

文章编号: 0253-3782(2000)06-0632-05

# 地下热水对断裂活动与地震 活动的影响研究<sup>\*</sup>

宋 贯一<sup>1)</sup> 易 立 新<sup>2)</sup> 宋 晓 冰<sup>1)</sup>

1) 中国石家庄 050021 河北省地震局

2) 中国北京 100029 中国地震局地质研究所

**摘要** 利用后郝窑地区的地质勘探资料和怀来地区的数字地震台网观测资料, 研究了地下流体(热水)在断裂构造活动及孕震过程中的作用。结果表明, 断裂构造在有地下热水参与的地段, 断裂两盘剪切应力迅速下降, 断层垂直断距明显增加。随着断裂垂直断距的不断增加, 该段断层的剪切应力将不断向地下流体未参与的断层两端转移, 有可能在断层两端孕育地震。

关键词 地下热水 构造活动 孕震过程

中图分类号: P314.2 文献标识码: A

## 引言

后郝窑热田位于河北省张家口市怀来县暖泉乡后郝窑村, 热田的地理坐标为东经  $115^{\circ}30' \sim 115^{\circ}35'$ , 北纬  $40^{\circ}15' \sim 40^{\circ}25'$ 。由于该区属于首都圈内的地震危险区, 多年来许多学者从不同角度进行了系统的研究。陈运泰等(1995)利用小孔径数字地震台网进行观测, 并揭示出震源分布、活动断裂等。刁桂苓等(1999)则对沙城地震序列中  $M_L > 1$  地震的震源深度进行了计算。王基华等<sup>①</sup>对延怀盆地温泉水的循环深度进行了计算。笔者在此基础上系统收集、分析了热田区地质构造、地震活动及热水活动的规律, 发现地下热流体对热田区的断裂活动和地震活动有重要的影响。

## 1 地下流体(热水)对断裂活动的影响

据重力面积测量(1:1万)、人工地震法(1:1万)和电测深(1:5万)资料<sup>②</sup>, 在热田基岩中存在两组隐伏断裂(图1)。其中一组为北北西  $N20^{\circ}W$  走向, 倾角  $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ , 东盘下落, 表现为正断层形式; 另一组为北东东  $N50^{\circ}E$  走向, 倾角  $65^{\circ} \sim 80^{\circ}$ , 东南盘下降, 也表现为正断层形式。

热田基岩顶面形态呈一北北西方向延伸的槽谷, 槽谷西北高、东南低。槽谷西坡由太

\* 地震科学联合基金资助(9507433)。

2000-03-07 收到初稿, 2000-07-25 收到修改稿, 2000-08-24 决定采用。

① 王基华, 林元武, 刘五洲, 等。1999。京西北地区热流体研究报告。

② 河北省第三地质大队。1979。怀来后郝窑热田地质报告。

古界桑干群( $A_r$ )之混合岩化角闪斜长片麻岩组成, 槽谷东坡由中生界上侏罗系张家口组( $J_{3Z}$ )之熔结凝灰岩组成。槽谷中心线与热田隐伏断层( $f_{7-8}$ )相一致, 地下热水沿  $f_{7-8}$  断裂垂直上涌。

在槽谷的西部, 经钻探证明有一与槽谷交汇的小岔沟, 此小岔沟与北东东向( $f_5$ )断裂的走向相一致。据物探推断,  $f_5$  断裂断距落差为 140 m, 在热田的西南部有其出露, 为压性正断层, 均见有挤压破碎带, 斜厚 10 m 左右。经人工地震、电测深证实, 该断层向西南可延伸到杏园一带。

热田内北北西向的断裂, 经钻探证实有 4 条。从图 1 标出的  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_{7-8}$ ,  $f_9$  断裂中, 深部流体(热水)仅沿  $f_{7-8}$  断层涌出。经人工地震、电测深法测定, 这 4 条断层垂直断距如图 2 所示。

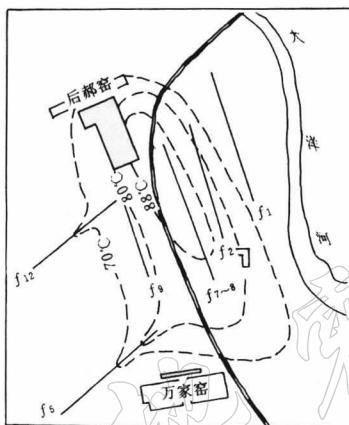


图 1 后郝窑热田水文地质简图。

线性比例尺 1:50000

(据河北省第三地质大队)

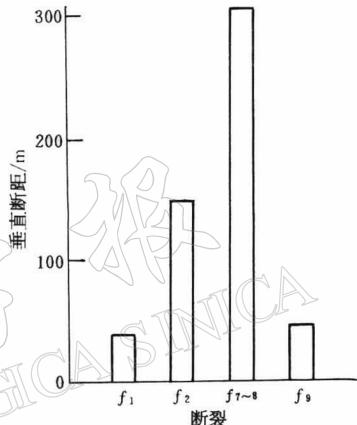


图 2 后郝窑热田内北北西向

断裂垂直断距

从图 2 可以看出,  $f_{7-8}$  断层的垂直断距比  $f_1$ ,  $f_9$  要大 5 倍以上, 比  $f_2$  要大 2 倍以上。若把断裂活动上的这种差异与热田区的热流体特征(图 1)进行比较, 不难发现  $f_{7-8}$  断裂带也是热田中水温最高的部位, 而且断裂活动强度随地下水温高值等值线距离的增大而减弱。这样的关系, 在水位等值线、水化组分等值线等图上也有显示。由此可以推断, 断裂活动强烈地受地下流体活动的影响, 即地下流体活动强烈的部位, 断裂活动也表现出强烈的特征。

## 2 地下流体对地震活动的影响

图 3 是 1995 年 7 月 1 日到 1996 年 6 月 30 延庆-怀来盆地地震震中分布图。由图可见, 这一时间段内地震大部分集中在盆地南缘杏园附近的一条断层上, 揭示了这一断层活动。其余地震主要分布在盆地北缘安营堡-枣儿口一带。

由图 3 还可看出, 怀来盆地及其周围地区的断裂活动有如下特征: ① 怀来盆地北部边缘枣儿口附近存在一条北北西向的活动断裂, 断层走向约为  $N20^\circ W$ , 倾角  $90^\circ$ ; ② 怀来盆地南部暖泉-杏园一带存在一条北东向活动断裂, 断层走向为  $N50^\circ E$ , 倾角  $90^\circ$ 。应当强调

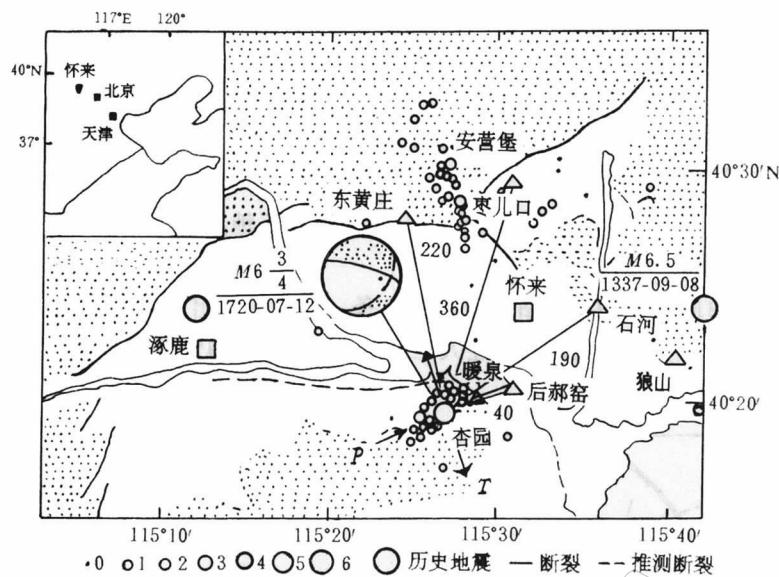


图 3 怀来数字地震台网(HDSN)及震中分布图  
(1995年7月1日~1996年6月30日)(据陈运泰, 1998)

指出, 用地震活动分布发现的这两条活动断裂并不直接与通过地质调查所确认的断层相联系. 盆地北部边缘枣儿口断层距后郝窑热田为 15 km, 盆地南部杏园一带的断层距后郝窑热田仅 3 km. 据陈运泰等(1998)对  $M_L$  4.1 地震序列分布进行的三维透视研究, 结果表明这两条断裂为共轭断层.

王培德等(1997)从地震学研究的角度指出, 位于上述两个共轭断层交汇部位的后郝窑地区地震非常少, 这一地区微震活动的“缺失”意味着该部位正处于“闭锁”状态, 且根据“闭锁区”线性尺度判断, 未来可能发生地震的上限约为  $M=6.0$ . 对此, 笔者有不同的看法.

经过地质调查和勘探资料所证实的后郝窑热田存在着两组隐伏断层, 这两组断层的走向、倾向及断层性质都与上述地震活动所揭示的两组断层基本一致. 人工地震测量证明, 这两组断层不是处于“闭锁”状态, 而是断层落差非常之大, 其中  $f_{7-8}$  断层的垂直断距可达 250 m 以上, 说明断裂在活动.

根据构造物理实验研究, 在地下热水的作用下, 沿断裂面的岩石产生泥化、水化和溶蚀作用, 将使岩石的抗压强度降低 20%~80%, 断层摩擦力降低 30%~90%; 经 NaCl 饱和水溶液浸泡过的砂岩岩样强度显著降低(图 4). 另外, 深部流体的孔隙压力较大, 可使断面上的有效正压力降低. 由此可以认为, 断裂带中地下热水的作用使断裂及其围岩弱化, 断裂的强度降低, 断层不断发生滑移, 断面上很难积累应力而发生地震. 这就是后郝窑热田地区两组断裂断层落差非常之大而“缺失”地震的原因之一.

由此可见, 地震学方法判定“闭锁区”内断层若有地下流体的活动, 那么该“闭锁区”可能是“滑移区”而不是孕育较大地震的闭锁区, 若无流体活动的“闭锁区”则可能是未来地震的孕震区.

施行觉(1986)的实验表明, 随着水在低应力区中的扩散, “滑移区”将不断扩大, 该区

的剪切应力将连续下降并向“闭锁区”转移,这个过程将延伸到“闭锁区”突然发生粘滑(地震)时为止。后郝窑热田区的实际勘探资料证实,怀来盆地北北西向和北东东向两条断层,在后郝窑区段由于地下热水的参与,断层滑移速度明显增加,该区的剪切应力连续下降并向断层的两端转移,从而在断层两端孕育地震,1995年7月20日发生在枣儿口和杏园的震群活动,可能就是这样产生的。

图3显示,经NaCl饱和水溶液中浸泡过的岩样强度显著降低;岩样在200℃时不仅强度更低,而且屈服后的滑动过程中弱化现象很明显。

## 4 结论

研究结果表明:

(1) 地下热水对断裂有强烈的弱化作用,同一组断裂中,地下热水参与得愈强烈,水对断裂的弱化作用程度愈高,断裂的滑移幅度则愈大;

(2) 同一条断裂的不同地段,由于所处流体地质条件的不同,各区段内可能产生地震的孕育过程也表现出明显的差异;在地下热水参与的断裂地段,由于断层两盘剪切应力显著下降,造成断层垂直落差幅度增加(但不易形成地震)的同时,该段的剪切应力则向断层的两端(热水未参与的地段)转移,在断层的两端孕育地震的可能性大大增加;

(3) 在地震危险性预测时,地震学判定的断层“闭锁区”尚需要地下流体地质学的检验,如果“闭锁区”内的断层有地下流体的参与,该“闭锁区”可能是“滑移区”,因此地下流体对潜在震源的判定具有重要影响。

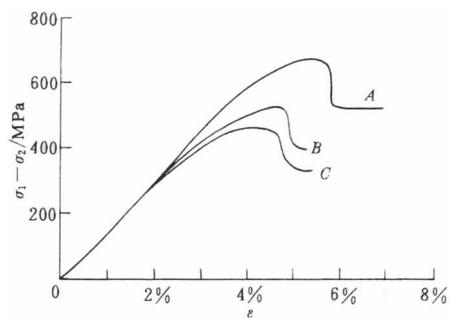


图4 山东临沂细砂岩在围压  $p_c = 200$  MPa 时不同条件下的实验结果<sup>①</sup>

A为未加孔隙水压; B为岩样在NaCl饱和水溶液中浸泡35天,孔隙流体亦为NaCl饱和水溶液,孔隙压  $p_p = 100$  MPa; C为岩样在NaCl饱和水溶液中浸泡35天,孔隙流体亦为NaCl饱和水溶液,孔隙压  $p_p = 100$  MPa。实验时加温到200℃

① 赵树清, 1999. 岩石力学实验研究报告。

## 参 考 文 献

- 陈运泰, 许向彤, 于湘伟, 等. 1998. 北京西北延庆-怀来盆地的地震观测及减轻地震灾害研究[J]. 华南地震, 18(1): 2 ~7
- 刁桂苓, 张四昌, 王培德, 等. 1999. 1995年7月河北沙城震群的震源断层[J]. 中国地震, 15(3): 284~289
- 施行觉, Wang C Y. 1986. 水的扩散与断层的粘滑[J]. 中国地震, 2(3): 14~21
- 王培德, 田玉红, 李春来, 等. 1997. 怀来盆地的地震活动与活动断裂[J]. 地震学报, 19(5): 551~554

① 赵树清, 1999. 岩石力学实验研究报告。

# A STUDY ON THE EFFECT OF UNDERGROUND HOT WATER ON FRACTURING AND EARTHQUAKE ACTIVITIES

Song Guanyi<sup>1)</sup> Yi Lixin<sup>2)</sup> Song Xiaobing<sup>1)</sup>

1) Seismological Bureau of Hebei Province Shijiazhuang 050021, China

2) Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029, China

**Abstract:** Utilizing the geological exploring information of Houhaoyao area and digital seismic network's data of Huailai area, the author studied the role of underground fluids (hot water) in the fracturing activities and in the processes of seismogeny. The results show that the shear stress between two blocks of the fault is decreased rapidly and the vertical fault throw is obviously increased at the fracture segments where underground hot water action. With the vertical fault throw increasing, the shear stress transfer to two ends of the fault at where there is no underground hot water action, and the earthquake probably develops at these two ends of the fault.

**Key words:** underground hot water; tectonic activity; seismogeny processes