

文章编号: 0253-3782(2004)04-0379-08

山西断陷带北部块体构造活动样式 及强震构造背景^{*}

于慎谔

(中国北京 100085 中国地震局地壳应力研究所)

摘要 应用地块构造几何学方法和原理, 系统研究了山西断陷带北部构造区地块构造类型、结构和运动特征。运用断块“多米诺”模型, 通过断裂构造地貌分析对比, 系统地讨论了断块变形、断陷盆地伸展运动特点, 及其区域分布特征。分析结果显示: ①以北西向断裂划分, 由西向东分为西区段、中区段和东区段, 相应的地壳伸展量分别为 4.46 km, 2.80 km 和 1.86 km。断块平均伸展量约为 1 km。计算结果与实际测量数据大致相同; ②以恒山断块为界, 山西断陷带北部构造区可分为南北两区, 两区地震活动水平不同, 分别为 $M \geq 7$ 和 $6 \leq M < 7$, 地震活动表现出明显差异性。分析认为地震活动的差异性与地块运动方式及特点有关。北部区断块向 NW 方向伸展, 表现出张性地堑式扩展特征。南部区地块掀斜运动特点, 地块伸展运动方向向南东, 与断裂倾向相反, 地块掀斜旋转在断裂上产生附加构造应力, 这可能是南部区孕育大地震的主要因素之一。

关键词 山西断陷带北部构造区 断块运动 几何学分析

中图分类号: P546 文献标识码: A

引言

山西断陷带是中国大陆重要的新生代断陷盆地带和强地震活动带之一, 其北部构造区尤其以构造组合复杂、强震频度高而引起广泛重视。早在 20 世纪 60 年代以来, 就已开展了对该带的研究(邓起东等, 1973, 1985; 卢演伟和丁国瑜, 1985; 徐锡伟等, 1990, 1996, 2002; 国家地震局鄂尔多斯周缘断裂系课题组, 1988)。20 世纪 90 年代, 中国地震局在本区忻定盆地以及延庆盆地开展了 1/5 万地质填图及综合研究(徐锡伟, 1990; 刘光勋等, 1991; 方仲景等, 1993; 窦素芹等, 1995; 冉勇康等, 1991; 程绍平和杨桂枝, 1996); 邓起东和米仓伸等开展了“中日山西六棱山北麓断裂和日本陆羽断裂晚第四纪运动学对比研究”(邓起东等, 1994; 徐锡伟等, 1996)。此外还有, 段瑞涛和方仲景(1995)、刘巍等(1995)、申旭辉和汪一鹏(1995)以及 Zhang 等(1998)也对山西断陷带北部构造区第四纪盆地和主要断裂带构造特征、地震活动特点进行了专题研究, 积累了大量新资料, 提出了新的认识和观点。

本文立足于上述工作, 以被主要断裂分割的块体作为问题的基本运动学单元, 用块体自身运动和相邻块体间的相对运动来描述和分析研究对象的运动学特征, 并从单个块体运

* 中国地震局“九五”重点项目专题(95-04-10-05)资助。

2003-12-09 收到初稿, 2004-03-08 收到修改稿并决定采用。

动的几何学特征到断块组合运动特征进行综合分析,进一步研究了山西断陷带北部构造区断块结构特点、构造运动特征,讨论了该地区强震活动的构造背景等问题。

1 主要活动断裂与断块结构

活动断块的划分及结构特点取决于主要活动断裂的规模、发育程度及其活动性特点，断块的变形特征则由边界断裂的活动习性表现出来。山西断陷带北部构造区主要活动断裂的展布方向为北东-北北东向，以正倾滑运动为主；其次为北北西向和近南北向断裂，这组断裂一般规模较小，并具有转换构造特性，其发育程度与断块的水平运动有关（图1、表1）。

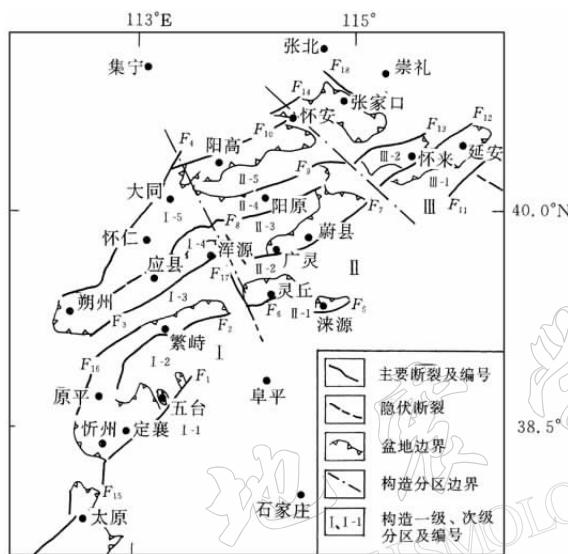


图 1 山西断陷带北部断裂构造图

1.1 北东-北北东向断裂

山西北部构造区主要的北东-北北东向断裂见表1断裂 $F_1 \sim F_{16}$ 。它们是分割区内断块的主要边界断裂，长度一般在 60~100 km 左右，断裂性质以正倾滑为主，其中北北东向断裂兼有右旋走滑分量，晚更新世晚期以来断裂垂直滑动速率在 0.5~1.0 之间。这组断裂也是山西北部地区的主要发震构造，有史料记载以来，除恒山北麓断裂和阳高-天镇盆地北缘断裂外，其余断裂均发生过 $M_s \geq 6$ 地震。

1.2 北北西向断裂

区内北北西-北西向断裂是山西北部断裂系统中的传递构造,见表1断

表1 山西断陷带北部构造区主要断裂晚更新世以来滑动速率一览表

断裂序号	断裂名称	产状/(°)	活动性质	水平速率/mm·a ⁻¹	垂直速率/mm·a	资料来源
F ₁	系舟山北麓断裂	45~50/NW∠65~70	N	0.8~1.75(Q ₃)	窦素芹等(1995)	
F ₂	五台山北麓断裂	60~70/NW∠45~82	N	0.6~1.71(Q ₃)	刘光勋等(1991)	
F ₃	恒山北麓断裂	50~60/NW∠65~78	N	0.33~1.1(Q ₁)	①	
F ₄	口泉断裂	35~40/SE∠65~75	NR	0.5~0.6(Q ₁)	①	
F ₅	涞源盆地南缘断裂	70~80/NW∠50~70	N			
F ₆	灵丘盆地南缘断裂	70~75/NW∠50~70	N	0.34(Q ₃)	徐锡伟等(2002)	
F ₇	蔚广盆地南缘断裂	70/NW∠50~70	N	0.75(Q ₃)		
F ₈	六棱山北麓断裂	60/NW∠60~80	N	0.43~1.75(Q ₃)	徐锡伟等(2002)	
F ₉	阳原盆地北缘断裂	50~60/NW∠65~70	N	0.02~0.41(Q ₃)		
F ₁₀	阳高-天镇盆地北缘断裂	70~80/SE∠50~80	N	0.34	徐锡伟等(1996)	
F ₁₁	南口断裂	40~60/SE∠50~80	N			
F ₁₂	延砚盆地北缘断裂	45~65/SE∠50~80	N	0.2~0.58(Q ₃)	方仲景等(1993)	
F ₁₃	怀涿盆地北缘断裂	50~80/SE∠50~75	N	0.2~0.55(Q ₃)	方仲景等(1993)	
F ₁₄	怀安盆地北缘断裂	20~40/SE∠50~70	N			
F ₁₅	系山西山麓断裂	15/NW∠60~70	NR	5.7		锡伟等(1986)
F ₁₆	云中山山前断裂	15/NW∠60~70	NR	0.32~0.5(Q ₃)	②	
F ₁₇	唐河断裂	330/SW∠60~70	NL	0.03		③
F ₁₈	张家口断裂	320/SW∠60~70	NL			

注:①中国地震局地壳应力研究所.1998.山西平朔安家岭露天煤炭有限公司工业广场地震安全性评价报告.

② 刘光勋等. 1995. 忻定盆地活动断裂 1:5 万地质填图和综合研究(课题报告)

③ 中国地震局地质研究所. 1992. 陕甘宁气田—北京输气管道沿线主干断裂活动性勘察与地震烈度研究报告.

裂 $F_{17} \sim F_{18}$ 。这组断裂具有明显走滑运动特征，控制着区域断块构造长度，在地壳伸展运动中起着调剂断块差异运动的作用。

1.3 断块划分及其结构特点

山西断陷带北部构造区上部地壳受北东向主要活动断裂切割，形成一系列呈左阶斜列形式的北东-北东东向构造断块。北西向断裂大致呈等间距发育，限制了断块发育长度，断块平均长度约为 100 km。北西向断裂在断块构造运动中扮演着转换构造的角色，平衡着不同断块间构造运动形式及位移量的差异。由此将山西断陷带北部构造区进一步划分为西(Ⅰ)、中(Ⅱ)、东(Ⅲ)3 个次级断块构造区段(图 1、表 2)。

表 2 山西断陷带北部断块构造参数

断块名称		边界主要控制断裂	断块视宽度 /km	断陷深度 /km	断隆高度 /km	掀斜方向 /($^{\circ}$)
西 区 段	系舟山地块	系舟山断裂	40			135~140
	五台山断块	系舟山断裂 五台山北麓断裂	50	1.8	1.3	135~140
	恒山断块	五台山北麓断裂 恒山北麓断裂	28	2.0	1.2	150
	马营-浑源盆地断块	恒山北麓断裂 六棱山北麓断裂西段 豆庄-冯庄断裂	25	3.5	0.1	140~150
	大同-怀仁盆地断块	六棱山北麓断裂西段 豆庄-冯庄断裂 口泉断裂	32	2.2	0.1	305~310
	太白维山断块	涞源盆地南缘断裂 太白维山北麓断裂	20	0.4	0.8	140~150
	灵丘盆地断块	太白维山北麓断裂 蔚广盆地南缘断裂	32	0.25	1.1	165
	六棱山断块	蔚广盆地南缘断裂 六棱山北麓断裂东段	32	0.7	1.3	160
	阳原盆地断块	六棱山北麓断裂东段 阳原盆地北缘断裂	30	1.4	0.8	140~150
	阳高-天镇盆底断块	阳原盆地北缘断裂 阳高-天镇断裂	30	0.6	0.8	170
中 区 段	延庆-矾山盆地断块	南口山前断裂 延矾盆地北缘断裂	32	2.3	0.8	315~325
	怀来-涿鹿盆地断块	延矾盆地北缘断裂 怀涿盆地北缘断裂	22	2.0	0.8	315~325
东 区 段						

1) 西部区段(Ⅰ)。各断块宽度 30~40 km，长度约 100 km。这个构造区段中，除北部大同一怀仁断块为复合地堑型断块外，其余断块均为向南东倾斜的掀斜旋转断块。西区段西侧的口泉断裂、云中山山前断裂构成了山西断陷带北部构造区与鄂尔多斯断块的构造分界。恒山断块的西端与鄂尔多斯断块相连，构成太行山、鄂尔多斯两大内陆断块间的“岩桥”构造。

2) 中部区段(Ⅱ)。断块结构和运动特点与西区段有相似之处，不同之处在于断块掀斜运动及由此产生的扩展量较小。

3) 东部区段(Ⅲ)。断块结构及运动特点与中、西部截然不同。该区段断裂倾向南东，

断块运动表现为北部断陷，南部抬升的掀斜特点。

2 断块运动学特征

山西断陷带北部构造区的断陷盆地发育在断块倾伏一侧，断块的另一侧则掀斜成山地，地貌构造形式表现为区域性盆岭式地貌，反映出断块掀斜运动特点。

2.1 断块掀斜运动特点

我们以大比例尺地形图为基础图件，辅助以 TM 卫星影像解释，判读测量地体地貌特征参数。以山脉高峰线(高分水线)代表断块隆起脊线，并以此为标志，测得两相邻“脊”的距离作为形变后地壳长度，在断块掀斜方向上量得“谷”线到相邻盆地边缘的距离和高差，以此求得断块掀斜量(地形面坡角)，选取“唐县期”夷平面为标志地形面，断层倾角 α 取断裂平均倾角。

根据断块和边界断裂几何特征，即断块宽度、断块抬升端隆起高度、沉降端断陷深度和边界断裂产状等参数，可以估算出断块掀斜运动参数(图 3)。表 2 数据显示，断块掀斜方向以 $140^\circ \sim 160^\circ$ 为主(平均 152°)，北部和东部断块向 $315^\circ \sim 325^\circ$ 方向掀斜。根据断块展布方向和断陷盆地地层沉积厚度分布特点分析，断块旋转轴走向约为 NE-ENE 向，略向 SW 倾伏。Bosworth(1985)认为，链状伸展断层系中次级伸展断层的位移都集中到主滑脱面上。滑脱面深度(S)由下式给出：

$$S = Y \text{ 的面积} \times \left[\frac{d + (L_1 - L_0)}{2} \right]$$

其中，断块原宽度(L_0)等于单个断块宽度(L_a, L_b, L_c, \dots)之和，总位移(d)为各断层位移(d_a, d_b, d_c, \dots)之和， L_1 为现今断块视宽度(图 2)。

据表 2 数据由上式计算得到山西北部构造区构造滑脱深度估算结果：西区段 $17.3 \sim 20.1$ km，中区段 $14.7 \sim 15.9$ km，东区段约 19.3 km。

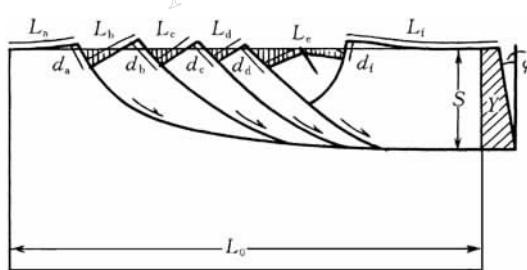


图 2 山西断陷带北部构造区构造模式示意图

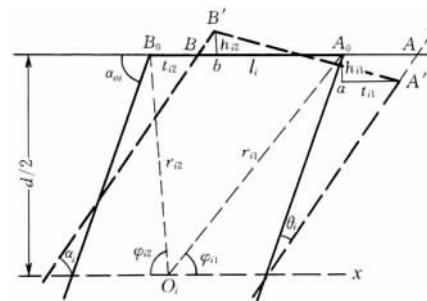


图 3 “多米诺”构造模型几何关系

2.2 块体掀斜的垂直差异运动

断块绕水平轴旋转运动的结果在断裂上盘形成箕形断陷盆地，下盘抬升成为单断山地。图 3 表示了山西北部构造区“多米诺”构造模型，说明在其中某一块体旋转轴位置相对不变条件下(如恒山块体)的块体变形几何关系。

图 3 中 A, B 为断层出露点(表示断层地表迹线投影)； r_{ij} 为对应的位矢， φ_{ij} 表示位矢 r_{ij} 与水平线(x)的夹角($i = 1, 2, 3, \dots; j = 1, 2$)， O_i 为断块 L_i 的瞬时转动中心($i = 1, 2, 3, \dots$)。

2, 3, ...)。 θ_i 为块体 L_i 的相对旋转角, α_{oi} 为断层面初始倾角。以 l 和 d 表示断块的宽度和高度。 $y = d/2$ 为“基准面”。

从图 3 所示几何关系可知, 在块体转动 θ 角后, 其顶点(A' , B')的升、降量(h_{ij})、幅角(φ_{ij})及幅值(r_{ij})分别为

$$h_{ij} = 2 \times r_{ij} \times \sin(\theta/2) \times \cos(\varphi_i \pm \theta/2) \quad (\text{抬升为“+”, 沉降为“-”})$$

$$\varphi_{i1} = \arctan[r_{i-1,2} \times \sin(\varphi_{i-1,2} - 4\theta_{i-1}) / (l_i + l_{i-1})/2 \times \cos(4\theta_i) - r_{i-1,2} \times \cos(\varphi_{i-1,2} - 4\theta_{i-1})]$$

$$\varphi_{i2} = \arctan[r_{i,1} \times \sin(\varphi_{i,1}) / (l_i - r_{i,1}) \times \cos(\varphi_{i,1})]$$

$$r_{i1} =$$

$$\sqrt{r_{i-1,2}^2 + [(l_i + l_{i-1})/2 \times \cos(4\theta_i)]^2 - 2r_{i-1} \times (l_i + l_{i-1})/2 \times \cos(4\theta_i) \times \cos(\varphi_{i2} - 2\theta_i)}$$

$$r_{i2} = \sqrt{l_i^2 + r_{i1}^2 - 2 \times l_i \times r_{i1} \times \cos(\theta_{i1})}$$

计算结果表明(表 3), 在山西断陷带北部构造区, 块体旋转产生的相对升降运动幅度平均达 2.29 km。以平均盆地地面为基准面, 断裂上盘断陷幅度平均达 1.20 km, 单断山地抬升幅度平均为 1.08 km。

表 3 断块运动参数一览表

断块名称	测量及其计算结果							模型计算结果				
	断块宽度/km	断层倾角/(°)	断陷深度/km	隆起高度/km	相对垂直位移量/km	掀斜量/(°)	伸展量/km	断陷深度/km	隆起高度/km	相对垂直位移量/km	掀斜量/(°)	伸展量/km
	40	65~75	0	1.1	1.1	2.29	0.6	0.4814	0.6186	1.1000	1.5758	0.3850
系舟山断块	40	65~75	0	1.1	1.1	2.29	0.6	0.4814	0.6186	1.1000	1.5758	0.3850
五台山断块	37	65~70	1.8	1.3	3.1	4.78	1.1	1.8449	1.2551	3.1000	4.8061	1.1183
恒山断块	30	65~74	2	1.2	3.2	6.53	1	1.9234	1.2955	3.2188	6.1232	0.9877
马营—浑源盆地断块	25	65~70	3.5	0.1	3.6	8.59	1.2	1.4367	2.1633	3.6000	8.2794	1.1809
大同—怀仁盆地断块	30	65~70	2.2	0.1	2.3	4.23	0.8	1.1428	1.1572	2.3000	4.397	0.7922
太白维山断块	20	70	0.4	0.8	1.2	3.52	0.4	0.7072	0.4928	1.2000	3.4398	0.4000
灵丘盆地断块	32	65~70	0.25	1.1	1.35	2.46	0.4	0.7651	0.5408	1.3060	2.3283	0.4984
六棱山断块	32	65~72	0.7	1.3	2	3.67	0.7	0.9764	1.0236	2.0000	3.5833	0.7038
阳原盆地断块	30	61~73	1.4	0.8	2.2	4.33	0.9	0.9909	1.2091	2.2000	4.2055	0.7180
阳高—一天镇盆地断块	30	70~80	0.6	0.8	1.4	2.71	0.4	0.762	0.638	1.4000	2.6748	0.4763
矾山—延庆盆地断块	32	65~75	2.3	0.8	3.1	5.73	1	1.6441	1.4559	3.1000	5.5592	0.9731
涿鹿—怀来盆地断块	22	65~75	2	0.8	2.8	8.44	0.9	1.7522	1.0689	2.8211	7.312	0.8883

比较西、中、东 3 个区段相对垂直差异运动幅度: 西区段平均垂直差异运动幅度为 2.66 km, 沉陷运动幅度为 1.37 km, 抬升运动幅度为 1.29 km; 中区段分别为 1.62, 0.84 和 0.78 km; 东区段分别为 2.96, 1.69 和 1.26 km。东、西两区段垂直差异运动较强, 中区段相对较弱, 差值达 40%。事实上, 与整个构造区中其它盆地比较, 中区段南部的太白维山、灵丘两地块沉降端发育的断陷盆地, 不论其规模, 还是断陷幅度都较小。不同区段断块掀斜产生的垂直升降运动量的不同, 反映了构造分区断块运动的差异性特征。

2.3 块体掀斜的水平运动

图 3 中, 断块的水平拉张量(伸展量)可由下式表示:

$$t_{ij} = h_{ij} \times \{\tan[-(\varphi_i \pm \theta/2)] \pm \tan(\alpha_i)\} \quad (\text{抬升为“+”, 沉降为“-”})$$

$$t_i = |t_{i1} - t_{i2}|$$

$$t = \sum t_i$$

计算结果表明, 山西断陷带北部构造区不同断块掀斜运动水平不同, 由此产生水平伸

展量也有所不同, 单个断块平均扩展量为 0.76 km。区内不同构造区段断块掀斜形成的水平拉张量分别为: 西部区段 4.46 km, 中部区段 2.80 km, 东部区段 1.86 km, 平均为 3.04 km。不同区段上地壳的伸展量由西向东逐区段减小, 说明山西断陷带北部构造区水平伸展运动强度有西强东弱的特点, 反映出山西断陷带两侧的鄂尔多斯断块和太行山断块, 在相对右旋运动的同时, 其自身还存在逆时针水平转动的相对运动。

2.4 水平运动与垂直运动的关系

山西断陷带北部构造区断块相对垂直运动是地壳水平运动作用的直观表现形式。基于上述分析计算结果, 图 4 给出相对垂直运动与水平伸展运动的关系。图 4 中横坐标表示水平伸展量(t), 1~3 列分别代表盆地沉陷量(d)、山地抬升量(u) (以盆地面为基准面) 和相对垂直运动总量($h_i = h_{i1} + h_{i2}$)。从图中可以看出, 盆地沉陷量、山地抬升量和相对运动总量, 与水平伸展量之间有较好的相关性。

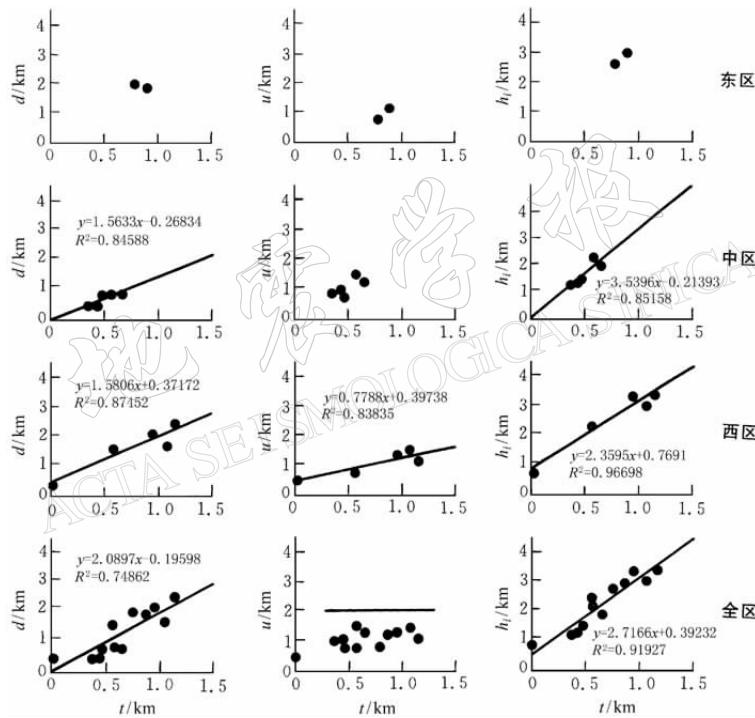


图 4 山西断陷带相对垂直运动与水平伸展运动关系

2.4.1 盆地沉陷与水平运动

盆地沉陷量与水平伸展运动量(t)之间呈正相关关系, 变化率约为 2.1。表明随着水平伸展量增大, 盆地断陷幅度也相应增大。

2.4.2 掀斜抬升与水平运动

总体上看, 断块抬升量与水平伸展量(t)之间相关性特点不十分明显。然而, 区域及各个分区抬升量不超过 2.0 km。反映出构造区断块变形过程中, 由于断块绕水平轴旋转产生的断块相对抬升幅度是有限的, 当达到一定值时便基本稳定在该值附近, 不随伸展量增大而变化。抬升量分布在 0.5~1.5 km 之间, 反映了这一地区断块隆起区相对抬升量上限的平均值。与区域特点不同, 西段区断块相对抬升量与伸展量之间表现出一定的相关性, 其

原因可能与西部构造区西缘断裂存在右旋走滑运动分量有关。

2.4.3 相对差异升降运动与水平运动

统计结果表明,区域垂直差异升降运动总量与水平伸展运动量之间的正相关性特点明显,回归曲线斜率 $K=2.72$,反映出垂直相对升降运动量随水平伸展量增大而增大,且变化较大。不同区段水平与垂直运动关系曲线表现出相似的特征,曲线斜率大小的差别反映了不同区段构造运动的特殊性。在滑脱深度与断块尺度相近情况下,曲线斜率较大,说明在伸展运动中断块掀斜运动较明显。

以上分析结果表明,山西断陷带北部构造区相对垂直运动与水平伸展运动之间呈较好线性关系,反映出两者之间相互因果关系。

对于不同区段,垂直升降量与伸展量的比率没有显著的差别。相对而言,西区段构造运动比较平稳,表现在沉降量、抬升量与伸展量之间均表现出线性相关关系(1.58, 0.77)。中段区有所不同,仅其沉降量表现出1.56的变化比率。这一特点反映出,在区域构造发展过程中,盆地断陷沉降运动占有较大比重,随着伸展量的增大,其沉降量变化较为显著。

3 断块变形特征与地震强度的关系

山西断陷带北部构造区地震活动特点表现为, $M \geq 7$ 地震分布在构造区恒山-太白维山断块以南的南部区断块南侧边界断裂上,或端部断裂带上,且很少有6级地震的记载。例如,512年繁峙7 $\frac{1}{2}$ 级地震,1038年定襄7 $\frac{1}{4}$ 级地震,以及灵丘7级地震分别发生在恒山断块、五台山断块和灵丘断块南侧边界断裂带上,而1683年原平7级地震则发生在五台山断块的西端边界断裂上。北部构造区域内,地震震级一般在6级左右,且大都发生在NNE向断裂带上。例如,蔚广盆地公元前231年和1618年两次6 $\frac{1}{4}$ 级地震,延怀盆地1337年6 $\frac{1}{2}$ 级和1720年6 $\frac{3}{4}$ 级地震,大同盆地1305年6 $\frac{1}{4}$ 级和1989年6.1级地震,1022年应县6 $\frac{1}{4}$ 级地震,以及1673年天镇6 $\frac{1}{4}$ 级地震等。

一个地区强震活动水平是由断块尺度和断块运动的动力学性质等因素决定的($M_0 = \mu VA$)。山西断陷带北部构造区南、北两区地震活动水平的差别,则反映地区断块运动的动力学特点的不同。实际上,由于恒山-太白维山断块岩桥构造的特殊性,成为区域地壳运动的相对不动点,以此为参照,山西断陷带北部构造区南、北两地区断块伸展运动方向是不同的。北部区断块向NW方向伸展,断裂上盘为主动运动块体,断块水平运动方向与断裂面倾向相同,其伸展运动是张性地堑式扩展,地块运动时在断裂上产生的正应力相对小些,不易积累较大的应变能。在南部区断裂下盘为主动运动块体,断块水平运动方向与断裂倾向相反,断块旋转运动产生的旋转扭矩增大了作用在边界断裂上的法向应力,因此也提高了断裂错动的临界剪切强度($\tau = \tau_0 + \mu \sigma$),有利于应变能的积累。

参 考 文 献

- 程绍平,杨桂枝. 1996. 大同-阳原盆地南缘断裂带的晚第四纪分段和构造地貌变异[J]. 地震地质, 18(4): 289~299
 邓起东,王克鲁,汪一鹏,等. 1973. 山西隆起区断陷地震带地震地质条件及地震发展趋势概述[J]. 地质科学, (1): 37~47
 邓起东,尤惠川. 1985. 鄂尔多斯周缘断陷带的构造活动特征及其形成机制[A]. 现代地壳运动研究, 1[M]. 北京: 地震出版社, 58~87
 邓起东,米仓伸之,徐锡伟,等. 1994. 山西高原六棱山北麓断裂晚第四纪运动学特征初步研究[J]. 地震地质, 16(4): 339~342

- 段瑞涛, 方仲景. 1995. 六棱山北麓断裂新活动特征[J]. 地震地质, 17(3): 207~213
- 窦素芹, 于慎谔, 刘光勋, 等. 1995. 系舟山山前活动断裂的几何结构及其活动性[A]. 活动断裂研究(4)[M]. 北京: 地震出版社, 104~115
- 方仲景, 程绍平, 冉永康, 等. 1993. 延怀盆地构造及其晚第四纪断裂活动的某些特征[J]. 地球物理学进展, 8(4): 265~266
- 国家地震局“鄂尔多斯周缘断裂系”课题组. 1988. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 70~107
- 卢演伟, 丁国喻, 等. 1985. 地块相对运动与鄂尔多斯地块周缘、第四纪断陷盆地[J]. 中国第四纪研究, (2): 124~131
- 刘巍, 孟雁英, 王赵丽. 1995. 大同盆地现今构造活动及地壳应力场特征[J]. 山西地震, (1): 7~13
- 刘光勋, 于慎谔, 张世民, 等. 1991. 山西五台山北麓活动断裂带[A]. 活动断裂研究, 1[C]. 北京: 地震出版社, 118~130
- 冉永康, 方仲景, 李志义, 等. 1991. 怀来-涿鹿盆地周缘的活动断裂及其基本特征[A]. 活动断裂研究, 1[C]. 北京: 地震出版社, 140~155
- 徐锡伟. 1986. 山西系舟山西麓断裂右旋错动证据的发现和全新世的滑动速率[J]. 地震地质, 8(3): 44~46
- 徐锡伟. 1990. 剪切带尾端张性区构造扩展的模拟实验及其地震危险性分析[J]. 华北地震科学, 8(3): 40~46
- 徐锡伟, 米仓伸之, 铃木康弘, 等. 1996. 山西六棱山北麓晚第四纪不规则断裂作用的地貌学研究[J]. 地震地质, 18(2): 169~181
- 申旭辉, 汪一鹏. 1995. 1926年灵丘地震烈度分布特征与阻震构造初步研究[J]. 华北地震科学, 13(1): 9~16
- 徐锡伟. 2002. 首都圈地区地壳最新构造变动与地震[M]. 北京: 科学出版社, 43~104
- 张之立, 方兴, 阎红, 等. 1987. 山西地堑系形成的力学模式及山西地震带的特点[J]. 地震学报, 9(1): 28~36
- Bosworth W. 1985. Discussion on the structural evolution of extensional basin margins[J]. *J Geol Soc Lond*, 142~148
- Zhang Yue, Qiao, Jacques Louis Mercier, Pierre Vergely. 1998. Extension in the graben systems around the Ordos (China), and its contribution to the extrusion tectonics of south China with respect to Gobi-Mongolia[J]. *Tectonophysics*, 285: 41~75

A STUDY ON CHARACTERISTICS OF TECTONIC BLOCK MOTION AND TECTONIC SETTING OF STRONG EARTHQUAKES IN NORTHERN PART OF THE SHANXI FAULT DEPRESSION ZONE

Yu Shene

(Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

Abstract: This paper makes a systematical study on characteristics of structure and motion of the tectonic blocks in northern part of the Shanxi fault depression zone by means of geometrical and kinematical analysis of the blocks. The kinetic behavior of the blocks is discussed by comparing associated geomorphic features of fault movement. All analyses and studies are based on a Domino model. The block movement, fault basin extension and their regional distribution are systematically investigated. ① The study region is divided into subregions by NW striking faults: the western, middle and eastern subregion with crustal extension being 4.46 km, 2.80 km and 1.86 km, respectively. The extensional amount of each block in the region is estimated being generally about 1 km. The calculated result using the block motion model approximately fits the data of geologic survey. ② Block kinematical features are obviously different between the northern and southern part, with the Hengshan block in between, of the study region. Moreover, the magnitude of the largest historical earthquake in the northern part is about 6, while that in the southern is 7. The faulted blocks in the northern subregion show northwestward extension, indicating a feature of extensional graben, while the blocks in the southern part manifest tilt motion, extending southeastward, in the opposite sense of fault dipping. Additional tectonic stress generated by block rotation may be one of major factors affecting seismogenic process in the region. It is responsible for the difference in the movement of the block boundary faults and seismic activities between the two subregions.

Key words: Shanxi fault depression zone; block motion; geometrical analysis