

再论成矿系列与地质建造的关系

杨合群, 赵国斌, 姜寒冰, 彭素霞, 谭文娟, 乔耿彪, 贾健

西安地质矿产研究所, 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 西安 710054

摘 要:在系统论述和对比成矿系列两种表达形式的基础上, 阐明成矿系列与地质建造的关系, 可使成矿系列理论既便于同成矿地质背景研究相衔接, 又便于应用于矿产预测及勘查部署。按照成矿系列与地质建造的关系, 将成矿系列区分为 4 大类: 同生成矿系列大类、准同生成矿系列大类、后生成矿系列大类和表生风化成矿系列大类, 并分别对成矿系列各大类别例举了许多常见类型。

关 键 词:同生成矿系列; 准同生成矿系列; 后生成矿系列; 表生风化成矿系列

中图分类号: P618.2 文章编号: 1007-2802(2015)04-0861-08 doi: 10.3969/j.issn.1007-2802.2015.04.022

Re-Discussion on the Relationship Between Metallogenic Series and Geological Formation

YANG He-qun, ZHAO Guo-bin, JIANG Han-bing, PENG Su-xia, TAN Wen-juan, QIAO Geng-biao, JIA Jian

*MLR Key Laboratory of Genesis and Exploration of Magmatic Ore Deposits, Xi'an Institute
of Geology and Mineral Resources, Xi'an Shaanxi 710054, China*

Abstract: Based on the systematic discussion and comparison with two kinds of expression forms of metallogenic series, the authors consider that to illuminate the relationship between metallogenic series and geological formation can help to link the metallogenic series theory with the studies of metallogenic background, and to be convenient for applying this theory in mineral deposit prediction and prospecting deployment. In accordance with the forming time, the metallogenic series related to the geological formation can be divided into 4 types: syngenetic metallogenic series, pene-contemporaneous metallogenic series, epigenetic metallogenic series, and superficial weathering metallogenic series. In this paper, the authors give some common examples for every metallogenic series, and hope bringing geologists a reference.

Key words: syngenetic metallogenic series; pene-contemporaneous metallogenic series; epigenetic metallogenic series; superficial weathering metallogenic series

由中国地质学家在长期研究中自主创立的成矿系列理论(程裕淇等, 1979, 1983; 陈毓川等, 2006, 2007), 是中国地学界开展区域成矿规律研究的重要指导思想之一。在该理论之中, 地质成矿作用是核心。为了借助地质建造的直观性促进成矿理论转化为找矿思维, 笔者曾著文论述成矿系列与地质建造的关系(杨合群等, 2012), 将成矿系列区分为同生、准同生、后生、表生风化等 4 大类别。本文再论成矿系列理论与地质建造的关系, 将进一步细化各大类别中的成矿系列类型。

1 成矿系列的 2 种表达形式

按照陈毓川等(2006)对矿床成矿系列概念的论述, 它是指在一定的地质构造单元和一定的地质历史发展阶段内, 与一定的地质成矿作用有关、在不同成矿阶段(期)和不同地质构造部位形成的不同矿种和不同类型, 但具有成因联系的一组矿床的自然组合。概括地说, 这“四个一”是厘定成矿系列应具备的四要素。

成矿系列名称一般有 2 种表述形式: 第 1 种采取“地质成矿作用”为中心词, 表达为“××地区××时段××地质成矿作用有关××矿种成矿系列”; 第 2 种

收稿日期: 2014-09-02 收到, 2014-09-24 改回

基金项目: 国家地质矿产调查专项资助项目(1212011121034, 12120113047300)

第一作者简介: 杨合群(1953-)男, 研究员, 研究方向: 成矿规律与矿产预测研究. E-mail: xayhequn@126.com.

采取“地质建造”为中心词,表达为“××地区××时段××地质建造有关××矿种成矿系列”。例如陈毓川和毛景文(1995)《桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹》和陈毓川、王登红、朱裕生等(2007)《中国成矿体系与区域成矿评价》等专著中这2种表达形式都在使用。

“××地区××时段××地质成矿作用有关××矿种成矿系列”表达形式的特点反映了建立在成矿作用基础上的成矿系列概念,是比较完善的成矿系列理论性名称。为了深化成矿理论,揭示成矿地质作用是必经之路,但绝大部分的地质成矿作用是地质历史中一种动态过程,现在难以直接观察,往往需要进行较多的研究工作获取大量信息,才能通过推理得到认识。例如,王登红等(2002)《阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律》就是这方面的良好典范。

“××地区××时段××地质建造有关××矿种成矿系列”表达形式的特点在于“地质建造”为客观实体,由于地质建造的宏观关系在野外可直接观察,微观特征也比较容易采样鉴定,便于第一线地质调查人员、矿产勘查人员掌握和应用,可将此格式作为成矿系列的应用性名称。最近全国矿产资源潜力评价进行过程,各省级项目发掘了几十年来区域地质调查积累的丰富原始资料,编制了标准分幅的1:25万建造构造图。对于开展预测研究的工作区,还进一步利用1:5万区域地质调查资料,细化了各预测区矿产预测类型有关的建造构造图,这都为此种表达形式提供了良好的平台。一般情况下,在建造构造图上、成矿要素图上、预测要素图上或矿区地质平面和剖面图上,地质建造都有表示。物化探、遥感、重砂多信息也常常与地质建造进行关联分析,才能更好地发挥在矿产预测中的作用。

2 成矿系列与地质建造的四大类关系

经过反复推敲研究,自然界成矿系列与地质建造的关系可概括为4种:同生,准同生,后生,表生风化。按这4种关系,细化“××地区××时段××地质建造有关××矿种成矿系列”命名中的“有关”二字,可将成矿系列划分为4大类别:同生成矿系列,准同生成矿系列,后生成矿系列,表生风化成矿系列(杨合群等,2012)。在矿床学教科书中:同生矿床指矿体与围岩基本上是在同一地质作用过程中同时或近于同时形成的;后生矿床指矿体晚于围岩形成,它们是在不同的地质作用过程中形成的。本文把“近于同时而实际常常略晚形成,并且成矿作用又有直接延续关系”的情况称为准同生,例如岩浆岩有关

岩浆型矿床是同生的,而有关岩浆期后热液型矿床是准同生的,更确切地表达出岩浆期后热液型矿床与岩浆型矿床之间的差异。另外,选择地质建造时并不简单指围岩,而是尽量选择成矿建造(母岩),无法确定成矿建造时才采用含矿建造(主岩),例如,一个花岗岩有关的含钨锡石英矿脉穿切到周围的沉积地层中,我们并不总结为沉积地层后生W-Sn矿床,而是仍总结为花岗岩准同生W-Sn矿床。下面例举各大类别中的常见类型:

2.1 同生大类

同生成矿系列大类指与地质建造同时生成的成矿系列。主要类型如下:

(1) 岩浆岩建造有关的岩浆型矿床成矿系列类型。例如,镁质超基性岩同生Cr-Os-Ir-Ru-镁橄榄石成矿系列类型;铁质基性-超基性岩同生Cu-Ni-Co-Pt-Pd成矿系列类型;富铁质基性-超基性岩同生Fe-Ti-V成矿系列类型;偏碱性基性-超基性岩同生Fe-Ree-磷灰石-透辉石成矿系列类型;碳酸岩-碱性超基性岩同生Nb-Ree-磷灰石成矿系列类型;金伯利岩或钾镁煌斑岩同生金刚石成矿系列类型[该类型一般形成于地台区,地幔高温高压条件可形成金刚石,岩浆沿岩石圈多组深断裂交汇薄弱部位提供的通道快速上侵,至近地表爆破冷凝,使金刚石来不及转化为石墨而得以保存];花岗伟晶岩同生Li-Cs-Be-Nb-Ta-宝石(水晶、祖母绿、碧玺等)-白云母成矿系列类型[该类型的形成常常从同生(伟晶岩作用)阶段过渡到准同生(热液作用)阶段];科马提岩同生Ni-Co成矿系列类型;大型层状基性-超基性岩同生Cr-Pt-Pd-Fe-Ti成矿系列类型[该类型一般常形成于古元古代陆块区,需岩浆体积极大,侵入环境非常稳定,冷却非常缓慢的特殊地质条件]。最后两种类型,国外有中国缺。

(2) 沉积岩建造有关的沉积型矿床成矿系列类型。例如,海相或陆相蒸发岩系同生石膏-钠盐-钾盐矿床成矿系列类型;海相黑色岩系同生V-U-Mo-Ni-Co-Mn-磷块岩成矿系列类型;陆相或海相杂色砂页岩同生Cu-Pb-Zn-Ag成矿系列类型;滨海或内陆沼泽相富植物类沉积岩系同生煤-煤矸石-油页岩成矿系列类型。

(3) 沉积岩建造有关的沉积喷流型矿床成矿系列类型。例如,海相细碎屑-碳酸盐岩同生Pb-Zn-Ag-Fe-(Cu)重晶石成矿系列类型(该类型形成于裂陷环境陆源碎屑沉积的欠补偿期,海底热液喷流活动的热量来源于裂陷槽底部热异常、隐伏岩浆房等,成矿物质来源于海水与下伏沉积岩系的水岩作

用,由于海水不直接与炽热的火成岩接触,温度在中低温范围,因此该系列中 Fe 矿一般为菱铁矿, Cu 被活化的也较少,只占次要地位。尽管在热液喷流活动中心的矿层之下沉积岩中常可发现网脉状矿石,代表热液喷流通道,矿层相对于下伏沉积岩而言应属准同生,但相对于矿上和矿下整套含矿沉积建造而言,仍应列入同生成矿系列)。

(4) 火山-沉积岩建造有关火山喷流型矿床成矿系列类型。例如,海相基性火山-沉积岩系同生 Cu-Zn-Au-Ag-硫铁矿成矿系列类型[该类型近喷流口 $Cu > Zn$, 远喷流口 $Zn > Cu$]; 海相酸性火山-沉积岩系同生 Cu-Zn-Pb-Au-Ag-硫铁矿成矿系列类型[该类型近喷流口 $Cu > Zn > Pb$, 远喷流口 $Zn > Pb > Cu$, 更远喷流口 $Pb > Zn > Cu$]; 海相中酸性或中基性火山-沉积岩系同生 Fe-Mn 成矿系列类型[该类型近喷流口 $Fe > Mn$, 远喷流口 $Mn > Fe$]。这些成矿系列一般形成于火山喷发期后或两次喷发间歇期,海底热液喷流活动的热量来源于炽热的火山岩及隐伏岩浆房等,成矿物质来源于海水与下伏火山岩的水岩作用。若相对于矿层下伏火山岩而言应属准同生,但考虑矿上和矿下火山-沉积岩系作为整套地质建造的话,还是列入同生成矿系列为宜。

(5) 沉积变质岩或火山-沉积变质岩有关沉积变质型矿床成矿系列类型。例如,火山-沉积变质岩系同生 Fe-Cu-Zn-Au 成矿系列类型;沉积变质岩系同生 Fe-Pb-Zn-重晶石成矿系列类型;镁质大理岩同生白云石-菱镁矿-石膏成矿系列类型。

(6) 河流、滨海沉积物同生砂矿床成矿系列类型。例如,河流冲积砂砾层同生砂金成矿系列类型;滨海或河流沉积物同生砂矿型磁铁矿、钛铁矿、金红石、锆石、独居石或金刚石等成矿系列类型。

2.2 准同生大类

准同生成矿系列大类指与地质建造接近同时、常常略晚,地质构造环境未变,但成矿阶段转变之后生成的矿床成矿系列类型。主要类型如下:

火成岩建造有关的岩浆期后热液型矿床成矿系列类型。例如,基性次火山岩或浅成侵入岩(辉绿岩)准同生 Fe-Co 成矿系列类型;中基性次火山岩或浅成侵入岩(玢岩)准同生 Fe-Co-磷灰石成矿系列类型;中酸性次火山或浅成侵入岩(斑岩, I 型)准同生 Cu-Mo-Au 成矿系列类型;中酸性侵入岩(I 型)准同生 Fe-Cu-Zn-Pb-Co-Au-Ag 成矿系列类型;中酸性侵入岩(S 型)准同生 W-Sn-Mo-Bi-Li-Be-Nb-Ta-萤石成矿系列类型;碱性或偏碱性中酸性岩(A 型)准同生 Sn-Nb-Ta-U-Th-Ree 成矿系列类型;陆相

火山岩准同生自然硫-雄黄-雌黄-硫铁矿成矿系列类型;陆相火山-次火山岩准同生 Au-Ag 成矿系列类型(该类型矿脉一般受火山机构的环状、放射状裂隙控制)。

沉积岩建造有关的压实-成岩期流体交代型矿床成矿系列类型。例如沉积碳酸盐岩准同生白云石成矿系列类型。

2.3 后生大类

后生成矿系列大类指比地质建造明显晚得多,并且地质构造环境已彻底改变后再造生成的矿床成矿系列类型。主要类型如下:

(1) 各类岩石建造中矿源受热动力活化再造的矿床成矿系列类型。例如,镁质超基性岩后生 Fe-Ni-Co-Au-蛇纹石-石棉-滑石-菱镁矿成矿系列类型;火山-沉积岩系或火山-沉积变质岩系后生 Au-Ag-Cu-Pb-Zn 成矿系列类型;热水沉积岩系或热水沉积变质岩系后生 Au-Ag-Cu-Pb-Zn 成矿系列类型;碳酸盐岩后生 Pb-Zn-Ag 成矿系列类型;黑色岩系后生 Au-Ag 成矿系列类型;沉积岩系后生 Hg-Sb-As 成矿系列类型;滨海或内陆沼泽相富植物类沉积岩系后生天然气成矿系列类型(腐殖型有机物在煤化过程中产生的天然气总称为煤成气。根据储存体性质、聚散性和运移特征,可把煤成气分为:煤层气—基本未运移,储在生气层;煤出气—经运移,迁出生气层。煤出气可进一步分离:散失掉的称煤散气;聚集储存的称煤聚气,大多数天然气田为煤聚气);海相或陆相富藻类沉积岩系后生石油-天然气成矿系列类型(60~150℃,产生石油;高于 150℃,石油转化为甲烷。烃源岩是必要条件,储集岩、盖层、圈闭构造是油气迁移富集成藏的重要条件)。

(2) 变质过程变成的矿床成矿系列类型。例如,镁质大理岩后生滑石-石棉成矿系列类型;富碳质岩系变质后生石墨成矿系列类型;富铝岩系变质后生红柱石、矽线石、蓝晶石或刚玉成矿系列类型;富硼岩系变质后生硼镁铁矿-硼镁石成矿系列类型;富锰岩系变质后生蔷薇辉石-锰铝榴石-红帘石成矿系列类型;硅铁建造超变质后生富 Fe 成矿系列类型。

(3) 地下水常温氧化迁移再还原沉淀富集的矿床成矿系列类型。例如,陆相砂岩后生 U(-V-Mo-Re-Se-Sc)成矿系列类型。

2.4 表生风化大类

表生风化成矿系列大类指各类地质建造剥蚀出露地表经长期风化形成的矿床成矿系列,分布范围与原生岩(矿)石出露的范围大体一致或相距不

远。它们可由各类地质建造直接风化产生,也可由这些地质建造同生的、准同生的、后生的成矿系列经风化而产生。主要类型如下:

(1) 风化壳残积、淋滤型矿床成矿系列类型。例如含锰岩(矿)石表生风化 Mn 成矿系列类型;富云母质岩石表生风化蛭石成矿系列类型;富长石质岩石(玄武岩、正长岩、花岗岩、长石砂岩等)表生风化吸附型 Ree-耐火黏土-高岭土-红土型铝土矿成矿系列类型;镁质超基性岩表生风化红土型 Fe-Ni-Co 成矿系列类型;硅铁建造表生风化富 Fe 成矿系列类型。

(2) 残、坡积型砂矿床成矿系列类型。例如,含钨锡矿花岗岩表生风化残坡积锡石-黑钨矿-白钨矿成矿系列类型;含铌钽矿花岗岩表生风化残坡积铌铁矿-钽铁矿成矿系列类型;含金刚石金伯利岩或钾镁煌斑岩表生风化残坡积金刚石成矿系列类型;镁质超基性岩表生风化残坡积铬铁矿-锆依矿成矿系列类型。

应当指出,这里采用了成矿系列与有关地质建造的相对时间关系标定成矿时代的方法。

3 同一套地质建造有关的成矿系列

在自然界,同一套地质建造的形成及后续演化,可以形成几个世代的成矿系列,构成一个成矿系列家族。以往人们重视地质建造的同生和准同生成矿系列,而常常忽视后生成矿系列和表生风化成矿系列。因此,笔者认为研究地质建造形成成矿系列的成矿专属性时,有需要注意每一套地质建造有关成矿系列的世代问题。

例如:塔里木地块东北缘新元古代偏碱性基性-超基性岩有关成矿系列:同生 Fe-Ti-磷灰石-透辉石成矿系列(矿床实例:新疆大西沟、卡乌留克、多斯克、奥尔塘磁铁矿、磷灰石矿床,且干布拉克磷灰石、透辉石矿床);准同生金云母成矿系列(矿床实例:新疆且干布拉克金云母矿床);表生风化蛭石成矿系列(矿床实例:新疆且干布拉克蛭石矿床)。

在塔里木地块东北缘的多斯克—且干布拉克—团结村北山新元古代偏碱性基性超基性岩带,沿地断裂呈北西西向展布,长约 260 km。其中,多斯克、卡乌留克、奥尔塘、大西沟等岩体由辉石岩、黑云母透辉石岩、辉长岩、二辉橄榄岩、角闪辉石岩、角闪斜长岩、磷灰石角闪斜长岩、角闪石岩等组成,含磁铁矿、磷灰石矿床。且干布拉克岩体,由纯橄岩(残晶橄榄石成分 $Fo_{90.14}$)、透辉岩、碳酸岩

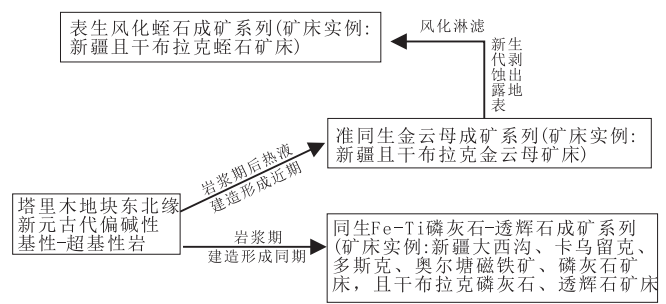


图1 塔里木地块东北缘新元古代偏碱性基性-超基性岩有关的成矿系列

Fig.1 The metallogenic series for Neoproterozoic slight alkaline basic and ultrabasic rock at the northeast margin of the Tarim Massif

等组成;交代蚀变非常发育,形成蛇纹岩、金云母岩,金云母 Rb-Sr 等时线法年龄值 790 Ma(洛长义等,1998);全岩-透辉石-磷灰石 Sm-Nd 等时线年龄为 802 Ma(孙宝生和黄建华,2007),含透辉石、磷灰石、金云母、蛭石矿床(夏学惠等,2010)。

偏碱性超基性岩浆起源于地幔时由于部分程度很低,具有富铁、磷、钾等不相容元素的特点。岩浆侵入地壳结晶演化作用阶段形成了磁铁矿-磷灰石-透辉石矿体;岩浆期后热液交代形成金云母矿体;直到偏碱性超基性岩体剥蚀暴露,近地表的金云母才风化形成蛭石矿体(杨合群等,2012;周可发等,2012;黄建华等,2012)。

再如:北祁连奥陶纪镁质超基性岩有关的成矿系列:同生 Cr-Os-Ir-Ru 成矿系列(矿床实例:青海玉石沟铬铁矿床);后生 Au-石棉成矿系列(矿床实例:青海双岔沟石棉矿床,黑刺沟石棉矿床,川刺沟金矿床,红土沟金矿床,羊肠子沟金矿床;甘肃鹰嘴山金矿床)。

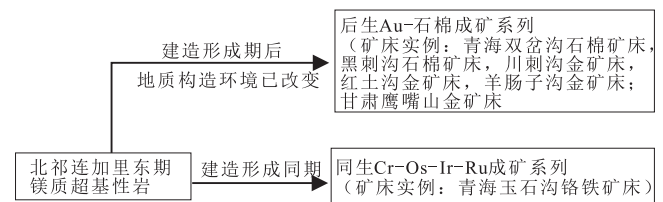


图2 北祁连奥陶纪镁质超基性岩有关的成矿系列

Fig.2 The metallogenic series for the Ordovician ultrabasic rock in the Northern Qilian Mountains

在北祁连,产于早奥陶世洋脊蛇绿岩中的镁质超基性岩体分布在托莱山北坡,西起甘肃鹰嘴山,东到青海玉石沟-川刺沟一带。青海玉石沟岩体由纯橄岩、辉橄岩及橄辉岩组成,发育蛇纹石化、滑石化、菱镁矿化,岩体含铬铁矿床(周会武和李志林,

1995),伴生铂族(钨、铼、钼等),并可综合开采石棉,局部还有金矿化现象,外围的镁质超基性岩体产有川刺沟、红土沟、羊肠子等构造蚀变岩型金矿床(吴鸿梅等,2008)。甘肃鹰嘴山镁质超基性岩体赋存低温热液蚀变岩型金矿床,矿体分布受超基性岩与粉砂质板岩接触破碎带及区域断裂双重控制,超基性岩蚀变强烈,大多数蚀变成蛇纹岩、滑石菱镁岩、石英菱镁岩、次生石英岩等,利用全岩 Rb-Sr 等时线法对强硅化镁质超基性岩型金矿石的测年结果为 413±5 Ma(杨建国等,2005)。

对于镁质超基性岩而言,Cr-Os-Ir-Ru 是同生矿产,形成于幔源岩浆作用过程;Au-石棉是后生矿产,由后来的地质构造作用过程,热液蚀变产生的纤维蛇纹石沿构造裂隙生长形成石棉。当镁质超基性岩蚀变最强烈时,出现石英菱镁岩,标志着硅酸盐矿物的彻底破坏,极微细地分散包裹在矿物中携带的金被活化,迁移到有利构造空间沉淀形成破碎带蚀变岩型或石英脉型金矿体(杨合群等,2012)。

表 1 北阿尔泰成矿带(Ⅲ-1)中成矿系列一览表
Table 1 The metallogenic series in the Northern Altay metallogenic zone(Ⅲ-1)

成矿系列		矿床式	矿床实例
按成矿作用	按地质建造		
加里东期伟晶岩作用有关 RM-宝石-白云母成矿系列	Ⅲ-1Pz ₁ -1 加里东期伟晶岩同生 RM-宝石-白云母成矿系列	那森恰式白云母矿	新疆那森恰、阿尤布拉克、喀音布拉克、阿尤布拉克北、阿尤布拉克西北、曲格东南、曲格南、曲格东南-五矿北、五矿北、塔尔萨伊下游、纳生恰勒河北、结别特、1775 高点东南、阿克布拉克、科布克特上游、五矿东、五矿南东、五矿东南、库威北、库威北东-买增萨依、萨依拉乃巴依、库斯特、铁木勒特-布勒克、塔格巴巴斯他乌-拜城、那然萨拉、青河拜城、库威、阿尔沙特白云母矿床
		拜城式锂铍矿	新疆拜城锂铍矿、阿尔沙特绿柱石矿床、塔拉特铍锂铍矿床、诺干铍锂铍矿床、库威铍矿床、五矿综合稀有矿床
海西期火山-沉积作用有关 Fe-Pb-Zn-Cu 成矿系列	Ⅲ-1Pz ₂ -2a 海西期火山-沉积岩系同生 Fe-Pb-Zn-Cu 成矿系列	大桥式铜铅锌矿	新疆大桥铜铅锌矿床
燕山期热液对海西期火山-沉积岩系再造作用有关 Au-Pb-Zn 成矿系列	Ⅲ-1Pz ₂ -2b 海西期火山-沉积岩系后生 Au-Pb-Zn 成矿系列	库马苏式金铅锌矿	新疆库马苏金铅锌矿床、阿克提什坎金矿床、红山嘴金铜矿点、小土尔根金铜矿点、托格巴托别金矿点及塔斯比伊克金矿点
海西期中酸性伟晶岩作用有关 RM-白云母-宝石成矿系列	Ⅲ-1Pz ₂ -3a 海西期中酸性伟晶岩同生 RM-白云母-宝石成矿系列	可可托海式稀有金属矿	新疆可可托海 3 号脉稀有金属综合矿床、柯鲁木特锂铍铋钽综合矿床、阿祖拜稀有金属矿床、塔尔恰特沟口绿柱石矿床、库卡拉盖铍锂矿床、卡鲁安锂辉石矿床
		阿尔沙特式铍钼铀矿	新疆阿尔沙特铍钼铀矿床
		阿斯喀尔特式铍矿	新疆阿斯喀尔特铍矿床、别也萨麻斯锂铍矿化点
		虎斯特式绿柱石矿	新疆虎斯特绿柱石矿床、巴塞绿柱石矿床、塔拉赛绿柱石矿床、二道房子绿柱石矿床、琼库一号绿柱石矿床、琼库二号绿柱石矿床、塔雅特绿柱石矿床
		葫芦宫式绿柱石铍钼矿	新疆葫芦宫绿柱石铍钼矿床、佳木开铍矿床、库吉尔特铍矿、西岔河铍矿床、托依托果西铍矿床、哈龙铍矿床、卡布托海铍钼矿床
		萨尔朔克北式白云母矿	新疆萨尔朔克北白云母矿床、库威 1522 号脉白云母群、库威上游 001 号脉白云母群、塔尔吉拜 114 号脉白云母群、库威中游 711 号脉白云母群、吐玛布拉克 176 号脉白云母群、吐玛布拉克 145 号脉白云母群、库威中游 418 号脉白云母群、塔尔吉拜 242 号脉白云母群、库威中游 513 号脉白云母群、吐玛布拉克 313 号脉白云母群
新生代对海西期中酸性伟晶岩表生风化作用有关 RM-宝石矿化系列	Ⅲ-1Pz ₂ -3b 海西期中酸性伟晶岩表生风化 RM-宝石矿化系列	库洛恩也木别斯式铋钽铁矿	新疆库洛恩也木别斯铋钽铁矿床
新生代陆相沉积作用有关 Au 成矿系列	Ⅲ-1 Cz-4 新生代河流沉积物同生 Au 成矿系列	西岔河式砂金矿	新疆西岔河砂金矿床、托依托果西砂金矿床、哈拉乔拉砂金矿床、托依托库斯砂金矿床、克西克加什砂金矿床

表 2 南阿尔泰成矿带(Ⅲ-2)中成矿系列一览表

Table 2 Metallogenic series in the Southern Altay metallogenic zone(Ⅲ-2)

成矿系列		矿床式	矿床实例
按成矿作用	按地质建造		
加里东期伟晶岩作用有关 RM-白云母成矿系列	Ⅲ-2 Pz ₁ -1 加里东期伟晶岩同生 RM-白云母成矿系列	也拉曼式绿柱石白云母矿	新疆也拉曼绿柱石白云母矿床、阿克昆格依提、乌里克提下游左岸、切别宁、吴契他斯、塔拉兰、沙尔扎克白云母矿床
		沙尔扎克式铍锂矿	新疆沙尔扎克铍锂矿床
泥盆纪火山-沉积作用有关 Cu-Pb-Zn-Au-Ag 成矿系列	Ⅲ-2 Pz ₂ -2a 泥盆纪火山-沉积岩系同生 Cu-Pb-Zn-Au-Ag 成矿系列	阿舍勒式铜锌矿	新疆阿舍勒铜锌(金银)矿床、铁木尔特 1 号铅锌矿床、喀英德铜矿点、桦树沟铜矿点、阿衣多金属矿点、喀拉尤莫勒铜锌矿点
		可可塔勒式铅锌矿	新疆可可塔勒铅锌矿床、喀因布拉克铅锌矿床、阿巴宫铅锌矿床、红墩铅锌矿床、乌拉斯沟铅锌矿床、大东沟铅锌矿点、布鲁谷逊铅锌矿化点、阿什勒萨依铁铅锌矿点
		阿克哈仁式萤石铅锌矿	新疆阿克哈仁萤石铅锌矿床、H-48 萤石铅锌矿化点、B-7b 萤石铅锌矿化点
石炭-二叠纪热液对泥盆纪火山-沉积岩系再造作用有关 Fe-Cu-Au 成矿系列	Ⅲ-2 Pz ₂ -2b 泥盆纪火山-沉积岩系后生 Fe-Cu-Au 成矿系列	多拉纳萨依式金矿	新疆多拉纳萨依、赛都、阿克希克、萨热阔布、恰奔布拉克金矿床
		红岭式金铜矿	新疆红岭金铜矿床、阿勒哈达依铜金矿床
海西期中酸性岩侵入作用有关 Cu 成矿系列	Ⅲ-2 Pz ₂ -3 海西期中酸性侵入岩准同生 Cu 成矿系列	蒙块式铜矿	新疆蒙块铜矿床
印支期伟晶岩作用有关 RM-白云母成矿系列	Ⅲ-2 Mz-4 印支期伟晶岩同生 RM-白云母成矿系列	大喀拉苏式铌钽白云母矿	新疆大喀拉苏铌钽白云母矿床、小喀拉苏铌钽锂铍矿床
新生代河流沉积作用有关砂金-稀有金属成矿系列	Ⅲ-2 Cz-5a 新生代河流沉积物同生砂金-稀有金属成矿系列	红墩式砂金矿	新疆红墩砂金矿床、卡拉塔斯砂金矿床、布尔津城东北砂金矿床、布尔津城东南砂金矿床、克林砂金矿床、别列则克砂金矿床、克兹加尔砂金矿床、加什哈拉盖砂金矿床
		别列则克式稀有金属砂矿	新疆别列则克稀有金属砂矿床
新生代湖相沉积作用有关 Mn 矿化系列	Ⅲ-2 Cz-5b 新生代湖相沉积物同生 Mn 矿化系列	布尔津西式锰矿	新疆布尔津西一锰矿点、布尔津西二锰矿点

表 3 唐巴勒-卡拉麦里成矿带(Ⅲ-4)中成矿系列实例

Table 3 Examples of the metallogenic series in the Tangbale-Kalamaili metallogenic zone(Ⅲ-4)

成矿系列		矿床式	矿床实例
按成矿作用	按地质建造		
海西期镁质超基性岩侵入作用有关 Cr-Os-Ir-Ru 成矿系列	Ⅲ-4 Pz ₂ -3a 海西期镁质超基性岩同生 Cr-Os-Ir-Ru 成矿系列	萨尔托海式铬矿	新疆萨尔托海铬铁、鲸鱼铬铁矿床,平顶山、科果拉铬铁矿点
		苦水泉式铬矿	新疆苦水泉铬铁矿床,清水、南明水泉铬铁矿点
××期热液对海西期镁质超基性岩再造作用有关 Au-石棉-石榴石成矿系列	Ⅲ-4 Pz ₂ -3b 海西期镁质超基性岩后生 Au-石棉-石榴石成矿系列	萨尔托海式金矿	新疆萨尔托海 I 号金矿床
		也格孜卡拉式石棉-石榴石矿	新疆也格孜卡拉石棉矿床

4 成矿系列的两种形式对比

实际工作中,具体的成矿系列按照前述成矿系列概念中的“四要素”(时间、空间、成矿作用与矿床组合)进行厘定。下面根据本团队最新研究成果(杨合群等,2013),以成矿作用和地质建造两种表达形式对比列举一些成矿系列实例,供研究成矿规律和矿产预测的地质科技人员参考。

4.1 “四要素”已知的实例

以矿产地质研究程度较高的阿尔泰成矿省为例,根据众多学者(张良臣等,1990,2006;芮行健,1991;何国琦等,1994,1995;刘德权等,1996,2001,2005;李华芹等,1998;陈毓川等,2000,2007,2010;王登红等,2002;刘顺生等,2003;李华芹和陈富文,2004;唐延龄等,2005;邹天人和李庆昌,2006;西安地质矿产研究所,2006;董连慧等,2010;张招崇等,

表 4 中天山-旱山成矿带(Ⅲ-11)中成矿系列实例

Table 4 Examples of metallogenic series in the Central Tianshan Mountains-Hanshan metallogenic zone(Ⅲ-11)

成矿系列		矿床式	矿床实例
按成矿作用	按地质建造		
海西期中酸性岩浆作用有关 Fe-Cu-W 成矿系列	Ⅲ-11P ₂ -5a 海西期中酸性岩 准同生 Fe-Cu-W 成矿系列	小白石头式钨矿	新疆小白石头钨矿床,星星峡北、友谊山、绿洲泉、伊雷克山东、赖瓜井、黄羊泉钨矿点
		阿拉塔格式铁矿	新疆阿拉塔格、库姆塔格铁矿床
××期热液对海西期中酸性岩作用有关 Pb-Zn-Au 成矿系列	Ⅲ-11P ₂ -5b 海西期中酸性岩 后生 Pb-Zn-Au 成矿系列	明水式铅锌矿	新疆明水西铅锌矿床

表 5 柴达木北缘成矿带(Ⅲ-24)中成矿系列实例

Table 5 Examples of metallogenic series in the Northern Chaidam metallogenic zone(Ⅲ-24)

成矿系列		矿床式	矿床(点)实例
按成矿作用	按地质建造		
加里东期镁质超基性岩侵入作用有关 Cr-Os-Ir-Ru 成矿系列	Ⅲ-24P ₂ ₁ -2a 加里东期镁质超基性岩同生 Cr-Os-Ir-Ru 成矿系列	绿梁山式铬矿	青海绿梁山落凤坡铬矿床、彩石沟-开屏洼铬矿点
××期热液对加里东期镁质超基性岩再造作用有关滑石-石棉成矿系列	Ⅲ-24P ₂ ₁ -2b 镁质超基性岩后生滑石-石棉成矿系列	茫崖式石棉、滑石矿	青海茫崖镇茫崖石棉、滑石矿床、赛什腾山石棉矿点

2010)公开发表的丰富研究成果,笔者对北阿尔泰成矿带(Ⅲ-2)总结 6 个成矿系列,与 4 种地质建造有关(表 1);南阿尔泰成矿带(Ⅲ-2)总结了 7 成矿系列,与 5 种地质建造有关(表 2)。

4.2 成矿时代不明的实例

矿床成矿系列研究是一项十分复杂的研究工作,需要长期研究,不断探索,不断完善。如果某个矿床在“四要素”方面的某个或某些要素不能马上确定,如成矿时代不能确定,则其矿床成矿系列归属问题不好解决(陈毓川等,2007)。在研究成矿系列过程,常遇到许多矿床、矿点的“四个一”要素不齐全,尤其那些成矿作用与成岩作用时间不是同步形成的矿床及矿点,尚待需要大量测年工作确定成矿时代,表 3、表 4 和表 5 中的后生成矿系列均属于这种情况。此时,成矿系列的理论性名称中时代只好暂时空缺,应用性名称则依然可按相对时代表达,这就为工作程度较低地区成矿系列理论用于矿产预测及勘查部署提供了有利条件。

5 结语

选择“××地区××时段××地质建造有关××成矿系列”表达形式,将“有关”二字按具体情况分别替换为“同生”、“准同生”、“后生”、“表生风化”的方法,不仅全部保留成矿系列概念中“四要素”,而且借助宏观地质信息破解了研究程度较低地区许多后生成矿系列缺少测年资料确定成矿时代的难题,有利于成矿系列理论普及性地指导找矿。

致谢:对“全国矿产资源潜力评价”专家组指导,西北各成矿区带研究团队协助,各省级成矿规律课题组支持,表示衷心感谢。

参考文献 (References):

程裕淇,陈毓川,赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报,1(1): 32-58

程裕淇,陈毓川,赵一鸣,宋天锐. 1983. 再论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报,(6): 1-52

陈毓川,毛景文. 1995. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹. 桂林: 广西科学技术出版,128-135

陈毓川,裴荣富,王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题. 地质学报,80(10): 1501-1508

陈毓川,王登红,徐志刚,傅旭杰. 2000. 阿尔泰海西期成矿系列及其演化规律. 九五全国地质科技重要成果论文集. 北京: 地质出版社,184-190

陈毓川,王登红. 2010. 中国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估. 北京: 地质出版社,65-395

陈毓川,王登红,朱裕生,徐志刚,任纪舜,翟裕生,常印佛,汤中立,裴永富,腾吉文,邓晋福,胡云中,任天祥,沈保丰,王世称,肖克炎,彭润民,钱壮志,梅燕雄,杜建国,施俊法,张晓华,朱明玉,徐珏,薛春纪. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价. 北京: 地质出版社,456-614

陈毓川,刘德权,唐延龄,王登红,周汝洪,王金良,李华芹,王晓地. 2007. 中国新疆战略性固体矿产大型矿集区研究. 北京: 地质出版社,46-450

董连慧,冯京,刘德权,唐延龄,屈迅,王克卓,杨再峰. 2010. 新疆成矿单元划分方案研究. 新疆地质,28(1): 1-14

何国琦,李茂松,刘德权,唐延龄,周汝洪. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社;香港: 香港文化教育出版社,177-208

何国琦,刘德权,李茂松,唐延龄,周汝洪. 1995. 新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列. 新疆地质,13(2): 99-194

黄建华, 吴昌志, 雷如雄, 陈刚, 熊黎明, 秦切, 顾连兴. 2012. 新疆且干布拉克超大型蛭石矿床的成因与成矿模式. 矿床地质, 31(2): 359-368

李华芹, 谢才富, 常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, 204-206

李华芹, 陈富文. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, 19-42

刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1996. 中国新疆矿床成矿系列. 北京: 地质出版社, 26-160

刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 2001. 新疆斑岩铜矿成矿条件和远景. 新疆地质, 19(1): 43-48

刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 2005. 中国新疆铜矿床和镍矿床. 北京: 地质出版社, 11-305

刘顺生, 李志纯, 谭凯旋, 赵志忠, 郑常青. 2003. 中国阿尔泰山带的变形变质及流体作用. 北京: 地质出版社, 107-212

洛长义, 杨合群, 朱宝清, 罗玉鹏, 张开春. 1998. 论新疆兴地基性超基性杂岩分带性. 西北地质科学, 19(1): 52-58

芮行健. 1991. 新疆阿尔泰山岩金矿床. 北京: 地质出版社, 45-220

唐延龄, 梅厚钧, 潘克跃, 刘德权, 周汝洪, 辛恒广. 2005. 中国新疆非金属矿床. 北京: 地质出版社, 90-238

王登红, 陈毓川, 徐志刚, 李天德, 傅旭杰. 2002. 阿尔泰山成矿省的成矿系列及成矿规律. 北京: 地质出版社, 95-397

孙宝生, 黄建华. 2007. 新疆且干布拉克超基性岩-碳酸岩杂岩体 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义. 岩石学报, 23(7): 1611-1616

吴鸿梅, 童海奎, 刘洋, 任文恺, 许国武, 王维. 2008. 北祁连红土沟—川刺沟金矿与韧性剪切带的成矿关系. 吉林大学学报(地球科学版), 38(4): 582-586

夏学惠, 袁家忠, 郝国庆, 梁中朋. 2010. 新疆大西沟杂岩体地球化学及铁磷矿床特征. 吉林大学学报(地球科学版), 40(4): 879-885

西安地质矿产研究所. 2006. 西北地区矿产资源潜力. 北京: 地质出版社, 121-149

杨合群, 赵国斌, 谭文娟, 姜寒冰, 李文渊, 王永和, 董福辰, 任华宁, 李宗会, 高永宝, 肖朝阳. 2012. 论成矿系列与地质建造的关系. 地质与勘探, 48(6): 1093-1100

杨合群, 姜寒冰, 谭文娟, 李英, 赵国斌, 乔耿彪, 彭素霞, 梁楠, 宋忠宝, 伍跃中, 李宗会, 任华宁, 杨生德, 冯京, 余超, 袁旭东, 艾宁. 2013. 西北地区重要矿产区域成矿规律研究报告. 西安: 中国地质调查局西安地质调查中心, 474-622

杨建国, 任有祥, 李智佩, 宋忠宝. 2005. 甘肃鹰咀山金矿床地质地球化学研究. 西北地质, 38(1): 55-63

周可法, 孙宝生, 王金林, 张楠楠, 张海波, 汪玮, 廖世斌. 2012. 新疆大型蛭石矿床综合成矿模式及找矿指示意义. 广西师范大学学报(自然科学版), 30(1): 115-124

周会武, 李志林. 1995. 玉石沟铬铁矿床的成因. 甘肃地质学报, 4(1): 44-53

邹天人, 李庆昌. 2006. 中国新疆稀有及稀土金属矿床. 北京: 地质出版社, 12-241

张良臣, 刘德权, 唐延龄. 1990. 新疆的宝藏. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社; 香港: 香港文化教育出版社, 7-289

张良臣, 刘德权, 王有标, 周汝洪, 邹天人, 李博权, 王京彬, 唐延龄, 李庆昌, 吴乃元, 赵殿甲, 杜佩轩. 2006. 中国新疆优势金属矿产成矿规律. 北京: 地质出版社, 75-468

张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 何立新, 柴凤梅, 张作衡. 2010. 阿尔泰山铜矿带东段找矿靶区优选及评价. 北京: 地质出版社, 20-245

(本文责任编辑: 龚超颖)

·简 讯·

美国内务部颁布新的水力压裂法标准

美国内务部颁布了新的水力压裂实验标准, 包括地下水保护和测定化学注射成分含量的方法。新标准的制定是鉴于水力压裂实验的与日俱增以及采用先进的水平钻孔技术的复杂性, 有利于该技术的发展和环境保护, 从而确保了联邦和印第安土地关于油气的环境保护。

本标准于今年6月份执行, 包括保护地下水的具体措施, 监测布点的完整性, 向公众公布注射的化学试剂(包括一些商业机密的免责条款), 以及地面盛装回收废液的储存罐的安全处置等。

[摘编于 EOS 地球化学, 矿物学, 火山学新闻, <https://eos.org/articles/interior-department-issues-fracking-standards>. 原文发表于 Showstack R. 2015. Interior department issues fracking standards, Eos, 96, doi: 10.1029/2015EO026719. Published on 20 March 2015.]

(刘莹编译, 周新华校)