

# 天水地震区浅层地质构造

张生源

谢原定

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘要

本文利用前人取得的资料,在编制各类地质图表的基础上,采用地层剥皮法,揭示了甘肃东部地区,纵横东西、南北地震测深剖面上,变质基底的顶部的起伏状况,归纳讨论了两条测线所跨越的沉积建造和主要断裂特征。

## 一、前言

天水地震区人工地震测深工程位于甘肃省东南部,部份为陕西、宁夏省(区)所管辖。在地貌上,约略以西秦岭北缘断裂为界,其北部是我国著名的黄土高原区,属黄土残塬、梁、峁地貌。其中又以六盘山—陇山为界,西部为陇中高原,山峰海拔多在2000—2100米;东部为塬面略向东缓倾的陇东黄土高原,塬面海拔约1400米左右。该区内,沟壑纵横,羽状水系发育,切割深度多在400—600米。以南属秦岭中高山至高中山剥蚀山地地貌。区内层峦迭障,沟谷深切,山峰海拔由西部的4100余米急剧向东递降为1900—2000米,切割深度多在300—1200米。恰处我国著名的青藏高原东北缘地貌陡降带上。

在大地构造位置上,属中朝准地台与祁连—昆仑褶皱区<sup>[1]</sup>,依板块说观点,是青藏、华北、扬子三个板块聚合区,按地质力学观点,是巨型秦岭纬向复杂构造带、经向构造带和几个巨型扭动构造体系(祁吕系、陇西系、青藏系、河西系、新华夏系)等的交汇复合区<sup>[2]</sup>。因此,地质构造极其复杂。

## 二、测线剖面浅层地质解释方法

我们选择比例尺为1:50万的底图,编绘I、II测线地质图,地质资料以综合研究程度较高的甘肃省1/50万地质图为基础<sup>[3]</sup>,毗邻陕、宁两省(区)则用1/20万地质图缩编。在编绘1/50万地质图的基础上,划分大地构造单元,编绘大地构造单元图。大地构造单元的划分,是采用我国著名地质学家黄汲清的观点<sup>[4]</sup>,并以1983年黄汲清指导的由中国地质科学院地质研究所编制的1/400万中国大地构造图为基础,将I、II测线所在1/50万地质图的范围内,划分为两个一级构造单元及七个二级单元,如表4—1和图4—1所示。

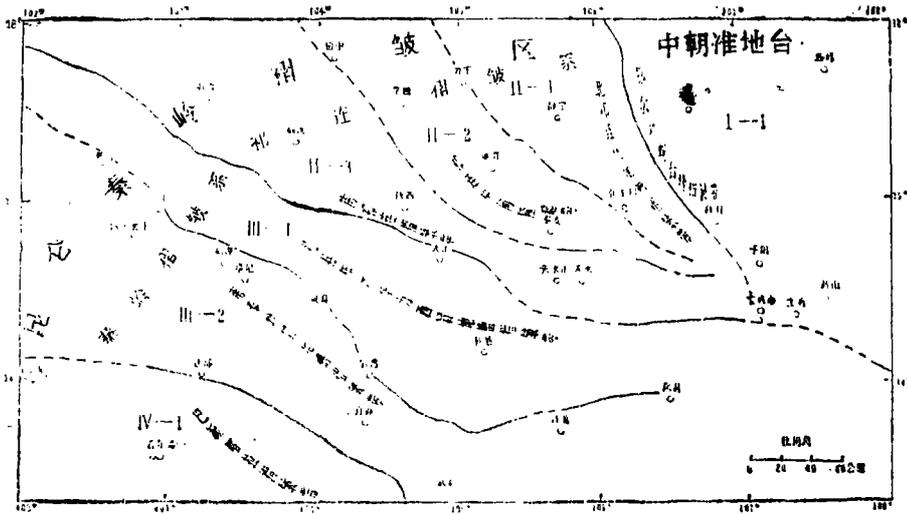


图 4—1 天水地震区大地构造单元  
Fig. 4—1 The geotectonic element in Tianshui earthquakes area

表 4—1 大地构造单元简表

| 一级       | 亚一级    | 二级   |
|----------|--------|--|
| 中朝准地台    |        | I—1 鄂尔多斯台地<br>I—2 鄂尔多斯台缘褶皱系                  |
| 昆仑-秦岭褶皱区 | 祁连山褶皱系 | I—1 北祁连山地槽褶皱带<br>I—2 祁连山中间隆起带<br>I—3 南祁连山褶皱带 |
|          | 秦岭褶皱系  | II—1 礼县-柞水华力西褶皱带<br>II—2 南秦岭印支褶皱带            |

需指出，按 1/40 万中国大地构造图，北秦岭加里东褶皱带应在天水一带插入。由于它所占面积甚小，其地层又与南祁连褶皱带大同小异，不便细分，而并入于南祁连褶皱带内。

而后做出与大地构造单元相对应的各构造单元综合柱状图。地层系统是以研究程度较高，综合性强的 1/50 万甘肃省地质图为准，而各地层剖面则以各幅 1/20 万地质图之实测剖面为基础，参考西北地层表甘肃分册〔5〕的标准地层剖面及钻孔剖面综合确定。由于各二级构造单元所跨地区不同，所含 1/20 万图幅多寡不一及钻孔剖面各异，为此，首先进行地层对比，选择测线地质图内的地层单元确定之。

最后做出测线剖面地质图（见图 4—2）。按地震观测点分布情况，投影于 1/50 万地质图上，拟合成一曲线，即为该测线之剖面方位。将测线上各测点的位置、高程，垂直投影于剖面线上，地表地质按 1/50 万地质图，各地层单位的厚度以剖面通过厚度为准，对那些岩相、厚度变化大的地层，则用内插法确定；剖面线上或临近剖面线有钻孔者，则直接按钻孔深度，如此自新至老反演到变质基底，成图比例尺为：水平向 1/50 万、垂直向 1/10 万，选用资料的比例尺大于或相当于成图比例尺，而所用地层厚度都是按 1/20 万区测图的实测剖面或钻探厚度或地层表中的标准剖面，其精度都达 1/10 米级，用在垂直方向的 1/10 万比

例上，精度肯定是很高的。但由于这些实测剖面并不都在测线上，测线所跨过的地层，有的是某层（统或组）的一部分，而在1/20万地质图上找不到通过这些层位的具体标志，因此只能凭经验确定这些层位的厚度。不少地区，由于地壳运动幅度很不均一，或物质来源的变迁，或者由于海岸线的变迁等致使沉积岩相、岩性、厚度变化悬殊。因此在做图时分别采取如下一些措施：a) 借用临近测线的实测剖面资料；b) 用内插法确定通过测线的地层厚度；c) 用距离和厚度的加权平均法求取剖面通过的厚度。

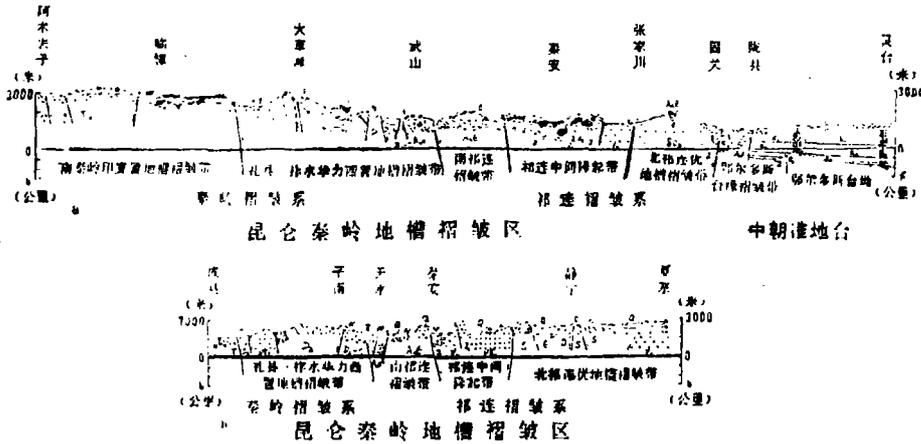


图 4—2 测线剖面地质图  
Fig. 4—2 Geological map of profile

鉴于以上原因，对反演的变质基底的精度可以概括如下：

1. 地台区，因沉积环境稳定，岩相、厚度变化甚小；又有石油勘探钻孔打透全部盖层并钻进结晶基底，测线上或邻近测线又有钻孔，因此，这些地区的基底埋深当是十分确切的。
2. 祁连褶皱系及礼县—梓潼华力西冒地槽褶皱带的变质岩系分别为下震旦、前寒武、下古生界及泥盆系。其上仅覆厚度不大的新生界或中生界，且不少地区又有钻孔打透新生界直达变质岩系。因此，I剖面大草滩以东及II剖面（仅南端江洛镇以南例外），其变质岩系顶界面深度误差亦不会超过百米。但若要以前寒武做为基底考虑，则因下古生界及泥盆系厚度、岩相变化大，误差甚难估计。
3. 南秦岭冒地槽褶皱带，特别是I剖面大草滩以西，由于上面所述原因，同时，剖面与地层走向近于平行，其北面又邻近合作—宕昌断裂，因此，三迭系及上古生界在测线上的厚度较难准确计算，其误差可能会是较大的。

### 三、主要结果

#### 1. 测线剖面基底起伏形态特征

根据中国大地构造发展、演化历经三个重要的固结期的观点<sup>(1)</sup>，表明了不同大地构造单元的基底是不同的，中朝准地台形成于早元古代末的中条旋回固结期。它的基底当属前元古界。昆仑—秦岭褶皱区应于晚元古代末扬子旋回固结。其基底应为前寒武或震旦系。因此，我们以前元古界做为中朝准地台基底，以前寒武做为昆仑—秦岭褶皱区基底讨论其起伏状态。

但是秦岭褶皱系的早古生代及泥盆纪沉积巨厚。其结晶基底难于推测。同时，该两套地层普遍发生区域变质，形成一套中深变质岩系。其岩性已与中朝准地台之前元古界相差无几，其物理性质亦不可能差别太大。因此对这套变质岩系的起伏状态，也有必要加以讨论。

I剖面：基底总的形态特征是东浅（1.8—6公里）西深（大于15公里），中部固关镇—武山大量出露震旦系、前寒武等变质岩系及中酸性岩浆岩，其顶盖埋深近数百米。换句话说，在该剖面上，东部中朝准地台基底埋深较浅为1.8—6公里，西部秦岭褶皱系基底较深，中部祁连褶皱系基底接近地表。

但是，秦岭褶皱系中，泥盆系普遍中深变质，若以其顶界埋深情况而言，却是另外一种情况。即武山—大草滩基本接近地表，仅局部上覆有厚度<300米的新生界松散岩石；而大草滩以西，变质的泥盆系顶界埋深为7—10公里。

II剖面：基底总体形态是北浅（0.6—6公里）南深（>13公里），中部（仁大—天水市）接近地表（一般<500米）。也就是说，北部北祁连优地槽褶皱带基底埋深较浅，南部秦岭褶皱系较深，中部祁连中间隆起带，南祁连褶皱带接近地表。同样，若以中深变质岩系及花岗闪长岩顶界而言，则北部浅（仅0.7公里左右），仅南端（156—151号点）埋深约4.5公里，中—中南部（静宁—江洛镇）接近地表。

## 2. 测线剖面上沉积建造

鉴于本区所处大地构造单元不一，其岩相建造各异。但自中生代中期以后，本区再无海浸发生，全部转为内陆河湖相沉积，其特征是：

白垩纪及第三纪，本区概为干旱的内陆湖相红色碎屑岩建造，沉积特点因地而异，如白垩系仅有下统沉积，在鄂尔多斯区称志丹群，六盘山区称六盘山群，西部为河口群，厚度随地而异，由数百米到五千余米。第四纪则为松散堆积，以各级别河流冲积、洪积物为最发育，厚仅数米到数十米；约以西秦岭北缘断裂为界之东北部，则黄土覆盖着几乎全部山地，厚二、三十米到百余米。

东部中朝准地台，盖层自晚元古代到古生代，除缺失上奥陶—下石炭统外，为一套典型的地台海相—海陆交互相碳酸盐岩—含煤碎屑岩建造，厚度约3000余米；中生代开始，转变为内陆盆地河湖相—河流相碎屑岩及含煤碎屑岩建造，厚度达3000余米。

西部祁连褶皱系与秦岭褶皱系，在晚元古代末扬子旋回固结后，又与加里东、海西及印支期分别自北向南，自东向西裂隙而成地槽，并分别沉积了一套优地槽型海相火山岩建造，碎屑岩—碳酸盐岩建造和复地槽型滨海—海相复理石、类复理石碎屑岩—碳酸盐岩建造，厚度分别达万余米乃至两万余米。北祁连优地槽褶皱和祁连中间隆起带自中生代初期始，南祁连褶皱系以南自中生代中期起，先后结束海浸，转为陆相的孤立山间小盆地，沉积了河湖—泥炭沼泽相碎屑岩或含煤碎屑岩建造，依次成高角度不整合覆于不同老地层之上，其厚度分别为数百米乃至数千米。

## 3. 测区内主要断裂特征

本区各项构造相互交织，断裂系统发育。其发育时期不同，断裂密度、长度及切割深度各异。主要断裂由东北向西南有：

### （1）鄂尔多斯西缘断裂带

断裂带北起贺兰山中段，经牛首山、大小罗山后往南经固原、太统山等，宽达30余公里。该带北段长200余公里呈北西走向，倾向南西，倾角 $58^{\circ}$ — $85^{\circ}$ ，被称为营盘山—牛首山

断裂〔6〕。南段长大于200公里,呈南北走向,多被覆盖,仅南端在地表有显示,为向西倾斜,倾角 $50^{\circ}$ 左右的逆断层。该断裂南段(即固原以南)被海原—六盘山断裂带重接;中部往北,又被约从海西期开始发展起来直至第四纪仍在活动的银川—固原南北向断裂带斜接至重接,这便是所谓的鄂尔多斯西缘南北向断裂带〔6〕。

该带为地质时期的槽台边界断裂,控制两侧的沉积建造和构造活动,中生代断距达2—3公里,第四纪的断距在银川盆地达1.6—1.9公里〔6〕。表现北强南弱的活动特点。在地表为断续出露的平行断层,又是地震活动的重要分界线(即西部强震活动显著,东部少有地震发生)。深大磁特征线呈明显南北向,断续穿过秦岭向南延伸,并与一级重力特征线相吻合。故推测其为超壳断裂。

该断裂在测区内,早已与海原—六盘山断裂带重接复合,断距较北部为小,中生代断距约1公里。

### (2) 海原—六盘山断裂带

该带西起乌鞘岭,向南东经海原,循六盘山伸展达宝鸡附近,系由一系列平行展布的断层组成,宽10—21公里,长500余公里的断裂带,其西段走向北 $60^{\circ}$ — $70^{\circ}$ 西,倾向南西,倾角 $70^{\circ}$ — $80^{\circ}$ 。南段走向北 $20^{\circ}$ — $30^{\circ}$ 西,倾向南西,倾角 $60^{\circ}$ — $80^{\circ}$ 。总体呈一向东北突出的弧形构造带。该带至少在加里东期已经形成,具多期活动特点,控制了古生代酸性、基性岩的侵入和分布及新生代盆地的沉积,是走廊过渡带(冒地槽褶皱带)与北祁连山褶皱带的分界断裂带。南段因与鄂尔多斯西缘断裂带重接复合,是中朝准地台与祁连山褶皱系的分界断裂。是一条深大的壳内断裂。

该带以前以压性为主,中晚更新世以后,海原以西以左旋走滑为特点,以东以压性为主兼右旋活动。该断裂带新活动显著,晚更新世以来,海原断裂右旋滑动速率约5毫米/年。沿带共发现九处史前地震证据。仅在全新世,即约一万年的时间里,就发生过五次大地震事件,历史上强震沿带发生,震源深度多在20—36公里;现今弱震成带分布;震惊中外的1920年海原8.5级巨大地震就发生在该带弧形突出最厉害的部位,大震破裂带长215公里,走向北 $66^{\circ}$ 西,以左旋走滑活动为其特点,最大水平断距14—17米,垂直断距4—5米。在测区因与前述断裂带重接复合,其特征已如上所述。

### (3) 会宁—张家川断裂

该断裂系中祁连山北缘断裂带的东延部分,是北祁连山褶皱带与祁连山中间隆起带的分界断裂。在西段祁连山地区,规模较巨,深度大,属壳内深大断裂。该断裂可能在古生代以前就开始发育,加里东—喜山各期均有强烈活动。该断裂在本区由西部的走向北 $45^{\circ}$ 西向东折转成北 $60^{\circ}$ 西,向南西倾斜,倾角 $54^{\circ}$ — $68^{\circ}$ ,控制了两侧下古生代的沉积建造及海西期的中酸性岩浆侵入,沿断裂带可见基性岩分布。古生代地层断距可达4公里,新构造形迹在会宁—义岗段表现明显,个别七级地震(如1352年会宁地震)就是该断裂活动的结果。

### (4) 辛甸—清水断裂

该断裂是中祁连山南缘断裂的东延,经马衔山至清水以东。在祁连山地区见有蛇绿岩套,是一条自加里东以来多期活动的断裂。该断裂在马衔山以东,多被第四系掩盖,地表断裂不清。但从两侧地层及岩浆岩的分布,可断定其存在是无疑的。该断裂沿走向呈舒缓波状,总体走向为北 $72^{\circ}$ 西左右,倾向北东,倾角 $65^{\circ}$ 左右。古生代时,是控制两侧沉积建造、火成活动的重要断裂。内官营—香泉镇断裂控制现代沉积,第四纪断差大于200米。在清水东南,还

控制喜山期的花岗正长岩、花岗正长斑岩的侵入，是一条壳内深大断裂。

#### (5) 西秦岭北缘断裂带

该带西起日月山，往东南经贵德和政，循西秦岭北缘延至宝鸡以东。系由一组(5—8条)压扭性断层组成的断裂带，宽10—20公里。其走向西段为北65°西，东段走向北75°西，倾向北东，倾角40—80°，在剖面上呈现出由北向南推覆的迭瓦状，总长达600余公里，往西与祁连山南缘衔接。

该断裂是我国一条主要的超壳断裂。断切上古生界，落差超过8公里，是祁连褶皱系与秦岭褶皱系的分界断裂。自加里东期以来，历经多次强烈活动，为主要的地质、地貌分界带，控制了海西晚期的超基性、基性岩及加里东—燕山各期中酸性岩浆岩的侵入及喜山期的中酸性喷出岩和侵入体，还控制了两侧的地质发展史及沉积建造。断错古生界超过10公里。新构造运动强烈，左旋断错山脊及全新世河床砾石层，第四纪水平位移量达1000—2000米，具西强东弱的活动特点。由全新世厚度估算陇西—和政段垂直活动速率为3.5—5.5毫米/年。东段尚有低温泉出露。历史上曾发生7.0—7.9级地震2次，6.0—6.9级地震3次，弱震密集带，地壳形变测量资料证实该断裂现今仍在活动〔6〕。

#### (6) 临潭——凤县断裂带

该带西起合作，往东南经临潭、宕昌，到雷家坝后，折转成北东东走向，沿徽成盆地北缘至凤县，多倾向北东及北北西，倾角60°—70°，东段倾向南东，倾角30°—70°。总体呈一向南突出的弧形构造带，长度大于370公里。该断裂属临潭—山阳断裂的西段，沿断裂见上古生界冲覆三叠系之上，中生代断距大于4.5公里，是礼县—水华力西冒地槽褶皱与南秦岭印支冒地槽褶皱带的边界断裂。据文献〔1〕的研究，该带西段有混杂堆积，是一条超壳断裂。经历过自加里东期以来历次强烈构造活动，其控制海西—燕山各期中酸性岩侵入及中生代地层的分布；海西期超基性岩及喜山期碱性超基性岩沿该带侵入或喷溢。新构造运动仍有表现，历史中强震仍有分布，弱震成带。

#### (7) 通渭—武都南北向断裂带〔6〕

该带展布于东经105°附近，长250余公里，宽20—30公里。恰通过I测线武山附近，在I剖面上与西秦岭北缘断裂带几乎重叠。地表所见断裂规模较小，一般仅延伸10—30公里，但断续成带。其走向近南北，向西倾斜，倾角60°—30°，为高角度压性断层，稍具有右旋活动特点。该带控制了新生代沉积及喜山期碱性超基性岩的喷溢，现今仍以南北向的分水岭和沉降带横跨于秦岭构造带之上，地势西高东低，同级夷平面高差500—1000米。卫星线性影像清晰，断层影响全新统，如江口断层可见垂直断距1.2米，有温泉出露，水温30—57℃。沿此带发生8级以上地震三次，7.0—7.9级地震4次，弱震密集带。现今测量表明，垂直形变等值线呈明显的南北向线性变化带，形变速率达2—3毫米/年。

同时，该带在地球物理资料多有表现，主要是：①与二级重力特征线吻合；②航磁化极平面图上显示为中间负异常，两侧正异常线性特征明显，上延30公里，仍显示南北向磁异常梯级带；③布伽重力异常图上为长130公里，宽约30公里的梯级带；④大地电磁测探资料表明：天水—武都一线深部20—30公里存在着横穿秦岭的近南北向构造。东经105°也是上地幔高导层隆起的分界带；⑤据谭杨庚研究，该带两侧莫霍界面落差达6—10公里，不言而喻，该带还是一个壳内深大断裂带。

## 四、结 论

综合以上讨论,得到以下几点结论:

1. 不同构造单元,中深变质岩系的地质时代是不同的,中朝准地台为前震旦系;祁连褶皱系为下古生界及震旦系;而秦岭褶皱系则为上泥盆系。这些不同地质时代的变质岩系,就岩石的物理性质而言,如岩石密度、地震波速度等,基本上应是一致的。

2. 以这些中深变质岩系做为该工程两剖面的基底,暂称其为变质基底,则该基底的起伏形态特征是:

I 剖面为:东部中朝准地台较浅(1.8—6公里);西部秦岭褶皱系较深(>15公里);中部祁连褶皱系接近地表。

II 剖面:总体为北部(北祁连优地槽褶皱带)较浅(仅0.7公里左右),南端(秦岭印支冒地槽褶皱带)较深(4.5公里左右),中—中南部(北祁连优地槽褶皱带—礼县—柞水华力西冒地槽褶皱带)接近地表。

3. 本区断裂构造发育,以北西—北西西向为主,近南北向者次之。这些断裂,多具深、大、活特点,是本区的主要发震断裂。

## 参 考 文 献

- (1) 黄汲清等,中国大地构造及其演化,科学出版社,1983.
- (2) 李四光,地质力学概论,科学出版社,1973.
- (3) 甘肃省地质局,甘肃省地质图(1/50)万,中国地质图制印厂,1977.
- (4) 黄汲清,中国大地构造基本轮廓,地质学报, No. 2, 1977.
- (5) 甘肃省地质局,西北地区区域地层表(甘肃省分册),1976.
- (6) 国家地震局兰州地震研究所等,南北地震带构造、地质及近期强震危险区预测图说明书(公元1986—2000年), 1986.

## THE SHALLOW GEOLOGICAL TECTONIC IN TIANSHUI EARTHQUAKE AREA

Zhang Shengyuan, Xie Yuanding  
(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB)

### Abstract

Based on various kind of geological maps and tables, the stripping stratum method (SSM) had been adopted to bring to light the degree of fluctuation of top of metamorphosed basement in the E-W and N-S profiles of DSS which are located on the eastern of province Gansu by means of the predecessors data. The sedimentary construction and the features of major faults across both profiles were summed up and discussed.