

喷流型与浊流型层控金矿床

STRATABOUND GOLD DEPOSITS OF EXHALATION
TYPE AND TURBIDITY TYPE

郑明华 周渝峰 刘建明 顾雪祥 著
刘家军 张 斌 O. Schulz F. Vavtar

四川科学技术出版社

1994年·成都

序 一

在众多的金属矿产资源中,能为人类所珍贵而历经数千年而不衰者,当首推黄金。为获取黄金,无数的人冒严寒、顶烈日,栉风沐雨、前扑后继。时至今日,在世界范围内找金的热潮远未消退,在我国则正掀起一个前所未有的找金运动。

近十年来,在阿坝地块的东部(川西北地区)发现了众多的金矿床和矿化点,已成为公认的一处相当重要的金的集中区。郑明华教授及其同事和学生,长期以来对该区金矿地质进行了许多开创性的研究工作,取得了一系列的重要成果。

在当今全球性的找金浪潮中,金矿类型和金的储量明显增多,金矿形成理论更加丰富,其中海底热水喷流成矿和浊流成矿理论及其矿床的研究异军突起,各国金矿地质学家不约而同地给予极大的关注。然而,在我国对此两类重要金矿床的认识,无论从何角度来看都需急待提高。郑明华教授等基于大量的野外第一性资料和丰富的各种室内测试数据,令人信服地、系统地论证了在阿坝地块东部的北缘,产于寒武系太阳顶群硅岩层中的金矿床属海底喷流型层控金矿床;在地块东部的东缘,产于中—上三叠统复理石建造中的金矿床属浊流型层控金矿床。对此两类金矿床的确认,不仅为我国提供了极其重要的矿例,填补了空白,而且把该地区的金矿地质研究程度,提高到一个新的水平。

由于众所周知的原因,我国金矿地质研究起步较晚,一些新的矿床类型尚未进行详细的研究。对喷流型与浊流型层控金矿床只是在近年才被国人所认识。郑明华等同志为适应我国日益蓬勃发展的金矿地质找矿和研究的需要,系统分析和总结了这两类金矿床的产出大地构造背景,含矿岩系的沉积环境,含矿岩系中金及其相关元素的地球化学特征,矿床的地质特征,微量元素和稀土配分特征,同位素组成特征和成矿的物理化学条件等。最后在详细论证其成矿机制的基础上建立了成矿模式。可以认为,这些研究内容和所得出的结论,与世界上同类研究相比毫不逊色,在某些方面远高于国际同

类研究水平。

值得指出的是,郑明华教授等与奥地利茵斯布鲁克大学科学家们合作,采用先进的测试技术和研究方法,在金矿床的物质组成研究方面取得了突破性进展。在喷流型层控金矿床中首次发现了铂族金属(Pt、Pd、Os)和硒(Se)的富集体。前者在矿区的局部地段其丰度达到了综合利用的水平;后者不但可圈定出独立的矿体,而且确认出十余种独立硒矿物(其中个别为新变种),从而使原来认定的 Au—Cu—U 建造矿床扩大为 Au—Cu—U—Pt—Se 建造矿床。此类建造不仅在我国是独一无二的,在世界上也未见报导过。阿坝地块东部浊流型层控金矿床中,一般认为其矿石建造为 Au—As—Sb 建造(自然金—雄黄—辉锑矿),郑明华等同志在该层位的马脑壳金矿床中发现了大量的白钨矿,并成功地在金矿床内圈定出白钨矿矿体,其储量达中型以上,从而使矿石建造扩大为 Au—As—Sb—W 建造。层控白钨矿矿体的发现,这在西南地区尚无前例。显而易见,上述种种重要发现,不仅具有很高的理论意义,而且具有很大的经济价值,其成果无疑达到了国际先进水平。

作者在论及工业矿床的形成时强调,无论是喷流型层控金矿床,抑或浊流型层控金矿床,它们均经历了两个必不可少的成矿期:沉积—成岩期和地下水热液改造期。前者不仅促使矿质的初步富集,形成了“矿质的初步富集层”,而且是所在层位金矿床的成矿物质的提供者;后者则导致工业矿床的形成。长期以来,不少研究者认为该地区金矿床的形成与岩浆构造作用或变质作用有关。郑明华及其同事则力排众议,基于大量的氢、氧、硫、碳、铅、铷、锶等同位素组成和稀土配分特征证明,促使矿源层中成矿物质发生活化、迁移与再富集的作用,是通过由大气降水补给的加热循环地下水完成的。其论据充分,观点新颖,令人耳目一新。

还需指出的是,作者在中—上三叠统浊积岩层及层内金矿床中发现了宇宙尘和铱(Ir)的高异常现象,这显然也是具有重要意义的发现。作者根据宇宙尘埃在矿床中的分布规律:热液矿化蚀变强的富矿石中宇宙尘的含量,一般高于蚀变弱的贫矿石中的含量;普通

矿石中的含量普遍高于围岩中的含量。这确实表明,宇宙尘降落到地表水体并与沉积物共存成岩后又发生了迁移。作者认为这种迁移显然是一种物理(机械)的迁移。这无疑是对传统理论认为,在内生条件下热液对矿质的迁移形式仅能是化学迁移的冲击和挑战。

众所周知,当今层控矿床理论研究发展迅速,而海底热水喷流作用与浊流作用成矿的研究,则把层控理论研究推向一个新的阶段。目前,我国矿床地质工作者对喷流成矿和浊流成矿的兴趣日益增长,并给予愈来愈多的关注。我相信,郑明华教授等撰写的这本专著,必将以其丰富的内容、新颖的观点、创新的理论、翔实的资料和重要的发现,对层控矿床理论的研究将起积极的推动作用。此专著的出版,不仅对金矿地质工作者具有重要参考价值,而且对整个矿床学领域而言,也是一部难得的科学论著。它的出版发行必将对提高我国矿床地质工作者的理论水平和业务素质起到极好的作用。借此机会特向作者致以祝贺,我愿将此著作推荐给广大的读者们。

中国科学院院士

地质矿产部成都地质矿产研究所所长、教授

刘宝珺
1994年3月10日

序 二

以产于阿坝地块东部寒武系太阳顶群地层中的金矿和川西北松潘—甘孜褶皱系中—上三叠统地层中的金矿为典型矿例,成都理工学院郑明华教授及其同事张斌、刘建明、周渝峰、顾雪祥和刘家军等学者,在完成国家自然科学基金委员会资助的研究项目的基础上,撰写了此专著。郑明华教授等长期以来在这一地区从事层控金矿床的研究工作,为开拓川、甘、陕三省交界地带有“金三角”之称的微细细浸染型金矿床成矿远景区,与四川省地矿局、西南冶金地勘局所属地勘单位长期合作,把科研、找矿和地质教学结合起来,在研究具有我国大陆区域特色的金矿成矿规律和矿床成因类型方面,作出了卓越的成绩。

专著以《喷流型与浊流型层控金矿床》命名,展示了作者研究的两大类型金矿床的主题。全书以当代成岩成矿的新理论为指导,以研究区域内地质、矿床的实际资料为基础,并利用与国际合作研究相关课题之机,运用先进实验测试手段,把研究对象置于全球同类金矿床中进行研究,既吸取了当代国际上最新的研究成果,又以独创精神在研究中有许多新的发现,提出了成矿理论上许多新的见解。这些成果无疑将对矿床研究,特别是层控微细浸染型金矿的研究和勘查产生深远的影响和实际的指导作用。

本书在许多方面显示其创见性成果。首先确认若尔盖—阿坝地区隐伏地块的存在,命名为“阿坝地块”,并对该地块与扬子地台的关系、形成和发展过程进行了论证。首次研究确认川北降扎至甘南拉尔玛一带的寒武系太阳顶群中的金矿床为海底喷流成因层控矿床;对川西北中—上三叠统的东北寨式金矿床,进一步确定为浊流型层控金矿床。在研究喷流型矿床时,以硅质岩的成因研究为基础,并与世界上著名的喷流型矿床进行对比,作了深入的研究。这一系统性研究在本区尚属首次。

郑明华教授等在研究两类金矿床的物质成分时,均首次发现了赋存有铂族金属。在喷流型金矿床中,除铂族金属外还发现富含硒。

硒以独立硒矿物或类质同象赋存于硫化物和硫盐矿物中,而铂族元素在金矿床中局部富集可达到综合利用的指标,其富集程度与金的富集在空间上相关,时间上一致。此种铂族元素富集在喷流岩中,且与自然金、辉锑矿、雄黄等共生现象,在成矿理论上提出了除岩浆成矿作用外,热水溶液也能对铂族元素起迁移和沉淀的作用。这一发现,对矿床的形成理论、研究区域成矿条件和扩大找矿领域都具有十分重要的意义。

作者根据矿床中的新发现的共生组分,对所研究的两类金矿床的矿石建造赋予了新的内涵和新的命名。在太阳顶群已知的 Au、Cu、U 主金属外,加上新发现的可利用的 Se 和 Pt 族元素,新命名为 Au—Cu—U—Se—Pt 建造;在中—上三叠统黑色岩系中的金矿床除已知的 Au、As、Sb 外,新发现了大量白钨矿(马脑壳矿区),从而命名为 Au—As—Sb—W 建造。这是对该区矿床物质组分研究的重大贡献。作者还首次报导了在阿坝地块东部上述金矿床中发现了宇宙尘埃,并确定为铁质富铬宇宙尘。经对铱(Ir)含量的测定,判断当时有一次地外物体撞击地球表面的事件。

作为国家自然科学基金委员会资助的研究项目,已圆满地完成了既定任务。其研究成果在同类研究项目中处于领先,作为成矿理论的研究达到了国际先进水平。

这部科学著作,在论述川、甘、陕的“金三角”微细浸染型金矿床时,提供了系统的、翔实的大量宏观和微观资料,其中许多均是作者研究过程中的新发现。专著内容丰富、见解新颖、理论创新。我相信,这部著作的出版,将会发挥其理论上和指导找矿勘探工作上的极好作用。

中国地质学会理事

四川省地质学会常务副理事长、四川省地矿局总工程师

胡正钢

1994年2月28日

CONTENTS

Preface

Introduction

Chapter 1 Geological and tectonic framework of regional metallogeny

1.1 Tectonic framework

1.2 Aba—Massif and its peripheral zones

1.3 Geological framework of regional metallogeny

1.4 Summary

Chapter 2 Sedimentary environments of the ore—hosted strata

2.1 Petrography and environment of the Cambrian ore—hosted siliceous series

2.1.1 Stratigraphic division and correlation

2.1.2 Petrographical features of the Cambrian ore—hosted siliceous series

2.1.3 Formation of the ore—hosted rocks

2.1.4 Sedimentary environment of the ore—hosted silicilith (chert)

2.2 Petrography and environment of the Triassic ore—hosted siliciclastic series

2.2.1 Stratigraphic division and correlation

2.2.2 Fabric analysis of the Triassic ore—hosted siliciclastic series

2.2.3 Petrography and petro—geochemistry of the ore—hosted series

Chapter 3 Geochemistry of gold and its related elements in ore—hosted sedimentary serieses

3.1 Geochemistry of ore—building elements in the Cambrian ore—hosted series

3.1.1 Gold

3.1.2 Uranium

3.1.3 Pt—group

3.1.4 Selenium

3.1.5 Vanadium

3.1.6 Antimony

3.1.7 Copper

3.1.8 Barium

3.1.9 Mercury

3.1.10 Arsenic

3.1.11 Silver

3.1.12 Molybden

3.1.13 Tungsten and others

3.2 Geochemistry of ore—building elements in the Triassic ore—hosted series

3.2.1 Gold

3.2.2 Arsenic

3.2.3 Antimony

3. 2. 4 Tungsten

3. 2. 5 Mercury, silver, zinc and barium

Chapter 4 Strata - bound gold deposits of exhalation type in the Cambrian strata

4. 1 Geological features of deposits

4. 1. 1 Occurrence characteristics and dimensions of ore bodies

4. 1. 2 Chemical and mineral composition of ore bodies

4. 1. 3 Ore fabrics

4. 1. 4 Mineral assemblages and forming sequence of minerals

4. 2 Characteristics of trace elements and REE in ores

4. 2. 1 Content of gold and its paragenetic ore—building elements as well as elementary assemblage

4. 2. 2 Content variation and spatial zonation of the most important ore—building elements

4. 2. 3 Q—type cluster analysis of the sedimentary rocks and mineralized rocks

4. 2. 4 Diagnostic ratios of trace elements

4. 2. 5 REE characteristics

4. 3 Isotopic geochemistry

4. 3. 1 Sulfur isotopes

4. 3. 2 Hydrogen and oxygen isotopes

4. 3. 3 Carbon isotopes

4. 3. 4 Lead isotopes

4. 3. 5 Silicon isotopes

4. 4 Ore - forming physicochemical conditions and hydrothermal transport of the ore - building materials

4. 4. 1 Research on fluid inclusions

4. 4. 2 Thermochemical study of several physicochemical parameters during ore - forming process

4. 4. 3 On hydrothermal transport of gold and its paragenetic components

4. 5 Discussion of ore - building mechanism

4. 5. 1 Submarine exhalative sedimentation—formation period of source bed

4. 5. 2 Metamorphism—re enrichment of ore - building materials

4. 5. 3 Gold remobilization, transport and re enrichment through heated circulating groundwater—hydrothermal formation period of ore bodies

4. 5. 4 Surface oxidation of ores

Chapter 5 Strata - bound gold deposits of turbidity - current type in Triassic strata

5. 1 Geological features of deposits

5. 1. 1 Dongbeizhai deposit

5. 1. 2 Qiaoqiaoshang deposit

- 5. 1. 3 Manaoko deposit
- 5. 2 Ore parageneses and fabrics
 - 5. 2. 1 Ore parageneses
 - 5. 2. 2 Ore fabrics
- 5. 3 Cosmic dusts in ores
 - 5. 3. 1 Introduction
 - 5. 3. 2 Surface microfabrics of cosmic dusts
 - 5. 3. 3 Compositions
 - 5. 3. 4 Significance of the cosmic dusts in ores
- 5. 4 Characteristics of trace elements and REE in ores
 - 5. 4. 1 Contents of gold and its paragenetic ore - building elements
 - 5. 4. 2 Paragenetic assemblages of ore - building elements and their halo patterns
 - 5. 4. 3. Ratios and Q-type cluster analysis of ore - building elements
 - 5. 4. 4 REE patterns
- 5. 5 Isotopic geochemistry
 - 5. 5. 1 Sulfur isotopes
 - 5. 5. 2 Hydrogen and oxygen isotopes
 - 5. 5. 3 Carbon isotopes
 - 5. 5. 4 Lead isotopes
 - 5. 5. 5 Rb—Sr isotopes
- 5. 6 Ore - forming physicochemical conditions and hydrothermal transport of ore - building materials
 - 5. 6. 1 Research on fluid inclusions
 - 5. 6. 2 Thermochemical study of several physicochemical parameters during ore - forming process
 - 5. 6. 3 On hydrothermal transport of gold and its paragenetic components
- 5. 7 Discussion about ore - building mechanism
 - 5. 7. 1 Formation of source bed - Primary enrichment of ore materials during sedimentary - diagenetic process
 - 5. 7. 2 Gold remobilization, transport and re - enrichment through heated circulating groundwater - hydrothermal formation of ore bodies
 - 5. 7. 4 Surface oxidation of ores

Chapter 6 Conclusions

References

摘 要

近十年来,在阿坝地块的东部(川西北高原)边缘地区,陆续发现了数以十计的层控金矿床,从而引起了国内外地质界的极大兴趣。

在地块东部的北缘,存在一套形成于被动大陆边缘拉张构造背景下的寒武系含金建造。该建造由硅岩夹板岩组成。赋矿的硅岩黑色地层以富含有机质和大量钙藻、兰绿藻等低等微生物为特征。根据其岩石特征、微量元素地球化学特征、稀土配分和同位素组成等,均显示为海底热水喷流作用的产物。产于此喷流岩中的金矿床,矿体一般沿顺层破碎带分布,形态为似层状和透镜状,其产状与围岩产状大体一致。矿石中的矿物和元素组合复杂。已鉴定出的金属矿物多达 60 种,除黄铁矿、白铁矿、辉锑矿等常见矿物外,还含有相当数量的铜、铀、硒等的独立矿物,且在局部地段,其聚集程度达到了工业利用的水平,因而可以分别圈定出独立的铜、铀、硒矿体。特别值得指出的是,在金矿石中发现了铂族元素的高异常,在矿体的局部地段, $Pt+Pd+Os$ 总量可以达到综合利用的程度。显而易见,产于寒武系喷流岩中的层控金矿床,实是国内仅见的 $Au-Cu-U-Se-Pt$ 建造矿床。此种建造矿床不仅国内尚无先例,国外也未见报导过。

在地块东部的东缘,未见寒武系硅岩层存在,但却有一套分布面积广泛、厚度巨大的中—上三叠统复理石建造地层。研究结果表明,这套地层是由浊流作用形成的。在这套浊积岩系地层中已有众多金矿床被发现,其中不乏具工业价值和规模巨大者。此类金矿床中矿体受控于黑色板岩和粉砂岩层中的断裂破碎带。矿体形态亦多呈似层状、透镜状和脉状,与围岩产状大体一致。矿石中的矿物和元素组合较简单,除常见的黄铁矿、白铁矿、毒砂等外,以产出大量的雄黄和辉锑矿为特征,在个别矿床(如马脑壳矿床)中还发现大量的白钨矿。除金矿体外,在矿区内还可圈定出独立的雄黄矿体和白钨矿矿体。因此,中—上三叠统浊积岩系中的层控金矿床,实际上是一类 $Au-As-Sb-W$ (自然金—雄黄—辉锑矿—白钨矿)建造矿床。此类建造矿床也极具特色,在我国也尚无与其类同者。

无论是产于喷流岩中的金矿床抑或产于浊积岩中的金矿床,其形成均经历了沉积—成岩和地下热(卤)水活动两个必不可少的成矿期。前一成矿期使沉积层中出现了成矿元素的高异常和黄铁矿、雄黄等纹层的形成,从而导致矿质的初步聚集;后一成矿期则使矿质初步富集层中的成矿组分发生活化、迁移和再聚集,并最终导致工业矿床的形成。氢氧同位素组成特征表明,导致成矿活化、迁移乃至富集的作用,是通过下渗的大气降水和部分建造水经加热对流循环和溶滤作用的结果。

在系统地分析和总结两个赋矿层位岩石和金矿石的稀土配分型式、微量元素及其特征元素比值以及碳、硫、铅、铷、铯等同位素组成特征表明,寒武系硅岩层是该层位中产出的金矿床的主要矿质提供者;中—上三叠统浊积岩层则是赋存于该层位中金矿床的主要矿质提供者。换言之,两类层控金矿床所在层位地层既是容矿层也是矿源层。

上述两类层控金矿床,无例外地金的矿化均以微细浸染状的、不可见金形式产出。金矿体与围岩的界线仅能根据化学分析数据加以圈定。近矿围岩的热液蚀变种类最重要的是硅化和方解石化。硅化与较早阶段的金矿化有关;方解石化则与较晚阶段的金矿化关系密切。

对两类金矿床中若干矿物气液包裹体化学成分的测定表明,成矿溶液的含盐度中等,

普遍含有 CO_2 、 CH_4 、 H_2S 等成分,成矿温度一般低于 250°C ,成矿压力较低,属浅成矿床。物理化学和热力学的理论计算显示,含矿热液中金多以硫氢络合物形式进行迁移。热水溶液浸取矿源层中成矿物质的有利条件,应是相对强的碱性和较高的硫逸度。 pH 值的降低和硫逸度的下降则是导致成矿物质发生沉积的基本条件。实现有利成矿条件的基本途径是沸腾酸化和混合冷却。

在中—上三叠统浊积岩和金矿石中,首次发现了宇宙尘。宇宙尘在矿床中的分布规律为:矿石中的含量大于围岩,富矿石中的含量又大于贫矿石。即宇宙尘的含量与矿化蚀变强度呈正相关关系。这显然表明,坠落于沉积层中的宇宙尘,在地下热水活动期曾被迁移和富集。由此可以表明,在内生环境下热水溶液对矿质的迁移,化学形式并不是唯一的。矿质的物理(机械)形式迁移不仅是可能的,而且是现实的。

阿坝地块东部不同层位中赋存的金矿床,鉴于其受层位和岩性的控制如此明显,以致迄今对其所表现出来的层控性质已为众所公认。又鉴于金的矿化以微细浸染状的、不可见金的形式产出,因而一些研究者将其与卡林型金矿相类比。然而,就其产出的主岩性质抑或矿石建造,都与典型的卡林型金矿床存在不同程度的差异。著者认为,将本区产于喷流岩层中的金矿床称之为“拉尔玛式”金矿床,将产于浊积岩层中的金矿床称之为“东北寨式”金矿床是适宜的。

必须指出的是,对喷流型层控金矿床和浊流型层控金矿床的理论研究,在我国尚处于起步状态,进一步加强此类金矿床的研究和找寻工作,必将对提高金矿地质的成矿理论水平和改善我国金矿资源面貌,起十分重要的作用。

Stratabound Gold Deposits of Exhalation Type and Turbidity Current Type

Abstract

During the last decade, several tens of stratabound gold deposits were found in the eastern Aba - massif, in NW Sichuan, a part of the Qinghai - Xizang Plateau. This gives rise to great interest among geoscientists both at home and abroad.

At the northern margin of the eastern Aba - massif, there is a gold - bearing Cambrian formation, formed under a tectonically tensional background of passive continental margin and composed of black cherts and slates. The ore - bearing cherts are characterized by a high concentration of organic carbon and a lot of primary microbes, such as calc algae, blue green algae, etc. . According to study of petrography, trace elements, rare earth elements and Si - O isotopes, the cherts are products of submarine hydrothermal exhalation. Gold deposits occur in the exhalative cherts with bedded - quasibedded and lens - like ore bodies showing approximately conformable attitudes with the host rocks and being developed in bedding fractural - brecciated zones. Element paragenesis and mineral assemblage of ores are very complicated. There are more than 60 various minerals in ores. Besides ordinary minerals such as pyrite, marcasite, stibnite etc. , we have also a lot of minerals of copper, uranium as well as selenium which are enriched at some parts of deposits to the degree of industrial use. Independent Se, Cu and U ore bodies could be delimited. Particularly interesting is that there is an abnormally high concentration of Pt - group metals in ores, which are locally enriched to the degree of industrial by - products. With such a complex element paragenesis of Au - Cu - U - Se - Pt, the stratabound gold deposits in the Cambrian exhalative rocks are really unusual, in fact, this type of deposit was known for the first time in China.

Instead of Cambrian chert, a wide - spread, extremely thick flysch formation of Middle - Upper triassic occurs at the eastern margin of the eastern Aba - massif. Our research proves it to be formed by turbidity current sedimentation. Tens of gold deposits were found in this sedimentary formation, some of them have more than ten tons of gold. Ore bodies, in form of lens, quasibed and vein, are developed along fractural zones in black slate and siltstone, and show approximately conformable attitudes with the host rocks. Element paragenesis and mineral assemblage of ores are relatively simple. Besides pyrite, marcasite and arsenopyrite, the ores are characterized by a lot of realgar and stibnite as well as large amounts of scheelite in the Manaoke deposit. Apart from gold ore bodies, there are also independent ore bodies of realgar and scheelite in some parts of deposits. In all, the stratabound gold deposits in the Middle - Upper Triassic turbidites belong to a special deposit type, with an element paragenesis of Au - As - Sb - W (gold - realgar - stibnite - scheelite), which is also unusual in China.

The above two types of stratabound gold deposits both underwent two ore - building periods, namely a sedimentary - diagenetic period and a hydrothermal mineralization period

of heated, circulating groundwater (meteoric water). During the sedimentary — diagenetic period, a high concentration of ore — building elements and pyrite — and realgar — rich beds were formed. This was a stage of preliminary enrichment of ore materials, and a stage of source bed formation. During the second period, ore materials in the Triassic source bed were remobilized, migrated and re-en-riched, and in this way the present ore bodies were formed. Research on O-H isotopes indicates that the hydrothermal ore-building solution was derived from heated and circulating meteoric water and partly formation water which leached out ore materials all along their circulation pathes, and then re-precipitated them in fractural zones (a re — enrichment stage).

We have systematically carried out geochemical investigation on trace elements and their typic ratios, REE and their patterns, as well as isotopic composition of carbon, sulphur, lead, rubidium and strontium, both in host rocks and in ores of these two types of gold deposits. All our researches indicate that the ore — building materials in the both types of deposits were derived from their host rocks. In other words, the host rocks have played the role of source bed.

Both in the exhalation type deposit in Cambrian rocks and in the turbidity current type deposit in Triassic rocks, gold occurs in so called "micro — disseminated", invisible form. Gold ore bodies can only be contoured out from host rocks by chemical analytical data. Silification and carbonatization are the most important hydrothermal alterations in host rocks. Silification is closely related to an earlier hydrothermal mineralization stage and carbonatization to a later one.

Chemical analytical data of fluid inclusions in several minerals in ores show that the ore — building hydrothermal solution, with a middle salinity, contained CO_2 , CH_4 , H_2S etc. . Homogenization temperatures lie mostly under 250°C . Pressure measurement of fluid inclusions suggest a low pressure during hydrothermal ore formation. The both types of deposits are epithermal. Physicochemical theoretical studies indicate that gold was transported mainly in form of thio — complexes in the ore — building solutions and relative alkalic and sulphur — rich conditions were favourable for gold remobilization and transport in the hydrothermal solution. Gold was precipitated mainly in response to lowering of pH — value and sulphur concentration resulting principally from boiling and mixing of hydrothermal solution with cold groundwater.

In deposits in the Triassic turbidites, cosmic dusts are discovered for the first time. Following distribution pattern was proved: cosmic dusts are concentrated in rich ores more than in poor ores, and in poor ores more than in host rocks. In other words, concentration of cosmic dusts is positively closely correlated to mineralization strength. This indicates that during the hydrothermal mineralization period cosmic dusts in the sedimentary rocks were transported and enriched to a certain degree, which further suggests that chemical migration was not the only mechanism for the transport of ore materials in endogenous hydrothermal solutions. Migration of one materials in mechanical (physical) forms is not only possible but does exist.

The investigated two types of stratabound gold deposits are so clearly confined by strata and host rock types that their strataboundness is agreed by all economic geologists. Because of the micro-disseminated, invisible form of gold in the ores, the deposits are thought to be comparable with the so-called "Carlin-type" deposit in the USA. But there are differences between the Carlin-type and the investigated types both in host rocks and in ore formations. The authors suggest to call the deposits in Cambrian exhalative rocks as "Laerma-type" (exhalation type) and the deposits in Triassic turbidites as "Dongbeizhai-type" (turbidity current type).

It is worthy to mention that research on the exhalation type and turbidity current type of stratabound gold deposits is just at beginning. Further systematical study and exploration on these types of deposits will certainly greatly improve both theoretical development concerning gold mineralization and exploitation of gold resources in China.

Schichtgebundene Goldlagerstätten des Exhalationstyps und Turbiditstromstyps

ZUSAMMENFASSUNG

Im vergangenen Jahrzehnt wurden zahlreiche schichtgebundene Goldlagerstätten im Ostteil des Aba - Massives in der Hochregion von NW - Sichuan entdeckt, was Lagerstättenforscher nicht nur in China, auch in Ausländern sehr interessiert.

Am N-Rand östliches Aba-Massives befindet sich eine kambrische Gold - enthaltende Abfolge, die für Produkt im extentional tektonischen Rahmen eines passiven Kontinentalrandes gehalten wird und hauptsächlich schwarz - schwarzgrauen Kieselgestein und Tonschiefer einschließt. Die schwarzen Kieselgesteine sind durch hohe Konzentration von organischen Materialien sowie Kalkalgen und grünbraunen Algen gekennzeichnet. Nach petrographischen Untersuchungen und geochemischen Befunden von SEE und anderen Spurenelementen, sowie von Si-O Isotopen, wurde das erzhaltigen Kieselgestein durch submarine hydrothermale Exhalation gebildet. Die im groben konkordanten, schichtig-quasischichtigen und linsenförmigen Erzkörper wurden meistens entlang Verwerfungszonen zwischen den Schichten entwickelt. Sehr komplex sind die Mineral- und Element-Paragenesen im Erz. Es sind mehr als sichzig verschiedene Minerale beobachtet. Außer den ordentlichen Sulfiden wie Pyrit, Markasit, Antimonit etc., treten noch Minerale von Kupfer, Uran und Selen auf, die stellenweise abbauwürdig angereichert sind. Es wurden demnach unabhängige Cu-, U-, Se-Erzkörper bestimmt. Als Besonderheit sind in den Lagerstätten zum Erstmal durch unsere Untersuchung hochhaltige Platinmetalle bekannt worden, die stellenweise als Nebenprodukt zu bezeichnen sind. Die in der kambrischen submarin exhalativen Abfolge befindlichen schichtgebundenen Lagerstätten gehören demzufolge zu einem selten zu findenden Lagerstättentyp von Au-Cu-U-Se-Pt-Metallen-Paragenese, der in China sonstwo noch nicht berichtet wurde.

Am O-Rand östliches Aba-Massives, statt der kambrischen Abfolge, tritt eine sehr weit verbreitete, mächtige flysche Abfolge von Mittel-Ober-Trias auf, die laut unserer Untersuchung als Turbidit zu deuten ist und hauptsächlich feinklastische, kalkige, tonige und kieselige Quarzpsammite bis Grauwacke, Mergel- und Tonschiefer einschließt. In dieser Abfolge befinden sich zahlreiche schichtgebundener Goldlagerstätten, viele davon wirklich von großer wirtschaftlicher Bedeutung sind. Noch einmal sind die Erzkörper hier im groben konkordant, schichtig - quasischichtig, linsen - oder lagergangförmig und meistens entlang Verwerfungszonen zwischen tiefgrauen Psammiten und Schiefen entwickelt worden. Die Mineral - und Elementparagenese ist relativ einfach. Neben Pyrit, Markasit und Arsenkies ist das Erz durch große Menge von Realgar und Antimonit gekennzeichnet. Es tritt in manchen

der Lagerstätten, z. B. der Lagerstätte Manaoko, eine große Menge von Scheelit auf. Demnach wurden außer der Golderzkörper auch mehrere Realgar- und Scheelit-Erzkörper unabhängig bekommen. Die in der mittel-ober-triassischen Abfolge befindlichen schichtgebundenen Lagerstätten gehören demzufolge zu einem eigenartigen Lagerstättentyp von Au-As-Sb-W-Paragenese (Gold-Realgar-Antimonit-Scheelit), der in China auch selten zu finden ist.

Die beiden oben genannten schichtgebundenen Goldlagerstättentypen haben zwei wichtige erzbildende Perioden erlebt, nämlich eine frühere sedimentär-diagenetische Periode und eine spätere Remobilisationsperiode durch gehitzte Wässer. Während der ersten Periode fand eine primäre Anreicherung der Erzmaterialien durch synsedimentäre und diagenetische Vorgänge statt, und zwar in der Form von positiver Anomalie der Erzmaterialien und Feinlagerbauen von Pyrit und Realgar in den Sedimenten. Während der zweiten Periode wurden die Erzmaterialien in den Sedimenten durch Hydrothermallösung remobilisiert, transportiert und dann re-angereichert, indem die heutigen abbauwürdigen Erzkörper entstanden. Befunde von Sauerstoff- und Wasserstoff-Isotopen sagen aus, daß diese Hydrothermallösung hauptsächlich aus zirkulierenden und erhitzten Untergrundwässern und teilweise aus Formationswässern bei Sedimentsabfolge entstand.

Wir haben geochemische Untersuchungen von SEE-Mustern, Spurenelementen und ihren Verhältnissen, O-, S-, Pb-, Rb- und Sr-Isotopen systematisch im Erz und im Nebengestein der beiden Lagerstättentypen durchgeführt, was andeutet, daß die Erzmaterialien beider Lagerstättentypen aus ihrem Nebengestein vorkamen.

Gold in den beiden Lagerstättentypen kommt submikroskopisch ("micro-disseminated, invisible") vor. Die Erzkörper sind nur laut chemischer Analyse zu belegen. Hydrothermale Umwandlungen wie Verkieselung und Kalkspatisierung sind zu beobachten, die beide mit Golderzbildung im engen Zusammenhang stehen, und zwar die Verkieselung mit einem früheren und die Kalkspatisierung mit einem späteren Erzbildungsstadium.

Chemische Befunde von Flüssigkeitseinschlüssen in Gangartmineralen der beiden Goldlagerstättentypen deuten an, daß die erzbildende Hydrothermallösung mit einer mittleren Salinität und einem niedrigen Druck solche Komponente wie CO_2 , CH_4 , H_2S etc. enthielt. Homogenisierungstemperatur liegt meistens niedriger als 250°C . Die Lagerstätten könnten demnach als epithermal bezeichnet werden. Physikalisch-chemische Untersuchungen weisen darauf hin, daß Gold in der erzbildenden Lösung hauptsächlich in der Form von Thiokomplexen dürfte transportiert werden. Ein hohes pH-Wert und eine hohe S-Fugazität der erzbildenden Lösung war in dem Fall günstige Bedingungen für Gold Remobilisation aus dem Sediment. Eine Absinkung von pH-Wert und S-Fugazität der Lösung dürfte der Hauptmechanismus für Gold-Ablagerung aus der Lösung sein, dies durch Sieden - Versauerung und Zusammenmischung von erzbildender Lösung und kalten Untergrundwässern könnte ergeben werden.

Es wurden durch unsere Untersuchungen erstmals im Erz der Lagerstätten in der mittel-ober triassischen Abfolge zahlreiche "cosmic dusts" beobachtet, deren Gehalt mit dem

Goldkonzentration im engen Zusammenhang steht, nämlich "cosmic dusts" — Gehalt des Erzes höher als des Nebengesteins, und im Gold-reichen Erz höher als im relativ Gold-armen Erz. Das weist darauf hin, daß die "cosmic dusts" während der hydrothermalen Erzbildungsperiode durch die Lösung transportiert und dann im Erz angereichert wurden, und zwar nicht nur chemisch sondern auch mechanisch, da die "cosmic dusts" immer noch in der ursprünglichen Form bleiben. Das bedeutet, daß auch in der epigenetischen Lösung erz-bildende Materiale mechanisch können transportiert werden.

Alle Erzkörper stehen in so engen Zusammenhang mit Schichten und Gesteintypen der jeweiligen sedimentären Abfolge, daß die Schichtgebundenheit der beiden Goldlagerstättentypen von niemand bezweifelt wird. Aufgrund der submikroskopischen Form vom Gold im Erz werden die Lagerstätten von manchen Kollegen mit den Goldlagerstätten, der so genannten "Carlin-type" in USA verglichen. Aber sie unterscheiden sich mit dem "Carlin-type" nicht nur in Nebengesteinstypen sondern auch in Erzparagenesen. Wir schlagen vor, nach der Lagerstätten-Ansicht, die Lagerstätten in der kambrischen exhalativen Abfolge "Laerma-Typ" (Exhalationstyp) und die in der mittleren-ober-triassischen Turbiditätsabfolge "Dongbeizhai-Typ" (Turbiditätsstromstyp) zu benennen.

Es ist nennenswert, daß Untersuchungen über die schichtgebundenen Goldlagerstätten des Exhalationstyps und des Turbiditätsstromstyps erst angefangen wurden. Weitere Untersuchungen und Exploration sind sicher von großer Bedeutung, beides für die theoretische Entwicklung der Lagerstättenkunde und für die praktische Entwicklung vom Goldbergbau in China.