

海原5.5级地震宏观考察初步总结

1982年4月14日海原发生5.5级地震后，兰州地震研究所科技人员*即赴现场考察。同时到达的有宁夏回族自治区地震研究所、国家地震局地球物理研究所、宁夏固原专区地震办公室等单位。各有关单位在现场互相协作，调查、访问了宁夏海原县和甘肃靖远县14个公社60多个居民点。

通过考察，确定了这次地震的宏观震中位置为：北纬 $36^{\circ}48'$ ，东经 $105^{\circ}31'$ ，即在宁夏海原县蒿川公社境内，位于仪器震中南东5.5公里处。震中烈度为Ⅶ度。相应勾画出Ⅵ度、Ⅴ度区的范围。同时对震害特征、发震构造背景等作了初步分析。

1. 地震烈度

(1) 震害概况

这次地震有感范围较大，东起甘肃庆阳，西抵兰州，南自甘肃西和、礼县一带，北达银川平原。呈一近南北向椭圆形，其面积约12万平方公里(图1)。直接受灾区为宁夏海原县的蒿川、西安洲、徐套、关桥四个公社的十二个生产大队(三十四个生产队)。

此次地震发生在白天，人畜伤亡很少，据调查统计，重伤八人，轻伤十人，砸死牛一头，羊四十三头。

(2) 震害特征

此次地震和历次黄土地区发生地震的震害特征大体一致。

(a) 建、构筑物的破坏

拱窑是宁夏固原和甘肃定西黄土地区的主要建筑物之一。历次地震证实，此类建筑抗震性能极差。在这次地震中，此类建筑损失严重(照片1)。其原因有：结构不合理(不具备拱形条件)、强度极低(土坯及土的粘结力很差)、施工质量低劣，几乎没有整体性。所以在不大的地震力作用下，即遭破坏。

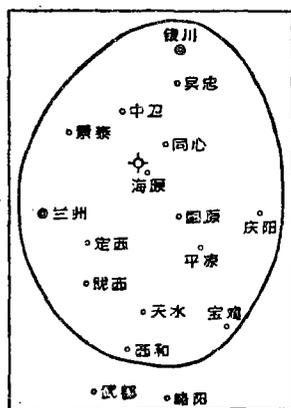


图1 海原5.5级地震有感范围示意图



照片1 蒿川公社拱窑倒塌

*参加考察还有：杜振民、周怀智、李海华、李彤起、马业新、曹克信、魏廷玺、董永德、殷志钢等。

此次破坏情况大体有：端墙闪裂或倒塌，这种情况居多；其次为拱顶塌落；此外尚有墙角边墙破坏导致拱顶塌落。调查表明，在同样条件下，连拱窑的破坏比单拱窑破坏轻。由于拱窑抗震性能难以较大的提高，故应积极创造条件，逐步淘汰。

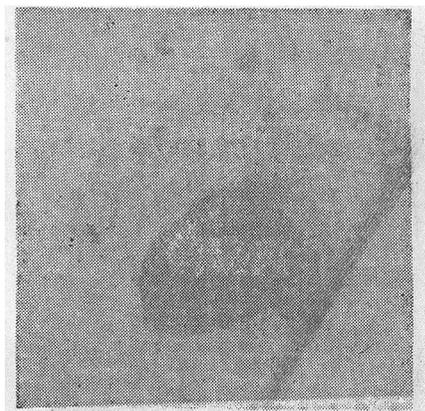
土搁梁房也是该地区极常见的建筑。经这次地震验证，其抗震性能胜过拱窑，其损坏程度仅相当于拱窑的30%~50%（照片2）。

土搁梁房全部荷载由墙体承担，在地震力的作用下，墙体与屋盖之间易形成局部荷载集中，再加上墙体土质粘结力很差，其破坏多发生在墙体与屋盖的搭接处、墙体之间的连结处以及夯土墙和土坯墙的交接处。有时由于墙体破坏严重，因此造成落梁以致屋顶塌落。倘若能加强墙体与屋顶之间、墙体之间、土坯之间的胶结，提高土夯墙、土坯的强度，减轻屋顶的重量，适当降低后墙的高度等，即可提高土搁梁房的抗震性能。

崖窑多分布在河沟、山坡地带。地震时以窑脸坍塌为主（照片3），並见有窑内顶、壁产生裂缝或大块土体坠落。整个崖窑塌实情况尚未发现。由于崖窑相当于半地下建筑，其受力状态和破坏特征与地表建筑不同。崖窑处于崖边，其窑脸或窑内壁易于应力集中，故窑脸或窑内壁易于破坏。另外，该地区土质松散或不均一，加重了震害。如果崖窑选择在土质坚实、质地均一的土层中开挖，窑脸坡度适当放缓，则可减轻震害。



照片2 蔡堡土搁梁房破坏情况



照片3 养地弯崖窑、窑脸坍塌

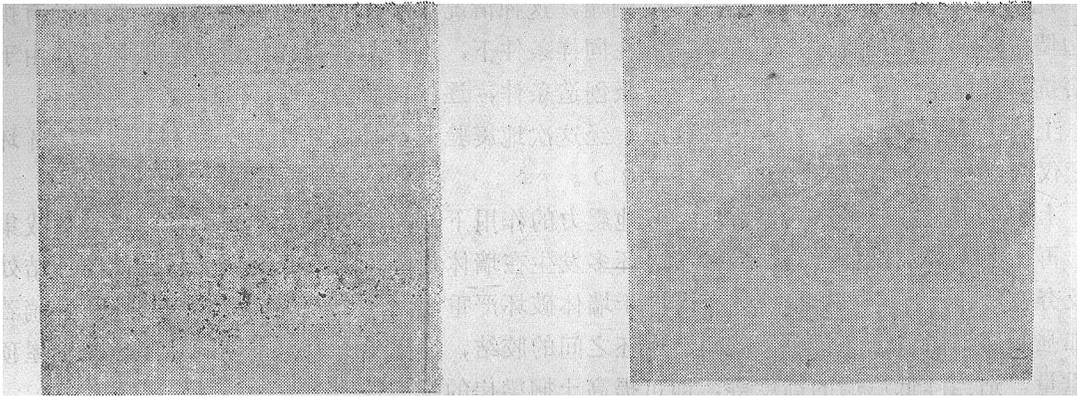
正规木架结构房屋、砖柱土坯墙房，在调查区内很少，损坏也很轻微，以产生细、微裂缝为主。

震区的院墙全部为土夯墙，在较大范围内造成了不同程度的破坏（照片4）。在震中附近，院墙多沿跟部或上部产生水平裂缝，或从跟部折断倒塌。由于墙体多分段夯实，故在接头处缝隙加大或局部塌落。

震区内水窑（用于蓄水，这在干旱缺水的黄土丘陵地区较为常见），在地震力的作用下，内衬粘土开裂漏水而损坏。

（b）地表破坏

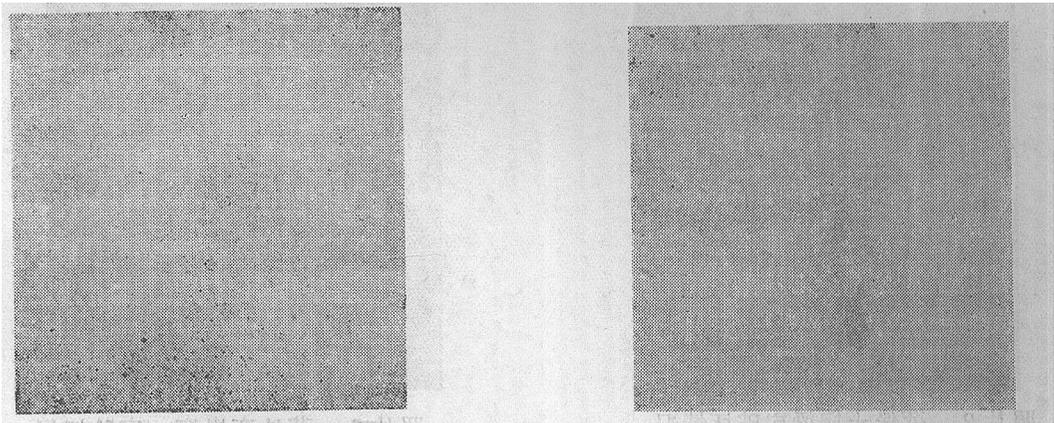
地表破坏可分二类：一是边坡失稳而产生崩滑、塌落。如在蔡堡正南七公里处，公路路堑土质边坡发生崩滑，长约130米，估计土方量约3000方（照片5）。小规模塌落则到处可见。另一是地表裂缝。它多发生在坡坎和山坡上，其延伸方向皆平行于沟谷，严格受地形控制。以蔡堡、臭草沟等处最为发育（照片6）。这是边坡失稳的初期，由于黄土土质疏



照片4 罗套新筑院墙损坏

照片5 蔡堡正南七公里处黄土崩滑

松，垂直节理发育，地震波在坡顶有放大作用，在重力作用下，因而易于产生裂缝。在上述七公里崩滑北约200米处，发现二条极细的裂缝，它横穿沟谷、山坡，不受地形影响（照片7），二条裂缝相互平行，相距20余米，断续延长150余米，单条裂缝宽仅1~2毫米，其延伸方向近于东西。初步分析认为它属构造裂缝，受近东西向构造控制。



照片6 臭草沟冲沟旁裂缝

照片7 蔡堡正南7公里处近东西向构造裂缝（沿人站立一线）

（3）烈度标准

影响烈度的因素很多，诸如地震的强度、频谱特性、建、构筑物的强度和它的动力特性以及场地条件等。在确定此次地震烈度时，既注意到整体的变化规律，又注意到局部变化特征；既考虑到历年习惯评定标准，又考虑到当地的实际情况。为此，以“新的中国烈度表”为兰本，结合当地的具体情况，适当增加了面广量大的土夯院墙以及地表破坏的讨论（详见表1，表2）。

（4）烈度分布

房屋分类 表1

I	类	1. 简陋棚舍，牲口圈 2. 土夯墙土坯拱窑 3. 陈旧的土搁梁房 4. 土层较薄的崖窑
II	类	1. 土搁梁房（有简单木架） 2. 陈旧的木架结构土坯墙房 3. 土层较厚的崖窑
III	类	1. 较新的木架结构土坯墙房 2. 质量较好的砖柱结构土坯墙房 3. 混凝土砖木结构房

烈 度 标 准

表 2

烈度	房 屋	构 筑 物	地 表 现 象	其 它
七 度	I类房大多数损坏, 许多破坏, 少数倾倒。II类房许多损坏, 少数破坏。III类房许多轻微损坏, 少数损坏	旧墙多数破坏或倒塌, 新墙裂缝, 1米以上的烟囱扭转, 裂缝或上半部倾倒	地面有宽2~5毫米小平行裂缝所组成的裂缝带, 黄土崖旁有宽达10公分的平行裂缝, 公路及沟谷两侧黄土陡坎严重崩塌, 有的长达130米	人站立不稳或跌倒, 有轰隆的响声, 房内放物翻倒, 水窑漏水。
六 度	I类房大多数轻微损坏或损坏, 少数破坏或倒塌, II类房许多轻微损坏, 少数损坏, 个别破坏, III类房少数轻微损坏	旧墙多数掉土, 少数破坏或倒塌, 少数烟囱裂缝或扭转	沟谷、公路两侧有规模较小的崩塌, 较陡地形沿坡走向有平行裂缝	许多人站立不稳, 桌上器皿翻倒
五 度	I类房少数轻微损坏, 个别破坏或倒塌, II类房个别轻微损坏或损坏	少数旧墙有掉土、脱皮现象, 不好的旧墙损坏, 个别超过1米的烟囱上挡风砖掉落	沟谷旁黄土崖掉土, 个别崩塌	室内几乎所有人有感, 室外多数人有感, 个别放不好的酒瓶翻倒, 电线摆动明显

在大量宏观调查资料的基础上, 汇集整理出各居民点的震害情况, 在没有居民点分布的地区, 则以地表破坏为主给以评价, 再根据裂度标准进行综合评定。在此基础上编绘出这次地震烈度等震线图(图2)。它有如下特征: 等震线为一不对称的椭圆形, 具有北密南疏、西密东疏即向北、西裂度衰减快; 向南向东衰减慢的特点。如若考虑有感范围的分布, 也同样具有上述特征。特别是向北衰减较快这一特点, 与1920年海原大地震有共同之处。各烈度区长轴方向, 包括有感范围的界线, 大体呈近南—北方向延伸, 认为是受近南—北方向构造控制的结果。在Ⅵ度区内有一明显的Ⅶ度分异常区存在, 这是该区的场地条件所决定的。

现将各区情况分述如下:

Ⅶ度区大部分在蒿川公社境内, 包括蔡堡、石脑、周套等地。呈一椭圆形, 长轴15公里, 方向为北10°西, 短轴6公里, 面积约70平方公里。如蔡堡, 地处沙河高级阶地之上, 地形较平坦, 背依黄土山坡。拱窑、后墙普遍开裂, 少数倾倒以致塌顶。土搁梁房墙体均出现

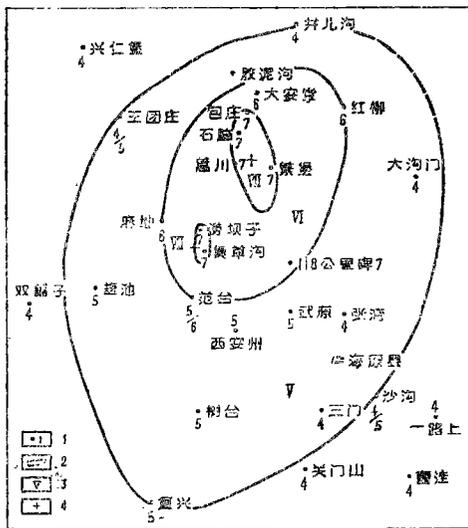
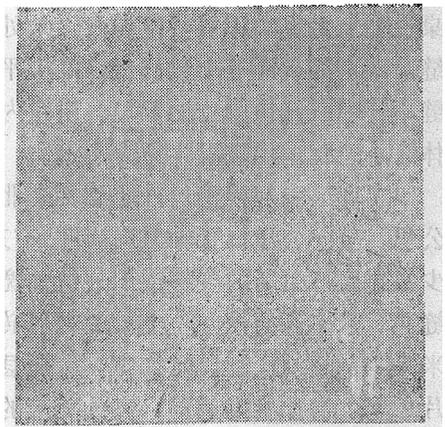


图 2 1982年4月14日宁夏海原蒿川5.5级地震烈度等震线图



照片 8 蔡堡新建正规木架房损坏

不同程度的裂缝，山墙与后墙之间裂缝较大，少数掉角。有二间房顶塌落，一间墙倒。另有三间新建的正规木架结构房，梁自墙体拔出，兼有扭动（照片8）。山坡多处黄土崩滑，沿坡角出现多条平行的重力裂缝带，带宽约20米，长约150米。单条裂缝宽达2—5厘米。长10~20米不等。蔡堡西南约1.5公里二沟头一黄土山咀，相对高差约80米，山咀顶部裂缝极为发育，它由数条裂缝带组成，皆平行于二沟分布，单条裂缝宽达10厘米左右，长约10米，断续延伸约百米（照片9）。

Ⅶ度异常区位于蒿川与西安洲二公社交界的臭草沟、尹沟一带。呈南—北向椭圆形，长6公里，宽2公里，面积约10平方公里。它的出现，与所处地形、场地土质以及建筑原材料的关系极为密切。如臭草沟，处于黄土丘陵山梁上，土质松散为亚砂土（Q₃马兰黄土），村东有一深30余米的冲沟。由于地处山梁，地震时此地形对地震波有一放大作用，且垂直分量加大，又因该村多利用亚砂土作为建筑原材料（如土坯等），故强度很低，粘结力差，因而该村震害较重（照片10）。呈一高烈度异常区。



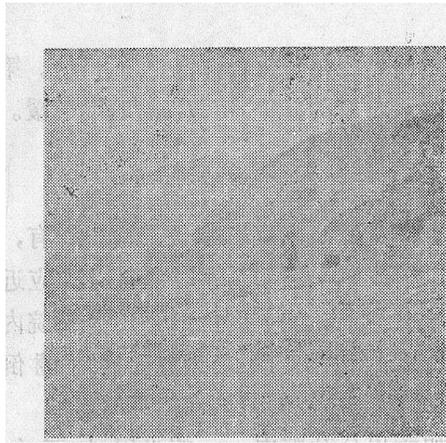
照片9 黄土山咀的烈缝

照片10 臭草沟拱窑破坏

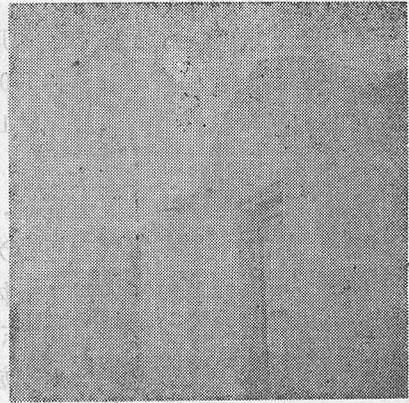
Ⅵ度区北起申套、南抵范台，东自罗山，西达罗全，呈一椭圆形，长33公里，方向北14°东，宽21公里，面积约544公里。如罗套，坐落在河沟阶地上，全村有拱窑15孔，土搁梁房52间。地震时，拱窑倒塌三孔，土搁梁房不同程度产生裂缝，有一间山墙倒塌（照片11）。桌上器皿翻倒、掉地。沙沟崖，地处沙沟北岸阶地上，一孔拱窑塌顶。土搁梁房大都有裂缝。架上的碗罐等少数翻倒，灶上平放的铁锅立起。范台，拱窑大部分窑脚、窑面产生裂缝，其中三孔拱脚边墙倒塌。崖窑内顶出现裂缝，少数土搁梁房后墙出现较大裂缝，多数墙体有小裂缝。山坡发生重力裂缝。

Ⅴ度区南起浪淌川，北到徐套北5公里，西自干盐池西，东至关桥，呈一椭圆形，长70公里，宽46公里，长轴方向为北13°东。面积约2528平方公里。如甘肃省靖远县种田公社，少数拱窑产生新的裂缝或旧裂缝加宽，个别老旧拱窑震倒一角。土搁梁房在墙角处偶见有裂缝。一米多高的烟囱，上放的挡风砖落下。靖远县复兴公社，围墙掉皮，堡子城墙高约5米，原有小裂缝，地震时加宽。海原县西安洲公社，旧拱窑端墙出现宽约3—5毫米裂缝（照片12）。海原县财经局，高约2米的烟囱上部向南倒塌。徐套公社少数拱窑墙角产生裂缝，个别土搁梁房有新的裂缝产生。

由本次地震烈度评定结果，可见其长轴近于南北向，这与震源机制A节面是较一致的。



照片11 罗夸破坏情况



照片12 西安洲公社旧拱窑端墙出现裂缝

此外，据古登堡——李希特公式：

$$I_0 - I = 6 \log \sqrt{\left(\frac{\Delta}{h}\right)^2 + 1}$$

式中： I_0 ——震中烈度 I ——等震线烈度
 Δ ——震中距 h ——震源深度

由式中算得震源深度 $h = 22$ 公里，这与地震波求得的震源深度是一致的。

2. 地质构造背景

这次5.5级地震发生在黄土复盖地区，且土质疏松，给这问题的研究，带来一定的困难。为此，在震害调查、地震地质考察的基础上，结合震源机制解，对这一问题作了初步讨论。

(1) 区域地质构造格架

宁夏西海固地区，其南面是青藏地块，北边接阿拉善地块，东邻鄂尔多斯地块，构造极其复杂。

海原5.5级地震发生在上述格架西侧青藏隆起地块的边缘，二条规模巨大的弧形构造带之间的海原构造盆地内（图3）。

香山弧形构造带，主要由古生代地层组成，其东北深断裂长约380公里，1709年中卫7.5级地震就发生在此断裂附近。

六盘山弧形构造带，形成较早，活动极为频繁而强烈，其东北缘的六盘山深断裂，控制着早古生代、中、新生代沉积，是一条长期活动的深断裂带，沿断裂有超基性岩体分布。断裂带总长达1100公里。1920年海原8.5级大地震就发生在此断裂带上。

在上述二条弧形构造带，特别是六盘山弧形构造带的南华山断裂带上，又叠加了一套近于南北向的断裂，它切割了其他方向的断裂，影响范围从前寒武系一直到第四系，以下白

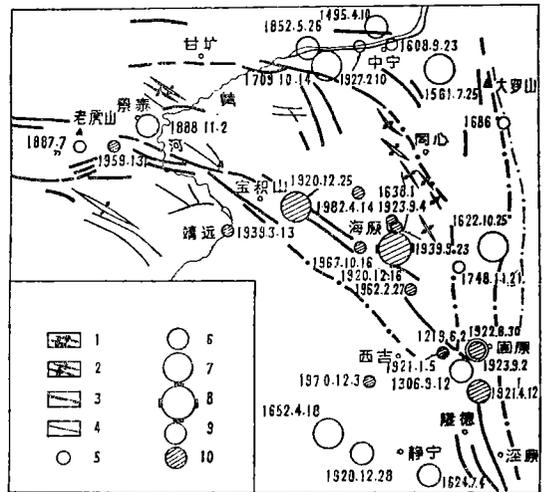


图3 西海固地区 $M_s \geq 5$ 级地震震中分布图

- 1. 褶皱 2. 新生代褶皱 3. 主要活动断裂 4. 相对活动不明断裂 5. 5级地震 6. 6—6.9地震 7. 7—7.9级地震 8. 8.5级地震 9. 1920年以前地震 10. 1920年以后地震

歪系到第四系反映明显。

海原构造盆地就处在上述二条弧形构造之间，盆地内沉积了较厚的新生代沉积物。第三系为红色砂砾岩、泥岩，地层厚达3000余米，其中新第三系厚约300—400米，地层平缓。其上覆盖中更新统马兰黄土，一般厚约13~30米，最厚可达90余米。

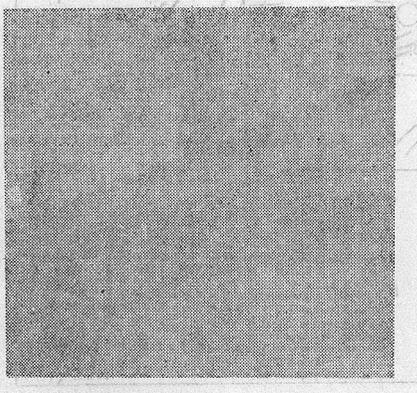
(2) 地面运动特征

地震时，地面运动状态极为复杂，在这次宏观调查中，发现垂直、水平、旋扭皆有，各处表现不一。在震中附近以垂直运动为主，远离震中，则以水平运动为主，多数人反应近于南—北方向摆动，这和震区烟囱、墙体等建筑物倒塌方向一致。如Ⅴ度区的种田公社院内，烟囱上有三块挡风砖，一致向北 10° 东方向倒塌。海原县财经局院内烟囱挡风砖向南翻倒。在Ⅵ度的沙沟崔，一社员家炉灶上平放的铁锅，翻转 90° 而直立，翻转方向南 10° 西。

另外，这次地震地面旋扭现象也是非常清楚的。如蒿川公社院内，一栋平房上三个烟囱，高约1.2米，地震时，皆靠下部扭断，下部相对上部作右旋扭动约 10° （照片13）。信用社门旁砖柱顶部也有右旋扭裂现象。这些右旋运动现象和震源机制解是一致的。

(3) 发震构造的讨论

如前所述，海原5.5级地震，发生在海原构造盆地内。盆地内自有历史记载以来，未发生过破坏性地震，弱震也很少，也未发现有较大规模的断层。在百万分之一重力异常图上，略见有一条近南北向的重力异常带直至海原附近。种种迹象表明沿树台——园河一带有一条近南—北向的隐伏断裂（图4）。1920年海原大地震时，沿该带震害加重，这说明断裂的存在。这次5.5级地震的等震线分布、崩滑的分布以及震源机制解等一致表明，发震



照片13 蒿川公社烟囱
右旋扭动破坏



图5 兴仁堡——臭草沟断裂示意图

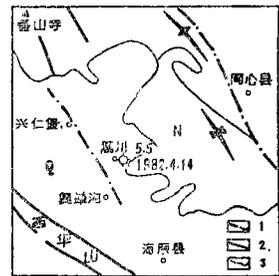


图4 树台——园河
一带地质略图

1. 隐伏断裂 2. 主要活动
断裂 3. 地质界线

构造是近南北向展布的。它可能就是树台—园河断裂活动的结果。另一种意见认为是兴仁堡到臭草沟一带的北 30° 西隐伏断裂活动的结果（图5）。

此次地震，处于1920年海原大地震的极震区范围之内，大震后震源区的地质体的完整性已遭到很大程度的破坏。就整体而言强度减弱，但仍有一些强度相对较高的小块体，加之六盘山弧形构造带到现今仍是一个活动比较强烈的构造带，它不断提供较充分的能量，并在强度稍高的地段积累起来，然后释放，这就在次一级构造带上发生了这次中等强度的地震，这也是海原大震后应力调整阶段的一个特点。

综上所述，初步认为：

这次地震发生在海原大震的极震区范围内的次一级构造带上，属于海原大震后的应力调整阶段，故在近期之内不会发生更大的破坏性地震。

这次5.5级地震是受近南北向构造控制，可能是树台—园河隐伏断裂活动的结果，并具有右旋扭动的性质，和震源机制节面（A）解参数基本一致。

（兰州地震研究所 查小刚 田植甲 贾云鸿
宁夏地震研究所 廖玉华 潘祖寿）