

华北地区现代地壳运动 特征的初步探讨

马廷 著 黄佩玉

摘要

本文主要根据大地测量、短水准、基线测量、地震断裂和震源机制等资料的分析,认为华北现代地壳运动具有很强的继承性和明显的新生作用。地震破裂和老断裂新活动,以北北东向为主,北西西和近东西向次之。地震的成带性和断裂活动的差异性,在空间上展示了清楚的地壳运动不均匀性的特点。为了突出地震的研究,把地壳运动初步划分为构造运动和地震运动两种形式,其中地震运动又可分成地震前的快速运动、震时突然滑动和震后迅速调整三个阶段。断裂的形成和发展特别是地表断裂,可能以长期缓慢的蠕滑为主要形式、不时迭加以地壳深部地震运动的影响,两者在时间发展上频繁交替贯穿整个地壳运动的过程。

一、引言

“现代地壳运动,是地球动力学研究的基本内容之一,它以研究现代地壳运动的规律和力学过程为主要任务,对进一步认识地震发生的规律和实现地震预报,以及国民经济建设都有一定的现实意义。”

基于地震是地壳运动表现形式的观点,强调地壳上一些物理量特别是地形变、断层位移和地应力等变化,是地壳运动的综合记录。因此,随着资料的不断积累,研究现代地壳运动的形式、阶段性和时、空特征,是十分必要的。

地壳大面积升降运动

华北地区从1953年以来,陆续进行了多期水准测量,京、津、唐地区于1966年以后,基本上每年复测一次。从以北京为原点的1953—1971年垂直形变图(图1)分析,地壳的垂直形变有如下特点:

1. 继承性:大面积垂直形变基本上继承了现代地貌的轮廓,山区上升,平原、盆地下降。

2. 地壳升降的成带性:

山西地塍系下降带:延怀、大同地区下降最大约30毫米以上,临汾运城地区是华北最大的下降区,最大达100毫米以上,平均年沉降速度5.2毫米。

太行山上升带:包括北京西山和太行山区,总的为一上升带,最大上升量约30—40毫米,平均年上升速度2毫米左右。

河北平原下降带:包括河北平原和冀鲁豫三省交界,下降幅度一般仅10—20毫米,城市附近的下降主要受地下水下降漏斗的影响。

辽、鲁上升带:包括山东地区、辽东、辽西和唐山、滦县地区,一般上升30—40毫米,最大的是辽东半岛,庄河一带1937—1970年达120毫米,1958年以前,年速率3毫米左右,至1970年达5毫米。

3. 拗陷的反向上升运动:最突出的为

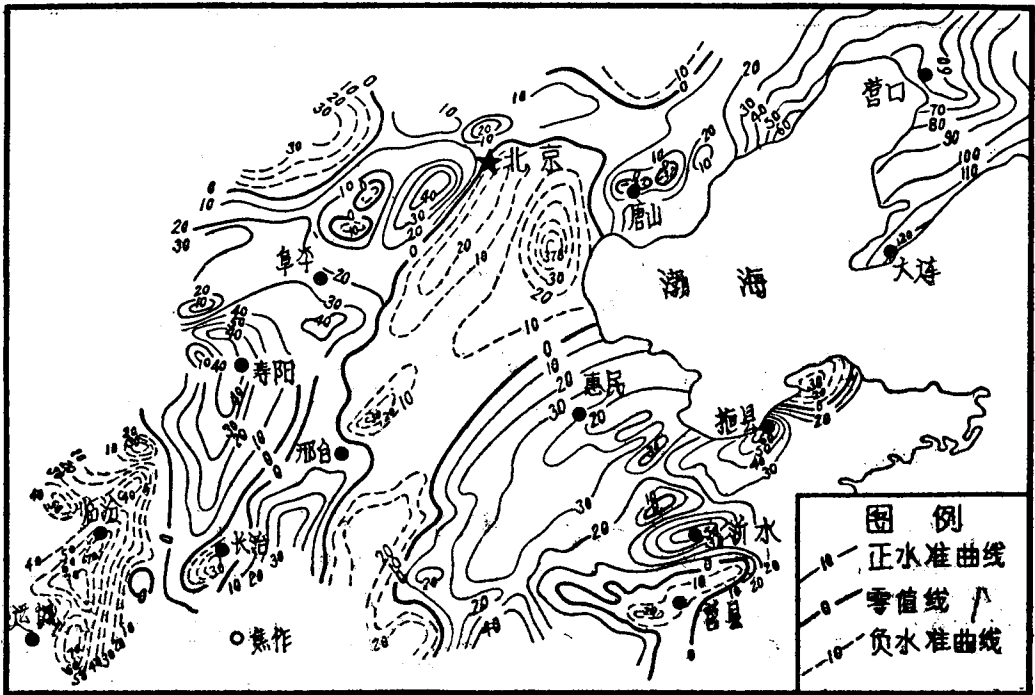


图 1 华北地区 1953—1971 年地形变图

下辽河拗陷，这一地貌为平原的新生代负向构造单元，1957 年以来与辽东半岛一起上升，一般幅度 60 毫米左右，平均年上升速度 4.3 毫米，沟邦子——营口的 1957—1973 年垂直形变剖面也表明了拗陷中部有明显的上升，盘山至田家一带达 40 毫米左右。又如山东的惠民凹陷上升最大幅度为 37 毫米，年平均上升速度 2.6 毫米。

4. 大面积垂直形变的振荡性质：京、津、唐地区多年的水准测量表明，在空间上，大致沿北京—天津、 116° — 117° 南北一带和柏各庄—涿县一线，零值线多次重复出现，其两侧表现了多次的升降交替变化，如北京—天津以及唐山以北地区，1966—1967 年上升，1967—1968 年下降，1968—1969 年又上升，1969—1970 年又下降，1970—1971 年继续下降，1971—1972 年再次上升。沿柏各庄—涿县东西一线，1968—1969 年以北上升，以南下降，1971—1972 年重复出现，1968—1975 年的长期变化也具有同样的特点。地壳的这种在时、空上的升降起伏和交

替变化的特点，除在一定程度上受断裂活动的控制外，也表明了平原区的垂直运动具有振荡的性质。

5. 地壳的局部隆起：极震区大幅度的垂直升降变化，主要是发震断裂运动在地表引起的垂直形变效应。但也还有一些较为统一的隆起现象。如 1970 年 5 月 25 日丰南地震，虽只有 4.2 级，但震中区约 50 公里范围内形成了一个幅度约 40 毫米的上升区^[1]。又如 1975 年 2 月 4 日海城地震，发生在辽东半岛上升区的熊岳至海城和大孤山至海城形变梯度带的交汇处（图 1）。这一现象，其它地区也有发现（如 1969 年 7 月 26 日广东阳江地震），其可能与地震的孕育有关。

三、现代断裂运动

一、主要活动断裂带

根据强震的空间分布、大地水准、短水准和基线测量以及新构造运动的分析，华北地区主要活动断裂可分成三个带（图 2）：

（一）、山西（地塹系）活动断裂带：从

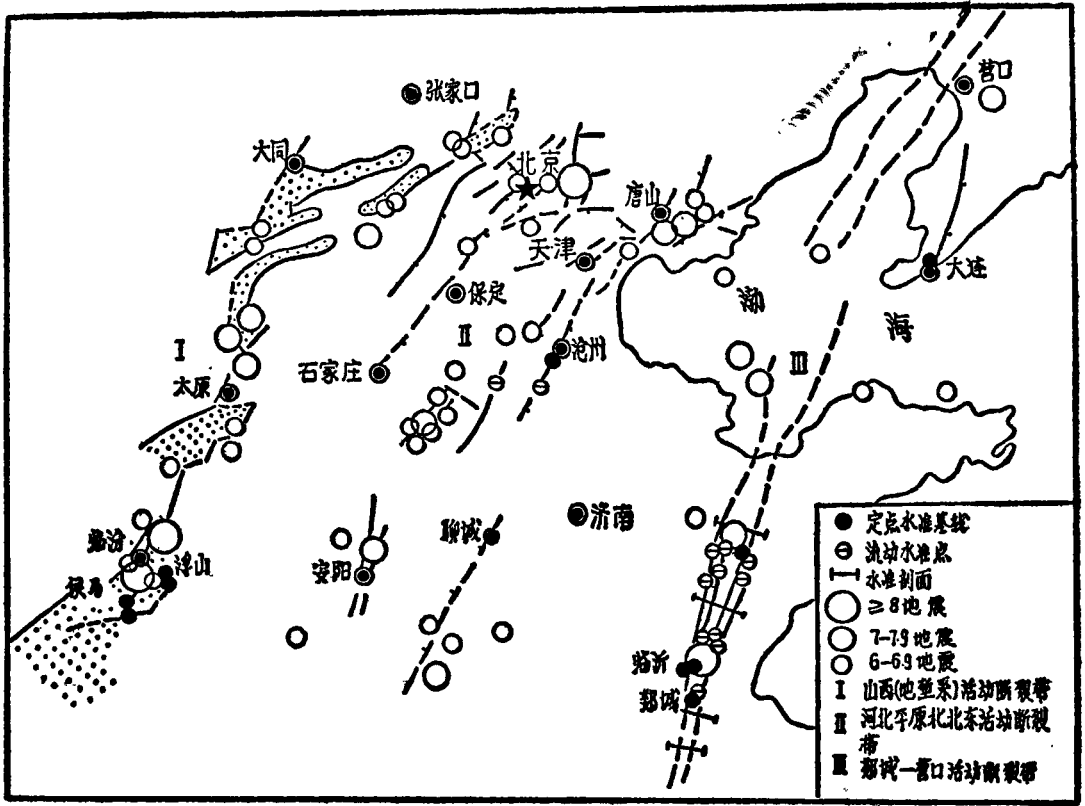


图 2 华北地区现代主要活动断裂及强震震中分布图

西南至东北由运城、临汾、太原、忻定、大同、蔚县、广灵、延怀一系列断陷盆地组成，盆地边缘主要发育了北北东和雁行排列的北东向两组活动性断裂，前者以扭性为主，兼具张性，后者以张性为主。控制了上第三系和第四系的沉积。强震活动频繁，公元 1000 年以来 6 级以上地震共 22 次，几乎都落在地壑系内。这一事实和前述地壑系为一垂直形变下降带，以及浮山、候马断层位移测量（表 1）等，共同说明了地壑系为现代地壳运动的较强活动带。

(二)、河北平原北北东向活动断裂带：主要展布在太行山以东，聊城—兰考和沧东断裂以西，以北北东向为主，次为东西和北西向。这些断裂主要形成于中生代末至新生代，不仅对新生代的隆起和拗陷的形成起着重要的控制作用，而且对地震的发生也具有明显的控制作用。公元 777 年以来共发生了

6 级以上地震 24 次，形成了一条显著的强震带。通过几十个点测量资料的分析，也表明了许多断裂都具有明显的活动性（图 3、4），概括起来有如下特点：

1. 在所分析的 45 个点中，垂直活动平均年速率 5—10 毫米的有 9 个，分布在沧东、大城、宝坻、太行山东麓等断裂上，为本区活动速率最大的断裂，唐山地震前尤为显著。平均年速率 1—5 毫米的 14 个点，主要分布在上述断裂和滦县桃园、夏垫、河西务、南苑、妙峰山、沿河城等断裂上。其余各点年速率均 < 1 毫米。

2. 水平活动量以夏垫、燕台台最大，1970 至 1977 年平均年速率 1—1.3 毫米，程各庄、安营堡、李官营为 0.5—1 毫米，其余均小于 0.5 毫米。从基岩区各点资料分析水平活动量一般大于垂直活动量（表 1）。

3. 许多点在地震前后活动性质相反。

北东向的断裂较为明显，震前上盘上升，震后下降。在同一时间段跨同一条断裂的相邻两点，活动性质相反，其可能由于断裂发生

了枢纽活动或水平位错所引起的垂直形变效应。

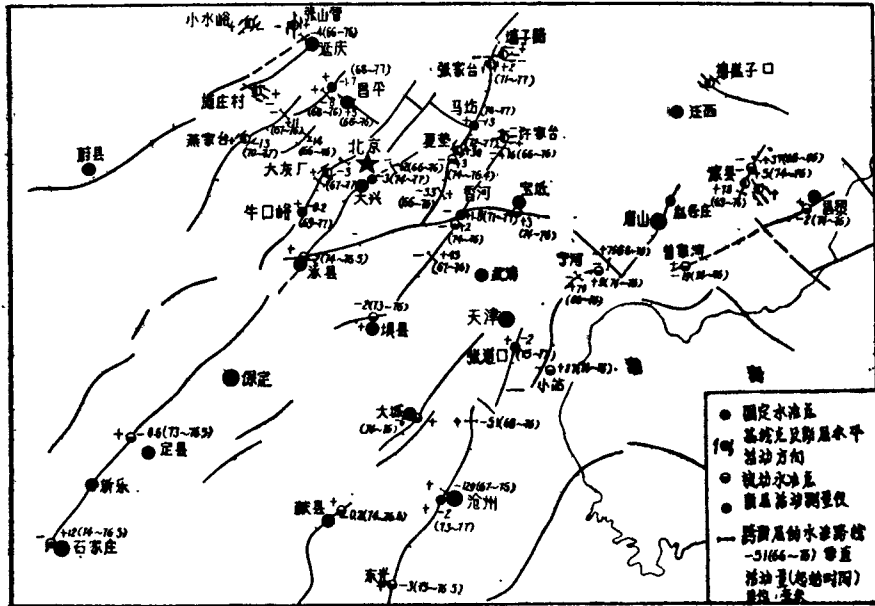
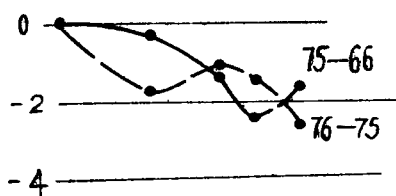


图3 京津唐地区测量点位分布与断裂活动特征略图

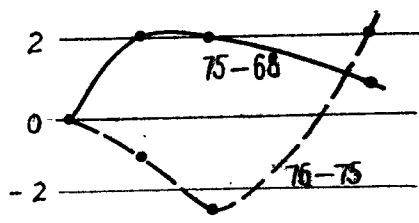
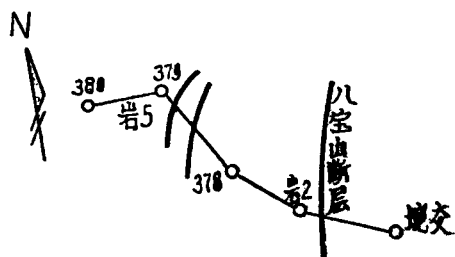
表 1

京津唐地区断裂水平、垂直运动统计表

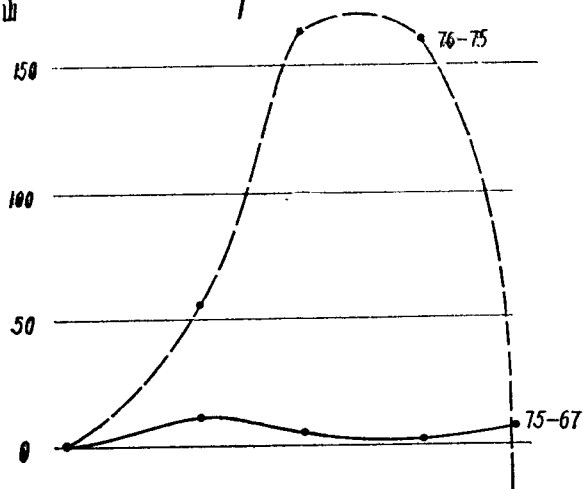
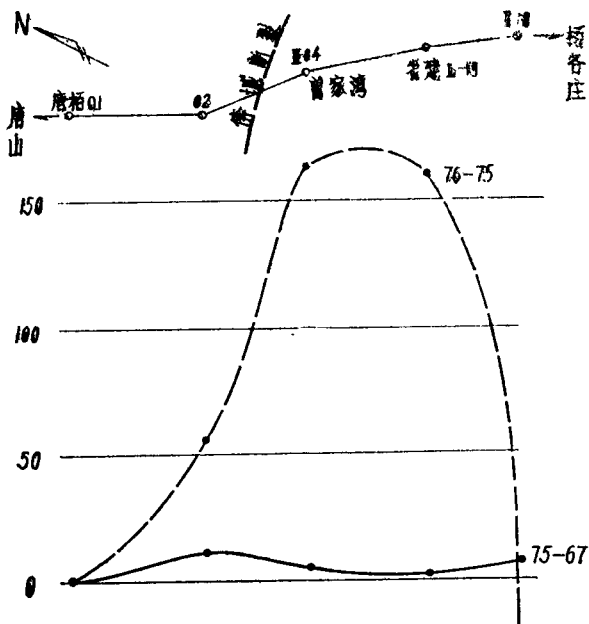
断裂名称及产状	测点	时间 (年)	水平 垂直 累计量 (毫米)	平均年速率 (毫米)	性质
程各庄 $N5^{\circ}E/N \angle 60^{\circ}$	张家台	1971—1977	-4.6 -1.8	0.7 -0.3	张反扭
大西山 $N10^{\circ}E/SE \angle 60^{\circ}$	张山营	1971—1977	+0.6	0.1	压反扭
八宝山 $N45^{\circ}E/E \angle 50^{\circ}$	大灰厂	1967—1977	+3.0 -3.7	0.3 -0.4	张顺扭
夏垫 $N45^{\circ}E/SE \angle 50^{\circ}$	夏垫	1972—1977	-5.5 +26.4	1.0 +4.8	压顺扭
沿河城 $N55^{\circ}E/SE \angle 57^{\circ}$	燕家台	1970—1977	-8.1 -1.1	1.0 -0.1	张反扭
安营堡 $N60^{\circ}E/E \angle 50^{\circ}$	小水峪	1974—1977	+1.8 -0.2	0.5 -0.05	张反扭
许家台 $N75^{\circ}E/E \angle 55^{\circ}$	许家台	1971—1976	+0.6 +0.4	0.1 +0.07	压反扭
墙子路 $N80^{\circ}E/NW \angle 55^{\circ}$	墙子路	1971—1977	-0.15 +0.3	0.02 +0.04	压反扭
李官营 $N10^{\circ}W/NE \angle 75^{\circ}$	李官营	1939—1977	+3.6 -5.5	0.45 -0.7	张顺扭
擦崖子口 $N64^{\circ}W/S \angle 77^{\circ}$	擦崖子口	1970—1976	+1.2 -0.15	0.2 -0.02	顺扭
施庄村 $N50^{\circ}W/NE \angle 70^{\circ}$	施庄村	1969—1977	-0.8 -0.4	0.1 -0.05	张反扭
$N60^{\circ}W/NE \angle 20^{\circ}$	白庄子	1970—1976	+0.7 +0.4	0.1 +0.06	压顺扭
霍山山前 $N15^{\circ}E/N \angle 72^{\circ}$	山西浮山	1972—1976	-0.55 +1.2	0.1 +0.2	压反扭
峨嵋台地北麓 $N80^{\circ}E/NW \angle 63^{\circ}$	山西侯马	1972—1976	-1.65 -0.25	0.3 -0.04	顺扭



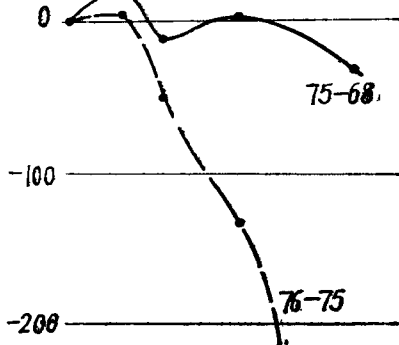
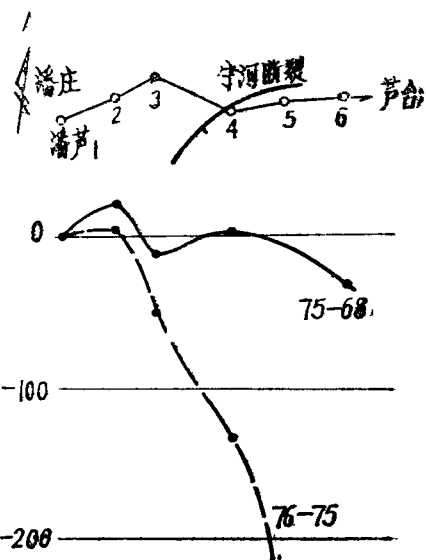
① 八宝山断裂



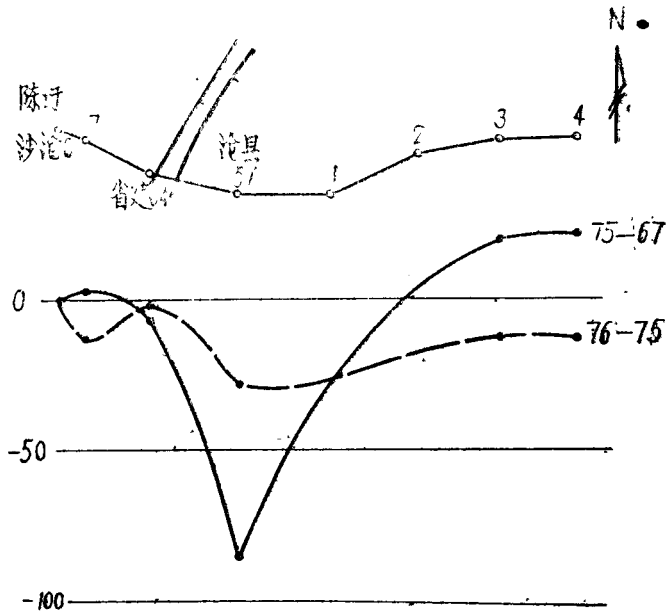
● 八宝山断裂



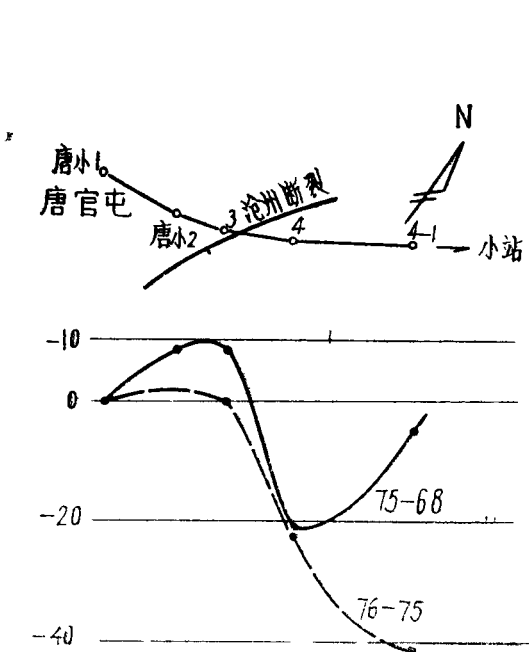
③ 俸城断裂



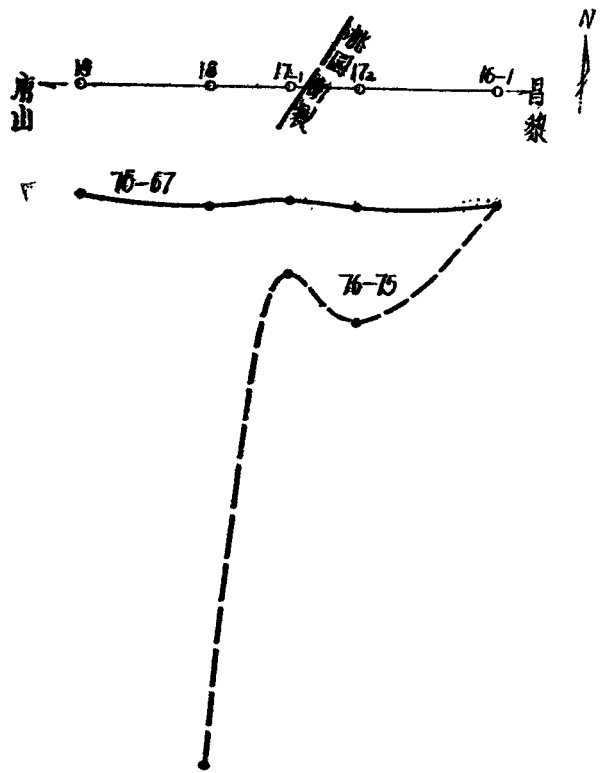
④ 宁河断裂



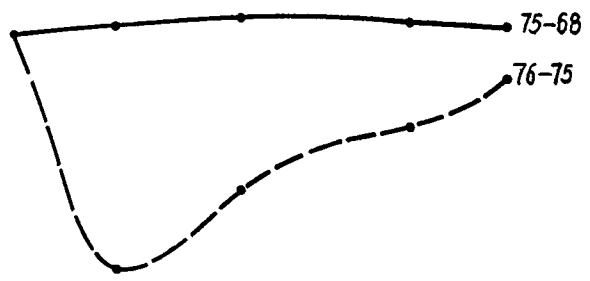
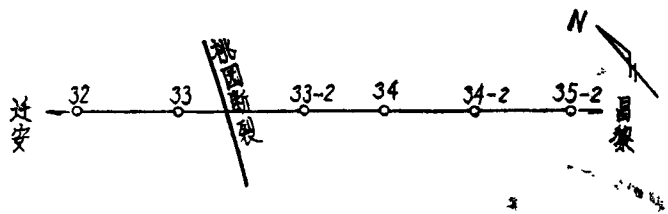
⑥ 沧州断裂



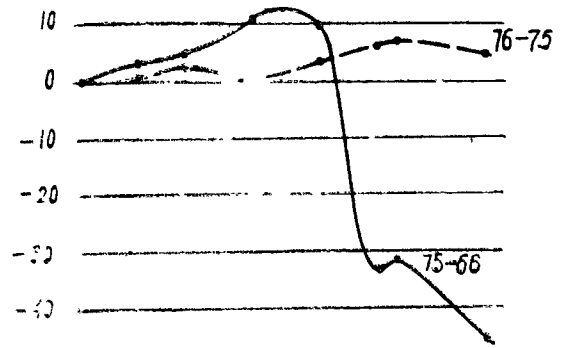
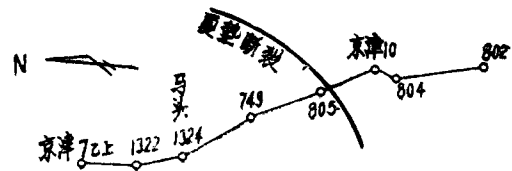
⑤ 沧州断裂



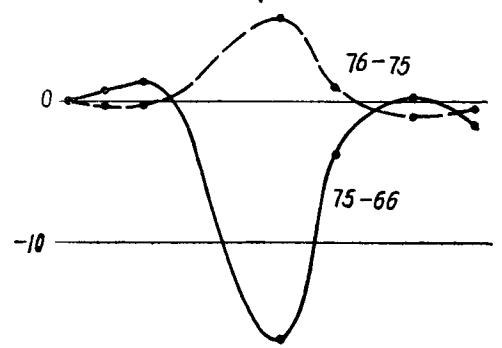
⑦ 桃园断裂



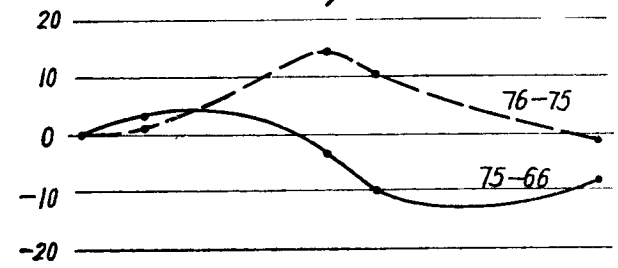
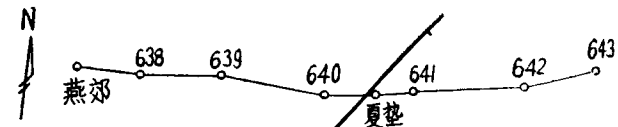
⑨ 桃园断裂



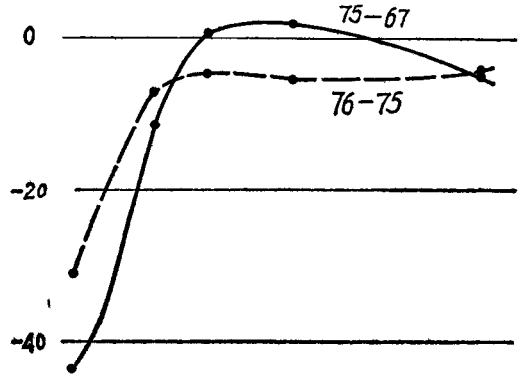
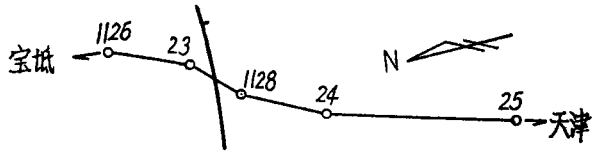
⑩ 夏埝断裂



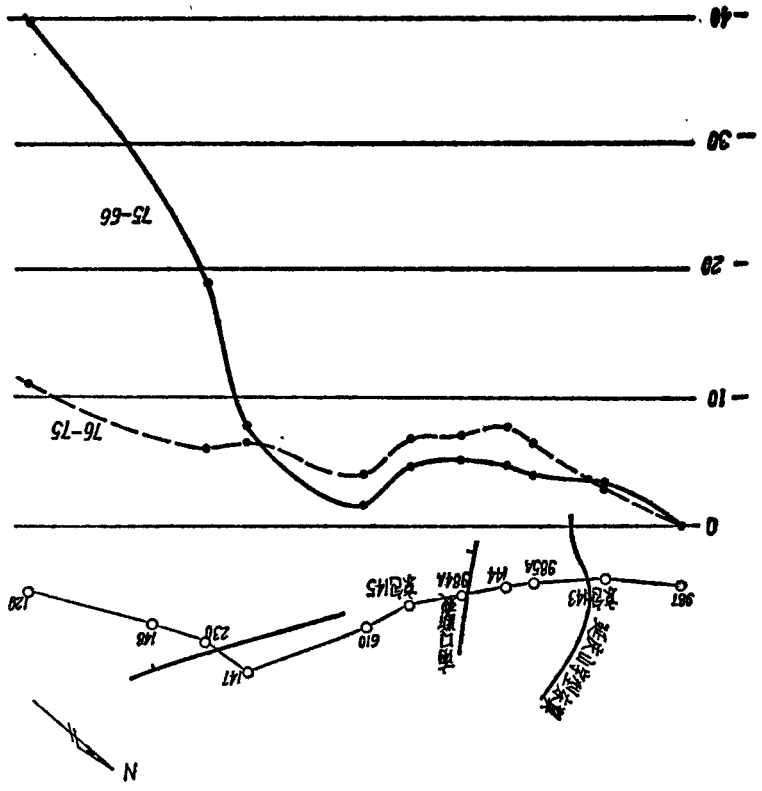
⑪ 妙峰山断裂



⑫ 夏埝断裂



⑫ 宝坻断裂



⑬ 孙河断裂

图 4

(三)、营口——郯城活动断裂带：由下辽河至渤海一系列北北东向断裂和山东境内的沂沭断裂带组成，主要形成于中生代，第三纪以来直至晚更新世末活动仍很强烈。断裂带及其附近历史强震也较活跃，公元前70年以来，有记载的6级以上强震有9次，山东境内短水准测量表明，断裂垂直活动量不大，仅沂水—汤头断裂上的马站和崔家庄测点超过两倍中误差（马站1972—1976.6累计变量-3.3毫米，唐山地震后至1978.6累计变化4.3毫米。崔家庄1972—1976.6累计量+1.2毫米，唐山地震后至1978.7累计变化2.1毫米。）

二、断裂运动特征

根据跨断裂的短水准和基线测量曲线的特点，特别是运动速度和作用方式的变化，可以把断裂运动分成长期缓慢速率稳定的运动（称构造运动）和短期迅速的运动（称地震运动）两种形式。地震运动又可分成地震前的快速运动、地震时的突然滑动和地震后的迅速调整三个阶段^[2]。现从发震断裂和活动性断裂两方面分析如下：

(一)、发震断裂运动特征

1. 地震前的运动：1966.3.8邢台地震前束鹿断裂西侧的水准点（1920—1966）454、455相对上升了160—180毫米，东侧499点下降了230毫米。唐山地震前，1968—1975年垂直形变在宁河和沧州两地分别出现了正负

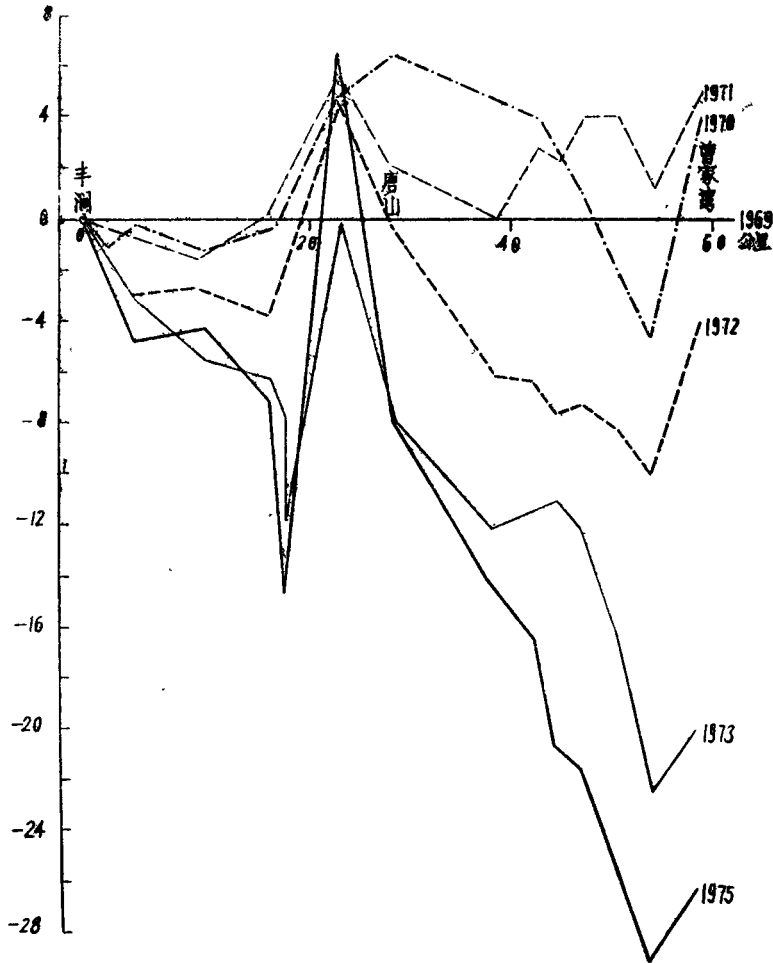


图5 丰润——唐山——曾家湾震前垂直形变水准路线图（据地震测量队）

相伴生的地壳升降的规则图形,这一现象,赵国光同志^[3]研究认为是由于沧东断裂在唐山地震前(1972—1975)发生了水平顺时针扭动,在断层蠕动段端点引起的地表垂直形变效应。此外,丰润—唐山—曾家湾震前垂直形变水准路线图(图5),也说明了唐山断裂有明显的活动,南盘下降,北盘上升,依据老断裂判断具压性。以上说明了发震断裂在地震前地表存在着垂直和水平运动,由此可能导致了深部(震源)应力的不断积累,所谓断层的闭锁很可能是在地下一定深度发生的。

2. 地震时的突然滑动运动:发生在地壳内的浅源地震,绝大多数是以岩石破裂或沿已有断裂作迅速的运动而发生的,结合震源机制、断层参数有如下主要特点:

(1) 地震断裂、裂缝带的方向以北东—北北东为主,基本上沿袭了已有北北东断裂方向,如邢台、唐山等。从大多数地震的等烈度线长轴和主要余震分布方向明显受着北北东断裂控制判断,华北震源机制北北东节面应为主要的发展断裂方向。

(2) 断裂的性质:断层面倾角一般 70° — 80° 或近于直立,沿断裂两侧主要表现了水平运动,多为高角度走向滑动断层,或兼压和张性,北北东向为顺时针扭动,北西向为反时针扭动。地表最大水平断距,海城(7.3级)为55厘米,唐山(7.8级)为156厘米,

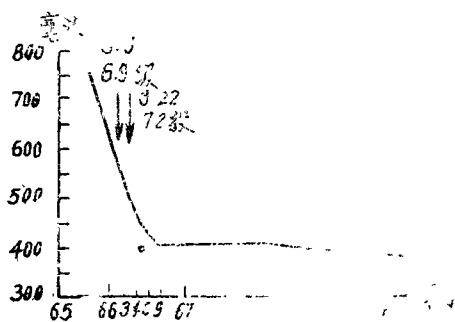


图6 艾曲6水准点邢台7.2级地震后调整曲线(据地震测量队)

垂直断距一般比水平断距小2—3倍,仅十一几十厘米,邢台地震前后1958和1966年两期三角测量,表明了断裂东南盘相对向南顺扭达70厘米,近于垂直运动的两倍。尽管宏观、微观和三角测量有某些不同,但基本是一致的,至少断层两盘水平运动方向是相同的。

(3) 断层长度:由主震参数求得的断层与地表裂缝带或主要余震分布长度大体相当。而地表可见断裂仅几—十几公里,断裂和断缝带在地表均以一系列的雁行排列的张裂缝或张扭裂缝为特征。

(4) 断层的破裂:有单侧破裂(如海城地震由东南而西北)和双侧破裂(如邢台和唐山等,而一般又以向东北破裂较长),从全区来看,1966年邢台地震以来,由西南向东北,沿河北平原和营口—辽城断裂带,交替形成了两条斜列的地震破裂带。

3. 地震后的迅速调整运动:一般来说,断裂在震时大幅度、突然滑动之后,运动随即很快减慢,常常按指数形式衰减。图6为邢台地震极震区震后垂直形变调整曲线,图7为唐山地震断层震前蠕动、震时滑动和震后调整的较完整的过程。一些资料表明,与震时同方向较大幅度的垂直调整,一般持续3个月左右,缓慢的调整可能延续半年至一年左右。此外,唐山地震后,赵各庄矿井下北 45° 东左右的V号断裂,1977年2—10月断层水平活动量为4098.9微米,其中2—7月月平均蠕动较快为750微米,8—10月则明显减慢,月平均速度为300微米左右。总之,地震后该断裂两盘至少以每年5毫米左右的速度作顺时针水平运动。

(二)、断裂运动的时空特征

华北断裂运动在时间上具有继承性和阶段性,在空间上具有不均匀性的特点,兹分述如下:

1. 继承性

除上述邢台、唐山等发震断裂具有沿袭

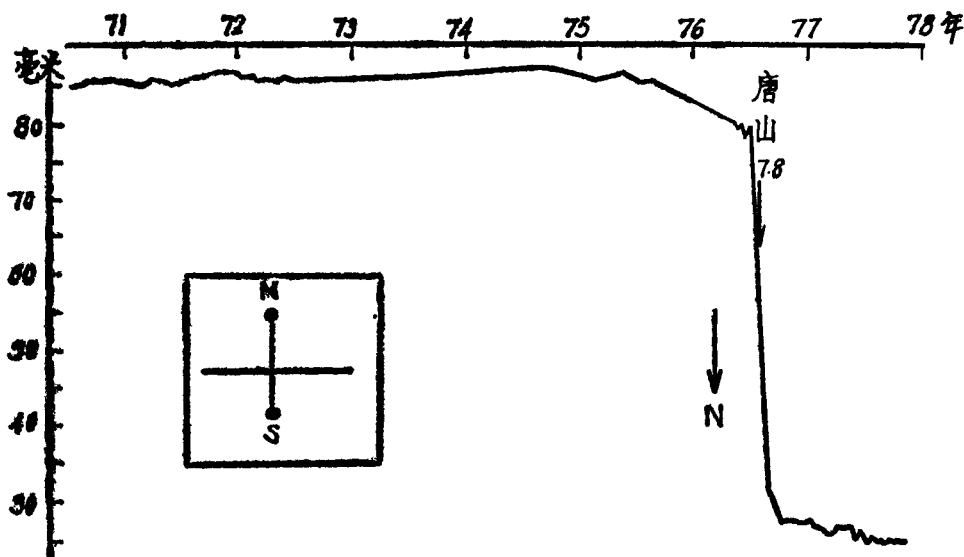


图7 宁河芦台水准点唐山7.8级地震震前、震时、震后曲线（据地震测量队）

北北东断裂方向明显的继承性特点外，山区与平原和隆起与拗陷间的断裂，如南口山前断裂、南苑断裂、太行山山前断裂等的升降，也都显示了一定的继承性。水平运动，如沿河城和安营堡断裂，1970年以来也显示了与地质时期相同的反时针运动。

2. 阶段性

断裂运动在时间的发展上，基本上由构造运动和地震运动两种形式组成。图8为唐山地震断裂运动的代表性曲线，资料表明（表2），地震运动的震前快速运动与其前的构造运动，无论在运动速率上，还是在作用方式上都有明显的不同。在运动速率上，断裂两盘的相对升降，构造运动阶段比较稳定，平均年速度0.07—0.7毫米，地震前的快速运动则以较迅速的大幅度变化为特征，年平均速度0.5—3.7毫米，约比构造运动大几倍至一个数量级以上。水平运动也显示了同样的特点，在构造运动阶段年变化量0.1—0.5毫米，许多断裂观测点表现得相当稳定。而地震前的快速运动最大年速率达1.5—1.9毫米，也比构造运动阶段高几倍至一个数量级（详见表2）。在作用方式上，许多断裂震前快速运动与其前的构造运

动相反，即一般所称之反向加速（详见表2）。表现在垂直运动上也有类似特点，如河西务断裂香河测点，构造运动阶段1974—1975.6上盘下降，但地震前则反向加速，上盘上升。这一加速变化现象，在空间上尚未发现明显规律，仅在唐山地震前沿沧东断裂带附近如山津34、芦台、小站、大城、沧州等水准测量显示了同向加速的特点。从京、津、唐地区断层运动的统计分析，反向加速即断层的反向水平运动，在空间上是不均匀的、有一定范围的。显然并非构造运动的最大水平挤压力发生了90度的变化引起的反向运动，而很可能与地震的蕴育有关。

3. 不均匀性

前述的华北三条强地震带，与其间活动性较小的太行山隆起和渤海、黄骅、济阳拗陷以及鲁西隆起，构成了华北现代地壳运动北北东向强弱相间不均匀性的基本轮廓。无论是构造运动阶段还是地震运动在空间上都显示了不均匀性的特点（表2）。

由地震运动引起的断裂运动的不均匀性，以地震前的快速运动阶段为最明显，如唐山地震断裂的垂直活动量，有越远离震中越小的迹象，距震中较近的唐山断裂、沧东

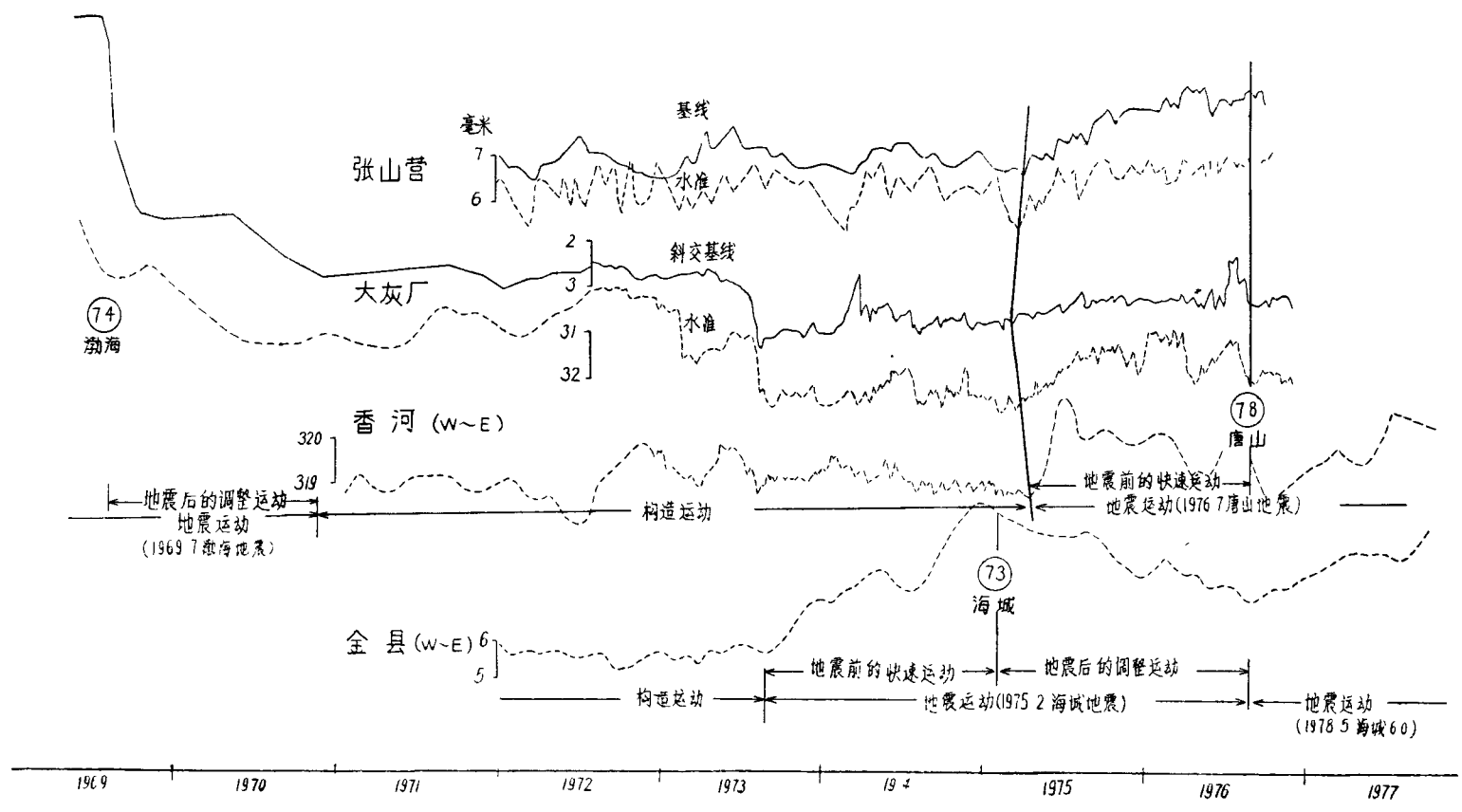


图 8 断裂运动阶段划分图

表 2

断裂运动阶段划分表

断裂名称	测点	构造运动			地震运动					
		时间 (年、月)	年速率 (mm)	性质	地震前的快速运动			地震后的迅速调整		
					时间	年速率 (mm)	性质	时间	年速率 (mm)	性质
程各庄	张家台	1971.6 —75.5	-0.7 -0.3	张反扭	75.9—76.5	+1.89 -0.12	顺扭	76.6—78	-0.7 -0.6	张反扭
大西山	张山营	71.8—75.8	-0.11	顺扭	75.9—76.6	+1.5 +0.7	压反扭	76.7—78.8	+0.2 +0.2	压反扭
八宝山	大灰厂	67.9—73.9	+1.17 -0.4	张顺扭	73.9—76.7	-0.4 +0.5	压反扭	76.7—77.7	-0.85 -1.4	张反扭
夏垫	夏垫	72.7—75.7	-0.4 +1.5	压顺扭	75.7—76.7	-0.9	顺扭	76.7—77.7	-1.2	顺扭
墙子路	墙子路	71.8—75	-0.12 +0.05	张反扭	75.9—76.9	+0.1 +0.2	压顺扭	76.8—77.8	-0.2 +0.3	压反扭
施庄村	施庄村	71.5—75.9	-0.17 -0.07	张反扭	75.9—76.7	+0.1 +0.6	压顺扭	76.8—77.8	+0.06 +0.02	顺扭
河西务	香河 EW	71.5—75.5	+0.06		75.6—76.6	1—1.8	压性	76.8—77.8	+2.1	压性
沧东	*SN 沧县 EW	73.6—75.6	+0.45 -0.6	张性	75.7—76.7	+3.7 -0.2	张性	76.8—77.8	+2.1 -0.4	
金州	金县EW	72—73.8	+0.06		73.9—74.12	+3.0		75.2—76.8	-1.7	

* 为短水准，其它为基线和水准。年速率为断层面上盘对下盘的变化量，上排数为斜交基线，下排数为水准。

“+”表示基线伸长，上盘上升；“-”表示基线缩短，上盘下降。

断裂和宝坻断裂等，平均月变化量 0.5—1.5 毫米，距震中较远的南苑断裂、八宝山断裂、大西山断裂和施庄村等活动量较小，平均月变化量 0.1—0.3 毫米。这一地震前的快速运动，海城和唐山地震大致都是在距震中 300 公里范围内不均匀出现的，海城地震除距震中约 200 公里的金县站记录到这一现象外，更远的安丘和京津地区大量台站则无明显变化，相反唐山地震前京津地区的芦台、

香河、张山营、范庄子、墙子路、施庄村等都清楚地记录到这一快速运动。

地震时的突然滑动，在距离唐山地震震中以东 25—80 公里的测点，地震前后水准和基线测量数据都有明显变化。表 3 中的四条断裂，地震时都出现了水平或垂直的滑动，而且都显示了与震前的快速运动相反的张性和水平运动，这一现象无疑是发震断裂东南盘相当大的范围顺时针扭动的结果。

表 3

唐山地震时断层突然滑动统计表

断裂名称及产状	测点	震前 震后	观测时间	垂直或水平变量 (毫米)	总观测时间及年速率 (毫米)	震时性质
李官营 N10°W/SW∠75°	李官营	1973.11 1976.7		-4.3	69.9—73.11 0.8	张性
擦崖子口 N54°W/SW∠77°	擦崖子口	1973.11 1976.8		+1.7 (水平)	70.6—73.11 <0.1	顺扭
昌黎—宁河(倭城) N65°E/SE	曾家湾	1976.5.25 1976.8.2		-19.3—-32.5	74.9—76.5 0.2	张性
滦县桃园 N25°E/EW	滦县	1976.6.14 1976.7.31		-3.3—-5.1	74.9—76.5 最大 1.7	张性

“+”表示基线伸长，上盘上升；“-”表示基线缩短，上盘下降。

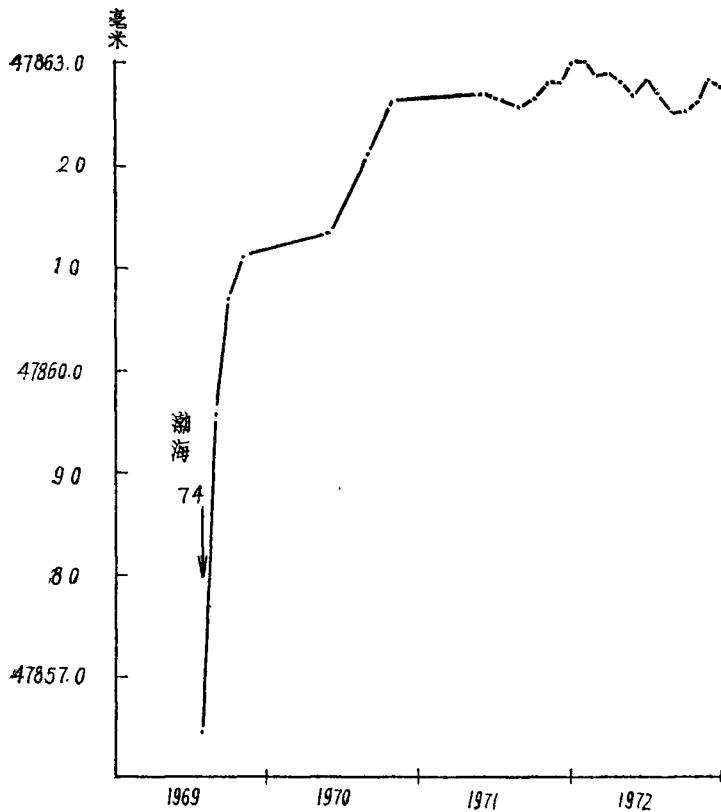


图 9 1969年渤海7.4级地震八宝山断裂大灰厂点水平(斜交基线)调整曲线

在空间上地震后的迅速调整, 仅1969年渤海7.4级地震在距震中约330公里的大灰厂记录到八宝山断裂的水平 and 垂直调整变化, 其与邢台、唐山地震极震区垂直方向的调整基本近似, 断裂两盘作顺时针扭动, 位移量随时间也呈指数形式衰减(图9)。

四、几点认知

1. 历史地震和大地测量等表明, 山西(地堑系)断裂带、河北平原北北东断裂带和郟城—营口断裂带, 是华北北部最主要的活动断裂带。

2. 现代地壳运动一方面具有强烈继承现代地貌、构造以及沿袭北北东断裂活动的特点, 另一方面拗陷的升降, 特别是断裂的水平运动方向, 又表现出与地质时期相反的新生运动特点。显示了继承和新生、限制和改造的错综复杂的性质。

3. 断裂运动无论是水平的还是垂直的, 都具有长期缓慢速率稳定的运动(构造运动)和短期迅速的运动(地震运动)两种形式, 这两种形式交替贯穿在断裂发展过程的始终。长期缓慢蠕动可能是地表断裂运动的主要形式, 而深部的地震运动只是影响和迭加在其上。其中地震运动又可分为地震前的快速运动(几个月至一年左右的前兆蠕动)、地震时的突然滑动和地震后的迅速调整(迅速调整3个月, 缓慢地持续半年至一年以上)三个阶段。构造运动和地震前的快速运动, 不仅在活动量级上有几倍至一个数量级的差别, 而且在运动方向和性质上也往往相反。断裂活动的高速率带, 有可能是强震的活动带。

4. 垂直运动可能具有振荡的性质。断裂的水平运动方向在一定时期内可能保持一

定的方向，但在其发展过程中，有着频繁地、可能主要由地震或其它原因引起的往复运动（水平的顺、反时针扭动，张、压性质的变化）。这些现象，可能表明了现代地壳运动具有螺旋式发展的特点。

5. 水平力是现代地壳运动最基本的力，地震断裂、三角测量和基线测量的水平活动量大于垂直活动量就是有力的证据。依据地震断裂、震源机制、断层水平运动组合分析，其最大水平挤压力方向为北东东至北西西向。

本文是在国家地震局地震测量队、山东

地震局和我队测量队、一队形变组、预报研究室形变组等工作基础上完成的，在编写过程中赵国光同志提出了许多宝贵意见，图件由张全英同志清绘，在此一并致谢。由于资料不足和水平有限，不当之处，请予指正。

参 考 文 献

- [1] 郭增建等，从水平力和垂直力的相互作用讨论我国境内地震的孕育和发生，地球物理学报，20，3，1977
- [2] C.H.Scholz, Crustal movements in tectonic areas, Tectonophysics, 14 (3/4), 201—217, 1972
- [3] 赵国光、黄佩玉，唐山地震前断裂运动与应力积累，1979（印刷中）