

第九届国际地球化学勘查学术讨论会金矿勘查



华北有色地质勘探公司五一九队

一九八四年三月

## 目 录

***** *化探方法技术* *****	
有效应用地球化学勘查金矿的采样和分析要求.....	1
***** *金矿地质、地球化学背景* *****	
加拿大科迪勒拉金、银矿床及其地质、地球化学 背景.....	19
加拿大地盾苏必利尔省金矿勘查准则在科迪勒拉 省金矿勘查中的应用.....	32
***** *金矿地球化学* *****	
加拿大育空地区部分金银矿床上元素的分布.....	54
金的勘查地球化学.....	75
***** *新认识* *****	
在复盖层中结晶金粒的乙义.....	86
加拿大格拉尼斯尔和贝尔科珀斑岩铜矿床中 的金.....	90
***** *金矿化探数据处理* *****	
加拿大不列颠哥伦比亚省夏洛特圣诺拉金矿—— 地球化学找矿实例.....	104
***** *化学分析* *****	
美国华盛顿洲东北部格拉本县应用电热原子 吸收测定水系中的金、银和砷以及这些 元素与矿床的关系.....	119
用中子活化法测定金.....	127

# 有效应用地球化学勘查金矿的 采样和分析要求

J. F. Harris

## 摘 要

在金矿区域普查中，若要有效应用地球化学方法，需要评价由于金的性质及其在地质介质中的分布所引起的采样问题。常规地球化学方法不适于这方面的研究。野外样品的大小必须能够保证采样精度，实验室分析用样量必须能够保证给出合适的重现性。

本文讨论解决金粒稀少问题的各种方法，其中包括：采集较大的野外样品；采复样；实验室制样时采用研磨处理和重矿物分离；采用能单次分析大样的分析方法。

## 序 言

近年来金价猛涨刺激了金矿的勘探，从而也促进了地球化学方法的应用。

本文旨在阐述采样的一些基本原则及这些原则与金地球化学勘探的关系。

金矿勘探中多数地球化学工作采用的程序是：

- 1、采集200克水系泥沙或土壤样品送交实验室；
- 2、样品干燥后过筛，取足够量的-80目物质待分析；
- 3、分析金矿最常用的程序是取5克样进行酸溶—溶剂提取—原子吸收分析。有些实验室在进行原子吸收分析之前，先取10克做火试金分析。

4、分析结果成图。高于选定的异常下限视为异常，解释异常的空间分布，从而指导下一步工作。

这种简单方法在寻找贱金属矿中已被证实非常有效。然而，金具有不同于其它金属的特性，因此应用地球化学找金时也应作特殊考虑。

1、金主要以自然金属形式存在，其化学和物理性质稳定，因而主要以碎屑（微粒）形式分散。

2、金的丰度很低，几ppm的品位便可构成经济矿床。地球化学找金中取样介质的背景值一般是5~10ppb。

鉴于上述两点，应用地球化学找金最首要的问题就是采样。

### 采样的基本原则

只有遵循下面两条原则，才能有效应用化学分析估计岩石、土壤或泥沙中某种元素的真实含量。

1、送交实验室的野外样品必须充分代表所测物质。

2、实验室分析方法必须能够反映野外样品中元素的真实含量。

由于低含量金的采样及实验室用样方面存在一定问题，因而多数情况下上述条件不一定都能得到满足。

若假定某取样地质体中金含量为500ppb，由于多数地质体中金的背景值为5ppb或更少，因而该值一般被视为高异常。下面以一个比拟来说明500ppb这个数值在采样中的含义。

假设有一堆混杂的颗粒物质，其中黑粒为微量组分，白粒为主要组分。为形象起见，现假定黑粒为胡波子（代表金）并分散在一袋稻子（代表硅酸盐矿物）中。在此比拟中（不考虑颗粒大小、比

重等问题，仅考虑颗粒数目），500 ppb的实际意义是在10亿颗稻子中有500颗胡椒子，或者说在1亿颗稻子中有50颗胡椒子。100颗稻子大约重2克，1亿颗重约2000公斤。也就是说大约2000公斤稻子中含有50颗胡椒子。

现在假设对稻子取样以测定其胡椒子含量，象多数地球化学测量中做法那样——随机取一勺稻子装满纸袋。样品重约200克。这样，重2000公斤的稻子可取10000个样，但总共只有50颗胡椒子。因此任一随机样品中含有一个胡椒子的几率不会超过 $50/100000$ （或 $1/200$ ）。然而一旦所采样品中含有一个胡椒子（可能性甚小），那么该样品的胡椒子含量将会是全部稻子真实含量的200倍。

此比拟的结论很清楚：200克样品太小了。即便把样品增大至2公斤，2000公斤稻子可取1000个样，50颗胡椒子在每个样品中出现一颗的几率也才能提高到 $1/20$ 。若想把几率提高到50%，须采20公斤重的样品。

这绝非空谈。在金刚石矿勘探中就常遇到这种情况。金刚石的经济品位可低至ppb级。在这种情况下需采成百或上千吨样品才能可靠评价岩石或砂砾中金刚石的总含量。

以上讨论的采样问题归因于这样一个事实，即取样物质中待测成分的颗粒太少。当然，上述比拟也有不适当之处，如胡椒子颗粒远远大于自然界土壤和泥沙中的金粒。倘若对稻子混合物进行研磨，使每个胡椒子分成500个微粒（相当于15目或0.1毫米粒径），这时稻子中将含有25000颗胡椒子微粒，而不再是原来的50颗。如混合均匀，每200克样品中含胡椒子的几率将大大

提高，这样，样品中的含量就会趋近整袋稻子的真实含量。

当所找组分的含量一定时，该组分的颗粒越小，单位量取样物质中其粒数就会越多。图1为此问题的图示。当样品体积（图中小方块）相同时，随着小黑点数量增多，小方块的含量逐步趋近大方块的整体含量。反之当含量一定时，采样质量直接取决于样品体积大小。

为了知道样品是否足够大，必须对采样精度做定量分析。地球化学找矿中合适的采样精度是：任一样品的含量区于取样地质体真实含量 $\pm 50\%$ 范围内的概率为 $95\%$ 。Clifton（1969年）指出要获得这一精度，每一样品必须含有20颗所找组分的微粒。

当样品大小一定时，每个样品中金粒多少取决于金的富集度和金粒大小（这些数据在采样阶段是未知的）。Clifton（1969年）提出，大多数冲积物中的金主要以片状颗粒出现，其直径小于0.1毫米，厚度为0.01毫米左右。对于随机分布着这种金粒的物质而言，当金的富集度为1000 ppb时，合适的采样量（即每个样中含20颗金粒）应是25克；若金的富集为250 ppb，样重应是100克；金的富集为60 ppb，样重应为400克。根据这一观点，200克样品似乎是合适的，至少在金的高异常区如此。

遗憾的是这一结论并非准确，因为在实验室筛除+80目部分后，原来的200克样品要减少90%（即剩下20克）。但是只要金的粒度与Clifton等人的预测相同，成为分析样品的-80目部分就会含有几乎全部原始样品中的金。正是这些-80目物质与实验室分析结果有关，比如说分析值为600 ppb，而实际上代表原始野外样品的60 ppb。总之，若实验室分析用的-80目样

品仅是原样重量的  $1/10$ ，那么开始针对不同含量确定的采样量实际上必须扩大  $10$  倍。

在泥沙地球化学采样中，人们可能认为采如此大的样品（达公斤级）是不实际的。然而这一问题不可忽视。假如前边给定的金粒径不变，当含量为  $1000$  ppb 时每  $20$  克样含有  $16$  颗金粒；含量为  $250$  ppb 时含  $4$  颗金粒。如果仅含有  $4$  颗金粒，可信度为  $95\%$  的采样精度上下限分别是真实含量的  $+160\%$  和  $-60\%$ 。因此分析值是  $250$  ppb 时，我们只能断定采样物质的真实含量区于  $650$  ppb 和  $100$  ppb 之间的几率为  $95\%$ 。含量为  $60$  ppb（样品中仅有一个金粒）的样品引起的误差显然更大。

以上我们都是假定分析值实际代表  $-80$  目样品的金的真实含量。事实上，只有对  $-80$  目样全部分析时，上述假定才可靠。然而，大多数实验室一般只是从制好的样中随机取  $5$  克（或最多取  $10$  克）进行分析。这种索分样品过程也会引起误差。

假定有  $20$  克  $-80$  目样品，其金含量为  $60$  ppb，并且可能以单颗粒存在。如果索取  $5$  克样（即总样的  $1/4$ ）进行分析，该份样品不含金的几率为  $75\%$ ，而含有此颗金粒的几率为  $25\%$ 。该份样品如果含金的话，就会得出  $240$  ppb 的分析结果，而根本不可能获得  $60$  ppb 的正确值。

对含有  $4$  颗金粒、含量为  $250$  ppb 的样品而言，最可能出现的情况是任一  $5$  克样中含有  $0$ 、 $1$  或  $2$  颗金粒（其中只有第二种情况才能给出正确结果）。此外，该份样品也有含  $3$  颗（甚至  $4$  颗）的较小可能，这样就会给出完全错误的结果。

有必要指出，在上述两例中，全部  $4$  份样品分析结果的平均值

值将是该样品的真实值。

随着样品的金含量增加（或金粒度减小），分到每份样品中的金粒数增加，由索分样品引起的误差减小。

分析技术本身不精密也会使分析误差增大，特别当金含量接近检出限时更是如此。但是其程度一般远远小于由于金粒稀少产生的采样和索分样误差。

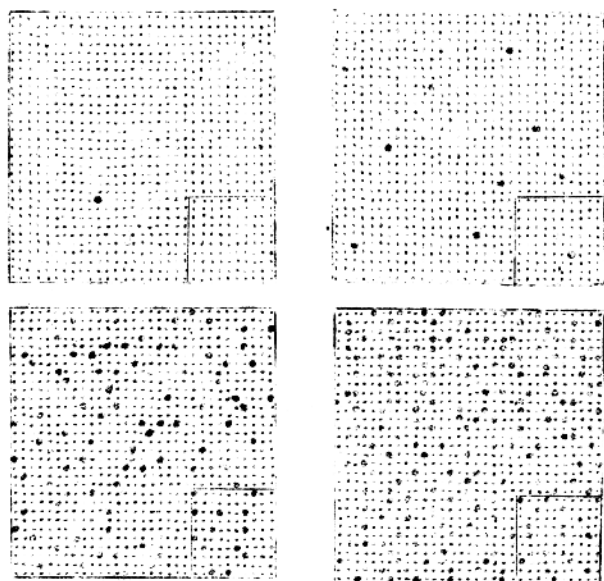


图1、金粒稀少效应的图示。4个大方块分别代表含有1、10、100和200颗黑粒的物质。小方块代表相同体积的样品。随着黑点增加，样品逐渐接近整体含量。



## 野外研究结果

下边结合一些野外实例，讨论金地球化学分析中重现性差的问题。

在不列颠哥伦比亚南部区域普查中，采集了3000多个标准泥沙样，分析Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、W、As和Au诸元素。金的数据是取5克—80目样品进行原子吸收分析获得的。采用复样对显示Au异常频数高的样品组进行了检查分析（在同一实验室，采用相同的方法）。表1列出了分析结果。在初次分析中显示为异常（ $>20$  ppb）的12个样品中，仅有6个在检查分析中重现为异常。然而在其它13个样品中却出现异常值，这13个样在初次分析中均未显示异常。

根据“最佳值”（即三次分析的平均值），共确定出19个异常样品，其中包括初次分析显示的12个异常中的10个和初次分析未显示异常的9个。根据三次分析平均值绘制的异常图与根据单次分析结果绘制的异常图差别很大。无疑前者能较好地用来评价和确定评查区。图2示出了某一异常区两种分析方法的比较。

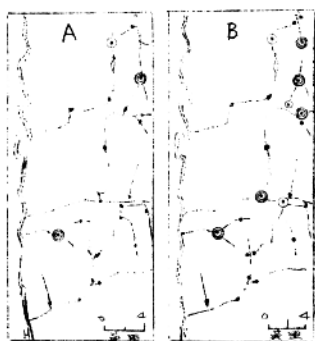


图2

图2. 同一地区两种分析方法获得的金异常分布的对比。

A为5克样品的单次分析结果；B为三次5克样品分析结果平均值。黑点表示采样点；单圈表示含量 $>20 < 100$  ppb；双圈表示 $>100$  ppb。

表1. 不列颠哥伦比亚西南部普兰所采泥沙样品的重复分析结果

Au分析结果(ppb)			Au分析结果(ppb)			Au分析结果(ppb)		
样品号	原始分析	平均值 ( $\bar{x}$ )	样品号	原始分析	平均值 ( $\bar{x}$ )	样品号	原始分析	平均值 ( $\bar{x}$ )
65	<10	<10	198	<10	340	220(c)	402	<10
66	<10	<10	99	<10	<10		403	<10
67	<10	<10	100	<10	<10		404	<10
68	<10	<10	101	<10	<10		405	<10
70	<10	<10	102	<10	<20		406	<10
71	<10	<10	103	<10	<10		407	<10
72	<10	<10	1376	<10	16	26	408	20
73	<10	<10	377	<10	22	40	409	16
74	<10	<10	378	<10	<10		410	24
75	<10	<10	379	<10	<10		411	168
76	<10	<10	380	<10	<10		501	520
77	<10	<10	381	<10	<10		612	<10
78	<10	<10	382	<10	<10		613	60
79	40	<10	383	<10	<10		614	120
80	<10	<10	384	<10	<10		615	30
81	<10	<10	385	<10	380	360	616	<10
82	<10	<10	386	<10	18	<10	617	<10
83	<10	<10	387	44	32	24	618	<10
84	<10	<10	388	80	<10	<50	619	<10
85	<10	<10	389	80	22	60	620	<10
86	<10	22	370	133(c)	390	<10	621	20
87	10	60	<10	25(c)	391	20	622	<10
88	<10	12	<10		392	<10	623	<10
89	<10	<20			393	<10	624	10
90	<10	<10	20		394	<10	625	<10
91	<10	<10	<10		395	<10	626	<10
92	<10	<10	<10		396	<10	627	<10
93	<10	<10	<20		397	<10	628	<10
94	<10	<10	<10		398	<10	629	<10
95	20	<10	<10		399	<10	630	<10
96	490	<10	168(a)	400	<10	<10	631	<10
97	700	<10	238(a)	401	<10	<10		

(a)原始分析和三次分析平均值均为异常。

(b)原始分析为异常,但三次分析平均值低于异常下限。

(c)原始分析为背景值,三次分析平均值均为背景值。

鉴于金地球化学研究中的采样问题，随意舍弃任何异常大概是不明智的，甚至当检查结果偏离很大时也是如此。异常值（无论其幅值大小）集中的空间部位应成为进一步工作的指导。

此项测量中每个采样点取两个泥沙样，一个送实验室做常规分析，另一个入库贮存。所有显示出异常的样品，均通过分析其相应复样进行检查。就金而言，检查结果与原始分析结果吻合程度很差。原始分析显示为异常（ $> 20 \text{ ppb}$ ）的53个样品中，仅有6个被复样分析证实为异常。

这种常规采样方法对找金可能是不适宜的。但是，极差的重现性可能来源于野外采样、实验室索分样品和分析精度低等综合误差。原样和复样均取5克进行分析，因而对同一样品的重复分析，一致性往往很差。

研究采样和分析误差及减小这些误差的途径的又一实例，是在不列颠哥伦比亚省罗斯兰（Rossland）金矿区周围水系中进行的试验测量。在每个采样点上，以几英尺之间隔共采集了三个常规泥沙样和一个大样。每个样品均以常规方法加工制备，然后分多次进行分析（每次用样5克）。表2列出了一些样品的重复分析结果，显示出由于实验室索分样品和分析过程引起的变化。表3示出了每个采样点上4个样品的“最佳值”（即重复分析的平均值）之间的偏离情况，从而可看到野外采样引起的误差。

很清楚，实验室样品处理和野外采样引起了很大误差。样品内的分析变化（见表2）一般很大。最突出的情况：例如样品RS-9、RS-16、RX-10、RX-13、RX-15可能表明金以较粗颗粒存在。样品间的变化（表3）一般比样品内的变化小得多，但也有些例外

(例如6和13号采样点), 4个样品中有一个显示出高而偏离大的平均值。

表3. 野外采样引起的误差。罗斯兰地区-80目泥沙样

金含量平均值(取自表2)							变化系数%
采样点	第一个样	第二个样	第三个样	大样	平均值	标准离差	
3	117	172	262	136	172	64	37
5	210	259	190	135	199	51	26
6	425	30	10	23	122	202	165
10	266	247	190	359	265	70	26
13	471	237	1125	300	533	407	76
15	193	256	150	257	214	52	24

样品间变化系数总平均值: 59

表4进一步说明了实验室索分样品和分析精度低引起的误差。在罗斯兰地区试验测量中采集的大泥沙样为重复分析提供了足够物质。重复分析的重现性极差(见表4中三个样品下边的第一纵栏), 从而进一步证实了前边所作的结论, 即对任一分析而言, 仅取5克样做单次分析不能可靠地估计整体样品的真实含量。

提高分析用样中的金粒数有三种途径:

- 1、索分较大的样品进行分析;
- 2、借助研磨使金颗粒减小;
- 3、使金集中到较小部分样中。

表4给出了对重复分析结果进行三级分对平均的结果。最终得

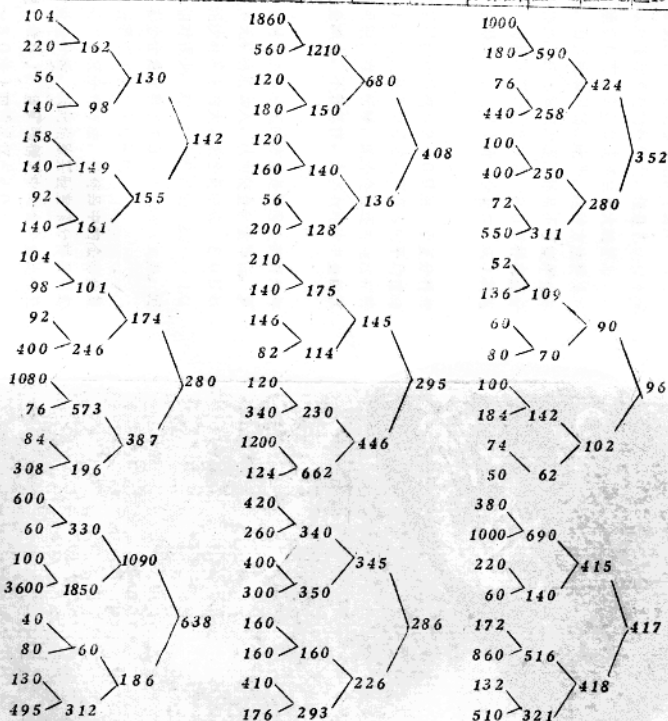
表2. 实验室索分样品和分析过程产生的误差 所用样品取自罗西兰地区-80目泥沙样品

采样点位	金的重复分析结果(ppb)	平均值	标准偏差	变化系数(%)
3 RS-7	79,260,82,82,160,86,82	117	70	60
RS-8	140,120,200,228	172	50	29
RS-9	22,400,106,520	262	236	90
RX-3 (大样)	180,60,220,90,76,80,280,104	136	80	
				平均值: 59
5 RS-13	190,230	210	28	13
RS-14	190,360,270,220,320,220,220, 260,270	259	54	21
RS-15	160,220	190	42	22
RX-5 (大样)	120,80,180,172,80,190,150,108	135	44	33
				平均值: 22
6 RS-16	14,1570,<10,500,20,<10,860	425	604	142
RS-17	18,20,12,10,10,24,44,20,94,46	30	26	87
RS-18	<10,<10,26,<10	10	10	100
RX-6 (大样)	24,16,<10,<10,<10,<10,76, <10,<10,26,83	23	29	126
				平均值: 114
10 RS-28	140,260,140,300,100,170,430,			
RS-29	540,100,480 100,620,120,100,120,160,180, 400,290,380	266	165	62
RS-30	140,120,126,96,200,120,146, 136,250,500,260	247	173	70
RX-10 (大样)	1860,560,120,180,120,160,56, 200,210,140,340	359	516	144
				平均值: 84
13 RS-37	330,350,820,160,520,620,120, 820,500	471	256	54
RS-38	180,350,180	237	98	41
RS-39	1450,750,880,1200,1350	1125	301	27
RX-13 (大样)	1000,180,76,440,100,400,72, 550,52,136	300	303	101
				平均值: 56
15 RS-43	90,100,560,160,140,210,90	193	168	87
RS-44	40,180,130,495,540,480,100,85	256	210	82
RS-45	190,100,130,140,135,95,180, 300,80	150	7	45
RX-15 (大样)	104,220,56,140,92,98,400,1080 76,308	257	310	121
				平均值: 84

表4. 重复分析的非重现性及增大用样量的作用。罗斯兰地区--80目泥沙样。(表中Au值以ppb为单位)

RX-15号样品				RX-10号样品				RX-13号样品			
5g样 的重复 分析结果	一级 分对 平均值 (10g)	二级 分对 平均值 (20g)	三级 分对 平均值 (40g)	5g样 的重复 分析结果	一级 分对 平均值 (10g)	二级 分对 平均值 (20g)	三级 分对 平均值 (40g)	5g样 的重复 分析结果	一级 分对 平均值 (10g)	二级 分对 平均值 (20g)	三级 分对 平均值 (40g)

~12~



最大值:	3600	1850	1090	638	1860	1210	680	408	1000	690	424	417
最小值:	56	60	130	142	56	114	136	286	50	62	90	96
标准偏差:	731	491	372	256	402	317	209	68	299	209	158	170
变化系数:	206	139	105	72	122	96	63	21	104	73	55	59

出的平均值相当于分析10克、20克或40克样（而不是5克）得到的结果。虽然在相当40克时离差仍然较大，但是已经明显减小。分析方法可以扩大处理50克、100克甚至更大的样品，但这样不适合分析成批样品，而且成本很高。此外，这种方法需要采集比常规样大得多的野外样品。标准体积的泥沙样品不可能产生多于20克的-80目物质，而且，假如这20克-80目样在金分析中全部用完，将没有剩余部分用于重复分析、检查和（或）其它元素的分析。

试验表明，将-80目泥沙研磨成-200目后，重复分析的离差仅稍有改善（见表5）。但是从表中可看到研磨后的平均值相对研磨前均减小。金具有可锻性难于研磨，此外金粒还可能沾在研磨器件上从而使样品中的金减少。不管怎样，大多数泥沙中金的原始粒度在-80目以下。

比研磨-80目部分省时且成本较低的方法是研磨全部野外样品。但是这样处理致使过多无矿物质加入，从而使金含量降低。罗斯兰地区研究资料证明，泥沙样品中的大多数金集中在-80目部分中，比之较粗的部分中相对很少。对比同一样品的-20~+80目和-80目两部分的分析结果，后者金含量比前者高3~10倍或更多。因此对水系沉积物样品全部研磨似乎也是不可取的。

有人曾研究是否可以采用重液分离方法，将样品中的全部金集中到一小部分样中，然后做全分析，以此消除实验室分样品引起的误差。但结果令人失望（表6）。重矿物精矿中的金含量比相应-80目泥沙明显高（3~30倍）的情况仅占40%。

表6. 罗斯兰地区泥沙样及其相应重矿物精矿样重复分析平均值对照。(金含量单位: ppb)

采样点位	泥沙	重矿物 精矿	采样点位	泥沙	重矿物 精矿
1	30	620	9	10	223
2	41	17	10	265	740
3	171	157	11	10	10
4	<10	<10	12	10	16
5	200	82	13	438	826
6	21	60	14	30	37
7	<10	10	15	238	1607
8	87	2700			

这方面存在两种情况: 一是当泥沙样给出背景值时, 可能根本无金可以富集; 二是即便泥沙样给出明显异常, 重矿物精矿中的金值也不一定总能提高。在这种情况下, 大部分金似乎保留在悬浮部分中, 并主要包含在硅酸盐颗粒中或被其它物质带走。采用离心机处理代替简单的沉淀分离可以提高金的回收率, 但这样做不适于大样处理。

从其它很多地方采集的重矿物精矿, 金含量均比相应的泥沙样高很多倍。由于罗斯兰地区的样品采自距源头几英里范围内的年轻水系, 因而样品中的金比壮年水系样品中的金释出得少。

重矿物分离的成本比制备常规泥沙样高几倍, 因而其应用应该局限于那些经试验研究证明有效的地区。



表5. 罗斯兰地区-80目泥沙样研磨前后的重复分析结果。Au以PPb为单位

	RX-10		RX-13		RX-15	
	未研磨的	研磨的	未研磨的	研磨的	未研磨的	研磨的
	1860	60	1000	140	104	100
	560	100	180	92	220	100
	120	56	76	88	56	116
	180	220	440	60	140	102
	120	380	100	44	158	150
	160	96	400	40	140	180
	56	580	72	180	92	250
	200	320	550	160	140	76
	210	280	52	350	104	166
	140	1140	136	430	98	400
	146	340	660	250	92	280
	82	140	80	120	400	160
	120	260	100	200	1080	82
	340	190	185	940	76	620
	1200	160	75	130	84	140
	124	460	50	100	308	120
	420	200	380	240	600	180
	260	180	1000	130	60	220
	400	180	220	300	100	240
	300	390	60	150	3600	120
	160	370	172	190	184	
	160		860			
	410		132			
			510			
平均值	336	290	287	206	373	190
分布范围	56-1860	56-1140	60-1000	40-940	56-3600	76-620
标准离差	409	238	299	195	766	128
变化系数	122	82	104	95	205	67

~15~