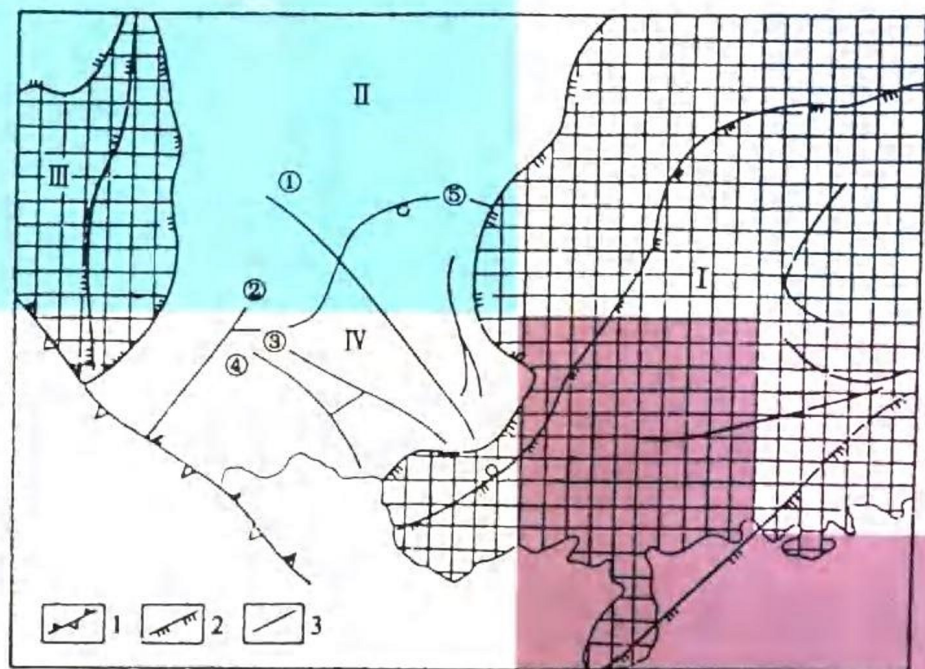


# 扬子地块西南部 沉积地球化学演化 与成矿作用

于炳松 裘愉卓 著



北京)

2

地震出版社

105701

P588.2

028

中国科学院矿床地球化学开放研究实验室  
和中国博士后科学基金联合资助项目

# 扬子地块西南部沉积地球化学 演化与成矿作用

SU15/18

于炳松 裘愉卓 著



石油0105779



地震出版社

1998

## 内 容 提 要

本书系统研究了扬子地块西南部自晚元古代至三叠纪沉积岩的微量元素和稀土元素地球化学,讨论了不同层位中元素的富集和亏损程度及其演化,发现了下寒武统、上泥盆统和上二叠统这三个在元素地球化学特征上明显不同于其它层位的地球化学异常层,并将其纳入到地球发展演化的大系统中,揭示了它们与地壳演化、岩浆活动、热水沉积、缺氧事件、海平面变化、生物绝灭事件和成矿作用等之间的内在联系。

本书可供从事沉积学、地球化学和矿床学等专业的科技工作者和研究生参考。

### 扬子地块西南部沉积地球化学演化与成矿作用

于炳松 裘愉卓 著

责任编辑:宋炳忠

责任校对:张晓梅

\*

地质出版社 出版

北京民族学院南路9号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

\*

787×1092 1/16 6.625印张 170千字

1998年3月第一版 1998年3月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1510-4/P·923

(1962) 定价:15.00元

## 前 言

沉积岩是地球表面分布最广的一类岩石,占大陆表面 2/3 的面积为沉积岩所覆盖。由于沉积岩中不仅蕴含着地球发展演化的重要信息,而且还赋存着大量的能源和矿产资源,因此,人们对沉积岩的研究兴趣与日俱增,从而大大促进了沉积学的发展。尽管人们对沉积岩地球化学的研究可追溯到经典地质学创立之初,但由于沉积岩的形成经历风化、搬运、沉积和成岩等一系列复杂的地质作用,从而使沉积岩的地球化学特征变得极为复杂。众所周知,岩浆岩的主元素、微量元素和同位素地球化学对解释岩浆演化的物理化学过程贡献重大。对岩浆岩化学变异特征的认识还产生了鉴别不同板块构造环境的特征地球化学标志。根据对改造作用不敏感的微量元素特征建立了判别岩浆岩构造环境的各种方法。相对而言,在沉积岩中,这方面的工作还十分薄弱。沉积岩的地球化学长期以来主要停留在作为沉积岩形成时环境条件判别的地球化学标志上。然而,沉积岩的地球化学组成对解释构造环境尤其是对解释前中生代的板块构造环境具有特殊的重要性。因为许多物源区已遭受破坏,唯一的记录保留在来自这些物源区的沉积物中,因此,沉积岩的化学组成是识别古构造环境的有力工具。

近年来,沉积岩的地球化学研究得到了较大的发展,主要体现在两个方面:一是集中在示踪大陆壳成分方面。最近 20 年来,大陆壳成分的沉积物示踪法得到了迅速发展(Taylor et al., 1985; McLennan et al., 1991, 1992),且已成为目前关于大陆壳成分研究领域的热点(Condie, 1993; Wedepohl, 1995; Crichton et al., 1993)。二是关于沉积物源区构造背景的恢复方面。最近,McLennan 等(1990)根据不同构造背景下的现代浊积岩的微量元素(包括稀土元素)和 Nd 同位素的研究,提出了四种不同构造背景物源区沉积物的地球化学判别标准,使这方面的研究达到了一个新水平。

本书是中国科学院矿床地球化学开放研究室基金项目“扬子地块西南部沉积地球化学演化与矿床时控性研究”的主要研究成果。由于地球科学的发展已从学科分化为主体转向学科间的大跨度交叉、渗透的地球系统科学时代,立足于全球性、统一性的整体观,研究地球系统的整体行为和各圈层的演化规律及其相互作用过程,是目前地球科学发展的主要趋势之一。因此,本项研究以地球发展演化的系统观为指导,以扬子地块西南部不同时代地层中的地球化学演化为主线,以微量元素和稀土元素为主要研究对象,揭示本区地质历史中元素地球化学体系的特征和演化规律,并将其纳入到地球演化尤其是上地壳演化的大系统中,最终达到以下几个主要目的:一是要揭示扬子地块西南部不同层位的元素地球化学背景及

其在地质历史中的演化规律;二是通过扬子地块西南部不同层位(时代)元素地球化学演化与地壳演化(包括盆地演化、岩浆活动、沉积作用等)的关系研究,揭示元素地球化学演化与地壳演化之间的内在的必然的联系;三是要查明区内主要成矿元素在不同层位的富集和亏损情况,并对可能的矿源层或含矿建造进行评价,揭示它们与区内主要成矿作用的联系;最后,将本区的元素地球化学演化和成矿作用,纳入到地壳演化甚至全球演化的大系统中来加以研究,揭示其规律性。

作者出版此书的目的,一方面是希望与同行专家学者进行交流与讨论,另一方面,是希望引发更多有志于沉积地球化学领域研究的同行们进行更深入的探索,促进这一边缘学科的发展。

本项研究,得到中国科学院矿床地球化学开放研究实验室和中国博士后科学基金联合资助。在课题研究过程中,得到贵州省地矿局王砚耕总工程师、王立亭高级工程师和中国科学院地球化学研究所王仲武同志的大力帮助。在室内研究过程中,还得到樊文苓研究员、李朝阳研究员、胡瑞忠研究员、南君亚研究员和冉清昌博士的热情指导和帮助。地球化学研究所领导谢鸿森研究员、高振敏研究员、张哲儒研究员、黄伯钧研究员、人教处彭汝明处长、科技处杨卫东处长、王兴理处长以及开放室马开照、鲁晓莺同志,均为本课题的顺利进行提供了大力的支持和帮助。中国科学院高能物理研究所毛雪瑛同志用 INAA 测试了所有样品。本书出版过程中,还得到了中国地质大学余素玉教授的大力帮助。在此,谨向所有为本课题研究提供帮助的同志表示衷心的感谢!

将沉积岩的地球化学纳入到地球发展演化的大系统中来研究,是作者进行的初步尝试。限于学识,不当甚至错误之处,恳请指教!

# 目 录

<b>第一章 区域地质概况</b> .....	(1)
<b>第一节 区域大地构造背景</b> .....	(1)
<b>第二节 地层序列</b> .....	(1)
一、上元古界板溪群.....	(1)
二、上元古界震旦系.....	(2)
三、下古生界寒武系.....	(5)
四、下古生界奥陶系.....	(5)
五、下古生界志留系.....	(6)
六、上古生界泥盆系.....	(6)
七、上古生界石炭系.....	(6)
八、上古生界二叠系.....	(7)
九、中生界三叠系.....	(7)
<b>第二章 扬子地块西南部沉积地球化学演化</b> .....	(9)
<b>第一节 概述</b> .....	(9)
<b>第二节 微量元素地球化学演化</b> .....	(11)
一、元素含量及其变化 .....	(11)
二、元素的富集与亏损 .....	(39)
三、元素组合特征 .....	(39)
四、元素地球化学异常层 .....	(40)
<b>第三节 稀土元素地球化学演化</b> .....	(43)
<b>第三章 沉积地球化学与地壳演化和岩浆活动</b> .....	(51)
<b>第一节 扬子地块西南部的地壳演化</b> .....	(51)
一、早震旦世-志留纪大地构造旋回.....	(51)
二、泥盆纪-三叠纪大地构造旋回.....	(52)
<b>第二节 沉积地球化学与地壳演化</b> .....	(55)
一、微量元素特征与地壳演化 .....	(56)
二、稀土元素特征与地壳演化 .....	(56)
三、某些微量元素比值的变化与地壳演化 .....	(57)
<b>第三节 沉积地球化学演化与岩浆活动</b> .....	(60)
一、下寒武统地球化学异常与岩浆活动 .....	(61)
二、上泥盆统地球化学异常与岩浆活动 .....	(61)
三、上二叠统地球化学异常与岩浆活动 .....	(61)

<b>第四章 沉积地球化学演化与地质事件</b> .....	(63)
<b>第一节 沉积地球化学演化与热水沉积</b> .....	(63)
一、下寒武统地球化学异常层 .....	(63)
二、上泥盆统地球化学异常层 .....	(65)
三、上二叠统地球化学异常层 .....	(67)
<b>第二节 沉积地球化学演化与缺氧事件</b> .....	(68)
一、灾变事件 .....	(68)
二、海平面迅速上升 .....	(69)
三、上升洋流 .....	(69)
<b>第三节 沉积地球化学演化与海平面变化</b> .....	(70)
<b>第四节 沉积地球化学演化与生物绝灭事件</b> .....	(74)
<b>第五章 沉积地球化学演化与成矿作用</b> .....	(76)
<b>第一节 下寒武统地球化学异常层与成矿作用</b> .....	(76)
一、汞、金(锑、砷)矿 .....	(77)
二、铅、锌矿 .....	(82)
三、银矿 .....	(84)
<b>第二节 上泥盆统地球化学异常层与泥盆系成矿作用</b> .....	(86)
一、锑矿床 .....	(86)
二、锡矿床 .....	(89)
<b>第三节 上二叠统地球化学异常层与成矿作用</b> .....	(92)
<b>第六章 结论</b> .....	(96)
<b>参考文献</b> .....	(97)
<b>英文摘要</b> .....	(99)

# 第一章 区域地质概况

## 第一节 区域大地构造背景

中国南方包括两大地质构造单元,即扬子地块和东南褶皱带(图 1-1)。

扬子地块从晚太古代开始发育,经晋宁运动形成了基底,以后发育了很厚的晚元古代至三叠纪以海相为主的盖层及侏罗纪之后的陆相盖层。晚二叠世在西南部有裂谷活动,中生代以来有较强烈的构造变形和岩浆活动。扬子地块内有几个基底岩系出露较多的地区,如东南缘的江南隆起(有人称为江南古陆)、西缘的康滇隆起、中北部的鄂西隆起等。晚元古代时,扬子地块位于北半球低纬度地区(赵自强等,1988),古生代时,也基本上位于低纬度地区,先在北纬,后在南纬;晚二叠世时,在赤道附近(张正坤,1984)。以后它与东南褶皱带一齐向北漂移,于晚三叠世与华北地块碰撞。

东南褶皱带自晚元古代发育成洋,沉积了巨厚的深海盆地相沉积物,主要由青白口系、震旦系和寒武系组成。奥陶纪时,沉积区开始收缩,志留纪时,沉积区仅在粤西桂东等地。该区主体于早古生代末(广西运动)褶皱造山,之后上覆海相为主的上古生界和三叠系盖层,内含一些沉积间断。晚二叠世在右江地区出现裂谷,并在早三叠世进一步发育。自侏罗纪全区转为陆相。中生代有强烈构造和岩浆活动。

本课题的研究范围,包括贵州大部、广西北部、湖南西部、云南东部和四川东南部等地,从大地构造位置来讲,研究区包括了扬子地块的西南部和东南褶皱带的西部北缘(图 1-1)。

## 第二节 地层序列

本课题以地质历史中不同时代地层中元素地球化学的演化为主线,来探讨本区的构造演化和成矿作用,故正确的地层划分和对比是我们本次研究工作的基础。扬子地块西南部地层发育齐全,历来是我国地层古生物研究的重要地区,地层划分和对比的研究程度较高。这为本课题的研究奠定了良好的基础。为了便于后文叙述,现将本区的地层序列和本次工作的采样层位列于表 1-1。采样层位的岩性特征简述于下:

### 一、上元古界板溪群

#### 1. 红子溪组( $Pt_3h$ )

据岩性特征可分成两段:

第一段: 仅见于梵净山东南侧,主要为变质砾岩及砂砾岩,仅红子溪附近为变余含砾砂岩,厚 5~50m。不整合覆于梵净山群回香坪组至独岩塘组之上。

第二段: 为紫红、灰紫、灰绿等杂色(以紫红色为主)绢云母板岩、粉砂质板岩及砂质板岩互层,夹少量变余粉-细砂岩,偶夹变余凝灰岩,常见钙质(大理岩)小透镜体或结核。中部紫红色板岩中偶有含铜矿物,近底部灰绿色板岩中有时夹有微薄层菱铁矿。厚约 3974m。



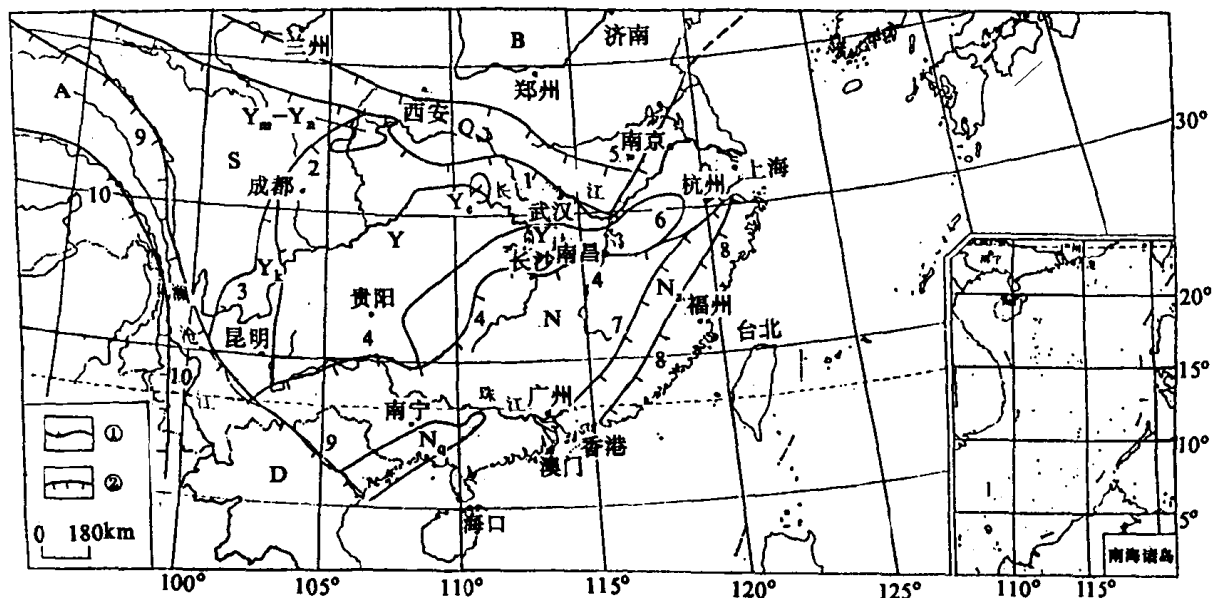


图 1-1 中国南方大地构造单元划分图(据涂光炽等,1993)

Y. 扬子地块;  $Y_j$ . 江南隆起;  $Y_k$ . 康滇隆起;  $Y_m - Y_n$ . 米仓-汉南隆起;  $Y_e$ . 鄂西隆起; N. 东南褶皱带;  $N_q$ . 钦州残洋褶皱带;  $N_s$ . 浙闽隆起; Q. 秦岭-大别褶皱带; S. 松潘甘孜褶皱系; D. 滇缅印支褶皱系; B. 华北地块; A. 羌塘地块。主要断裂: 1. 城口-房县-广济深断裂(扬子北缘深断裂); 2. 龙门山深断裂; 3. 扬子西缘深断裂; 4. 绍兴-上饶-萍乡-黔阳-开远深断裂(扬子东南缘深断裂); 5. 郑庐深断裂; 6. 弋阳-德兴深断裂; 7. 邵武-石城-河源深断裂; 8. 丽水-大埔-莲花山深断裂; 9. 红河-金沙江深断裂; 10. 班公错-怒江深断裂。①. 地质界线; ②. 深大断裂

## 2. 清水江组 ( $Pt_{3q}$ )

为浅灰、灰绿色及深灰色变余凝灰岩、变余沉凝灰岩、变余砂岩、变余粉砂岩及板岩等,以具有较多的凝灰质岩石为特色。厚 850~2100m。

## 3. 平略组 ( $Pt_{3p}$ )

主要为浅灰、灰及灰绿色绢云母板岩及粉砂质板岩,夹少量凝灰质板岩及变余砂岩等。厚度 900~2200m。

## 二、上元古界震旦系

### 1. 铁丝坳组 ( $Z_{1f}$ )

主要为杂砾岩、含砾杂砂岩、砾质砂岩、杂砂岩、岩屑砂岩等的一套中粗碎屑沉积,上部为薄层杂砂岩与粉砂质粘土岩互层,含黄铁矿。本组层位相对稳定,但岩性复杂且厚度变化极为剧烈,认为其属海相重力流沉积,厚从几米至 80m 左右。

### 2. 大塘坡组 ( $Z_{1d}$ )

可分为两个岩性段:

下段(第一段): 为黑色碳质粘土岩夹菱锰矿,局部夹有凝灰岩或凝灰质岩和硅质岩透镜体。

上段(第二段): 为粉砂质粘土岩、粘土岩及泥岩,顶部普遍具滑移-滑塌构造。局部夹有薄层粉砂岩或细砂岩。

本组厚一般 200 余米。

表 1-1 扬子地块西南部地层序列及采样层位表

界	系	统	地 层 序 列	采样层位 (共 34 个)	构造运动
中生界	三叠系	上统	二桥组(黔西、黔中、黔北),须家河组(川东、滇东南),扶隆坳组(桂西)		安源运动
			火把冲组(黔西南、滇东南),平碛组(桂),小塘子组+垮洪洞组(川中、川西北)		
			三桥组(黔中),把南组+赖石科组(黔西南),乌格组(滇东南),马鞍塘组(川西北)		
		中统	垄头组(滇东南、黔中),法郎组+杨柳井组(黔西南),边阳组(黔西)	边阳组(T <sub>2b</sub> )	
			关岭组(黔西南、黔北),许满组(黔西南),雷口坡组(川、滇东北),坡段组(黔中),个旧组(滇东南),板内组(桂西、南盘江),果化组(桂西),新苑组或青岩组(黔西)	许满组(T <sub>2xm</sub> )	
		下统	永宁镇组(黔西南、滇东南、黔西),安顺组(黔中),嘉陵江组(黔北、川、滇东、湘西),北泗组(桂西),紫云组(黔西)		
飞仙关组(黔西南、滇东南、川),夜郎组(黔北),大冶组(黔中、湘西),马脚岭组(桂西),罗楼组或茶叶哨组(黔西、南盘江)	罗楼组(T <sub>1l</sub> )				
上古生界	二叠系	上统	长兴组和大隆组(湘、黔、桂、滇)		东吴运动
			龙潭组(黔西、川东),吴家坪组(黔中、黔北),领好组(黔西南)		
		下统	茅口组(扬子区大部分地区)	四大寨组(黔西南、桂北)	
	栖霞组(扬子区大部分地区)				
	梁山组(扬子区大部分地区)				
	石炭系	上统	马平组(上扬子区大部分地区),空洞组(黔西南)	店子上组(黔西南)	黔桂运动
达拉组(上扬子大部分地区)					
滑石板组(黔东南、滇东北、黔南),大埔组(桂中)					
下统		摆佐组(黔中、黔东南、黔南、滇东北),下院组(黔西南),罗城组(罗城)	下院组(C <sub>1-2xy</sub> )		
		上司组+旧司组+祥摆组(黔东、黔南、滇东北),沙子沟组(黔西南)	沙子沟组(C <sub>1sz</sub> )		
	汤耙沟组+革老河组(黔南、滇东北),岩关组(桂中),中坝组(黔西南)	中坝组(C <sub>1zb</sub> )			
泥盆系	上统	代化组(黔西南),融县组(桂东北),五指山组(桂北)	代化组(D <sub>3d</sub> )	柳江运动	
		响水洞组(黔西南),军田组(桂东北),榴江组(桂北)	响水洞组(D <sub>3x</sub> )		
	中统	火烘组(黔西南),东岗岭组(桂东北),独山组(黔北),罗富组(桂北)	火烘组(D <sub>2h</sub> )		
		罐子窑组(黔西南),应堂组(桂东北),纳标组(桂北),大河口组+龙洞水组+舒家坪组(黔东)			
	下统	李家湾组(黔西),丹林组(黔东),塘丁组+益兰组+那高岭组+莲花山组(桂北)			广西运动

续表

界	系	统	地 层 序 列	采样层位 (共 34 个)	构造运动	
下 古 生 界	志留系	中统	回星哨组(黔北),小溪组(湘西),关底组(滇东)		北流运动	
			秀山组(黔北、黔东北),韩家店组(川南)	秀山组(S <sub>2x</sub> )		
		下统	溶溪组(黔北)	韩家店组 (黔北、川南)		溶溪组(S <sub>1r</sub> )
			马脚冲组(黔北)			马脚冲组 (S <sub>1m</sub> )
			雷家屯组(黔北),石牛栏组(黔北)			雷家屯组 (S <sub>1j</sub> )
			龙马溪组(滇、黔、桂、川)			龙马溪组 (lm)
	奥陶系	上统	五峰组(扬子区大部分地区),梅子树组(桂北)			五峰组(O <sub>3w</sub> )
			临湘组(中下扬子区),洞草沟组(黔北)			
		中统	宝塔组(扬子区大部分地区),韩江组(桂北)			
			十字铺组(黔北),牯牛潭组(黔北、湘西)			
		下统	湄潭组(黔北),大湾组(黔北、湘西)			大湾组(O <sub>1d</sub> )
			红花园组(扬子区大部分地区)			
	统	桐梓组(黔北),锅塘组(黔南)		桐梓组(O <sub>1tz</sub> ) 锅塘组(O <sub>1gt</sub> )		
		寒武系	上统	三都组(黔东南)		娄山关群 (黔北、黔中)
	扬家湾组(黔东南)			扬家湾组 (ε <sub>3y</sub> )		
	中统		都柳江组(黔东南)			都柳江组 (ε <sub>2d</sub> )
	下统		乌训组(黔东)	渣拉沟组 (黔东南)		乌训组(ε <sub>1w</sub> )
			变马冲组(黔东)			变马冲组 (ε <sub>1b</sub> )
			九门冲组(黔东),牛蹄塘组(黔北、湘西)			九门冲组 (ε <sub>1j</sub> )
		留茶坡组上部(湘、黔)				留茶坡组
上 元 古 界	震旦系	上统	灯影组(大多数地区),岩孔组(黔东北),老堡组下部(桂北),留茶坡组下部(湘、黔)	(lc)		
			陡山沱组(多数地区),观音崖组(川西南),王家湾组(滇东),洋水组(黔中)	陡山沱组 (Z <sub>2ds</sub> )		
		下统	南沱组(多数地区),列古六组(川西南),洒里口组(桂北)		南沱组(Z <sub>1n</sub> )	
			大塘坡组(湘、黔、鄂),富禄组(桂北)		大塘坡组 (Z <sub>1d</sub> )	
			铁丝坳组(黔北),长安组(桂北)		铁丝坳组 (Z <sub>1j</sub> )	
	板溪群	平略组(黔东、黔北)	板溪群 (湘、黔东),下江群(黔东)	平略组 (Pt <sub>3p</sub> )		
		清水江组(黔东、黔北)		清水江组 (Pt <sub>3q</sub> )		
		红子溪组(黔东、黔北)		红子溪组 (Pt <sub>3h</sub> )		
	中元古界	梵净山群	独岩塘组,洼溪组,铜厂组,回香坪组,肖家河组,余家沟组,淘金河组		晋宁运动	

### 3. 南沱组( $Z_{1n}$ )

主要为冰碛砾岩、砾石质泥岩、砾石质砂岩夹若干层状砂岩及粘土岩。厚度从几十米至300m。

### 4. 陡山沱组( $Z_{2ds}$ )

是一套整合在南沱组之上的含磷碳酸盐岩-粘土岩组合。下部以白云岩为主；中部以粘土岩占优势；上部则主要是碳质粘土岩、泥质白云岩夹磷块岩。厚80~200余米。

## 三、下古生界寒武系

### 1. 留茶坡组( $lc$ )

为一上震旦统至下寒武统的跨系岩石地层单位。主要由黑色泥岩、页岩和暗色薄层硅质岩组成，局部夹有暗色重晶石结核或透镜体，顶部含小壳动物化石，属早寒武世。本组厚度变化较大，从几米至100余米。

### 2. 九门冲组( $\epsilon_{1j}$ )

下段：黑色碳质页岩，局部具碳质、泥质灰岩透镜体，中夹硅质页岩，含海绵骨针。

上段：为深灰色中、薄层状灰岩夹棕色页岩，含三叶虫、腕足类及海绵骨针。

本组厚80~450m。

### 3. 变马冲组( $\epsilon_{1b}$ )

灰绿、灰黑色碳质泥岩夹粉砂岩及泥质粉砂岩。厚度变化极大，为28~540m。

### 4. 乌训组( $\epsilon_{1w}$ )

灰、浅灰、深灰、灰绿色粉砂质泥岩、钙质页岩，夹薄层-中层状灰岩、泥灰岩，底部有灰黑色含碳质泥岩，顶部变为灰色薄-中层状灰岩、泥灰岩。厚度一般为500~800m。

### 5. 都柳江组( $\epsilon_{2d}$ )

下部以黄绿色粘土岩、泥岩为主，夹深灰色中、薄层状泥晶灰岩和碳质页岩。上部以灰色含粉屑泥-细晶灰岩及泥质细晶白云岩为主，夹黑色碳质页岩。厚400m左右。

### 6. 杨家湾组( $\epsilon_{3y}$ )

下部为灰色厚层块状砾屑灰岩、白云岩。砾屑灰岩厚度变化大。上部为灰色薄层、中厚层状灰岩、泥灰岩夹少量页岩、碳质页岩，水平层纹及波状层理发育。厚370m左右。

### 7. 三都组( $\epsilon_{3s}$ )

岩性主要为黄灰、青灰、灰色泥灰岩，下部夹薄层瘤状灰岩及砾屑灰岩，底部为灰色厚层、块状砾屑灰岩。厚400m左右。

## 四、下古生界奥陶系

### 1. 锅塘组( $O_{1gt}$ )

岩性为黄、灰色薄层状泥质条带泥晶灰岩，夹多层泥晶砾屑灰岩和少量含生物碎屑泥晶灰岩，有时上部夹细至微晶白云岩。厚度一般在300~640余米。

### 2. 桐梓组( $O_{1tz}$ )

岩性主要为浅灰、灰黑色中至厚层夹薄层微至细晶白云岩和细至粗晶生物碎屑灰岩，偶夹砾屑、鲕粒白云岩，常含燧石团块，顶部及下部夹灰、灰绿色粘土页岩。下部所夹页岩层位稳定，分布广泛，为重要的含钾层位(含 $K_2O$  9%左右)。厚度一般在100m左右，最厚者可达400余米。

### 3. 大湾组(O<sub>1d</sub>)

岩性为紫红色、灰绿色瘤状泥质灰岩,生物碎屑泥灰岩夹紫红、灰绿、黄绿等色页岩、砂质页岩。厚度一般为150m左右。

### 4. 五峰组(O<sub>3w</sub>)

为灰、灰黑色薄片至板状碳质、硅质页岩夹钙质、粉砂质页岩,厚度不大,岩性稳定,一般厚3~6m。生物以数量丰富、种属繁多的笔石占绝对优势。

## 五、下古生界志留系

### 1. 龙马溪组(lm)

本组为笔石页岩相。下部为黑色片状一薄层状碳质页岩,向上钙、砂质渐增,色渐浅,至上部渐变为灰-深灰色(风化为黄、灰黄色)钙质或粉砂质页岩夹少量钙质粉砂岩及微粒泥质灰岩或透镜体。富含由聚集式到分散式保存的笔石。厚度从0~195m。

### 2. 雷家屯组(S<sub>1j</sub>)

为黄绿色页岩及厚层夹薄层亮晶生物碎屑灰岩、瘤状灰岩或透镜体,至顶部灰岩增多,并夹礁灰岩,局部夹有假鲕粒灰岩。厚从0~187m。

### 3. 马脚冲组(S<sub>1m</sub>)

为灰绿、黄绿色页岩、粉砂质页岩、钙质页岩,夹钙质砂岩、石英砂岩及少量灰岩薄层或透镜体,生物不发育,具虫迹。厚0~230m。

### 4. 溶溪组(S<sub>1r</sub>)

为紫红、灰绿、蓝灰等杂色泥页岩夹钙质、泥质粉-细砂岩、石英砂岩及少许灰岩薄层或透镜体,时见波痕、虫迹,化石少。厚0~455m。

### 5. 秀山组(S<sub>2x</sub>)

为一套碎屑岩,夹少量碳酸盐岩薄层或透镜体,化石丰富,厚0~1068m。可分为上、下二段:

下段:砂质较重,钙质较轻。为黄绿、灰黄色泥页岩、粉砂岩、钙质砂岩夹微量灰岩薄层或透镜体。厚0~637m。

上段:砂质较轻,钙质较重。为黄绿色、黄灰色泥页岩夹大量薄层或透镜状生物碎屑灰岩及少许钙质粉砂岩、粉砂质泥岩。厚0~431m。

## 六、上古生界泥盆系

### 1. 火烘组(D<sub>2h</sub>)

为一套黑色泥岩,夹细砂岩、石英细砂岩和少量泥灰岩。化石以含竹节石、海百合茎、浮游介形虫和小个体腕足类为主,另有少量双壳类和腹足类。厚90~998m。

### 2. 响水洞组(D<sub>3x</sub>)

整合于火烘组之上,以硅质岩、硅质灰岩为主,夹少量黑色页岩,厚35~276m。层型剖面的响水洞组,上部为黑色薄层硅质岩与深灰色硅质灰岩互层;中部为黑色薄层硅质灰岩夹灰岩;下部则为黑色页岩夹薄层生物泥灰岩。

### 3. 代化组(D<sub>3d</sub>)

为一套碳酸盐岩,一般上部为含海神石类灰岩;下部则为泥质条带灰岩。与响水洞组为连续沉积,以灰岩、泥质条带灰岩作为其底界,厚30~307m。产有腕足类及菊石化石。

## 七、上古生界石炭系

### 1. 中坝组( $C_{1zb}$ )

由灰、深灰色中至厚层状弱硅化生物屑灰岩、泥质灰岩与薄层粘土岩组成,中、上部夹少量燧石团块及条带,底部以厚 13m 的深灰色薄层硅质岩、强硅化灰岩与泥盆系代化组分界。厚 399.34m。

### 2. 沙子沟组( $C_{1sz}$ )

可分为二段:

下段(第一段):由灰黑色及褐色薄层粉砂岩、硅化粘土岩组成,夹少量薄层硅化含铁生物屑泥晶灰岩。厚 243.49m。

上段(第二段):由灰、深灰色薄层粘土岩、硅化粘土岩、粉砂岩、生物屑灰岩组成,上部夹少量砾屑灰岩。厚 164.72m。

本组总厚 308.21m。

### 3. 下院组( $C_{1-2xy}$ )

为深灰色中至厚层状生物屑灰岩、硅质岩,与薄层粘土岩呈不等厚互层,少量灰岩具弱硅化。厚 221.97m。

## 八、上古生界二叠系

### 1. 四大寨组( $P_{1sd}$ )

主要由粘土岩和重力流沉积的各种碳酸盐碎屑岩、燧石条带灰岩组成,产少量蜓类和菊石。厚 360~650m。该组可分为二段:

下段(改交段):以杂色粘土岩为主,夹灰岩及少量碳质页岩。在横向上可相变为深灰色薄层硅质、粘土质条带粉-泥晶灰岩。主要产菊石,下部产蜓。厚 145m。

上段(冲头段):基本上全由深灰色中厚层状燧石(或硅质)条带微晶灰岩、砂砾屑灰岩组成。下部以富含泥质、硅质及菊石化石为特征;上部普遍白云石化和具正粒序层理,并常夹块状塌积岩-石灰角砾岩,以产蜓类化石为主。本段厚 172~550m。

### 2. 领好组( $P_{2lh}$ )

本组可分四个岩性段:

第一段:以灰、深灰色薄层硅质灰岩、硅质岩为主,夹粘土岩及少量岩屑粉-细砂岩、砾岩,产蜓类。厚 275m。

第二段:以灰色薄至中厚层长石岩屑砂岩为主,夹粘土岩及泥灰岩。产腕足类。厚 316m。

第三段:以灰、黄褐色粘土岩为主,夹薄层含粘土质生物屑灰岩、泥灰岩,以及少量硅质岩,产菊石及少量蜓。厚 111.4m。

第四段:为灰色厚层泥晶砾-砂屑灰岩与薄层硅质岩互层,夹粘土岩,产蜓及少量菊石。厚 165.4m。

值得指出的是,在第三段中,近年的研究证明,还夹有凝灰岩和凝灰质灰岩。

## 九、中生界三叠系

### 1. 罗楼组( $T_{1l}$ )

主要由灰色薄层至中厚层泥晶灰岩、泥灰岩与页岩组成,时夹砾屑灰岩,上部常具滑移挠曲构造。一般厚 80~150m,本组可分为两段:

第一段:由灰色泥晶灰岩与黄绿色钙质页岩构成不等厚互层。

第二段:以深灰色、灰色薄层灰岩为主,偶夹钙质页岩或砾屑灰岩。

## 2. 许满组( $T_{2xm}$ )

主要由一套复理石砂页岩及灰岩组成,以厚度大(800~1600m),横向变化复杂,浊流沉积典型为特征。按岩性特征可分为4个岩性段:

第一段(厚81~153m)和第三段(厚170~452m)以灰色薄至中厚层泥晶灰岩和钙质粘土岩为主,组成不等厚韵律互层,时夹粉砂岩。第二段(厚142~1117m)及第四段(厚485~863m)则以灰、灰绿色钙质粉砂岩、砂质粘土岩和钙质粘土岩为主组成韵律互层,偶夹灰岩。上述四个岩性段构成了两个大的旋回层。

## 3. 边阳组( $T_{2b}$ )

由一套次深海槽盆地相砂岩、粘土岩及少量灰岩组成的复理式韵律性沉积。厚1976~2764m。按岩性特征,普遍可分为三段:

第一段:灰色中至厚层岩屑石英砂岩、长石岩屑砂岩、钙质砂岩、粉砂岩及砂质粘土岩、粘土岩组成韵律性互层。岩屑砂岩中之石英、长石及硅质岩、粘土岩等岩屑含量达80~90%;各岩类组成不完整的鲍马序列,具重荷模、槽模等底面构造,普遍具小型斜交层理、包卷层理,有时具流水波痕。本段厚503~1273m。

第二段:以黄绿色、灰绿色砂质粘土岩、钙质粘土岩为主,与少量岩屑石英砂岩、钙质砂岩组成韵律性互层。砂岩普遍具斜层理及包卷层理。厚832~1112m。

第三段:以灰绿、黄灰色钙质细砂岩、钙质粉砂岩及钙质粘土岩为主,夹灰色生物屑灰岩、砂质泥灰岩等。厚359~582m。

综合上述的采样层段特征可知,本次所选的采样组段,均为本区各时代处在相对深水的斜坡-盆地背景上的沉积产物。

## 第二章 扬子地块西南部沉积地球化学演化

### 第一节 概 述

本研究以地质历史中不同时代的地球化学演化为主线,以各时代深水相(包括盆地相和下斜坡相)泥质岩作为主要研究对象,讨论本区主要成矿元素在地史演化过程中的分异富集规律及形成原因,找出其相对富集的层位及其与成矿作用之间的内在联系。我们之所以以深水相泥质岩作为主要研究对象,其原因主要有三:一是从沉积作用角度讲,泥质岩是沉积作用过程中的端员组分,这类岩石通常粒度细小、沉积速率低、搬运距离和时间长,因而,在这类岩石中,其岩石地球化学性质相对较为均一。二是通常泥质岩中各类金属元素的含量相对其它岩石要高得多,据前人的研究,许多矿床的矿源层,也多与这类泥质岩层有关。三是为了尽可能消除由于岩性岩相不同所造成的地球化学差异,确保不同时代地层中元素地球化学对比的统一性和可靠性。

根据上述思路,我们对本区自上元古界到三叠系的不同层位,进行了系统采样。采样剖面的选择,以不同时代地层中深水相泥质岩相对较发育及沉积环境的可对比性为原则。在样品的采集过程中,我们以组为单位,每组分上、中、下三部分,分别采集各部分有代表性的岩石样品,包括泥质岩和其它岩性。当一组的厚度超过 300m 时,则适当增加样品。根据这一原则,我们在贵州遵义(Pt<sub>3</sub>, Z, ε, O, S)、黔东(ε, O, S)、紫云火烘(D)、镇宁沙子沟(C)、紫云猴场四大寨(P)、紫云县城边(T)、罗甸边阳和檬江(T),系统采集了从上元古界至三叠系的泥质岩和其它有代表性的岩石样品 250 余件。

样品分析过程中,由于样品数量比较多,我们采取了以组为单位组合的办法,即将各组的样品(3~5 个),按等量混合,然后由机械粉碎到-200 目,以尽量保证样品的均匀混合。本次所测样品的编号、层位及岩性见表 2-1。样品由中国科学院高能物理研究所核技术应用部毛雪瑛同志用中子活化方法测定。所有样品均为一次性测试完成。

为了保证分析数据的可靠性,我们在送样时,加入了煤灰标样(NBS SRM1633a)。通过煤灰标样的测试结果与其标准成分(Korotev, 1987)的对比分析可知(表 2-2),本次测试结果中,由于中子活化方法本身对某些元素的探测效果比较差,而导致本次测试中有较大误差(>15%)的元素有: Ni、Sr、Zr、W、Au、Tb 和 Lu。根据本次测试的煤灰标样结果与 Korotev (1987)的数据相比较,我们计算了其偏差百分比(表 2-2),本文中的偏差百分比定义为:

$$\frac{\text{本次测试结果} - \text{Korotev 的结果}}{\text{Korotev 的结果}} \times 100\%$$

从表 2-2 中可见,偏差百分比绝对值大于 15%的元素有: As、Se、Sr、Zr、Cs、W、U、Ce、Nd。这些元素中, Sr、Zr、W 本身测试误差比较大,故对比不太可靠。其它几个元素,即: As、Se、Cs、U、Ce、Nd 这几个元素可认为是本次测试中误差比较大的元素。



表 2-1 测试样品一览表

样号	层位	岩性	样号	层位	岩性
Y1	Pt <sub>3h</sub>	板岩	Y21	S <sub>1lj</sub>	泥岩
Y2	Pt <sub>3q</sub>	板岩	Y22	S <sub>1m</sub>	泥岩
Y3	Pt <sub>3p</sub>	板岩	Y23	S <sub>1r</sub>	泥岩
Y4	Z <sub>1t</sub>	含粉砂泥岩	Y24	S <sub>2x</sub>	泥岩
Y5	Z <sub>1d</sub>	泥岩	Y25	D <sub>2h</sub>	泥岩
Y6	Z <sub>1n</sub>	泥岩	Y26	D <sub>3x</sub>	泥岩
Y7	Z <sub>2ds</sub>	炭质泥岩	Y27	D <sub>3x<sub>1</sub></sub>	硅质岩
Y8	lc <sub>1</sub>	炭质泥岩	Y28	D <sub>3x<sub>2</sub></sub>	硅质岩
Y9	lc <sub>2</sub>	硅质岩	Y29	D <sub>3x<sub>3</sub></sub>	硅质灰岩
Y10	ε <sub>1j</sub>	泥岩	Y30	D <sub>3d</sub>	泥岩
Y11	ε <sub>1b</sub>	泥岩	Y31	C <sub>1zb</sub>	钙质泥岩
Y12	ε <sub>1w</sub>	钙质页岩	Y32	C <sub>1sz</sub>	碳质泥岩
Y13	ε <sub>2d</sub>	碳质泥岩	Y33	C <sub>1-2xy</sub>	泥岩
Y14	ε <sub>3y</sub>	粉砂质页岩	Y34	P <sub>1sd</sub>	泥岩
Y15	ε <sub>3s</sub>	钙质泥岩	Y35	P <sub>2lh</sub>	泥岩
Y16	O <sub>1gt</sub>	页岩	Y36	P <sub>2lh<sub>1</sub></sub>	凝灰岩
Y17	O <sub>1tz</sub>	页岩	Y37	P <sub>2lh<sub>2</sub></sub>	凝灰质灰岩
Y18	O <sub>1d</sub>	粉砂质泥岩	Y38	T <sub>1l</sub>	泥岩
Y19	O <sub>3w</sub>	粉砂质泥岩	Y39	T <sub>2xm</sub>	泥岩
Y20	lm	泥岩	Y40	T <sub>2b</sub>	泥岩

表 2-2 煤灰标样本次测试结果与 Korotev(1987)结果对比表

元素	本次测试		Korotev(1987)		偏差/%
	含量/10 <sup>-6</sup>	误差/±%	含量/10 <sup>-6</sup>	误差/±%	
Sc	37.7	1.8	38.6	2.85	-2.33
Cr	199	4.4	193	2.59	+3.11
Fe	91800	3	93800	0.19	-2.13
Co	41.7	2.8	44.1	2.27	-5.44
Ni	129	95.3	130	20.77	-0.77
As	111	2.4	145	2.07	-23.45
Se	2.03		10.3	6.80	-80.29
Rb	125	11.5	134	2.24	-6.72
Sr	629	26.0	835	4.79	-24.67
Zr	595	15.8	240	12.5	+147.92
Sb	6.3	10.9	6.15	2.44	+2.44
Cs	8.71	6.0	13.3	1.73	-34.51