

邵永新, 2012, 土壤氦方法用于断层活动性研究的讨论, 中国地震, 28(1), 51 ~ 60。

土壤氦方法用于断层活动性研究的讨论

邵永新

天津市地震局, 天津市河西区友谊路 19 号 300201

摘要 本文系统地分析了海河断裂、天津南断裂、天津北断裂和沧东断裂等的土壤氦测量资料, 用 $M - \bar{M}$ 值的组合以及 H 值、 An 值等 3 种方式对天津地区 4 条断裂的活动性强弱进行了分析和划分, 经与活断层探测中得到的 4 条断裂的活动性分段结果对比发现, 两者具有一定的 consistency。同时发现, 每种方法都有其局限性, 进而认为, 选择合适的方法, 运用土壤氦测量资料能够对断层的活动性进行初步分析和分区, 从而为断层的活动性分段提供参考。通过不同断裂间上述 3 组指标对比发现, 土壤氦测量结果不能用于判断不同断裂间的活动性强弱。从实际工作出发, 为利于分析断层的活动性分区, 断层气测线在布设时应在探测断层与已知断裂的交汇部位附近适当增加密度。

关键词: 土壤氦 分区 断层活动性 分析

[文章编号] 1001-4683(2012)01-051-10

[中图分类号] P315

[文献标识码] A

0 引言

地球的放气现象是现今地球科学重要的课题之一(杜乐天, 2005)。地球的放气现象是岩石圈与大气圈进行物质、能量交换的一种重要形式。空间上地球放气主要集中在洋脊、火山口、活断层、温泉出露点及大震震中区附近, 其它地区则显著减少; 主要放气时段多集中出现在火山活动、构造活动、地震活动强烈的时期, 其它时间则明显减弱(汪成民等, 1991)。这种分布特征就为运用断层气方法探测、寻找断层提供了可能。1983 年, 中国地震局将断层气方法列入地震科研项目中, 其在地震监测预报、地震烈度考查、断层活动性评价、工程抗震区划与火山研究等方面已得到了广泛应用(汪成民等, 1991)。其中主要用于地震监测预报(汪成民等, 1989; 朱自强等, 1990; 高清武, 1992; 林元武等, 1998a、1998b; 杜建国等, 1998; 陈华静等, 1999; 王基华等, 2000; 林依再, 2001; 官致君, 2003; 李营等, 2009; 邵永新等, 2009)和隐伏断层的探测(张必敖等, 1987; 阎贤臣等, 1987; 姜大庸等, 1990; 王华林等, 1991; 王基华等, 1994、1996; 孟广魁等, 1997; 李陈侠等, 2007)。在对隐伏断层的探测中, 断层气方法不仅用于断裂位置的判定, 而且不同程度地用断层气资料讨论断层活动性的问题。“九五”、“十五”期间, 中国地震局大规模地开展了活断层探测工作, 断层气方法成为活断层探测初期阶段的首选方法, 一些研究结果也相继发表(章振铨等, 1999; 张慧等, 2005; 张新基等,

[收稿日期] 2010-12-28

[项目类别] 国家发展与改革委员会(发改投资)“城市活断层试验探测”项目(20041138)资助

[作者简介] 邵永新, 1966 年生, 男, 正研级高级工程师, 主要从事地震预报和地下流体等相关研究工作。

E-mail: tjjsyx@sina.com

2005;刘菁华等,2006;邵永新等,2007、2008),使运用断层气资料对断层活动性进行讨论再次引人注目。

在这些研究中,对断层活动性讨论的方法主要是以断层气测量结果的大小或相对值的大小为依据,既有使用断层气异常的相对活动强度(最高值与背景值的比值)(姜大庸等,1990;赵红梅,1996;张骏等,1996;孟广魁等,1997;刘菁华等,2006)、异常衬度(丁政等,1991;王基华等,1996)来对比分析,也有使用异常最高值来分析断层活动性的(张必敖等,1987;王华林等,1991;张慧等,2005)。邵永新等(2007)用异常的最高值与异常区域测量结果的平均值相结合的方式对海河断裂的活动性进行了分析,效果也较为理想。还有一些研究则着重于对不同断层间活动性强度的比较(张骏等,1996;孟广魁等,1997)。

“九五”、“十五”期间,天津市地震局对海河断裂天津段(以下称为海河断裂)、天津北断裂、天津南断裂和沧东断裂天津段(以下称为沧东断裂)开展了探测工作,初勘阶段在4条断裂上都开展了大量断层气测量工作。本文对利用这4条断裂上土壤氡测量资料所进行的断层活动性分析及不同断层间活动性比较的工作进行了介绍和讨论。

1 土壤氡测量资料及测线分布

土壤氡测量采用的是FD-3017RaA测氡仪,该仪器为一种瞬时测氡仪,其极限探测灵敏度小于 0.37Bq/L 。已有的研究表明,断层气测量结果的好坏、测量结果在断层附近异常值的大小等除受断层本身因素影响外,还受如覆盖层厚度、岩性、地貌、植被、气象等多种因素的影响(陶淑芬等,1992;候彦珍等,1994;常秋君等,1995;王晓婷等,2009)。为了使干扰因素的影响降到最低,工作中注意了测量剖面 and 测量数据的选择以及测量过程中能够对结果产生影响的诸多环节,详见邵永新等(2007)的文献,此处不再赘述。本研究中,使用了沿海河断裂布设的12条测线、沿天津北断裂布设的14条测线、沿天津南断裂布设的9条测线和沿沧东断裂从南到北布设的13条测线等共计48条测线上的土壤氡的测量结果。海河断裂土壤氡测线编号分别为:FG03~FG09、FG14~FG18,每条测线长度约2~5km,个别长7km以上,共39.691km。测点间距一般为50m,重点位置加密为25m,个别测点间距为100m。天津北断裂测线编号分别为:NFO1~NFO5、NFO1'和NF06~NF13;天津南断裂测线编号分别为:SF01~SF02、SF01'和SF03~08;沧东断裂从南到北编号分别为:CF01~CF08、CF01'、CF9~CF10、CF10'和CF11。测点间距20~40m,测线长0.83~7.97km不等,测线总长度179.461km,其分布如图1所示。总体上,各断裂土壤氡测线分布基本均匀,覆盖了工作区内的断裂。

2 断层活动性的判定方法

对断层活动性进行分析是基于——由于断层具有的通道作用,使来自地下深部气体在断层上部的土壤中形成富集,并且断层气浓度越高,断层的活动性越强这一基本认识。本文中采用的断层活动性判定方法仍是前人常用的方法,即异常最大值(M)、异常区域测量结果平均值(\bar{M})、相对活动强度(H)、异常衬度(A_n)。与以往不同的是,分析中使用了2种以上的方法。

为表述简便,将上述指标、方法进行如下说明和设定:

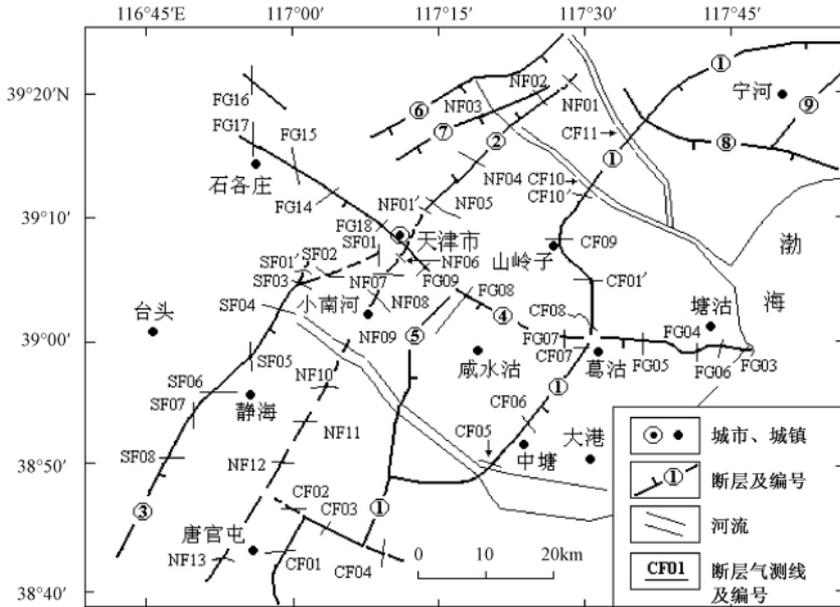


图 1 各断裂断层气测线分布示意图

- ① 沧东断裂;② 天津北断裂;③ 天津南断裂;④ 海河断裂;⑤ 土寺断裂;⑥ 汉沟断裂;
- ⑦ 宜兴埠断裂;⑧ 汉沽断裂;⑨ 西河断裂

M 为每条剖面土壤氡异常的最大值。

\bar{M} 为确定出土壤氡测线异常区域后,该区域内测量结果的平均值。

H (相对活动强度)由 $H = M/B$ 得到,其中 B 为背景值,是测线测量结果的平均值。

An 由 $An = A/N$ 得到。其中, A 为土壤氡测线异常区域内异常值的平均值; N 为土壤氡测线正常区域内测量值的平均值。

测线异常的判定方法是,以测线测量值的平均值作为背景值 (B 值),以超过背景值加 1.5 倍标准差作为土壤氡的异常 (邵永新等,2007、2008)。

在上述方法的具体应用时需要注意:

其一,由于 M 值可能存在不明因素的影响,而 \bar{M} 值又有可能人为地降低断层活动强度的表述,因此将两者组合使用。

其二,在 An 值的确定中, A 值为土壤氡测线异常区域内异常测值的平均值,而不是异常区域内所有测量值的平均值。采取这种方式确定 A 值是基于以下原因:

图 2 为沧东断裂 CF01 和 CF07 测线的测量结果。测线异常的判定方式是,以测线测量结果的平均作为背景值,以背景值加 1.5 倍均方差为异常线判定异常。仅从图形上看,CF01 (图 2 (a)) 测线测量结果非常好,但从异常区域内测量数据的构成上分析却发现了问题。CF01 测线的异常线为 $13095\text{Bq}/\text{m}^3$,异常区域在 $2706 \sim 3346\text{m}$,共有 28 个测值。但在 28 个测值中,未超过异常线的有 16 个,达到异常区域内测值的一半以上 (占 57.1%)。它们的平均值为 $8830\text{Bq}/\text{m}^3$,低于异常线,与测线背景值 $6596\text{Bq}/\text{m}^3$ 相差并不大。因此从异常区域中的测量结果分析,其中有相当一部分数据与断层的关系并不明显,或可说非断层信息

的反映。因此在计算异常区域平均值时,如果这部分数据参与计算,势必会使非断层信息的量增大而降低断层信息的反映。这种情况在 4 条断裂、48 条土壤氡测线中仅有 CF07 测线(图 2(b))判定的异常区域中测值均在异常线之上,其它测线均或多或少地存在低于异常线的测值。因此,在这种情况下普遍存在的条件下,为降低非断层信息的影响,同时增大断层信息的反映, A 被设定为土壤氡测线异常区域内异常值的平均值。

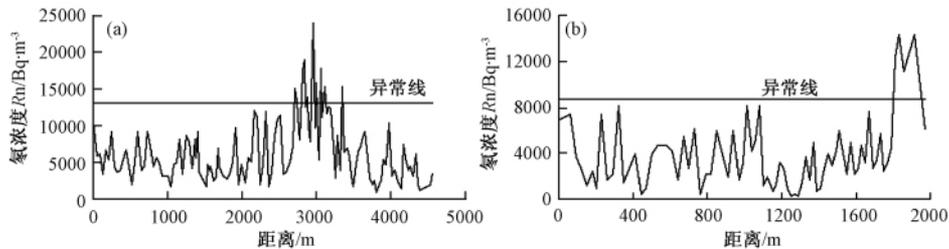


图 2 CF01(a)、CF07(b)测线土壤氡测量结果

上述运用断层气资料对断层活动性的分析,均是以断层气测量结果的高低或按一定换算关系计算结果的高低来表示断层的活动性强弱。但在断层的活动性分段问题上,是有一些具体指标和要求的(丁国瑜,1992)。而断层气方法并没有涉及这些基本指标,因此使用断层气测量结果对断层活动性的讨论与断层活动性分段是有区别的。为体现这种区别,本文将依据用断层气资料对断层活动性的讨论所得结果称之为分区,以示区别。

根据上述方法,可得到海河断裂、天津北断裂、天津南断裂和沧东断裂土壤氡测量结果 3 种方式的 M 值、 \bar{M} 值、 B 值、 H 值、 A 值、 N 值以及 An 值(表 1)。

3 土壤氡测量结果对断层活动性分析

3.1 4 条断裂活动性分段结果

在海河断裂探测中,使用人工地震、钻孔勘探等方法,将其划分为东段(沧东断裂以东)、中段(沧东断裂与天津北断裂之间)和西段(天津北断裂以西)。其中东段为全新世断裂,活动性最强,西段次之,为晚更新世断裂,中段最弱^①。对天津北、天津南和沧东断裂探测结果是:天津北断裂以海河断裂为界分为南北两段,两段活动性大致相当,为新近纪晚期至早更新世早期断裂;而对天津南断裂的探测结果中虽未对其活动性进行分段,但明确给出了断裂南部活动性强于北部,其南部可能为中更新世断裂;沧东断裂则划分为两段,海河断裂以北为北段,活动性较强,为中更新世断裂,海河断裂以南的南段活动性较弱^②。

3.2 各断裂测量结果高低值分区

3.2.1 海河断裂各指标高低值分区结果

如表 1 所示,根据 M 值、 \bar{M} 值可将海河断裂划分为两部分,即 FG08(张贵庄)测线以东和 FG08 测线以西区域(邵永新等,2007),东、西区测量值的差异非常明显。再从 H 值、 An 值分析,表 1 显示, H 值不具有明显的分区特征;在 An 值的分布上,似乎存在东高西低的特

① 天津市地震局,2001,天津市海河隐伏断裂活动性定量评价综合技术报告

② 天津市地震局,2007,天津市活断层探测与地震危险性评价技术报告

征。FG08 以东 A_n 值均大于 3.5, 且多在 4.0 以上, FG08 以西则多在 3.5 以下, 但两区的差异变化特征不是非常明显。

表 1 海河断裂、天津北断裂、天津南断裂和沧东断裂各指标对比表

测线序号	断裂	测线 编号	M (Bq/m ³)	\bar{M} (Bq/m ³)	B (Bq/m ³)	H	A (Bq/m ³)	N (Bq/m ³)	A_n
1	海河断裂	FG03	28050	10710	5008	5.6	18998	1836	10.3
2		FG06	44880	19635	13418	3.3	36848	10309	3.6
3		FG04	34425	13524	10450	3.3	29070	6991	4.2
4		FG05	54811	28722	16171	3.4	45149	12848	3.5
5		FG07	52020	16259	10087	5.2	38314	6292	6.1
6		FG08	78036	30080	17852	4.4	57598	14260	4.0
7		FG09	7905	2475	2318	3.4	6758	2395	2.8
8		FG18	17595	11511	8069	2.2	15895	7316	2.2
9		FG14	21675	13898	5848	3.7	17170	5063	3.4
10		FG15	13770	5457	3335	4.1	10637	2737	3.9
11		FG16	19635	11390	4712	4.2	15810	3815	4.1
12		FG17	16065	7701	8072	2.0	15215	7194	2.1
1	天津北断裂	NF01	14480	6113	4469	3.2	11534	3854	3.0
2		NF02	15023	6371	3266	4.6	10227	2142	4.8
3		NF03	10136	3395	2624	3.9	7214	1837	3.9
4		NF04	11584	4805	3776	3.1	8914	3339	2.7
5		NF05	18643	9744	4828	3.9	13726	4261	3.2
6		NF01'	15928	14299	6043	2.6	15276	4541	3.4
7		NF06	23711	11194	10091	2.3	20272	7700	2.6
8		NF07	13213	8611	3759	3.5	10996	2031	5.4
9		NF08	28899	11295	5265	5.5	19293	4140	4.7
10		NF09	38779	17735	10211	3.8	24250	7218	3.6
11		NF10	27911	5921	4958	5.6	16426	3297	5.0
12		NF11	16796	8375	3200	5.2	10727	2515	4.3
13		NF12	15561	9529	3675	4.2	12301	2302	5.3
14		NF13	12103	7015	3017	4.0	10004	2477	4.0
1	天津南断裂	SF01	13575	7023	2357	5.8	8055	2106	3.8
2		SF02	21720	8116	5741	3.8	15927	3662	4.3
3		SF01'	20272	14054	8002	2.5	19108	5430	3.5
4		SF03	29322	17587	9763	3.0	25237	8671	2.9
5		SF04	31132	13179	6204	5.0	20363	4974	4.1
6		SF05	10860	4593	3280	3.3	8258	2473	3.3
7		SF06	23349	6981	4771	4.9	15282	3216	4.8
8		SF07	22082	11431	4244	5.2	14971	3371	4.4
9		SF08	25340	19639	5257	4.8	20763	3837	5.4
1	沧东断裂	CF01	23959	12191	6595	3.6	16673	5117	3.3
2		CF02	40261	21102	15682	2.6	35860	9801	3.7
3		CF03	19019	7919	5645	3.4	13585	4887	2.8
4		CF04	15561	7184	5496	2.8	13289	4207	3.2
5		CF05	25935	10749	8180	3.2	21890	7074	3.1
6		CF06	18402	12556	4323	4.2	16240	4010	4.0
7		CF07	14326	13029	4047	3.5	13029	3386	3.8
8		CF08	16302	5640	2882	5.7	9345	2136	4.4
9		CF01'	26923	9618	6297	4.3	18546	4526	4.1
10		CF09	16055	9119	3673	4.4	11280	2468	4.6
11		CF10'	20748	13503	4705	4.4	14450	3649	4.0
12		CF10	15561	7304	3068	5.1	12803	2420	5.3
13		CF11	28405	6728	3564	8.0	15949	2394	6.7

由此分析, 运用土壤氡测量结果的高低可将海河断裂明显地划分为东、西两区, 即 FG08 测线及以东的东区和 FG08 测线以西的西区, 并且东区活动性强于西区。与海河断裂探测

结果比较,土壤氡分区结果具有一定程度的一致性。而运用 H 值显示的断层活动性分区特征并不显著。

3.2.2 天津北断裂各指标高低值分区结果

对天津北断裂 M 值、 \bar{M} 值的分析表明(表 1),两指标在 NF05 测线以南的区域较北区表现出较明显的增高趋势变化特征,北区 M 值多在 $15000\text{Bq}/\text{m}^{-3}$ 以下,南区则多在 $15000\text{Bq}/\text{m}^{-3}$ 以上; \bar{M} 值北区均在 $6400\text{Bq}/\text{m}^{-3}$ 以下,南区除 NF10 测线外,均在 $7000\text{Bq}/\text{m}^{-3}$ 以上,南区活动性应强于北区。但从 H 值、 A_n 值分析可知(表 1),就 H 值而言,可以 NF08(小倪庄-蔡台西)测线为界将天津北断裂分为北区和南区两部分,其中北区 H 值除 NF02 测线外,均在 3.9 以下,南区除 NF09 测线 H 值为 3.8 外,其它则均在 4.0 以上,南区较北区活动性强;而 A_n 值的划分结果则是以 NF07 测线为界划分南、北两区,北区 A_n 值多在 4.0 以下,南区多在 4.0 以上。因此运用断层气测量结果对天津北断裂的分区结果是南部活动性应强于北部,与该断裂的最终探测结果不一致。

3.2.2 天津南断裂各指标高低值分区结果

根据表 1 列出的 M 值、 \bar{M} 值以及 H 值和 A_n 值变化特征分析, M 值、 \bar{M} 值的变化没有表现出特征性的趋势变化。而 H 值和 A_n 值在 SF06(梁头-静海县城)测线以南区域较以北区域高,因此 H 值和 A_n 值方法可在 SF06 测线附近将天津南断裂分为南、北两部分,其中南区活动性较强,但总体上的趋势变化特征并不十分显著。在天津南断裂的探测结果中,虽未对其活动性进行分段,但明确给出了断裂南部活动性强于北部。这种南北活动性差异划分的主要依据是钻孔勘探的结果。在该断裂的探测中,在静海县西和西青区炒米店村北布设一条钻孔剖面。研究表明,静海西钻孔剖面(SF06 测线位置)上断点在 90m 上下,处于中更新世中期;而炒米店钻孔剖面(SF03 测线位置)100m 内没有发现断层活动的迹象,故认为天津南断裂南部活动性强于北部(邵永新等,2010)。因此,土壤氡测量结果对天津南断裂活动性的分区结果与钻探结果具有一致性。

3.2.3 沧东断裂各指标高低分区结果

从表 1 沧东断裂各测线的 M 值、 \bar{M} 值分析, M 值、 \bar{M} 值也没有明显的高低趋势变化特征。 H 值、 A_n 值可依 CF08(六车地-大杨庄)测线划分为北、南两个区域。北区 H 值一般在 4.3 以上、 A_n 值 4.0 以上,而南区 H 值、 A_n 值则分别在 4.2、4.0 以下,北强南弱的趋势变化特征较明显,这与沧东断裂的探测结果相一致。

3.3 不同断裂间各指标的比较

前已述及海河断裂、天津北断裂、天津南断裂和沧东断裂的活动性分段(区)结果。由于在使用土壤氡对断裂的分区过程中考虑的是指标总体变化趋势特征,为分析上的方便,表 2 则列出了前述 4 条断裂各指标分区结果的平均值。

海河断裂活动性的探测结果表明,上述 4 条断裂中,活动性最高的是海河断裂。比较表 2 中的 M 值和 \bar{M} 值和 A_n 值,海河断裂东区 M 值和 \bar{M} 值的平均值在包括海河断裂西区及天津北断裂中是最高的, A_n 值的平均值也比其它分区高,但与天津南断裂的南区和沧东断裂的北区相比并没有明显高出优势。同样,从海河断裂的探测结果分析,西区也应比其它 3 条断裂活动性强,但比较 M 值和 \bar{M} 值、 A_n 值的平均值,不仅 M 值和 \bar{M} 值不是最高值,并且 A_n 值也处于各断裂的最低水平。依 H 值分析天津北断裂的活动情况,天津北断裂应为新近纪

表 2 各断裂分区各指标平均值对比表

指标	海河断裂		天津北断裂		天津南断裂		沧东断裂	
	东区	西区	北区	南区	北区	南区	北区	南区
M (Bq/m^3)	48704	16108	12806	21154	—	—	—	—
\bar{M} (Bq/m^3)	19822	8739	5171	10372	—	—	—	—
H	—	—	3.4	4.7	3.9	5.0	5.3	3.3
An	5.3	3.1	3.4	4.6	3.7	4.9	4.9	3.4

注:表中“—”表示依该方法没有表现出分区特征

晚期至早更新世早期断裂(邵永新等,2010),与活动性为中更新世中期的沧东断裂南段^②相比没有明显的差别。由此分析,使用 M 值和 \bar{M} 值、 H 值、 An 值不能在不同断裂间进行活动性的比较。

4 结论与讨论

(1) 通过上述 3 种方法对天津地区 4 条断裂的活动性分析发现,每种方法都有其局限性,不一定能够得到活动性分区结果。因此在利用土壤氡资料讨论断层的活动性时,应选用多种方法。若选择恰当的方法,土壤氡资料可以对断层的活动性分析提供指示意义,为断层的活动性分段提供参考。同时应注意,在布设断层气测线时,在探测的断层与已知断层的交汇区域附近应加密布设测线,这样有利于利用土壤氡测量结果对断层的分区。

(2) 利用土壤氡测量结果对上述 4 条断裂活动性的分析发现,不同断裂间的测量结果不能通过相互比较来判断不同断裂的活动性强弱,这似乎与断层气浓度越高断层活动性越强的基本认识不一致。探究其原因,可能与 B 值有关。以 H 值为例分析其数值的含义, H 值实际上是断裂异常的最大值 M 与背景值 B 的比值,并不代表断裂真实的活动性强弱。其变化与 M 值和 B 值均有关,是以 B 值为基础的。对于 M 值而言,不仅与断裂信息有关,而且与 B 值也有关。图 3(a)~(d) 为各断裂 M 值和 B 值的变化曲线,图 3(a')~(d') 为 M 值和 B 值的拟合结果。图中显示,对于同一断裂而言,其 M 值与 B 值具有一定的相关性,计算它们的相关系数,海河断裂为 0.907,天津北断裂为 0.763,天津南断裂为 0.683,沧东断裂为 0.836,而不同断裂间则没有这种关系, B 值与 M 值之间具有“水涨船高”的变化特征。也就是说同一断裂 M 值与 B 值的比值,即 H 值可大致遵从该断裂的活动变化特征。如果将 H 值用于不同断裂间的比较,仅从数值的含义上来分析,其必须有同一个比较的基础才可行,否则比较的结果就会失去实际意义。对于 M 值和 \bar{M} 值、 An 值也是如此(图 3(e)~(h)、图 3(e')~(h'))。海河、天津北、天津南和沧东断裂 A 、 N 值的相关系数分别为 0.869、0.859、0.743 和 0.918。因此笔者认为,即使不同断裂间 M 值和 \bar{M} 值、 H 值或 An 值的比较与断裂活动性强弱一致,也是一种特例或偶然现象。如果要对不同断裂的活动性进行比较,还需借用其它方法。

(3) 天津北断裂土壤氡探测结果表明,可在 NF05 测线(M 值、 \bar{M} 值方法)、NF08(H 值方法)或 NF07(An 值方法)间将断裂划分为南、北两个区域,且南区的活动性较北区强。而在天津北断裂的探测中,并没有将该断裂进行分段,这一点与断层气的探测结果不一致。但在天津北断裂的探测过程中,浅层人工地震探测结果表明,位于海河断裂以北的天津北断裂

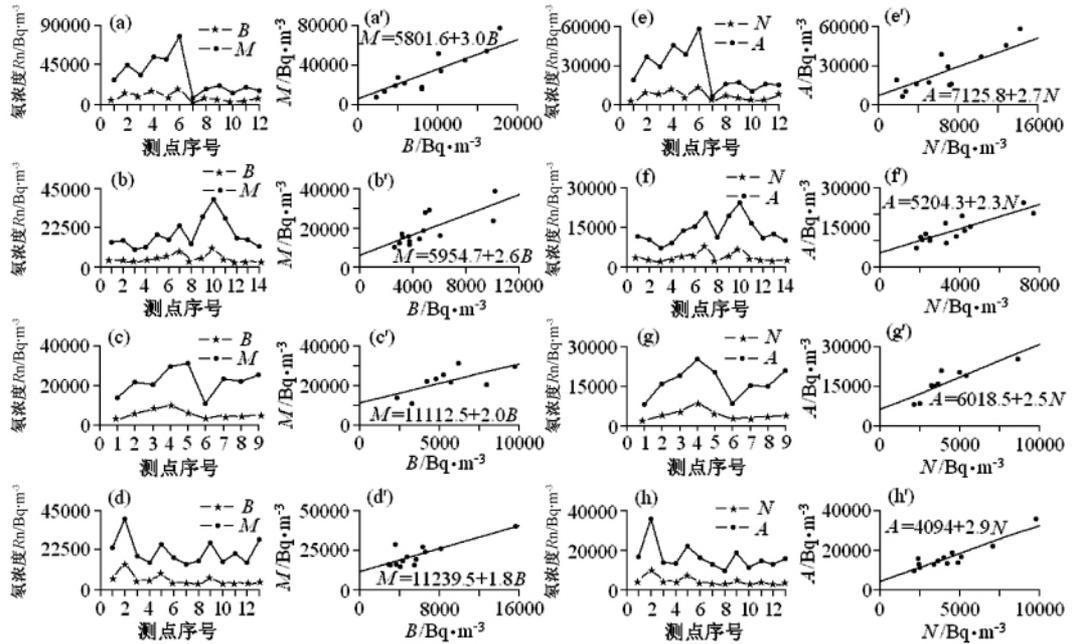


图3 各断裂 M 值与 B 值及 A 值与 N 值关系图

图中测线序号同表1各测线序号;(a)、(a')、(e)、(e')为海河断裂;(b)、(b')、(f)、(f')为天津北断裂;

(c)、(c')、(g)、(g')为天津南断裂;(d)、(d')、(h)、(h')为沧东断裂

北部的潘庄镇(NF01测线附近)、朱头淀(NF02测线位置)、排污河(NF04附近)、金钟河(NF05附近)等地震剖面探测结果表明,断裂上断点埋深210~240m。位于朱头淀地震剖面位置的钻孔勘探验证结果表明,其上断点应在167.57m左右,位于早更新世早期(邵永新等,2010)。进入市区后,育红路和昆纬路两条人工地震剖面(海河断裂附近)显示其上断点埋深在185~190m;而位于海河断裂以南、天津北断裂南部的水上公园(NF07测线附近)、小南河(NF08测线)、独流减河(NF09测线)、大丰堆(NF11测线附近)等地震剖面显示,天津北断裂上断点埋深在120m上下。总体上,断层上断点埋深由北向南逐渐变浅^②。但是,在小南河地震剖面的钻孔勘探验证结果却显示,120m上下深度内没有发现断层活动的迹象(邵永新等,2010)。从这一结果看,小南河地震剖面和小南河钻孔剖面的探测结果并不一致。已有的研究也表明,地震方法是城市直下型活动断裂不可替代的勘探技术(徐明才等,2005)。至于NF09测线以南的天津北断裂则是在断层气测量中新发现的,后经地震方法进一步确认,尚未布设钻孔剖面进行勘探验证。因此,上述土壤氡对天津北断裂活动性划分结果是否与实际情况相符,现有资料尚难判定。

(4)在断层的分段中,一般包括几何学分段、结构分段、活动性分段和破裂分段(丁国喻,1992)。以往的研究也有利用土壤氡的异常特征来区别正、逆断层并进行分段做法(张慧等,2005;张新基等,2005),但由于本文讨论的断层均为正断层,且覆盖层较厚,故尚未发现土壤氡异常高值的位置、异常区域的宽窄及位置等与断层有何种关系。

参考文献

- 常秋君、何跟巧、宋玉兰等,1995,地温对断层气 Rn 影响的初步研究,西北地震学报,17(2),51~56。
- 陈华静、王基华、林元武,1999,断层土壤气的观测与地震短临预报,地震,19(1),81~89。
- 丁国瑜,1992,有关活断层分段的一些问题,中国地震,8(2),1~10。
- 丁政、谢瑞征、张大其等,1991,用地球化学方法对郯庐断裂带江苏段隐伏断裂的测量研究,地震学刊,4,32~37。
- 杜建国、宇文欣、李圣强等,1998,八宝山断裂带逸出氦的地球化学特征及其映震效能,地震,18(2),155~162。
- 杜乐天,2005,地球排气作用的重大意义及研究进展,地质评论,51(2),174~180。
- 高清武,1992,地震前 H₂、Hg 等断层气的异常变化,中国地震,8(3),53~59。
- 官致君,2003,断层气 CO₂ 快速测定方法在四川地震预测中的应用,地震研究,26(增刊),118~125。
- 侯彦珍、王永才、张根深,1994,土壤气氦测量影响因素的初步研究,华北地震科学,12(2),55~59。
- 姜大庸、阎贤臣,1990,海原活动断裂流体地球化学场初探,地震地质,12(1),63~68。
- 李陈侠、徐锡伟、Perr F I 等,2007,东昆仑活动断裂带西大滩段断层气 (Rn, CO₂) 的释放特征,地震地质,29(4),905~909。
- 李营、杜建国、王富宽等,2009,延怀盆地土壤气体地球化学特征,地震学报,31(1),82~91。
- 林依再,2001,土壤氦气异常特征与台湾南投 7.6 级地震,地震研究,20(24),321~325。
- 林元武、刘武洲、王基华等,1998a,张北-尚义地震现场 CO₂ 测量与震后趋势判定,地震地质,20(2),117~121。
- 林元武、王基华、高松升,1998b,断层气 CO₂ 测定新方法 with 张北-尚义 6.2 级地震预报,地震,18(4),353~357。
- 刘菁华、王祝文、刘树田等,2006,城市活动断裂带的土壤氦、汞气评价方法,吉林大学学报(地球科学版),36(2),295~304。
- 孟广魁、何开明、班铁等,1997,氦、汞测量用于断裂活动性和分段的研究,中国地震,13(1),43~51。
- 邵永新、李振海、陈宇坤等,2010,天津断裂第四纪活动性研究,地震地质,32(1),80~89。
- 邵永新、马建英、王建国等,2009,天津地区地震地下流体观测网调整与优化的思考,地震研究,32(2),215~220。
- 邵永新、任峰,2008,天津地区断层方法应用中的两个问题,地震,28(1),65~72。
- 邵永新、杨绪连、李一兵,2007,海河隐伏活断层探测中土壤气氦和汞测量及其结果,地震地质,29(3),627~636。
- 陶淑芬、王长岭、刘耀炜等,1992,土壤气干扰因素初步实验研究,西北地震学报,14(1),92~95。
- 汪成民、宇文欣、周旭明等,1989,从断层气测量结果看德都地震,中国地震,5(3),57~61。
- 汪成民、李宣瑚,1991,我国断层气测量在地震科学研究中的应用现状,中国地震,7(2),19~30。
- 王华林、李家灵、许坤福等,1991,平原地区活断层研究,地震研究,14(2),132~140。
- 王基华、王亮、孙凤鸣等,1994,隐伏断层性状的汞地球化学标志研究,中国地震,10(2),112~122。
- 王基华、王亮、孙凤鸣等,1996,隐伏断裂活动性分段汞的地球化学标志初探,地震地质,18(4),409~412。
- 王基华、林元武、高松升等,2000,1998 年怀来后郝窑断层气 CO₂ 变化特征分析,西北地震学报,22(1),28~32。
- 王晓婷、郭维栋、钟中,2009,降水过程对断层 CO₂ 气体异常排放响应的个例分析,地球物理学报,52(5),1178~1183。
- 徐明才、高景华、刘建勋等,2005,应用于城市活断层调查的地震方法技术,中国地震,21(1),17~23。
- 阎贤臣、张增、王长岭,1987,活断层上覆土壤中气体成份特征,中国地震,3(4),52~59。
- 张必敖、何跟巧、廖元模等,1987,阿尔金断裂东北段断层气体的初步研究,西北地震学报,9(2),26~32。
- 张骏、杜东菊、彭建兵等,1996,断层气体测量在大柳树坝址区断裂活动性研究中的应用,勘察科学技术,(6),23~27。
- 张慧、张新基、苏鹤军等,2005,金城关活动断裂带土壤气氦、汞地球化学特征,西北地震学报,27(2),150~153。
- 张新基、张慧、苏鹤军等,2005,刘家堡活动断层土壤气氦、汞地球化学特征,地震,25(4),87~92。
- 章振铨、李志田、迟天峰,1999,敦化-密山断裂带(二道甸子-大山嘴子段)断裂活动性评价,吉林地质,18(1),51~56。
- 赵红梅,1996,广东平冈断裂断层气测试结果分析,地震地质,18(4),413~416。
- 朱自强、汪成民、宇文欣等,1990,大同-阳高 6.1 级地震现场断层气测量结果初步分析,地震,10(4),75~80。

A discussion of fault activity research using the measurement results of soil radon

Shao Yongxin

Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China

Abstract This paper systematically analyzes the measurement results of soil radon of the Haihe River, Tianjin South, Tianjin North and Cangdong faults, and the activity strength or weakness of the four faults are analyzed and divided in terms of the H value, the association of the M and \bar{M} values and An value. Through the contrast with the segmentation results of the four faults obtained in the fault exploration, it is found that the two are consistent with each other. At the same time, each method is found to have its limitation. Therefore with the proper selection, soil radon measurements can be a preliminary analysis of fault activity and can serve as a reference for the segmentation of fault activity. The contrast of the targets among the different faults reveals that the measurement results of different faults can not been used for determining the strength or weakness of fault activity among the different faults. In reality, in order to facilitate the analysis of fault activity partition, the measurement line of fault gas should be properly encrypted in intersection vicinity of the detection of the known faults.

Key words: Soil radon Partition Fault activity Analysis