

秦岭北缘断裂带温泉水渗流特征 与地震活动水平研究^{*}

史 杰¹, 张 慧^{1,2}, 苏鹤军^{1,2}, 张莲海¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000 2 中国地震局地震预测研究所 兰州科技创新基地, 兰州 730000)

摘要: 前人对秦岭北缘断裂带出露温泉水的氢氧同位素、 H 同位素和 SO_2 含量进行了计算, 得到了温泉水的热储温度和循环深度。在此基础上, 运用温度场作用下的热水垂向运移数学模型演算了循环深度和断层带渗透性之间的关系。根据 1970~2008 年的区域台网资料, 对断裂带进行了分段地震活动多参数组合方法分析, 并结合历史中强地震 (公元前 781 年~公元 2008 年) 的空间分布特点, 分析总结了断层带不同区段渗透特征和地震活动的关系。最后对秦岭北缘断裂带的渗透性成因进行了解释。

关键词: 秦岭北缘断裂带; 温泉水; 循环深度; 渗流特征; 地震活动

中图分类号: P315.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2010)03-0273-07

0 前言

秦岭北缘断裂带是我国大陆内部一条近东西向的大型活动断裂带。该断裂带形成于加里东期, 发育历史悠久, 晚更新世晚期以来有过多次强烈构造活动, 是一条超壳深断裂带, 同时又是一条强震构造带 (滕瑞增等, 1994; 刘百箴, 周俊喜, 1985; 董治平等, 1996)。从公元前 781 年有地震记载至今, 沿该断裂带共发生 5 级以上中强地震 30 余次, 包括公元 1556 年陕西华县 8.0 级地震、公元 734 年天水 7 级地震 (雷中生等, 2007) 和公元 143 年甘谷西 7 级地震等 (袁道阳等, 2007)。该断裂切割深度大, 为温泉水的出露提供了良好的地质条件。沿断裂带走向分布的温泉循环深度大, 出露温度普遍较高, 携带了丰富的地壳深部信息, 是研究深循环水与地震活动关系的天然实验场。汪万红等 (2008) 研究了该断裂带泉水的氢氧同位素和氦同位素, 对水的来源和水岩相互作用进行了分析; 石雅镠 (1988) 利用 SO_2 地热温标法进行了水循环深度的计算, 结果表明: 这些温泉水均来源于大气降水, 泉水在循环过程中发生了高温水岩相互作用, 致使大部分出露温泉

中富集 ^{18}O 特别是宝鸡—潼关段温泉 “氧漂移” 现象比较明显; 氦同位素比值具有壳源特征, 表明水在断裂带中循环的深度较大。笔者依据上述研究成果, 利用循环深度来定量描述流体在深部的运移特征, 在此基础上结合断裂带内地震活动水平差异, 分析二者之间的关系。

1 秦岭北缘活动断裂简述

秦岭北缘断裂带西起青海贵德, 往东南经尖扎、循化, 过甘肃临夏、漳县、天水, 经宝鸡延至陕西潼关, 绵延 800 余千米, 主要包括西秦岭北缘断裂带、秦岭北缘断裂带和华山山前断裂。根据活动性质和时代, 可将该断裂带划分为贵德—临夏段 (F_1)、和政—天水段 (F_2) 和宝鸡—潼关段 (F_3) (图 1)。贵德—临夏段的最新活动时代为晚更新世, 性质为逆断兼左旋走滑。和政—天水段以左旋走滑为主兼正断特征, 全新世以来活动强烈, 自古近纪中晚期以来成为青藏高原早期的北东边界, 其新生代构造活动控制了两侧新生代盆地的沉积演化和构造变形 (王志才等, 2006)。宝鸡—潼关段新生代以来一直做强烈垂直差异运动, 主要表现为正断特征, 走滑不明显,

* 收稿日期: 2010-03-03.

基金项目: 地震科学联合基金 (106108)、甘肃省自然科学基金 (3ZS051-A25-006) 和中国地震局地震预测研究所基本科研业务基金 (2009-A027) 联合资助。

全新世以来差异运动显著 (张安良等, 1992; 韩恒悦等, 2002)。康来迅 (1990) 在断裂分段的基础上, 根据河流不同阶地断错平均速率的差异认为晚更新世以来和政—天水段各分段的运动强度

由西向东逐渐增大。袁道阳和杨明 (1999) 对该段各分段的累积滑动亏损率进行了计算, 结果表明: 断裂带从西向东累积滑动亏损率逐渐减小, 反映了整个断裂带活动强度的差异性。

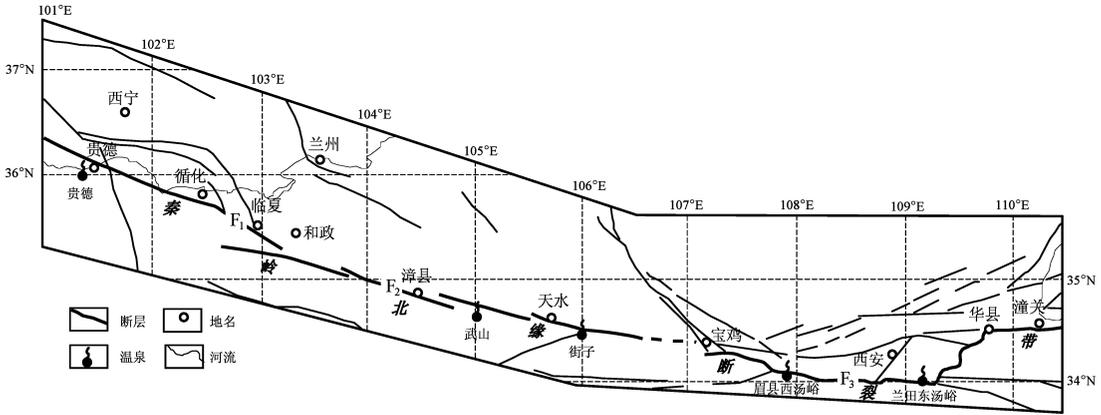


图 1 秦岭北缘断裂带构造略图

Fig 1 Structural sketch of the Northern Margin of Qinling Fault Zone

2 温泉水循环深度与断裂带渗透性关系的计算

Caine等 (1996)、Evans等 (1997)、Gudmundsson (2000) 提出了渗流性断裂带概念模型。他们认为, 断裂带沿渗流构造垂直断层走向可分为三个构造单元, 即中心带、破坏带和原岩带。断裂滑动主要发生在中心带, 中心带由一些富含粘土的断层泥、次级角砾岩和碎裂岩组成, 这些岩石成分的性质导致中心带的渗透率较破坏带小 4~6 个数量级; 破坏带主要由次级构造网络组成, 包括小断裂、纹理、裂隙、劈理、褶皱, 这些小的次级构造组成导致该带渗流很强; 中心带和破坏带的外部包围体就是原岩带, 虽然原岩带未经过明显变形, 但其渗透率仅仅比破坏带小 2~3 个数量级。在比较不同断层带渗流性能时可用 $F_m = \text{破坏带宽度} / (\text{中心带宽度} + \text{破坏带宽度})$ 来定量描述 (Caine et al 1996)。由此可看出, 破坏带单元的规模是决定渗流性能大小的重要因素。

水的循环深度对研究断层带岩体的渗透性有重要的参考意义。流体在垂向运移时, 地温场受对流和传导的双重控制; 流体以较快速度运移时运移区域和围岩之间有温度差异, 两者存在热交换, 一般可建立如下一维数学模型 (Jaeger, Cars

law, 1959; 陈墨香等, 1991):

$$\pi \delta \rho_1 \varphi v \frac{\partial T_L}{\partial y} + \pi \delta \rho_1 \varphi \frac{\partial T_L}{\partial t} = -2\pi \delta q (T_L - T_c) \tag{1}$$

式中 δ 为泉口出水半径, ρ_1 、 φ 分别为热水的密度和比热, v 为流体运移的速度, t 为时间, T_L 、 T_c 分别为泉水实测温度和高度为 y 的 (距计算热储温度值处指向地表) 围岩的温度, q 为流体和围岩的热交换系数。

由式 (1) 可知, 当 q 逐渐增大时, 井中水温逐渐接近围岩体 $r = \delta$ 处的温度; 而当 $q = 0$ 时, 即在水和岩石不发生热交换的理想状态下, 热水没有散热现象, 围岩温度将不受影响, 但在实际情况下热水在向上运移过程中会有热量传递给围岩, 出水温度将低于热储层温度。如果把围岩温度看作一个常量, 设 $T_k = [(T_0 + T_b) / 2]$, 即 $T_c = T_k$ 。当泉水出露时间很长, 热水温度达到相对稳定状态 ($\frac{\partial T}{\partial t} = 0$) 时, 上式可以得到解析解

$$T_1 = T_k + (T_b - T_k) e^{-qH / (\rho_1 \varphi v)} \tag{2}$$

将 $T_k = (T_0 + T_b) / 2$ 代入 (2) 式并整理得

$$\frac{(T_1 - T_0) - (T_b - T_1)}{(T_b - T_0)} = e^{-qH / (\rho_1 \varphi v)} \tag{3}$$

式 (3) 中 T_1 为 y 处热水的温度, 假设岩石的温度为一个常量, 那么可设热水的温度的垂向梯度为 g_w , 则上式中 $T_1 - T_0 = g_w \cdot (H - y)$, $T_0 - T_1 = g_w \cdot y$, $T_0 - T_0 = g_w \cdot H$ 在此寻求 H 和 y 的单调性 (是 H 的函数, 即 $y = y(H)$)。比较不同的温泉水的渗流性时, 将条件假设为一一致, 并将 γ , ρ_0 和 φ 看作常数。把上述 3 个式子代入 (3) 式中并对方程两边取对数整理得

$$\frac{q H}{\ln\left(\frac{H}{H-2y}\right)} = C \cdot V \quad (4)$$

式中 $C = \gamma \rho_0 \varphi$ 。

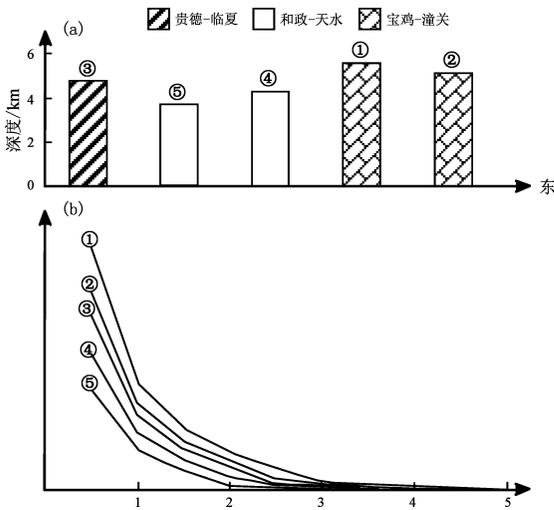


图 2 温泉水循环深度 (a) 和渗透速度 (b) 曲线图
Fig 2 Circulation depth of hot spring water (a) and permeability diagram (b)

依据 (4) 式可得到不同温泉渗流速度 V 和渗流最大深度 H 的关系 (图 2)。由图 2 可以看出: 温泉水的渗流速度与其循环深度呈正相关的关系; 在垂向上, 深循环的温泉水的渗透流速度较浅循环的温泉水的渗流速度变化率高。也就是说循环深度大的温泉水, 在垂向上的渗流速度变化较大; 对于单个温泉来说, 随着深度的增加, 渗流速度呈现指数降低。

上述结果是依据选取的数学模型和限制条件得到的, 反映了水的运移特性。沿秦岭北缘断裂带出露的各温泉的水因循环深度的不同, 其渗流系数也有所不同: 和政-天水段的水循环深度在整个断裂带最浅, 渗流性差; 宝鸡-潼关段水循环深度最深, 渗流性好。

3 现今地震活动水平分析

通过对秦岭北缘断裂带不同段落的多个地震活动参数的组合特征和历史强震分析, 可为我们判定断层带近期相对应力状况和地震活动特征提供重要依据, 也使我们能够在不同构造应力和水、岩相互作用背景下进行断裂带温泉水渗流特征与地震活动水平的对比研究。

3.1 最小完整性震级的确定

笔者根据 1970~2008 年全国地震目录, 应用震级-频度关系判定了断裂带不同段落的最小完整性震级 (图 3)。由图 3 可将贵德-临夏段的最小完整性震级确定为 $M_{min} = 2.0$, 和政-天水段 $M_{min} = 2.1$, 宝鸡-潼关段 $M_{min} = 1.9$ 。

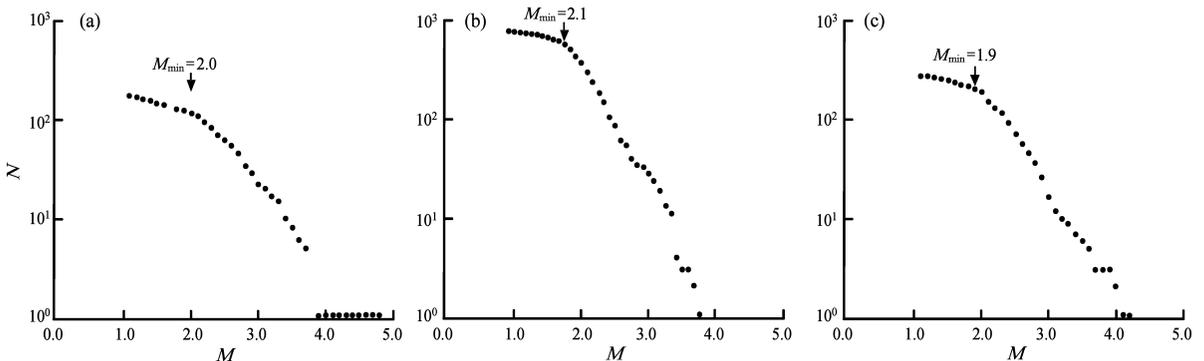


图 3 不同统计单元最小完整性震级的确定
(a) 贵德-临夏段; (b) 和政-天水段; (c) 宝鸡-潼关段

Fig 3 Diagrams illustrating the determination of the minimal earthquake of completeness in varies statistical unit
(a) Guide-Linxia segment (b) Hezheng-Tianshui segment (c) Baoji-Tongguan segment

3.2 多参数地震活动分析

利用多地震活动参数对断层活动状态进行分析是闻学泽等 (1984 1986)、易桂喜等 (2004, 2006 2007) 提出来的一种以 b 值为主、多参数组合 (b 值、 \bar{a}/b 值、 \sqrt{E} 值和 n 值) 对断裂带近期地震活动习性进行分析的有效方法。本文主要运用此方法进行分析 and 讨论。

\bar{a} 和 b 分别为震级—频度关系中的两个系数的平均值, 为无量纲参数, 可由统计得到; \sqrt{E} 代表断裂带单位面积的应变能年释放率, 可根据公式 $\sqrt{E} = \sum_{i=1}^n \sqrt{E_i} / (t \times A)$ 和 $\lg E_i = 4.8 + 1.5M_i$ 得出。式中 t 和 A 分别为统计时间尺度 (单位: 年) 和统计区域面积 (单位: km^2); n 为断裂带单位面积地震年频度, $n = N / (t \times A)$, 其中 N 为各断裂段地震个数。由于统计区域地震的时间和空间差异, 为了便于比较不同断裂段的 \sqrt{E} 值和 n 值, 计算时进行了面积和时间的归一化处理。

对秦岭北缘断裂带进行 b 值扫描计算, 在断层分段和最小完整性震级 ($M \geq M_{\text{min}}$) 的基础上以

$0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 划分平面网格, 根据地震分布, 以每个节点为中心、10 km 为半径进行圆形区域扫描, 得到 b 值分布图像 (图 4)。同时根据断层分段分别计算 b 值、 \bar{a}/b 值、 \sqrt{E} 值和 n 值, 得到不同参数的空间分布 (图 4 表 1)。

表 1 地震活动参数表

Tab 1 Seismic Parameters in different segments

活动参数	分段		
	贵德—临夏	和政—天水	宝鸡—潼关
b 值	0.72	0.74	0.90
\bar{a}/b 值	5.20	6.87	4.62
\sqrt{E} 值 ($\text{J}^{1/2}/\text{a} \cdot \text{km}^{1/2}$)	6.79	24.72	6.72
n 值 (10^{-3} 次/ $\text{a} \cdot \text{km}^{-2}$)	0.15	0.75	0.19

从 b 和 \bar{a}/b 计算结果可以看出, 区域构造应力在贵德—临夏段、和政—天水段上较为集中。并且, 虽然贵德—临夏段具有较大地震的期望值, 但贵德—临夏段的 \sqrt{E} 值和 n 值均明显低于和政—天水段, 表明和政—天水段的地震活动水平远高于贵德—临夏段; 多地震活动参数表明, 宝鸡—潼关段和贵德—临夏段地震活动强度基本相当, 但宝鸡—潼关段的 n 值略高于贵德—临夏段, 这表明虽然贵德—临夏段处于较高的区域应力水平状态, 但其地震活动频度却不高。

结合地震分布 (图 3 b) 和参数计算结果, 笔者认为, 处于高应力状态的和政—天水段地震活动水平频度和强度显著高于其它两段; 贵德—临夏段虽然同样处于高应力状态, 地震活动水平却不高; 宝鸡—潼关段处于相对低应力水平状态, 主要以中小地震活动为主。

3.3 历史中强震分析

由公元前 781 年 ~ 公元 1969 年 $M \geq 5.0$ 历史地震表明, 秦岭北缘断裂带各段近 2800 年来中强地震分布具有很强的差异性 (顾功叙, 1983)。由图 5 可知, 贵德—临夏段没有中强地震记录, 该段附近仅有的两次 5 级地震也是发生在邻近的拉脊山断裂带上。和政—天水段共发生 19 次 $M \geq 5.0$ 地震, 其中 5.0~5.9 级 11 次, 6.0~6.9 级 6 次, 7.0~7.9 级 2 次, 最近一次地震为 1936 年甘肃省康乐县 $6\frac{3}{4}$ 级地震。据历史记载, 1718 年曾在通渭南发生过 7.5 级强震 (顾功叙, 1983), 过去近 300 年的时间内宝鸡—潼关段共发生 13 次中强地震,

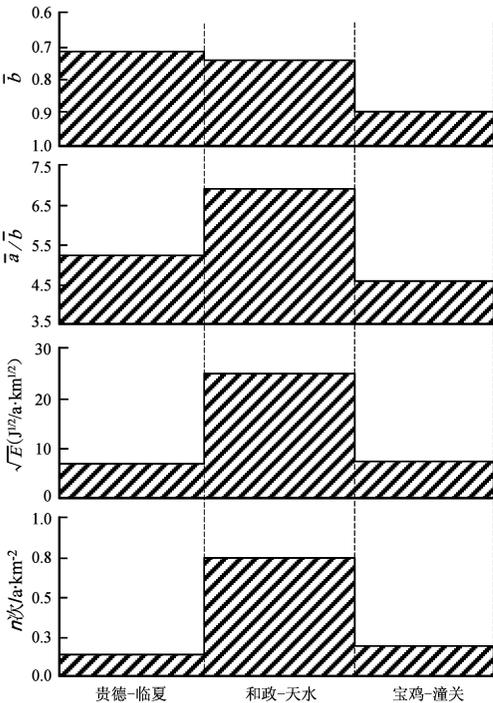


图 4 研究区多地震活动参数组合图像
Fig 4 Combination of seismic parameters of various segments in the study region

其中 5.0~5.9 级 8 次, 6.0~6.9 级 3 次, 7.0~7.9 级 1 次, 最晚一次为 1607 年发生在西安的 5.0 级地震, 最大的一次是 1556 年发生在陕西华县的 8.0 级强震。

历史地震活动表明, 和政—天水段的地震活动性明显强于宝鸡—潼关段, 目前和政—天水段上还未发现有 8 级地震的确凿证据; 宝鸡—潼关段现今地震活动水平不高, 主要以中小地震活动为主, 同时该段中强地震也较为丰富; 贵德—临夏段则没有中强地震记录。

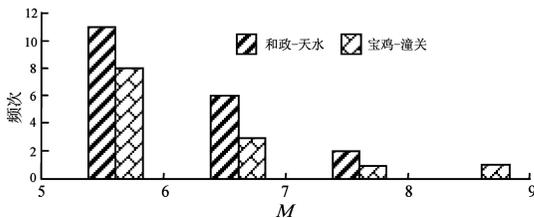


图 5 秦岭北缘断裂带不同断层段历史中强地震频次图

Fig 5 Frequency map of historical moderate and strong earthquakes in various segments of the Northern Margin Fault Zone of Qinling

4 温泉水渗流特征与地震活动水平的对比关系

(1) 笔者对泉水的循环深度和渗流的关系进行分析后发现, 渗流速度与循环深度呈正相关变化; 深循环的水渗流速度的变化率较浅循环的水大。和政—天水段是秦岭北缘断裂带水循环深度最浅的区段, 渗流性差, 在整个循环过程中速度变化较小; 宝鸡—潼关段循环深度较深, 渗流性相对较强, 渗流速度变化较为显著。断裂带渗流性在空间上的变化体现了导水介质的差异性, 这可能与断裂各渗透单元的组成规模不同有直接关系; 这种差异会导致不同程度的水、岩相互作用, 从而使断裂带岩石的弱化作用有所不同 (林元武, 1993)。

(2) 对于断裂带应力集中水平, 贵德—临夏段与和政—天水段高于宝鸡—潼关段; 历史及现今地震活动水平表明和政—天水段最强, 其余两段相对较弱; 和政—天水段保持较高的地震活动

水平, 宝鸡—潼关段表现为较强历史地震活动之后的小震活动, 贵德—临夏段则表现为中小地震持续活动状态。这种地震活动格局可能与断裂带的不同介质性质和活动模式有一定关系 (许绍燮, 1993; 陈顺云等, 2005)。

(3) 随着断裂带渗透性的不同, 断裂带的地震活动水平也不同。和政—天水段是秦岭北缘断裂带温泉水渗流最差的区段, 其地震活动水平却相对较高, 主要表现为高应力下的高频度和高强度的活动状态。宝鸡—潼关段渗流性相对较好, 可能是丰富的历史地震活动使断层介质变得比较破碎, 从而为流体渗流提供了很好的条件; 而现今地震活动水平表现为低应力下的稳定的中小地震活动状态, 可能与 1556 年 8.0 级地震能量释放有一定的关系。贵德—临夏段断裂带渗透性与地震活动水平之间的对应关系却不明显, 原因是贵德—临夏段全新世以来并不活动, 是否还能用历史地震和多地震活动参数来解释, 需要进一步探讨。

曾联波等 (2008) 的实验结果认为, 构造应力导致的岩石变形, 不仅提供了流体流动的通道, 而且还改变了岩石的渗透性能; 高压流体的存在, 使得低渗透裂隙的形成更加容易, 断裂带内流体渗流受到应力作用控制, 同时流体的作用还可以改变岩石裂隙的发育。笔者根据 k 值分析结果认为秦岭北缘断裂带不同的渗流特征应该是区域应力差异作用的结果, 并且这种不同的渗流特征会对介质的裂隙产生不同程度的作用, 从而起到使断层弱化的作用。秦岭北缘断裂带地震活动水平则是中段高而其余两段低, 这可能反映了不同断裂带的渗透性和构造应力水平的共同作用结果。该带温泉水渗流性、断裂带区域应力和地震活动水平具有明显的差异性和规律性。

5 讨论

Can 等 (1996)、Gudmundsson (2000) 提出用 F_m 值来定量描述断层的渗透性, 其值是根据大量野外调查和岩石渗透率实验数据计算出来的。如果要利用温泉水循环深度估算渗透性, 并推算 F_m 值, 这是一个值得深入探讨的问题。 F_m 值不仅与围岩的性质和断裂带构造情况等因素有关, 而

且与流体运移和应力之间的耦合作用也有一定关系。要定量研究断层带渗流性需要做大量的野外地质调查和详细的实验研究。本文用来演算渗流深度和温泉水渗透性关系的一维数学模型是基于温度场作用下的。流体在岩石介质中的渗流是非常复杂的过程,其渗流特性不仅受到温度场、应力场的控制,还受到岩石本身的物理性质和化学性质等因素的影响,要得到更加准确可靠的计算结果还有待大量的关于断层地下流体动力学、岩石学等方面的研究。由于数据有限,笔者没有将渗流特征参数计算出来,但通过不同温泉水渗流特征的差异和地震活动性的研究已经得到了定性的分析结果。

在撰写论文时,笔者得到了中国地震局兰州地震研究所董治平研究员和曹玲玲副研究员的热心指导,在此深表感谢!

参考文献:

陈墨香,张菊明,夏斯高. 1991. 井口水温与热储层温度关系的有限元模拟及实例剖析[J]. 地质科学, 26(1): 55-65.

陈顺云,刘力强,马胜利,等. 2005. 构造活动模式变化对b值影响的实验研究[J]. 地震学报, 27(3): 317-323.

董治平,雷芳,申秀荣,等. 1996. 西秦岭北缘断裂带的深部构造特征及其与地震活动的关系[J]. 内陆地震, 10(3): 224-234.

顾功叙. 1983. 中国地震目录(公元前183—公元1969年)[M]. 北京: 科学出版社.

韩恒悦,张逸,袁志祥. 2002. 渭河断陷盆地带的形成演化及断块运动[J]. 地震研究, 25(4): 362-368.

康来迅. 1990. 西秦岭北缘断裂带晚更新世晚期以来断裂运动的基本特征及运动机理[J]. 中国地震, 6(3): 53-61.

刘百箴,周俊喜. 1985. 海原活断层上史前大地震[J]. 地震地质, 7(4): 11-21.

林元武. 1993. 红河断裂带北段温泉水循环深度与地震活动性的关系探讨[J]. 地震地质, 15(3): 193-206.

雷中生,袁道阳,葛伟鹏,等. 2007. 734年天水7级地震考证与发震构造分析[J]. 地震地质, 29(1): 51-62.

石雅镠. 1988. 秦岭北缘大断裂温泉的地震化学研究[D]. 兰州: 国

家地震局兰州地震研究所.

滕瑞增,金瑶泉,李西候,等. 1994. 西秦岭北缘断裂带新活动特征[J]. 西北地震学报, 16(2): 85-90.

汪万红,张慧,苏鹤军. 2008. 秦岭北缘断裂带温泉水循环深度与地震活动性的关系研究[J]. 西北地震学报, 30(1): 36-41.

王志才,张培震,张广良,等. 2006. 西秦岭北缘构造带的新生代构造活动——兼论对青藏高原东北缘形成过程的指示意义[J]. 地学前缘, 13(4): 119-135.

闻学泽,胡先明. 1984. 从地震活动参数分析石棉—巧家断裂带的现今活动性[J]. 地震研究, 7(2): 163-170.

闻学泽. 1986. 从地震活动参数估计鲜水河断裂带的近期活动[J]. 地震学报, 8(2): 146-155.

许绍燮. 1993. 地震活动性预报地震方法[J]. 地震学报, 15(2): 239-252.

易桂喜,闻学泽. 2007. 多地震活动性参数在断裂带现今活动性与地震危险性评价中的应用与问题[J]. 地震地质, 29(2): 254-271.

易桂喜,闻学泽,范军,等. 2004. 由地震活动参数分析安宁河—则木河断裂带的现今活动习性及其地震危险性[J]. 地震学报, 26(3): 294-303.

易桂喜,闻学泽,王思维,等. 2006. 由地震活动参数分析龙门山—岷山断裂带的现今活动习性与强震危险性[J]. 中国地震, 22(2): 117-125.

袁道阳,雷中生,葛伟鹏,等. 2007. 对143年甘谷西7级地震史料的新见解[J]. 西北地震学报, 29(1): 58-63.

袁道阳,杨明. 1999. 西秦岭北缘断裂带的位移累积滑动亏损特征及其破裂分段性研究[J]. 地震研究, 22(4): 382-389.

张安良,种瑾,米丰收. 1992. 渭河断陷南缘断裂带新活动特征与古地震[J]. 华北地震科学, 10(4): 55-62.

曾联波,漆家福,王成刚,等. 2008. 构造应力对裂缝形成与流体流动的影响[J]. 地学前缘, 15(3): 292-298.

Caine J S, Evans J P, Forster C B. 1996. Fault zone architecture and permeability structure[J]. Geology, 24(11): 1025-1028.

Evans J P, Forster C B, Goddard J V. 1997. Permeability of fault-related rocks and implications for hydraulic structure of fault zones[J]. J Struct Geol, 19(11): 1393-1404.

Gudmundsson A. 2000. Active fault zones and groundwater flow[J]. Geoph Res Lett, 27(18): 2993-2996.

Jaeger JK, Carslaw H S. 1959. Conduction of heat in solids[M]. 2th ed. London: Oxford University Press.

Correlation between the Permeability Characteristics of Hot Spring Water and Seismicity in the Northern Margin Fault Zone of Qinling

SHI Jié, ZHANG Huí², SU He-jun², ZHANG Lian-hai

(1. Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(2. Lanzhou Base, Institute of Earthquake Prediction, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract

On the basis of the heat reservoir temperature and the circulation depth of the hot springs evaluated by the predecessor's through hydrogen and oxygen stable isotopic composition, helium isotopic composition and silicon dioxide content of the water of the hot springs in the Northern Margin Fault Zone of Qinling and using a mathematical model of vertical liquid movement affected by the geothermal field, we deduce a relation between permeability of the Fault Zone and circulation depth of the hot spring water. We apply the multiple seismic parameters to analyzing the seismicity of Qinling Fault according to seismic data of regional network from 1970 to 2008 and analyze the distribution of historical moderate-strong earthquakes from 781 BC to 2008 AD. And we research the correlation between the permeability and seismicity of different segments in the Fault Zone. Finally, we explain the permeability conditions of the Northern Margin Fault Zone of Qinling.

Key words: Northern Margin Fault Zone of Qinling; hot spring water; circulation depth; permeability feature; seismicity



张宇翔 陕西省地震局高级工程师。1986年毕业于陕西工学院电子系无线电专业,获学士学位。陕西省地震学会学术委员会委员,陕西省地震学会地震监测技术委员会主任。主要从事地震监测技术、地震灾害研究等工作。



曹玲玲 甘肃省地震局副研究员。1996年毕业于南京大学地球科学系,获学士学位;2001年毕业于中国地震局兰州地震研究所,获硕士学位。主要从事地下流体地震预报研究工作。



方宏芳 福建省漳州市地震局工程师。1990年毕业于中国地质大学水文地质工程地质专业,获工学学士学位;2009年12月毕业于云南大学固体地球物理学专业,获理学硕士学位。主要从事地下流体、体应变监测及地震预测研究工作。



程建武 甘肃省地震局高级工程师。1996年毕业于西安地质学院矿产勘查专业,获理学学士学位;2001年毕业于中国地震局兰州地震研究所地球物理专业,获理学硕士学位;2010年毕业于中国地震局地质研究所,获博士学位。主要从事活动构造与地震危险性评价工作。



李罡风 安徽省地震局工程师。1996年毕业于安徽大学数学系应用数学专业,获理学学士学位。主要从事地震前兆观测数据分析处理和地理信息系统开发等工作。



徐春迪 宝鸡文理学院地理科学与环境工程系副教授。1997年毕业于西北大学城市与资源学系,获理学学士学位;2007年毕业于华东师范大学资源与环境学院地理信息系统与地图学专业,获理学硕士学位。主要从事3S技术应用及资源与灾害方面的教学和研究工作。



韩晓明 内蒙古自治区地震局工程师。2004年毕业于河南理工大学测绘与国土信息工程学院大地测量专业,获工学学士学位;2007年毕业于中国地震局兰州地震研究所固体地球物理学专业,获理学硕士学位。主要从事地震活动性以及测震学方面的研究工作。



史杰 中国地震局兰州地震研究所在读硕士研究生。2003年毕业于新疆大学资源勘查系资源勘查工程专业,获工学学士学位。主要从事活动构造研究工作。

注:张昱、李永莉、莘海亮、曾宪伟、谢晓峰、刘丽芳、胡毅力、曹彦波、倪泰山的简介已分别刊登在本刊:

Vol.31, No.3; Vol.29, No.3; Vol.31, No.2; Vol.31, No.2; Vol.33, No.1; Vol.28, No.4; Vol.29, No.2; Vol.30, No.3; Vol.32, No.1.

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>