

# 前 言

“我国西南五省市区 76 种元素区域化探图编制试点研究”是中国地质调查局下达的地质调查项目，项目历时 5 年，本书是这一项目研究取得成果的总结。

取得的成果主要有以下几个方面：

(1) 首次取得元素周期表上除气体及人工元素外几乎所有元素在中国西南地区的高质量的分布数据，并编制了西南地区 76 种元素的地球化学图。我们相信周期表中所有元素目前或迟早对人类具有价值，积累它们的分布与富集情况的资料很有必要。这将为解决资源及环境中重大问题提供新的研究方向，为成矿学研究提供基础资料与新思路，为今后在西南地区的矿产勘查扩大了视野。

(2) 提出新的分析 76 种元素的分析方案，并研制出一些困难元素 Os、Ru、Rh、Ir、Re、Te 新的分析方法。

(3) 在标准样研究领域提出“标准图”的新概念，利用标准样推荐值与实验室实测值的虚拟地球化学图的相似性比较，为地球化学填图质量监控提出新思路与新方法。

(4) 制作了 35 种元素的地球化学块体地表显示图 (SGB)，用成矿率方法对 Ag、Au、Pb、Sb、Sn、W、Zn 7 种元素在不同 SGB 中的潜在资源量进行预测，为定量预测资源量开辟途径。

(5) 根据构造控制、成矿元素的分布趋势及分布的空间叠合度提出划分多元素成矿预测区的新方法，有别于沿用多年以构造为界线统计其中已发现矿床种类的方法。在划定的成矿预测区内计算成矿元素含量变化的相关程度，可为成矿过程研究提供重要的基础性资料。在西南五省市区划分出 11 个地球化学预测成矿区，所划分的 11 个多元素地球化学预测成矿区如下：

- (1) 川西南—滇北多元素地球化学预测成矿区；
- (2) 川、滇、黔边区多元素地球化学预测成矿区；
- (3) 滇西多元素地球化学预测成矿带；
- (4) 秀山—安顺—蒙自多元素地球化学预测成矿带；
- (5) 桂西多元素地球化学预测成矿区；
- (6) 康滇多元素地球化学预测成矿带；
- (7) 滇、黔、桂多元素地球化学预测成矿区；
- (8) 川西多元素地球化学预测成矿区；
- (9) 桂北—黔东南多元素地球化学预测成矿区；
- (10) 桂南多元素地球化学预测成矿区；
- (11) 滇东南多元素地球化学预测成矿区。

参加项目研究工作的单位有：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所，四川省地质矿产勘查开发局，云南省地质调查院，贵州省地质调查院，广西壮族自治区地质矿产勘查开发局，成都综合岩矿测试中心，国家地质实验测试中心，武汉综合岩矿测试中心，河南省岩石矿物测试中心，中国原子能研究院核物理研究所，湖南省矿产测试利用研究所，广西地矿测试研究中心，石家庄职业技术学院，长春科技大学—长春应化所联合体，云南岩矿测试中心，贵州地矿实验研究所。

本书主要编写人员为：谢学锦，程志中，张立生，冯济舟，叶家瑜，参加编写的还有李长江与周晓东。参加组合样品、分析、数据处理或解释推断的主要人员有：程志中，刘大文，成杭新，冯济舟，张立生，叶家瑜，朱裕生，孙宏伟，谢锡林，赵琦，王永华，罗寿文，何邵麟，王春书，顾铁新，卢荫麻，张勤，吴淑琪，熊及冕，黄晓林，韦纯敦，曹中烈，董高翔，姚文生，沈瑞平，田伟之，李贤珍，张振森，郝明才，范辉，马更田，颜翠萍，迟清华，白金峰，谢满如，鄯卫东，刘平山，聂兰仕，徐善法。

作者 2006.12

## English Abstract

The earth environment for the survival of mankind is constituted by all of the elements in the periodic table. The study of the spatial distribution of all the elements on the earth surface is essential for better stewardship of sustainable environmental management with sustainable resources development.

Geochemical mapping will produce maps of various scales about the spatial distribution of elements. Since 1973 up to the last of 20th century, about 50 regional or national geochemical mapping projects have been carried out. The number of elements determined ranges from several to about 40. Due to the inconsistency of elements analyzed, the high detection limits of many important trace of subtrace elements and the global incomparability of data quality, most of the geochemical maps produced have not reached the significance they ought to reach in solving important environmental and resources problems.

IGCP 259/360 initiated in 1988 has made recommendations for future geochemical mapping projects, that 71 elements should be analyzed, the detection limits of trace and subtrace elements should be lowered down below their crustal abundances and the data should be globally comparable. After the termination of these two IGCP projects, a working group was established in IUGS to continue the international efforts to improve the concepts and methodology of worldwide geochemical mapping. Efforts have been made by geochemists from many countries to fulfill these recommendations. The FOREGS Project (1996 — 2005) cooperated by 26 European countries had made more significant progress by multi-sampling of stream sediment, floodplain sediment, water, humus and residual soils and analysis of 69 elements with detection limits and precisions nearly all met IGCP 259/360 recommendations. The publication of Geochemical Atlas of Europe is a marking stone of the international cooperation in geochemical mapping.

China's national geochemical mapping program (RGNR program 1970—) has been carried out for 29 years by sampling stream sediment with a sampling density of 1 sample/km<sup>2</sup>, or 1 sample/30—50km<sup>2</sup> in some difficult areas. Though only 39 elements were analyzed in this program yet the quality of analysis including the sensitivity, precision and accuracy can all meet the IGCP 259/360 recommendations.

The present atlas contains the maps of 76 elements in S.W. China. The 76 element data were produced by fully utilization of the stream sediment samples drawn from the sample banks of the five S.W. China provinces.

The present work is a pilot study for a larger program to constitute the 76 element geochemical atlas of whole China.

### Sample Collection

Composite samples were prepared. About 100 samples within each 1:50,000 map sheet were mixed and composites into 1 sample. About three thousand composite samples were submitted for analysis. This work is tedious but needs to be extremely careful. The readers can refer to Fig 2.1 to Fig 2.38 in the text to have a glimpse of the actual pictures of sample collection.

### The 76 Elements Analyzed

The 76 elements are analyzed, including the 39 elements originally analyzed in RGNR Projects and 37 elements newly added.

#### I. Thirty nine elements in RGNR Project

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, F, Ga, Hg, La, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Sb, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, Zr.

## 2. Newly added elements

Rare earths: Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu;

Platinum group: Pt, Pd, Ir, Os, Rh, Ru;

Dispersed elements: Cs, Ga, Ge, In, Rb, Re, Se, Te, Tl;

Non-volatiles: Hf, Sc, Ta;

Halogens: Br, Cl, I;

Non-metals: N,S,C.

## Analytical Requirement

### 1. Data quality

Detection limits: The detection limits of all trace and subtrace elements should be lowered down below their crustal abundances (see table 3.1 ).

Accuracy: The log deviation should be  $\Delta \lg C \leq 0.1$ .

$\Delta \lg C$ : The average deviation of a group of the certified values in logarithms with the analytical results of a group of standard reference samples in logarithms.

Precision standard deviation SD: 10% — 30%

coefficient of variation CV: 10% — 20%

### 2. Map similarity

The final products of geochemical mapping are maps, not data. Accuracy and precision parameters are only measures of data quality. High quality of element maps means that the maps will show the similarity of element spatial distribution in nature.

## Analytical Methods Used

Nine laboratories in China collaborated in this project for developing analytical methods for PGE, RE, Te and Re or for undertaking the routine analysis of many elements (see table 1.3 in the Chinese text).

elements analyzed	method used	Reference on Chinese text in the monograph
Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hf, Li, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sr, Ta, Th, Tl, U, V, W, Zn	ICP-MS	Table 3.2
15 rare earth elements	ICP-MS	Table 3.3
Ba, Br, Ce, Cl, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Pb, Rb, S, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr, TiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , MnO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, MgO, CaO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>	XRF	Table 3.4
6 PGE elements	ICP-MS	Table 3.5
Ba, Be, Co, Cr, Cu, La, Li, Mn, Nb, Ni, P, Sr, Ti, V, Zn, K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O, CaO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ICP-AES	Table 3.6
15 rare earth elements	ICP-AES	Table 3.7
As, Sb, Bi, Hg, Se, Ge	AFS	Table 3.8
Ag, B, Sn, Mo, Pb	AAS	Table 3.9
Ag, Cd, Au	GF AAS	Table 3.10
W, Mo	POL	Table 3.11
TC, Corg	NAT <sup>①</sup>	Table 3.12
I	CSP <sup>②</sup>	Table 3.13

① NAT: Non-aqueous titration; ② CSP: catalytic spectrophotometry.

The method used for different element and the detection limit, accuracy and precision reached by different method can be referred through the following table in the Chinese text.

### **Geochemical Maps for 76 Elements**

The researched region lies in  $97^{\circ} 00' - 112^{\circ} 30' N$  with an area of  $1.34 \times 10^6 \text{ km}^2$ .

All of the geochemical analytical data for the research area are loaded in GeoMDIS system with Excel format.

The geochemical maps are generated by data which are gridded by using data-gridding function of GeoMDIS. The gridding method adopts inverse ratio weighing by distance power function, to calculate the value of grid node by searching data in the extent of radius 50 kilometers.

The contours are classified 14 gradations based on geochemical mean (background value) which is rejected repeatedly by  $X \pm 3S$  and used background value to add or minus a multiple deviation to divide the gradations.

Fig 5.1 — 5.76 show the geochemical maps for 76 elements.

### **Comparison of RGNR and 76 GEM Maps**

The 39 elements determined in RGNR project were determined again by 76 GEM project. So we have a chance to construct maps using the two sets of data to compare the map similarity. The map similarity was measured by the approachness of average values, standard deviations and correlation coefficients (Table 5.2). From Table 2, only Au with poor correlation (0.266), Be, Ag, Mo, B with correlation coefficients 0.654—0.762, Ba, La, Th, Hg, W, Li with correlation coefficient 0.802 — 0.899. All the rest of elements with correlation coefficients higher than 0.900.

### **Geochemical Blocks and Metallogenic Province**

Wide geochemical patterns such as geochemical province, geochemical megaprovince and geochemical domain represent surface expression of giant rock blocks (geochemical blocks) (SGB) with high content of ore-forming elements which can provide sufficient ore material supply for ore-formation of large or giant ore deposits and dense cluster of mineral deposits. The concept and methodology of geochemical blocks can be used to predict the occurrences of unknown large ore deposits. Metallogenic province used by geologists to predict the occurrences of new ore deposit can only be defined after several ore deposits have already been found in the area.

This study divides ore-forming elements into two groups: elements with important influence of lithological character on the prognostic results, and elements with little or no influence of lithological character on the prognostic results. The two groups elements are listed in Table 6.3 and Table 6.4, respectively.

#### **Single Ore Element Geochemical Blocks**

The geochemical blocks of ore-elements with little influence of lithology (LIL elements), such as Ag, Au, Hg, Pb, Mo, Sb, Sn, V, W, Zn, Bi, Cd, In, Li, Ta, Tl are presented on map 6.1 — 6.18.

The geochemical blocks of ore-elements with more influence of lithology (MIL element), especially such as Pt, Pd, Co, Cr, Ni, V, Ti etc. are presented on maps 6.19 — 6.34.

It's shown on the maps that most of known large ore deposits of LIL elements are located within their respective geochemical blocks, while those of MIL ore deposit are scattered.

#### **Multi-Element Geochemical Blocks**

The study of multi-element geochemical blocks deals with a large number of elements in the periodic table. We believe that all the chemical elements in the periodic table are of value to the mankind, thus accumulating the data on their distribution and enrichment is important.

Eleven geochemical blocks were defined based on their spatial coincidence, the similarity of their distribution trend and ore-control structures (Fig. 7.1).

The composition and geochemical characteristics of the 11 multi-element geochemical blocks are shown on

map 7.3 to 7.23, Table 7.1 to 7.33.

### **Conclusion**

The earth is constructed by all elements in the periodic table. Mapping of the spatial distribution of nearly all the elements in the periodic table will get a new overview of the earth susface construction for better stewardship of sustainable environmental management with sustainable mineral resources development.

This work is only a beginning of a program for mapping the 76 element distribution of whole China, and for the more in-depth research works utilizing the immense data base obtained.

# 目次

前 言	
English Abstract	
第1章 绪言	1
参考文献	3
第2章 样品的收集与组合	4
2.1 样品收集与组合方案的确定	4
2.2 抽样组样的原则和方法	4
2.3 组织领导与工作历程	5
2.4 样品组合的质量保证	5
第3章 分析实验室的选择与分析方法研究	12
3.1 分析实验室的考核与选择	12
3.2 分析方法的选择	13
3.3 76种元素的分析配套方案	23
3.4 分析质量控制	25
第4章 研究区的地质背景	32
4.1 研究区的构造分区	32
4.2 各构造分区的地质特征	32
4.3 主要断裂带(结合带)的特征	38
4.4 岩性分区	41
参考文献	43
第5章 76种元素地球化学图	44
5.1 数据的统计分析	44
5.2 76种元素地球化学图的编制	44
5.3 76种元素地球化学块体地表显示图的编制	44
5.4 76种元素地球化学图	44
5.5 39种元素两套分析数据成图的比较	123
第6章 单元素地球化学预测成矿区	128
6.1 岩性变化影响较小元素的成矿远景评价	130
6.2 岩性影响较大元素成矿远景评价	160
参考文献	184
第7章 中国西南五省市多元素地球化学预测成矿区带	185
7.1 川西南—滇北多元素地球化学预测成矿区	187
7.2 川滇黔边区多元素地球化学预测成矿区	191
7.3 滇西多元素地球化学预测成矿带	195
7.4 秀山—安顺—蒙自多元素地球化学预测成矿带	197
7.5 桂西多元素地球化学预测成矿区	199
7.6 康滇多元素地球化学预测成矿带	202
7.7 滇黔桂多元素地球化学预测成矿区	204
7.8 川西多元素地球化学预测成矿区	207
7.9 桂北—黔东南多元素地球化学预测成矿区	210
7.10 桂南多元素地球化学预测成矿区	212
7.11 滇东南多元素地球化学预测成矿区	215
参考文献	218
第8章 结语	219

# 重要图件目次

## 1 地球化学图

图 5.1 二氧化硅 ( $\text{SiO}_2$ ) 地球化学图 .....	47	图 5.42 铈 (Ce) 地球化学图 .....	88
图 5.2 三氧化二铝 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 地球化学图 .....	48	图 5.43 镨 (Pr) 地球化学图 .....	89
图 5.3 氧化镁 ( $\text{MgO}$ ) 地球化学图 .....	49	图 5.44 钕 (Nd) 地球化学图 .....	90
图 5.4 氧化钙 ( $\text{CaO}$ ) 地球化学图 .....	50	图 5.45 钷 (Sm) 地球化学图 .....	91
图 5.5 氧化钠 ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) 地球化学图 .....	51	图 5.46 铕 (Eu) 地球化学图 .....	92
图 5.6 氧化钾 ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 地球化学图 .....	52	图 5.47 钆 (Gd) 地球化学图 .....	93
图 5.7 三氧化二铁 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 地球化学图 .....	53	图 5.48 铽 (Tb) 地球化学图 .....	94
图 5.8 钛 (Ti) 地球化学图 .....	54	图 5.49 镝 (Dy) 地球化学图 .....	95
图 5.9 钒 (V) 地球化学图 .....	55	图 5.50 铈 (Ho) 地球化学图 .....	96
图 5.10 铬 (Cr) 地球化学图 .....	56	图 5.51 铒 (Er) 地球化学图 .....	97
图 5.11 镍 (Ni) 地球化学图 .....	57	图 5.52 铥 (Tm) 地球化学图 .....	98
图 5.12 钴 (Co) 地球化学图 .....	58	图 5.53 镱 (Yb) 地球化学图 .....	99
图 5.13 锰 (Mn) 地球化学图 .....	59	图 5.54 镱 (Lu) 地球化学图 .....	100
图 5.14 锂 (Li) 地球化学图 .....	60	图 5.55 钇 (Y) 地球化学图 .....	101
图 5.15 铍 (Be) 地球化学图 .....	61	图 5.56 锶 (Sr) 地球化学图 .....	102
图 5.16 铌 (Nb) 地球化学图 .....	62	图 5.57 钡 (Ba) 地球化学图 .....	103
图 5.17 钽 (Ta) 地球化学图 .....	63	图 5.58 镉 (Cd) 地球化学图 .....	104
图 5.18 铷 (Rb) 地球化学图 .....	64	图 5.59 铟 (Ga) 地球化学图 .....	105
图 5.19 铯 (Cs) 地球化学图 .....	65	图 5.60 铟 (In) 地球化学图 .....	106
图 5.20 锆 (Zr) 地球化学图 .....	66	图 5.61 铊 (Tl) 地球化学图 .....	107
图 5.21 铪 (Hf) 地球化学图 .....	67	图 5.62 锗 (Ge) 地球化学图 .....	108
图 5.22 钪 (Sc) 地球化学图 .....	68	图 5.63 硒 (Se) 地球化学图 .....	109
图 5.23 钨 (W) 地球化学图 .....	69	图 5.64 碲 (Te) 地球化学图 .....	110
图 5.24 锡 (Sn) 地球化学图 .....	70	图 5.65 铼 (Re) 地球化学图 .....	111
图 5.25 钼 (Mo) 地球化学图 .....	71	图 5.66 硼 (B) 地球化学图 .....	112
图 5.26 铋 (Bi) 地球化学图 .....	72	图 5.67 碳 (C) 地球化学图 .....	113
图 5.27 铜 (Cu) 地球化学图 .....	73	图 5.68 氮 (N) 地球化学图 .....	114
图 5.28 铅 (Pb) 地球化学图 .....	74	图 5.69 磷 (P) 地球化学图 .....	115
图 5.29 锌 (Zn) 地球化学图 .....	75	图 5.70 硫 (S) 地球化学图 .....	116
图 5.30 砷 (As) 地球化学图 .....	76	图 5.71 氟 (F) 地球化学图 .....	117
图 5.31 锑 (Sb) 地球化学图 .....	77	图 5.72 氯 (Cl) 地球化学图 .....	118
图 5.32 汞 (Hg) 地球化学图 .....	78	图 5.73 溴 (Br) 地球化学图 .....	119
图 5.33 金 (Au) 地球化学图 .....	79	图 5.74 碘 (I) 地球化学图 .....	120
图 5.34 银 (Ag) 地球化学图 .....	80	图 5.75 铀 (U) 地球化学图 .....	121
图 5.35 铂 (Pt) 地球化学图 .....	81	图 5.76 钍 (Th) 地球化学图 .....	122
图 5.36 钯 (Pd) 地球化学图 .....	82	图 5.77 用两套数据分别制作的金地球化学图的比较 .....	125
图 5.37 锇 (Os) 地球化学图 .....	83	.....	125
图 5.38 铱 (Ir) 地球化学图 .....	84	图 5.78 用两套数据分别制作的钨地球化学图的比较 .....	126
图 5.39 钌 (Ru) 地球化学图 .....	85	.....	126
图 5.40 铑 (Rh) 地球化学图 .....	86	图 5.79 用两套数据分别制作的钼地球化学图的比较 .....	127
图 5.41 镧 (La) 地球化学图 .....	87	.....	127

## 2 地球化学异常图

图 6.1 西南五省市区银地球化学异常图 .....	131	图 6.18 西南五省市区铊地球化学异常图 .....	159
图 6.2 西南五省市区金地球化学异常图 .....	133	图 6.19 西南五省市区铂地球化学异常图 .....	162
图 6.3 西南五省市区汞地球化学异常图 .....	135	图 6.20 西南五省市区钨地球化学异常图 .....	163
图 6.4 西南五省市区钼地球化学异常图 .....	137	图 6.21 西南五省市区钽地球化学异常图 .....	165
图 6.5 西南五省市区铅地球化学异常图 .....	138	图 6.22 西南五省市区镉地球化学异常图 .....	166
图 6.6 西南五省市区镉地球化学异常图 .....	140	图 6.23 西南五省市区铜地球化学异常图 .....	167
图 6.7 西南五省市区锡地球化学异常图 .....	142	图 6.24 西南五省市区锰地球化学异常图 .....	169
图 6.8 西南五省市区锑地球化学异常图 .....	144	图 6.25 西南五省市区镍地球化学异常图 .....	171
图 6.9 西南五省市区钨地球化学异常图 .....	145	图 6.26 西南五省市区磷地球化学异常图 .....	172
图 6.10 西南五省市区锌地球化学异常图 .....	147	图 6.27 西南五省市区钒地球化学异常图 .....	174
图 6.11 西南五省市区砷地球化学异常图 .....	149	图 6.28 西南五省市区钛地球化学异常图 .....	175
图 6.12 西南五省市区镭地球化学异常图 .....	151	图 6.29 西南五省市区三氧化二铝地球化学异常图 .....	177
图 6.13 西南五省市区镭地球化学异常图 .....	152	图 6.30 西南五省市区硼地球化学异常图 .....	178
图 6.14 西南五省市区铁地球化学异常图 .....	154	图 6.31 西南五省市区铍地球化学异常图 .....	180
图 6.15 西南五省市区镉地球化学异常图 .....	155	图 6.32 西南五省市区铷地球化学异常图 .....	181
图 6.16 西南五省市区镉地球化学异常图 .....	156	图 6.33 西南五省市区轻稀土地球化学异常图 .....	182
图 6.17 西南五省市区钨地球化学异常图 .....	158	图 6.34 西南五省市区重稀土地球化学异常图 .....	183

## 元素地球化学图索引

Ag .....	80	Mo .....	71
Al .....	48	N .....	114
As .....	76	Na .....	51
Au .....	79	Nb .....	62
B .....	112	Nd .....	90
Ba .....	103	Ni .....	57
Be .....	61	Os .....	83
Bi .....	72	P .....	115
Br .....	119	Pb .....	74
C .....	113	Pd .....	82
Ca .....	50	Pr .....	89
Cd .....	104	Pt .....	81
Ce .....	88	Rb .....	64
Cl .....	118	Re .....	111
Co .....	58	Rh .....	86
Cr .....	56	Ru .....	85
Cs .....	65	S .....	116
Cu .....	73	Sb .....	77
Dy .....	95	Sc .....	68
Er .....	97	Se .....	109
Eu .....	92	Si .....	47
F .....	117	Sm .....	91
Fe .....	53	Sn .....	70
Ga .....	105	Sr .....	102
Gd .....	93	Ta .....	63
Ge .....	108	Tb .....	94
Hf .....	67	Te .....	110
Hg .....	78	Th .....	122
Ho .....	96	Tl .....	54
I .....	120	Tl .....	107
In .....	106	Tm .....	98
Ir .....	84	U .....	121
K .....	52	Zr .....	66
La .....	87	V .....	55
Li .....	60	W .....	69
Lu .....	100	Y .....	101
Mg .....	49	Yb .....	99
Mn .....	59	Zn .....	75

# 第1章 绪言

不同对象、不同规模的填图始终在许多地学分支如地理学、地质学、土壤学、水文学、海洋学、气象学等发展中是最主要的支撑。在地质学诞生不久的1815年, William Smith就制做出第一张地质图<sup>[1]</sup>, 此后, 不同尺度不同形式的地质填图成为地质学发展中的最基本需要。

生命演化所依赖的地球环境, 是由元素周期表中所有元素组成的。了解周期表上所有元素的空间分布情况, 分析它们的空间分布规律与我们人类生存环境之间的关系, 对找寻各种矿床, 预测巨型矿床与探索新型资源利用的可能性, 为人类认识自然、与自然协调相处, 更好地利用自然提供最基础的信息。

从Goldschmidt开始的现代地球化学大师们对元素地球化学研究的主流, 都集中在矿物晶体中痕量元素的构成, 痕量元素与同位素在各种地质物质中(陨石、岩石、矿物、矿床、土壤、水, 甚至空气和生物)含量的统计, 及少数元素在各种界面上的突变及旋回<sup>[2]</sup>。对于本应作为地球化学基础的元素在各种地球物质中各种尺度的空间分布(地球化学填图), 几乎没有涉及。这当然是因为那时的学院式研究难以与大规模的调查性工作结合, 还因为那时的地球化学大师许多出身于物理学、化学等理论学科, 倾向于进行纯理论研究, 很少有元素大规模空间分布的概念。

地球化学填图却是勘查地球化学家的贡献。早期地球化学勘查方法的理论基础是矿床遭侵蚀将金属分散至周围的土壤、沉积物、水及植物中, 形成各种分散模式; 研究这些分散模式, 反向追踪找到矿床。这种“点源分散”的理论与研究方法在Hawkes与Webb的经典著作“Geochemistry in Mineral Exploration”中做了系统的总结<sup>[3]</sup>。由于受到金属从点源(矿床)向四周分散理论的限制, 人们认为元素的分散只限于几平方千米至几十平方千米, 因而在矿产勘查工作中需要密集采样, 这样地球化学方法只能成为一种战术性找矿技术。

Hawkes与Webb不仅总结了当时流行的理论与方法, 他们还是具有远大眼光地指出这一年轻科学的发展前景: “用元素的变化来制图也是研究地球的一种办法, 与制作土壤图、岩石类型图和变质作用图件的作用一样<sup>[4]</sup>。”但是受到“点源”模式或理论的限制, 在Hawkes与Webb的理念中, 这种采样密度较稀的地球填图重点是放在取得元素分布的基础资料及在农业或地质的应用方面。在这种新思路指导下, 从1975年Webb及他在伦敦帝国学院的同事们开始在赞比亚、塞拉利昂、马来西亚、爱尔兰等地用稀密度的水系沉积物采样及多元素分析进行区域性地球化学填图。他们“所取得的更为宽阔的地球化学模式, 有别于局部矿化点形成的强异常, 它们是较微弱的变化, 是由于地质建造变化形成的一种地球化学起伏<sup>[5]</sup>”。

此后, Webb等在1973年发表了第一份地球化学图集“Provisional Geochemical Atlas of Northern Ireland<sup>[6]</sup>”。从1973~1988年, 全球实施了40余个地球化学填图计划。所有这些计划出版的图件上分析元素很不一致, 对一些矿石元素分析检出限偏高或根本未分析, 以及没有进行有效的监控, 数据不能全球对比<sup>[8-10]</sup>, 故地球化学填图并未能达到Hawkes与Webb所预料的能与地质图有同等学术价值, 对找矿也没有多大用途。不过, 这些工作在当时条件下对农业与环境研究及应用都发挥了一定的作用<sup>[8,10]</sup>。

只有中国做出很大努力, 企图使地球化学填图既具有与地质填图同等的学术意义, 又能在找矿中发挥重大作用。中国在开展地球化学填图前, 就发现了国际上地球化学填图工作中所存在的问题, 并制定了相应的措施, 提出地球化学填图中必须解决的问题和达到的要求<sup>[11,12]</sup>。

区域化探全国扫面计划(RGNR)是全球最成功的地球化学填图计划, 不仅由于它覆盖面积广, 对找矿发挥的作用大, 还由于它的原创思路。通过20年的地球化学填图, 使得勘查地球化学不仅可作为一种战术性的方法, 而且成为一种战略性的方法, 在地质找矿中真正发挥了巨大的作用。在近20年

中, 中国有近 80% 的矿床是根据地球化学填图所提供的线索或是应用地球化学方法找到的。因此在 20 世纪西方与中国的地球化学填图与地球化学勘查的目的与做法都不相同, 西方的地球化学填图是由研究机构开展的, 使用等离子焰光谱计、X 射线荧光光谱仪等大型仪器进行多元素分析, 目的是取得多种元素在地球表层分布的基础性资料。地球化学勘查则由矿业公司来开展, 主要分析少量成矿元素, 目的是为了找矿。而中国的地球化学填图计划却做出了巨大努力, 使地球化学填图与勘查融为一体, 使地球化学填图取得的资料既有学术价值又对矿产勘查具有重大的实用意义。

20 世纪 80 年代末至 90 年代初, 西方勘查地球化学家已逐渐意识到地球化学填图中存在的一些问题。在中国的影响下, 国际地球化学填图计划 1995 年做出了规定<sup>[1]</sup>, 从资源与环境两方面考虑, 今后地球化学填图需分析周期表内绝大部分元素 (71 种)。痕量、次痕量元素的检出限必须降至地壳丰度值以下, 并通过严格质量监控使得数据可以全球对比。那么无论谁解决了这样的技术问题, 谁将占据地球化学填图的前沿。国际地球化学填图计划 (IGCP259/360) 提出规定要求分析 71 种元素后, 许多国家都在努力, 但也只有欧洲与中国的计划达到或基本达到这项规定。欧洲 26 个国家联合进行的欧洲极低密度地球化学填图, 由欧洲几个实验室 (英国、德国、法国、芬兰和荷兰) 使用等离子质谱、X 射线荧光光谱仪这些具多元素分析能力的大型仪器在共 240 个 160km × 160km 格子中采集了 800 余个水系沉积物样品, 许多痕量元素的分析检出限都已达到国际规定的要求。尽管如此, 他们还是认为这样稀的密度取得的这些资料只是在学术上及环境研究上为欧洲提供基准数据 (baseline data), 完全不涉及在矿产勘查中有利用价值。欧洲地球化学图集的主编 R.Salminen 在序言开头便写道<sup>[2]</sup>: “FOREGS 地球化学基准填图项目的主要目的是为欧洲提供高质量多目标环境地球化学基准数据。”这当然也由于欧洲许多国家并不希望在欧洲进行矿产勘查。

中国过去的 RGNR 计划只分析了 39 种元素, 为达到 IGCP 259/360 的规定而提出一项中国 76 种元素填图的新计划。这项计划首先在西南地区试点, 充分利用各省市地勘局扫面计划采集的数以百万计的样品, 按每 1:50000 图幅 (约 400km<sup>2</sup>) 100 个化探扫面采集的水系沉积物样品进行组合, 共组成约 3000 余个组合样, 研究制定新的分析方案, 分析其中 76 种元素的含量。

表 1.1 欧洲 FOREGS 计划与中国西南地区 76 种元素填图计划分析微量与超微量元素检出限对比

元素	FOREGS 检出限	中国西南地区填图检出限	地壳丰度
Ir	—	0.00001	0.00002
Rh	—	0.00002	0.00035
Os	—	0.00002	0.00004
Ru	—	0.00002	0.00004
Re	—	0.0002	0.00012
Pd	—	0.0002	0.00075
Pt	—	0.0002	0.0008
Au	—	0.0002	0.0009
Te	0.02	0.005	0.006
Hg	0.0001	0.0005	0.007
In	—	0.01	0.045
Ag	0.01	0.02	0.055
I	2	0.15	0.07
Se	—	0.01	0.07
Cd	0.01	0.02	0.08
Bi	0.5	0.05	0.15
Sb	0.02	0.05	0.18
Br	—	1	0.25
Lu	0.002	0.1	0.33
Tm	0.02	0.1	0.34
Tl	0.01	0.1	0.42
Mo	0.1	0.2	0.5
W	5	0.3	0.6

元素	续表		
	FOREGS 检出限	中国西南地区填图检出限	地壳丰度
Ta	0.05	0.2	0.65
Tb	0.02	0.1	0.69
Hb	0.02	0.1	0.69
Ge	—	0.1	1.2
Eu	0.05	0.1	1.3
Tl	0.1	0.2	1.3
Be	2	0.2	1.4
Sn	2	1	1.4
Er	0.1	0.1	2.2
Yb	0.05	0.1	2.2
As	0.2	1	2.4

注：表中元素的单位均为  $\mu\text{g/g}$ 。FOREGS 给出大部分仪器检出限，而非方法检出限。

表 1.2 中国西南地区 76 种元素填图计划中所分析的元素

原区域化探全国扫面分析过的 39 (40) 种元素	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{CaO}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{K}_2\text{O}$ , $\text{MgO}$ , $\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{SiO}_2$ , Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, F, Ga, Hg, Lu, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Sb, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, Zr
新增添的 37 种元素	稀有分散元素: Cs, Ga, Ge, In, Rb, Re, Se, Te, Tl 难挥发元素: Hf, Ta, Sc 卤素元素: Br, Cl, I 铂族元素: Pd, Pt, Ir, Os, Rh, Ru 稀土元素: Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu 非金属元素: N, S, C

## 参 考 文 献

- [1] Dott Jr R H and Batten R L. Evolution of the Earth. McGraw-Hill Book Company, New York, 1988, 643p
- [2] Goldschmidt V M. Geochemistry. Clarendon Press, London, 1954, 730p
- [3] Hawkes H E & Webb J S. Geochemistry in Mineral Exploration. Harper & Row, Publishers, New York, USA, 1962, 415p
- [4] Webb J S, Nichol I and Thornton I. The broadening scope of regional geochemical reconnaissance. 23rd IGR Rept. v. 6, 1968, 131-147
- [5] Webb J S, Nichol I, Foster R, *et al.* Provisional geochemical atlas of Northern Ireland. Applied Geochemistry Research Group, Technical Communication, 1973, 60, 30p
- [6] 谢学锦. 全球地球化学填图. 中国地质, 2003, v30, N.2, 1-9
- [7] Xie X. Some problems, strategical and tactical in international geochemical mapping. J. Geochem. Explor., 1990, 39: 15-33
- [8] Xie X. Analytical requirements for international geochemical mapping. Analyst, 1995, 120(5), 1497-1504
- [9] Darnley A, Björklund A, Bølviken B, *et al.* A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management. Recommendations for international geochemical mapping. Final Report of IGCP-Project 259, UNESCO Publishing, France, 1995, 122p
- [10] Thornton I. Applied Environmental Geochemistry. Academic Press, London, 1983, 502p
- [11] 谢学锦. 区域化探. 北京: 地质出版社, 1992p
- [12] 谢学锦, 孙焕振, 任天祥. 区域化探全国扫面计划. 见: 中国第三届勘查地球化学学术会议论文集. 北京: 冶金出版社, 1986, 1-6
- [13] Salminen R (Chief editor). Geochemical Atlas of Europe. Pt I. Otamedia, Oy, Espoo, 2005, 526p

## 第 2 章 样品的收集与组合

### 2.1 样品收集与组合方案的确定

要编制研究区 76 种元素的地球化学图, 就必须采集能代表研究区内 76 种元素分布的地球化学样品, 分析它们中 76 种元素的含量。要在研究区总共  $134 \times 10^4 \text{ km}^2$  的面积上采集这样的地球化学样品, 绝非易事, 需要耗费大量的人力、物力和财力。由于在 20 世纪 80—90 年代进行了区域化探全国扫面计划, 在研究区内这一计划已经基本上完成。这一全国计划在包括研究区在内的全国约  $650 \times 10^4 \text{ km}^2$  的面积上有系统地采集了数以百万计的样品, 并且开始就对这些样品的保存做了精心的安排, 为的就是能够在区域化探全国扫面计划完成以后很长的时间内都能够利用这些样品。利用这些样品, 不仅节省了大量的人力、物力和财力; 而且还有一大好处, 就是当年采集这些样品时尚没有大规模污染, 因而这些样品中所含有的信息是较少受到扰动的原始信息。

云南、贵州、广西三省区的区域化探扫面工作开始于 1980 年, 完成于 1995 年前后。四川省 (含重庆市) 除少部分图幅外, 也已大部分完成。研究区内所有各省市区区域化探扫面样品的全部副样均按当时地质矿产部的要求, 保存在专门建立的副样库中。库房内设有样品柜或样品架, 所有副样均装在塑料瓶 (或塑料袋) 中, 并建有完整的副样档案 (图 2.1、图 2.2、图 2.3、图 2.4、图 2.5、图 2.6、图 2.7、图 2.8、图 2.9、图 2.10、图 2.11)。所有副样都保存较好, 这就为本项目利用这些样品创造了充分而又良好的条件。

因此, 项目组决定采用的样品收集与组合方案是: 抽取 1:20 万区域化探扫面的副样进行样品组合, 细碎加工后对 76 种元素进行分析。

### 2.2 抽样组样的原则和方法

由于研究区内已完成的区域化探扫面工作涉及 210 个 1:20 万图幅, 其样品量非常之大 (单样将近 100 万件)。对全部样品逐个进行分析, 既没有可能, 也没有必要。经过认真分析和多方的比较研究后, 决定抽样组样的原则是: 按照将 1:20 万区域化探全国扫面计划在每个 1:5 万图幅中所采集的所有样品 (大约 100 余件) 组合为 1 件组合样品的原则制备样品。

1999 年 11 月, 制定了抽样组样要求和统一的工作方法, 具体内容如下。

(1) 将研究区内已完成 1:20 万区域化探扫面计划的每个 1:5 万图幅内的所有原始样品组合成 1 件分析样品。对于原保存的单件原始样品 (采样密度是每平方千米 1 个样品), 抽取 5g 样品参与组合。若该平方千米内有 2 件或 2 件以上样品时, 按等重量抽取的原则组成总共重 5g 的组合样品参与组合。对于原保存的  $4 \text{ km}^2$  组合样, 每件样品抽取 20g 参与组合。空白格不予考虑。

(2) 对于省市区间的跨省区图幅, 由各省区分别按照上述方法抽取位于本省市区内的样品进行组合, 然后再由项目组再组合为相应图幅的完整组合样品。跨研究区外邻国及邻省的不完整国际或省际图幅, 当采样面积小于  $1/3$  图幅面积时, 不予抽样组合。

(3) 组样前对抽样人员进行业务培训, 并设置专门抽样工作质量监控人员。各省市区抽样负责人应对本省市区组合样品质量及工作进程全面负责。

(4) 抽样前应对每瓶原始副样在振荡机上混匀。抽样过程中避免样品错乱、污染。

(5) 组合样品采用广口聚乙烯塑料瓶装样, 内装牛皮纸标签, 外用碳素黑墨水在不干胶标签上标注样品号。样品号用 1:5 万图幅号编号。

(6) 组合样品装瓶后按图幅顺序排列装入纸箱, 然后用集装箱运至指定地点。

## 2.3 组织领导与工作历程

### 2.3.1 组织领导

各省市接受任务后,立即落实了组织措施,明确组织领导,并在各局总工及主管高工的指导下先后组成抽样组,任命了组长,制定了具体的抽样组样方案,在首批工作启动费用汇到后,立即开始实施。

各省市区的样品库分设在不同的地方,云南省的在物探队,贵州省的在物化勘查院,四川省(含重庆市)的样品分别存放在三个地方:物探队、化探队、成都综合岩矿测试中心,广西壮族自治区的样品库在局中心实验室。据此,云南省由云南省地勘局物探队,贵州省由贵州省地勘局物化勘查院,四川省(含重庆市)和广西壮族自治区则以成都综合岩矿测试中心和区局中心实验室为主,组成抽样组。任命的4位组长均系地质化探工程师或实验工程师,共计73人参加了抽样组工作(表2.1)。

表2.1 抽样组的组长及参加工作成员人数

省市区	云南省	贵州省	四川省(含重庆市)	广西壮族自治区
组长	董成新	赵平	贺际春	韦成忠
工作成员人数	17	14	27	15

### 2.3.2 工作历程

1999年12月至2000年3月为准备阶段。各省市首先根据项目的安排及抽样组样要求,进行项目的组织工作,编写设计,然后购置样品瓶、塑料袋等物品。

2000年4月1日至6月30日为样品组合实施阶段,云南省、贵州省和广西壮族自治区的样品基本组合完成,四川省(含重庆市)也大部分完成。

贵州省的样品库中有68件样品由于进行异常查证时已经完全耗尽,因此于2000年6月至7月专门到野外在相应的位置上进行了重新采样和样品组合。

四川省(含重庆市)由于图幅太多,部分原始样品分别存放在不同的样品库,因而由化探队、物探队、四零四队和区调队分别进行样品组合。

本项目开始时,云南省、贵州省和广西壮族自治区已完成全省市区区域化探扫面,而四川省(含重庆市)尚未完成。为了能有尽可能多的样品参加分析,四川省(含重庆市)对3幅在2000年7月刚完成野外采样(即成都、内江、重庆幅)的图幅样品,在当年8月立即进行了样品组合,加入到组合样的行列中。图2.12、图2.13、图2.14、图2.15、图2.16、图2.17、图2.18、图2.19、图2.20和图2.21示样品组合现场。

当时仍然有16个图幅因尚未进行扫面而没能参与样品组合。

用于组合的样品的种类有差别:云南省和贵州省用单件原始样品组合,四川省(含重庆市)和广西壮族自治区主要采用原保存的4 km<sup>2</sup>组合样进行再组合。各省市完成组合样品的工作量见表2.2。

表2.2 完成组合样品工作量

省市区	云南省	贵州省	四川省(含重庆市)	广西壮族自治区	各省区合计
工作量	884件	445件	1087件	545件	2961件

抽样组样工作过程中及工作完成后由各省(区)项目组进行检查验收,前后由工作主持人进行了至少四次实地检查。检查内容包括抽样方法、工作流程、样品重量及样品编号等。

2000年6月19日至8月20日前,各省区分别将各自的全部样品装在统一定做的纸箱内,并书写上醒目的箱号(箱号广西第一,四川最后)和明确的标签,然后用集装箱运至河北廊坊物化探研究所(图2.22、图2.23、图2.24、图2.25、图2.26、图2.27)。

## 2.4 样品组合的质量保证

为保证样品组合的高质量,采取了下列措施:

(1) 统一工作方法,在订合同时提出抽样组样要求,严格按要求办事。各省市制定工作方案

均经负责人批准。

(2) 由各单位总工程师挂帅, 自始至终指导监督工作的开展。选好抽样组长, 负责日常管理及质量监督。

(3) 建立和执行质量管理制度, 并将其作为工作的基础。

(4) 工作开始前进行专门性的业务培训。

(5) 开始工作后, 首先清理副样, 按图幅逐一分幅排序; 确定抽样组合流程, 使之操作有序且易于操作, 并严格按照流程进行, 不得错乱; 样品组合前做好均匀性处理, 并避免样品错乱和污染。

(6) 组合编录。为使样品组合做到有序进行, 分幅填写组合样品记录表。抽样组长及主管工程师经常进行检查。检查分为自检、互检、院检三级, 并做有详细的记录。

(7) 样品包装。将组合好的样品装入塑料袋内, 用橡皮筋或棉绳扎紧塑料袋, 再装入广口聚乙烯塑料瓶。贴好用碳素黑墨水统一填写的不干胶内、外标签。对样品、箱号标签进行清点检查, 做到准确无误, 然后装入集装箱, 运至河北廊坊物化探研究所, 进行样品加工与分析(图 2.28、图 2.29、图 2.30、图 2.31、图 2.32、图 2.33、图 2.34、图 2.35、图 2.36、图 2.37、图 2.38)。

(8) 负责协调各省市区的同志至少 4 次分别到区省市抽样现场了解情况, 检查抽样工作, 协调解决存在的问题, 摄下了 300 余张各组抽样组合过程情况的照片, 记录下了抽样组合的真实情况。

由于采取了这些措施, 经各级质量检查后认为, 各省市区的抽样组样工作都是按统一制订的抽样组样要求完成的, 组合样品是可靠的, 高质量的。各省市区都圆满地完成了抽样组样任务, 研究组合样位置见图 2.39。

此项工作是十分有益的, 它必将给地质找矿和基础研究工作带来难以估量的重大成果, 应继续在全国推广。区域化探样品是区域化探全国扫面计划获得的重要基础资料之一, 充分地开发利用它, 可以节省大量的人力、物力, 并获得许多重要的原始信息。因此, 它是一笔极其宝贵的财富; 保管好这些样品具有极其重要的意义。此次抽样组样工作对研究区内各省区化探样品的保管进行了一次大检查、大清理, 搞清了各省市区区域化探样品的家底, 了解了它们的保管情况。检查、清理的结果表明, 各省市区原始单件样品的保管, 以云南省最好, 贵州省次之; 四川省和广西壮族自治区对  $4 \text{ km}^2$  组合样的保管, 广西壮族自治区做得较好。



图 2.1 贵州省区域化探样品库外景



图 2.2 贵州省区域化探样品库内景



图 2.3 云南省区域化探样品库内景



图 2.4 云南省区域化探样品 (单样保存较好)



图 2.5 四川实验室样品库保存 4 km<sup>2</sup> 组合样



图 2.6 四川物探队区域化探样品库



图 2.7 四川物探队样品存放于钢架上



图 2.8 位于德阳市郊区的四川化探队样品库



图 2.9 四川化探队样品存放于水泥架上



图 2.10 广西实验室样品库内景



图 2.11 广西的 4 km<sup>2</sup> 组合样保存较好



图 2.12 贵州物探队实验室人员示范抽样组合方法



图 2.13 抽样前按 1:5 万图幅为单位清理样品



图 2.14 将该图幅的重复样品拿开



图 2.15 将需参与抽样的样品摇匀



图 2.16 准备就绪开始抽样组合



图 2.17 每一瓶样品抽取 5g 参与组合



图 2.18 每个 1:5 万图幅所有样品组合为 1 件装入 3000mL 样品瓶



图 2.19 云南样品组合现场



图 2.20 四川样品组合现场