

# 秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相的亚相和微相划分及特征

方维萱<sup>1</sup>, 胡瑞忠<sup>1</sup>, 张国伟<sup>2</sup>, 芦纪英<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002;

2. 西北大学, 西安 710069; 3. 西北有色金属地质勘查局, 西安 710054)

[摘要] 提出秦岭泥盆系热水沉积岩相, 划分了热水沉积岩相的亚相、微相, 并总结其特征。按成岩成矿作用方式可划分为热水同生沉积亚相、热水同生交代亚相、热水油流沉积亚相、热水液压致裂—隐爆亚相、热卤水渗滤交代亚相、热水(岩浆)流体隐爆—液压致裂亚相等 6 个亚相。沉积盆地分析中, 它们是建立热水沉积盆地中地层格架的构造岩石地层单位组成单元。按地球化学动力学—岩石组合可划分为硅质岩亚相、重晶石岩亚相、钠长石岩亚相、铁镁碳酸盐岩亚相、方柱石—黑云母岩亚相、硫化物岩亚相等 6 个亚相, 在热水沉积成矿盆地的地球化学分析与模拟中, 它们是建立热水沉积体系及古热水成矿流体场地球化学类型的岩石地球化学地层层序单元及古热水成矿流体场地球化学类型单元。

[关键词] 热水沉积岩相 亚相 微相 分类 特征 泥盆系 秦岭造山带

[中图分类号] P588.2 [文献标识码] A [文章编号] 0495—5331(2001)02—0050—05

秦岭造山带是典型的复合型大陆造山带, 具有长期的演化历史、复杂的组成与结构<sup>[1]</sup>, 也是我国重要岩石·矿物的巨型金属成矿带<sup>[2]</sup>。热水沉积盆地与热水沉积成岩成矿系统在秦岭造山带造山过程中及热水沉积型金属矿床成矿过程中具有十分重要的作用, 热水沉积盆地与热水沉积成岩成矿系统的研究, 首先要研究热水沉积岩相。因此, 研究热水沉积岩相的分类及特征有较大的实用价值, 也有助于深化对热水沉积作用的认识。大陆造山带的流体地质作用及流体成矿作用是国际研究的科学前沿课题<sup>[3~11]</sup>, 研究热水沉积盆地中的重要物质组成—热水沉积相的类型划分、地质特征及应用, 也有助于从流体地质角度认识大陆造山过程中盆—山转换及耦合关系。

## 1 热水沉积岩相

沉积相的现代概念是由瑞士学者 Gressly (1938) 首次引入地质文献的, 目前常用的沉积相概念包括如下几类<sup>[12]</sup>: ①相是具有一定特征的岩性单位, 一般称为岩相, 如红色砂岩相、黑色页岩相、热水沉积岩相。②相是沉积条件和沉积环境的综合物质表现, 是一种解释性术语, 常赋以自然地理环境的概念, 如河流相、三角洲相、滞流还原性盆地相、构造—热水沉积岩相, 这种概念可称为环境相。③相是指

某种大地构造背景下形成的沉积产物, 如磨拉石相、复理石相等, 被称为构造相, 沉积建造常用于代替这种构造相。④相是指某种沉积环境的生物组合特征, 如笔石相、介壳相和礁相, 可称为生物相或生态相, 多用于生物地层学中。

热水沉积岩相是指有特定的岩性单位及其组合型式, 由热水作用的形成。一般情况下, 可有陆源、内源物质的混入, 但作为热水作用的主体物质源区则是来自沉积盆地的基底。热水沉积矿床及热水沉积盆地研究中, 首要的问题之一是热水沉积岩相研究, 热水沉积岩相研究不但对二者的形成过程、环境、盆地动力学及成因提供十分重要的信息; 而且在物质组成上, 热水沉积矿床常有直接赋存于热水沉积岩相之中, 甚至有些热水沉积岩相本身就是矿床中矿石的组成部分(如重晶石岩亚相), 或者热水沉积岩相在矿床内的赋存矿岩层具有惟一性和不可分割性; 热水沉积岩相是热水沉积盆地内十分重要的组成部分和地层充填体, 它具有惟一性和先决性, 缺失热水沉积岩相的盆地只是正常的沉积盆地, 而决不能称其为热水沉积盆地。在另一方面, 沉积盆地是热水沉积作用活动的空间和场所, 缺失沉积盆地这一构造背景, 也就失去了热水沉积岩相的生存空间, 否则, 热水将迅速被较冷的海水体系所淡化和吸收, 从而溶入无限大的海水系统中。即使有快速的热水沉积作用发生, 也会被海水搬运、分散而进入沉

[收稿日期] 1999—12—01; [修订日期] 2000—02—20; [责任编辑] 张启芳。

[基金项目] 国家重大基础研究规划项目(编号: 1999043200)、国家自然科学基金重点项目(编号: 49732080)及中国有色金属工业总公司人才培养基金等联合资助。

积体系中。热水沉积作用与沉积盆地的相互耦合, 才能形成热水沉积岩相及热水沉积矿床, 并作为沉积盆地的地层充填体被保存和封闭。因此, 热水沉积岩相的研究中, 必须将热水沉积岩相与沉积盆地的耦合关系作为重要的研究内容, 这种耦合关系可称为构造—热水沉积岩相, 作为对原型盆地恢复和古地理再造的重要依据。

## 2 热水沉积岩相的亚相、微相划分

### 2.1 热水沉积岩相类型的划分

在前人研究的基础上, 结合秦岭地区的热水沉积岩特点、成岩成矿方式、形成环境等, 本文提出按其成岩成矿方式和岩性组合—地球化学动力学, 可划分为两种亚相系列及其相应的微相, 热水沉积岩相划分方案见表 1、表 2。在沉积盆地分析中, 它们是建立热水盆地中地层格架的构造岩石地层单位的组成单元, 因为在热水沉积盆地地层充填体中, 热水沉积体系是以来自盆地地下伏地层为主的特殊沉积体系。

### 2.2 热水体系的地球化学作用

作为巨大热化学反应库的热水沉积盆地中, 热水活动遵循流体动力学, 但这种流体动力学系统属

非线性系统, 在热水流体—构造—地质环境(系统环境)的相互耦合关系中, 造成系统失稳, 触发热水流体系统发生沉积作用的主要因素之一是热水流体系统的地球化学动力学因素<sup>[13~15]</sup>, 包括温度( $T$ )、压力( $P$ )的升降、酸—盐—碱相互作用(pH)、氧化—还原条件改变与聚变(Eh)、非等化学位的物质作用(M)、超临界状态下热水流体的沸腾、爆炸及其由此引起的物理—化学作用、物质交换等, 物理作用主要包括角砾岩化、隐爆作用、液压致裂等。热水沉积岩是这些因素及热水沉积过程的最终记录, 要追踪和分析造成热水系统失稳、触发热水沉积作用(包括成矿作用)必须研究热水沉积岩相<sup>[16~18]</sup>, 分析和研究地球化学动力学作用类型, 按地球化学动力学—热水沉积岩的岩石组合(沉积建造)划分的热水沉积亚相、微相及体系失稳的地球化学动力学因素见表 2。这种热水沉积岩相的亚相划分方案是热水沉积成矿盆地的地球化学分析与模拟中, 古热水成矿流体场地球化学类型中岩石地球化学地层层序单元及古热水成矿流体场的地球化学类型单元, 它们是不同的类型古热水流体场恢复重建的基础, 通过现今热水沉积岩相的不同类型亚相的三维空间结构的地球化学填图与模拟、分析, 在结合构造—岩石—地球化学筛

表 1 按成岩成矿方式划分亚相及微相表

亚相系列	微相系列	岩性组合	实例
热水同生沉积亚相	单一成分热水同生沉积微相	重晶石岩类、硅质岩类、钡解石岩铁白云岩类、菱铁矿岩类、毒重石岩	铅矾山铅锌矿、石梯重晶石矿、大西沟重晶石菱铁矿床
	热水混合同生沉积微相	菱铁矿铁白云岩、硅质铁白云岩、含矿硅质岩、含矿硅质铁白云岩、钠长石似碧玉岩、毒重石重晶石岩、斜钡钙石岩	银洞子银多金属矿床、石梯重晶石矿
	热卤水同生沉积微相	铁白云质泥岩、铁白云质碎屑岩、绢云母泥岩	铅矾山铅锌矿、银洞子银多金属矿、银母寺铅锌矿
热水同生交代亚相	镁铁质同生交代微相	硅质铁白云岩铁白云质灰岩	银洞子银多金属矿床
	钠质交代微相	钠长石化板岩类	双王金矿床
	镁碳酸质同生交代微相	白云岩类、白云岩化	公馆汞锑矿床
热水油流沉积亚相	黑云母钠长石微相	钠长石岩、黑云母钠长岩、长石黑云母岩	八卦庙金矿
	铁白云质钠长石岩微相	钠长石铁白云质千枚岩、铁白云质碎屑岩	八卦庙金矿
	等深积岩微相	钠长石绢云母方解石等深积岩长石黑云母岩	八卦庙金矿
	炭质钠长石碎屑岩微相	含炭钠长石板岩	青崖沟金矿
热水爆炸—液压致裂亚相	热水爆炸微相	空隙式、悬浮式胶结的热水角砾岩, 含矿硅质铁白云石角砾岩、含矿硅质角砾岩	八方山、铅矾山二台子金矿
	热水液压致裂微相	裂隙式胶结的含矿热水角砾岩, 如含矿铁白云岩、含矿钠长石似硅质角砾岩、似碧玉岩质角砾岩	银洞子、厂坝、铅矾山等铅锌矿、
热卤水渗滤交代亚相	Na—Cl 交代微相	方柱石岩、方柱石化碎屑岩方柱石化碳酸盐岩	柞水—山阳地区
	K 交代微相	黑云母岩、黑云母—绢云母化	柞水—山阳地区
	Na—K—Cl 交代微相	方柱石黑云母岩、黑云母方柱石岩	柞水—山阳地区
热水(岩浆)流体隐爆—液压致裂亚相	流体热水隐爆微相	复成分角砾岩、钠长石碳酸(角砾)岩、碳酸盐钠长石角砾岩, 空隙式、悬浮式胶结	双王、二台子、桐木沟
	热水流体液压致裂微相	复成分角砾岩、钠长石碳酸(角砾)岩、钠长石角砾岩, 裂隙式胶结, 角砾具有可拼结性	凤县—板房子—凤镇—竹林关, 全长 400 km
	热水流体渗滤交代作用	钠长石化岩类、碳酸盐化岩类	柞水—山阳地区
	热水流体充填(交代)作用	重晶石—方解石脉(网脉)、钠长石岩脉、铁碳酸盐岩脉	二台子

表 2 按地球化学动力学—岩石组合系列划分亚相方案

亚相	体系失稳的地球化学动力学	微相	岩石组合	实例	指标矿种
重晶石岩亚相	<i>P</i> 、 <i>T</i> 降低	单一成分热水同生沉积微相	重晶石岩、毒重石岩	大西沟重晶石菱铁矿床 安康茨沟重晶石矿床	Ba
	酸—碱作用 ( <i>pH</i> )	热水混合同生沉积微相	斜钙钡石岩、毒重石岩、重晶石岩、斜钙钡石重晶石岩、菱铁矿钠长石似碧玉岩(银、银铅矿石)	安康石梯重晶石—毒重石矿床、银铜子银多金属矿床	Ba—Cu, BaAu Pb—Zn—Ag
	氧化还原作用 ( <i>Eh</i> )		硫化物重晶石岩(银铜、银铅矿石) 重晶石硫化物钠长石似碧玉岩(银铅矿石)	银铜子银多金属矿床	Ba—Cu, BaAu Pb—Zn—Ag
	临界沸腾酸 <i>P</i> 、 <i>T</i> 降低	热水爆炸—同生沉积微相	石英重晶石碳酸(角砾)岩	二台子	Cu—Au
硅质岩亚相	酸—碱作用 ( <i>pH</i> )	单一成分热水同生沉积微相 热水混合同生沉积微相	硅质岩、似碧玉岩 铁白云石硅质岩、含矿铁白云石硅质岩、含矿硅质铁白云岩	铅铜山、银铜子、厂坝等多金属矿	Pb—Zn(Cu—Ag)
	非等化学位作用 ( <i>M</i> )	热水同生交代微相	硅质铁白云岩、含矿硅质铁白云岩、硅质灰岩、铁白云质灰岩	银铜子、铅铜山	Ag—Cu—Pb—Zn
	临界压力致裂—临界沸腾	热水爆炸—液压致裂	裂隙式胶结含矿硅质角砾岩、钠长石似碧玉岩角砾岩。空隙式、悬浮式胶结的硅质铁白云石角砾岩	铅铜山、银铜子	Ag, Cu—Pb—Zn
柱石岩亚相 黑云母方	非等化学位作用(热卤水)	K—Cl 渗滤交代微相 Na—Cl 渗滤交代微相 K—Na—Cl 渗滤交代微相	黑云母岩 方柱石岩 方柱黑云母岩—黑云方柱石岩	柞山地区	Au
铁镁碳酸盐岩亚相	<i>T</i> 、 <i>P</i> 降低 酸—碱作用 氧化—还原作用	单一成分热水同生沉积微相 热水混合同生沉积微相	铁白云岩、菱铁矿岩、铁方解石岩、菱铁矿铁白云岩、菱铁矿硅质铁白云岩、似碧玉菱铁矿岩、重晶石磁铁矿菱铁矿岩	大西沟峰崖、铅铜山大西沟	Fe, Cu Pb, Zn
	临界流体、沸腾酸碱作用	热流体隐爆—液压致裂微相	碳酸盐质角砾岩、钠长石碳酸盐质角砾岩、复成分角砾岩	二台子柞山地区	Au, Cu Pt 族元素
	非等化学位作用	热流体渗滤交代微相	白云岩、铁白云石化、铁方解石化、锰白云石化白云石环带构造	旬阳公馆柞山地区	Hg—Sb—As
	<i>T</i> 、 <i>P</i> 、 <i>D</i> 作用(构造扩容空间)	热水充填交代微相	铁镁碳酸岩脉、钠长石铁白云石碳酸岩脉	八方山二台子	Au
钠长石亚相	<i>T</i> 、 <i>P</i> 降低	单一成分热水同生沉积微相	钠长石岩	双王、二台子	Au, Zn Pt 族元素
	非等化学位	热水流体渗滤交代微相	钠长石(岩)化板岩类、钠长石(岩)化砂岩类及灰岩类	柞山地区	
	<i>T</i> 、 <i>P</i> 、 <i>D</i> 作用(构造扩容作用)	热水充填交代作用微相	钠长石脉、钠长岩脉	柞山地区	
	临界热水流体沸腾	热水流体隐爆—液压致裂微相(流体混合交代作用)	钠长岩角砾岩、碳酸盐钠长石角砾岩、复成分角砾岩	柞山地区	

分方法,恢复古热水成矿流体场的时—空结构。实时分析与动态模拟后,总结的岩石地球化学示踪标志及找矿评价指标可用于外围、深部及新区的找矿预测中。

### 3 热水的幕式活动及热水沉积岩相的时序结构

1) 热水沉积岩(矿层)的物源区是来自盆地基底,初始的热水沉积作用必需沿控制三级盆地的同生断裂自基底向上迁移,热水活动的格局必然涉及到同生断裂的格局(方向),这种格局被有沉积学响应的地层单元所记录。

2) 热水沉积盆地是通过正常沉积—热水沉积—

正常沉积的反复交替充填,任何一个热水沉积期,活跃热水同生沉积—交代成岩成矿作用总是集中在三级热水盆地内,且发育在三级热水盆地的一定区域内。三级热水沉积盆地以外的沉积区,热水沉积量很少,或者有少量热卤水的混入,常构成区域性可对比层位,大量的地区则以正常沉积为主。因此,热水沉积成因段被正常沉积在纵向上所分割,正常沉积物(常为海底高地)构成对三级热水沉积盆地的封闭和对热水流动的阻挡,使其热水滞流,有充足沉积成岩成矿的有效能量。热水以垂向加积为主,侧积作用不明显,多限于热水沉积成矿盆地之中。

3) 每一个热水沉积事件都是由热水同生沉积—交代微相、单一成分热水同生沉积/不同性状、成分

的热水混合同生沉积微相、热卤水同生沉积微相、热水充填交代微相构成了一个完整的热热水沉积旋回(事件)。在相序中构成了一个完整的热热水沉积旋回微相序列,可称为热水沉积垂向微相序列。

4) 每一个热水沉积事件发育在三级热水沉积盆地中,必然共生一套滞流、还原性盆地相沉积,为浅水/半深水/深水环境具有特定的岩性组合、沉积相组合,二者是三级热水沉积盆地充填地层完整层序。具有热水沉积+滞流、还原性盆地相沉积组合的层序可称为三级热水沉积盆地的“标准层序”,而具有滞流、还原性盆地的层序及热水沉积岩相的层序是两类不同成因的层序,但在盆地尺度上有机相关,在时间-空间-成因上有着密切共生关系的三维地层充填体。

5) 热水沉积+滞流、还原性盆地相的层序在多数三级热水沉积盆地内都存在,但发育程度和存在形式各不尽相同,这与三级热水盆地的动力学及成因、热水活动方式和成分是密切相关,并具有某种幕式活动的特点。为了区分方便,可将这种幕式活动按热水主要成分划分为硅质热水幕、铁镁碳酸盐质热水幕、钠质热水幕、硫酸盐质热水幕、Na-K-Cl质热卤水幕及岩浆-碱性热(水)流体幕。这是在岩石圈尺度上大陆造山带中盆-山耦合、盆地-热水成岩成矿耦合中,统一热水成矿流体自组织系统的不同演化阶段产物。按其成岩方式不同划分为宁静式热水幕和爆发式热水幕。宁静式热水幕主要分布于三级热水沉积盆地内,海水静压力较大(包括沉积物产生的静压力),以热水同生沉积及同生交代作用。不同成分及性状的热水混合同生沉积作用、单一成分的热热水同生沉积作用等为主。在局部(同生断裂)有热水爆炸-液压致裂、热水充填交代作用。爆发式热水幕发生于准同生期或成岩期,沉积物(包括海水)产生的静压力较小,沉积物已固结成岩或部分成岩。热水活动要冲破这种固结程度较高、静压力较大的地表环境,热水携带的挥发组分较高,能够产生较高的临界压力,形成隐爆式、爆破式、热流体顶蚀(侧蚀)及液压致裂作用。以热(流体)水爆炸-液压致裂作用、热水交代作用、热水充填作用为主,沿同生断裂(通道)附近呈带状分布,与周围的沉积岩(物)有明显的界线,可位于三级热水沉积盆地的中心、边坡或盆地附近的同生断裂带中。也可在有深刻地深部地质作用背景下形成的古异常地热场中,产生热卤水渗滤交代成岩作用,形成热卤水渗滤交代微相。

热水沉积体系及其共生的盆地相复合体是三级热水沉积盆地充填历史基本在时间序列及空间序列上的物质记录与岩石地层单位。三级盆地内及边缘的裂陷式沉积层序为三级盆地发育的开始端元,以纵向上不连续的较粗沉积物为主,且具有滑塌沉积-软变形构造及同生角砾岩为特点。向上发育沉积水体加深,沉积环境变为滞流、还原性的层序。热水同生交代作用发育在同生断裂附近的沉积岩中,以来自盆地基底物源的增加为开始,沉积水体逐渐增温、卤化,并与盆地相共生。热水同生沉积交代+滞流、还原性盆地相的共生组合代表了三级盆地演化为三级热水盆地进程,盆地断陷扩张开始,发育热水同生沉积作用向上逐渐增强的热水沉积体系。

由于三级热水沉积盆地内的亚相、微相分异强烈,沿走向热水沉积岩的微相急剧相变,在纵向上被盆地内的滞流、还原性盆地相所分割。同生断裂作用活动增强,热水活动减弱,热水仅限于同生断裂附近发育,形成热水同生交代作用、同生沉积作用,并与热卤水同生沉积相共生。三级热水盆地接受充填封存,进入成岩作用,此后,三级热水盆地萎缩、封闭,以浅水陆源沉积体系为主。发育向上变粗的沉积层序,沉积水体逐渐变浅,并与一级沉积盆地逐渐成为一个整体,结束了三级热水沉积盆地的活动,在区域上地层的等厚线差异能够指示三级热水盆地原有的断陷深度。

#### [参考文献]

- [1] Zhang Guowei, Xiang Liven, Men Qingren. The Qinling orogenic and intracontinental orogen mechanisms[J]. Episodes, 1995, 18(1-2): 36~39.
- [2] 王相,唐荣杨,李实,等. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1996.1~50.
- [3] Yamamoto k. Geochemical characteristics and depositional environment of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto Terranes[J]. Sedimentary Geology, 1987, 52: .65~108.
- [4] Rona P A. Hydrothermal mineralization at seafloors spreading center [J]. Earth Science Reviews, 1984, 2: 1~796.
- [5] Warren J.K. Evaporites brines and base metals: What is an evaporite? Defining the rock matrix[J]. Australian J of Earth Sciences, 1996, 43: 115~132.
- [6] Warren J.K. Evaporite, brines and base metals: fluids, flows and "the evaporite that was"[J]. Australian J of Earth Sciences, 1997, 44: 149~183.
- [7] Oliver J. The spots and stains of plate tectonics[J]. Earth Science Reviews, 1992, 32: 77~106.
- [8] 翟峪生,等. 大型构造与超大型矿床[M]. 北京:地质出版社,1998.1~50.
- [9] 刘家军,郑明华,刘建明,等. 西秦岭寒武系金矿床中硅岩的地质

- 质地球化学特征及其沉积环境意义[J]. 岩石学报, 1999, 15(1): 145~154.
- [10] 肖庆辉, 李晓波, 贾跃明, 等. 当代造山带研究中值得重视的若干前沿问题[J]. 地学前缘, 1995, 2(1-2): 43~50.
- [11] 贾跃明. 流体成矿系统与成矿作用研究初探[J]. 地学前缘, 1996, 3(3-4): 253~258.
- [12] 梅志超. 沉积相与古地理重建[M]. 西安: 西北大学出版社, 1994. 1~5.
- [13] 方维萱. 秦岭造山带泥盆纪构造热水沉积成矿盆地与流体成岩成矿特征及其演化规律. [学位论文][D]. 西安: 西北大学, 1999. 1~72.
- [14] 方维萱. 秦岭造山带古热水场的地球化学类型及流体动力学模型探讨—热水沉积成矿盆地分析与研究方法之二[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2): 17~27.
- [15] 方维萱. 论流体成矿作用[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(2): 65~73.
- [16] 方维萱. 陕西铅铜山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征[J]. 沉积学报, 1999, 17(1): 44~50.
- [17] 方维萱. 陕西银洞子—大西沟菱铁矿银多金属矿床热水沉积岩相特征及成因[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 431~438.
- [18] 方维萱. 银洞子—大西沟特大型矿床中重晶石岩类特征及成岩成矿作用[J]. 岩石学报, 1999, 15(1): 121~128.
- [19] 方维萱. 秦岭造山带中热水沉积成矿盆地的研究思路与方法初探—兼论秦岭超大型金属矿集区的研究与勘查[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2): 28~41.

## ON CLASSIFICATIONS AND CHARACTERISTICS OF

### THE DEVONIAN HYDROTHERMAL SEDIMENTARY FACIES IN THE QINLING OROGEN

FANG Wei-xuan, HU Rui-zhong, ZHANG Gue-wei, LIU Ji-ying

**Abstract** The concept of hydrothermal sedimentary rock facies at the Devonian in the Qinling orogen have been initiated. Classifications of the subfacies and microfacies of the hydrothermal sedimentary facies and their characteristics have been approached in the paper. In terms of the patterns of hydrothermal rock-forming, the subfacies of hydrothermal sedimentary facies can be classified into six kinds of the subfacies, that is: subfacies of hydrothermal syndimentation, subfacies of hydrothermal synreplacement, subfacies of hydrothermal deposition in turbidity current, subfacies of hydrothermal fluid pressure-fracturing and explosion, subfacies of hot-brine vadose-replacement, subfacies of the explosion and fluid pressure-fracturing of hot fluid or fluid like magma fluids. These subfacies are units of tectonic petrology strata for establishment of stratigraphic frame in the analysis sedimentary basin. On the basis of geochemical dynamics and associations of hydrothermal rocks, however, the subfacies of the hydrothermal sedimentary facies can be categorized into six kinds of subfacies, i. e., subfacies of siliceous rocks, subfacies of barite rocks, subfacies of albite rocks, subfacies of Fe-Mg carbonate rocks, subfacies of scapolite rocks-biotite rocks, and subfacies of sulfide rocks. These subfacies are sequence units of rock-geochemistry strata and the geochemical units of paleo-hydrothermal field of ore-forming fluids for the systems of hydrothermal deposition and geochemical types of paleo-hydrothermal ore-forming field in the geochemical analysis and simulation of the hydrothermal depositional basin.

**Key words** hydrothermal sedimentary facies, subfacies, microfacies, classification, characteristics Devonian the Qinling orogen

#### [ 第一作者简介 ]

方维萱(1961年—),男,西安外国语学院英语专业(大专)毕业,1999年7月毕业于西北大学地质学系构造地质专业,获博士学位,现在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室从事博士后流动科研工作,工作单位:原中国有色金属工业总公司西北地质勘查局,高级工程师,主要从事矿产勘查、沉积盆地与地质流体研究。

通讯地址:贵阳市观水路73号 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室 邮政编码:550002

## 固体不极化电极

LGB型固体不极化电极是中国地震局兰州地震研究所研制成功的高科技产品,于1997年11月在北京通过了专家评审。鉴定结果认为:“固体不极化电极的载体选择、配方研究、技术性能都具有创新性,经与国内外同类电极相比,达到了国际先进水平。”

性能特点:1)极差电位小、稳定性好、噪声低、频带宽、轻便耐用、易于保存、携带和使用方便。2)电解质为固体,一次装配,长期使用,勿需更换。3)电极外壳为全PVC材料,在使用和运输过程中不怕跌落和碰撞。

技术指标:两个电极间的极差电位: $< 10\text{ mV}$ ;短周期(30 min)噪声: $< 0.01\text{ mV}$ ;24小时稳定性: $< 0.1\text{ mV}$ ;30天稳定性: $< 1.0\text{ mV}$ ;频率范围:DC~10KHz;温度范围: $-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ;内阻: $< 500\ \Omega$ ;直径:50 mm;长度:160 mm;重量:500 g;使用期限:1、3、5年(系列型)。

应用范围:固体不极化电极既可用于野外流动测量,又能埋入地下长期观测,还可用于深井、钻孔、海洋、水上等各种电法勘探。目前,该产品已广泛用于地矿部门、地震系统、工程物探、水文物探、石油物探、煤田物探、大地电磁测深、大型建设项目场地勘测和规划设计以及军工、科研等各个领域,明显提高了电法勘探的质量和工作效率,取得了十分可喜的社会经济效益。

(陆阳泉)