

2011 高教社杯全国大学生数学建模竞赛

承 诺 书

我们仔细阅读了中国大学生数学建模竞赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们参赛选择的题号是（从 A/B/C/D 中选择一项填写）：_____ A _____

我们的参赛报名号为（如果赛区设置报名号的话）：_____ ZJF092689 _____

所属学校（请填写完整的全名）：_____ 浙江大学 _____

参赛队员（打印并签名）：1. _____ 王耀 _____

2. _____ 李欣 _____

3. _____ 王子佳 _____

指导教师或指导教师组负责人（打印并签名）：_____

日期：2011年 9 月 12 日

赛区评阅编号（由赛区组委会评阅前进行编号）：

2011 高教社杯全国大学生数学建模竞赛

编号专用页

赛区评阅编号（由赛区组委会评阅前进行编号）：

赛区评阅记录（可供赛区评阅时使用）：

评阅人										
评分										
备注										

全国统一编号（由赛区组委会送交全国前编号）：

全国评阅编号（由全国组委会评阅前进行编号）：

城市表层土壤重金属污染分析

摘 要

本文主要是由采样数据对该城市八种重金属元素污染的程度进行分析。首先我们对采样数据进行预处理，主要是修改异常数据和利用 QQ 图做正态性检验。

然后对第一问我们对八种重金属含量分成五段分别来表示不同的浓度，再用 Matlab 软件根据取样点的坐标，做出各种重金属元素的空间分布图，并用不同的颜色表示重金属元素的浓度（图中重金属浓度由高到低分别用黑、蓝、红、黄、绿表示）。

第二问为确定污染原因，我们从两方面来分析，一方面利用 Excel 对五种功能区作单因子方差分析，得出不同功能区的污染程度有非常显著性的差异，并得到绝大多数都是由于工业污染造成的；另一方面，求出它们的尼梅罗综合评价指数也说明绝大多数都是由于工业污染造成的。

第三问为找出传播特征和确定污染源，我们主要是利用地统计学的半方差函数（或称变异函数）模型，先通过 GS+V9.0 软件拟合估计出半方差函数的三个参数，并由此确定各重金属污染的传播特征，再进行克里格插值来推出它们的污染源，另外我们还求出各种重金属元素以及海拔间的相关系数，从相关性的角度说明它们的传播特征和污染源的确定。

最后说明该模型的缺点以及需要改进的地方。

关键词： 正态性检验；单因子方差分析；半方差函数；克里格插值；

一、 问题提出

随着城市经济的快速发展和城市人口的不断增加，人类活动对城市环境质量的影响日显突出。对城市土壤地质环境异常的查证，以及如何应用查证获得的海量数据资料开展城市环境质量评价，研究人类活动影响下城市地质环境的演变模式，日益成为人们关注的焦点。

按照功能划分，城区一般可分为生活区、工业区、山区、交通区及公园绿地区等，分别记为1类区、2类区、……、5类区，不同的区域环境受人类活动影响的程度不同。

现对某城市城区土壤地质环境进行调查。为此，将所考察的城区划分为间距1公里左右的网格子区域，按照每平方公里1个采样点对表层土（0-10厘米深度）进行取样、编号，并用GPS记录采样点的位置。应用专门仪器测试分析，获得了每个样本所含的多种化学元素的浓度数据。另一方面，按照2公里的间距在那些远离人群及工业活动的自然区取样，将其作为该城区表层土壤中元素的背景值。

附件1列出了采样点的位置、海拔高度及其所属功能区等信息，附件2列出了8种主要重金属元素在采样点处的浓度，附件3列出了8种主要重金属元素的背景值。

现要求你们通过数学建模来完成以下任务：

- (1) 给出8种主要重金属元素在该城区的空间分布，并分析该城区内不同区域重金属的污染程度。
- (2) 通过数据分析，说明重金属污染的主要原因。
- (3) 分析重金属污染物的传播特征，由此建立模型，确定污染源的位置。
- (4) 分析你所建立模型的优缺点，为更好地研究城市地质环境的演变模式，还应收集什么信息？有了这些信息，如何建立模型解决问题？

二、 问题分析

本文对该城市八种金属元素污染程度的分析，首先是主要将异常的数据进行处理，我们采用统计中常用的原则，即以采用数据超出 $A \pm 3S$ 范围的为异常数据，其中 A 、 S 分别为采用数据中各重金属的样本均值和样本标准差。当采用数据大于 $A+3S$ 时，以 $A+3S$ 代替；当采用数据小于 $A-3S$ 时，以 $A-3S$ 代替。然后利用SPSS作QQ图做正态性分析。处理完数据之后，再利用Matlab软件根据取样点的坐标，做出各种重金属元素的空间分布图，并用不同的颜色表示重金属元素的浓度，从而解决第一问。

对于第二问为确定重金属污染的主要原因，我们对城市五种不同的功能区进行八种重金属污染指数的单因子方差分析，分析这五种功能区的污染程度是否有显著性差异，若差异很显著，则主要看是那个因子（即功能区）影响最大，从而确定污染的原因，另一方面比较这八种元素在不同功能区的尼梅罗综合指数，找出最低最高的尼梅罗综合指数，从而根据该数据也可以得到第二问的答案。

对于第三问，为分析出重金属污染物的传播特征，并由此确定污染源的位置，我们主要根据地统计学半方差函数模型和克里格插值法来做的。其总的思想就是根据已知采样点提供的信息拟合半方差函数，然后根据该函数对未知点进行估计和模拟。因此，半方差函数是我们利用的主要工具，一方面，利用半方差函数对重金属的空间分布进行结构分析和变异性分析，并由此得出重金属污染物的传播特征；另一方面应用前面分析的结果，利用克里格法进行估值，并由此对其它未知点污染程度进行预测得出图形，并由此确定污染源（污染最严重的区域）。当然为了更好地确定传播特征和污染源的位置，我们对各重金属元素和海拔的相关性分析，通过数据不难看出他们的传播特征在一定程度上也相似，但是也有些相关性相对较弱，如 As 和 Cd，说明他们的传播特征有一定的区别。但总体上，重金属的含量之间都是正相关的，说明所有重金属的传播有一定的共同点。而所有重金属的含量与海拔之间都是负相关的，说明，随着海拔越低，他们的重金属含量越高，表明重金属的传播向下沉。

最后对所建模型进行评价和改进。

三、模型的假设

- 1) 假设所有数据都是真实可靠的；
- 2) 假设污染源为重金属含量最高的地方；
- 3) 假设问题三中重金属含量是平稳的，即假设第三问中半方差函数的值只与距离 h 有关，而与其他无关。

四、符号说明

□：在图中表示工业区；

○：在图中表示生活区；

+

：在图中表示交通区；

△

：在图中表示山区；

☆

：在图中表示公园绿地区；

$r(h)$ ：变异函数；

$N(h)$ ：是分隔距离为 h 时的所有观测样本对总数；

C_0 ：为块金常数；

C ：为拱高；

a ：为变程。

五、 模型建立与求解

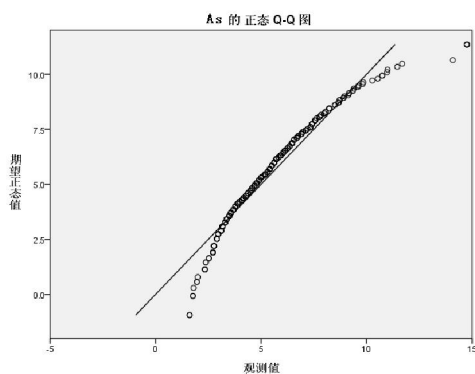
(一) 采样数据的预处理

(1) 对异常数据的处理

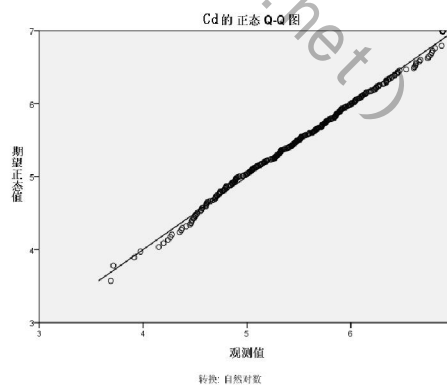
异常数据值在第三问中对重金属污染的空间变异特性有很重要的影响，会影响变异函数理论模型的精度。我们采用统计中常用的 3σ 原则，即以采用数据超出 $A \pm 3S$ 范围的为异常数据，其中 A 、 S 分别为采用数据中各重金属的样本均值和样本标准差。当采用数据大于 $A+3S$ 时，以 $A+3S$ 代替；当采用数据小于 $A-3S$ 时，以 $A-3S$ 代替。

(2) 对采用数据的正态性检验

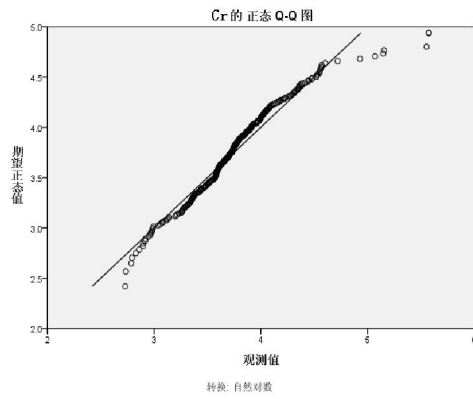
本文的第二问的各功能区重金属污染的单因子方差分析和第三问的重金属传播的空间变异特征的研究模型都是基于正态分布的，因此有必要对八种重金属元素污染的样本数据进行正态分布检验。本文采用的是利用SPSS软件的QQ图来检验他们是否服从正态分布（若样本数据基本近似于在一条直线上就服从正态分布），若不服从正态分布，则对试验数据进行对数转换，看是否服从正态分布。经过反复比较，本文八种重金属中，As直接符合正态分布，其它七种重金属Cd、Cr、Cu、Ni、Hg、Pb、Zn经对数转化后服从正态分布。它们的QQ-PLOT图如下：



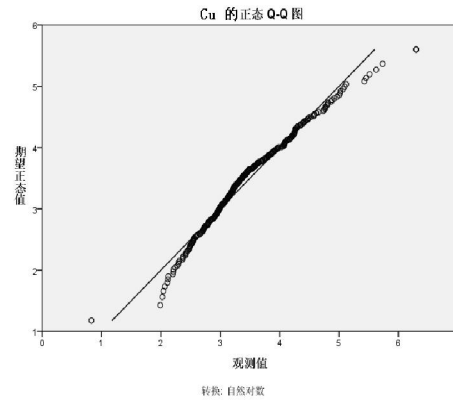
As的正态检验QQ图1



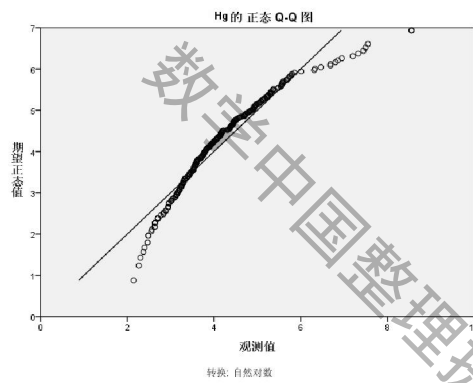
Cd的正态检验QQ图2



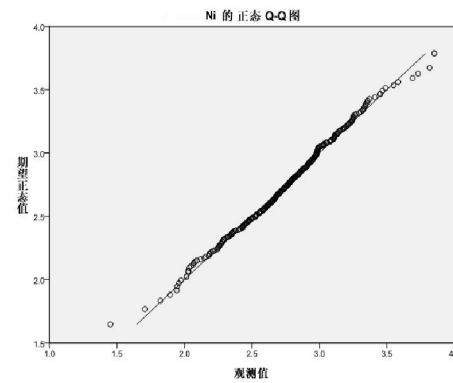
Cr 的正态检验 QQ 图 3



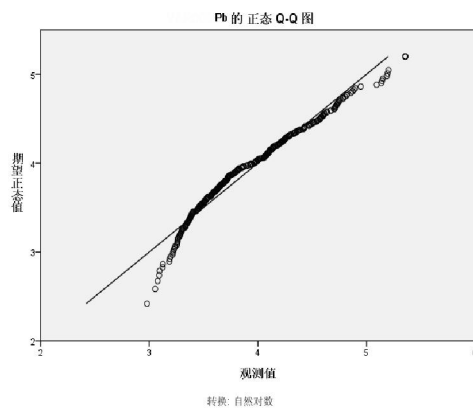
Cu 的正态检验 QQ 图 4



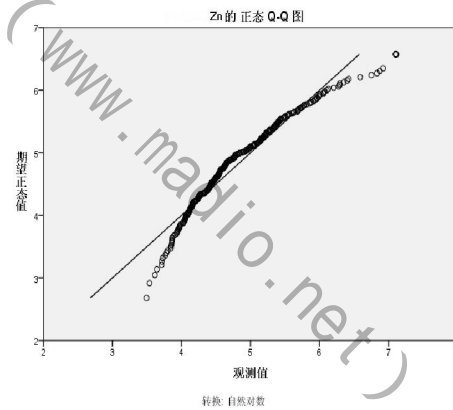
Hg 的正态检验 QQ 图 5



Ni 的正态检验 QQ 图 6



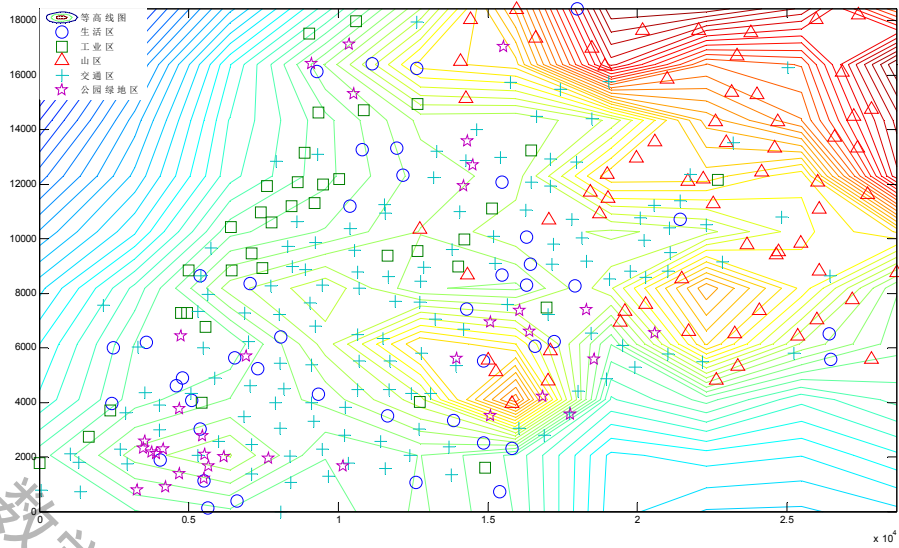
Pb 的正态检验 QQ 图 7



Zn 的正态检验 QQ 图 8

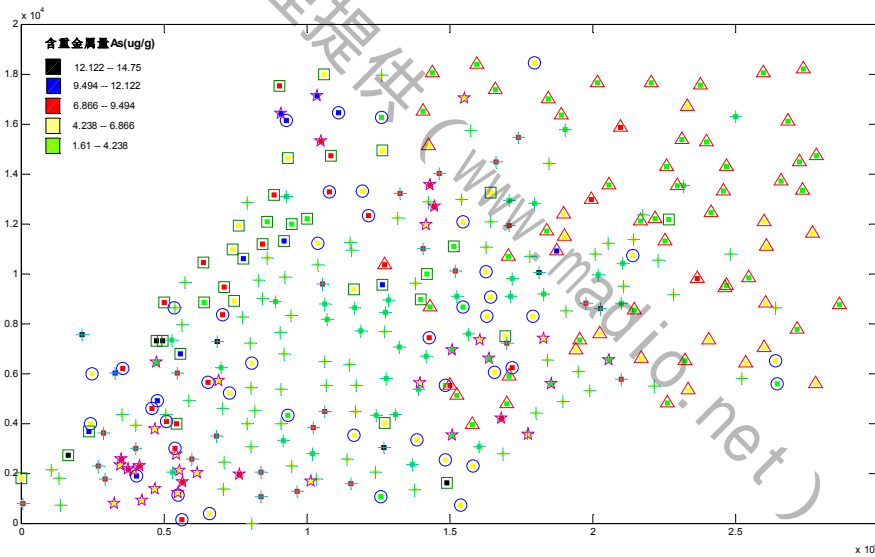
(二) 问题 (1) 模型的建立与求解

首先, 根据附件一的样本, 我们 Matlab 编程可以由此作出该城市城区的样本取样点图, 并标出这些样本点所属的不能功能区 (如图 9)。为了标出重金属元素在该城区的空间分布, 并在不同区域重金属的污染程度, 现对这八种重金属的样本等分成 5 组, 分别用不同的颜色标注它们的污染程度, 具体如下。



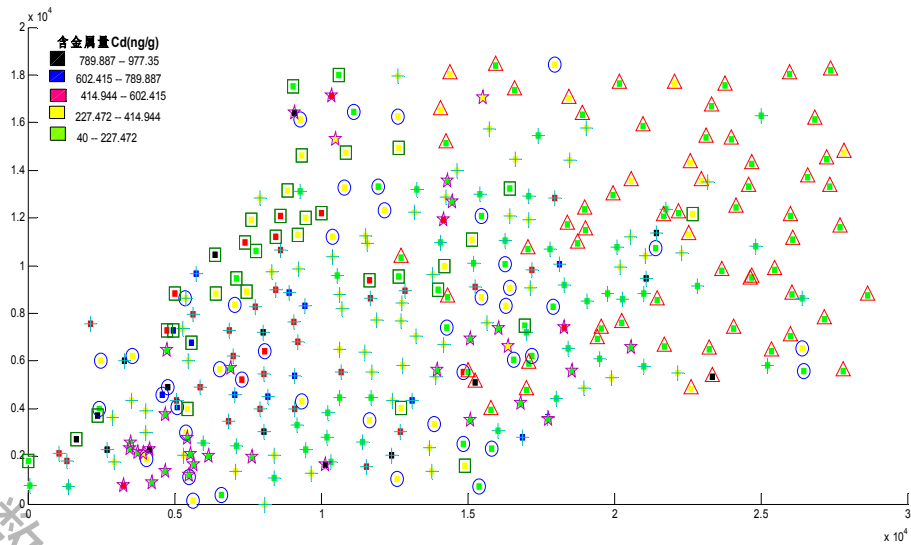
样本点所属不能功能区 图 9

(1)As 的含量范围 1.61~14.75ug/g, 由 As 的空间分布结构图可以看出(如图 10), As 污染最严重的地方主要在地图的左下方的地区, 特别是工业区。



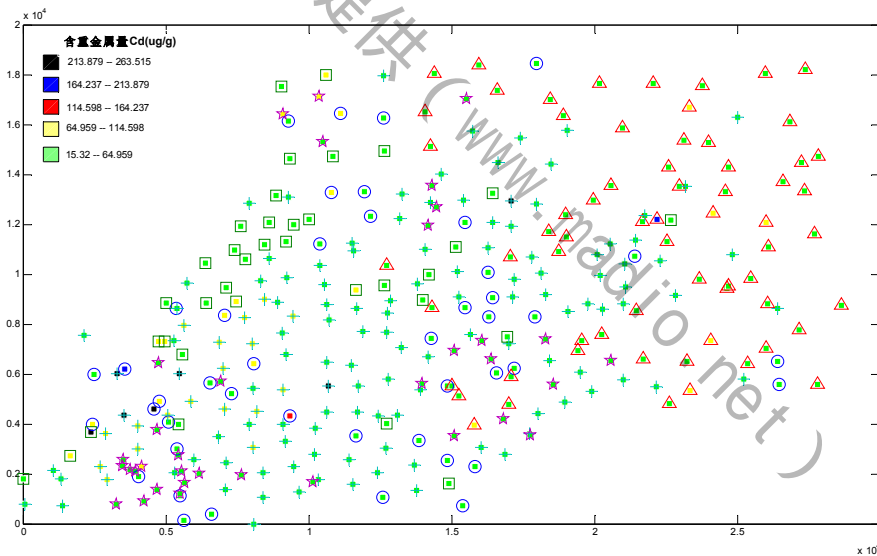
土壤重金属元素 As 含量空间分布图 10

(2)Cd 的含量范围为 40~977.359ng/g, 由 Cd 的空间分布结构图可以看出 (如图 11), Cd 污染最严重的地方主要分布在地图的左下图, 特别是工业区和生活区, 说明 Cd 的含量高主要由人类活动造成的和工厂产生的废弃物。



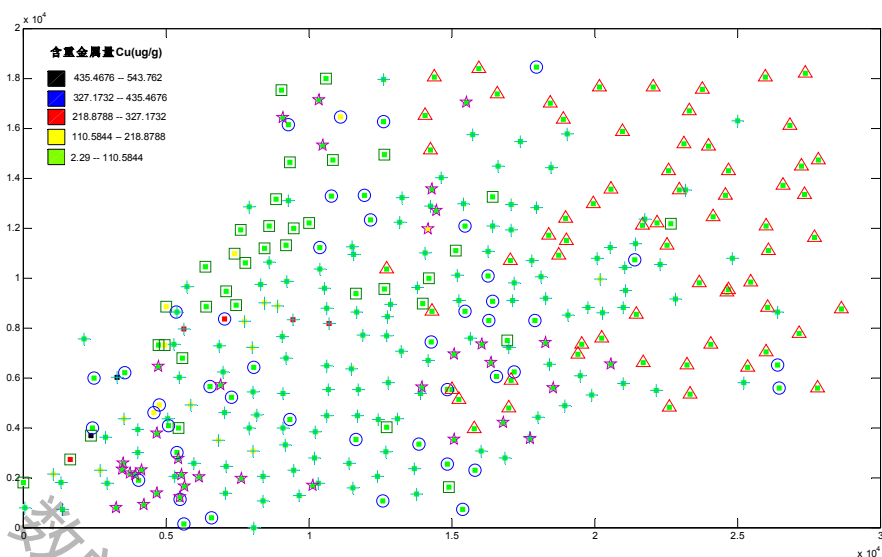
土壤重金属元素 Cd 含量空间分布图 11

(3) Cr 含量的范围在 15.32~263.515 $\mu\text{g/g}$ ，由 Cr 的空间分布结构图可以看出(如图 12)，Cr 污染最严重的地方主要分布在左下图，特别是生活区，说明城市市民的生活、大气降尘对重金属 Cr 的含量影响比较大。



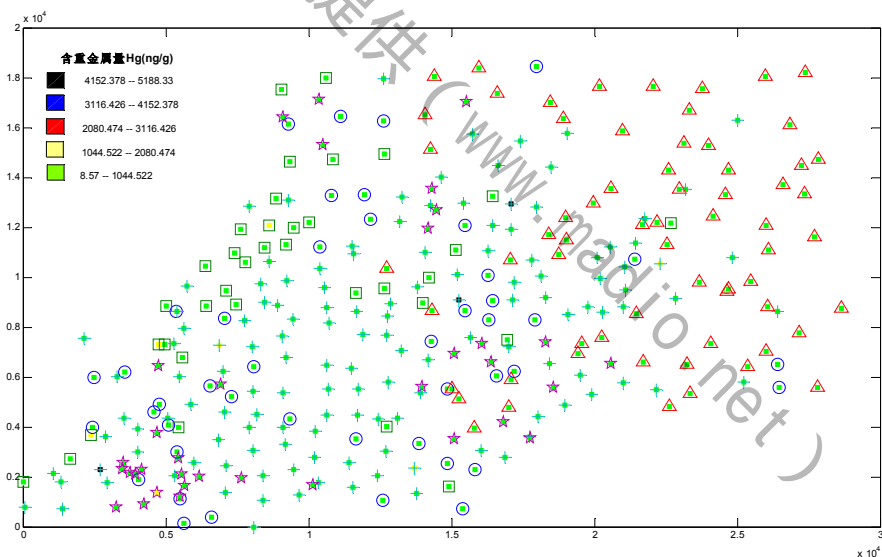
土壤重金属元素 Cr 含量空间分布图 12

(4) 重金属 Cu 的分布范围为 2.29~543.762 $\mu\text{g/g}$ ，由 Cu 的空间分布结构图可以看出(如图 13)，Cu 污染最严重的地方主要分布在地图的左下图，特别是工业区。说明 Cu 主要来源是工厂的含有重金属 Cu 的废弃物排放，而在山区和公园绿地区 Cu 的含量均在自然背景值之中。



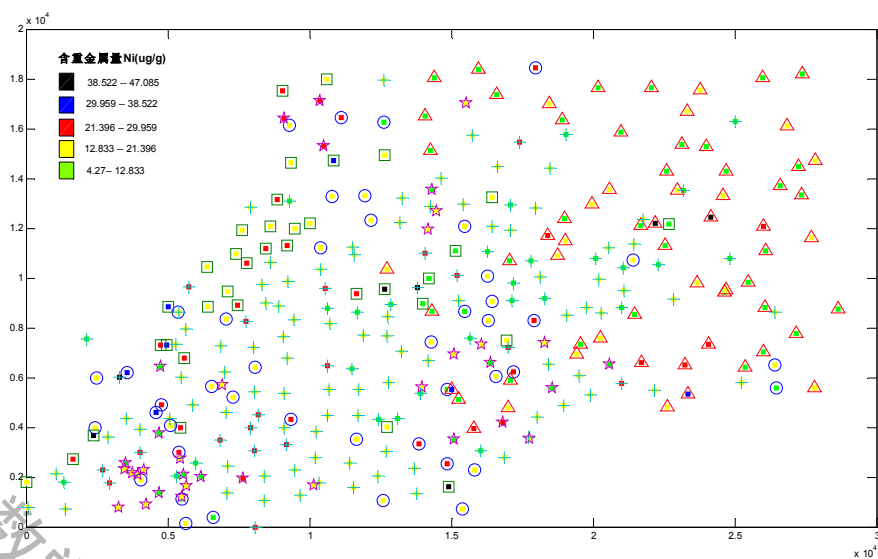
土壤重金属元素 Cu 含量空间分布图 13

(5) Hg 的含量范围为 8.57~5188.33ng/g, 由 Hg 的空间分布结构图可以看出 (如图 14), Hg 污染最严重的地方主要在地图的左方, 特别是工业区, 说明 Hg 含量较高值区域主要是工厂排放污染物造成的。



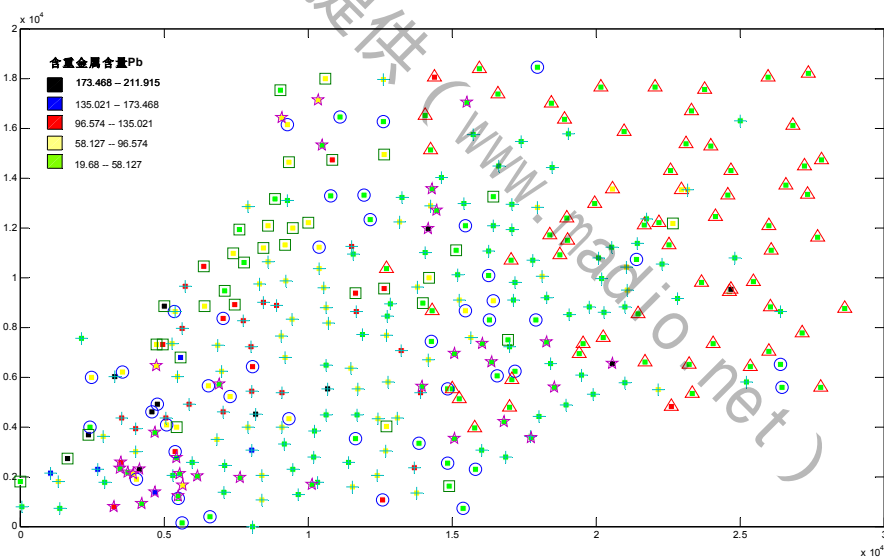
土壤重金属元素 Hg 含量空间分布图 14

(6) 重金属 Ni 的分布范围为 4.27~47.08ug/g, 由 Ni 的空间分布结构图可以看出 (如图 15)。Ni 污染最严重的地方是主要在地图中左下方, 特别是工业区。



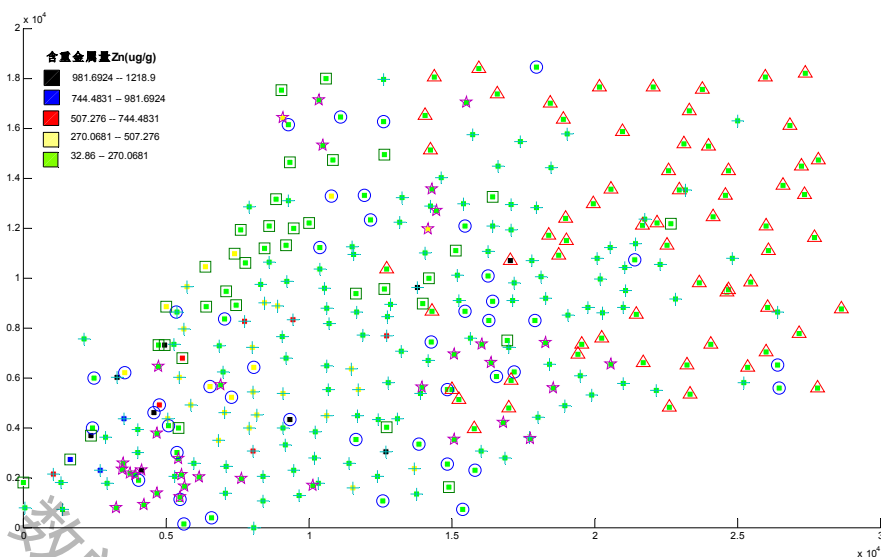
土壤重金属元素 Ni 含量空间分布图 15

(7)Pb 的含量范围为 19.68~211.915ug/g, 由 Pb 的空间分布结构图可以看出 (如图 16)。Pb 污染最严重的地方主要分布在地图的左下方, 特别是工业区和生活区。Pb 污染主要是人类活动及工厂排放污染物造成的。



土壤重金属元素 Pb 含量空间分布图 16

(8)Zn 的含量范围为 32.86~1218.9ug/g, 由 Zn 的空间分布结构图可以看出 (如图 17), Pb 污染最严重的地方主要分布在地图的左下方, 特别是工业区和生活区。这些地方 Zn 的含量高主要是因人类活动及工厂排放废水废渣引起的。



土壤重金属元素 Zn 含量空间分布图 17

(三) 问题 (2) 模型的建立与求解

(1) 样本数据的统计分析

为确定重金属污染的主要原因，我们对城市五种不同的功能区进行八种重金属污染指数的单因子方差分析，分析这五种功能区的污染程度是否有显著性差异，若差异很显著（结果表明它们的差异都很显著），则主要看是那个因子（即功能区）影响最大，从而确定污染的原因。

由表 18-1， $F=12.9115$ 远大于临界值 2.400402 ，这表明不同功能区域污染的程度有显著性差异。再由表 18-2 可以看出，工业区的 As 平均污染最高，然后是生活区和公园绿地。这说明 As 的污染主要是因为工业区工厂废水废渣的排放和居民日常生活所引起的污染。

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	261.2779	4	65.31949	12.9115	9.6E-10	2.400402
组内	1588.531	314	5.059016			
总计	1849.809	318				

As 元素单因素方差分析表 18-1

组	观测数	求和	平均	方差
生活区	44	275.9	6.270455	4.623349
工业区	36	250.2987	6.952743	11.49077
山区	66	266.91	4.044091	3.237455
交通区	138	761.5281	5.51832	4.65617
公园绿地	35	219.23	6.263714	4.094718

As 元素单因素方差分析表 18-2

由表 19-1, $F=22.94427$ 远大于临界值 2.400402, 说明不同功能区域污染的程度很显著。再由表 19-2 可以看出, 工业区的 Cd 平均污染最高, 然后是生活区和交通区。这说明 Cd 的污染主要是因为工业区工厂废水废渣的排放、居民日常生活及车辆尾气排放所引起的污染。

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	31.53984	4	7.884961	22.94427	1.2E-16	2.400402
组内	107.9083	314	0.343657			
总计	139.4482	318				

Cd 元素单因素方差分析表 19-1

组	观测数	求和	平均	方差	平均值取指数
生活区	44	242.2651	5.506025	0.324057	246.1707
工业区	36	209.5356	5.820433	0.282931	337.1178
山区	66	323.9382	4.908154	0.239614	135.3893
交通区	138	783.8392	5.679994	0.397453	292.9478
公园绿地	35	188.9252	5.397862	0.413096	220.9336

Cd 元素单因素方差分析表 19-2

由表 20-1, $F=6.982627$ 远大于临界值 2.400402, 这表明不同功能区域污染的程度有显著性差异。再由表 20-2 可以看出, 生活区的 Cr 平均污染最高, 然后是工业区和交通区。这说明 Cr 的污染主要是因为工业区工厂废水废渣的排放、居民日常生活废水废弃物及车辆尾气排放所引起的污染。

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	5.734436	4	1.433609	6.982627	2.14E-05	2.400402
组内	64.4676	314	0.205311			
总计	70.20204	318				

Cr 元素单因素方差分析表 20-1

组	观测数	求和	平均	方差	平均值取指数
生活区	44	172.3947	3.918061	0.236276	50.3028
工业区	36	137.3879	3.816331	0.252278	45.4372
山区	66	233.0103	3.53046	0.235197	34.13966
交通区	138	531.0293	3.848038	0.193729	46.90096
公园绿地区	35	130.3555	3.724442	0.107334	41.44811

Cr 元素单因素方差分析表 20-2

由表 21-1, $F=30.3027$ 远大于临界值 2.400402, 这表明不同功能区域污染的程度有显著性差异。再由表 21-2 可以看出, 工业区的 Cu 平均污染最高, 然后是生活区和交通区。这说明 Cu 的污染主要是因为工业区工厂废水废渣的排放、居民日常生活废水废弃物所引起的污染。

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	55.66202	4	13.91551	30.3027	2.47E-21	2.400402
组内	144.194	314	0.459217			

组	观测数	求和	平均	方差	平均值取指数
生活区	44	158.2633	3.596892	0.552155	36.48468
工业区	36	140.3127	3.897574	0.606267	49.28276
山区	66	178.9866	2.711918	0.275845	15.05813
交通区	138	513.9028	3.723933	0.530306	41.42702
公园绿地区	35	114.0844	3.259554	0.254413	26.03793

Cu 元素单因素方差分析表 21-2

由表 22-1, $F=9.39304$ 远大于临界值 2.400402 , 这表明不同功能区域污染的程度有显著性差异。再由表 22-2 可以看出, 工业区的 Hg 平均污染最高, 然后是生活区和交通区。这说明 Hg 的污染主要是因为工业区工厂废水废渣的排放、居民日常生活废水废弃物所引起的污染。

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	43.35704	4	10.83926	9.393904	3.49E-07	2.400402
组内	362.3123	314	1.153861			
总计	405.6694	318				

组	观测数	求和	平均	方差	平均值取指数
生活区	44	180.3423	4.098688	0.85482	60.26115
工业区	36	174.4741	4.846502	2.083813	127.2944
山区	66	234.0183	3.545732	0.335977	34.66507
交通区	138	587.6854	4.25859	1.426325	70.7102
公园绿地区	35	143.3852	4.09672	1.040488	60.14269

Hg 元素单因素方差分析表 22-2

由表 23-1, $F=5.830955$ 大于临界值 2.400402 , 这表明不同功能区域污染的程度有显著性差异。再由表 23-2 可以看出, 工业区的 Ni 平均污染最高, 然后是生活区和交通区。这说明 Ni 的污染主要是因为工业区工厂废水废渣的排放、居民日常生活废水废弃物所引起的污染。

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	3.234198	4	0.80855	5.830955	0.000154	2.400402
组内	43.54082	314	0.138665			
总计	46.77502	318				

组	观测数	求和	平均	方差
生活区	44	125.8771	2.860843	0.102947
工业区	36	104.1472	2.892976	0.209549
山区	66	170.9941	2.590819	0.223698
交通区	138	383.4918	2.778926	0.102042
公园绿地区	35	93.78708	2.679631	0.095877

Ni 元素单因素方差分析表 23-2

由表 24-1, $F=18.099487$ 大于临界值 2.400402, 这表明不同功能区域污染的程度有显著性差异。再由表 24-2 可以看出, 工业区的 Pb 平均污染最高, 然后是生活区和交通区。这说明 Pb 的污染主要是因为工业区工厂废水废渣的排放、居民日常生活废水废弃物及车辆尾气排放所引起的污染。

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	16.39795	4	4.099487	18.02568	2.44E-13	2.400402
组内	71.41141	314	0.227425			
总计	87.80935	318				

Pb 元素单因素方差分析表 24-1

组	观测数	求和	平均	方差	平均值取指数
生活区	44	175.3342	3.984869	0.280432	53.77825
工业区	36	153.2506	4.256962	0.271005	70.59516
山区	66	232.555	3.52356	0.127798	33.90492
交通区	138	556.8346	4.035033	0.230403	56.5448
公园绿地区	35	137.3888	3.925395	0.293988	50.67309

Pb 元素单因素方差分析表 24-2

由表 25-1, $F=21.65756$ 大于临界值 2.400402, 这表明不同功能区域污染的程度有显著性差异。再由表 25-2 可以看出, 工业区的 Zn 平均污染最高, 然后是生活区和交通区。这说明 Zn 的污染主要是因为工业区工厂废水废渣的排放、居民日常生活废水废弃物所引起的污染。

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间	39.12852	4	9.782131	21.65756	8.52E-16	2.400402
组内	141.8252	314	0.451673			
总计	180.9538	318				

Zn 元素单因素方差分析表 25-1

组	观测数	求和	平均	方差	平均值取指数
生活区	44	217.5594	4.944533	0.570215	140.4053
工业区	36	187.9792	5.221645	0.56147	185.2387
山区	66	279.1074	4.228901	0.121428	68.64172
交通区	138	700.8483	5.078611	0.537852	160.5508
公园绿地区	35	163.5412	4.672605	0.472821	106.976

Zn 元素单因素方差分析表 25-2

由上单因素分析可知, As、Cd、Cr、Ni, Zn、Pb、Hg、Cu 八种重金属污染都比较集中分布在工业区、生活区、交通区, 其他区域相对较小由此可推测重金属污染主要受工业区工厂废渣废水废气的排放、居民日常生活废弃物、车辆报废及车辆废弃物的影响。

(2) 尼梅罗综合污染指数的评价

土壤中重金属污染物 i 的单项污染指数 P_i 计算公式为：

$$P_i = C_{ij} / S_i \quad (1)$$

(1)式中， C_{ij} 为第 j 个监测点上土壤重金属含量实测值， S_i 为土壤重金属含量的评价标准取值（背景值）， P_i 为重金属污染物 i 单因子污染指数。

综合污染指数（尼梅罗污染指数）的计算公式即为：

$$P = \left[(P_{i\text{平均}}^2 + P_{i\text{最大}}^2) / 2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

(2) 式中， $P_{i\text{平均}}$ 为土壤重金属 i 所有单项污染指数的平均值， $P_{i\text{最大}}$ 为重金属 i 单项污染指数中的最大值。

土壤重金属尼梅罗综合指数评价的污染等级划分参照表 26：

等级	尼梅罗污染指数	污染等级
I	$P_i \leq 0.7$	清洁（安全）
II	$0.7 < P_i \leq 1.0$	尚清洁（警戒限）
III	$1.0 < P_i \leq 2.0$	轻度污染
IV	$2.0 < P_i \leq 3.0$	中度污染
V	$P_i \geq 3.0$	重污染

表 26 土壤重金属污染等级划分标准

由上，讨论区域内八种金属按照按照尼梅罗综合指数法进行计算结果见下

重金属	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Hg	Cr
生活区	1.804	1.272	1.375	1.445	2.564	1.281	1.496	1.403
工业区	2.030	1.330	1.411	1.473	3.203	1.310	1.955	1.391
山区	1.378	1.308	1.215	1.150	2.300	1.127	1.273	1.286
交通区	2.005	1.338	1.356	1.459	3.093	1.297	1.900	1.395
公园绿地区	1.628	1.213	1.367	1.420	2.603	1.271	1.648	1.214

重金属综合污染评价结果表 27

由表 27 综合评价指数得知，所有重金属要素在研究区内的综合污染指数均超过了 0.7，即都达到了警戒限。比较这八种元素在不同功能区的尼梅罗综合指数，基本上都是山区的尼梅罗综合指数最低，工业区的尼梅罗综合指数最高，这说明几乎所有的重金属元素污染都是由于工业污染（如工厂的废渣废水废气的排放等）造成的。各重金属其它功能区的不同元素综合污染指数影响各不相同，如 Cu、As、Hg 指数相对较高，说明他们受到如车辆排放的废气等影响，而像 Cr 一些元素受到生活区的影响交大。

(四) 问题（3）模型的建立与求解

(1) 样本数据的统计分析

①半方差函数的模型建立：为分析出重金属污染物的传播特征，并由此确定污染源的位置，我们主要根据地统计学模型，主要是根据采样点提供的信息，对未知点进行估计和模拟（参考文献），半方差函数是我们利用的主要工具。一方面，利用半方差函数对重金属的空间分布进行结构分析和变异性分析，并由此得出重金属污染物的传播特征；另一方面应用前面分析的结果，利用克里格法进行估值，并由此拟合曲线对其它未知点污染程度进行预测得出图形，并由此确定污染源（污染最严重的区域）。

变异函数(或称变差函数)的定义公式为

$$\gamma(x, h) = \frac{1}{2} E [Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (3)$$

其中， $Z(x)$ 和 $Z(x+h)$ 分别表示两个距离为 h 的点的重金属的值。当前面假设成立时，上述半方差函数的值只与距离 h 有关，与 x 无关，于是记

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E [Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (4)$$

其具体的计算变异函数的公式为

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (5)$$

其中， $N(h)$ 是分隔距离为 h 时的所有观测样本对(pairs)总数。

由上面的公式可以得出若干个变异函数的离散点的值，然后由这些离散点进行拟合，地统计学用到的变异函数拟合的理论模型一般有四种如下：

(1)球状模型，其一般公式为：

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0 + C\left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2}\frac{h^3}{a^3}\right) & 0 < h < a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad (6)$$

(2)指数模型，一般公式为：

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0 + C(1 - e^{-\frac{h}{a}}) & h > 0 \end{cases} \quad (7)$$

(3)高斯模型，一般公式为：

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0 + C(1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}}) & h > 0 \end{cases} \quad (8)$$

(4)线性模型，一般公式为：

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ Ah & 0 < h < a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad (9)$$

C_0 为块金方差，它的值越大，表示受随机因素（如人类活动、社会经济和环境影响等）的影响而引起的空间变异性越大。 C_1 为结构方差如由土壤母质、地形、气候等非人为的结构性因素引起的空间变异性； C_0+C_1 反映的是随机因素和结果因素共同引起的空间变异。 a 为最大变程，反映的是重金属含量在空间上的最大相关距离。常用 $c_0 / (c_0 + c_1)$ 的比值作为度量空间相关程度的尺度，该比值小于 0.25，则变量的空间相关程度较强；该比值在 0.25~0.75 之间，则变量的中等程度的空间相关；该比值大于 0.75，则属于空间弱相关。

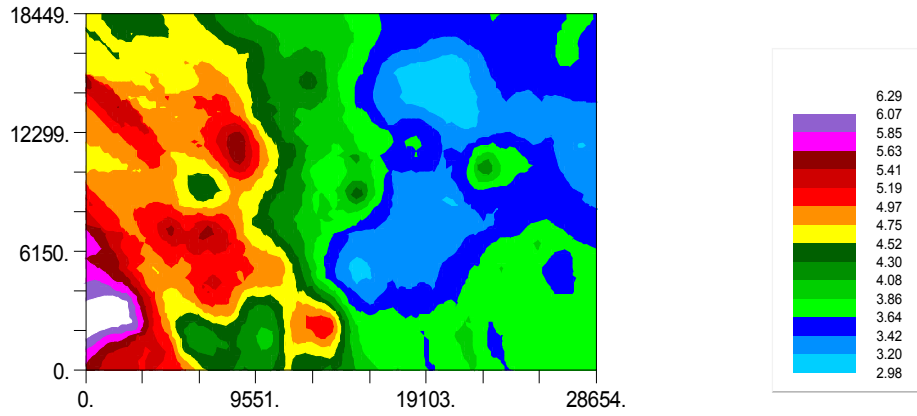
②利用 GS+V9.0 软件模型求解：利用 GS+V9.0 软件对八种重金属元素的半方差函数模型的参数进行拟合估计，经过四种理论模型的反复比较得到下表 28：

重金属元素	块金值 C_0	基台值 $C_0 + C_1$	最大变程 R / km	$C_0 / (C_0 + C_1)$ /%	理论模型
As	2.0481	2.6948	15.647	0.911	线性模型
Ni	0.09376	0.11654	15.64	0.908	线性模型
Cu	0.344	1.79400	27.27	0.808	高斯模型
Pb	0.16900	0.71500	20.48	0.764	高斯模型
Zn	0.36300	1.42600	24.39	0.745	高斯模型
Cr	0.14210	0.45320	41.10	0.686	指数模型
Cd	0.31678	0.49097	15.64	0.355	线性模型
Hg	0.73500	3.07100	41.1	0.239336	指数模型

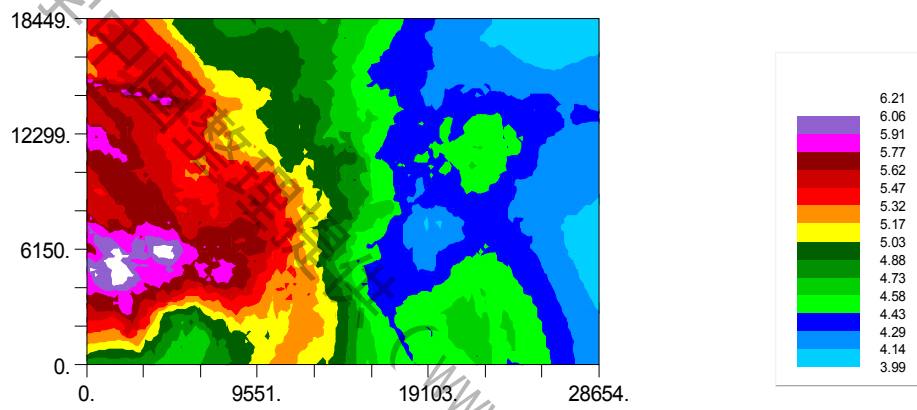
表 28 八种重金属的半方差参数

③传播特征的结论：由上表可以看出，As、Ni、Cu、Pb、Zn 传播的空间相关性比较弱，特别是 As、Ni，说明结构因素（如土质、气候等成土因素）对这些元素污染的传播影响非常小，而随机因素（如环境污染、人类活动等不确定因素）对它们的影响很大。而 Cr 的污染传播主要是由于结构因素和随机因素共同作用的结果，另外 Cu 的变程较大，说明 Cu 的空间相关性距离较大，其含量与土壤的母质有关，同时还受到一些随机因素的影响。Cr 和 Hg 的空间相关性比较强，说明它们污染的传播受结构因素的影响较大，而受随机因素的影响较小。

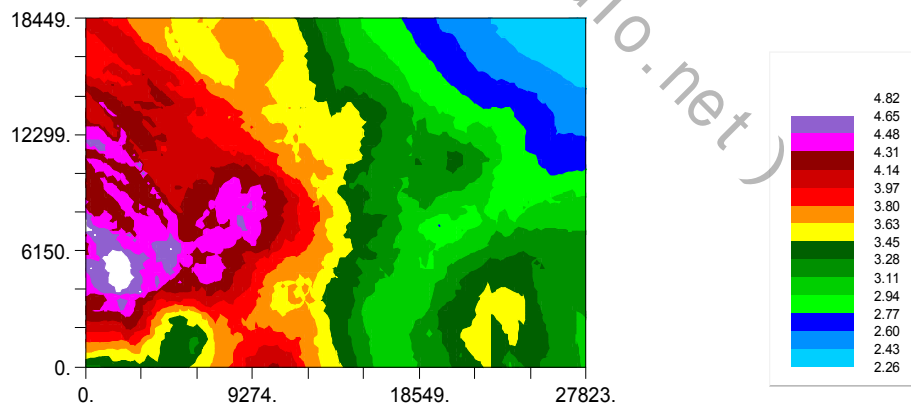
④污染源的推断：由上面半方差函数模型，利用克里格插值法，得到如下八种重金属元素的克里格插值图，如下：



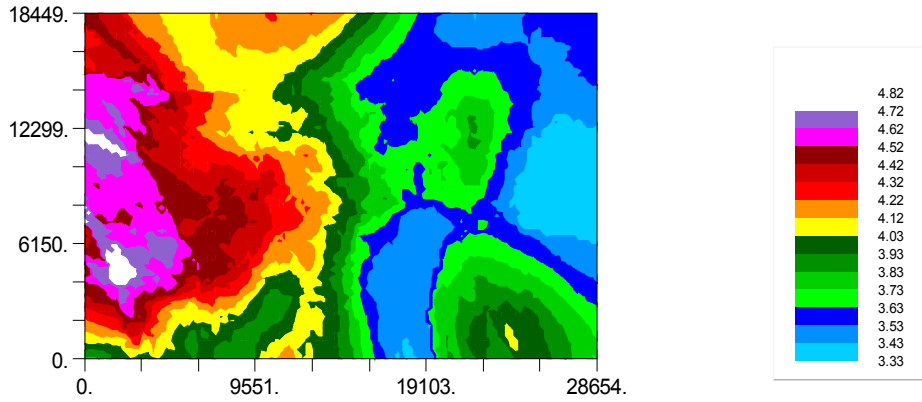
Hg 克里格插值图 (图 29)



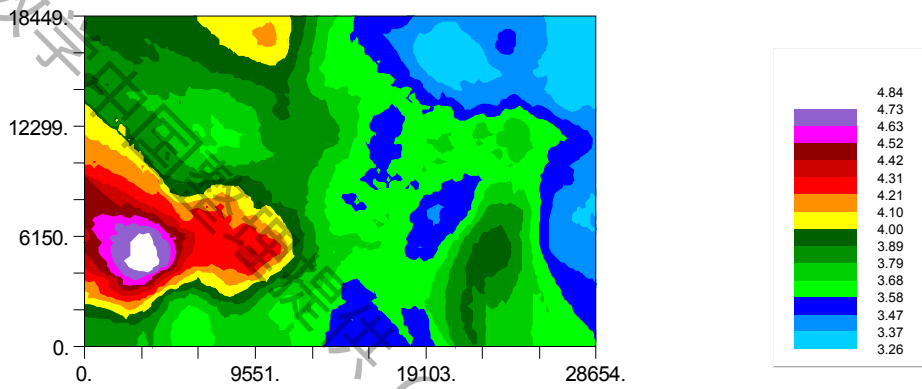
Zn 克里格插值图 (图 30)



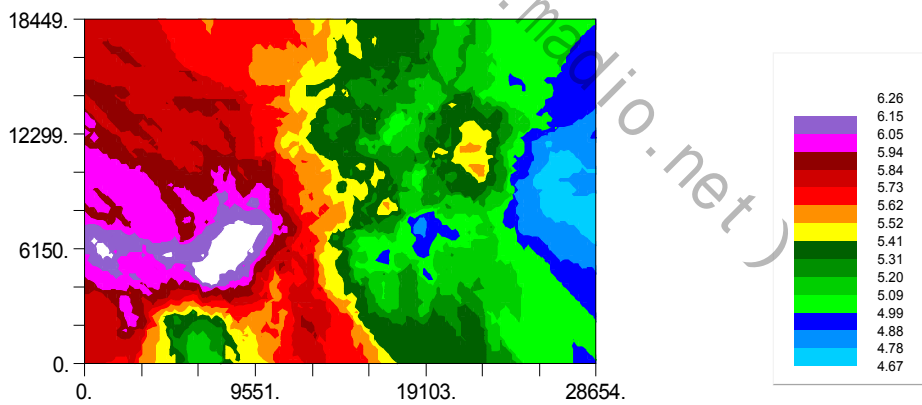
Cu 克里格插值图 (图 31)



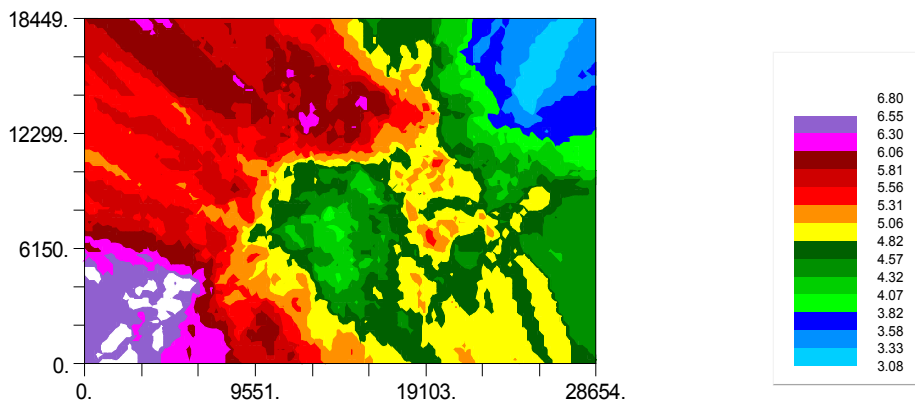
Pb 克里格插值图 (图 32)



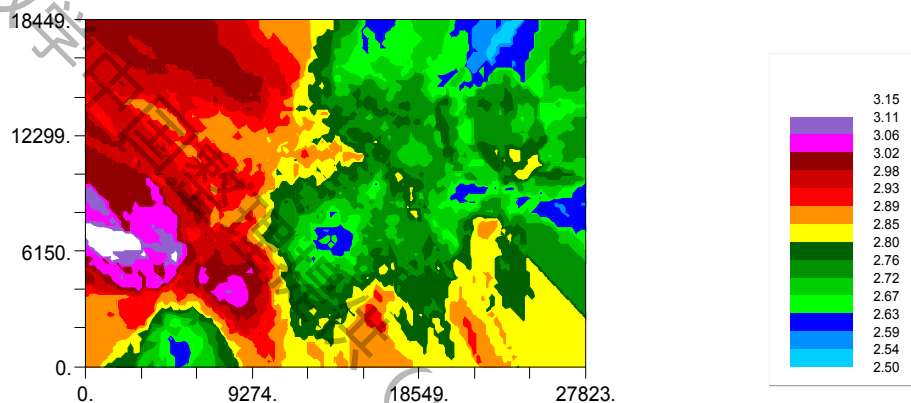
Cr 克里格插值图 (图 33)



Cd 克里格插值图 (图 34)



As 克里格插值图 (图 35)



Ni 克里格插值图 (图 35)

从以上的彩色图，读者可以清晰的识别出各重金属在地图上各个区域的污染程度并确定出对应元素的重污染区域的位置。经过反复比较，几乎所有的元素污染源位置都在地图中的西南角位置，以及主要污染区域分布在西部向下的方向。

(2) 各重金属元素和海拔的相关性分析

下面是用 Excel 对八种重金属和海拔之间求它们的相关系数，结果如下表 36:

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	海拔
As	1								
Cd	0.208	1							
Cr	0.451	0.418	1						
Cu	0.408	0.690	0.618	1					
Hg	0.377	0.512	0.394	0.571	1				
Ni	0.54	0.298	0.752	0.521	0.332	1			
Pb	0.287	0.783	0.484	0.753	0.590	0.317	1		
Zn	0.326	0.778	0.591	0.813	0.602	0.469	0.839	1	
海拔	-0.34	-0.28	-0.302	-0.479	-0.28	-0.261	-0.316	-0.352	1

表 36

由上表得，Cu、Zn、Pb、Ni 相关性较大，这表明他们的传播特征在一定程度上相似。有些相关性相对较弱，如 As 和 Cd，说明他们的传播特征有一定的区别。但总体上，重金属的含量之间都是正相关的，说明所有重金属的传播有一定的共同点。而所有重金属的含量与海拔之间都是负相关的，说明，随着海拔越低，他们的重金属含量越高，表明重金属的传播向下沉。

(五) 问题 (4) 模型的评价与改进

(1) 模型的评价：

①模型的优点

- 1) 对采样数据进行了异常处理和正态性处理.
- 2) 本文对数据的统计分析，利用 SPSS、Excel 和 GS+V9.0，它们都操作简单，用起来方面，得到了比较理想的结果.
- 3) 从问题出发，分析了污染的各种因素，建立了数学模型，用大量的数据进行验证，从而为我们处理重金属的污染问题提供了有效的依据.
- 4) 利用地统计学的半方差函数模型，并根据克里格插值很容易得到每点重金属的含量，从而可以确定污染源.

②模型的缺点

- 1) 在第一问作八种重金属空间分布图时，是一些离散的点.
- 2) 在第一问作八种重金属元素的浓度分布时，没有考虑它的海拔.
- 3) 本文模型的建立和求解几乎只是从统计的角度出发的.

(2) 模型的改进：对于缺点二，我们可以利用 Matlab 加等高线，以表示它的海拔。对于缺点三，如重金属污染的传播特征我们可以考虑污染传播的偏微分方程模型。

六、 参考文献

- [1] 王学军, 席爽. 北京东郊污灌土壤重金属含量的克里格插值及重金属污染评价[J]. 中国环境科学, 1997, 17(3):225 — 228.
- [2] 王波, 毛任钊等. 基于冷 iging 法和 GIs 技术的迁安市农田重金属污染评价[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊):561 — 564.
- [3] 李思米, 卞新民等. 土壤重金属铅含量空间分布及空间聚集性研究[J]. 江西农业学报, 2005, 17(2):34 — 37.
- [4] 胡克林, 李保国等. 土壤养分的空间变异性特征[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3).
- [5] 黄勇, 任海, 郭庆荣等. 地统计学在土壤重金属研究中的应用及展望[J]. 生态环境, 2004, 13(4):681 — 684.
- [6] 冯洋, 刘洪斌, 王正银. 土壤重金属铅的空间变异性研究—以重庆市吴滩镇为例[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1).
- [7] 孙洪泉. 地质统计学及其应用[M]. 1990, 北京: 中国矿业大学出版社.
- [8] 汪景宽, 赵永存等. 海伦县土壤重金属含量的空间变异性研究[J]. 土壤通报, 2003 南京师范大学硕士论文
- [9] 张菊, 许世远等. 上海城市街道灰尘重金属铅污染现状及评价[J]. 环境科

学, 2006, 27(3).

- [10] 郑袁明, 陈煌, 陈同斌等.北京市土壤中 Cr, Ni 含量的空间结构与分布特征[j]第四纪研究, 2003, 23(4)
- [11] 王建, 白世彪, 陈晔.Surfers 地理信息制图[M].2004, 北京:中国地图出版社.
- [12] 卓金武, 魏永生, MATABLE 在数学建模中的应用[j]北航出版社, 2010,19(4)

数学中国整理提供 (www.madio.net)

附件

程序 1: 资源分布图.m

```
clc
clear
close all

D=load('ZuoBiao.dat'); %附件 1 数据
M=load('JinShu.dat'); %附件 2 数据
x=D(:,2);
y=D(:,3);
z=D(:,4);
c=D(:,5);
xi=linspace(min(x),max(x),100);
yi=linspace(min(y),max(y),100);
[xi,yi]=meshgrid(xi,yi);
zi=griddata(x,y,z,xi,yi);
ci=griddata(x,y,c,xi,yi);

marker={'*','o','>','s','+'};
color={'m','y','c','r','b'};
mat={'As','Cd','Cr','Cu','Hg','Ni','Pb','Zn'};
str={'生活区','工业区','山区','主干道路区','公园绿地区'};
for j=1:8
    % 等高线图形
    figure
    contourf(xi,yi,zi,0:25:500);
    % set(h,'ShowText','on','TextStep',get(h,'LevelStep')*2)
    % clabel(C,h,[0:10:50,50:50:300,300:100:500]);
    title(['金属 ',mat{j}, ' 二维资源分布图'])
    xlabel('X')
    ylabel('Y')
    colormap summer

    colorbar
    grid on
    hold on
    for i=1:5
        loc=c==i;
        plot(x(loc),y(loc),marker{i},'markerfacecolor',color{i},'MarkerEdgeColor',color{i});
    end
    legend('生活区','工业区','山区','主干道路区','公园绿地区',2)
    for k=1:length(x)
        text(x(k)-200,y(k)+200,num2str(M(k,j+1)),'fontsize',8);
    end
end
```

end

end

程序 2: 资源立体图.m

clc

clear

```
A=[74 781 7.84 153.80 44.31 20.56 266.00 18.20 35.38 72.35
1373 731 5.93 146.20 45.05 22.51 86.00 17.20 36.18 94.59
1321 1791 4.90 439.20 29.07 64.56 109.00 10.60 74.32 218.37
0 1787 6.56 223.90 40.08 25.17 950.00 15.40 32.28 117.35
1049 2127 6.35 525.20 59.35 117.53 800.00 20.20 169.96 726.02
1647 2728 14.08 1092.90 67.96 308.61 1040.00 28.20 434.80 966.73
2883 3617 8.94 269.80 95.83 44.81 121.00 17.80 62.91 166.73
2383 3692 9.62 1066.20 285.58 2528.48 13500.00 41.70 381.64
1417.86
2708 2295 7.41 1123.90 88.17 151.64 16000.00 25.80 172.36
926.84
2933 1767 8.72 267.10 65.56 29.65 63.00 21.70 36.94 100.41
4233 895 5.93 201.40 45.19 24.90 259.00 14.60 35.88 102.65
4043 1895 9.17 287.00 43.94 45.77 168.00 19.70 62.74 223.16
2427 3971 5.72 193.70 80.35 26.57 111.00 19.80 57.64 89.08
3526 4357 4.49 359.50 258.15 123.27 77.00 12.90 106.47 853.98
5062 4339 5.51 516.40 91.97 89.04 189.00 19.80 121.72 494.80
4777 4897 11.45 1044.50 94.78 136.97 202.00 22.30 472.48 602.04
5868 4904 6.14 445.40 82.69 167.39 144.00 18.40 111.24 389.80
6534 5641 7.84 347.90 57.65 97.14 213.00 19.60 70.82 307.24
5481 6004 7.41 345.70 159.45 71.03 85.00 18.10 89.34 380.92
4592 4603 8.50 614.00 744.46 130.55 156.00 32.80 228.64 1013.47
2486 5999 5.51 257.20 54.64 29.01 104.00 13.20 87.68 223.27
3299 6018 9.84 1213.50 920.84 1364.85 115.00 142.50 181.48 1818.47
3573 6213 9.39 325.80 172.29 104.89 82.00 31.50 90.90 429.29
4741 6434 3.30 212.10 50.13 38.62 139.00 10.60 66.98 186.22
5375 8643 4.09 90.50 35.02 11.82 16.00 10.40 29.09 46.84
5635 7965 6.14 583.40 95.25 233.70 155.00 21.10 97.47 311.02
5394 8631 5.31 366.40 42.34 64.65 188.00 17.40 67.11 182.65
5291 7349 3.69 323.90 35.14 34.66 50.00 13.90 65.48 253.16
4742 7293 21.87 424.50 73.40 59.72 1520.00 27.80 83.70 175.71
4948 7293 18.38 630.00 96.68 114.81 645.00 34.80 130.36 1626.02
5567 6782 10.53 635.30 64.03 101.35 190.00 28.30 162.64 615.10
7004 6226 3.50 463.40 112.19 72.93 118.00 14.10 60.60 193.37
7304 5230 6.35 532.00 57.51 83.76 191.00 19.50 73.46 297.14
7048 4600 5.51 778.70 74.66 92.48 330.00 19.70 110.20 351.63
8180 4496 4.49 754.80 99.88 97.92 243.00 24.90 100.79 323.37
9328 43113.50 396.30 138.37 58.97 170.00 24.20 91.76 2893.47
```

9090	5365	5.51	687.80	85.52	72.85	201.00	19.00	103.20	403.27
8049	5439	4.29	526.00	55.31	81.43	93.00	19.90	100.65	369.80
8077	6401	4.29	449.10	67.22	51.64	315.00	15.70	106.97	294.69
8017	7210	6.56	852.70	72.59	158.67	311.00	21.20	124.24	377.14
6869	7286	16.58	459.00	94.79	47.17	1900.00	19.90	71.32	215.10
7056	8348	7.41	337.30	77.27	248.85	90.00	20.10	99.58	210.00
7747	8260	5.93	568.10	75.14	118.16	135.00	23.80	111.54	572.96
8457	8991	4.69	599.00	69.05	122.18	121.00	19.80	102.72	427.04
9460	83114.90	635.50	68.42	227.76	176.00	19.50	96.33	538.98	
9062	7639	5.31	600.70	44.65	45.10	51.00	15.50	65.87	186.33
9319	6799	4.29	567.60	60.25	48.67	46.00	16.10	63.74	208.06
10631	6472	5.51	228.50	49.27	30.85	62.00	22.90	45.93	102.04
10685	5528	4.69	568.60	306.02	70.41	900.00	16.80	79.67	196.73
10643	4472	7.20	214.70	50.33	40.16	156.00	20.80	47.76	403.98
11702	4480	5.31	151.90	47.24	24.44	140.00	17.30	37.49	92.55
11730	5532	4.90	343.30	42.01	58.81	80.00	13.80	79.07	275.82
11482	6354	4.90	293.90	60.29	51.03	53.00	12.60	75.93	278.37
10700	8184	3.89	312.90	33.79	277.82	55.00	14.00	68.24	295.61
10630	8774	3.69	315.90	45.43	34.05	55.00	12.60	62.84	196.33
11678	8618	3.11	416.30	57.88	47.64	167.00	11.90	116.19	242.04
11902	7709	3.89	374.00	45.17	50.19	35.00	15.00	58.11	157.35
13244	7056	3.89	344.30	35.29	47.87	100.00	15.10	133.72	141.02
12746	8450	2.91	252.90	45.98	71.54	32.14	14.40	42.99	146.22
12855	8945	3.30	503.40	38.74	30.46	36.43	7.20	53.73	102.86
13797	9621	4.90	303.80	56.02	65.86	63.21	40.05	90.69	3760.82
14325	8666	4.09	127.00	27.58	23.99	30.00	11.93	57.47	85.61
15467	8658	2.91	265.00	35.66	29.39	24.64	9.23	60.54	122.96
12442	4329	2.72	278.90	43.43	32.61	64.29	9.90	53.40	135.71
13093	4339	3.11	751.20	53.11	53.80	27.86	10.46	60.27	155.00
13920	5354	3.30	361.30	47.54	52.28	25.71	9.11	113.46	218.27
14844	5519	3.30	488.00	51.18	34.55	37.50	10.80	54.62	125.92
16569	6055	6.14	227.00	42.15	67.04	49.29	16.31	34.28	82.96
16387	6609	3.69	347.40	37.76	19.97	26.79	10.01	54.41	221.22
16061	7352	4.49	136.00	36.56	23.07	21.43	14.96	34.19	78.98
15658	7594	3.11	327.10	25.98	23.73	25.71	9.79	63.81	138.06
14298	7418	8.06	113.10	52.40	20.81	65.36	19.69	29.56	62.24
14177	6684	3.69	270.50	33.12	57.85	25.71	13.50	62.04	118.16
15092	6936	3.69	160.30	38.29	26.08	25.71	14.29	40.13	82.86
12778	5799	3.50	305.50	39.50	30.86	31.07	14.74	61.89	148.88
17044	10691	2.72	70.90	19.45	9.12	15.00	7.09	22.73	32.86
17087	11933	8.50	261.30	45.97	24.83	51.43	18.00	43.39	84.49
17075	12924	1.77	119.80	15.32	13.34	8.57	6.19	26.31	47.76
17962	12823	2.53	468.80	37.04	32.03	45.00	12.15	65.25	178.98
18413	11721	3.69	150.70	59.61	19.00	34.29	24.98	38.47	89.08

19007	11488	6.14	100.30	37.49	20.23	34.29	14.85	29.29	61.94
18738	10921	10.99	109.80	56.07	69.06	58.93	20.70	38.87	63.27
17814	10707	6.35	91.80	36.12	16.91	36.43	12.49	27.01	47.76
18134	10046	30.13	743.90	49.03	26.18	27.86	17.66	72.76	182.04
17198	9810	3.89	416.80	37.04	23.78	22.50	11.48	54.45	105.00
17144	9081	2.91	369.80	36.34	52.48	22.50	7.99	42.02	84.08
18393	9183	1.96	194.00	18.08	16.17	26.79	6.98	40.27	94.69
19767	8810	6.98	50.10	41.02	14.25	17.14	13.39	26.57	40.92
21006	8819	2.91	198.80	28.21	19.24	13.93	9.56	47.81	94.80
21091	9482	5.93	886.60	42.69	28.12	43.93	21.15	94.64	163.27
22846	9149	5.93	128.90	47.52	16.31	12.86	17.66	33.51	91.73
23664	9790	7.41	114.30	48.34	21.45	35.36	16.54	35.83	63.88
22304	10527	4.29	232.90	29.17	40.02	1714.29	9.79	38.65	95.41
21418	10721	4.69	132.80	36.11	17.28	20.36	15.53	37.03	82.76
21439	11383	5.72	1619.80	43.48	15.50	20.36	15.41	30.99	57.55
20554	11228	6.77	282.50	41.97	52.80	27.86	18.34	49.10	104.90
20101	10774	4.49	180.60	37.23	18.70	27.86	11.93	36.45	63.98
21072	10404	3.11	386.60	35.93	26.38	24.64	12.26	60.00	157.24
20215	9951	2.91	345.00	40.46	152.21	23.57	15.53	58.05	170.71
18993	12371	4.29	95.60	22.49	17.15	85.71	10.13	27.97	67.24
19968	12961	7.63	87.10	45.83	14.83	30.00	14.63	29.25	48.78
21766	12348	5.93	203.00	35.97	16.88	15.00	14.51	45.83	89.49
22674	12173	2.34	353.00	24.53	12.70	11.79	9.00	58.80	89.08
22535	11293	2.91	233.20	24.92	21.62	85.71	8.33	45.20	100.10
25221	5795	5.72	174.30	33.83	29.45	20.36	13.05	42.10	71.43
26453	5577	2.34	87.60	18.46	9.73	13.93	8.89	24.43	43.37
26416	6508	6.56	245.60	36.73	61.30	55.71	14.18	47.24	114.29
27816	5581	4.69	167.90	33.15	18.96	60.00	15.98	33.46	55.71
25361	6423	6.35	111.40	28.82	59.17	206.79	11.70	28.02	61.53
24065	7353	5.10	94.60	77.92	20.34	23.57	28.69	25.92	58.47
25998	7032	4.69	111.60	24.57	12.09	31.07	8.55	27.12	43.88
27177	7771	3.50	85.50	26.33	24.88	36.43	11.36	26.77	64.08
26424	8639	4.69	169.50	39.11	22.51	25.71	15.98	39.53	82.96
26073	8807	4.49	138.00	34.52	35.54	50.36	12.60	25.45	52.45
24631	9422	3.30	131.40	35.97	11.29	43.93	11.03	30.06	61.94
24702	9522	2.91	41.00	41.77	12.50	17.14	17.10	19.68	78.37
25461	9834	4.09	129.70	26.83	10.12	40.71	7.76	28.84	68.16
24813	10799	5.72	148.00	36.73	14.21	52.50	12.60	27.15	57.86
26086	11094	4.90	108.10	22.72	9.40	35.36	8.89	32.39	69.39
26015	12078	4.90	132.50	79.52	18.67	42.86	27.68	28.30	92.24
27700	11609	4.09	162.90	33.79	12.96	30.00	12.94	29.17	74.90
27696	11621	5.93	88.80	52.41	15.30	10.71	19.91	28.62	63.88
27346	13331	2.91	206.70	17.46	12.02	31.07	5.51	53.79	79.18
26591	13715	2.72	121.80	19.98	7.71	24.64	8.10	27.30	57.96

27823	14737	2.34	231.10	36.48	12.80	37.50	17.66	29.02	96.53
27232	14482	2.53	128.60	21.75	9.10	30.00	9.56	22.77	58.06
24580	13319	3.89	126.80	50.01	12.74	53.57	18.68	29.40	69.90
24153	12450	2.34	79.70	74.36	27.49	9.64	45.45	21.22	87.65
22965	13535	2.34	294.10	42.68	12.27	79.29	15.53	83.44	99.49
23198	13523	1.96	238.30	19.71	25.22	19.29	6.64	66.24	142.86
24685	14278	2.72	109.30	18.52	12.55	19.29	9.79	26.06	61.43
28654	8755	3.11	69.40	22.93	7.56	26.79	7.65	22.09	53.06
24003	15286	3.50	155.70	33.30	12.08	42.86	11.36	28.05	51.53
21684	13101	2.72	109.30	19.83	14.54	19.29	9.45	34.56	47.55
22193	12185	1.77	205.50	173.34	27.81	41.79	74.03	55.71	229.80
17079	5894	3.50	53.20	35.15	7.91	20.36	11.14	24.90	34.39
15255	51102.53	40.00	19.08	2.29	15.00	7.88	24.15	54.29	
15007	5535	9.17	82.80	63.88	24.85	11.79	31.50	21.68	76.53
3518	2571	7.41	222.40	31.10	38.50	142.50	8.66	128.60	133.98
3469	2308	5.72	164.80	49.44	27.98	126.43	13.61	37.64	76.12
3762	2170	8.06	194.00	41.79	31.43	213.21	13.61	45.52	127.35
3927	21105.72	310.10	56.40	37.11	138.21	16.43	59.63	154.49	
4153	2299	8.72	1024.90	77.61	71.24	128.57	19.35	227.40	1389.39
3267	793 6.77	492.80	37.86	35.61	142.50	13.39	114.13	118.98	
4684	1364	6.56	202.30	33.28	37.67	1339.29	11.36	140.62	110.92
5495	1205	6.77	97.20	38.67	18.12	24.64	14.74	28.77	49.90
5664	1653	6.98	208.60	41.00	28.55	67.50	15.19	93.83	84.59
5541	2093	6.14	143.40	41.67	22.57	88.93	12.49	38.14	65.61
5451	2757	6.69	158.10	36.61	16.22	36.00	12.91	31.67	63.57
4020	2990	8.00	332.60	77.06	46.01	240.00	24.47	68.10	259.29
4026	3913	6.69	401.80	84.94	60.11	138.00	19.16	96.76	227.55
5101	4080	8.23	756.40	42.73	87.52	63.00	19.26	88.74	184.69
5438	3994	9.35	407.50	55.54	61.83	112.00	24.05	66.82	208.27
5382	3012	8.90	307.30	54.39	57.21	326.00	25.72	131.93	256.94
5314	2060	3.77	242.10	30.93	32.13	28.00	11.56	50.60	144.69
5503	11275.41	178.90	29.54	23.73	52.00	9.89	49.84	118.88	
5636	133 7.78	315.50	49.76	28.03	550.00	18.95	45.73	109.29	
6605	374 5.62	134.60	25.33	19.10	45.00	11.66	40.50	87.14	
7093	1381	5.41	235.60	36.88	48.80	43.00	14.06	53.61	213.47
7100	2449	4.58	203.80	39.03	24.18	87.00	16.66	53.09	138.88
6837	3490	6.91	568.50	54.59	113.46	264.00	23.22	82.40	399.90
7906	3978	5.00	506.50	59.45	70.71	202.00	26.13	78.01	334.39
8045	3052	5.62	880.00	78.29	121.12	293.00	25.61	171.14	540.00
8394	2035	6.91	250.30	39.09	50.46	81.00	20.41	59.17	172.65
8403	1075	7.78	161.90	42.08	77.92	186.00	18.22	62.81	171.84
8079	0 6.26	249.40	54.70	81.74	75.00	25.51	57.92	171.12	
9663	1288	7.56	248.20	42.23	69.39	57.00	16.56	44.54	165.10
9469	2286	4.79	156.30	41.16	32.40	83.00	14.58	35.50	103.88

9178	3299	2.77	120.30	49.85	18.38	43.00	25.51	37.93	115.41
9095	3975	6.26	429.20	54.47	56.60	45.00	19.78	87.50	230.41
10225	3821	7.34	205.10	43.63	23.51	47.00	19.78	41.33	104.29
10210	2789	4.17	113.80	37.27	17.06	34.00	14.47	26.74	64.49
10340	1764	5.00	221.30	30.75	70.32	47.00	16.14	47.20	185.41
11557	1581	7.56	580.10	39.78	85.46	270.00	17.49	66.69	315.92
11415	2585	5.62	171.00	31.23	25.73	292.00	15.72	31.09	110.61
11649	3515	6.05	365.00	35.92	30.91	110.00	17.91	44.75	147.35
12734	4015	4.79	289.70	42.12	41.10	57.00	17.49	76.80	237.45
12696	3024	23.72	452.10	37.22	43.61	160.00	16.35	73.27	1635.92
12400	2060	6.47	847.60	53.17	59.00	96.00	19.05	68.82	186.53
12591	1063	4.17	310.70	40.70	42.64	58.00	14.99	115.59	177.76
13765	1353	5.00	317.50	42.46	30.96	162.00	17.81	59.94	221.94
13694	2357	4.17	357.50	38.78	43.89	14901.00	17.70	98.22	
	349.80								
13855	3345	6.26	387.20	38.03	30.06	85.00	21.97	54.98	142.55
14862	2524	5.00	196.50	50.03	18.56	29.00	25.82	33.90	84.80
14896	1603	1.61	295.80	15.40	18.35	19.00	4.27	40.42	106.53
15387	729	4.58	129.00	31.09	18.93	38.00	15.10	29.76	69.80
15810	2307	5.41	204.90	40.16	25.86	41.00	16.24	33.28	80.00
16032	3061	3.57	174.80	31.13	26.21	26.00	11.14	31.77	94.08
15801	3966	2.00	197.00	78.36	22.98	19.00	24.05	43.73	104.18
15087	3512	3.37	106.70	16.31	9.04	17.00	7.60	26.89	37.14
16872	2798	6.47	738.00	47.35	24.07	135.00	19.58	34.09	101.73
17734	3629	3.37	788.70	28.90	17.62	34.00	15.51	26.04	91.02
16823	4207	6.91	133.10	40.58	32.64	27.00	22.39	33.97	115.20
17008	4775	2.38	149.50	27.18	11.19	54.00	14.47	38.35	59.49
17203	6218	7.56	206.60	55.79	24.44	22.00	28.63	29.73	81.73
17005	7212	8.67	78.90	58.87	21.65	26.00	23.43	26.52	70.51
16947	7487	4.79	178.60	32.31	29.01	45.00	14.26	47.98	104.90
16301	8299	5.41	250.10	34.32	16.25	15.00	18.53	41.29	90.20
17904	8287	5.83	89.20	54.90	23.28	19.00	21.76	24.95	53.57
18303	7385	5.62	453.50	37.22	21.92	40.00	16.56	41.51	87.35
18438	6539	4.38	92.40	38.70	15.03	21.00	13.85	24.22	47.24
18556	5588	2.77	198.70	18.11	15.33	19.00	9.68	34.15	95.92
18954	4874	5.41	260.10	43.81	26.46	33.00	13.22	39.49	87.04
18012	4414	5.62	101.10	49.01	19.96	23.00	20.82	26.00	71.53
19072	8519	6.69	146.50	43.39	19.89	36.00	17.49	33.24	60.00
20282	8590	7.56	66.50	49.24	14.67	19.00	17.08	25.48	41.12
21475	8540	2.77	119.00	27.49	10.62	44.00	10.52	31.94	53.27
21450	7555	1.61	434.80	21.29	12.84	18.00	8.85	56.14	106.43
20261	7586	5.62	188.00	30.52	26.03	58.00	14.26	31.96	77.45
19569	7348	2.97	77.50	16.91	9.95	34.00	7.50	28.15	41.63
19411	6934	4.58	130.80	35.61	19.59	23.00	16.14	29.87	61.12

19501	6091	5.20	134.50	29.37	16.33	32.00	13.54	29.83	59.90
20582	6548	3.17	101.80	32.23	10.68	12.00	12.81	33.20	51.12
19909	5300	5.00	232.00	32.43	24.23	37.00	15.10	36.08	101.84
21018	5764	7.56	121.10	62.91	31.03	44.00	27.28	28.36	88.16
22176	5492	5.20	238.70	47.18	59.66	24.00	19.68	62.57	108.47
23359	5325	6.05	151.20	92.76	31.43	79.00	32.07	31.57	130.61
23238	6502	2.77	202.60	56.54	18.09	49.00	28.11	26.14	82.14
22624	4818	2.38	351.60	64.86	28.97	65.00	17.28	112.62	105.31
21703	6591	5.20	173.80	58.28	19.99	51.00	22.49	31.61	69.80
5006	8846	8.67	423.30	61.41	117.83	216.00	30.30	178.88	293.16
5734	9659	5.41	645.30	50.27	80.60	113.00	23.32	99.42	358.27
6395	10443	7.12	967.70	36.41	70.71	66.00	16.87	119.35	457.96
7405	10981	4.58	445.70	28.32	132.05	139.00	12.91	87.44	303.06
8446	11200	8.23	420.60	35.81	73.86	561.00	22.49	60.91	241.63
7612	11938	4.58	257.40	42.25	44.84	260.00	19.58	46.90	192.65
7912	12840	6.05	248.70	44.36	42.79	150.00	19.89	72.20	170.10
8866	13143	8.23	350.30	59.07	36.58	177.00	24.57	52.56	170.00
9296	13102	4.17	109.90	29.09	13.71	31.00	11.35	25.08	51.63
9475	12000	3.97	306.20	38.30	36.22	115.00	13.54	60.63	145.51
9212	11305	10.74	306.50	53.98	97.05	255.00	27.91	69.40	177.86
8629	12086	3.77	515.60	28.74	77.47	1801.00	15.10	70.18	178.57
7776	10613	10.27	175.90	57.88	37.50	65.00	26.97	45.34	100.41
8622	10638	5.20	417.80	35.71	47.58	801.00	16.03	94.93	204.08
9237	9872	6.47	368.20	44.22	65.70	91.00	18.33	76.88	247.04
8307	9726	6.47	393.00	35.82	70.17	135.00	18.53	72.96	254.80
7106	9467	8.90	117.50	32.54	20.51	41.00	14.47	41.45	56.33
6423	8831	3.37	379.10	32.13	37.81	49.00	13.74	70.37	208.37
7458	8920	6.69	320.30	87.90	66.99	78.00	21.90	123.60	230.11
8904	8868	4.17	613.40	50.34	149.26	133.00	16.60	110.20	447.83
10547	9591	8.23	220.50	61.48	41.96	84.00	22.40	58.37	153.27
10398	10360	4.38	229.30	32.69	60.40	64.00	13.70	62.62	204.81
10395	11203	5.20	334.30	47.05	40.37	76.00	18.40	61.03	211.47
11529	11243	5.20	284.30	40.47	44.73	349.00	16.00	119.46	184.61
11563	10298	5.41	230.10	41.65	35.71	57.00	16.90	43.91	118.70
11646	9381	5.00	551.10	71.75	71.23	74.00	22.30	111.62	209.50
12641	9560	9.58	201.00	39.11	25.26	125.00	10.70	99.35	90.07
14000	8970	3.17	203.80	26.57	24.29	23.00	11.90	41.69	94.34
14207	9980	3.77	355.20	26.25	32.87	14.00	9.60	59.22	117.87
14065	10987	9.13	133.70	52.99	22.10	26.00	24.80	37.73	95.48
12734	10344	7.34	95.60	47.85	19.51	14.00	20.80	28.52	57.68
12727	7691	5.62	352.60	44.57	58.98	51.00	13.30	69.95	531.45
14173	11941	4.79	556.20	50.87	143.31	92.00	19.10	180.05	388.69
15467	12080	5.20	113.70	41.85	20.73	12.00	19.00	31.87	57.27
15140	11101	3.37	240.50	28.04	22.63	261.00	11.70	35.74	92.46

15198	10100	7.34	120.30	54.19	21.90	27.00	23.00	29.63	81.01
15248	9106	3.57	514.10	42.34	47.67	13800.00	17.30	69.96	
	269.89								
16428	9069	4.38	246.30	29.90	21.84	84.00	14.10	59.00	95.17
16289	10072	5.41	158.00	46.86	24.02	31.00	19.30	36.27	79.24
16267	11058	4.38	211.30	27.79	19.01	34.00	12.00	38.38	81.42
16440	12068	5.62	236.50	35.95	66.52	199.00	13.90	40.98	193.67
16440	13232	6.05	193.00	40.60	24.88	27.00	14.40	33.53	84.86
15412	12982	6.26	169.70	44.26	88.12	46.00	17.20	42.71	97.67
14269	12877	5.20	320.10	35.92	36.86	68.00	16.50	58.46	162.85
13277	13204	6.91	180.20	54.08	27.01	37.00	18.40	44.13	118.91
13175	12238	4.58	351.80	55.39	78.07	87.00	16.90	69.55	188.88
12153	12336	8.67	245.70	47.79	27.55	35.00	18.40	53.42	98.81
11958	13313	6.47	86.80	41.12	15.46	23.00	15.90	37.53	70.18
10800	13282	7.12	367.80	92.02	49.80	97.00	16.30	41.26	321.12
10022	12204	3.77	467.10	49.03	34.44	45.00	15.40	60.83	132.86
9333	14631	5.41	364.70	40.34	40.93	79.00	18.70	83.32	175.34
9277	16148	10.97	248.50	40.61	61.52	81.00	17.20	76.19	168.05
11121	16432	9.81	171.80	75.38	163.20	30.00	26.30	45.27	125.16
10856	14727	8.23	409.90	44.67	66.92	80.00	36.00	96.85	197.63
12644	14943	5.41	302.50	34.22	27.60	408.00	14.80	68.70	218.24
12625	16259	2.77	236.20	42.67	16.35	62.00	9.40	41.88	149.52
9036	17538	7.78	114.50	56.38	26.96	36.00	22.40	31.24	75.91
10599	17980	6.47	165.20	73.40	42.73	40.00	19.70	84.13	95.69
12632	17949	5.62	380.40	46.63	28.31	48.00	14.60	83.82	155.98
14405	18032	3.77	398.40	29.57	18.64	60.00	10.50	113.84	172.53
14074	16516	3.57	268.60	28.11	23.20	64.00	12.20	54.52	101.00
14262	15129	4.38	126.50	28.57	20.57	19.00	12.10	25.17	53.10
14624	14004	6.91	290.30	47.87	28.90	34.00	14.80	44.26	94.96
16629	14481	7.12	228.40	40.29	25.15	37.00	15.30	40.10	83.19
18470	14411	4.38	305.50	52.44	22.92	13.00	19.10	45.21	109.33
20591	13549	3.97	407.60	35.65	22.33	11.00	18.60	60.36	121.62
20983	15862	8.00	96.60	19.42	11.26	12.00	7.50	27.54	47.38
20177	17642	3.57	185.50	23.15	13.42	34.00	9.50	29.49	92.36
19041	15769	3.37	288.70	26.12	15.10	18.00	10.30	30.14	63.83
18906	16346	3.17	90.40	16.20	8.30	32.00	7.00	44.31	44.67
18467	17001	2.97	285.40	26.86	15.00	65.00	13.30	38.63	68.20
17414	15476	7.12	100.00	46.15	19.43	14.00	23.00	22.01	65.70
15748	15728	5.62	306.90	42.02	25.21	40.00	19.20	36.99	141.50
15517	17034	5.83	319.50	43.32	25.89	54.00	15.80	40.98	83.40
16607	17365	3.97	100.10	21.69	11.96	40.00	7.90	42.79	69.24
15952	18397	3.17	218.60	39.51	15.26	34.00	10.50	50.98	84.24
22605	14301	2.77	239.80	26.06	15.82	35.00	10.20	41.43	80.90
23146	15382	3.17	156.80	19.73	8.34	42.00	7.60	39.21	71.01

22046	17634	2.97	281.10	28.56	11.42	48.00	12.60	37.95	81.01
23785	17643	3.17	142.50	36.75	9.93	43.00	13.30	32.61	61.64
25981	18051	1.80	195.50	28.53	7.32	36.00	9.70	37.41	50.92
27380	18202	3.17	153.90	20.90	8.21	37.00	7.60	31.37	38.21
25021	16290	3.77	104.20	30.34	12.34	24.00	11.80	39.31	57.16
23325	16701	4.79	72.10	65.54	11.55	35.00	19.80	26.04	47.58
26852	16114	3.57	190.80	31.33	10.67	65.00	15.70	51.56	94.02
17981	18449	6.47	282.90	52.68	20.34	25.00	22.90	32.53	103.50
14482	12692	7.34	149.00	44.22	20.14	33.00	16.00	35.43	147.75
14318	13569	8.23	121.30	43.29	31.63	86.00	11.40	33.21	46.86
10352	17133	10.74	479.20	96.28	29.23	98.00	25.30	80.36	112.35
9095	16414	11.68	870.50	70.84	35.17	302.00	29.10	78.15	435.44
10510	15314	7.34	279.00	51.25	27.95	44.00	22.50	51.20	117.66
13954	5615	6.05	162.00	36.22	17.91	35.00	14.20	36.41	61.02
10142	1662	5.41	907.00	43.08	36.48	10.00	14.50	41.02	121.20
17765	3561	6.26	132.90	42.59	16.58	27.00	16.20	35.52	63.31
6924	5696	6.47	197.00	38.18	21.09	64.00	18.60	40.18	168.05
4678	3765	6.47	100.70	36.19	13.31	42.00	11.50	34.34	56.23
6182	2005	4.79	119.10	35.76	19.71	44.00	9.90	39.66	67.06
5985	2567	7.56	63.50	33.65	21.90	60.00	12.50	41.29	60.50
7653	1952	9.35	156.00	57.36	31.06	59.00	25.80	51.03	95.90

];

mat={'As','Cd','Cr','Cu','Hg','Ni','Pb','Zn'};

x=A(:,1);

y=A(:,2);

[X,Y]=meshgrid(linspace(min(x),max(x),300),linspace(min(y),max(y),300));

for i=1:8

figure

z=A(:,i+2);

Z=griddata(x,y,z,X,Y);

mesh(X,Y,Z)

colorbar

end

程序 3: 求特征.m

clear

clc

X=[7.84	153.80	44.31	20.56	266.00	18.20	35.38	72.35
5.93	146.20	45.05	22.51	86.00	17.20	36.18	94.59
4.90	439.20	29.07	64.56	109.00	10.60	74.32	218.37
6.56	223.90	40.08	25.17	950.00	15.40	32.28	117.35
6.35	525.20	59.35	117.53	800.00	20.20	169.96	726.02

14.08	1092.90	67.96	308.61	1040.00	28.20	434.80	966.73
8.94	269.80	95.83	44.81	121.00	17.80	62.91	166.73
9.62	1066.20	285.58	2528.48	13500.00	41.70	381.64	1417.86
7.41	1123.90	88.17	151.64	16000.00	25.80	172.36	926.84
8.72	267.10	65.56	29.65	63.00	21.70	36.94	100.41
5.93	201.40	45.19	24.90	259.00	14.60	35.88	102.65
9.17	287.00	43.94	45.77	168.00	19.70	62.74	223.16
5.72	193.70	80.35	26.57	111.00	19.80	57.64	89.08
4.49	359.50	258.15	123.27	77.00	12.90	106.47	853.98
5.51	516.40	91.97	89.04	189.00	19.80	121.72	494.80
11.45	1044.50	94.78	136.97	202.00	22.30	472.48	602.04
6.14	445.40	82.69	167.39	144.00	18.40	111.24	389.80
7.84	347.90	57.65	97.14	213.00	19.60	70.82	307.24
7.41	345.70	159.45	71.03	85.00	18.10	89.34	380.92
8.50	614.00	744.46	130.55	156.00	32.80	228.64	1013.47
5.51	257.20	54.64	29.01	104.00	13.20	87.68	223.27
9.84	1213.50	920.84	1364.85	115.00	142.50	181.48	1818.47
9.39	325.80	172.29	104.89	82.00	31.50	90.90	429.29
3.30	212.10	50.13	38.62	139.00	10.60	66.98	186.22
4.09	90.50	35.02	11.82	16.00	10.40	29.09	46.84
6.14	583.40	95.25	233.70	155.00	21.10	97.47	311.02
5.31	366.40	42.34	64.65	188.00	17.40	67.11	182.65
3.69	323.90	35.14	34.66	50.00	13.90	65.48	253.16
21.87	424.50	73.40	59.72	1520.00	27.80	83.70	175.71
18.38	630.00	96.68	114.81	645.00	34.80	130.36	1626.02
10.53	635.30	64.03	101.35	190.00	28.30	162.64	615.10
3.50	463.40	112.19	72.93	118.00	14.10	60.60	193.37
6.35	532.00	57.51	83.76	191.00	19.50	73.46	297.14
5.51	778.70	74.66	92.48	330.00	19.70	110.20	351.63
4.49	754.80	99.88	97.92	243.00	24.90	100.79	323.37
3.50	396.30	138.37	58.97	170.00	24.20	91.76	2893.47
5.51	687.80	85.52	72.85	201.00	19.00	103.20	403.27
4.29	526.00	55.31	81.43	93.00	19.90	100.65	369.80
4.29	449.10	67.22	51.64	315.00	15.70	106.97	294.69
6.56	852.70	72.59	158.67	311.00	21.20	124.24	377.14
16.58	459.00	94.79	47.17	1900.00	19.90	71.32	215.10
7.41	337.30	77.27	248.85	90.00	20.10	99.58	210.00
5.93	568.10	75.14	118.16	135.00	23.80	111.54	572.96
4.69	599.00	69.05	122.18	121.00	19.80	102.72	427.04
4.90	635.50	68.42	227.76	176.00	19.50	96.33	538.98
5.31	600.70	44.65	45.10	51.00	15.50	65.87	186.33
4.29	567.60	60.25	48.67	46.00	16.10	63.74	208.06
5.51	228.50	49.27	30.85	62.00	22.90	45.93	102.04
4.69	568.60	306.02	70.41	900.00	16.80	79.67	196.73

7.20	214.70	50.33	40.16	156.00	20.80	47.76	403.98
5.31	151.90	47.24	24.44	140.00	17.30	37.49	92.55
4.90	343.30	42.01	58.81	80.00	13.80	79.07	275.82
4.90	293.90	60.29	51.03	53.00	12.60	75.93	278.37
3.89	312.90	33.79	277.82	55.00	14.00	68.24	295.61
3.69	315.90	45.43	34.05	55.00	12.60	62.84	196.33
3.11	416.30	57.88	47.64	167.00	11.90	116.19	242.04
3.89	374.00	45.17	50.19	35.00	15.00	58.11	157.35
3.89	344.30	35.29	47.87	100.00	15.10	133.72	141.02
2.91	252.90	45.98	71.54	32.14	14.40	42.99	146.22
3.30	503.40	38.74	30.46	36.43	7.20	53.73	102.86
4.90	303.80	56.02	65.86	63.21	40.05	90.69	3760.82
4.09	127.00	27.58	23.99	30.00	11.93	57.47	85.61
2.91	265.00	35.66	29.39	24.64	9.23	60.54	122.96
2.72	278.90	43.43	32.61	64.29	9.90	53.40	135.71
3.11	751.20	53.11	53.80	27.86	10.46	60.27	155.00
3.30	361.30	47.54	52.28	25.71	9.11	113.46	218.27
3.30	488.00	51.18	34.55	37.50	10.80	54.62	125.92
6.14	227.00	42.15	67.04	49.29	16.31	34.28	82.96
3.69	347.40	37.76	19.97	26.79	10.01	54.41	221.22
4.49	136.00	36.56	23.07	21.43	14.96	34.19	78.98
3.11	327.10	25.98	23.73	25.71	9.79	63.81	138.06
8.06	113.10	52.40	20.81	65.36	19.69	29.56	62.24
3.69	270.50	33.12	57.85	25.71	13.50	62.04	118.16
3.69	160.30	38.29	26.08	25.71	14.29	40.13	82.86
3.50	305.50	39.50	30.86	31.07	14.74	61.89	148.88
2.72	70.90	19.45	9.12	15.00	7.09	22.73	32.86
8.50	261.30	45.97	24.83	51.43	18.00	43.39	84.49
1.77	119.80	15.32	13.34	8.57	6.19	26.31	47.76
2.53	468.80	37.04	32.03	45.00	12.15	65.25	178.98
3.69	150.70	59.61	19.00	34.29	24.98	38.47	89.08
6.14	100.30	37.49	20.23	34.29	14.85	29.29	61.94
10.99	109.80	56.07	69.06	58.93	20.70	38.87	63.27
6.35	91.80	36.12	16.91	36.43	12.49	27.01	47.76
30.13	743.90	49.03	26.18	27.86	17.66	72.76	182.04
3.89	416.80	37.04	23.78	22.50	11.48	54.45	105.00
2.91	369.80	36.34	52.48	22.50	7.99	42.02	84.08
1.96	194.00	18.08	16.17	26.79	6.98	40.27	94.69
6.98	50.10	41.02	14.25	17.14	13.39	26.57	40.92
2.91	198.80	28.21	19.24	13.93	9.56	47.81	94.80
5.93	886.60	42.69	28.12	43.93	21.15	94.64	163.27
5.93	128.90	47.52	16.31	12.86	17.66	33.51	91.73
7.41	114.30	48.34	21.45	35.36	16.54	35.83	63.88
4.29	232.90	29.17	40.02	1714.29	9.79	38.65	95.41

4.69	132.80	36.11	17.28	20.36	15.53	37.03	82.76
5.72	1619.80	43.48	15.50	20.36	15.41	30.99	57.55
6.77	282.50	41.97	52.80	27.86	18.34	49.10	104.90
4.49	180.60	37.23	18.70	27.86	11.93	36.45	63.98
3.11	386.60	35.93	26.38	24.64	12.26	60.00	157.24
2.91	345.00	40.46	152.21	23.57	15.53	58.05	170.71
4.29	95.60	22.49	17.15	85.71	10.13	27.97	67.24
7.63	87.10	45.83	14.83	30.00	14.63	29.25	48.78
5.93	203.00	35.97	16.88	15.00	14.51	45.83	89.49
2.34	353.00	24.53	12.70	11.79	9.00	58.80	89.08
2.91	233.20	24.92	21.62	85.71	8.33	45.20	100.10
5.72	174.30	33.83	29.45	20.36	13.05	42.10	71.43
2.34	87.60	18.46	9.73	13.93	8.89	24.43	43.37
6.56	245.60	36.73	61.30	55.71	14.18	47.24	114.29
4.69	167.90	33.15	18.96	60.00	15.98	33.46	55.71
6.35	111.40	28.82	59.17	206.79	11.70	28.02	61.53
5.10	94.60	77.92	20.34	23.57	28.69	25.92	58.47
4.69	111.60	24.57	12.09	31.07	8.55	27.12	43.88
3.50	85.50	26.33	24.88	36.43	11.36	26.77	64.08
4.69	169.50	39.11	22.51	25.71	15.98	39.53	82.96
4.49	138.00	34.52	35.54	50.36	12.60	25.45	52.45
3.30	131.40	35.97	11.29	43.93	11.03	30.06	61.94
2.91	41.00	41.77	12.50	17.14	17.10	19.68	78.37
4.09	129.70	26.83	10.12	40.71	7.76	28.84	68.16
5.72	148.00	36.73	14.21	52.50	12.60	27.15	57.86
4.90	108.10	22.72	9.40	35.36	8.89	32.39	69.39
4.90	132.50	79.52	18.67	42.86	27.68	28.30	92.24
4.09	162.90	33.79	12.96	30.00	12.94	29.17	74.90
5.93	88.80	52.41	15.30	10.71	19.91	28.62	63.88
2.91	206.70	17.46	12.02	31.07	5.51	53.79	79.18
2.72	121.80	19.98	7.71	24.64	8.10	27.30	57.96
2.34	231.10	36.48	12.80	37.50	17.66	29.02	96.53
2.53	128.60	21.75	9.10	30.00	9.56	22.77	58.06
3.89	126.80	50.01	12.74	53.57	18.68	29.40	69.90
2.34	79.70	74.36	27.49	9.64	45.45	21.22	87.65
2.34	294.10	42.68	12.27	79.29	15.53	83.44	99.49
1.96	238.30	19.71	25.22	19.29	6.64	66.24	142.86
2.72	109.30	18.52	12.55	19.29	9.79	26.06	61.43
3.11	69.40	22.93	7.56	26.79	7.65	22.09	53.06
3.50	155.70	33.30	12.08	42.86	11.36	28.05	51.53
2.72	109.30	19.83	14.54	19.29	9.45	34.56	47.55
1.77	205.50	173.34	27.81	41.79	74.03	55.71	229.80
3.50	53.20	35.15	7.91	20.36	11.14	24.90	34.39
2.53	40.00	19.08	2.29	15.00	7.88	24.15	54.29

9.17	82.80	63.88	24.85	11.79	31.50	21.68	76.53
7.41	222.40	31.10	38.50	142.50	8.66	128.60	133.98
5.72	164.80	49.44	27.98	126.43	13.61	37.64	76.12
8.06	194.00	41.79	31.43	213.21	13.61	45.52	127.35
5.72	310.10	56.40	37.11	138.21	16.43	59.63	154.49
8.72	1024.90	77.61	71.24	128.57	19.35	227.40	1389.39
6.77	492.80	37.86	35.61	142.50	13.39	114.13	118.98
6.56	202.30	33.28	37.67	1339.29	11.36	140.62	110.92
6.77	97.20	38.67	18.12	24.64	14.74	28.77	49.90
6.98	208.60	41.00	28.55	67.50	15.19	93.83	84.59
6.14	143.40	41.67	22.57	88.93	12.49	38.14	65.61
6.69	158.10	36.61	16.22	36.00	12.91	31.67	63.57
8.00	332.60	77.06	46.01	240.00	24.47	68.10	259.29
6.69	401.80	84.94	60.11	138.00	19.16	96.76	227.55
8.23	756.40	42.73	87.52	63.00	19.26	88.74	184.69
9.35	407.50	55.54	61.83	112.00	24.05	66.82	208.27
8.90	307.30	54.39	57.21	326.00	25.72	131.93	256.94
3.77	242.10	30.93	32.13	28.00	11.56	50.60	144.69
5.41	178.90	29.54	23.73	52.00	9.89	49.84	118.88
7.78	315.50	49.76	28.03	550.00	18.95	45.73	109.29
5.62	134.60	25.33	19.10	45.00	11.66	40.50	87.14
5.41	235.60	36.88	48.80	43.00	14.06	53.61	213.47
4.58	203.80	39.03	24.18	87.00	16.66	53.09	138.88
6.91	568.50	54.59	113.46	264.00	23.22	82.40	399.90
5.00	506.50	59.45	70.71	202.00	26.13	78.01	334.39
5.62	880.00	78.29	121.12	293.00	25.61	171.14	540.00
6.91	250.30	39.09	50.46	81.00	20.41	59.17	172.65
7.78	161.90	42.08	77.92	186.00	18.22	62.81	171.84
6.26	249.40	54.70	81.74	75.00	25.51	57.92	171.12
7.56	248.20	42.23	69.39	57.00	16.56	44.54	165.10
4.79	156.30	41.16	32.40	83.00	14.58	35.50	103.88
2.77	120.30	49.85	18.38	43.00	25.51	37.93	115.41
6.26	429.20	54.47	56.60	45.00	19.78	87.50	230.41
7.34	205.10	43.63	23.51	47.00	19.78	41.33	104.29
4.17	113.80	37.27	17.06	34.00	14.47	26.74	64.49
5.00	221.30	30.75	70.32	47.00	16.14	47.20	185.41
7.56	580.10	39.78	85.46	270.00	17.49	66.69	315.92
5.62	171.00	31.23	25.73	292.00	15.72	31.09	110.61
6.05	365.00	35.92	30.91	110.00	17.91	44.75	147.35
4.79	289.70	42.12	41.10	57.00	17.49	76.80	237.45
23.72	452.10	37.22	43.61	160.00	16.35	73.27	1635.92
6.47	847.60	53.17	59.00	96.00	19.05	68.82	186.53
4.17	310.70	40.70	42.64	58.00	14.99	115.59	177.76
5.00	317.50	42.46	30.96	162.00	17.81	59.94	221.94

4.17	357.50	38.78	43.89	14901.00	17.70	98.22	349.80
6.26	387.20	38.03	30.06	85.00	21.97	54.98	142.55
5.00	196.50	50.03	18.56	29.00	25.82	33.90	84.80
1.61	295.80	15.40	18.35	19.00	4.27	40.42	106.53
4.58	129.00	31.09	18.93	38.00	15.10	29.76	69.80
5.41	204.90	40.16	25.86	41.00	16.24	33.28	80.00
3.57	174.80	31.13	26.21	26.00	11.14	31.77	94.08
2.00	197.00	78.36	22.98	19.00	24.05	43.73	104.18
3.37	106.70	16.31	9.04	17.00	7.60	26.89	37.14
6.47	738.00	47.35	24.07	135.00	19.58	34.09	101.73
3.37	788.70	28.90	17.62	34.00	15.51	26.04	91.02
6.91	133.10	40.58	32.64	27.00	22.39	33.97	115.20
2.38	149.50	27.18	11.19	54.00	14.47	38.35	59.49
7.56	206.60	55.79	24.44	22.00	28.63	29.73	81.73
8.67	78.90	58.87	21.65	26.00	23.43	26.52	70.51
4.79	178.60	32.31	29.01	45.00	14.26	47.98	104.90
5.41	250.10	34.32	16.25	15.00	18.53	41.29	90.20
5.83	89.20	54.90	23.28	19.00	21.76	24.95	53.57
5.62	453.50	37.22	21.92	40.00	16.56	41.51	87.35
4.38	92.40	38.70	15.03	21.00	13.85	24.22	47.24
2.77	198.70	18.11	15.33	19.00	9.68	34.15	95.92
5.41	260.10	43.81	26.46	33.00	13.22	39.49	87.04
5.62	101.10	49.01	19.96	23.00	20.82	26.00	71.53
6.69	146.50	43.39	19.89	36.00	17.49	33.24	60.00
7.56	66.50	49.24	14.67	19.00	17.08	25.48	41.12
2.77	119.00	27.49	10.62	44.00	10.52	31.94	53.27
1.61	434.80	21.29	12.84	18.00	8.85	56.14	106.43
5.62	188.00	30.52	26.03	58.00	14.26	31.96	77.45
2.97	77.50	16.91	9.95	34.00	7.50	28.15	41.63
4.58	130.80	35.61	19.59	23.00	16.14	29.87	61.12
5.20	134.50	29.37	16.33	32.00	13.54	29.83	59.90
3.17	101.80	32.23	10.68	12.00	12.81	33.20	51.12
5.00	232.00	32.43	24.23	37.00	15.10	36.08	101.84
7.56	121.10	62.91	31.03	44.00	27.28	28.36	88.16
5.20	238.70	47.18	59.66	24.00	19.68	62.57	108.47
6.05	151.20	92.76	31.43	79.00	32.07	31.57	130.61
2.77	202.60	56.54	18.09	49.00	28.11	26.14	82.14
2.38	351.60	64.86	28.97	65.00	17.28	112.62	105.31
5.20	173.80	58.28	19.99	51.00	22.49	31.61	69.80
8.67	423.30	61.41	117.83	216.00	30.30	178.88	293.16
5.41	645.30	50.27	80.60	113.00	23.32	99.42	358.27
7.12	967.70	36.41	70.71	66.00	16.87	119.35	457.96
4.58	445.70	28.32	132.05	139.00	12.91	87.44	303.06
8.23	420.60	35.81	73.86	561.00	22.49	60.91	241.63

4.58	257.40	42.25	44.84	260.00	19.58	46.90	192.65
6.05	248.70	44.36	42.79	150.00	19.89	72.20	170.10
8.23	350.30	59.07	36.58	177.00	24.57	52.56	170.00
4.17	109.90	29.09	13.71	31.00	11.35	25.08	51.63
3.97	306.20	38.30	36.22	115.00	13.54	60.63	145.51
10.74	306.50	53.98	97.05	255.00	27.91	69.40	177.86
3.77	515.60	28.74	77.47	1801.00	15.10	70.18	178.57
10.27	175.90	57.88	37.50	65.00	26.97	45.34	100.41
5.20	417.80	35.71	47.58	801.00	16.03	94.93	204.08
6.47	368.20	44.22	65.70	91.00	18.33	76.88	247.04
6.47	393.00	35.82	70.17	135.00	18.53	72.96	254.80
8.90	117.50	32.54	20.51	41.00	14.47	41.45	56.33
3.37	379.10	32.13	37.81	49.00	13.74	70.37	208.37
6.69	320.30	87.90	66.99	78.00	21.90	123.60	230.11
4.17	613.40	50.34	149.26	133.00	16.60	110.20	447.83
8.23	220.50	61.48	41.96	84.00	22.40	58.37	153.27
4.38	229.30	32.69	60.40	64.00	13.70	62.62	204.81
5.20	334.30	47.05	40.37	76.00	18.40	61.03	211.47
5.20	284.30	40.47	44.73	349.00	16.00	119.46	184.61
5.41	230.10	41.65	35.71	57.00	16.90	43.91	118.70
5.00	551.10	71.75	71.23	74.00	22.30	111.62	209.50
9.58	201.00	39.11	25.26	125.00	10.70	99.35	90.07
3.17	203.80	26.57	24.29	23.00	11.90	41.69	94.34
3.77	355.20	26.25	32.87	14.00	9.60	59.22	117.87
9.13	133.70	52.99	22.10	26.00	24.80	37.73	95.48
7.34	95.60	47.85	19.51	14.00	20.80	28.52	57.68
5.62	352.60	44.57	58.98	51.00	13.30	69.95	531.45
4.79	556.20	50.87	143.31	92.00	19.10	180.05	388.69
5.20	113.70	41.85	20.73	12.00	19.00	31.87	57.27
3.37	240.50	28.04	22.63	261.00	11.70	35.74	92.46
7.34	120.30	54.19	21.90	27.00	23.00	29.63	81.01
3.57	514.10	42.34	47.67	13800.00	17.30	69.96	269.89
4.38	246.30	29.90	21.84	84.00	14.10	59.00	95.17
5.41	158.00	46.86	24.02	31.00	19.30	36.27	79.24
4.38	211.30	27.79	19.01	34.00	12.00	38.38	81.42
5.62	236.50	35.95	66.52	199.00	13.90	40.98	193.67
6.05	193.00	40.60	24.88	27.00	14.40	33.53	84.86
6.26	169.70	44.26	88.12	46.00	17.20	42.71	97.67
5.20	320.10	35.92	36.86	68.00	16.50	58.46	162.85
6.91	180.20	54.08	27.01	37.00	18.40	44.13	118.91
4.58	351.80	55.39	78.07	87.00	16.90	69.55	188.88
8.67	245.70	47.79	27.55	35.00	18.40	53.42	98.81
6.47	86.80	41.12	15.46	23.00	15.90	37.53	70.18
7.12	367.80	92.02	49.80	97.00	16.30	41.26	321.12

3.77	467.10	49.03	34.44	45.00	15.40	60.83	132.86
5.41	364.70	40.34	40.93	79.00	18.70	83.32	175.34
10.97	248.50	40.61	61.52	81.00	17.20	76.19	168.05
9.81	171.80	75.38	163.20	30.00	26.30	45.27	125.16
8.23	409.90	44.67	66.92	80.00	36.00	96.85	197.63
5.41	302.50	34.22	27.60	408.00	14.80	68.70	218.24
2.77	236.20	42.67	16.35	62.00	9.40	41.88	149.52
7.78	114.50	56.38	26.96	36.00	22.40	31.24	75.91
6.47	165.20	73.40	42.73	40.00	19.70	84.13	95.69
5.62	380.40	46.63	28.31	48.00	14.60	83.82	155.98
3.77	398.40	29.57	18.64	60.00	10.50	113.84	172.53
3.57	268.60	28.11	23.20	64.00	12.20	54.52	101.00
4.38	126.50	28.57	20.57	19.00	12.10	25.17	53.10
6.91	290.30	47.87	28.90	34.00	14.80	44.26	94.96
7.12	228.40	40.29	25.15	37.00	15.30	40.10	83.19
4.38	305.50	52.44	22.92	13.00	19.10	45.21	109.33
3.97	407.60	35.65	22.33	11.00	18.60	60.36	121.62
8.00	96.60	19.42	11.26	12.00	7.50	27.54	47.38
3.57	185.50	23.15	13.42	34.00	9.50	29.49	92.36
3.37	288.70	26.12	15.10	18.00	10.30	30.14	63.83
3.17	90.40	16.20	8.30	32.00	7.00	44.31	44.67
2.97	285.40	26.86	15.00	65.00	13.30	38.63	68.20
7.12	100.00	46.15	19.43	14.00	23.00	22.01	65.70
5.62	306.90	42.02	25.21	40.00	19.20	36.99	141.50
5.83	319.50	43.32	25.89	54.00	15.80	40.98	83.40
3.97	100.10	21.69	11.96	40.00	7.90	42.79	69.24
3.17	218.60	39.51	15.26	34.00	10.50	50.98	84.24
2.77	239.80	26.06	15.82	35.00	10.20	41.43	80.90
3.17	156.80	19.73	8.34	42.00	7.60	39.21	71.01
2.97	281.10	28.56	11.42	48.00	12.60	37.95	81.01
3.17	142.50	36.75	9.93	43.00	13.30	32.61	61.64
1.80	195.50	28.53	7.32	36.00	9.70	37.41	50.92
3.17	153.90	20.90	8.21	37.00	7.60	31.37	38.21
3.77	104.20	30.34	12.34	24.00	11.80	39.31	57.16
4.79	72.10	65.54	11.55	35.00	19.80	26.04	47.58
3.57	190.80	31.33	10.67	65.00	15.70	51.56	94.02
6.47	282.90	52.68	20.34	25.00	22.90	32.53	103.50
7.34	149.00	44.22	20.14	33.00	16.00	35.43	147.75
8.23	121.30	43.29	31.63	86.00	11.40	33.21	46.86
10.74	479.20	96.28	29.23	98.00	25.30	80.36	112.35
11.68	870.50	70.84	35.17	302.00	29.10	78.15	435.44
7.34	279.00	51.25	27.95	44.00	22.50	51.20	117.66
6.05	162.00	36.22	17.91	35.00	14.20	36.41	61.02
5.41	907.00	43.08	36.48	10.00	14.50	41.02	121.20

```

6.26    132.90  42.59   16.58   27.00   16.20   35.52   63.31
6.47    197.00  38.18   21.09   64.00   18.60   40.18   168.05
6.47    100.70  36.19   13.31   42.00   11.50   34.34   56.23
4.79    119.10  35.76   19.71   44.00   9.90    39.66   67.06
7.56    63.50   33.65   21.90   60.00   12.50   41.29   60.50
9.35    156.00  57.36   31.06   59.00   25.80   51.03   95.90

```

```

];
X=[X(:,1) X(:,2)/1000 X(:,3) X(:,4) X(:,5)/1000 X(:,6) X(:,7) X(:,8)];
S=[1.8  5.4  20  25  30  0
0.07 0.19 0.3  0.6  1  0
13  49  250 300 400 0
6  20.4 50  100 400 0
0.019  0.051  0.1  0.5  1.5  0
4.7  19.9 40  50  200 0
19  43  250 300 500 0
41  97  200 250 500 0
];
f=[3 2 6 5 1 4 6 8]';
D=sum(S,2);
%权重系数
R=[];
for k=1:319
    sum=0;
    for i=1:8
        sum=sum+X(k,i)/D(i);
    end
    for i=1:8
        C(i)=(X(k,i)/D(i))./sum;
    end
    sum1=0;
    for i=1:8
        sum1=sum1+C(i)/f(i);
    end
    for i=1:8
        r(i)=(C(i)/f(i))./sum1;
    end
    R=[R;r];
end
A=[];
for k=1:319
    %求各个采集样点的模糊矩阵
    T=[];
    for i=1:8
        flag=0;

```

```

    for j=1:5
        if X(k,i)<=S(i,j) & flag==0
            T(i,j)=1;
            flag=1;
        end
        if X(k,i)>S(i,j)&X(k,i)<=S(i,j+1)
            T(i,j)=(S(i,j+1)-X(k,i))/(S(i,j+1)-S(i,j));
        end
        if X(k,i)>=S(i,j+1)
            T(i,j)=0;
        end
    end
end
for i=1:8
    flag=0;
    for j=1:5
        if T(i,j)>0 & T(i,j)<1 & flag==0
            T(i,j+1)=1-T(i,j);
            flag=1;
        end
        if T(i,j)==1
            T(i,j+1)=0;
        end
    end
end
%模糊合成算子
for j=1:5
    for i=1:8
        if R(k,i)>T(i,j)
            p(i)=T(i,j);
        else
            p(i)=R(k,i);
        end
    end
    P(j)=max(p);
end
A=[A;P];
end
A
%综合评价
L=[];
for i=1:319
    sum0=0;
    for j=1:5

```

```

        sum0=sum0+j*A(i,j);
    end
    L=[L;sum0];
end
L
程序 4： 聚类.M
    %区域 1
X=[30.00    171.80    9.81    26.30    163.20    45.27    75.38    125.16
326.00    307.30    8.90    25.72    57.21    131.93    54.39    256.94
550.00    315.50    7.78    18.95    28.03    45.73    49.76    109.29
315.00    449.10    4.29    15.70    51.64    106.97    67.22    294.69
90.00     337.30    7.41    20.10    248.85    99.58    77.27    210.00
37.50    488.00    3.30    10.80    34.55    54.62    51.18    125.92
63.00    756.40    8.23    19.26    87.52    88.74    42.73    184.69 ];
x=[2383 3692
2708    2295
4043    1895
4592    4603
7912    12840
10685    5528
11415    2585];
plot(x(:,1),x(:,2),'*')
hold on
BX=zscore(X);
Y=pdist(X)
D=squareform(Y)
Z=linkage(Y)
T=cluster(Z,3)
find(T==3)
[H,T]=dendrogram(Z)

    %区域 2
X=[408.00    302.50    5.41    14.80    27.60    68.70    34.22    218.24
139.00    445.70    4.58    12.91    132.05    87.44    28.32    303.06
561.00    420.60    8.23    22.49    73.86    60.91    35.81    241.63
260.00    257.40    4.58    19.58    44.84    46.90    42.25    192.65
261.00    240.50    3.37    11.70    22.63    35.74    28.04    92.46
66.00     967.70    7.12    16.87    70.71    119.35    36.41    457.96
45.00     467.10    3.77    15.40    34.44    60.83    49.03    132.86
1040.00    1092.90    14.08    28.20    308.61    434.80    67.96    966.73
950.00    223.90    6.56    15.40    25.17    32.28    40.08    117.35 ];
x=[6182 2005
8180    4496
4020    2990

```

```

10643  4472
5394   8631
5567   6782
7304   5230
16440  12068
9095   16414];
plot(x(:,1),x(:,2),'*')
hold on
BX=zscore(X);
Y=pdist(X)
D=squareform(Y)
Z=linkage(Y)
T=cluster(Z,3)
find(T==3)
[H,T]=dendrogram(Z)

%区域 4
X=[293.00  880.00  5.62  25.61  121.12  171.14  78.29  540.00
800.00  525.20  6.35  20.20  117.53  169.96  59.35  726.02
55.00   312.90  3.89  14.00  277.82  68.24  33.79  295.61
311.00  852.70  6.56  21.20  158.67  124.24  72.59  377.14
243.00  754.80  4.49  24.90  97.92  100.79  99.88  323.37
330.00  778.70  5.51  19.70  92.48  110.20  74.66  351.63
34.00   788.70  3.37  15.51  17.62  26.04  28.90  91.02
135.00  738.00  6.47  19.58  24.07  34.09  47.35  101.73
801.00  417.80  5.20  16.03  47.58  94.93  35.71  204.08
43.93   886.60  5.93  21.15  28.12  94.64  42.69  163.27
27.86   751.20  3.11  10.46  53.80  60.27  53.11  155.00
900.00  568.60  4.69  16.80  70.41  79.67  306.02  196.73
96.00   847.60  6.47  19.05  59.00  68.82  53.17  186.53];
x=[7906 3978
22304 10527
6534  5641
3762  2170
4684  1364
5636  133
8045  3052
13694 2357
8446  11200
8629  12086
11529 11243
15248 9106
4742  7293];
plot(x(:,1),x(:,2),'*')

```

```

hold on
BX=zscore(X);
Y=pdist(X)
D=squareform(Y)
Z=linkage(Y)
T=cluster(Z,3)
find(T==3)
[H,T]=dendrogram(Z)

```

%区域 5

```

X=[92.00    556.20    4.79    19.10    143.31    180.05    50.87    388.69
142.50    492.80    6.77    13.39    35.61    114.13    37.86    118.98
98.00    479.20    10.74    25.30    29.23    80.36    96.28    112.35
259.00    201.40    5.93    14.60    24.90    35.88    45.19    102.65
40.00    453.50    5.62    16.56    21.92    41.51    37.22    87.35
302.00    870.50    11.68    29.10    35.17    78.15    70.84    435.44
10.00    907.00    5.41    14.50    36.48    41.02    43.08    121.20
1339.29    202.30    6.56    11.36    37.67    140.62    33.28    110.92 ];

```

```

x=[139545615
17765    3561
1647    2728
11678    8618
4777    4897
5006    8846
12644    14943
4948    7293];
plot(x(:,1),x(:,2),'*')
hold on
BX=zscore(X);
Y=pdist(X)
D=squareform(Y)
Z=linkage(Y)
T=cluster(Z,3)
find(T==3)
[H,T]=dendrogram(Z)

```