



华南下寒武统 重晶石矿床的地球化学特征

——以天柱大河边—新晃超大型重晶石矿床为例

夏 菲 著



科学出版社

华南下寒武统重晶石矿床的 地球化学特征

——以天柱大河边一新晃超大型重晶石矿床为例

**The Geochemical Characteristics of the Lower
Cambrian Barite Deposits in South China**

夏 菲 著

国家自然科学基金项目（编号：40232020，40272080，40872072，40972067）

江西省高校高水平学科“地质资源与地质工程”

江西省重点学科“地质学”

江西省优势科技创新团队“核资源勘查与方法”

联合资助

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书选取华南扬子地块东南缘的湘黔桂陆缘断陷盆地为主要研究区,以天柱大河边一新晃重晶石矿床、玉屏重晶石矿床为主要典型研究矿床,通过对上述两个重晶石矿床的矿石矿物学、微量元素地球化学、同位素地球化学及其热水沉积成矿机制的研究,探讨了热水沉积成矿作用与生物-环境演化关系,认为华南晚震旦一早寒武世热水沉积成矿作用促进了生物-环境演化,并为后期的华南燕山期大面积成矿提供了重要的成矿物质来源。

本书可供矿物岩石矿床学、地球化学等方面的研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

华南下寒武统重晶石矿床的地球化学特征:以天柱大河边一新晃超大型重晶石矿床为例/夏菲著. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-033703-0

I. ①华… II. ①夏… III. ①寒武纪-重晶石矿床-地球化学-特征-中南地区 IV. ①P619.250.626

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 035814 号

责任编辑:罗 吉 尚 雁 曾佳佳/责任校对:纪振红

责任印制:赵德静/封面设计:许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 6 月第一次印刷 印张: 9 1/4

字数: 180 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

热水沉积成矿作用的发现和相关研究成果被认为是继板块构造学说以来地球科学界的又一重大突破。海底热水沉积成矿作用是岩石圈与大洋（水圈）在洋脊扩张中心、岛弧及板内活动中心发生热和化学交换作用的产物，这种交换过程不仅产生了具有重要经济意义的金属与非金属矿床，而且对水圈和生物圈产生重大影响，成为当今地球科学重大前沿研究领域之一。

自 20 世纪 60 年代在红海海底发现现代热水沉积物以来，诸多学者就开始了热水沉积成矿作用的研究，70 年代末期大洋中脊热泉沉积的发现使热水沉积成矿的研究提高到一个新的发展阶段。热水沉积作用的普遍发现和深入研究为沉积成矿学的发展提供了新的研究领域和研究课题：①在沉积物的物质来源上，有必要重新认识和强调热卤水的来源。②热水的独特性质也为化学沉积成矿作用的研究开辟了新的思路，对于那些极难从海水中富集到巨大规模的海相沉积物中的金属与非金属矿床，热水沉积作用理论可以很好地解释其成因。③热水沉积作用沉积方式的多样性。研究表明，热水可以平静地溢入海盆，也可以猛烈爆发甚至以沸腾方式进入海盆；热水可与海水混合发生化学聚沉，也可被生物吸收后再聚集，还可以交代-充填早期沉积物。④热水沉积作用的判别标志。通过对现代海底热水沉积物的地质和地球化学特征的研究，运用将今论古的科学方法，逐步识别出了古代海

相热水沉积产物，并总结出热水沉积作用的一系列判别标志。

近年来，国内外学者通过研究认识到地质历史中的海底热水沉积成矿作用主要发生在大陆边缘或拗拉槽裂谷中，而边缘裂谷比洋底裂谷和陆内裂谷更加有利于热水沉积成矿，这主要是因为其热历史和热状态不同。边缘裂谷的热状态变化极大，在稳定阶段受到沉积厚度及裂陷作用影响，在活动阶段则受到深部地幔柱的影响，地幔柱的作用是促使地壳中呈分散状态的金属富集成矿。此外，同生断层对海相热水沉积矿床的形成也有重要的控制作用，它是沟通地壳浅部和深部的渠道，是收集和汇总含矿流体向上运移的通道，同生断层在海底出露的地段又是矿液上涌的喷口和矿石的堆积场所。总而言之，海相热水沉积成矿理论是一个具有旺盛生命力的新学说，还有待进一步研究和勘察，不断地检验和完善。

华南扬子地块是我国古热水沉积成矿作用最为发育的地区之一，其热水沉积特性最早引起我国学者的关注。华南下寒武统黑色岩系中赋存多个与热水沉积成矿作用相关的大型、超大型重晶石矿床与 Ni-Mo-U-V 多金属富集层。进一步研究分布在华南扬子地块黑色岩系中的金属、非金属矿床成因及其地球化学特征，对认识华南乃至全球晚震旦一早寒武世生物与环境演化有着十分重要的意义。

本书选取华南扬子地块东南缘的湘黔桂陆缘断陷盆地为主要研究区，天柱大河边一新晃超大型重晶石矿床、玉屏重晶石矿床为主要研究矿床，研究取得了以下创新性成果：①首次对天柱大河边一新晃超大型重晶石矿床矿石矿物进行了系统的电子探针研究，发现并描述了矿石矿物组合中的钡冰长石矿物，并证实其是热水沉积作用的产物，为重晶石矿床热水沉积成因提供了直接的证据；②对矿床矿石和围岩进行了系统的微量元素地球化学分析，系统分析了矿石的稀土元素分配模式特征，论证了矿石及围岩硅质岩的微量元素具热水沉积成因特征；③首次对矿床矿石和围岩进行了系统的 C、O、Pb、Sr 同位素组

成分析,并探讨了矿床的成矿物质来源。结果表明 Ba、Pb 等成矿物质来源与热水沉积作用有关,这为揭示矿床的热水沉积成因及晚期矿化特征提供了坚实的同位素地球化学依据;④进一步完善了矿床的热水沉积成矿机制与热水沉积成因模式,提出了热水成矿系统流体由下渗海水与深源流体混合形成的新认识;⑤进一步探讨了热水沉积成矿作用与生物-环境演化关系,认为华南晚震旦一早寒武世热水沉积成矿作用促进了生物-环境演化,并为后期的华南燕山期大面积成矿提供了重要的成矿物质来源。

本书主要研究成果来自我的博士毕业论文,在此衷心感谢我的导师,南京大学地球科学与工程学院马东升教授、东华理工大学孙占学教授的悉心指导和帮助;感谢南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室蒋少涌教授、凌洪飞教授、陆建军教授、王汝成教授、倪培教授、陈培荣教授、季峻峰教授、华仁民教授、胡凯教授、胡文瑄教授、姜耀辉教授、孙涛教授、杨競红副教授、裘丽雯高级实验师、濮巍高级实验师、赖明远高级实验师、刘登平老师、高剑锋老师在样品分析测试过程中的言传身教;感谢南京大学地球科学与工程学院刘宪华老师、王淑君老师、张孝琴老师、陈旻老师、谢国爱老师、周爱梅老师、杨瑞炎博士、杨海林博士、钟锺博士、赵世龙博士、祝晓彬博士、赵葵东博士、许宝田博士、吴昀昭博士、曹剑博士、李才明博士、王孝磊博士、张爱铖博士、侯明兰博士、刘莉硕士、吴凯硕士、周健硕士、罗吉同学及地球化学教研室全体老师在学习、生活中的热情帮助;感谢贵州省国土资源局的吴祥和研究员在野外工作中的指导。

我还要感谢东华理工大学刘庆成教授、许从年教授、徐跃进教授、花明教授、刘晓东教授、潘家永教授、巫建华教授、张展适教授、杨亚新教授、龚育龄教授、罗明标教授、李金轩教授、余达淦教授、汤彬教授、郭福生教授、聂逢君教授、饶明辉教授、管太阳教授、李德平教授、林子瑜教授、吴仁贵教授、张树明教授、王正其教

授、刘成东教授、彭花明教授、谢财富教授、张卫民教授、李满根教授、曹双林副教授、陈少华副教授、谢青霞副教授及地球科学学院全体教职工的支持、关心与帮助!

特别感谢我的爱人刘江女士、儿子夏侯淏小朋友及全体家人的理解、支持和鼓励,感谢所有给予我支持和帮助的朋友、同学和亲人。

本项研究得到国家自然科学基金项目(编号:40232020, 40272080, 40872072, 40972067)、江西省高校高水平学科“地质资源与地质工程”、江西省重点学科“地质学”、江西省优势科技创新团队“核资源勘查与方法”的资助。

由于时间和作者水平等原因,书中不成熟的观点乃至谬误之处在所难免,敬请读者指正。

作 者

2011 年 12 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究目的与意义	1
1.2 研究现状	2
1.2.1 热水沉积作用的研究现状	2
1.2.2 热水沉积矿床的分类及特点	5
1.2.3 海相热水沉积矿床的研究意义	7
1.2.4 我国热水沉积成矿作用的研究现状及发展趋势 ...	9
1.3 研究内容、方法与技术路线	11
1.3.1 研究内容	11
1.3.2 研究方法与技术路线	12
第 2 章 区域地质背景	14
2.1 大地构造背景	14
2.2 区域地层	16
2.2.1 前寒武系地层	16
2.2.2 古生界	16
2.2.3 中、新生界	18
2.3 区域构造	18

2.3.1 江南深大断裂	18
2.3.2 镇远—芷江深断裂	20
2.3.3 贡溪复式向斜	20
2.4 区域岩浆活动	20
2.5 区域矿产分布	21
本章小结	22
第3章 矿床地质特征	24
3.1 天柱大河边—新晃超大型重晶石矿床地层与构造特征 ...	24
3.1.1 矿区构造特征	24
3.1.2 矿区地层特征	26
3.2 矿体特征	27
3.3 矿石矿物特征	29
3.4 玉屏重晶石矿床地质概况	32
3.4.1 矿区构造与地层特征	32
3.4.2 矿体与矿石矿物特征	33
本章小结	34
第4章 矿床矿物学特征	36
4.1 矿石矿物组成及其特征	36
4.1.1 矿物分析方法	37
4.1.2 重晶石	38
4.1.3 钡冰长石	41
4.1.4 黄铁矿等硫化物矿物	42
4.1.5 含稀土矿物	45
4.1.6 矿石矿物流体包裹体特征	46
4.2 矿床成因指示	48
本章小结	51
第5章 矿床微量元素地球化学特征	52

5.1 微量元素地球化学特征	53
5.1.1 微量元素分析方法	53
5.1.2 天柱大河边—新晃重晶石矿床微量元素地球化学 特征	55
5.1.3 玉屏重晶石矿床微量元素地球化学特征	62
5.2 稀土元素地球化学特征	67
5.2.1 天柱大河边—新晃重晶石矿床稀土元素地球化学 特征	67
5.2.2 玉屏重晶石矿床稀土元素地球化学特征	75
本章小结	80
第6章 同位素地球化学特征	82
6.1 碳、氧同位素地球化学特征	82
6.1.1 碳、氧同位素组成	82
6.1.2 碳的来源探讨	84
6.2 硫同位素地球化学特征	86
6.3 铅同位素地球化学特征	88
6.3.1 铅同位素组成	88
6.3.2 铅的来源探讨	93
6.4 锶同位素地球化学特征	97
6.4.1 海水的锶同位素组成与演化	97
6.4.2 锶同位素组成	98
6.4.3 锶的来源探讨	101
本章小结	103
第7章 热水沉积成矿作用与生物-环境演化	105
7.1 矿床热水沉积成矿机制	105
7.1.1 区域构造特征	105
7.1.2 岩相古地理特征	107

7.1.3 矿床地球化学特征	108
7.1.4 矿床成矿模式	110
7.1.5 找矿远景及标志	112
7.2 华南晚震旦—早寒武世热水沉积成矿作用与生物-环境 演化	112
7.2.1 热水沉积成矿作用促进生物-环境演化	114
7.2.2 生物-环境演化有利于热水沉积成矿	115
本章小结	116
第8章 结束语	118
8.1 主要研究成果与结论要点	118
8.2 存在的问题	120
参考文献	122

第1章 绪 论

1.1 研究目的与意义

华南扬子地块是我国古热水沉积成矿作用最为发育的地区之一，其热水沉积特性最早引起我国学者的关注（陈先沛，1986）。华南下寒武统黑色岩系中赋存多个与热水沉积成矿作用相关的大型、超大型重晶石矿床，其形成的时间区段正值寒武纪“生命大爆发”前夕及开始时间。Lott (1999)、Li (2000)、Steiner (2001)、Ma (2004, 2003)、Pan (2004) 等对华南下寒武统底部 Ni-Mo-U-V 多金属富集层进行了系统的矿物学与地球化学研究。研究表明，Ni-Mo-U-V 多金属富集层形成于海相热水沉积作用。Ma (2004, 2003)、Pan (2004) 等对华南下寒武统黑色岩系的微量元素研究表明，华南下寒武统底部黑色岩系由于热水沉积作用影响而强烈富集 Ni、Mo、V、U、Ba 等成矿元素。

天柱大河边一新晃重晶石矿床、玉屏重晶石矿床位于华南扬子地块的东南缘，湘黔桂陆缘断陷盆地中，湘黔边界处（朱训等，1999）。其中大河边一新晃重晶石矿床是储量最大、矿石质量最好的超大型重晶石矿床，矿床产出在下寒武统牛蹄塘组底部，含矿岩系为黑色硅质

岩、碳质页岩夹磷块岩、重晶石矿层和碳质页岩序列。国内外许多学者就华南下寒武统重晶石矿床的分布、组成特征和沉积类型进行了广泛的讨论,但对其成因尚有许多争议:褚有龙(1989)持陆源化学沉积成因的观点;高怀忠(1998)则认为海水中的浮游生物和藻类对钡(Ba)的富集和沉积起着至关重要的作用,提出了生物化学沉积成矿模式;彭军等(1999)通过对重晶石包裹体特征的研究,吴朝东等(1999a)、方维萱等(2002)通过对重晶石矿床矿石和围岩的微量元素及稀土元素地球化学特征的研究,均认为矿床的形成是海底热水沉积作用的结果。

选择大河边一新晃重晶石矿床、玉屏重晶石矿床作为华南下寒武统典型的重晶石矿床开展系统的矿物学、岩石学、地球化学研究,不仅有助于进一步探讨分布在华南扬子地块黑色岩系中的金属、非金属矿床成因及其地球化学特征,而且对认识华南乃至全球晚震旦一早寒武世生物与环境演化有着十分重要的意义。

1.2 研究现状

1.2.1 热水沉积作用的研究现状

热水沉积作用是指岩石圈中以水为主的流体体系在其循环流动中,获得化学物质,到达地表或地表附近时,所发生的沉积作用、交代-充填作用和热动力作用(侯增谦等,2003)。岩石圈中热水沉积作

用是非常重要的地质作用,经常伴生成矿物质的富集。自 20 世纪 60 年代初首次在红海海底发现现代热水沉积物以来,对该现象的研究已引起国内外学者的广泛关注,并已成为地质学理论的新生长点。由于热水沉积作用的复杂性,不同学者以不同的名词来表达热水沉积作用,如喷气沉积、喷流沉积、热卤水沉积、热液沉积、温泉堆积等,不同的历史阶段,对热水沉积作用内涵的认识不是完全一致的。

通过热水沉积作用形成的矿床被称为热水沉积矿床(陈先沛等, 1997)。涂光炽先生(1987)将热水沉积矿床定义为:“热水沉积矿床是指在热水介质(海水、湖水和热泉等,水温在 $90\sim 350^{\circ}\text{C}$ 或更高)中形成的矿床。”

热水沉积作用最早的概念为喷气成矿作用。Vogt 于 1889 年就提出了产于火山岩和火山沉积岩中块状硫化物矿床与海底火山活动有关的论点,德国著名的矿床学家 Schneiderhohm 首先将喷气作用(exhalation)引入矿床学,并于 1925 年明确提出了“矿化流体海底上升喷气”的理论(刘家军等, 1991)。最初的喷气作用专指与岩浆有关的成矿作用,其“气”专指岩浆分离出的气体。1958 年, C. Oftedahl 修改了矿床喷气起源的旧概念,首次系统地阐述了海底喷气-沉积成矿的假说,并命名为“exhalative sedimentary”,引起了地质学界的极大关注与争议。

1948 年,瑞典海洋考察船“Albatross”(信天翁)号在红海中部水深 1937m 处发现水温及盐度异常,从而拉开了人类认识现代海底热水沉积作用的序幕。自 20 世纪 60 年代以来,通过大规模的海洋地质调查,首先在红海海底发现了热卤水池及其中 2m 厚的富含 Fe、Mn、

Zn、Cu 的沉积矿化体；1977 年又在东太平洋隆起水深 2600m 以下的海底直接观察到了喷溢的热水柱（黑烟囱），随后陆续在各大洋中脊有热水喷流的发现和报道（Horibe et al. , 1986；Rona, 1984, 1983；Edmon et al. , 1983）。到 1988 年已发现 150 余处海底热泉，而且还不断有新的海底热泉被发现（陈先沛等，1997）。现代热水沉积作用的发现大大推动了热水沉积矿床理论的研究，矿床学家经过深入的研究发现：产于沉积岩中的许多“喷气”矿床并不伴随明显的气体喷射活动，而主要是热液的沉积作用。Sangster (1985) 认为：“喷气实际上是指喷到海底的流体而不是气体，因为从通道搬运至海底，应当是液体状态”。所以许多学者用“喷流-沉积作用”或“喷溢-沉积作用”代替了“喷气-沉积作用”。

80 年代以来，“喷流-沉积”或“喷溢-沉积”矿床的研究受到国内学者普遍重视，并创造性地提出了热水沉积作用的概念。涂光炽 (1989, 1987) 首先指出：“热水沉积矿床指在热水介质中形成的矿床。矿床主体以沉积方式形成于水-岩界面之上的水体中，但也包含此界面以下可能存在的，以交代和充填方式形成的筒状、锥状或面型热液含矿蚀变体，两者可共生或分别出现。”这个范围较广泛的定义深刻地揭示了热水沉积矿床的本质。王秀璋等 (1986) 认为热水沉积矿床是层控矿床的一种特殊类型，包括过去所称的火山沉积矿床、火山喷气矿床、热泉矿床、海底喷气矿床等。陈先沛等 (1997) 对热水沉积矿床开展了深入系统的研究，并得出了以下重要结论：

(1) 温度明显高于当地背景温度的水称为热水，热水温度可达几十至数百摄氏度，且温度越高，成矿意义越大。

(2) 热水的来源是相当复杂的, 可以是地表的大气水、海水、岩浆期后热液或上述几种的混合, 热水沉积作用仅仅强调水的热状态、运移方向和堆积方式, 而不涉及水的来源。

(3) 热水沉积作用与过去流行的热液作用既有区别又有联系, 热液成矿作用强调地表之下的交代、充填、结晶作用, 而热水沉积作用主要是地表水-岩界面附近所发生的沉积作用, 也有交代、充填和热动力作用。

总之, 热水沉积这个广义的术语概括了循环对流的热水体系在涌出带附近所发生的作用, 它包括了喷气沉积作用与喷流沉积作用。对热水沉积作用的研究包括对现代热水体系的观察和古代热水沉积作用的识别与重建。

1.2.2 热水沉积矿床的分类及特点

由于热水沉积矿床包括了范围广泛的成矿系列, 故有很多的分类方案, 但主要根据以下三方面进行划分。

1) 根据矿床的容矿岩石及成矿环境划分

如 Sangster (1985) 将火山喷气-沉积矿床划分为三类, 即产于沉积岩、火山岩及火山-沉积岩环境中的矿床。白文吉 (1985) 将热水沉积矿床划分成四类, 即黑矿型 (产于海洋区板块聚敛处的长英质钙碱性火山岩中)、塞浦路斯型 (产于板块扩张处蛇绿岩体上部的低钾玄武质火山岩中)、别子型 (产于无固定板块构造环境中的碎屑沉积岩及铁镁

质火山岩中)、沙利文型(产于沉积岩为主的岩系中)。涂光炽(1989)将产于地层中的热水沉积矿床分为两大类,即产于主要为火山岩层序中的矿床与产于火山岩中的矿床,然后按其他标志进行细分。

2) 根据矿石组分划分

如 Huchison (1973) 首先提出按矿石组分将火山喷气-沉积矿床划分为三类,即 Zn-Cu 型、Pb-Zn-Cu-Ag 型与 Cu-黄铁矿型; Rona (1984) 将现代洋底扩张中心的热水沉积矿床按成分与结构分为五类:块状硫化物类、浸染状硫化物类、网脉状硫化物类、结核状氧化物类与含金属沉积物类。

3) 根据大地背景来划分

如芮宗瑶(1989)将火山喷气-沉积矿床划分为六类:大洋中脊型、海沟型、火山岛弧型、弧后盆地型、大陆裂谷黑碎屑岩型与大陆裂谷碳酸岩型。

热水沉积矿床有以下主要的特征:

(1) 热水沉积作用与洋中脊、裂谷和断陷盆地的发育和演化密切相关(王京彬, 1991; 李朝阳, 1990; Kazmin, 1987), 如现代热水沉积作用主要发生在洋中脊附近。一些著名的超大型矿床, 如加拿大沙利文 Pb-Zn 矿床、澳大利亚麦克阿瑟河矿床与芒特艾萨矿床及德国麦根矿床都产于裂谷带中。

(2) 热水沉积矿床矿石具有一定特征的结构构造及不对称蚀变, 产于水-岩界面以上的矿体是沉积作用形成, 为层状、似层状的块状