mainly the result of the geothermal stage action which continued to develop in Mesozoic Era. It is found that the front peak of magmatic action in Fujian-Guangdong tectonic zone had become Weak and backed obviously from ocean to inland in Cenozoic Era. But there remain the characteristics of block structure that cold block and thermal block alternated from northeast to southwest. The stronger the activities, the more remarkable the Geotherm-Earthquake Effect, and there was the characteristic that the activities gradually became stronger and stronger from inland to Taiwan.

Analysing the ratio that the Geotherm-Earthquake energy in south Fujian-north Guangdong block was depleted and disperred, we found that each of the blocks has specific DEPLETING-DISPERSING STRUCTURE, which is the thoroughfare that energy is transmitted and changed between the lower crust and upper mantle. It depends mainly on the foundation heat flow in upper mantle and the lateral nonuniformity. The energy flow of the Geotherm-Earthquake fakes about 2% of the geothermal flow of the ground, Applying the equifinal principle, we study the problem that tectonic force and thermal stress act unitedly on the preparation of intraplate earthquake and the breaking mechanism, and put forward that the end points and inflection points of the rhombic block circumference are the favourable locations, which cause easily thermal break. Therefore, it is possible that Manson-Coffin effect causes the thermal fatigue of the depth rock and elastic breakearthquake. Thus it may be inferred that to study the Geotherm-Earthquake structure is a new subject which has the theoretical and practical significance.

5

Wang-Pinglu and You-Liangbin participated in this study.