

趋势面分析在矿区构造分析中的应用

铜川矿务局地质测量处

铜川矿区位于渭北石炭二迭系煤田西端，煤田大部为黄土覆盖，岩层零星出露，地层走向北东，倾向北西，倾角5°左右。矿区主要构造有赵家原背斜，史家河背斜，井家堡背斜，陈炉镇断层(F_1)，董家沟断层(F_2)，枣庙挠曲断裂带(F_3)，高阳断层(F_4)，白龙潭断层(F_5)，杜康沟断层(F_6)等。总的说来，褶皱以短轴背斜为主，断层除枣庙和杜康沟为北西西向逆断层外，其他均为北东向正断层。矿区中小型构造，根据生产矿井和补充勘探资料证实，一般呈形态极不规则的短轴背向斜，背斜宽缓，向斜窄陡，翼部常为次级断裂所围绕，幅度10—80米不等。由于大中小型构造混合迭加的结果，矿区构造轮廓显得异常零乱，支离破碎，仅靠底板等高线图所反映的综合形态来分析研究不同等级构造的变化特征和控制因素是有很大困难和局限性的，所以我们采用了趋势面分析的方法。

一、什么是趋势面分析

趋势面分析即数理统计中的多重回归分析，是研究一个变量与其他变量之间定性与定量关系的数理统计方法，它的基本原理就是把构造形态在一定范围内的空间分布应用非线性多重回归函数，在满足各个观测点的观测值与回归值的差值平方和为最小的条件下拟合一个最合理的函数方程，用这个方程从观测值中提取出确定性变量，这个变量即趋势值，用这些值所表示的数学曲面叫趋势面，这个面所反映的地质变化就叫趋势变化。由于趋势变化并不反映全部变化，趋势值也往往不等于观测值，因此，为了反映地质变化的全貌，我们用实际观测值减趋势值之差（即偏差值）来反映趋势变化基础上的局部变化。趋势值有正有负，正值反映观测值大于趋势值，负值反映观测值小于趋势值。正值的组合叫正值区，反映大于或高于趋势变化的局部变化；负值的组合叫负值区，反映低于或小于趋势变化的局部变化。所以

说，趋势面具有将一个地质变量分解为区域性变化分量和局部变化分量的作用。如果我们根据多项式多重回归分析将阶次逐次提高，每次加入一个高次项，那么随着阶次的增高，趋势值将愈来愈逼近观测值（偏离值愈来愈小），趋势面将愈来愈接近真实面。因此，不断提高阶次，不仅可以起到代替等高线或等值线的作用，而且可以借助一系列的趋势变化和偏差值的变化将其逐次相减（如二次减一次，三次减二次等等），用差值趋势面图来进一步分析地质变化在空间展布上的趋近规律和控制因素。把一个地质变量分解为几个变化分量，起到构造级别层层分离的作用。

二、我们的具体作法

趋势面分析分二维与三维两种。二维趋势面分析是研究地质变化在平面上的变化，三维趋势面是研究地质变化在空间上的变化。我们这种分析主要是研究矿区的构造组成、构造格架和控煤作用等问题，采用的是二维趋势面分析。我们的具体作法是：

1. 由于矿区东部以五号煤为主要可采层，西部以十号煤为主要可采层，为便于求得一个统一层位的构造轮廓，我们选择以煤系基底奥陶系灰岩顶面标高（Z）作为因变量，以地理座标X、Y作为自变量。问题归结为求奥陶系灰岩顶面标高Z与二维空间X、Y之值的函数关系。

2. 为排除 F_1 、 F_2 对矿区基本构造形态的影响，以 F_1 、 F_2 、 F_3 作为边界将矿区分为南北两个网独立计算。南部包括桃园、李家塔、王石凹、金华山、徐家沟、鸣口、东坡等七个井田（简称南网）。北部包括王家河、三里洞、史家河三个井田（简称北网）。

3. 为了分析构造建造与含煤性的关系，恢复成煤期的同沉积构造造型式，在南部同时作太原群煤系厚与太原群煤总厚的趋势面分析。在观测点自变量不变的基础上，输入该点的煤系厚和煤总厚，求煤系厚与煤总厚在二维空间的趋势变化。为了计算方便，其中桃园井田的河流冲刷问题未作考虑，可能对精度有所影响。北部由于上部河床冲刷影响，太原群与部分煤层保存已不完整，未作分析。

4. 为了布点均匀，网度以500米左右为准，钻孔密集部分作适当删减。北部网共选钻孔180个。南部网共选钻孔282个。根据以上钻孔的实际观测值组成下面的联立方程组：

四 次	
三 次	
一 次	
$l_{11}a_1 + l_{12}a_2 + l_{13}a_3 + l_{14}a_4 + l_{15}a_5 + \dots + l_{19}a_9 + \dots + l_{14}a_{14} = l_{1z}$	
$l_{21}a_1 + l_{22}a_2 + l_{23}a_3 + l_{24}a_4 + l_{25}a_5 + \dots + l_{29}a_9 + \dots + l_{24}a_{14} = l_{2z}$	
$l_{31}a_1 + l_{32}a_2 + l_{33}a_3 + l_{34}a_4 + l_{35}a_5 + \dots + l_{39}a_9 + \dots + l_{34}a_{14} = l_{3z}$	
$l_{41}a_1 + l_{42}a_2 + l_{43}a_3 + l_{44}a_4 + l_{45}a_5 + \dots + l_{49}a_9 + \dots + l_{44}a_{14} = l_{4z}$	
$l_{51}a_1 + l_{52}a_2 + l_{53}a_3 + l_{54}a_4 + l_{55}a_5 + \dots + l_{59}a_9 + \dots + l_{54}a_{14} = l_{5z}$	
$l_{91}a_1 + l_{92}a_2 + l_{93}a_3 + l_{94}a_4 + l_{95}a_5 + \dots + l_{99}a_9 + \dots + l_{94}a_{14} = l_{9z}$	
$l_{14}a_1 + l_{14}a_2 + \dots + l_{14}a_9 + \dots + l_{14}a_{14} = l_{14z}$	
$a_0 = \bar{z} - a_1 \bar{x}_1 - a_2 \bar{x}_2 - a_3 \bar{x}_3 - a_4 \bar{x}_4 - a_5 \bar{x}_5 - \dots - a_9 \bar{x}_9 - a_{14} \bar{x}_{14}$	

式中：

$$l_{1j} = l_{12}, \ l_{23}, \ l_{34}, \dots$$

$$l_{1,1} = l_{1,1}, \quad l_{2,2}, \quad l_{3,3}, \quad l_{4,4}, \dots$$

$$l_{ij} = \sum (x_i - \bar{x}_i) (x_j - \bar{x}_j)$$

$$l_{i+1} = \sum (x_i - \bar{x}_i)^2$$

$\sum (x_i - \bar{x}_i) (x_j - \bar{x}_j) = x_i$ 与 \bar{x}_i , x_j 与 \bar{x}_j 的差值乘积和。

$\sum (x_i - \bar{x}_i)^2 = x_i - \bar{x}_i$ 的差值平方和。

$x_i, x_j = x_1, x_2, x_3 \dots \dots$

$$x_1 = x, \quad x_2 = y, \quad x_3 = x^2, \quad x_4 = xy, \quad x_5 = y^2, \quad x_6, \dots$$

其余按多项式 $z = a_0(x+y) + (x+y)^2 + (x+y)^3 + (x+y)^4 + \dots$ 展开项类推。

$\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i = x_i, y_i, z_i$ 的平均值。

x = 地理横座标; y = 地理纵座标; z = 奥陶系顶面标高或煤系、煤层厚度。

用电子计算机求出1~4次待定系数 a_0, a_1, a_2, \dots , 得1~4次趋势面方程。

5. 将各观测点的座标值代入已求得的各次趋势方程，求各观测点的标高趋势值，并以各观测点的实测标高值减趋势值，求各观测点的偏离值。根据已求得的趋势值和偏离值作1~4次趋势面（图1, 2, 3, 4）和残差值等值线图。

6. 为清晰显示每次趋势值的变化, 分析不同等级构造的形变特征, 将四次趋势值依次相减, 得差值趋势面图(图 5, 6, 7, 8)。其中图 8 为四次减一次差值趋势图, 反映二次

减一次，三次减二次和四次减三次，即图 5，6，7 的迭加形态。

用一个公式表示即：

$$(\hat{z}_{4i} - \hat{z}_{1i}) = (\hat{z}_{4i} - \hat{z}_{3i}) + (\hat{z}_{3i} - \hat{z}_{2i}) + (\hat{z}_{2i} - \hat{z}_{1i}),$$

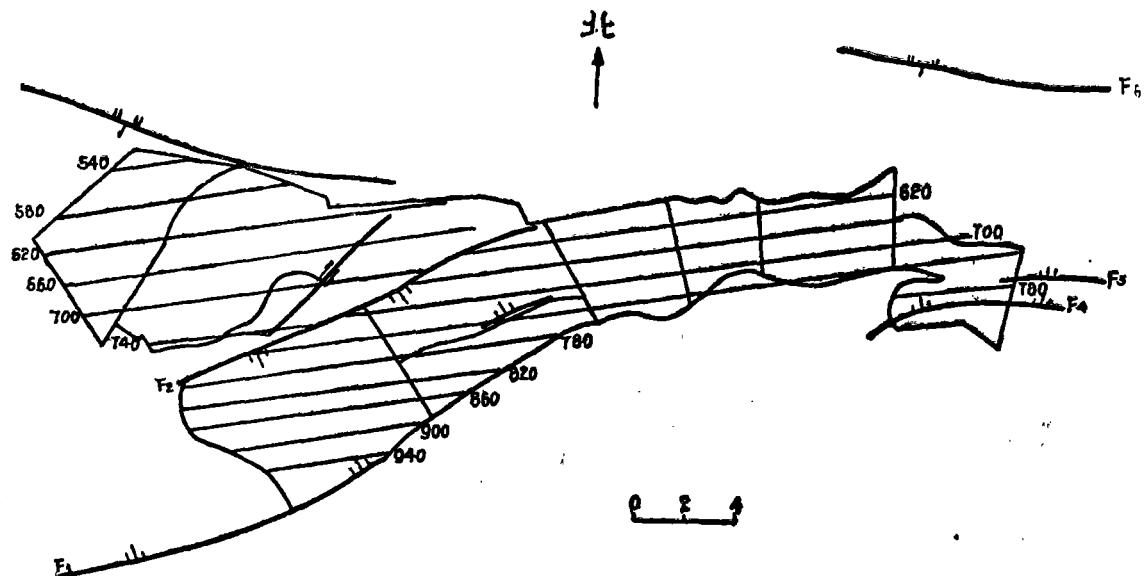


图1、奥陶系顶面一次趋势面图 (标尺比例尺单位为公里)

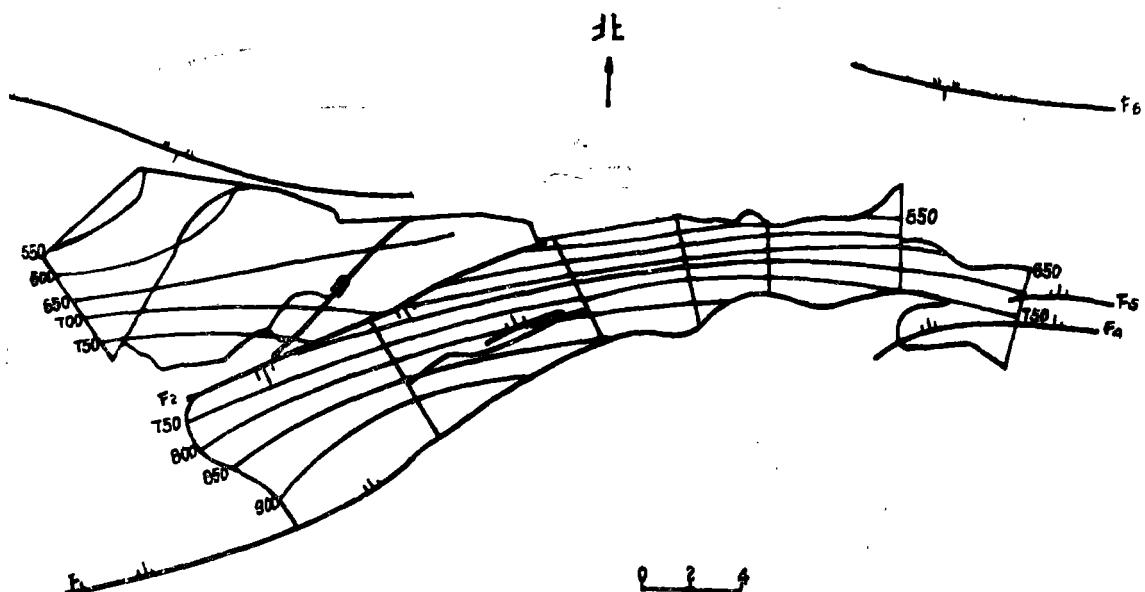


图2、奥陶系顶面二次趋势面图 (标尺比例尺单位为公里)

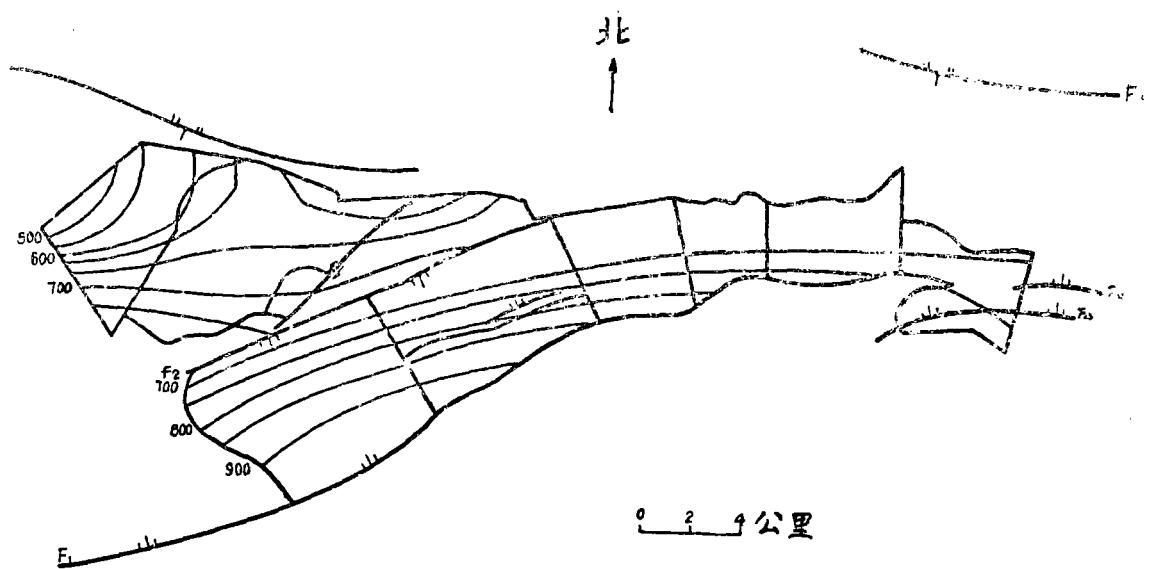


图3、奥陶系顶面三次趋势面图

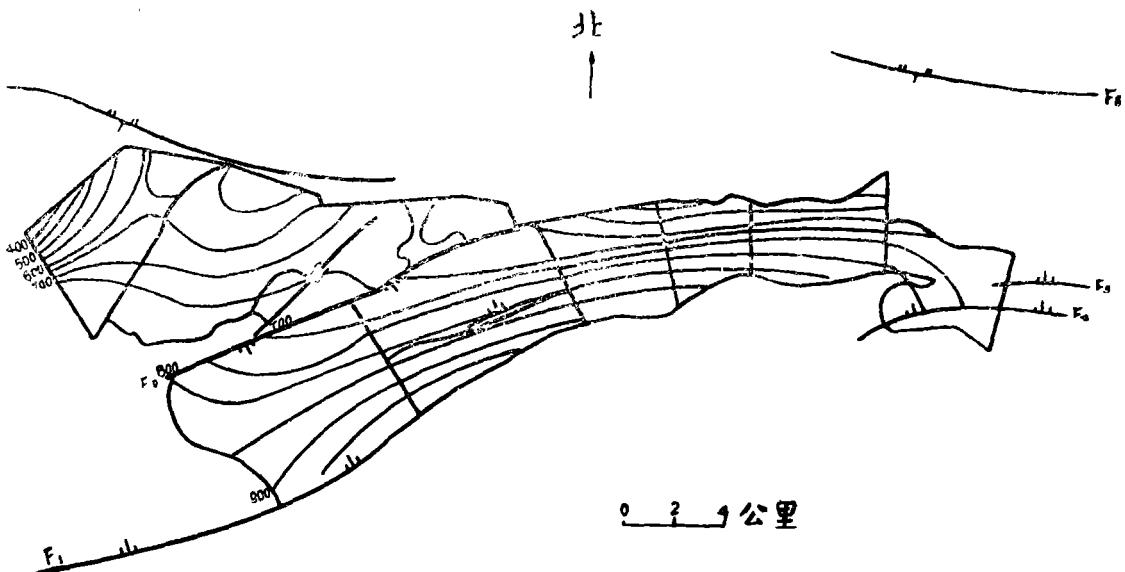


图4、奥陶系顶面四次趋势面图

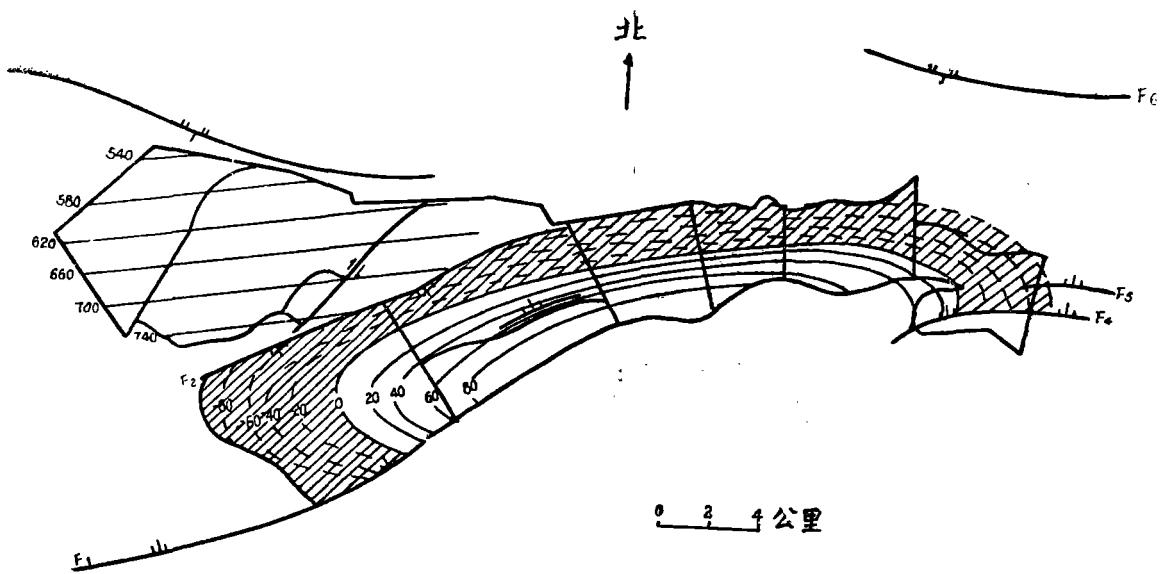


图 5、南网二次减一次及北网一次差值等值线趋势面图
斜线表示负向区，空白表示正向区。下同。

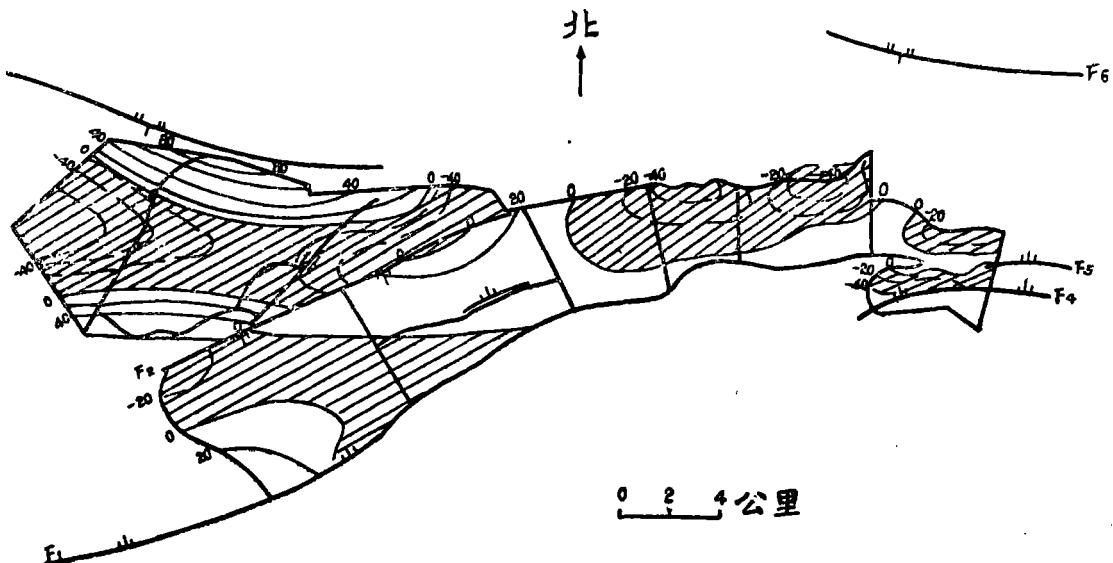


图 6、南网三次减二次差值趋势面及北网二次减一次差值趋势面图

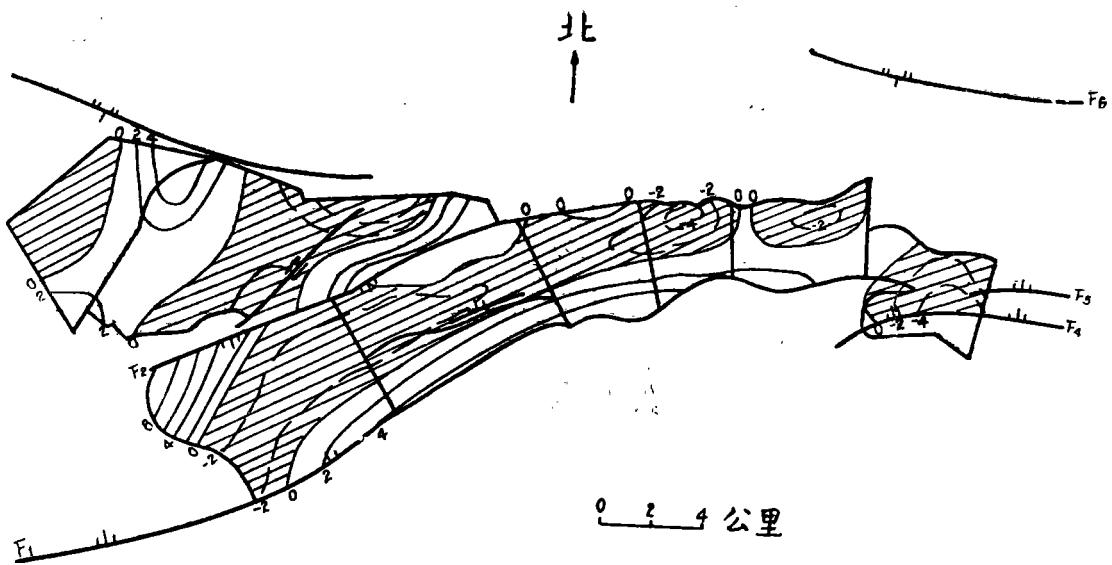


图7、南网四次减三次及北网三次减二次差值趋势面图

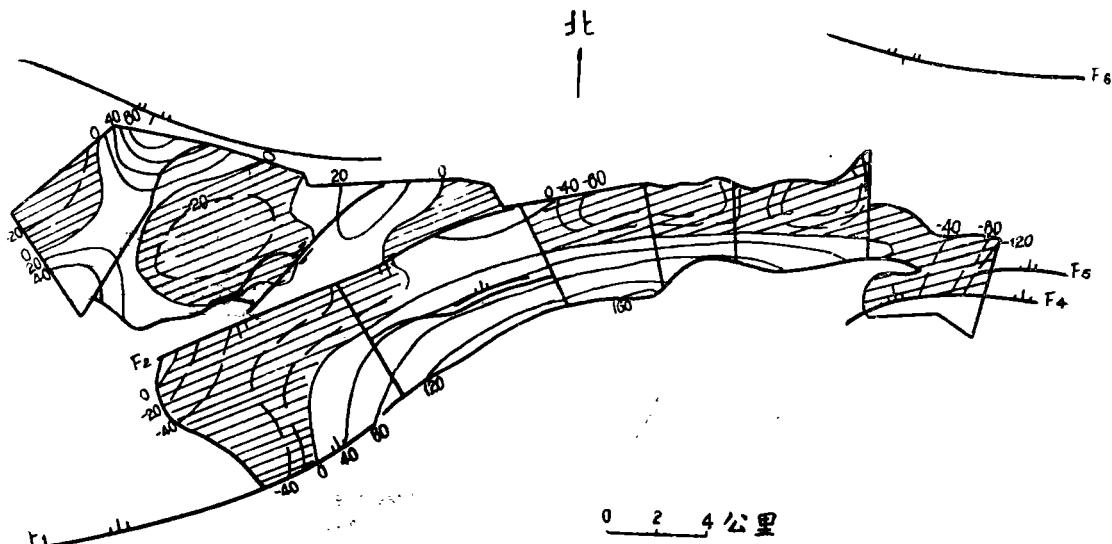


图8、奥陶系顶面四次减一次差值趋势面图

三、矿区构造特征与控煤作用

通过上述分析结果表明：

(一) 本区奥陶系顶面一次趋势面是一个走向北 80° 东的均斜平面(图1)。二次趋势面在南部是一个微向北凸的曲面，北部是个微向西凹的曲面(图2)。三次趋势面在南部东端向南偏转，西部向北偏转。北部在东西两端出现脊形(图3)。四次趋势面已基本接近奥陶纪灰岩顶面等高线的轮廓(图4)。每次趋势面之间的变化用差值趋势面表示。南网二次与一次趋势面之差成北东向展布，三次与二次趋势面之差成东西向展布，四次与三次趋势面差值趋势面走向呈南北向展布(主要在东西两端)。北网二次与一次趋势面之差成东西向，三次与二次趋势面之差呈南北向，四次与三次趋势面之差仍为南北向。南网与北网同级次趋势面相比，虽然反映的构造方向不同，这主要是两个网的大小与所处构造部位不同所致。两者同方向构造出现的序次仍然是相同的。因此，如果我们将南北两个网按构造方向进行拼接，可以得到图5，6，7。

图5由南网二次减一次差值趋势面与北网一次趋势面组成，主要反映北东向构造轮廓。北网一次趋势面反映北东向背斜西北翼的局部产状。图6由南网三次减二次差值趋势面与北网二减一次差值趋势面组成，主要反映东西向构造的轮廓。图7由南网四减三次差值趋势面与北部三减二次差值趋势面组成，主要反映南北向构造的轮廓。根据以上构造线作构造纲要图(图9)，即可看出本区构造的基本格架是：

1. 本区基本是一个走向北东的单斜，这个单斜的平均坡度，南网每100米下降4米；北网每100米下降3米。南网一次拟合度为60.8%，北网一次拟合度为47.6%。单斜坡度南陡北缓，南网次级构造简单，更接近于一个单斜的形态。

2. 在这个单斜基础上的一级构造是一个北东东向的背斜。背斜的轴部位于矿区南缘，南翼有 F_1 断层切割，北翼有 F_2 断层切割。断层走向与该背斜轴向略有交角。断层性质根据图9上的 F_2 断层两侧构造线的位移情况推测，应为张扭性，在这个背斜上的二、三级构造为东西向与南北向褶皱。

3. 构造类型按构造方向与生因联系大致可以分为三组。一组为东西向，一组为南北向，另一组为北东向。前两组均以褶皱形态为主，翼部伴生次级正断裂，北东向的一组包括北东东向褶皱、北东向断层及北西西向断层。北东向断层为张扭性，北西西向断层为压扭性，从

区域地质及应力场分析，可能同属一个构造体系。

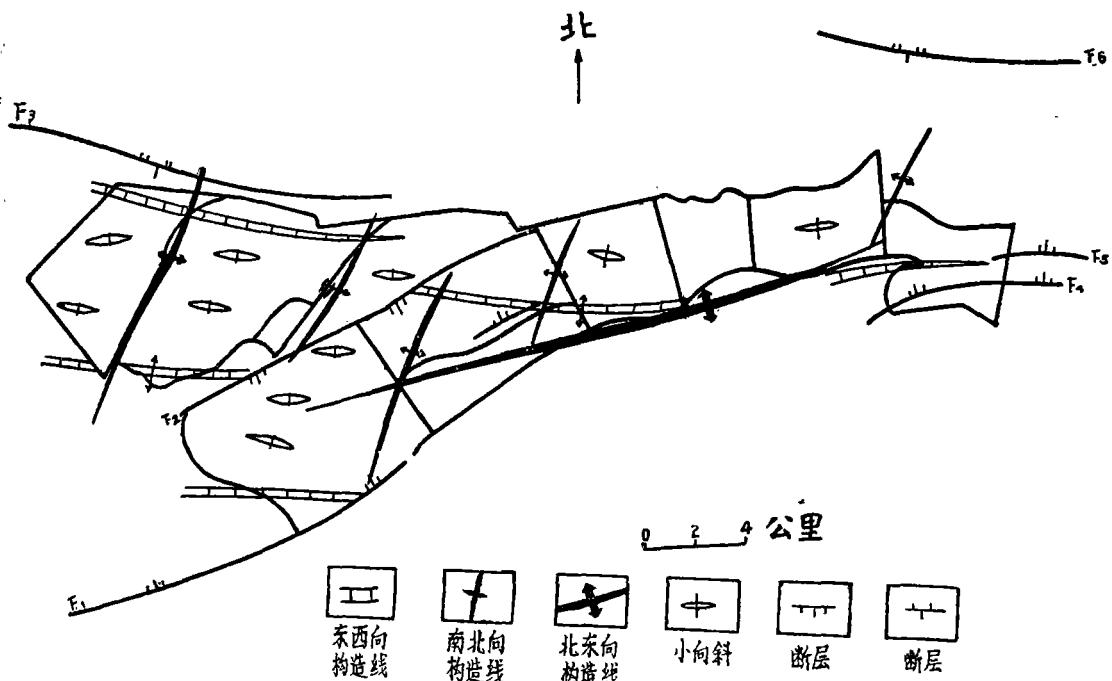


图9、铜川矿区构造纲要图

(二) 除以上几组主要构造以外的局部构造(即通过四次趋势面尚不能反映的残留构造)，通过四次残差差值等值线图(图10)来看，同样是有规律可寻的。他们表现的形态以短轴向斜为主，他们分布的部位多在东西向与南北向两组向斜的轴部。特别是在两组向斜复合的部位最多。他们排列的形式是：东西成行，南北成列。如果我们以拟合度作为衡量局部构造复杂程度的标准，那么，他们在地区上的分布特点是：北网四次拟合度为75.65%，南网四次拟合度为87.24%。拟合度差的几个井田主要集中在矿区的西北部。其次在王石凹、李家塔与东坡三个井田。拟合度最好的地区在金华山矿至鸭口矿一带。这说明：

1. 本区局部构造主要受东西向与南北向两组构造的控制。在两组构造复合的部位最复杂。
2. 正值区拟合度较好，局部构造简单，负值区拟合度较差，局部构造比较复杂。向斜部分是不稳定地区。
3. 局部构造主要以短轴向斜或者箱状向斜的形式出现，反映了矿区背斜宽缓，向斜狭陡的特点。
4. 局部构造在区域上的展布，以矿区西部最复杂，东区较简单，金华山至鸭口矿一带为

最简单。

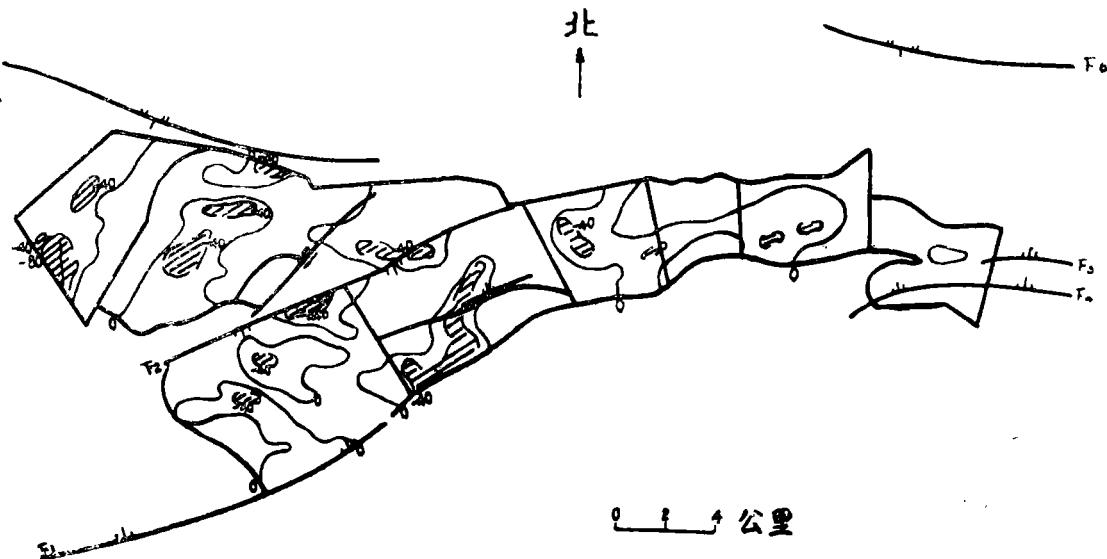


图10、奥陶系顶面四次残差值等值线趋势面图

(三)三组构造的生成序次，通过构造趋势面、太原群厚度趋势面与岩相图对照分析，表现出如下关系：

1. 太原群厚度趋势面主要成东西带状展布(图11)，与反映东西向构造的(图6)相对应。在平面上反映背斜部位的正值区，太原群厚度较小；反映向斜部位的负值区，太原群厚

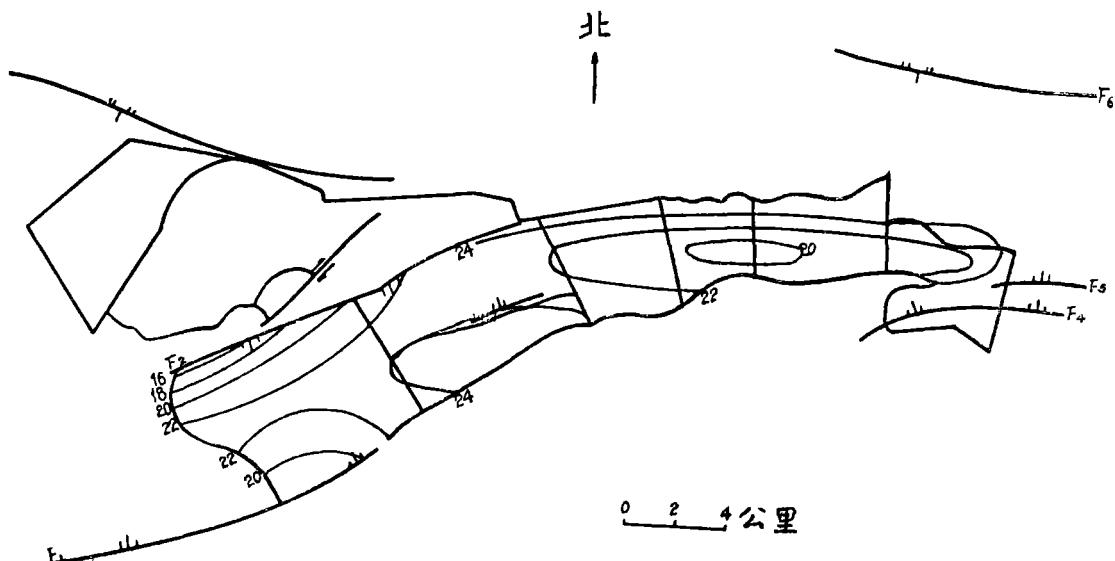


图11、太原群厚度四次趋势面图

度较大。在垂向上，如果我们以X轴代表差值趋势值，以Y轴代表太原群厚度趋势值，他们的相关曲线大致呈一个指数曲线的形式（图12）。

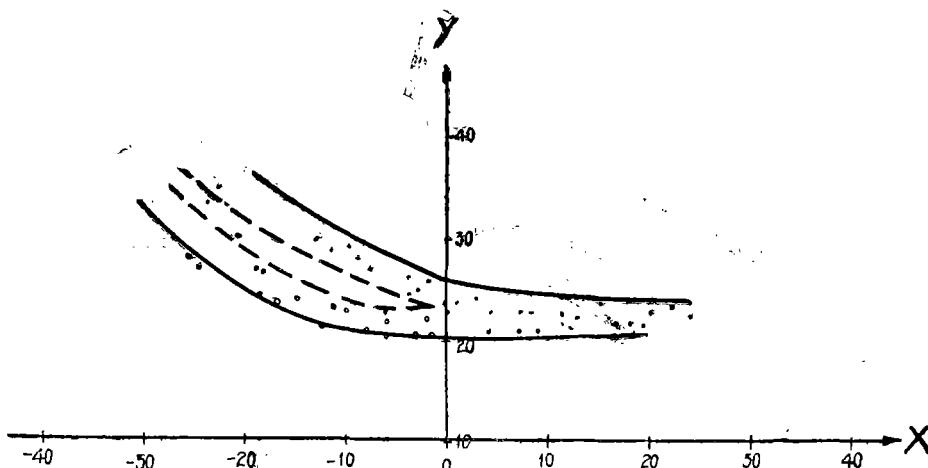


图12 太原群厚度与差值趋势面（图6）关系曲线

图12中的黑点表示王石凹和东坡井田的相关点，白点表示金华山和鸭口井田一带的相关点。两条曲线虽不平行，但基本相似。两者都反映背斜沉积较薄、向斜沉积较厚、背斜部位厚度变化较小、向斜部位厚度急剧增加的特点。两者的差别只是：背斜部分厚度变化差异较小，向斜部分厚度变化差异较大。说明东西向构造是一组较老的同沉积构造，对煤系沉积有明显控制作用。从沉积特点看，背斜部分沉积物薄而稳定，向斜部分急剧加厚，变化较大，很可能为断陷盆地。

2.南北向构造与建造的关系，由于南北向构造发育的桃园至三里洞井田太原群厚度受到冲刷影响，已无法利用厚度趋势面进行验证。但从构造图与岩相图的对照关系可以看出，南北向构造与东西向构造一样，都是控制含煤建造的主要因素。

南北向与东西向两组构造相比，在趋势图上，南北向构造的方向性与延续性较强，似有切割东西向的迹象。表明在形成时间上当较东西向为晚，是一组既控制建造又控制改造的构造。

3.北东向构造既不控制建造，又明显切割东西向与南北向两组构造（图9）。在生成序次上，当较以上两组为新，是后期改造的主要地质因素。

4.三组构造迭加后的综合形态，根据四次减一次差值趋势面分析结果（图8）如下：

矿区东部以东西向构造为主，南北向构造次之。矿区西部南北向构造为主，东西向次之。

东西与南北向两组构造复合的结果，形成类似棋盘格式的格局。在两组背斜复合的部位，形成短轴背斜，在两组向斜复合的部位形成短轴向斜，在背斜复合的部位形成马鞍状构造。

(四) 煤层总厚的四次趋势面变化同样是东西向与南北向带状展布(图13)。厚带与图6的负向带对应，薄带与图6的正向区对应。如果我们以X轴代表构造的正负向区，正向表示背

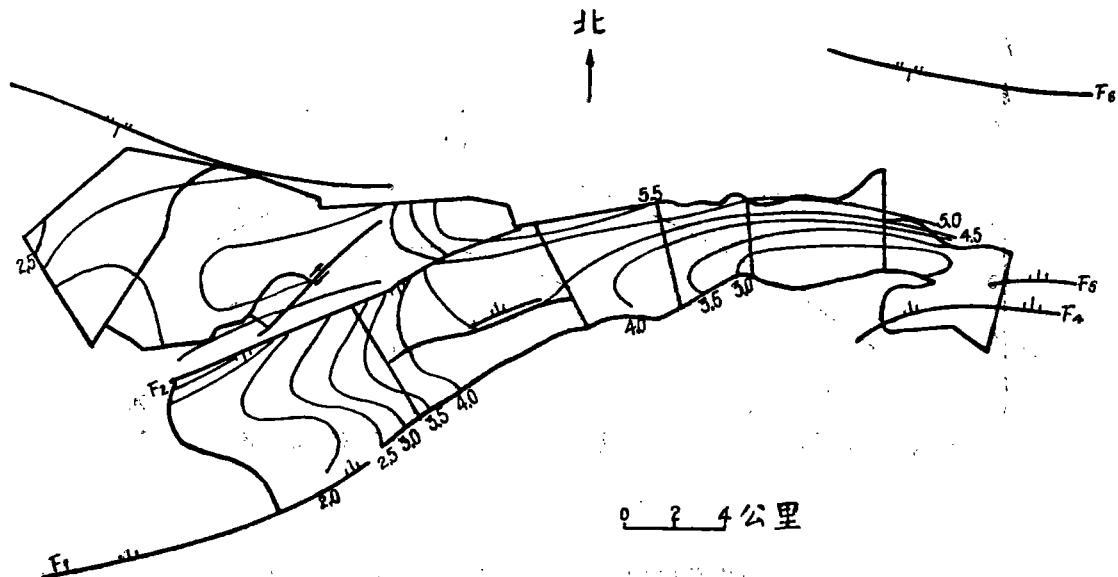


图13、太原群煤总厚四次趋势面图

斜，负向表示向斜。以Y轴表示含煤总厚趋势值，那么，煤总厚与东西向构造的关系曲线同样是指数曲线的形式(图14)。

以上情况说明在向斜部位太原群增厚，含煤性增高。背斜部分太原群变薄，含煤性降低。向斜部分是最有利于煤层富集的部位。但就单一煤层而言，根据我们对矿区东部六个井田的资料统计，太原群煤总厚与单煤层厚的关系并非直线，而是一个平缓的抛物线(图15)，其中五号煤我们作了

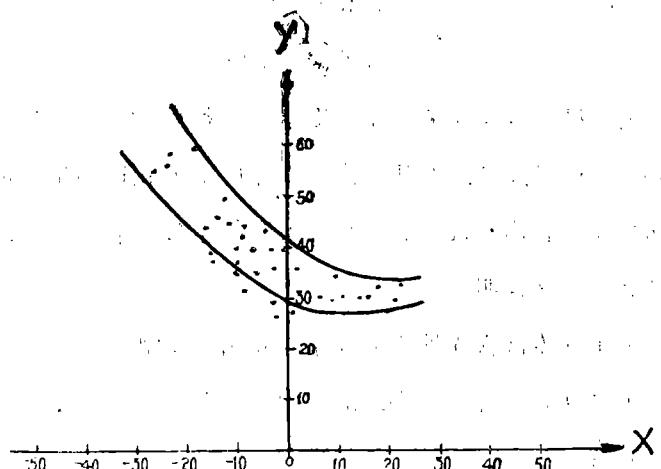


图14、太原群煤系厚与差值趋势面(图6)关系曲线图

338个点的回归分析，其方程式为：

$$y_i = -0.012 + 0.734x_i - 0.009x_i^2 - 0.191x_i^3$$

式中

x_i —太原群煤总厚

y_i —五号煤单一层厚

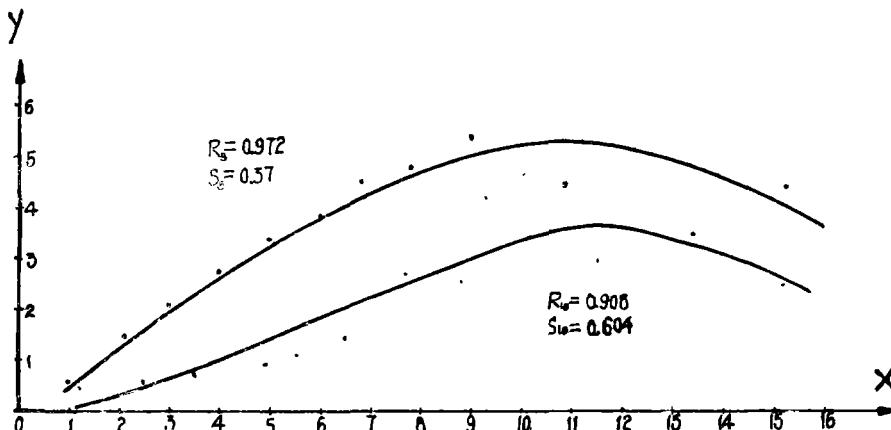


图15、太原群煤系厚分别与五、十号煤层厚度关系曲线

上式极大值为5米，开始随煤总厚增加而增加。随后，随煤总厚的增加而变薄。拟合度在4米以下最好，超过4米，拟合度较差。

对十号煤我们作了216个点的回归分析，其方程式为：

$$y_i = -0.002 + 0.011x_i + 0.763x_i^2 - 0.429x_i^3$$

式中

x_i —太原群煤总厚

y_i —十号煤单一层厚

上式极大值为3米，开始随煤总厚增加而增加，随后随煤总厚增加而减薄，拟合度在1.5米以下较好，1.5米以上较差。与五号煤相比，两条曲线极相类似，两条曲线都在煤总厚为10米左右时达到极大值。两者的拟合度都在煤总厚为7~8米以下处较高，8米以上，拟合度较差。这说明：

(1) 本区含煤性主要受东西向构造控制；

(2) 构造沉降中心：沉积中心和富煤中心一致。东西、南北向两组构造的负向区最有利于成煤。

(3) 单煤层在凹陷幅度不大的向斜或大型背斜翼部靠向斜的部位最好；在凹陷幅度大

的向斜部位，煤层分叉变薄。

(4) 与太原群厚度的沉积特点相同，向斜部位煤层数多，厚度大，但不稳定，反映了向斜部位的确是差异性活动较强的地区。

四、几点体会

1. 趋势面分析是运用数学方法解决地质问题的一种分析方法，它本身具有较严密的逻辑性，可以起到一般等值线法所起不到的作用。但是，由于地质因素的多变和复杂性，所以，我们在运用趋势面分析时，还要结合该区的地质情况具体分析，具体对待。比如，对于构造形态的确定，既要考虑趋势面所显现的形态，又要结合周围地质点的产状要素。因为，趋势面分析，我们只考虑了标高在二维空间的变化，这个标高的变化既可以是褶皱的影响，又可以是断层的影响，也可以是地形的影响。如果我们不结合其他因素作具体分析，就可能造成判断上的错误。

2. 要根据研究对象和目的来选择计算范围、观测点密度和计算阶次。比如，要对大型构造作粗略了解，可以把计算范围放大，观测点减少，阶次也可以低一些。要研究局部构造的细部变化，就要尽可能将计算范围缩小，观测点加密，阶次提高。这样可以简化计算，提高逼近的速度。比如，桃园向斜用大网计算时求至四次才有显示，但用小网计算二次趋势面拟合的就很好。所以，在矿区构造轮廓已经基本了解的情况下，为了更准确地反映其局部变化，可以采用分区计算，整体拼接的办法来提高逼近度。

3. 在计算范围较大、构造宽缓的地区，趋势值的变化很不显著时，用差值趋势面是个很好的办法。这样可以更清晰、更直观地了解地质变量的趋势变化和控制因素。

4. 在研究褶皱形变时，应尽可能排除断层的影响，断层比较大的地区，可以断层为边界，分段计算，然后拼接起来，分析全体的趋势变化。这样做不致歪曲褶皱的形态，也有利于分析研究构造之间的复合关系和生成序次。

※

※

※

※

※

趋势面分析对我们来说是第一次接触，在方法上和认识上肯定会有不少问题，不妥之处请予批评指正。在这次工作中，北京煤炭科学研究院计算室给予我们很大帮助，在此表示衷心感谢。