

论流体与成矿作用

方维萱*

(西北大学地质系 西安 710069)

摘要 讨论了流体成矿作用及其机理,流体成矿系统可分为现代海底、陆相热水成矿系统、古代热水成矿系统。热水成矿作用机理主要有不同类型流体混合成矿、热水同生沉积成矿、热水-岩石(沉积物)交换作用成矿、液压致裂-水岩交换作用成矿等4种主要机理。

关键词 成矿机理 同生沉积 流体-岩石(沉积物) 液压致裂-水岩交换作用

流体不仅是地球的物质组分,而且是最活跃的组分,是地球几个圈层间质量、能量交换最直接的媒体。流体地质作用研究在发展板块构造理论、建立地壳动力学模式、重新认识地壳中发生的各种作用过程、发展当代地质科学理论等方面具有重要的意义,并且能够为解决资源、环境、灾害和废物处置等当代社会关注的问题提供全新的地学认识^[1]。

1 地质作用中流体的形成与演化

地质作用能够形成如下几种流体:岩浆流体、变质流体、海底(热水)流体、构造流体及复合流体。

1.1 岩浆流体

岩浆岩中均含一定量的水,一般花岗岩浆的水含量达5%~8%。岩浆水和挥发组分是岩浆流体的主要成分。按岩浆的活动方式,可进一步划分为:岩浆流体、伟晶岩浆流体及岩浆-围岩对流循环流体。李兆麟等人^[2]研究了花岗岩矿物包裹体。熔融-流体包裹体均一化温度约为900~500°C,流体包裹体均一化温度约为650~80°C,说明熔体状态花岗岩浆在上述温度范围内可以产生熔体与流体分离的不混熔花岗岩浆,并可产生含矿粒间流体。

亲花岗岩元素(如Nb、Ta、W、Sn、U、Th、Be、Li、REE、Au、Ag、Mo、Cu、Pb、Zn、Hg、As、Sb)的矿床一直受到矿床学家的重视,围岩及含H₂O岩浆的侵位对成矿作用的发生固然重要,富H₂O的挥发性流体与岩浆流体的分离却是关键所在。在岩浆系统晚期演化中,富H₂O、F、Cl、B、Li、P的强挥发性流体一般形成于岩浆系统的顶部,并富集成矿物质,在岩体顶部或接触带附近形成强烈的围岩蚀变,如钠长石化、钾长石化、绢云母化、黄玉化、电英岩化、萤石化等。稳定同位素资料(尤其是 δD 和 $\delta^{18}O_{H_2O}$)显示,与花岗岩有关的成矿流体早期高温阶段以岩浆流体为主,晚期低温阶段天水混入比例逐渐增多^[3-5]。一般认为,挥发组分(H₂O、F、B、Cl)通过岩浆分异结晶作用富集于晚期的液相流体中,而亲花岗岩的成矿元素与挥发组分形成络合物赋存于这

1998-07-20收稿,1998-08-11改回。

* 工作单位是西北有色地质勘查局物化探总队,现为西北大学博士生

些流体中,形成含矿流体。氧化-还原条件、温度变化和酸碱性的变化是引起络合物分解、成矿物质成矿的主要机理。总的来说,是朝着温度降低导致络合物分解的方向演化。氧基、氢氧基、氟化物、氢氧氟基则是由于压力、温度、酸碱性的变化而导致络合物分解、成矿物质沉淀,总的方向是向压力降低的方向演化。

斑岩铜矿的成因模型可以归纳为,正岩浆模式和对流模式(Mc Millan, 1980)^[6]。无论何种成因模式,斑岩铜矿的形成最终都和流体与熔体、固体及流体间的化学反应与传输过程有关。Dilles(1987)研究了耶林顿(Yerington)岩基的结晶过程与斑岩铜矿化的关系。在岩浆分异过程中岩浆水分逐渐增加,岩浆和岩浆体具明显的氧化趋势,分异过程中磷灰石的 Cl/F 比由 0.08 降至 0.02,这可能反映有大量的 Cl 由岩浆中进入流体相。研究表明:在 Luhr Hill 花岗岩结晶时有高盐度和低盐度两类流体析出,低盐度流体呈气流上升,高盐度的流体成矿。Bowman(1987)研究 Bingham 早期蚀变岩石的 δD_{H_2O} 和 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 时发现:钾化带分别为 -67‰和 6.8‰,青磐岩化带分别为 -41‰和 5.1‰,产生这种情况的可能原因是岩浆水(-70‰、7.0‰)与建造水(-40‰、4.2‰)逐步混合。若天水和火成岩同位素交换的水/岩比值较低,这种交换反应发生的温度区间很宽(在 750 ~ 350℃之间),相当于整个成矿过程,且持续到体系的深部。这类经过改变的热液造成了早期蚀变带(钾化带和青磐岩化带),产生晚期蚀变(绢云岩化和泥化)热液的 δD_{H_2O} 和 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值符合岩浆水与天水逐步混合以天水为主的模式。

1.2 变质流体

沉积岩在构造变质过程中,岩石矿物中粒间流体、矿物中吸附水、结晶水及挥发组分可以释放聚合形成变质流体,可以有深部地幔分异流体加入。在中低级变质岩中,变质流体成分主要有 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 等,也含有少量 N_2 、 H_2S 等,流体的成分受原岩性质影响较大。不同变质条件下 H_2O 和 CO_2 的比值可有很大变化。不含 CO_2 的变质流体可以是经过改造的地下水,或者是与含 Ca、Mg 和 Fe 的硅酸盐反应发生碳酸岩化,导致 CO_2 的耗竭。纯 CO_2 流体可能是一种外部带来的流体,或由硅酸岩与不纯的无水碳酸盐作用产生,或者通过硅酸盐的水化作用使有的 H_2O 丧失形成 CO_2 流体。在变质流体运移过程中,水-岩交换作用是很强烈的,常沿断裂构造带活动并发生水-岩交换作用。

1.3 构造流体

杨巍然提出了构造流体的概念^[7]。构造流体指岩石圈各不同层次构造活动中产生的流体或参与构造作用的流体。在构造应力作用下,岩石矿物将发生各种物理及化学变化,产生压实、压溶、剪切、交代、重结晶等作用,致使岩石矿物释放出结晶时封存的流体或释放出矿物岩石的结晶水、晶间水和裂隙水,形成构造热流体。

研究表明,剪切带中大都渗透着流体。近年来已有不少学者研究剪切带中的流体活动和剪切带发育不同阶段流体的成分、来源、通道、流动方式、通量和驱动力^[8-11]。流体的形成与剪切带所处的变形域及其水文条件有很大关系。在塑性环境中发育的韧性剪切带中多以变质流体和岩浆流体为主,在脆性环境中发育的脆性剪切带则需要更多地考虑到大气降水的下渗。在脆性-韧性过渡环境中形成的剪切带中的构造流体更为复杂。近年来,对来自陆壳的建造水和大气降水愈来愈受到重视。陆壳建造水往往赋存于岩石的裂隙和孔隙中,从陆壳的浅部到深部均有分布。大气降水多活动于地表的浅部,也可沿断裂或剪切带渗入到地下深处,甚至可渗入到地下 12 km 的变质反应带。流体活动常与岩石的孔隙度和孔隙性质密切相关。在深部的塑性变形区,流体活动大多呈弥漫状态分布,一般不连续,它很难造成明显的热对流和物

质迁移。而在地壳浅部的剪切-裂隙系统中,流体可发生迁移或流动,且主要是沿剪切带活动或在附近围岩中活动。Fyfe 和 Kerrich 系统地研究了逆冲断裂作用流体的特点和演化,指出了流体对逆冲断层发展的具体影响^[12]。逆冲断层面实际上就是流体富集带。流体一方面起着润滑作用,另一方面由于断面平缓,流体超压将断层上盘托起,减小了构造位移的阻力,断层很容易发生大规模移位。流体在构造带的活动受到构造背景、构造动力学性质、岩石物理化学性质等诸因素的影响和控制。构造可为流体活动提供场所和空间,如小秦岭地区的混合岩化流体在近南北向的挤压应力场中,向金罗斑-大月坪复式背斜的核部迁移和聚集,从而形成构造热穹隆。混合岩化最强烈的部位在复式背斜的核部附近,而断裂构造则为这些混合岩化形成含矿流体活动和就位提供了空间,从而成为热减阀构造。沿这些热减阀构造活动的含矿流体使断裂构造带发生退变质作用,形成了绿片岩相、含金石英脉及含金蚀变岩。挤压应力场和剪切应力场中的剪切带和断裂带常是流体的迁移通道。这些构造产生变化处常具有扩容带的特点,为含矿流体中矿质沉淀提供了场所。张性断裂、张性剪切断裂或伸展体制下形成的断裂常是成矿流体的运移通道或矿质沉淀的空间。

2 热水成矿系统

近几十年来,随着红海号深渊中含重金属低温热水的发现,人们对海底热水活动有了新的认识。日本菱刈热泉型金矿的发现及新西兰瓦尤塔埔(Waiotapu)热泉型金矿的发现,给勘查学家和矿床学家研究浅成低温热液成矿作用提供了线索。近几年的研究表明,中国泥盆系中一些大型-超大型金、银、多金属、锡矿床是热水成矿作用形成的,或者是与热水成矿作用有密切联系的。

热水成矿作用发生在较为特殊的构造背景下,常在伸展体制或者深部挤压体制浅部伸展体制下形成。热水成矿作用一般多发生在 400℃ 以下,主成矿温度在 80~350℃,地壳的浅部最为活跃,地球-水圈-大气圈(大气降水)与岩石圈以流体对流循环形式发生物质交换,而这种热水成矿作用发生在地球 3 层圈相互耦合之中,并且有同生沉积作用的特点。在矿带-矿田-矿床系统中,有一系列的同生构造(同沉积断裂、断陷盆地、同生断裂、同生褶皱)、温度场-流体场-构造变形场的相互耦合。热水同生成矿理论被称为现代成矿理论的重要进展之一^[13]。

2.1 现代海底热水成矿系统研究

现代海底热水成矿作用研究的主要进展有 2 个方面:

1) 在洋脊、岛弧、弧后盆地及板内火山活动中心相继发现了大批热液活动区和硫化物矿床。在沉积物饥饿洋脊,矿床规模小,以 Cu-Zn 为主,弧后扩张或弧间裂陷盆地形成 Pb-Zn、Zn-Pb-Cu、Cu-Zn 矿床。

2) 对现代海底热水成矿作用的观察和研究为了解古代 VMS 矿床成因提供了重要信息,对现代成矿理论产生了重要影响。

现代海底热水成矿系统正在进行着原始矿质搬运,其中一些部分已显露于水底或地表,如大洋扩张中心海底黑烟囱、红海深部热卤水、美国萨尔顿卤水等。我国云南腾冲现代热泉是陆相热水成矿系统。现代海底热泉及黑烟囱热液成矿作用是典型代表。由于这类矿化主要沿现代洋中脊的大洋扩张中心及其附近发生,Fe、Cu、Zn、Au 等金属硫化物富集,温度可高达 350℃。如中大西洋脊 20°N~60°N 地区,热液活动和硫化物矿床发生于慢速扩张(速度为 1.0~1.5

cm/a)洋脊环境,形成于洋盆扩张的晚期阶段。热液活动区分布较广,南起 15°N,北至 60°N,绵延数千 km。尤其以 26°N 附近的 TAG 热液活动区最为强烈,该区位于中大西洋底裂谷东翼 5 km 处,热液活动带位于正断层与转换断层交汇处的火山中心西缘的深水盆地(2~3.5 km)。有 3 种热液成矿类型:

1) 活动的高温硫化物丘堤,具蜂窝状结构,有黄铁矿-闪锌矿交生的块状锌-铁硫化物、块状铁硫化物及黄灰色晶质烟囱碎屑、灰色粗粒硫酸盐(石膏)、碳酸盐(方解石)和铁氧化物及铁硫酸盐。主要硫化物组合为黄铁矿、闪锌矿、黄铁矿、白铁矿。

2) 停息的热液硫化物带,可鉴定出不活动的块状铜-铁硫化物、锌-铁硫化物、铁硫化物、层状锰结壳及铁的氧化物和羟化物。

3) 低温热液沉积带,在裂谷壁部断块上发育的不连续氧化物-硅酸盐沉积^[14-16]。

2.2 古热水成矿系统

古热水成矿系统指已形成的金属矿床,温度和压力接近正常地壳。如美国密西西比河谷型铅锌矿、红层铜矿和秦岭造山带泥盆系金银多金属矿床。在秦岭山带中,古地热系统按其化学成分和热水沉积建造可划分为 6 种类型:

1) 硅质岩型:硅质岩-硅化灰岩-硅质灰岩,而硅质岩-硅质铁白云岩-铁白云岩-微石英岩是由富硅质流体和富 Fe、Mg、Ca 质流体相互混合和交换作用形成的,与多金属矿床的成矿密切相关。硅质岩-钠长似碧玉岩-似碧玉岩-电气石钠长岩是由富硅流体和富 Na、B 流体的相互混合和交代作用形成的,主要与 Ag 多金属矿床密切相关,如银洞子银多金属矿床。

2) 钠长岩型:钠长板岩-钠长石化板岩、砂岩-铁白云质板岩,由于富钠流体和富 Ca、Mg、Fe 碳酸质流体的混合,形成钠长碳酸盐角砾岩-碳酸盐钠长角砾岩-角砾状碳酸盐钠长岩。钠长岩是其端员成分,是两种超临界流体沸腾及强烈的水岩相互作用的结果,与金成矿密切相关,如双王金矿床、二台子金矿。

3) Fe、Mg 碳酸盐型:端员成分是菱铁矿单矿物岩,如大西沟菱铁矿床。这种流体与菱铁矿密切相关,也可出现在银多金属矿床中。

4) 重晶石岩型:形成重晶石岩、重晶石似碧玉岩、菱铁重晶石岩、镜铁矿重晶石岩、含黄铜矿重晶石岩。它们是富 BaSO₄ 的酸性流体与富 Na、B、Si 质流体,富 Fe、Mg、Ca 的碳酸质流体混合的产物。重晶石矿物系列有重晶石-含 Sr 重晶石-毒重石-钡长石。Ba 是成矿流体低温阶段形成的。

5) 白云岩型:一种低温流体作用的产物,在旬阳会馆汞锑矿床内形成的含 Hg、Sb 高的白云岩是以渗透回流作用为主的萨布哈型白云岩。

6) 黑云母角岩-方柱石岩型:这类建造广泛分布于柞山盆地及其东部。黑云母中均含有较高的 Cl,方柱石矿物系列有方钠柱石-钙钠柱石。这是沉积成岩期后一次强烈的地质热事件作用形成的,一般位于金、银多金属矿床的含矿层位之下,说明在大量成矿物质喷流之前有强烈的地质热事件,发生了热水渗流交代作用。

3 流体成矿作用机理

主要有不同类型流体混合成矿、热水同生沉积成矿、流体-岩石(沉积物)交换作用导致成矿、液压致裂-水岩交换作用等 4 种主要机理。

3.1 不同类型、性状、成分流体混合成矿

不同类型流体混合成矿是一种常见并且极为重要的成矿机理,例如常见的岩浆热液与大气水混合、变质水与大气降水混合、斑岩铜矿床中渗透循环对流成矿模式。Richard 和 Spooner 研究了加拿大安大略省苏必利尔湖一带产于 Keweenawa 高原玄武岩裂隙中的充填脉型 Cu - Fe - Ag 矿床,认为高温高盐度岩浆水和低温低盐度雨水的混合是 Cu、Fe 硫化物沉淀的重要机制^[17]。华仁民研究东川层控铜矿,提出了“沉积 - 改造”成因及两种流体混合作用成矿的模式^[18]。不同类型成矿流体的混合是导致先存流体系统失稳的临界条件,从而改变了先存流体系统的物理化学条件(如温度、压力、酸碱性),并为发生剧烈的化学反应提供了物质条件,是造成成矿物质骤沉的主要机理,由于不同类型成矿流体沿同生断裂的持续活动和间歇性流动,形成了热水沉积成矿为主的超大型 - 大型矿床。如铅硐山大型铅锌矿床是由富 Ca、Mg 海水、富 Si 的酸性成矿流体和富 Fe、Mg、Ca 质的碱性成矿流体 3 者相互混合,引发热水同生沉积成矿作用、热水交代 - 同生沉积成矿作用形成的。银洞子特大型银多金属矿床是富 Na、B 的酸性流体、富 Fe、Mg、Ca 的碳酸质碱性流体、富 Ba 的酸性流体及海水 4 者相互混合,导致 Ag、Cu、Pb、Zn、Ba、Fe 发生成矿作用的结果。热水盆地内形成了开放的、非平衡层流体系,沿剖面自下而上的矿化分带为菱铁矿→铜银多金属→重晶石磁铁矿→重晶石。这种矿化分带重复了 3 次。在银多金属矿体中,由下而上为铜矿体→锌铅矿体→铅矿体。当这些矿体赋存于同一层位时,菱铁矿体层两侧依次为铜矿体→银矿体→铅锌矿体。形成的层状菱铁矿体中,层状重晶石磁铁矿体、重晶石矿体、似层状铜矿体、银矿体、层状铅锌矿体的形态简单,与围岩产状一致,显示了同生沉积的特点。

重晶石岩及含镜铁重晶石岩中, Fe^{3+}/Fe^{2+} 比值均大于 1.50, 反映其形成于氧化环境。含铜重晶石岩及含重晶石钠长似碧玉岩中, Fe^{3+}/Fe^{2+} 为 0.96 ~ 0.97, 接近弱还原的环境, 说明铜可在酸性弱还原环境中成矿。铁矿矿物组合为磁铁矿 + 黄铁矿 + 黄铜矿。铜银矿石中 Fe^{3+}/Fe^{2+} 为 1.02 ~ 0.23, 银多金属矿石中 Fe^{3+}/Fe^{2+} 为 3.05 ~ 0.16, 这看起来不好理解, 但 Fe^{3+}/Fe^{2+} 比值大于 1.0 的矿石中均含有较多的重晶石及含磁铁矿似碧玉条带, 显然其形成于偏氧化环境中, 而在 Fe^{3+}/Fe^{2+} 比值小于 1.0 的矿石中, 铁矿物组合为菱铁矿 + 黄铁矿, 说明其形成于还原环境中。大部分矿石是不同成分含矿流体混合、发生骤沉作用形成的。流体在混合前具不同的氧化 - 还原状态和酸碱性, 混合后造成了先存流体系统的失稳。这种混合流体处于非平衡的状态, 而局域平衡态(如富 Ag^+ 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 的酸性富硅、钠还原态层流, 富 Fe^{2+} 、 $[CO_3]^{2-}$ 的碱性、还原态层流)发生了剧烈的化学反应和骤沉。这正是大量矿质沉淀的机理和方式, 说明成矿系统总体上为偏还原环境, 混入氧化态层流后变成一种酸碱性、氧化 - 还原条件剧变的非平衡混合层流系统。后期改造过程中, 压溶作用使富 Ag 流体充填于垂直、斜交层理的微裂隙中(裂隙密度 300 ~ 400 条/m), 使银再次富集。块状富矿石是剧烈化学反应发生骤沉作用形成的, 可见向上过渡为条带状矿石、浸染状矿石并且有粒序层理和成分层理是持续性热水活动的结果。间歇性的热水活动形成了重晶石化、钠长电气石似碧玉岩、似碧玉岩、铁白云岩的微层。重晶石岩中含有较多的磁铁矿、镜铁矿, 钠长电气石似碧玉岩中含有较多硫化物。前者是铁的氧化物和硫酸盐为主, 形成于酸性、氧化环境, 后者以铁的硫化物和硫化物为主, 反映了酸性、还原条件。而菱铁矿岩、铁白云岩则是碱性、还原条件, 说明成矿流体混合酸碱性、氧化 - 还原条件发生了明显的变化。剧烈的化学反应、交代作用、酸碱性、氧化 - 还原条件、温度、压力的改变是系统失稳的地球化学机理。

3.2 热水流体同生沉积成矿

传统的热液成矿观点强调热液系统温度、压力、酸碱性、氧化-还原条件的改变会导致热液成矿作用发生,热水成矿作用亦是如此。大洋热水沉积有2种类型,一种是白烟型沉积,主要矿物是非晶质 SiO_2 、石膏、重晶石,其次有铁的氧化物或氢氧化物,金属硫化物稀少。另一种是黑烟型沉积,除非晶质 SiO_2 外,含有大量的磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等。 SiO_2 、 BaSO_4 是单一流体因物化条件变化形成的。在秦岭造山带中,硅质岩、钠长岩、重晶石岩等热水沉积岩是单矿物岩时,沉淀的主要机理是单一流体因物化条件及环境变化同生沉积成矿。这些单矿物热水沉积岩的沉积导致成矿物质络合物发生分解、卸载,这是热水成矿过程中的重要环节。

重晶石单矿物岩主要产于层状重晶石矿体中,重晶石含量达90%以上,由细粒层状重晶石及重结晶形成的粗晶粒状重晶石组成,含有少量的磁铁矿、镜铁矿、黄铜矿、绢云母。泥质已结晶形成绢云母、钡白云母、白云母。它们在重晶石晶粒间呈束状、放射状、纤维状分布,反映重晶石岩形成中有一定的泥质成分混入。泥质条带多由钡白云母、白云母组成定向排列。局部绢云母、钡白云母围绕眼球状钠长石晶体生长。重晶石岩中的钠长石呈柱状晶体,与重晶石同期形成,重晶石成分层中含钠长石5%~8%,逐渐过渡到钠长石成分层中,钠长石含量达80%,钠长石晶粒之间充填有硫化物或钡白云母、绢云母。铁白云石多与硫化物、钠长石组成条带和成分层。黄铜矿呈浸染状分布于重晶石晶体之间,似碧玉岩(条带)中发育粒序结构。重晶石条带附近粒度较细,矿物含量可达60%~80%。向上粒度逐渐增大,矿物含量降低到5%~10%。磁铁矿、镜铁矿与重晶石共生,反映它们基本同时形成,似碧玉岩中的磁铁矿与方铅矿、黄铁矿有类似的粒序结构。

重晶石岩中, BaSO_4 的含量大于81.08%,其他化学成分含量较低;重晶石单矿物岩中, BaSO_4 可达99.37%,其他化学成分含量甚微。这种重晶石单矿物岩显示了化学沉积作用的特点,显然基本没有其他物质的混入。含有铜、铅的重晶石岩,肉眼及镜下可见到铁的氧化物(如磁铁矿、镜铁矿)、黄铜矿、方铅矿;在化学成分上, Fe_2O_3 、 FeO 、 S 、 SiO_2 的含量明显增高, SiO_2 含量高是混入有似碧玉条带。而铜银矿石、银多金属矿石、铜矿石中, BaO 含量在9.568%~29.06%,主要由重晶石条带引起; SiO_2 含量在16.56%~44.60%,由似碧玉条带引起,而且 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 K_2O 含量不同程度的升高, Cu 、 Pb 、 Zn 、 Ag 发生了工业富集。含 Na_2O 达1.64%~4.02%的重晶石似碧玉岩,镜下鉴定发现了多层钠长石纹层,化学成分层理和粒序结构发育,化学成分层有重晶石纹层、钠长石纹层、似碧玉纹层、硫化物纹层、菱铁矿纹层等,磁铁矿、方铅矿等矿物粒序结构发育。

富 Fe^{3+} 、 Ba^{2+} 、 SO_4^{2-} 的酸性、氧化态层流体系快速化学沉积作用形成了层状的磁铁重晶石岩、重晶石岩。海水提供了大量的 S^{34} ,造成了重晶石中 $\delta^{34}\text{S}$ 均为较大的正值。

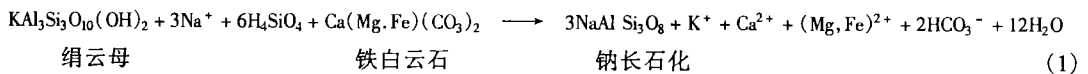
3.3 水-岩(沉积物)交换作用导致成矿

成矿物质和成矿流体在传输过程中必然与周围岩石发生物质和能量的交换,形成蚀变围岩。水-岩交换可使某些组分活化出来,改变溶液的成分,导致组分沉淀。现代研究证明热水成矿作用发生的条件之一是沉积盆地基底地层能够提供丰富的成矿物质来源,而活动性强的地质流体经过这些基底地层可使成矿物质发生活化、迁移,从而形成含矿流体。这种基底地层必然有富含成矿物质的初始矿源层,如秦岭造山带泥盆系的基底中,志留系黑色硅质层中 Au 、 Ag 、 Cu 、 Pb 、 Zn 含量均较高, As 、 Sb 、 Hg 富集。寒武-奥陶系中有多层黑色岩系,富集 Au 、 Ag 、 Cu 、 Zn 、 Mn 、 Co 、 Ni 、 Ti 、 Cr 、 V 、 Mo 、 Hg 、 As 、 Sb ,局部形成了较多的钒银、钒镍矿点及矿化点,为泥

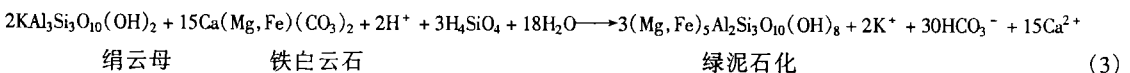
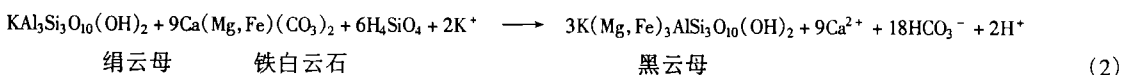
盆纪热水成矿作用的发生提供了丰富的初始矿源层。志留系黑色岩系中可活化、萃取的 Pb、Zn 占 63.6%^[19]。水-岩交换作用是流体从初始矿源层中萃取成矿物质的主要作用和方式。薛春纪等人研究认为,秦岭造山带柞山盆地内方柱黑云母岩、方解石钠长石岩是热水沉积岩及热卤水与沉积物发生水-岩交换作用形成的。方柱黑云岩岩石学、矿物学、岩石化学、矿物化学及稀土元素特征表明,原岩经过热卤水浸泡蚀变和埋藏热变质作用形成交代钠长岩,说明柞山盆地银多金属矿床形成于古地热异常的背景^[20,21]。在古地热背景条件下,水-岩交换作用是流体地质作用的普遍现象,常形成一些蚀变,主要有黑云母化、绢云母化、铁白云石化、铁绿泥化、硅化、碳酸盐化、钠长石化、硅化、电气石化、重晶石化。前述的秦岭造山带泥盆纪几种成矿流体均可顺层产生这些围岩蚀变。其地球化学实质是成矿流体在成矿成晕过程中成晕元素的沉淀,如黑云母化、绢云母化、高岭土化、电气石化是碱性流体的蚀变成晕作用(Na、K、B),铁白云石化、铁绿泥化、碳酸盐化是偏中性富 Fe、Mg、Ca 质碱性碳酸质成矿流体的蚀变成晕作用,重晶石化、硅化是酸性成矿流体的蚀变成晕作用。硅质铁白云岩-绢云铁白云岩具有明显的同生热水交代作用特征。铁白云石交代方解石,交代强烈部位无方解石矿物,基本上由石英、铁白云石组成;交代较弱时,逐渐相变为绢云灰质铁白云岩、绢云结晶灰岩。硅质铁白云岩-绢云铁白云岩主要分布于菱铁矿层的底部及其走向尖灭部位、铁铜矿体及铅铜矿底板围岩中,由热水中 SiO₂、FeO、MgO 对下伏的碳酸盐软泥发生热水同生交代作用形成。

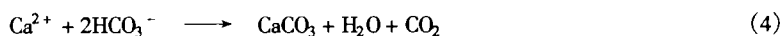
3.4 液压致裂-岩石(沉积物)交换作用成矿

秦岭泥盆系铅铜山矿床中,Ⅱ号矿体内可见到角砾状含矿硅质岩,它与微石英岩、铁白云岩伴生。当第二次成矿流体沿同生断裂上升时在喷溢口外被早期形成的硅质岩、硅质铁白云岩沉淀物封闭。由于减压作用,沿同生断裂上升的成矿流体临界压力超过了硅质岩沉淀物产生的压力而发生液压致裂。角砾状硅质岩的角砾成分有硅质岩、灰岩等。它们是封闭喷溢口的沉淀物碎块。胶结物主要是硫化物,由产生液压致裂的流体形成。富 Si 质的酸性成矿流体对菱铁矿、方解石发生交代作用,形成微石英岩。钠长岩是典型的热水沉积岩,热水同生沉积的观点很难解释角砾状碳酸钠长岩和钠长角砾岩筒的成因。角砾碳酸钠长岩是富 Fe、Mg 碳酸质成矿流体沿断裂活动,使早期热水同生沉积钠长岩建造液压致裂发生角砾岩化所致。铁镁碳酸盐矿物胶结角砾化钠长岩形成的富 Na 高温流体沿断裂活动,对附近地层发生交代作用,包括对钠长岩建造的岩石进行交代作用,迅速减压,产生液压致裂,形成角砾岩筒。这种富 Na 高温流体可形成交代钠长岩脉及钠长角砾岩筒。由于这两期的热流体秦岭造山带具有继承性,受控于山阳-凤镇断裂,在山阳-凤镇-凤县一带沿断裂形成了长达 400 km 的钠长岩、钠长角砾岩带。交代作用的可能化学反应有:



反应中带出的 K⁺和(Mg, Fe)²⁺离子将通过下述反应消耗,从而形成矿区内的围岩蚀变:





八卦庙金矿、双王金矿、二台子金矿中钠长石脉、钠化现象及黑云母化、绿泥石化、方解石化为上述反应提供了依据。柞山地区的角砾状钠长碳酸盐主要发育在二台子金矿区、飞星沟、车房沟、万丈沟等地区,与金矿密切相关。含矿钠长硅质角砾岩在银铜子银多金属矿区西部向大西沟菱铁多金属矿床过渡部位,是一种特殊的液压致裂、流体-岩石(沉积物)交换作用形成的角砾岩。角砾成分主要是似碧玉岩、钠长石岩及石英。似碧玉角砾中网状裂隙发育,沿裂隙分布有铁绿泥石细脉、网脉。钠长岩角砾中有细脉状黄铁矿。二者多呈棱角状、次棱角状。石英角砾呈浑圆状。胶结物主要为硫化物。不规则脉状方铅矿沿角砾间隙胶结。黄铁矿、磁黄铁矿与方铅矿胶结角砾受印支期改造作用影响,发育折射劈理和滑动金属镜面构造。铁绿泥石呈脉状分布于方铅矿和角砾之间。这种角砾岩分布比较局限,是热水喷流通道的标志。先存热水同生沉积作用形成的钠长似碧玉岩封存了热水喷流通道(同生断裂),随后沿同生断裂上升的成矿流体因临界压力超过了上覆沉积物的静压力,产生热水爆炸、沸腾作用使钠长似碧玉岩发生角砾化,形成的硫化物呈胶结物沉淀,并发生硅化、绿泥石化。

4 讨论

热水流体成矿作用的成矿机理主要有4种。不同类型、性状、成分的流体混合,形成了开放的、非平衡层流体系。这种体系在热水沉积盆地内发生剧烈的化学反应而导致矿质的骤沉;单一成分的热流体因物化条件及环境变化,而在热水盆地内发生快速化学沉淀作用,形成同生沉积成矿作用;水-岩交换作用使大量的矿质发生活化、迁移。在古地热异常背景之下,热流体与下伏的地层及侧向沉积物产生同生沉积交代作用,导致成矿物质卸载,富集成矿。由于热水成矿活动是多次活动,先存的沉积物封闭热水喷溢系统后,后继的热水喷流可因超临界压力发生液压致裂和沸腾而发生角砾岩化,形成的矿质以胶结物形式沉淀,并伴随着强烈的流体-岩石(沉积物)化学交换作用。这4种机理发生在统一的动力学背景之下不同沉积盆地和不同的环境之中。一般情况下,液压致裂、流体-岩石(沉积物)是在海水水体较浅、静压力较小的热水沉积盆地之中。如桐木沟锌矿床的钠长角砾岩及镇安二台子金矿床的钠长碳酸质角砾岩、重晶石碳酸质角砾岩形成于2个古海水水体较浅的次级热水沉积盆地之中。热水流体混合成矿作用常位于古海水水体较深、静压力较大的热水沉积盆地之中,并伴随着重力流作用和重力流沉积。沉积盆地是矿质大量聚集的空间和热水成矿作用的场所,是剧烈的热化学反应库。沉积盆地、同生断裂、热水成矿作用、温度场-流体场-构造动力场等相互有机协同、耦合是形成超大型矿床的必需条件。

参考文献

- 1 贾跃明. 地壳中的流体作用. 当代地质科学前沿, 肖庆辉等著. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993: p54 ~ 66
- 2 李北麟, 吴启志, 蒋浩深等. 某些岩浆成岩温度测定. 地质科学, 1982(1)
- 3 Strong D F. A review and model for granite-related mineral deposits. in Taylor R P, strong D F(eds) "Recent advances in the geology of granite-related mineral deposits". Can Inst Min Metall Spec. 1988(39): p42 ~ 445
- 4 Sun S S, Eadington P J. Oxygen isotope evidence for the mixing of magmatic and meteoric Waters during tin mineralization in the

- Mole Granite, New South Wales, Australia. *Econ Geol*, 1987(82):p43 ~ 52
- 5 Valley J W, Taylor Jr H P, O'Neil J R. Stable isotopes in high temperature geological processes. *Reviews in Mineralogy*, 1986(16)
 - 6 刘昌实. 斑岩铜矿成因研究. 当代地质科学前沿(肖庆辉等著). 武汉:中国地质大学出版社, 1993: p367 ~ 370
 - 7 杨巍然, 张文准. 构造流体——一个新的研究领域. *地学前缘*, 1996(3, 4): p124 ~ 130
 - 8 O'Hara K D. Fluid - rock interaction in Crustal Shear Zone: A directed Percolation approach. *Geology*, 1994(22): p843 ~ 846
 - 9 Ferry J M, Dipple M. Fluid flow, mineral reaction, and metasomatism. *Geology*, 1991(19) : p211 ~ 244
 - 10 Marguer D, Barkhard M. Fluid circulation, progressive deformation and mass - transfer processes in the upper Crust: the example of basement - cover relationships in the External Crystalline Massife, Switzerland. *Struc Geol*. 1992(14): p1 047 ~ 1 057
 - 11 Nesbitt B E. Gold deposit Continuum: a genetic model for All mineralization in the Continental crust. *Geology*, 1988(16): p1044 ~ 1045
 - 12 Fyfe W S, Kerrick R. Fluids and thrusting. *Chemical Geology*, 1985(49): p35 ~ 362
 - 13 池三川. 现代成矿理论的某些重要进展. *地学前缘*, 1994(9): p83 ~ 88
 - 14 Rona P A: TAG hydrothermal field: Mid - Atlantic Ridge Crest at latitude 26°N. *Geological Society of London Quart J*. 1980 (137): p385 ~ 402
 - 15 Rona P A Black Smokers and massive sulfides at the TAG hydrothermal field/ Mid - Atlantic Ridge, 26°N. *Eos*, 1985(66): 936
 - 16 Rona P A, Bostrom K, Widenfalk L. et al Hydrothermal mineralization of Mid - Atlantic Ridge .27°N. *Geological Society of America Program With Abstracts*, 1982(14): 602
 - 17 Richard J, Spooner E. Evidence for Cu - (Ag) mineralization by magmatic - meteoric fluid mixing in Keweenaw fissure veins, Mammine Point, Ontario. *Econ Geol*, 1989(84): p360 ~ 385
 - 18 华仁民. 东川式层状铜矿床的沉积 - 改造成因. *矿床地质*, 1989(2): p3 ~ 13
 - 19 张本仁、骆庭川、高山等著, 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994
 - 20 薛春纪、祁思敬、梁文艺. 秦岭中泥盆世成矿海盆中一类特殊岩石——方柱黑云岩. *西安地质学院学报*, 1989(2): p30 ~ 39
 - 21 马国梁、薛春纪、魏合明. 桐木沟锌矿床矿体底板的方解石钠长石岩. *西安地质学院学报*, 1992(9): p12 ~ 17

ON FLUID AND MINERALIZATION

Fang Weixuan

(*Department of Geology , Northwest China University , Xi'an, 710069*)

Abstract Study on mineralization and mechanism of fluid process indicates that mineralization system of fluid process can be classified into mineralization system of sea bed thermal fluid, mineralization system of continental thermal fluid and mineralization system of ancient thermal fluid. The mineralization mechanism of thermal fluid process can be attributed into mixture of different fluids, contemporaneous sedimentation, exchange of thermal fluid with wallrocks and hydraulic cracking - exchange of water with rocks.

Key words metallogenic mechanism; mixture of fluids; contemporaneous sedimentation; exchange of fluid with rocks; hydraulic cracking - exchange of water with rocks