

唐山地震的某些前兆及上部地壳 的向斜弯曲现象

赵玉林 钱复业

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

1976年唐山强震发生在我国地电阻率、地磁观测、精密水准重复测量等多种观测网分布较密的地区,附近渤海沿岸还有数个长期记录的验潮站。震前地电阻率和地磁二种物理量出现了地理范围基本吻合、分布广阔的异常区。根据自然条件下岩(土)层压缩时电阻率变化的实验结果,认为只在1973~1976年间才出现的地电阻率区域下降,系地表浅层压密的结果,其压缩线应变的数量级约为 3×10^{-5} 。有意义的是基本在此同一区域内,1975~1976年间还观测到 ΔZ 和 ΔF 减小的效应。根据航空磁测测区内磁性地质体埋藏较深的资料及非线性压磁的实验,得知震前 ΔZ 、 ΔF 以及磁倾角减小的效应,系埋深8~25公里的磁性体非弹性体积膨胀的结果。震前精密水准测量发现,自1969年以来震中地区地面下沉,平均海平面资料表明,此下沉一直持续至地震发生。宁河($\Delta = 50$ 公里)附近下沉幅度最大,可达8~12厘米。

综合震前出现浅层压缩、深层膨胀、地表下沉的现象,推论唐山震前震中区附近的上部地壳(0~25公里)发生了向斜弯曲现象——一种活动褶皱。唐山地震的孕育及发生便可能与此活动褶皱不断增加其挠度以致破裂有关。

前 言

唐山7.8级强震发生在我国地电阻率、绝对地磁观测和精密水准重复测量等多种前兆台网分布较密的地区。文献[1]曾报导唐山震前地电阻率的区域下降现象。河北省地震局地磁组、北京大学地球物理系等单位,以核子旋进磁力仪重复观测发现,震前 ΔZ 和 ΔF 趋势减小,其分布范围与地电阻率的下降区大体吻合。国家地震局测量大队的资料表明,自1970年以来震中区附近地表呈现出明显地下沉现象。国家海洋局验潮站的资料表明,渤海北部平均海平面的上升一直持续到震前(1975年),精密水准地面下沉的结果。综合这些现象,寻求统一的地质、地球物理解释,对提高地震预测水平和探索板内地震的成因会有所裨益。

本文将着重对比和分析这些前兆现象。根据国家地质总局航空物探大队发现的测区内磁性地质体埋藏较深的资料及文献〔3, 4〕给出的非线性压磁的实验结果,解释震前原地观测到的磁效应。综合震前浅部压缩、深部膨胀、地表下沉的结果,提出上部地壳震前可能发生了向斜弯曲现象——一种活动褶皱。唐山地震可能就与此弯曲及其破裂有关。

一、地电阻率的下降及浅层压缩现象

如文献〔1〕所述,唐山地震前距震中不超过200公里范围内,有14个地电阻率台,其中有9个台在震前2~3年内,记录到长趋势下降异常。文献〔2〕指出,除此之外的其它时段

(1970~1972、1977~1979)并无下降现象。这种震前二、三年内地电阻率(ρ_x)的下降是这些台自1970年建台以来唯一的一次异常变化。文献〔1〕指出这9个台在地理上连成一片,形成一个南北宽约70公里、西边界距震中达150公里的地电阻率下降的区域(如图1中 $\frac{\Delta\rho_x}{\rho_x}$ 等值线所示)。区内有

二个下降中心,较大的一个在唐山、马家沟、昌黎一带,与唐山地震的震中区重合;另一个下降中心在北京附近的忠兴庄、小汤山一带。此外宝坻、青光、西集和八里桥台震前也有明显下降。距震中不超过150公里的徐庄子台震前显示出 ρ_x 趋势上升。塘沽、马坊以及外围的张山营、马各庄台震前则无

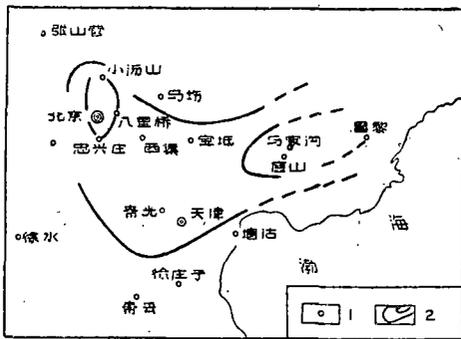


图1 唐山7.8级地震前2~3年内
 ρ_x 下降等值线图

(认为在下降区内震前浅部发生了压密现象,其压缩线应变的数量级约为 3×10^{-5})

明显趋势升降。

根据在野外自然条件下压缩部分饱和岩(土)层,使其产生微小应变,观测电阻率随应变变化的实验结果〔1〕,唐山震中周围较大的区域内,震前地壳浅部岩(土)层被压密,其附加压缩线应变的数量级约为 3×10^{-5} 。这一认识得到唐山震前地面基线缩短〔1〕、地温不变及地下水水位趋势下降〔2〕等实测资料的证实。

二、唐山震前的磁效应及上部地壳深处的膨胀

在距震中不超过200公里范围内共有18个测点,于唐山地震前后用核子旋进磁力仪进行过多次测量,其观测误差不大于 ± 2 伽玛。经日变改正及与河北隆尧红山台同时值相减,消除地磁场长期变化。各点震前(1975年1月至震前各次观测的均值)与震后(震后至1977年年底各次观测的均值)地磁垂直分量 ΔZ 均有下降(等变线如图2所示)*。对比图2与图1发现 ΔZ 等变线所圈定的异常范围与地电阻率的异常区基本吻合,并且也有二个明显的异常

*参见冀国慈“唐山大地震前地磁场有何变化”地震战线,1979,第2期,蒋帮本等:“唐山7.8级地震的地磁效应”

中心，较大的一个也在唐山、昌黎一带，其中昌黎震后比震前降低16.2伽玛，唐山降低9.6伽玛，另一个地磁异常中心也在北京地区。介于两个 ΔZ 下降中心之间的宝坻地区，同 ρ_x 一样，下降较小，把异常区分为东西二部分。

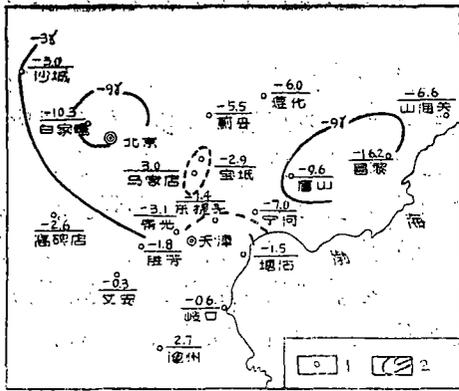


图2 唐山7.8级地震前、后地磁 ΔZ 变化分布图

(认为是埋藏较深的磁性地质体发生非弹性体积膨胀的结果)

1. 磁测点 2. 磁异常等值线

地电阻率和地磁二种独立的物理量震前(分别为2~3年和1年)出现如此吻合的时空分布,说明二者有着共同的成因。

研究地震前后同一测点垂直分量 ΔZ 与总磁场强度 ΔF (如表1)的变化*,发现在14个测点中,除宁河、马家店、沧州三点外,其余测点按代数值均为 $\Delta Z < \Delta F$,且大部分值为负。表明震前除发生了剩余磁化强度的减小外,尚有磁倾角的减小。

鉴于所观测的磁效应幅度相当大(可达10伽玛以上)且磁矢量方向的变化也甚明显,以致只能用微裂膨胀和恒应力下的体蠕动等非线性过程中的构造磁效应来解释。因为磁性岩石标本只在微裂膨胀开始时才引起剩余磁化强度1~5%的退磁,而且剩磁矢

量的方向产生显著变化^[3]。文献^[4]还指出,用做校准的大理岩等非磁性标本受力后,磁场基本不变化因此有必要讨论测区内磁性地质体存在的实况。

唐山地震前后地磁 ΔZ 与 ΔF 变化比较表

表1

项目 \ 测点	山海关	昌黎	唐山	宝坻	白家疃	高碑店	东堤头	塘沽	青光	胜芳	文安	沧州	宁河	马家店
ΔZ	-6.6	(-16.2) (-10.4)	-9.6	(-2.9) (-2.6)	(-10.3) (-8.3)	-2.6	-1.4	1.5	(-3.1) (0.9)	-1.8	-0.3	2.7	-7	3.0
比较 ΔZ 与 ΔF 代数值大小的符号	^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	v	v	v
ΔF	-0.4	-3.9	-3.6	-0.6	-3.1	0.5	0	3.0	1.7	-0.7	0.7	1.7	-11.2	2.1

据文献^[5]并对比图2发现唐山震前测得的磁效应与唐山、北京、宝坻三个磁力低,滦南、遵化、固安三个磁力高块体有关。这些磁性块体约位于地下8~25公里深处。其磁性情况可分三种:(1)固安磁力高块体。该块体所处地区系中新生代凹陷,航磁求得磁性体最小埋藏深度为7公里,按向上延拓20公里资料计算磁性体顶面埋深约8~9公里,与无磁性中新生代沉积厚度较为接近。8~9公里以下为磁性结晶基底。因此认为飞行高度(400米)所测磁场强度370伽玛,系8公里以下深部磁性体所产生。(2)遵化、滦南二磁力高块体。以遵化块体为例其顶面埋深14.6~15.6公里,下界面埋深25公里,其间为磁性层。向上延拓20公里的磁场强度仍有90伽玛,向上延拓10公里的磁场强度达190伽玛。故认为10公里以下磁性物质在

*表中数据为河北省地震局与北京大学地球物理系的资料,由于两单位取值时间不一致(北大震前为1975年9月,震后为1976年8月)同一测点的值有所不同,表中用括号给出。

地面所产生的磁场强度不小于 100~200 伽玛。(3)三个磁力低块体。浅部为震旦系或花岗岩,磁性很小;以唐山块体为例,该磁力低或者为弱磁性体所引起,其顶面埋深12公里,底面埋深19公里。或者为顶面埋深不小于19公里的磁性物质所产生,由于深度较大而呈现磁力低。上延20公里磁场强度为一40伽玛,估计这些弱磁性体在地面的磁场强度可有数十至近百伽玛。

综上所述,测区内浅部或无磁性或磁性很小,25公里以下因温度超过居理点,介质变为顺磁性的。鉴于非磁性标本受力后,基本不影响磁场的变化^[4],在解释震前实测的磁效应时,可不必考虑浅部和25公里以下非磁性介质的影响。测区内磁性地质体分别埋藏于8~9公里,14~15公里、12或19公里以下的深部,在地面的磁场强度仍有100~370伽玛。若震前这些磁性块体发生非弹性微裂膨胀而退磁1~5%^[3],则可观测到磁场强度减小1~18.5伽玛的磁效应,这与图2中所示的3~16.2伽玛的实测结果吻合。故认为唐山震前所观测的 ΔZ 、 ΔF 和磁倾角减小的效应,是8~25公里深部磁性地质体发生非弹性体积膨胀所致。

三、平均海平面的上升及水准观测到的地面下沉现象

以秦皇岛市附近山津4号点为起算原点的精密水准复测表明,1969年前全区基本处于上升状态,1969年渤海7.4级强震后,全区普遍转为下沉,1970年以后下沉加速,且有由西南向东北扩展的趋势。图3给出的1972~1970年间地面下沉等值线,在震中附近显示出北东向

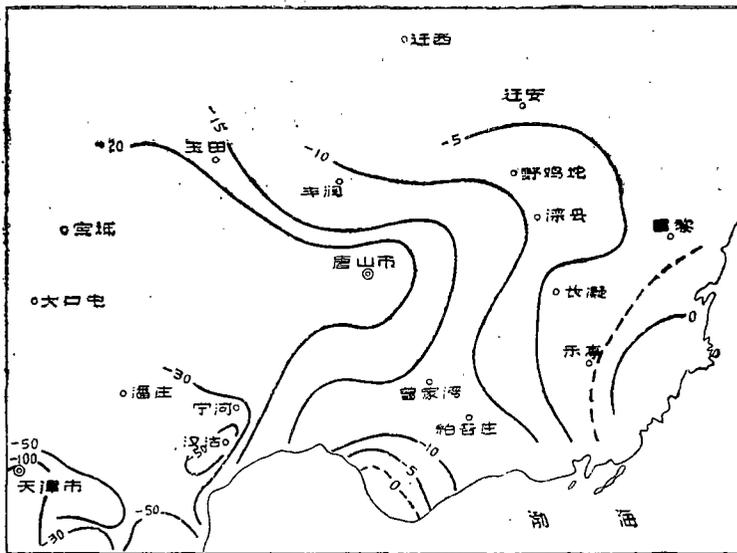


图3 1972年—1970年唐山地区垂直变形图(以山津4为起算原点)*

的延伸*。震中区一些点1972~1969年间平均下沉3.1厘米;宁河一带的下沉从1969年一直持

*国家地震局测量大队：“唐山7.8级地震的地壳形变”

续到震前(1975年),累积下沉幅度达8厘米(图4中8号点细线)*。虽然图4中天津及其周围的塘沽、汉沽等地明显的大幅度下沉主要是由于大量抽用地下水所引起的干扰,但天津西南的黄骅、沧州、河间(已出图3)等地历年来的下沉,却是地壳运动的表现。这些下沉区呈北北东向分布,显示出新华夏系现今的活动。

需要指出的是1972年后,部分测点(震中区及其北部和东南部)显示出的回升(参见图4中5号点细线);可能与渤海北部平均海平面呈现出的上升有关(表2)**。即1972年后部

经静压订正后的渤海海平面

偏差表(厘米) 表2

	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1975-1972
营 口	-6	-3	-1	1	0	3	2	6	6
葫 芦 岛	-4	0	4	2	3	5	4	8	5
秦 皇 岛	-4	-2	0	0	-2	0	3	4	6
塘 沽	-14	-1	3	1	2	7	11	9	7
龙 口	-7	0	0	1	1	1	4	4	3
烟 台	-5	0	-2	1	-3	-3	-4	-4	-1
青 岛	-4	-2	2	0	1	-1	0	2	1
连 云 港	-3	-1	-1	1	1	1	1	4	-3

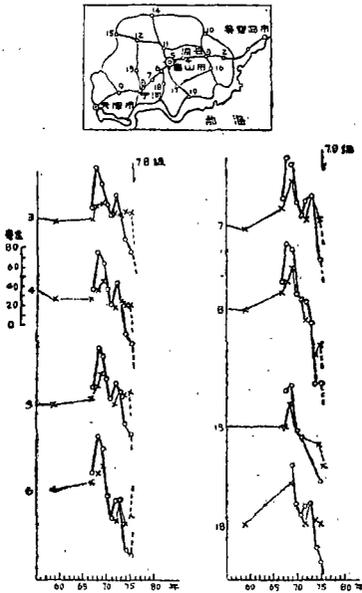


图4 唐山地震前震中附近一些水准点的变动情况

0—0—0以秦皇岛验潮站的平均海平面为起算原点的校正结果
 ×—×—×以秦皇岛附近山津4号点为起算原点的水准测量结果
震后结果

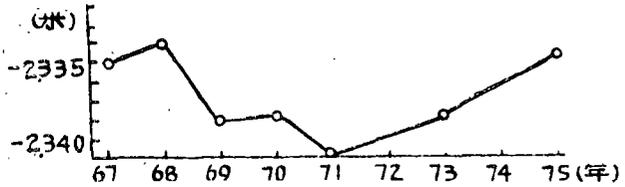


图5 BM1—山津4历年高差变化

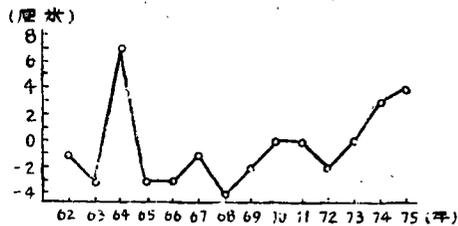


图6 秦皇岛平均海平面变化(经静压订正)

分水准点的回升可能是起算原点山津4号较大下沉所造成的一种假象。因为从图6可见,山津4号原点与秦皇岛验潮站的BM1号水准点之间,历年来变化不大(不超过5毫米),表明两点是相对稳定的。验潮站记录的平均海平面高度在1969~1973年间也基本处于多年平均

• 张祖胜：“浅源构造地震形变场的某些定性特征”
 • 国家海洋局：“唐山地震前的海洋状况”地震战线1977年8期

值附近(图6),表明在此期间水准起算原点山津4相对海平面也是稳定的。然而1971~1975年间平均海平面却明显上升达4厘米之多(图6)。参考表2可知,山津4号水准原点同渤海北部(塘沽以北)陆地一起在此期间下沉了相应的幅度。考虑到震中附近测点1975~1972年间相对山津4仅平均回升0.7厘米,若换算至以海平面为起算点时,这些点从1972至震前应有3~4厘米下沉(图4中的粗线)。根据平均海平面资料,1972~1975年陆地平均每年下沉速率为1~2厘米,这与精密水准测得的1972~1969年平均下沉速率1.0厘米为同一数量级。

精密水准复测资料表明1969年以后震中及其附近地区地表普遍下沉,下沉有由西南向东北扩展的趋势。在1972~1970年间震中附近下沉较大,等值线呈北东向延伸,唐山附近平均下沉3.1厘米,宁河附近测点下沉从1969年一直持续到震前(1975年)幅度可达8厘米。虽然1972年后唐山附近部分测点有平均0.7厘米的回升,这不仅与1972~1969年间平均下沉3.1厘米相比是不显著的,只表明1972年后这些点相对山津4是稳定的或同步的运动,而且由于在此期间山津4相对海平面有4厘米的下沉,表明震中及其附近的整个测区一直到震前都是下沉的。这种下沉可能是北东向构造当今活动的一种反映。

四、上部地壳震前发生向斜弯曲现象及讨论

由震前二、三年观测的地电阻率区域下降(系地表浅层 3×10^{-5} 的压缩),1975~1976年间观测到的磁效应(系8~25公里深处磁性地质体发生非弹性体积膨胀),1970~1975年间精密水准和海平面观测的震中区地面下沉(最大幅度达8~12厘米)等现象,可认为震中附近的上部地壳(0~25公厘)在震前发生了向斜弯曲(一种活动褶皱)。

按四周固支均布连续载荷矩形厚板的最大挠度 W_{max} 与应变 E_{max} 之间的关系^[6]

$$W_{max} = \frac{K_4}{K_3} \frac{b^2}{\delta} E_{max}$$

其中 K_3 、 K_4 为与 a/b 有关的系数,可从文献[6]查得。以地电阻率震前测得的应变 $\Sigma_{max} = -3 \times 10^{-5}$ 代入上式,对板长 a 、板宽 b 和板厚 δ 的几种尺度,求得的 W_{max} 如表3所示。对比表3与水准测量结果表明,对可能的地质尺度,以地电阻率测得的应变估计最大挠度与震

中区地面实际下沉幅度具有相同的数量级。因而认为震前地电值率、地磁和水准实测异常,都是上部地壳震前发生向斜弯曲的反映。当然用四周固支、中间悬空厚板模拟上部地壳,可能与实际情况不完全相符,然而考虑到上部地壳介质以脆性为主,下部地壳介质随温度、压力的增高而转成以延性为主,因而上、下部地壳的运动不完全一致,致使上

部地壳部分失去支撑、在自重下发生弯曲也许是可能的。

震前地电阻率与地磁观测的异常范围基本一致,且相当大(不仅包括震中周围,而且可达北京地区)。而水准所测的地面下沉,却主要在震中周围的一个北东条带内,下沉范围似不包括北京地区。事实上以山津4号水准点为起算点推算“北京原点”的高程,在

表3

a (公里)	b (公里)	δ (公里)	K_3	K_4	W_{max} (厘米)
50	50	30	0.310	0.0138	-11
200	50	30	0.499	0.0284	-14
300	75	30	0.499	0.0284	-32
400	100	30	0.499	0.0284	-57

1972~1975年间是下降的，幅度可达1厘米（图7）*。尽管包括北京在内的地面高程变化的细节尚不清楚，图7却可表明1972~1975年间，北京地区相对于海平面是下沉的，且比山津4号点多降1厘米。至于地面下沉出现的时间较早（1970年开始）地电阻率开始下降的时间居中（1973年开始）地磁效应出现较晚（1975年开始），即三种现象出现变化的时间不完全一致，这可能与这些方法检测变化的能力不同有关。

唐山地震系列中6级以上地震的深度仅限于10~27公里范围内，10公里以上的浅部与27公里以下的深部无强震发生。这可用下部地壳（约25~30公里以下）介质是延性的，而脆性的上部地壳（0~25公里）震前发生向斜弯曲来解释。因为弯曲时中性面（约12~13公里）以上的浅部受压，断层面上的摩擦力增大，难于滑动；中性面以下的深部受张，断层面上的摩擦力减小，断层易于错动。

按文献〔7〕唐山位于新华夏系第二沉降带内，区内广泛发育着北北东向反时针扭动断裂体系。近二十年华北地区大地测量结果表明，山区继承性上升，沉降带继承性下降，即新华夏系当今仍在活动*。然而唐山地震震源机制结果却为北北东向右旋走向滑动断层。这种看起来断层力学性质似有矛盾的现象，可由弯曲时中性面上、下最小主应力（都是水平的）方向大体相差90°〔8〕予以解释。

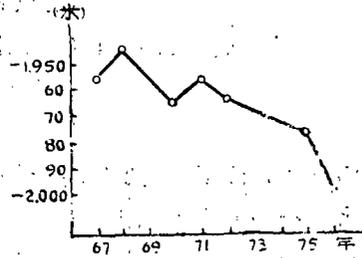


图7 以山津4号水准点为起算点的北京原点历年高差变化

参 考 文 献

- 〔1〕赵玉林、钱复业，唐山7.8级强震中周围形变电阻率的下降异常，地球物理学报，21，3，1978。
- 〔2〕钱复业 赵玉林，唐山地震前、后浅部地电阻率变化与地下水位变化等因素的关系，地震学报，
- 〔3〕M. Wyss and R. J. Martin, Tectonomagnetism and magnetic changes in rocks prior to failure, Proceedings of Conference I Experimental studies of rock friction with application to earthquake prediction, pp.449~489 1977.
- 〔4〕R. J. Martin and M. Wyss, Magnetism of rocks and volumetric strains in uniaxial failure tests, Pure and Applied Geophysics, v.113, (1975) No. 1/2.
- 〔5〕蔡振京，由航磁资料分析京津唐地区的深部构造，地震科学研究，1980年第二辑
- 〔6〕导弹结构强度计算手册，第365页，国防工业出版社，1978年9月
- 〔7〕李四光，地质力学概论，第41页，科学出版社，1977年
- 〔8〕张文佑，钟嘉猷，中国断裂构造体系的发展，地质科学，1977.第3期

* 国家地震局测量大队：“唐山7.8级地震的地壳形变”其中原因系以北京原点为起算点推算山津4号点的高程在此期间上升1厘米。

* 国家地震局地震地质大队：“华北地区地壳形变与构造体系活动关系的探讨”

EARTH-RESISTIVITY, GEOMAGNETIC ANOMALIES AND GROUND SURFACE SUBSIDENCE AND SYNCLINAL BENDING OF THE UPPER CRUST PRIOR TO THE 1976 TANGSHAN EARTHQUAKE

Zhao Yu-lin Qian Fu-ye

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

Abstract

(Prior to the M7.8 Tangshan earthquake of 1976, earth-resistivity ~~caused by crustal strain~~ and geomagnetism (~~$\Delta Z = Z_1 - Z_2$~~) showed anomalies over large areas of essentially coinciding geographic extent.) According to experiments on the change of electric resistivity of rock (or earth) under artificial compression in situation, it is (inferred that the regional decrease of earth-resistivity ~~observed during the period of~~ ^{from} 1973 ^{to} 1976 was caused by the compaction of the upper layers of the crust near ground surface, amounting to a linear strain of about 3×10^{-5} .) It is interesting to note that ΔZ was also observed to decrease during the period of 1975—1976. As compared with changes in ΔZ , the variation ΔF of the total magnetic intensity is smaller, showing that the magnetic dip I also decreases. From the fact that magnetic bodies are buried rather deep as evidenced by aeromagnetic surveys, and from the results of experiments, on cemenant magnetization for samples stressed, it is (inferred that the changes in ~~ΔZ and ΔI~~ ^{geomagnetic intensity} are caused by inelastic expansion of magnetic bodies buried 8--25-km deep. The precision levelling over the epicentral area prior to the Tangshan earthquake showed that the ground surface had been subsiding since 1969.) According to the mean sea-level at Qinhuangdao the subsidence of the land continued till the occurrence of the Tangshan Earthquake, being greatest near Ninghe (epicentral distance = 50 km) amounting to 8--12 cm.

By synthesizing the phenomena of ground surface subsidence, compression of the upper layers and expansion of the deep layers, (a mechanical model is proposed; The upper crust (0-25km) of the epicentral Zone of the Tangshan earthquake underwent a synclinal bending (a kind of active folding). The occurrence of the Tangshan earthquake might be caused by continued accumulation of the bending strain of the ~~syncline~~ ^{syncline} which resulted in fracturing or fault plane sliding.) By this model the ~~controversy~~ ^{controversy} between the source mechanism of the Tangshan earthquake and the mechanics of the Neocathaysian system can be explained.