

中国东部特殊地震带研究

肖和平

(湖南省邵阳市地震办公室, 邵阳 422000)

摘要 综合分析了中国东部湖南、湖北、广东等省的水库地震和矿山地震特征, 并根据区域地震地质、深部构造等资料, 初步确立了特殊地震带——诱发地震活动带。结果认为鄂湘粤地区之所以形成特殊地震带, 是与现代活动的秭归—常德—河源深断裂带有关。

关键词: 诱发地震 水库地震 采矿地震 深断裂 华东

1 前言

水库和矿山诱发地震是一种特殊类型的地震活动, 它们分别是由于水库蓄水、矿山采掘地下资源等人类的工程活动所诱发的地震。据不完全统计, 我国已有新丰江(广东)、丹江口(湖北)、参窝(辽宁)等 17 座水库和北票(辽宁)、门头沟(北京)、恩口—斗笠山—桥头河(湖南)等 9 座矿山发生了诱发性地震。已知发生地震的水库和矿山主要分布在 103°E 以东地区。这种特殊类型地震在空间分布上也有象天然地震那样表现出不均匀性和呈受活动断裂带制约的带状分布等规律。然而, 是什么特殊的地震构造环境促使发生诱发性地震? 近几十年来, 有许多专家和学者进行了多方面的探索和研究并发表了不少论著, 就发生地震的水库和矿山的环境条件, 水库和矿山地震的特征、成因、诱发机制及力学模型等作了种种论述。可是目前就水库和矿山地震集中分布在地震活动水平不太高的地区这一现象仍然没有令人满意的解释。为此, 笔者将从分析湖北(鄂)、湖南(湘)、广东(粤)三省(以下简称鄂湘粤)水库和矿山地震特征、地震地质和深部构造等资料入手, 就上述问题作一探索性研究。

2 水库、矿山地震展布特征

鄂湘粤是我国诱发性地震多发地区, 发生地震的水库和矿山例数分别占全国总数的 47% 和 44%。

自本世纪 60 年代以来, 鄂湘粤地区相继有新丰江、南水、东江、南冲、黄石、邓家桥、前进、丹江口等 8 座水库出现了诱发性地震(见表 1)。其中震级最大的是新丰江水库 1962 年 3 月 19 日 $M_s 6.1$ 地震。这次地震损失严重, 死伤 69 人, 倒塌和损坏房屋 2 万多间, 地面变形、喷沙冒水和塌方等现象甚多, 并对水库大坝构成毁灭性威胁。

鄂湘粤地区矿山地震主要分布在湖南境内, 已确定的发生地震的矿山有: 煤炭坝(宁乡)、恩口—斗笠山—桥头河(以下简称恩斗桥, 娄底)、新东(邵阳市)、石下江(洞口)等 4 座煤矿(见表 2)。其中恩斗桥煤矿区的地震活动最为强烈, 自 1973 年以来几乎每年都有矿震活动, 其次为煤炭坝矿区的地震活动。

表 1 发震水库基本情况

库名	坝高 (m)	库容 (亿 m ³)	蓄水时间	始发地震		已发的最大地震		库区发育 断裂方向	区域主压 应力方向	活动 断裂	震源 机制解	等震线 长轴方向
				时间	震级	时间	震级					
新丰江(广东河源)	105	138.96	1962-03	1959-10	6.1	1962-03-19	6.1	NNE NNW	NW-NWW	NNW NE P;NW-NWW	NNW	NNW
南水(广东乳源)	81.3	12.18	1969-03	1969-12	2.4	1970-02-26	2.4	NEE.NW	SE-SEE	NW		
东江(湖南资兴)	157	81.2	1986-01	1987-11	2.7	1989-07-24	2.7	NE.NNW	NWW	NE.NNW	h;4 km	
南冲(湖南邵东)	41	0.1577	1969	1970	2.8	1974-07-25	2.8	NE.NNE	NWW	NE	h;6 km	NE
黄石(湖南常德)	94.5	4.58	1970	1983-05	2.6	1988-09-14	2.6	NE.NNW	NWW	NE.NNW	h;5 km	NNE
邓家桥(湖北宜都)	12	0.004	1979-12	1980-08	1.0	1980-08	1.0	NE.NW	近 EW	NE.NW	p;NE	NWW
前进(湖北谷城)	50	0.1698	1970-05	1971-10	3.0	1971-10-20	3.0	NWW.NW	近 EW	NNW.NE	h;2 km	EW
丹江口(湖北均县)	97	209	1967-11	1970-01	4.7	1973-11-29	4.7	NNW	近 EW	NW.NNW p;NE-SEE		NWW

表 2 发震矿山基本情况

矿山名	始发震时间	已发最大地震		等震线长轴 取向	震源深度 (km)	采掘地 层时代	发震构 造走向	震区发育 断裂方向
		震级(M _L)	时间					
煤炭坝煤矿	1985-11-04	2.8	1991-04-23	NNE.NW.NE	4.5	二迭系下统	NNE	NNE
恩斗桥煤矿	1973-01-18	2.9	1976-01-08	NE.NW	3.8-4.4	二迭系下统	NE	NE.NW.NWW
新东煤矿	1985-02-07	3.0	1994-11-20	近 EW.NE	6.6	二迭系下统	NWW	NE.NWW
石下江煤矿	1991-12-28	1.6	1991-12	EW		侏罗系下统	NE	NNE.NE

鄂湘粤地区水库和矿山地震活动的空间分布具以下主要特征：

(1)空间展布具明显的方向性。发生地震的水库和矿山的规模、兴建(或开掘)时间、蓄水时间或采掘深度等不尽相同,但当将它们的空间展布串联起来时,却清楚地显露出沿北北西走向线性排列并集中按条带分布的现象(图 1)。在单个地震发生的水库区亦有类似现象,即多个地震活动相对密集区串联轴向和地震活动条带均呈北北西向(如丹江口、新丰江水库)。新丰江水库 1959 年 10 月蓄水后,库区大坝西北近邻处开始出现小震活动,形成北西向长轴约 30 km 并向东南库坝区收敛密集的地震区。

(2)等震线长轴取向反映出两组共轭断裂活动。在西北和东南的鄂粤地区诱发性地震的等震线长轴为北西—近东西向,中部的湖南地区大多为北北东—近东西向,(见表 1、2),反映出在现今主压应力轴为近东西向的区域应力场

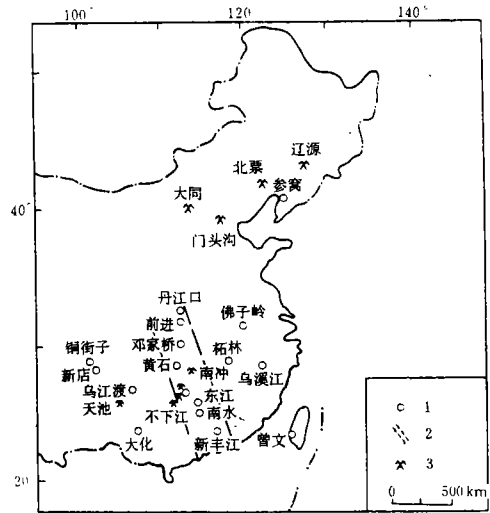


图 1 中国东部水库和矿山地震分布

1 发震水库; 2 水库地震带; 3 发震矿山

Fig. 1 Distribution of reservoir earthquakes and mining earthquakes in East China.

作用下,北东和北西两组共轭断裂相互影响,同时出现程度不一的活动。

(3)水库和矿山地震与天然地震共同构成区域性地震条带。根据湖南及其邻近地区(24°-30°N, 108°-114°E)地震分布(图2)分析,该区地震活动主要有两个优势方向:北北东和北北西方向,即崇阳—邵阳—资源和秭归—常德—河源两个地震密集条带。水库和矿山地震被后者包容。在空间分布上与天然地震的一致性和两者间密切联系的特征,说明它们在成生机理中有着亲缘关系。

3 水库和矿山地震与北西断裂系

鄂湘粤处在中、新生代以来强烈活动的北北东和北东向构造系占居主导地位的中国东部地区,区内南部横贯南岭巨型纬向构造带,北面有秦岭巨型纬向构造带。区内还存在具长期发育、多次活动特征的北西(N20°~50°W)线性构造。中国东部地区新生代以来北西向线性构造普遍发育的事实,近年来已引起地学界广泛的注意。该组线性构造带对新生代的火山活动、沉积盆地及现代地震活动起着主要控制作用,卫星影象的特征之一就是它几乎切错了其它方向的线性构造,特别是切错了北北东走向的线性构造。中国沿海海域及邻近区的地震活动大都与北西向线性构造有关。因此,北西向线性构造在中国东部的地震、地质意义不亚于北北东构造系。从鄂湘粤发生地震的水库和矿山区的地震地质特征看(表1、2),大多发育有北北西或北西断裂构造(主要活动断裂之一),在区域构造应力场作用下,其表现为压剪力学性质。

中国东部地区一系列地震活动所表现出的特点为:地震活动主要是北北东、北东和北西、北西西向的两组共轭断裂在近东西向的统一区域构造应力场作用下活动的产物。鄂湘粤地区亦不例外,上述两组共轭断裂复合部位往往是发震场所。如新丰江水库区碉楼—双塘—四方围和碓坑北西断裂分布于水库东侧及新丰江峡谷区,在地表多表现为小型错动断裂或密集剪切节理带,切割北北东及近东西向断裂。据古河道变迁、阶地分布和构造地貌标志的分析,北西向断裂在第四纪以来有明显的活动。地震密集区、前震分布的位置和产状与北西向断裂一致。震源机制解、波谱分析及利用主震前后水准测量资料按位错理论计算,结果显示主震断裂走向为北西,倾向南西,倾角80°~88°,左旋滑动,滑动角2°。主震的等震线、强余震的分布、有感范围的长轴也为北西走向。

根据鄂湘粤地区水库和矿山地震排列方向与北西向构造线的一致性以及北西向构造在地表形迹发育的不均匀性(即时隐时现)等的分析,认为该地区地下潜伏(隐伏)着一条正处发展中的北西向深大断裂带。

4 地热活动及深部构造

4.1 地热与水库、矿山地震

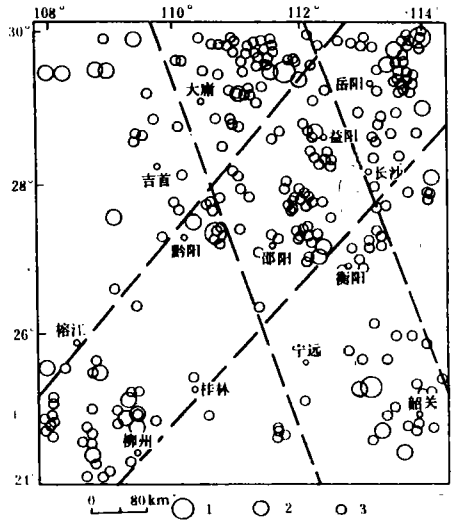


图2 湖南及邻区 $M_L \geq 2.0$ 地震 (1971~1991年)

- 1 $4.0 \leq M_L \leq 4.9$; 2 $3.0 \leq M_L \leq 3.9$;
- 3 $2.0 \leq M_L \leq 2.9$

Fig. 2 $M_L \geq 2.0$ earthquakes in Hunan and its vicinity.

地热与地震的发生和发展有着密切的关系,同时还反映出地质构造特征。鄂湘粤地区的水库和矿山区内的地震活动与地壳余热区或热异常区的热应力较高有着一定的关系,如新丰江、丹江口水库区均有地下热水活动,多处溢冒温泉,新丰江水库区有过第三纪或第四纪火山活动。再如邵阳市新东煤矿区内北西向断裂的延伸方向上,在主震前出现一条长7 m、宽约1 m、温度高达68℃的地热异常带,平面组合形态为锯齿状,呈北西20°、东西转折追踪延展,异常持续约9个月,震后2~3个月消逝。

发生地震的水库和矿山区的地热活动,一方面显示与隐伏构造岩浆活动余热有密切关系,即可能存在沟通引导地壳深部岩浆源处的热能传播到地表的断裂构造,另一方面指示发生地震的水库和矿山区近代具一定的地壳构造运动。

4.2 深部构造

通过地球重力场强度资料分析,可以得到地壳内部物质分布状况和深部构造。在卫星自由空气重力异常图(图3)上可以清晰地见到汕头—常德—宝鸡一线上有一条宽约80~100 km、强度为-20~-30 mgal的负异常带,显示深部有巨大断裂带存在。卫星影象也显示有一条北西向线性构造带,幔隆区被分割、莫霍界面等深线被扭曲(图4)。如常德幔隆,由于该构造带切错活动的影响,形成北西和北东轴向的两个次级幔隆。因此,它是一条深达上地幔的巨型线性低密度构造弱化带,即岩石圈深大断裂。这条深大断裂展布方向及地理位置与鄂湘粤地区地震活动密集带、地表北西构造线(秭归—常德—河源)、水库和矿山区发震控震构造、水库和矿山区地震空间展布串联线等吻合。据此可以认为它们之间具有内在的因果关系。

5 特殊地震带的确立及成因分析

根据按地震时空特征、地震活动度和频度特征的不同、地震构造环境、现今构造应力场、构造运动强度及主要活动发震断裂的特征等划分地震带(区)的原则并结合对鄂湘粤水库和矿山地震特征、发生地震的水库和矿山区的新构造活动、深部构造和地震的地质环境条件等资料的综合分析,划分出中国东部别具一格的特殊地震带,即秭归—常德—河源水库和矿山诱发性地震活动带。

这条特殊地震带是秭归—常德—河源深大断裂带现今活动的一种表现。换言之,秭归—常德—河源诱发性地震带是以现今活动较强的深大断裂带作为构造背景的。沿该带及其邻近围岩地区地壳内构造应力和应变能强度的本底较高,从而为孕育地震奠定了基础。另外,在水库和矿山区内人为活动还产生降低有效应力、增大附加应力、减小岩石强度和促进断裂生长等静态和动态环境因子。这种外部因子改变了水库和矿山区发生地震的应力状态,转变了的构造应力与人为活动产生的附加应力叠加形成震源应力场,驱使地壳内存在的低速低阻层(即韧性“减震带”)上部(湖南地区低速低阻层埋深为7~5 km)稳定性差的局部构造积累应力释放。这就是诱发性地震带内水库和矿山地震的成因机理。

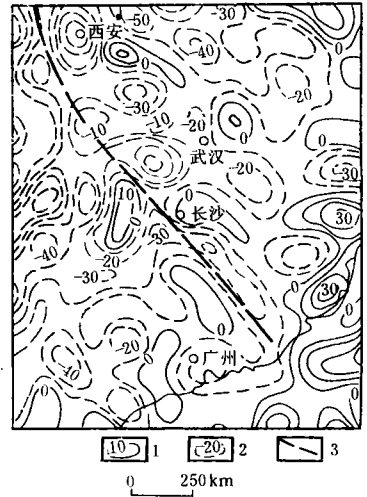


图3 鄂湘粤地区卫星自由空间重力异常

1 正异常; 2 负异常; 3 推测断裂

Fig. 3 The satellite gravity anomaly of free space in the Hubei-Hunan-Guangdong region.

在任何弹性体中温度场不均一性大量存在,必然在温度变化大或地质体物理性质(热膨胀系数、热弹性系数、介质的流变性等)变化大的地方产生较大的热能应力,这种附加应力场可使区域应力场产生局部的变化。如果温度在整个地质体内部有变化,那么相应的地质体就成为附加应力的来源。将聚集在这种地质体内的能量与地震能量相比较表明,它可成为发生地震的重要驱动力。在该特殊地震带的震源动力因子中热能动力因子起着举足轻重的作用。秭归—常德—河源深大断裂延伸至上地幔,在地壳深部至地表间形成一构造薄弱面。然而,地壳深部的高温、高压使物质产生的不同物理、化学变化则会导致该薄弱面发生形变和压力降低,甚至使某些物质发生相变,例如使刚性的岩石变为可塑的或流动的液相或汽相。若外部构造力作用于这一高温区的地壳时,就会引起地壳内部温压条件骤变,造成突发性运动,从而形成地震。此外,当水库和矿山区人为活动产生的附加应力作用于高温压地壳时,会出现两种特殊的形式:一种是由于地下热源受到库水渗入,产生热气并引起附加热能应力作用;另一种是矿山大量卸载引起垂向应力减弱,有利于热能膨胀应力向上作用。

由于南岭、秦岭两纬向构造带和新华夏系第二沉降带、第三隆起带等巨型构造体系对鄂湘粤地区的影响程度不同,造成该特殊地震带发震构造、地震强度等均不相同的分段性,即有北西段(丹江口—邓家桥)、中段(黄石—东江)和南东段(南水—新丰江)。加之,北西、北北东两组共轭断裂相互牵动的影响,形成以两者交汇点为中心沿断裂向四面或单侧、双向、三向扩展的构造活化区。由于两组断裂活动的差异性,以致造成该特殊地震带在横向上的“虚影放大”。

另外,利于诱发性地震发生的环境条件有:一是鄂湘粤地区新生代以来表现为整体性缓慢抬隆,深部构造相对比较简单,莫霍界面起伏平缓且深度变化不大,因此,该区虽然不易发生大地震,但地壳内的构造应力值较高;二是该区中强地震活动周期较长,处于长期构造蠕变的孕育地震过程,应力、应变能值较高,亦为诱发地震发生提供了较优越的初始构造应力状况。上述两点可能就是在地震水平不太高的地区发生诱发地震的原因所在。

6 结语

本文确立的秭归—常德—河源特殊地震带不仅是诱发地震带,而且是天然地震带,可统称为鄂湘粤地区地震活动带。该区发生的中强地震大都在该带内,说明秭归—常德—河源深大断裂带现今活动较为强烈,属发展中断裂,所以,该带上具备发生中强地震的环境条件,应引起足够的重视。

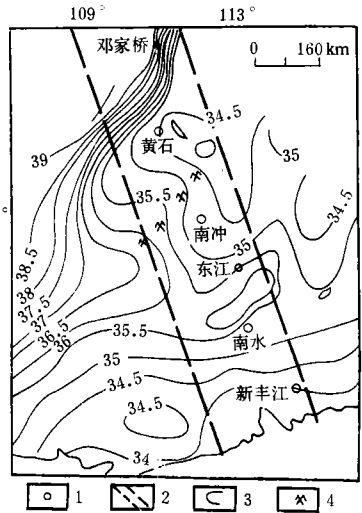


图4 粤桂湘莫霍面等深度图

- 1 发震水库; 2 水库地震带;
3 莫霍面等深线; 4 发震矿山

Fig. 4 Moho isobaths in the Guangdong-Guangxi-Hunan region.

(本文 1995 年 3 月 27 日收到)

参考文献

- 1 杨铁明. 湖北省宜都县邓家桥水库地震诱发机理讨论. 华南地震, 1990, 10(1).
- 2 国家地震局地震研究所编. 中国诱发地震. 地震出版社, 1984.
- 3 黄河生. 新丰江水库区 1987 年 9 月 15 日 4.5 级地震研究. 华南地震, 1989, 9(3).
- 4 王国英. 湖南省黄石水库地震考察与追踪. 华南地震, 1989, 9(4).
- 5 黄河生. 新丰江水库区 1989 年 11 月 26 日 4.5 级地震的主要特征. 华南地震, 1991, 11(2).
- 6 肖安予. 水库地震的新震例——东江水库地震简介. 华南地震, 1990, 10(4).
- 7 光耀华. 大化水库地震分析. 华南地震, 1990, 10(4).
- 8 丁原章. 中国的水库诱发地震. 华南地震, 1989, 9(1).
- 9 吕贵选. 四川省铜街子水电站库坝区出现诱发地震活动. 华南地震, 1992, 12(4).
- 10 肖和平. 湖南邵阳市郊微震活动特征及成因. 华南地震, 1989, 9(3).
- 11 张少泉, 关杰, 等. 矿山地震研究进展. 国际地震动态, 1994, (2).
- 12 林炯. 中国东部北西向线性构造及其大地构造意义. 地壳形变与地震, 1990, 10(3).
- 13 张虎男, 陈伟光, 等. 华南沿海新构造活动与地质环境. 地震出版社, 1990.
- 14 国家地震局深部物探成果编写组. 中国地壳上地幔地球物理探测成果. 地震出版社, 1986.
- 15 吴乾蕃, 等. 华北大地热流与地震活动性现代地壳运动研究. 地震出版社, 1985.
- 16 王钧, 黄尚瑶, 等. 中国地温分布的基本特征. 地震出版社, 1990.
- 17 湖南省地质矿产局物探队. 凤凰-茶陵地学断面及湖南深部地质地球物理综合研究. 1991.

ON THE SPECIAL EARTHQUAKE BELT IN EAST CHINA

Xiao Heping

(Seismological Office of Shaoyang City, Hunan Province)

Abstract

The Characters of reservoir earthquakes and mining earthquakes in Hubei, Hunan, Guangdong, etc. are analyzed comprehensively and a special earthquake belt, or an induced earthquake belt is established preliminarily based on the data of regional seismogeology, deep-seated structure, etc. It is considered that the special earthquake belt in Hubei-Hunan-Guangdong region has relation to active Zigui-Changde-Heyuan deep-fracture zone.

Key words: Induced earthquake, Reservoir earthquake, Mining earthquake, Deep-seated fault, East China