

A COMPARATIVE STUDY ON
CHINESE AND CANADIAN GOLD DEPOSITS

— CIDA II —17 PAPER COLLECTION

中加金矿床对比研究

— CIDA 项目 II —17 文集

中国科学院地球化学研究所
中国科学院矿床地化开放实验室

Institute of Geochemistry and
Lab of Ore Deposit Geochemistry
Chinese Academy of Sciences

地震出版社

中加金矿床对比研究

——CIDA 项目 II-17 文集

A COMPARATIVE STUDY ON CHINESE AND CANADIAN GOLD DEPOSITS

——CIDA II-17 PAPER COLLECTION

中国科学院地球化学研究所 编
中国科学院矿床地化开放实验室
Institute of Geochemistry and
Lab of Ore Deposit Geochemistry
Chinese Academy of Sciences

地震出版社

Seismological Press

1994

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

CIDA 项目 I-17 为中国与加拿大固体矿产资源研究人才培养计划。本文集汇总了项目资助下中方科学家和研究生在执行项目过程中完成的部分研究成果,计八篇。内容主要涉及中国与加拿大等国金矿床的地球化学特征和对比研究。

中加金矿床对比研究

—CIDA 项目 I-17 文集

A COMPARATIVE STUDY ON CHINESE AND
CANADIAN GOLD DEPOSITS

—CIDA I-17 PAPER COLLECTION

中国科学地球化学研究所 编
中国科学院矿床地化开放实验室

Institute of Geochemistry and
Lab of Ore Deposit Geochemistry
Chinese Academy of Sciences

责任编辑:宋炳忠 徐仲伦

地 震 出 版 社 出版发行

北京民族学院南路 9 号 邮编 100081

中国地质大学轻印刷厂印刷

787×1092 1/16 15.5 印张 396 千字

1994 年 10 月第一版 1994 年 10 月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1182-6/P·721

(1575) 定价: 15.00 元

前 言

由中国科学院地球化学研究所与加拿大魁北克大学席库提米分校 (Université du Québec à Chicoutimi) 联合执行的, 由加拿大国际开发总署 (Canadian International Development Agency—CIDA) 支持的, 中国-加拿大大学联合会 (Association of Universities and Colleges of Canada) 项目, 第二期第十七项, 从 1989 年 6 月执行, 到 1993 年 9 月基本结束。项目的题目是: 中、加固体矿产资源研究人才培养计划, 目的是为中国培养固体矿产资源的高级研究人才。项目共为我国培养了 5 名博士研究生, 都同时在中、加双方通过了答辩, 并取得了优秀的成绩。中方七名高级研究人员到加短期访问, 主要在加参加国际学术讨论会和完成中加有关矿床的对比研究。另一方面, 加方有 6 名教授访问我国, 进行野外地质地球化学考察和讲学, 与中国科学家一起进行中、加固体矿产资源的对比研究, 使该项目的受益面不仅限于地球化学研究所, 同时扩大到中科院广州地质新技术研究所, 北京地质研究所和国家有色金属总公司的广西桂林有色金属地质研究院。

加拿大广泛发育块状硫化物多金属矿床 (主要是 Cu、Ni 和 Au 矿床) 和绿岩带、剪切带 Au 矿床, 这些矿床品位高, 规模大, 已发现了若干世界著名的超大型矿床, 在国民经济中起着举足轻重的作用。我国也广泛发育相似的地质条件, 但在这些地区发现有关的超大型矿床较少。Au、Cu、Ag 等金属是我国紧缺的矿种, 现有的资源不能满足国家经济发展的需要, 每年都花费大量的外汇进口有关的金属或矿石。国家在国民经济发展第七个五年计划和第八个五年计划 (简称“7.5”和“8.5”) 期间, Au、Cu 等矿产是我国的重点投资项目, 预计“9.5”期间, 还会有重大的投入。培养这方面的高级研究人员, 正符合国家的需要。地化所在“7.5”和“8.5”期间, 承担着国家 Au 和 Cu 等资源的研究和寻找国家重点与攻关项目。通过本次中-加两国大学联合会项目, 为我国培养的博士生都已通过答辩, 大部分已回国, 成为国家重点项目中的骨干力量, 该项目还对地化所承担国家重点和攻关项目的负责人和骨干进行了培训和学习。以上这些工作在我国科学家深入了解加拿大 Au、Cu、Ni 等超大型矿床的特点, 学习加方在研究和寻找这些矿床的成功经验, 以及培养一批国家急需的高级研究人员, 完成我国有关的国家重点和攻关项目方面起了积极的作用, 并为我国今后在这方面的工作打下了良好的基础。在项目即将结束的时候, 双方项目主任进行了互访, 对项目的执行情况 and 成果进行了评估, 双方认为, 该项目基本上按原计划执行, 达到了项目预期的目的, 双方都有收益。通过该项目的执行, 双方的科学家建立了良好的工作关

发展了两国科学家的友谊和科学研究的合作关系。在项目执行期间，加方主任 J. Guha 教授应邀为我院矿床地球化学开放实验室学术委员会成员。双方科学家希望今后通过各种方式，把这种关系保持下去。

我们十分感谢加拿大国际开发总署和加拿大大学联合会的资助和支持，感谢加方项目主任，加拿大魁北克大学席库提米分校教务长 J. Guha 教授和加拿大科学家的努力，感谢中国科学院、国家教委和国家对外经贸部对该项目的支持和帮助。

本论文集是中方科学家和学生在执行项目过程中完成的部分研究成果，其中有些已应用到我国的一些国家重点和攻关项目中。

我们希望通过本项目建立起来的中、加两国科学家的合作和友谊继续发展下去。

涂光炽

项目中方主任

中国科学院院士

中国科学院地球化学研究所名誉所长

1994. 8

Preface

Jointly carried out by the Institute of Geochemistry, Academia Sinica and the Université du Québec à Chicoutimi, Canada, and financially supported by the Canadian International Development Agency (CIDA), the seventeenth item of the second phase under the program sponsored by China and the Association of Universities and Colleges of Canada started in June, 1989 and was accomplished in September, 1993. This program was entitled; Sino-Canadian Solid Mineral Resources Research and Personnel Training Program with an attempt to foster advanced qualified personnel capable of specializing in solid mineral resources. This program has achieved the goal of fostering five Ph. D. students who have already passed through the Sino-Canadian panel appraisals and have proved themselves to be excellent and qualified. Seven Chinese senior researchers paid a short-term visit to Canada where they attended the international symposia and accomplished the Sino-Canadian Research Program—A Comparison of Related Ore Deposits between China and Canada. On the other hand, six Canadian professors visited China where they made geological and geochemical field investigations and gave lectures and also carried out, together with Chinese scientists, comparative studies of solid mineral resources. The benefits brought about by this research program have been shared not only by the Institute of Geochemistry, Academia Sinica, but also by the Institute of New Techniques for Geology, Academia Sinica (Guangzhou), the Institute of Geology, Academia Sinica (Beijing) and the Institute of Non-ferrous Metal Geology under China Non-ferrous Metals General Co.

Extensively developed in Canada are massive sulfide polymetallic ore deposits (mainly Cu, Ni and Au deposits) as well as greenstone belt- and shear zone-hosted gold deposits. Up to now, a number of world-known superlarge deposits, high in grade and large in size, have been found in Canada, which have played an important role in national economy. Similar geological settings are also extensively developed in China, but there have not been found so many superlarge ore deposits as in Canada. Au, Cu, Ag, etc. are the urgently needed metals in China and the currently proven reserves of these metals could by no means satisfy the demands of the national economic development of China. Every year China will spend a lot of foreign exchange importing the relevant metals or ores. During the seventh and eighth five-year plans for the national economic development of China, the research projects of Au and Cu mineral resources have been, and will be put, on the list of the key investment projects of China. It is predicted that during the period of the "ninth five-year plan", still more will be invested in the relevant respects. Fostering such advanced researchers is just fit to the needs of China's national economic development. The Institute of Geochemistry, Academia Sinica has and will undertake the state key research and prospecting projects of Au and Cu resources during the periods of the "seventh and eighth five-year plans". Fostered under the

China-Association of Universities and Colleges of Canada Program, the Ph. D. students have passed through the Sino-Canadian panel appraisal and mostly turned back to China. Now they have become a mainstay in undertaking the state key research projects. In addition, the responsible and backbone scientific workers of the Institute of Geochemistry, Academia Sinica have been trained and requalified, who will undertake the state key research projects. The above activities have made Chinese scientists more deeply understand the characteristics of Canadian superlarge Au, Cu, Ni and other metallic ore deposits. Learning from Canadian scientists and sharing their successful experiences in investigating and prospecting those ore deposits have paved the way for the training and requalification of a number of senior scientific workers urgently needed in China. Moreover, the accomplishment of this program has played an active role in accomplishing the state key research projects in China and laying down a sound foundation for the future research work in these respects. At the time the program will be soon accomplished, the directors of both sides in charge of the program have paid mutual visits and evaluated the implement and achievements of the program. Both sides hold that the program has been implemented generally in accordance with the original plan and achieved the expected goals.

The implement of this program has brought about a close link between Chinese and Canadian scientists, developed the friendship between scientists of both countries and opened up new opportunities for the scientific research cooperation. During the period of the implement of this program Professor J. Guha—director of Canadian side was honorably invited to be a member of the Academic Committee of the Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Academia Sinica. Scientists of both sides wish to maintain this excellent relationship through various means in the future time.

We are deeply grateful to the financial aid and support of the Canadian International Development Agency and the Association of Universities and Colleges of Canada. Great thanks are due to Prof. J. Guha—director of Canadian side in charge of the program with the Université du Québec à Chicoutimi and other Canadian scientists for their great efforts. Thanks are also due to the Chinese Academy of Sciences, the National Educational Commission of China and the National Foreign Economy and Trade Ministry of China for their support and help

This compilation embraces part of the results achieved by Chinese scientists and students during the implement of this program. Some of the results have been applied to some state key projects of China.

We wish the cooperation and friendship between Chinese and Canadian scientists fostered through the implement of this program will last for ever.

Prof. Tu Guangchi

Director of Chinese side in charge of the program

Academician of the Chinese Academy of Sciences

Honored Director of the Institute of Geochemistry, Academia Sinica

目 录

太古宇中的金矿床——中国与加拿大等国的同类型	
矿床形成特征对比	王秀璋 程景平 (1)
滇黔桂地区卡林型金矿的地质地球化学特征及找矿前景	杨科佑等 (17)
阿伯蒂比 (Abitibi) 和粤西剪切带金矿构造	
控制的对比研究	吴学益 (31)
剪切带中流体的地球化学特征	卢焕章 池国祥 (45)
广东河台金矿田构造变形和热液围岩蚀变及	
有关元素的地球化学活动性状	周永章等 (63)
万山汞矿水晶—辰砂型矿石流体包裹体研究	李院生等 (78)
海南抱板金矿田围岩蚀变地球化学研究	肖志峰等 (84)
金汞矿化与油气演化的成因关系——以丹寨金汞矿床为例	鲁观清 (94)

CONTENTS

Archean Gold Deposits—A Comparison of Their Formation Characteristics for Those in China, Canada and Other Countries	<i>Wang Xiuzhang Cheng Jingping</i> (98)
Geological and Geochemical Characteristics of the Carlin-type Gold Deposits and Their Prospecting in the Yunnan-Guizhou-Guangxi Area, China	<i>Yang Keyou et al.</i> (121)
Structural Control on Gold Mineralization in Shear Zones in Abitibi, Canada and Western Guangdong, China—A Comparative Study	<i>Wu Xueyi</i> (142)
Geochemical Characteristics of Fluids in Shear Zones	<i>Lu Huanzhang Chi Guoxiang</i> (158)
Ductile-Shear Deformation and Hydrothermal Wall-Rock Alteration and the Geochemical Behavior of Gold in the Hetai Gold Field, Guangdong Province	<i>Zhou Yongzhang et al.</i> (182)
Fluid Inclusion Studies of the Gem Quality Quartz-Cinnabar Ores in the Wanshan Mercury Deposit, Guizhou Province, China	<i>Li Yuansheng et al.</i> (209)
A Geochemical Study on the Wall-rock Alteration of the Baoban Gold Field, Hainan Island, China	<i>Xiao Zhifeng et al.</i> (218)
A Genetic Link between Gold—Mercury Mineralization and Petroleum Evolution as Exemplified by the Danzhai Gold-Mercury Deposit	<i>Lu Guanqing</i> (231)

太古宇中的金矿床——中国与加拿大等国的同类型矿床形成特征对比

王秀璋 程景平

(中国科学院地质新技术所 广州 510640)

摘要 产于太古宇中的金矿床在国内外都是主要金矿床类型,虽然其成矿物质都来自含有基性超基性火山岩的太古宇,但成矿环境在国内外却有重大的差异。国外矿床产在地质上,围岩变质浅,延深大,无垂直分带性,金矿物成色高,矿石 Au/Ag 值大,放射性成因铅低,石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 较大,具正铈异常近水平分布的稀土配分特征,成矿压力大,盐度低,成矿时代老(太古宙),而国内矿床产在活化地台上,围岩变质深,延深较小,金矿物成色低,矿石 Au/Ag 值小,放射性成因铅高,石英的 $\delta\text{Au/Ag}$ 值较小,具负铈异常右倾分布的稀土配分特征,成矿压力较低,盐度较大,成矿时代新(显生宙)。对国内外矿床都有变质热液、岩浆热液、建造水或大气降水成因之争。本文研究后认为,虽然国内外这类矿床的地质地球化学特征存在有重大差异,但其主体均属于改造成因,成矿物质来自太古宇,成矿溶液主要为建造水或演化大气降水,其差异主要是由于不同成矿时代的成矿环境差异所造成。

关键词 太古宇金矿床 对比研究 改造成因

除上太古界一下元古界的金铀砾岩型外,太古宇中的金矿床及中-新生界火山岩中的金矿床是世界上最重要的金矿床类型。太古宇中的金矿床在国外主要见于加拿大、西澳、南部非洲、印度、巴西及美国,在我国产于华北及东北,如夹皮沟、小秦岭、金厂峪、小营盘等,它们都是有关国家的主要金矿床类型。我国的金矿床与国外金矿床虽在某些特征及成因上有相似之处,但在矿床形成的地质背景、地球化学特征及成矿条件方面却有重大差异。下面以加拿大、西澳、南部非洲的矿床为例与我国有关矿床进行对比讨论。

1 矿床产出的地质背景

1.1 矿床分布的大地构造位置

国外太古宇中的金矿床产在地盾上,如加拿大地盾、西澳地盾、非洲地盾、印度地盾及巴西地盾,其特点是长期稳定,缺乏太古宙以后的沉积和构造岩浆活动,构造变动微弱。而我国的矿床发育在活化地台上,其上不但覆盖了晚期沉积物,且在以后的发育历史中遭受过多次构造活化作用,伴随变形、断裂及大量岩浆活动。如夹皮沟地区至少有 9 次活动期,其相应年龄为 3100~2800Ma、2500~2400Ma、2000Ma、1800~1600Ma、1400Ma、1000Ma、700~500Ma、300~200Ma 及 200~100Ma,其中在 2500~2400Ma、1800~1600Ma、1000Ma、700~500Ma、300~200Ma、200~100Ma 期间都有岩浆活动。小秦岭地区除 2600~2400Ma、2000~1800Ma 变质期外,1000~800Ma、500~400Ma、200~60Ma 期间均有岩浆活动。小营盘及金厂峪在 >3000Ma、2500~2200Ma、1600~1400Ma、1000Ma、700~600Ma、300~200Ma、200~100Ma 期间有岩浆活动。

1.2 赋矿岩石

国外金矿的赋矿岩石是浅变质岩及浅变质侵入岩类,其特点是变质浅,属绿片岩相甚至准绿片岩相,仅少数矿床可达中深变质角闪岩相,如印度科拉尔(Koral)矿床、加拿大赫姆洛(Hemlo)矿床、澳大利亚大钟(Big Bell)矿床等,在矿区内一般混合岩化作用极不发育。而我国矿床的赋矿岩石均为中深变质岩,由铁铝榴石角闪岩相的变粒岩及片麻岩组成,有的地区还夹有麻粒岩相,同时普遍出现了混合岩化,形成伟晶石英长石岩脉,甚至混合花岗岩。经原岩恢复,国内外赋存金矿的地层均属火山岩—火山沉积岩类,火山岩中以拉斑质镁铁—超镁铁岩类为主,并夹有酸性火山岩类,沉积岩为杂砂岩—页岩组合,属于“绿岩带”。不同的是国外的含有大量科马提岩流,而国内的则因变质深而难以辨认,但相似成分的岩石仍是存在的。此外,国外赋存金矿的侵入体还有辉长岩、闪长岩、花岗岩、正长岩、斜长岩等,且长英质小侵入体在矿区普遍见到,例如在苏必利尔(Superior)岩省(加拿大),90%以上超大型矿床均以长英质岩石为围岩或紧邻长英质斑岩(Roberts, 1987),时代为太古宙。我国矿区虽也普遍见到花岗岩岩石,但由于太古宙侵入岩均变成了片麻岩类难以识别,因此矿床与晚期侵入体更为密切(古、中生代)。

变质岩系的形成时代大体相似,国外的主要为3300~3500Ma〔南非巴伯顿陆地(Barberton Land),西澳皮尔巴拉地块(Pilbara Block);据Saager等,1976;Gross等,1984;Condie, 1981〕、2700~2900Ma〔加拿大阿伯蒂比、西澳耶尔加恩地块(Yilgarn Block)、印度、美国怀俄明,据Smith等,1984;Gross等,1984;Condie, 1981;Spry等,1991〕;国内的主要为2700~2900Ma(王秀璋等,1984),但在金厂峪、夹皮沟也有3500Ma、3100Ma的年龄记录。^①从地层含金性来看,国外岩石含金高低均有,但以金高者为多,如南非绿岩含Au 10.8×10^{-9} (Saager等,1984),加拿大苏必利尔岩省292个绿岩样品平均含Au 7.4×10^{-9} (Goodwin, 1984),但加拿大阿伯蒂比的多姆(Dome)矿的金背景值小于 4×10^{-9} (Fryer等,1979);国内岩石含金量变化较大,且多比国外的低,如小营盘各矿区从 2.3×10^{-9} ~ 12×10^{-9} ^②,小秦岭为 0.72×10^{-9} (栾世伟等,1985)、金厂峪为 3.1×10^{-9} (高占林等,1987)、夹皮沟为 2.4×10^{-9} 及 5.28×10^{-9} (刘静兰,1988)。因此国内外赋矿岩石的时代及原岩性质是一致的,主要都与年龄为2700~2900Ma的绿岩有关,但由于所处的构造位置不同,因此变质程度有差异,含金量也不同。

2 矿体组成特征

2.1 矿体产状

国外矿床有下列几种产状:一为顺层的沉积变质矿床,二为穿层或顺层脉状矿体,三为顺层或穿层的细脉浸染矿体(国内称破碎带蚀变岩型)。第一类矿体产在条带状含铁建造(铁质白云岩及沉积硫化物)中,它在加拿大、南部非洲、印度都有发育;后两类矿体包括简单脉、复脉、脉带、细脉浸染,广泛分布于国外各地。据Илєп(1972, 1974)报道,国外复杂脉、细脉浸染、脉—浸染各占25%,简单脉及脉带占10%。国内矿床属于脉型及细脉浸染型,以脉型更为常见,而沉积变质矿床尚未发现。

^① 范嗣昆(1985),我国北方太元古宙岩石的年代学与地壳演化研究。

^② 宁瑞先、董斌(1983),小营盘金矿成矿地质条件及找矿方向。

2.2 矿脉类型及矿物组合

据ИИер(1972,1974),国外金矿的矿脉类型主要由金—石英脉、金—硫化物石英脉及金—硫化物细脉浸染体组成,其中金—石英脉按储量占38%,金—硫化物石英脉占35%,金—硫化物细脉浸染占25%。对不同矿区来说此比例有变化,如加拿大科巴尔丁(Cobaltin)矿区三类各占35%,55%,10%,西澳耶尔加恩相应为10%,15%,75%。我国金矿床主要由金—硫化物石英脉组成,还发现有少量细脉浸染型。

国内外矿床的矿物组成大体相似,金属矿物很少超过矿脉组分的5%~10%,除黄铁矿为主要矿物外,毒砂也很常见,其它矿物还有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉锑矿、辉钼矿、碲化物、白钨矿;非金属矿物以石英为主,此外还有碳酸盐(铁白云石)、绢云母、绿泥石,但国外矿床中电气石、磁黄铁矿、钠长石发育,而国内矿床中多见钾长石,只有个别矿床为钠长石,磁黄铁矿不发育,未发现有电气石。在矿物组合上,国外矿床中黄铁矿—磁黄铁矿型占40%,多金属碲化物型占42%,黄铁矿毒砂型占8%,方铅矿闪锌矿型及车轮矿型占4%,其中西澳耶尔加恩的前三类矿床相应比例为18%,72%,6%,而加拿大科巴尔丁地区为55%、22%、8%。此外,多金属硫盐型占10%(ИИер,1972,1974)。我国矿床主要为黄铁矿黄铜矿方铅矿(白钨矿黑钨矿闪锌矿)类型,个别矿床为黄铁矿辉钼矿组合,与国外矿床有明显差异。

2.3 矿化特征

国内外矿床大多产在韧性及脆韧性剪切带中,国外矿床既可发育在韧性变形带内,如赫姆洛、雷德莱克(Red Lake),也可产在脆韧性剪切带中,如西格玛(Sigma),前者中的金呈浸染状,后者产于石英脉中,形成于脆性剪切阶段。国内矿床以后一类型为主(夹皮沟、金厂峪),前一类型少见(排山楼)。国外不少矿床的垂直延深深度都很大,印度科拉(Kolar)矿床甚至超过3km,在1km以上者也不少见,而国内矿床的垂直延深深度一般小于500m,偶见达到800~900m者。国外矿床延深虽大,但几乎无分带现象,而国内矿床却有呈带状分布的,如夹皮沟从上到下Pb→Zn→Cu增加,金厂峪金在上,钼在下。在矿石Au/Ag比值及金的成色上,国外以高值为主,如加拿大25个矿床平均Au/Ag比值为9,金矿物成色一般>800(750~950)(Hitchinson等,1984);而国内矿床Au/Ag比值变化于0.5~2间,且大多数<1,同时金的成色偏低,最低可到700,如小营盘Au/Ag及成色分别为1.07~1.70,762~928,小秦岭为2.1,716,夹皮沟为2.5~0.33,803~965。这些特点反映了它们形成条件上的差异。

3 稳定同位素及稀土配分

3.1 硫同位素

我国矿床硫同位素组成的特点是 $\delta^{34}\text{S}$ 值集中,平均值或系统值多近于陨石硫,且与地层的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相近。例如夹皮沟地区成矿热液的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为+2.95‰,极差小于10‰;东小秦岭各矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值在-4.56‰~+2.57‰间,极差一般也小于10‰,且与地层值+3.39‰相近;金厂峪矿脉与地层的 $\delta^{34}\text{S}$ 值分别为-1.8‰,+1.93‰;只有小营盘矿液的 $\delta^{34}\text{S}$ 为负值(-13.5‰)。这种情况也见于国外一些矿床中,如西澳卡尔古利(Kalgoorlie)矿床矿液的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为-2.3‰(Golding等,1984);加拿大罗斯(Ross)矿床为-0.2‰~-3.1‰、霍灵格-麦克

因泰(Hollinger—McIntyre)矿床为 -0.7% ~ $+5.2\%$,杨、戴维森及马塔奇文(Young、Davidson 及 Matachewan)矿床为 -3.7% ~ $+5.1\%$,但柯克兰莱克(Kirkland Lake)矿床为 -9.1% ~ -14.4% (Cameron 等, 1987); 美国约丁-克里瓦西(Jordine—crevasse)山及大西洋城—南山口(South Pass)—刘易斯吨(Lewiston)黄铁矿为 -1% ~ $+3.6\%$ 、磁黄铁矿为 -1.7% ~ $+4.4\%$ (Spry 等, 1991); 南非巴伯顿区矿床为 1% ~ 4% , 平均 2.5% (DeRonde, 1992); 加拿大耶洛奈夫(Yellowknife)矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值($+3.8\%$ ~ $+2.5\%$)与地层中的 $\delta^{34}\text{S}$

值($+1.6\%$ ~ $+0.6\%$)基本相近,且均随变质程度的降低而减少(Wanless 等, 1960)。这些说明国内外矿床硫的来源具有一致性,可能与火山沉积作用有关。

3.2 铅同位素

我国矿床的铅同位素主要为多阶段混合铅,它在 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上有时只出现一条二次等时线,如金厂峪,有时除形成二次等时线外,还有单独呈团分布,如夹皮沟有 1400Ma 、 $200\sim 300\text{Ma}$ 的壳源铅团出现,小营盘也有 $200\sim 300\text{Ma}$ 的壳源铅团存在,小秦岭东部矿床沿 900Ma 的 204 误差线分布。铅同位素的另一特点是高 μ 值(大于 $8\sim 9$),二次等时线与地球铅正常演化线的最小交点年龄值都不大,如金厂峪为 1100Ma ^①,夹皮沟 1000Ma 、小营盘为 600Ma 、小秦岭西部矿床为 500Ma 。还有一个特点是矿石铅与太古宇地层铅的同位素比值具有一致性,都位于同一等时线上或具同一年龄之比值,如金厂峪(1100Ma)、

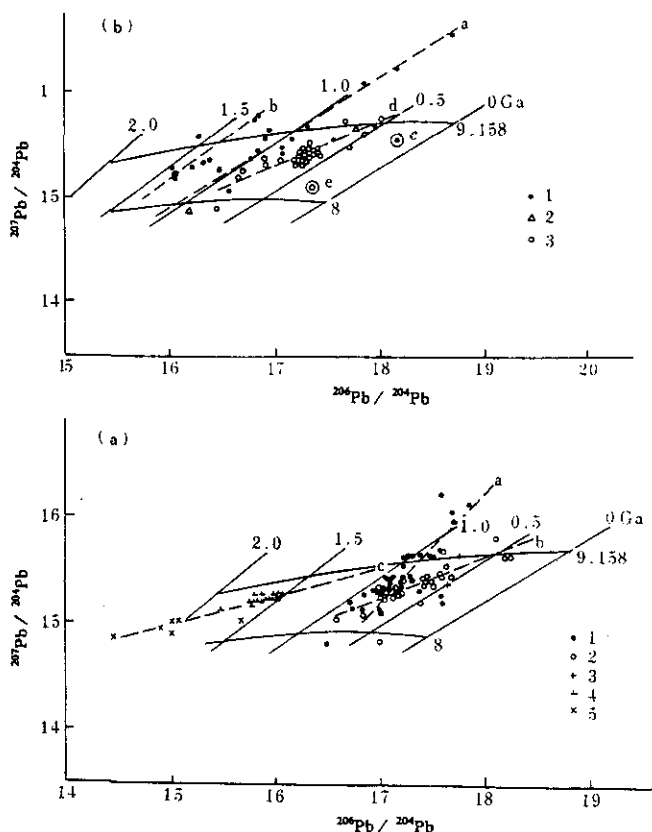


图1 产于我国太古宇中金矿床的铅同位素成分

- (a) 1. 小秦岭矿石(东部); 2. 小秦岭矿石(西部); 3. 小秦岭地层;
4. 金厂峪矿石; 5. 金厂峪地层; a, b. 小秦岭两种类型铅; c. 金厂峪铅
(b) 1. 夹皮沟矿石; 2. 夹皮沟地层; 3. 小营盘矿石; a, b, c. 夹皮沟三种类型铅; d, e. 小营盘两种类型铅〔小秦岭据本文, 栾世伟等(1985), 林宝钦等(1989), 晁振等(1989)及闫竹斌(1983, 对小秦岭金矿成因问题的初步认识); 夹皮沟据本文、王义文(1981, 我国金矿床铅同位素的某些特征及其矿床成因意义)及吴尚全等(1992); 金厂峪据林尔为等(1985)、余昌涛等(1989)、于润林等(1989); 小营盘据本文, 胡小蝶等(1990), 宋瑞先等(1983, 小营盘金矿成矿地质条件及找矿方向); 王郁、蒋心明、王正坤(1988, 河北省张宣地区金矿床铅同位素地质特征)〕

① 据孙家树、杨应平(1986),冀东金厂峪金矿的控矿构造及金矿床的同位素地质年代学研究, 18个黄铁矿的铅同位素构成两条直线, 与 $\mu=8.7$ 增长曲线之最小交点年龄为 $1270, 125\text{Ma}$ 。另据余昌涛等(1986), 冀东主要类型金矿床铅同位素研究, 16个方铅矿组成之二次等时线与 $\mu=8.99$ 增长线最小交点年龄为 133Ma 。

夹皮沟 (1000Ma)、小秦岭西部 (500Ma) (图 1)。同时这些年龄值都小于区域变质年龄, 而大于成矿年龄。国外矿床根据不多资料属于多阶段混合铅, μ 值一般低于 8, 其均一低 μ 铅的模式年龄或二次等时线与地球铅正常演化线的最小交点年龄值均较大, 前者如加拿大苏必利尔岩省金矿床为 2632~2700Ma (Cameron 等, 1985; Corfu 等, 1989)、西澳金矿床为 2700~2900Ma (图 2)、津巴布韦为 2600~3000Ma (图 3), 后者如南非巴伯顿陆地约 3000Ma (图 3)、西澳皮尔巴拉为 3200Ma, 与各区区域变质时代相同。因此国内外矿床铅的来源相同, 但

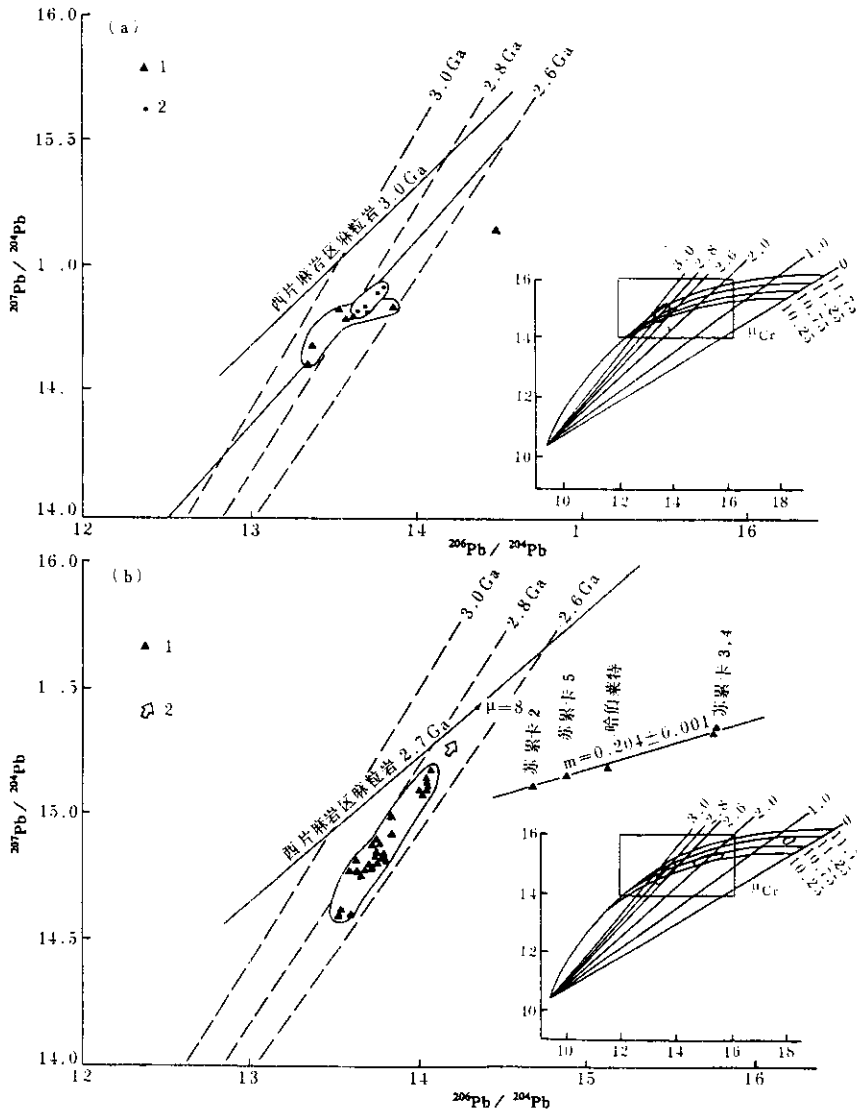


图 2 西澳金矿床的铅同位素成分 (Browning 等, 1987)

(a), 1. 默奇森地区; 2. 南克罗斯 (Southern Cross) 地区

(b) 诺斯曼-威尔那 (Norseman-Wiluna) 带;

1. 金矿; 2. 污染方向

(用三阶段同位素生长模式计算)

其演化历史不同，因此矿床的形成环境也不同。

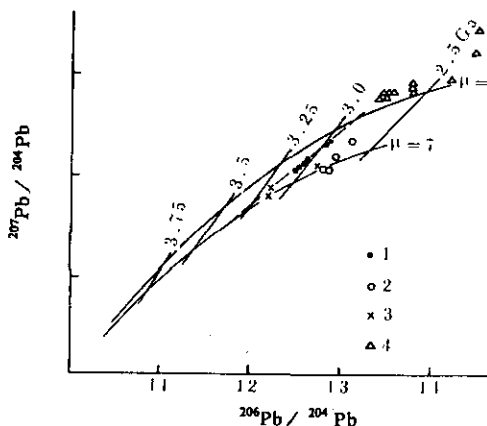


图3 南非及津巴布韦太古宇绿岩带的原生矿化铅同位素组成南非 (Saager 等, 1976)

1. 巴伯顿陆地的方铅矿、黄铁矿、辉锑矿；
2. 周围花岗岩中的长石；3. 默奇森山脉的方铅矿；津巴布韦 (Nutt 等, 1988)；4. 奎奎 (Kwekwe) 金矿田

3.3 氧同位素

我国小营盘矿床石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 11.39‰~13.71‰, 平均 12.64‰ (14 个), 而围岩浅粒岩、变粒岩的石英为 7.33‰~9.69‰, 平均 8.43‰ (3 个), 混合岩化变粒岩石英为 6.43‰~9.78‰, 平均 8.05‰ (3 个), 伟晶岩中石英为 9.24‰~12.44‰, 平均 10.84‰ (2 个) (王时麒等, 1985)。小秦岭矿床石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 6.29‰~12.69‰, 平均 10.10‰ (14 个), 铁白云石为 8.23‰~10.74‰, 平均 9.53 (11 个), 方解石为 9.93‰~21.72‰, 平均 14.73‰ (5 个) (栾世伟等, 1985)。从此可以看出, 岩石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较小, 矿石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值稍高, 其差值达 4‰ 以上。加拿大耶洛奈夫矿床 11 个石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 10.8‰~15.42‰ 间, 围岩石英为 11.29‰~15.32‰ (Fyfe 等, 1984; Fryer 等,

1979)。西澳卡尔古利矿床铁白云石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 11.5‰~13.8‰, 平均 12.4‰, 围岩的铁白云石为 8.5‰~12.5‰ (Golding 等, 1983)。国外除个别矿区外, 围岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值也小于矿石的值, 但矿脉与围岩的差值较小 (加拿大矿床 <0.5‰, 西澳矿床 <2‰)。

3.4 碳同位素

我国小秦岭矿床中碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -3.19‰~-7.59‰, 平均 -5.33‰ (14 个) (栾世伟等, 1985), 金厂峪 -4.5‰~-7.6‰, 平均 -6.12‰ (5 个)^①, 比大多数国外矿床略低。国外如西澳卡尔古利的戈尔登迈尔 (Goldenmile) 主矿脉及 4 号脉中碳酸盐 37 个值的平均值为 -3.64‰ (Golding 等, 1983 及 1988), 南非巴伯顿地区金矿床的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -2.0‰~-4.4‰, 平均 -2.5‰ (DeRonde 等, 1988, 1992), 加拿大提明斯 (Timmins) 矿带 275 个值平均为 -3.1‰, 霍林格 14 个值平均 -3.0‰, 加拿大阿罗 (Canadian Arrow) 矿床 21 个值平均 -3.6‰ (Cameron 等, 1987), 奥布赖恩 (O'Brien) 矿床 15 个值平均 -8.5‰, 帕斯卡利斯 (Pascalis) 8 个值平均 -6.9‰, 拉马奇 (Lamaque) 矿床 39 个值平均 -4.9‰, 马卡萨 (Macassa) 18 个值平均 -4.4‰, 克尔·埃迪森 (Kerr Addison) 36 个值平均 -2.7‰, 多姆 (Dome) 27 个值平均 -3.0‰ (Kontak 等, 1988)。此值与国外太古宙地壳平均值一致, 也与岩浆岩的分布范围相同, 因此国外认为其来源或与初生水 (地幔去气、花岗岩浆) 有关, 或是赋金地层变质时通过碳酸盐或硅酸盐脱碳作用所产生的 (Golding 等, 1988)。

3.5 稀土元素

我国夹皮沟矿床自然金的稀土分配曲线呈左高右低的 Eu 负异常型 ($\delta\text{Eu}=0.33$), Ce 也呈负异常 ($\delta\text{Ce}=0.4$), 它与太古宇黑云母正长片麻岩、角闪岩的曲线轮廓相似, 但自然金的

^① 柳少波 (1992), 金厂峪后韧性剪切带金矿成因及找矿靶区预测。

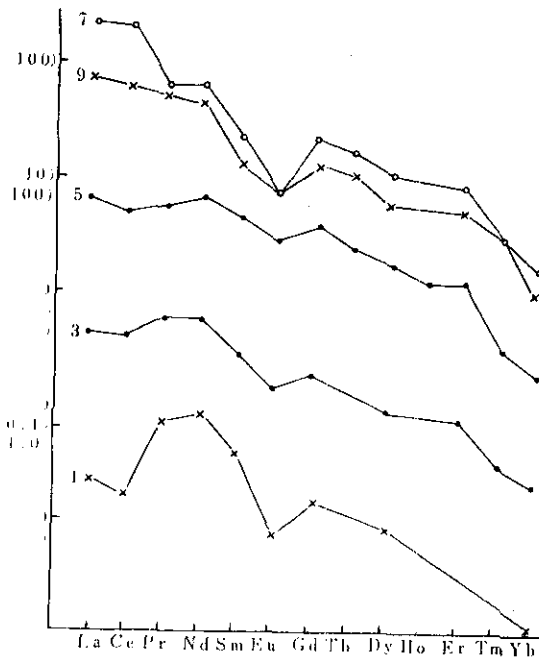


图4 夹皮沟矿床自然金、太古宇晚期花岗岩的稀土分配特征 (吴尚全, 1984)
1. 自然金; 3. 黑云母碱长片麻岩; 5. 角闪岩;
7. 海西期花岗岩闪长岩; 9. 燕山期花岗岩

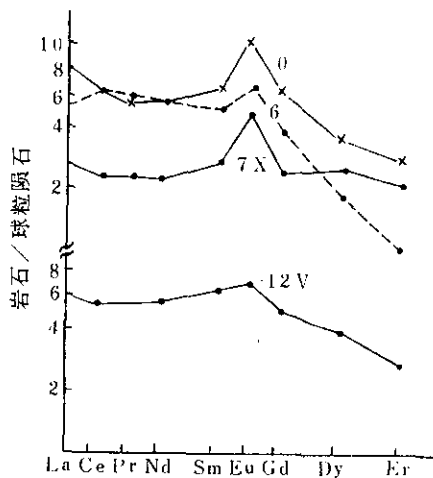


图5 加拿大多姆矿床变基性片岩中穿层石英脉的稀土分配曲线 (Kerrich 等, 1979)

Eu、Ce 负异常较大。自然金的 δEu 与海西、印支期花岗岩的也有相似之处, 但后两者无 Ce 异常 (图 4)。说明自然金与海西、印支期花岗岩都可能来自太古宙地层, 且都是地质晚期形成的。小秦岭竹峪含金石英脉与条带状混合岩也具相似特点 (王定国等, 1989)。而加拿大多姆矿床与我国情况明显不同, 石英脉的稀土曲线为近水平的 Eu 正异常型, 除个别情况外, 绝大部分 δEu 值在 1.20~2.32 间 (图 5)。这些说明国内外的矿床产在不同环境中, 国外为强还原环境, 来源岩石更偏基性, 而国内为强氧化环境, 与基性程度较低岩石有关, 同时也暗示了它们的形成年代不同。

4 成矿时代

我国的金矿床虽产在太古宇中, 但其成矿时代较新, 主要为燕山期及海西期。确定其时代的依据为: (1) 矿体切过了元古宇、500~700Ma 花岗岩及中一下古生界地层 (夹皮沟及外围); (2) 矿脉与有年龄数据且在地质上已被确定为海西、燕山期的岩脉紧密相伴, 相互穿插 (夹皮沟、小秦岭); (3) 矿脉及蚀变岩石的年龄资料 (表 1)。

从表 1 可见我国夹皮沟、小营盘矿床为海西期成矿, 金厂峪、小秦岭为燕山期产物, 区内均有同构造期花岗岩发育, 但矿化比花岗岩为晚。同时还需指出的是, 矿化及花岗岩的时代尚需作进一步准确测定。

国外金矿床与我国不同, 其成矿时代老, 为太古宙产物。它又可分为三期, 第一期的成矿时代大于 3000Ma, 如南非巴伯顿陆地、西澳皮尔巴拉区矿床; 第二期约 2700Ma \pm , 如加拿大雷德莱克 (Red Lake); 第三期约 2600Ma \pm , 为金矿的主体。80 年代末期以前, 一般采用矿石铅年龄作为成矿年龄, 并与

地层时代以及区内的花岗岩年龄进行比较, 认为它们属于同期产物 (表 2), 80 年代末期以后大量采用了矿化期形成的金红石、榍石、白钨矿等作为测试对象, 得出了更为准确的年龄值。测定结果说明国外太古宇中的主要金矿床比同区花岗岩、区域变质时代晚得多 (表 3), 但仍

表 1 含金石英脉的形成年龄 (Ma) (Wang Xiuzhang 等, 1984)

分析对象	夹皮沟	金厂峪	小营盘	小秦岭
含金石英脉	161 (钾长石) (K-Ar) ¹⁾	155±2.94 (钠长石) (K-Ar) 95~125 (石英) (裂变径迹) ²⁾ 169.8 (绢云母) (K-Ar) ³⁾	232.10±2.20 (微斜长石) (K-Ar) 247 (微斜长石) (K-Ar) ⁴⁾	66.53±2.83 (微斜长石) (K-Ar) 77 (蚀变岩) (K-Ar)
相伴岩浆岩	混合花岗岩 (被含金石英脉穿过) (K-Ar) (全岩) 459~682 花岗岩闪长岩 (穿含金石英脉, 又被稍晚石英细脉穿过) (K-Ar) (黑云母) 268; (全岩) 215 正长斑岩 (被含金石英脉穿过, 脉遭受矿化) (全岩) (K-Ar) 235 正长斑岩 (同上) 235 正长斑岩 (同上) 205 细晶岩脉 (穿含金石英脉) (全岩) (K-Ar) 288	花岗岩 (全岩) (K-Ar) 183	花岗岩 171 花岗岩、正长岩 (大区内) 258~297	伟晶岩 (被含金石英脉穿过) (微斜长石) (K-Ar) 67.78±8.40 煌斑岩 (被含金石英脉穿过) (全岩) (K-Ar) 166 煌斑岩 (穿含金石英脉) (全岩) (K-Ar) 147 花岗岩 108~130

- 1) 参考值, 偏低。
- 2) 孙家树, 杨应平 (1986), 冀东金厂峪金矿的控矿构造及金矿床的同位素地质年代学研究
- 3) 余昌涛等 (1986), 冀东主要类型金矿床铅同位素研究。
- 4) 宋瑞先、董斌 (1983), 小营盘金矿成矿地质条件及找矿方向。

表 2 国外金矿床的成矿年龄 (Ma) 及与地层 花岗岩时代的比较 (80 年代末期以前)

南部非洲	加拿大	澳大利亚
(1) 南非 (巴伯顿) 矿石 3000 (Pb-Pb) 含矿地层 (中酸性熔岩) 3160~3500 (Pb-Pb) 地层 3280~3400 (Rb-Sr) 3450 (Sm-Nd) 花岗岩 3020~3260 (Rb-Sr) 2770-2810 (Pb-Pb) 穿矿伟晶岩 3030 (Pb-Sr) (2) 津巴布韦 (奎奎) 地层 2700~2900 花岗岩 2600~2700 矿石 2500~2700	(1) 加拿大地盾 地层 2700~2750 花岗岩 2300~2600 (Pb-pb) 2673~2700 (Rb-Sr, U-Pb) 1) 矿石 2200~2700 (Pb-Pb) 伟晶岩 2600 (K-Ar) 2) 矿石 2100~2400 (Pb-Pb) 伟晶岩 2200~2400 (K-Ar) (2) 东阿伯特比带南部 地层 (火山岩) 2700~2747 侵入岩 2673~2690 矿化 2665~2690	皮尔巴拉地块 (1) 矿石 3200 (Pb-Pb) 地层 (英安岩) 3450 (U-Pb) 3500 (Sm-Nd) 花岗岩 2880~2960 (K-Ar) 2500~2900 (Pb-Pb) (2) 耶尔加恩地块东部 地层 2800~3050 (Sm-Nd) 花岗岩 2400~2500 (Pb-Pb) 2630~2650 (Pb-Pb) 2450~2550 (Pb-Pb) 矿石 2600~2800 (Pb-Pb) (3) 耶尔加恩地块北部 地层 2900~3000 (Sm-Nd) 花岗岩 2870 (Rb-Sr) 矿石 2600~2865 (Pb-Pb)
Saager 等 1976 Condie, 1981 Nutt 等, 1988 Foster, 1988	Illep, 1972 Smith, 1984 Condie, 1981 Cameron 等, 1985 Kerrich 等 1987 Marmont 等, 1988	Richards 等, 1981 Condie, 1981 Gross 等, 1984 Browning 等, 1987