

GUTIANRANQI SHENLOU YU  
MENGKUANG CHENGKUANG

© 周 琦 杜远生 著

# 古天然气渗漏 与锰矿成矿

——以黔东地区南华纪“大塘坡式”锰矿为例

地 质 出 版 社

# 古天然气渗漏与锰矿成矿

——以黔东地区南华纪“大塘坡式”锰矿为例

周 琦 杜远生 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本书运用成矿系统理论和天然气渗漏形成冷泉碳酸盐岩的观点,分析论述了古天然气渗漏所导致的成岩成矿作用,并以黔东南地区南华纪“大塘坡式”锰矿为例,分析研究其地质背景、地层学与沉积学和地球化学特征,初步提出了古天然气渗漏系统导致锰矿形成的成矿模式和新的找矿标志,具有重要的理论和实践意义。

本书可供从事地质和矿产勘查、成矿理论研究人员和地质矿产类专业的大学生、研究生和教师参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

古天然气渗漏与锰矿成矿:以黔东南地区南华纪“大塘坡式”锰矿为例 / 周琦, 杜远生著. —北京:地质出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-116-07519-1

I. ①古… II. ①周…②杜… III. ①锰矿床—矿床成因论—贵州省 IV. ①P618.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 272268 号

---

责任编辑:柳青 付庆云

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324573 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:[zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京天成印务有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:7.5

字 数:200 千字

印 数:1—500 册

版 次:2012 年 1 月北京第 1 版

印 次:2012 年 1 月北京第 1 次印刷

审图号:黔 S (2011) 009 号

定 价:30.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-07519-1

---

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

# 序

进入 21 世纪以来，针对经济社会发展的需求，加强重要矿产资源的勘查和研究正面临良好机遇。锰矿是我国十分紧缺的战略矿产之一，而华南“大塘坡式”锰矿是我国最重要的锰矿类型。它产于南华纪下统大塘坡组底部的黑色岩系中，规模大、分布广，广泛分布在黔、湘、渝、鄂以及桂北等地区。20 世纪发现的一批著名的锰矿床，如贵州松桃的大塘坡、杨立掌、大屋，湖南花垣民乐、怀化江口，重庆秀山溶溪、革里坳、湖北长阳等，已建成了我国重要的锰工业基地。但自 20 世纪 80 年代中期至 21 世纪初，在成矿理论研究方面一直未有大的进展，制约了该类型锰矿新的找矿突破。

本书作者周琦长期从事华南“大塘坡式”锰矿勘查与研究，在其丰富的实践经验基础上，又与中国地质大学（武汉）杜远生教授等进行产学研结合。自 2004 年以来，共同多次深入黔东等地的锰矿区进行系统研究工作。运用成矿系统理论和天然气渗漏形成冷泉碳酸盐岩的观点，对黔东地区锰矿及赋矿围岩地层与沉积学以及地球化学等方面作了大量的研究，提出了“大塘坡式”锰矿成矿的一些全新的论点和找矿标志，主要有：

一是分析研究了菱锰矿体和白云岩透镜体的 C、O 同位素和 S 同位素的组成和特征，提出了“大塘坡式”锰矿为冷泉碳酸盐岩成因，其形成环境受 Rodinia 超大陆裂解而成的凹陷盆地控制。

二是运用成矿系统的观点，提出南华系大塘坡组的菱锰矿体与白云岩透镜体和下伏两界河组的白云岩透镜体，都是同一古天然气渗漏系统中不同时期的冷泉碳酸盐岩沉积物。

三是发现了与现代冷泉十分相似的渗漏沉积构造——气泡状构造、底辟构造、渗漏管构造以及一系列软沉积变形纹理等。

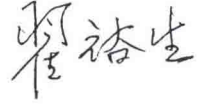
四是发现了 Mn/Cr 比值规律：即大中型锰矿床含锰岩系中的黑色碳质粘土岩中 Mn、Cr 微量元素含量的平均值之比（Mn/Cr），几乎均等于一常数，即 40 左右。无锰矿的地区，Mn/Cr 比值则无此规律。

五是初步提出了“大塘坡式”锰矿的天然气渗漏系统形成锰矿的成矿模式和找矿模型。

按照辩证唯物主义的观点，理论来源于实践，是实践经验的总结。理论又高于实践，实践是基础，理论是指导。古天然气渗漏与锰矿成矿的研究成果，很好地体现了这一点，并在实践中得到了检验。近年来，在国土资源大调查的背景下，贵州省地矿局 103 地质队充分运用这一研究成果指导“大塘坡式”锰矿找矿，开展成矿预测，进

行政深找盲，发现了新的锰矿床类型，实现锰矿找矿重大突破，在全国地矿界产生了较大影响。谨向作者们表示祝贺和敬意。

相信本书对华南地区“大塘坡式”锰矿以及其他类似矿床的成矿理论研究和找矿会提供有益的帮助和借鉴。



2011 年 12 月 10 日

# 目 录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 序                        |      |
| 第一章 绪 论                  | (1)  |
| 第一节 冷泉碳酸盐岩研究现状及进展        | (1)  |
| 一、现代冷泉及分布                | (1)  |
| 二、天然气渗漏与冷泉碳酸盐岩形成         | (3)  |
| 三、古代冷泉碳酸盐岩研究现状           | (3)  |
| 第二节 课题来源、研究内容和完成工作量      | (4)  |
| 一、课题来源                   | (4)  |
| 二、研究内容                   | (5)  |
| 三、完成工作量                  | (5)  |
| 第三节 主要研究进展与创新成果转化        | (5)  |
| 一、主要进展和创新成果              | (5)  |
| 二、科技成果转化情况               | (6)  |
| 第二章 区域地质背景               | (7)  |
| 第一节 研究区自然地理              | (7)  |
| 第二节 区域构造背景               | (8)  |
| 一、大地构造背景                 | (8)  |
| 二、华南新元古代裂谷盆地演化           | (8)  |
| 三、Rodinia 解体与华南新元古代裂谷作用  | (9)  |
| 四、湘黔地区南华纪早期次级拉张盆地的形成与分布  | (9)  |
| 第三节 区域地层                 | (10) |
| 第三章 黔东地区南华纪冷泉碳酸盐岩地层学与沉积学 | (13) |
| 第一节 黔东地区南华纪早期地层学         | (13) |
| 一、地层区划                   | (13) |
| 二、岩石地层                   | (13) |
| 三、“含锰岩系”与冷泉碳酸盐岩          | (17) |
| 四、大塘坡期与两界河期冷泉碳酸盐岩的相互关系   | (19) |
| 第二节 冷泉碳酸盐岩沉积学            | (22) |
| 一、冷泉碳酸盐岩形态及空间展布          | (22) |
| 二、古天然气渗漏沉积构造             | (27) |
| 三、冷泉碳酸盐岩矿物成分与结构特征        | (36) |
| 第三节 分析与讨论                | (50) |

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| 一、古天然气渗漏与 Sturtian 冰期结束 .....  | (50) |
| 二、现代冷泉碳酸盐岩沉积 .....             | (51) |
| 三、南华纪与现代冷泉碳酸盐岩沉积特征对比 .....     | (56) |
| 第四章 冷泉碳酸盐岩元素地球化学特征 .....       | (58) |
| 第一节 样品采集与实验方法 .....            | (58) |
| 一、主量元素测定 .....                 | (58) |
| 二、稀土及微量元素测定 .....              | (58) |
| 第二节 主量元素 .....                 | (58) |
| 第三节 微量元素 .....                 | (62) |
| 一、Mn/Cr 比值规律的发现 .....          | (62) |
| 二、Mn/Cr 比值规律在锰矿成矿预测中的应用 .....  | (63) |
| 第四节 稀土元素 .....                 | (64) |
| 第五章 冷泉碳酸盐岩碳、氧、硫同位素地球化学 .....   | (66) |
| 第一节 样品采集与实验方法 .....            | (66) |
| 第二节 碳、氧稳定同位素特征 .....           | (66) |
| 一、冷泉碳酸盐岩碳、氧同位素特征 .....         | (66) |
| 二、大塘坡组第一段冷泉碳酸盐岩的碳、氧同位素特征 ..... | (68) |
| 三、两界河组冷泉碳酸盐岩碳、氧同位素特征 .....     | (70) |
| 第三节 冷泉碳酸盐岩硫同位素特征 .....         | (71) |
| 一、异常高的硫同位素特征 .....             | (71) |
| 二、硫同位素演化规律 .....               | (73) |
| 第四节 分析与讨论 .....                | (75) |
| 一、现代冷泉碳酸盐岩稳定同位素特征 .....        | (75) |
| 二、与现代冷泉碳酸盐岩稳定同位素对比分析 .....     | (76) |
| 第六章 冷泉碳酸盐岩有机地球化学特征 .....       | (79) |
| 第一节 样品采集及实验方法 .....            | (79) |
| 第二节 有机碳同位素测定和结果 .....          | (79) |
| 第三节 生物标志化合物 .....              | (79) |
| 第四节 有机碳及氯仿沥青“A”含量 .....        | (80) |
| 第五节 分析与讨论 .....                | (83) |
| 第七章 天然气渗漏对锰矿的控矿研究 .....        | (84) |
| 第一节 “大塘坡式”锰矿成因研究评述 .....       | (84) |
| 第二节 现代天然气渗漏演化模型 .....          | (85) |
| 一、泥火山、底辟构造与天然气水合物 .....        | (85) |
| 二、泥火山与金属成矿 .....               | (88) |
| 三、天然气渗漏阶段演化地质模型 .....          | (89) |
| 第三节 古天然气渗漏演化与南华纪锰矿成矿 .....     | (89) |
| 一、古天然气渗漏导致微生物大量繁殖 .....        | (90) |
| 二、华南新元古代岩浆活动提供锰质来源 .....       | (91) |

三、南华纪天然气渗漏的时间与诱发因素 ..... (92)

四、南华纪天然气渗漏控制菱锰矿的形成 ..... (92)

结论 ..... (95)

致谢 ..... (97)

参考文献 ..... (98)

Abstract ..... (108)

# 第一章 绪 论

## 第一节 冷泉碳酸盐岩研究现状及进展

### 一、现代冷泉及分布

冷泉 (Cold seep), 即海底天然气渗漏, 是一个在全球海洋环境广泛分布的自然现象<sup>[1~9]</sup>。具体指分布于大陆边缘海底来自沉积界面之下, 以水、碳氢化合物 (天然气和石油)、硫化氢、细粒沉积物为主要成分, 流体温度与海水相近的流体, 并广泛发育于活动和被动大陆边缘斜坡海底。

1984 年在美国俄勒冈州岸边俯冲区首次发现了冷甲烷渗透流之后, 在太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋活动的和被动的的大陆边缘 14 ~ 3500 m 深处发现了数十个冷泉。研究程度最深的冷泉包括阿留申群岛、卡斯凯迪亚、巴巴多斯、俄勒冈州沿岸和墨西哥湾等地区<sup>[1]</sup>。由于海底天然气水合物 (俗称“可燃冰”) 的发现, 引起了各国科学家和各国政府的高度重视, 故冷泉及冷泉碳酸盐岩成为当今地球科学研究的热点之一。冷泉是继洋中脊以下盆源中高温流体的热泉被发现和研究之后的又一个新的盆地流体沉积领域<sup>[10~14]</sup>。科学界将深海中发现的热泉和在近大陆地区发现的冷泉归属于 20 世纪最后 25 年中最重要的发现<sup>[1]</sup>。

冷泉在海底沿构造带和高渗透地层呈线性群产出, 也有围绕泥火山或底辟顶部集中分布, 呈圆形或不规则状冷泉群出现, 在海底地形低凹处和峡谷转向处也有呈孤立冷泉形式产出<sup>[14,15]</sup>。在构造变形或超压体系下冷泉流体将沿断层或底辟构造中应力梯度方向运移<sup>[16]</sup>, 深部油气藏或储层游离态天然气以渗漏方式沿断层等通道向海底运移, 在水合物稳定带内的天然气以游离态气泡形式迁移, 部分渗漏天然气沉淀为水合物, 部分渗漏天然气通过微生物活动, 转变为  $\text{CO}_2$  沉淀为冷泉碳酸盐岩, 部分渗漏天然气则喷溢进入上覆水体<sup>[14,17,18]</sup> (图 1-1)。整个渗漏系统天然气渗漏活动非常强, 可运移至海底, 在海底可观测到进入上覆水体的渗漏天然气气泡, 并在水体中形成气泡羽状体<sup>[19]</sup>。

流体以沉积建造流体、卤水、液化泥和碳氢化合物等为主, 其中的碳氢化合物主要是细菌生物成因的甲烷气、热解天然气或二者的混合<sup>[14]</sup>。

冷泉按其成因可分为两种类型: 一是盆地生物成因的甲烷水合物来源, 主要发育于大陆坡次级小盆地沉积层中, 以细分散状产出; 二是热和生物混合成因天然气水合物来源, 主要沿次级盆地边缘断裂带发育或分布在盐丘的顶部<sup>[9]</sup>。

墨西哥湾 Bush Hill 是世界上研究最深入的海底渗漏系统之一。海底天然气渗漏系统与生长断裂相连的逆断层系中, 海底正在喷溢天然气和沉淀水合物, 同时海底冷泉生物群非常发育<sup>[9,20,21]</sup> (图 1-2)。

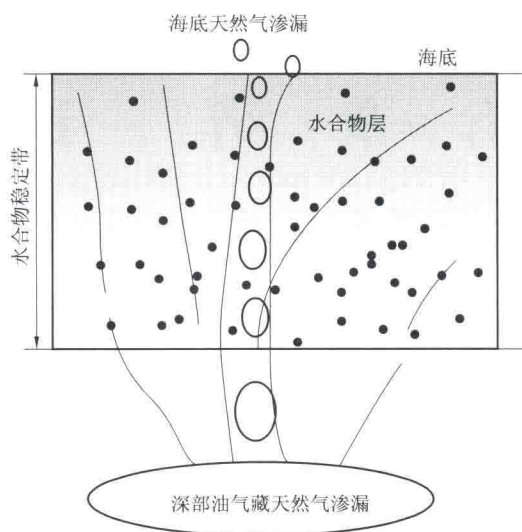


图 1-1 海洋环境天然气渗漏系统水合物概念示意图

深部渗漏天然气沿断裂等通道向海底渗漏，在渗漏过程中部分渗漏天然气在水合物稳定带内沉淀为水合物，天然气在水合物稳定带内是以游离气（气泡）形式迁移，残余渗漏天然气喷溢进入上覆水体，因此，在渗漏系统水合物稳定带内是水-水合物-游离气的三相热力学体系

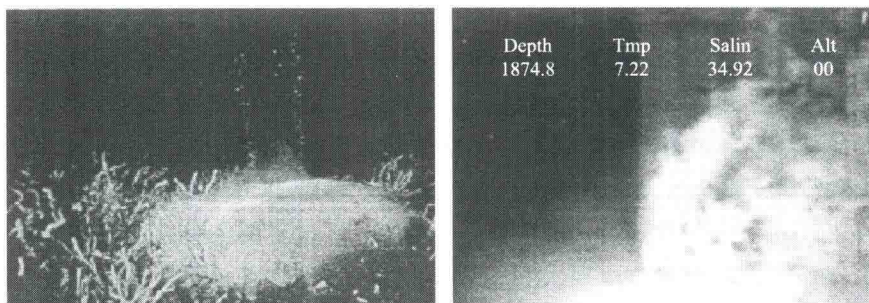


图 1-2 Bush Hill 海底天然气渗漏气泡流（左）和邻近区海底天然气快速喷流（右）

我国从 1997 年开始组织开展对天然气水合物的前期研究。1999 年，国土资源部启动了天然气水合物的海上勘查，开展了 18 个航次的调查工作，发现我国南海北部陆坡存在十分有利的天然气水合物赋存条件，并取得了一系列地球物理学、地球化学、地质学、生物学等明显证据。2004 年，广州海洋地质调查局与德国科学家合作，利用德国“太阳号”科学考察船，通过海底电视观测和海底电视监测抓斗取样，在 3000 m 深海底，首次发现了南海“冷泉”喷溢形成的巨型碳酸盐岩，面积达 430 km<sup>2</sup>，并命名为“九龙甲烷礁”。在九龙甲烷礁区碳酸盐岩结壳裂隙中，科学家发现了天然气水合物甲烷气体喷溢形成的菌席和双壳类生物。这证实了“冷泉”仍在活动。这一发现证实，中国南海北部海域有可燃冰。2005 年中国科学院南海海洋研究所在九龙甲烷礁、西沙海槽水合物异常区外又发现“明珠甲烷礁”<sup>[22,23]</sup>。

2007 年 4 月，我国正式启动南海北部陆坡海域天然气水合物钻探工作。同时有来自 9 个国家的外国科学家和工程技术人员参与工作。5 月 1 日凌晨，钻探船在南海北部神狐

海域的一号钻探站位, 钻探获取海底多段沉积物岩心, 在海底以下 183 ~ 201 m, 水深约 1245 m 处, 我国首次成功获得了天然气水合物实物样品。紧接着又于 5 月 15 日 在第四个站位再次获得天然气水合物实物样品, 天然气水合物的沉积层厚度达 34 m, 气体中甲烷的含量高达 99.8%。无论是矿层厚度之大、水合物丰度之高, 还是甲烷含量之纯, 都远超出世界上其他地区类似分散浸染状的水合物 (中国地质调查局, 2007, 图 1-3)①。

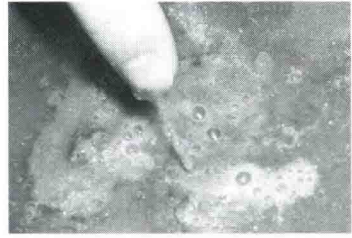


图 1-3 现代天然气水合物  
水中溶解造成的气泡

## 二、天然气渗漏与冷泉碳酸盐岩形成

天然气渗漏区存在多种生物化学和化学作用。以甲烷为能源的微生物可形成微生物席, 甚至还可形成高达数米的微生物礁和泥晶丘<sup>[9,14,24~27]</sup>。也可能出现宏体生物, 如密集的虾群、贻贝类、蛤类、腹足类和管状蠕虫<sup>[12,28,29,30,56,57,70]</sup>。这些生物以甲烷及其氧化物为能源, 常以丰度高而多样性低的种群为特征。由于甲烷水合物富含  $\text{Ba}^{2+}$  离子<sup>[31,32]</sup>, 它们的加入会在甲烷渗漏区形成孔洞充填重晶石<sup>[33]</sup>和层状重晶石沉积。在有氧条件下, 甲烷被喜氧微生物作用氧化 (有氧甲烷氧化), 产生  $\text{CO}_2$  ( $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ )<sup>[34]</sup>。源于甲烷的  $\text{CO}_2$  可溶解碳酸盐 ( $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+}$ ), 导致局部碳酸盐溶解和低 pH 值条件<sup>[35]</sup>, 延缓碳酸盐沉淀, 并使孔洞扩大, 发生破裂。在无氧条件下, 由于硫酸盐还原细菌作用, 甲烷发生缺氧氧化, 形成生物碳酸盐和单硫化物 ( $2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ )<sup>[36]</sup>。由甲烷产生的生物碳酸盐局部超饱和能增强碳酸盐沉淀 ( $2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ), 形成凝块状微晶灰岩、放射状和葡萄状文石胶结物<sup>[29,37~39,40~42]</sup>。即形成冷泉碳酸盐岩。过饱和的  $\text{HS}^-$  也会增强黄铁矿沉淀, 并常以草莓状形式出现。甲烷是自然界  $\delta^{13}\text{C}$  值最低的物质, 平均约为  $-60\text{‰}$ <sup>[34,43,44]</sup>。因此, 有氧甲烷氧化产生的  $\text{CO}_2$  和缺氧甲烷氧化产生的生物碳酸盐都具有异常低的  $\delta^{13}\text{C}$  值<sup>[45~47]</sup>。冷泉碳酸盐岩沉积是海底天然气渗漏系统的重要标志, 是指示天然气水合物可能存在的重要证据。

## 三、古代冷泉碳酸盐岩研究现状

由于埋藏压实作用和成岩作用的改造, 与甲烷渗漏相关的这些沉积构造很难完整保存下来。因此, 在识别古代甲烷渗漏构造过程中, 过去多以碎屑岩中突然出现富含自养宏体动物化石的碳酸盐岩透镜体或碳酸盐岩充填的裂隙和孔洞为标志<sup>[28,29]</sup>。近年在白垩纪和中新世地层中发现了保存良好的甲烷渗漏构造, 为这方面的研究提供了可参考的重要线索。在美国西南部及墨西哥晚白垩世 Pierre 页岩中发现了保存良好的帐篷状生物丘, 高 4 ~ 8 m, 宽 10 ~ 16 m, 呈明显的丘状隆起<sup>[48,49]</sup>。生物丘核部发育下切深达 30 m、晶洞发育的球粒微晶灰岩, 而核部两侧则发育由贻贝类形成的介壳灰岩。在意大利西北部下中新统 Marmorito 灰岩中, 甲烷渗漏证据则表现为零星分布的块状碳酸盐岩以及由碳酸盐岩胶

① <http://www.cgs.gov.cn>。

结物充填的网状脉和裂隙<sup>[30]</sup>。在美国加利福尼亚州中新世 Santa Cruz 泥岩中,直径数厘米至 1 m,顺层至垂层面分布的管状碳酸盐岩构造被认为是甲烷气体和流体运移的通道<sup>[50]</sup>。在美国加利福尼亚州西部晚白垩世至古新世 Moreno 组发现了迄今保存最完整的甲烷渗漏构造系统<sup>[27]</sup>。其中甲烷气体和流体形成的砂岩脉从源区向上侵入,穿透了约 700 m 厚的页岩层,并在顶部砂岩层中形成了富含自养动物化石群落的透镜状冷泉碳酸盐岩<sup>[51]</sup>。

20 世纪末以来的 10 年,覆盖于新元古代晚期 (Marinoan 冰期,约 635 Ma) 冰成岩之上的薄层盖帽碳酸盐岩 (震旦系陡山沱组底部) 的研究是近年地球科学中最引人注目的现象之一,被认为是古代冷泉碳酸盐岩成因。它具有其他地质时期碳酸盐沉积所不具备的独特性质,包括:① 近于同时的全球性分布和均一的厚度 (多为 1~10 m),与冰成岩直接接触,界线截然;② 绝大部分为微晶或细晶碳酸盐岩,偶尔发育粒序层和丘状交错层理,表明沉积于较深水环境,极可能在风暴浪基面之下;③ 大多数情况下,盖帽碳酸盐岩已完全白云岩化,与上覆地层 (灰岩,细粒硅质碎屑岩) 间岩性变化截然,在岩性转换面附近出现重晶石、扇状文石簇 (大多已方解石化);④ 所有的盖帽碳酸盐岩都具有显著的碳同位素负异常 ( $\delta^{13}\text{C} \leq -5\text{‰}$ );⑤ 特殊的沉积构造组合,如帐篷构造、层状平顶晶洞、层状裂隙、胶结角砾和管状构造<sup>[27,52~55]</sup>。被认为是甲烷渗漏成因,即盖帽碳酸盐岩及其同位素异常是因为极端寒冷气候之后,甲烷在碳酸盐过饱和和海洋中氧化的结果<sup>[56,57]</sup>。

比震旦纪陡山沱组底部的盖帽碳酸盐岩更老的、作为天然气渗漏成因研究的碳酸盐岩是南华纪早期的冷泉碳酸盐岩,系作者在导师杜远生的指导下发现和进行研究的。周琦、杜远生等<sup>[83]</sup>在研究贵州松桃大塘坡南华系下统铁丝垅组冰碛层 (相当于 Sturtian 冰期) 之上的菱锰矿沉积特征时,在菱锰矿沉积层中发现了大量的、罕见的含沥青的气泡状构造和孔洞构造、底辟构造、帐篷构造、泥火山、渗漏管等构造。在相当于 Sturtian 冰期沉积的两界河组-铁丝垅组含砾碎屑岩沉积物中突然出现层纹状含砾白云岩丘或透镜体。这些沉积构造和特征与现代海底天然气渗漏沉积十分相似。通过对该地区及其毗邻锰矿区研究,这套碳酸盐岩分布在一组同期形成的断陷盆地近中心区域 (见图 3-11),菱锰矿、白云岩等碳酸盐岩位于黑色岩系下部。进一步对其矿物成分、碳、氧、硫稳定同位素特征的研究,发现除碳稳定同位素表现出强烈的负偏移外,硫同位素值表现出明显的正偏移。TOC 值较高。其特征与现代海底天然气水合物的渗漏、释放与环境突变所形成的冷泉碳酸盐岩机理一致,从而提出华南南华纪早期的“大塘坡式”菱锰矿及白云岩沉积属于较典型的古天然气渗漏沉积的产物,即冷泉碳酸盐岩。

南华纪早期的冷泉碳酸盐岩的特征与现代冷泉碳酸盐岩沉积特征十分相似。基本上不存在人们对陡山沱组底部盖帽碳酸盐岩的古甲烷渗漏沉积成因解释提出的质疑或存在的问题,故是较为典型的古代冷泉碳酸盐岩沉积。这一认识拓展了海底天然气水合物研究领域和时空范围,对其所导致的成岩成矿作用、环境评价的分析研究提供了新思路。

## 第二节 课题来源、研究内容和完成工作量

### 一、课题来源

课题主要来源为贵州省科技基金项目 (20072160)。同时得到国家自然科学基金项目

(No. 40621002)、教育部创新团体发展计划(RT00546)项目、中国石油化工股份有限公司海相油气勘探前瞻性项目(No. G0800-06-ZS-319)等的资助。

## 二、研究内容

一是对黔东新元古代南华纪早期冷泉碳酸盐岩事件沉积研究:运用现代海底天然气渗漏系统形成冷泉碳酸盐岩的思路,将今论古,研究南华纪早期冷泉碳酸盐岩的特征。

二是对黔东新元古代南华纪早期冷泉碳酸盐岩地质地球化学特征研究:通过对冷泉碳酸盐岩的地质特征,碳、氧、硫等同位素、微量元素、微生物作用等特征进行研究,总结其地质地球化学特征和分布规律。

三是对黔东新元古代南华纪早期冷泉碳酸盐岩事件沉积进行沉积盆地分析:通过对沉积岩和沉积相、地球化学、古构造、岩浆活动等研究成果进行沉积盆地分析,并结合“Rodinia”超大陆裂解,探讨锰质来源、沉积菱锰矿的成因,建立了南华系“大塘坡式”菱锰矿的冷泉碳酸盐岩的沉积成矿的概念模式。

## 三、完成工作量

项目研究期间围绕选题,在黔东地区对南华纪大塘坡早期黑色含锰岩系中的碳酸盐岩沉积进行了较为深入的研究。相继完成了松桃县大塘坡、大屋、西溪堡、杨立掌、万山下溪锰矿区典型剖面、巷道、钻孔和江口桃映剖面的详细观察研究、取样。收集了毗邻的湘西、渝东南地区锰矿区的资料。还5次到大塘坡锰矿区进行详细的研究,特别是深入采矿巷道中进行详细研究和取样。

通过近3年的野外调查和室内综合研究,所完成主要实物工作量有:路线地质调查长约20 km,矿山坑道调查5000 m,钻孔岩心编录和观察300 m,观察地层剖面5600 m;各类样品的采集共90件,其中包括:碳、氧同位素样66件(其中有机碳同位素样1件),岩矿石薄片21片,光片6片,电镜片5片,常量元素分析18件,稀土元素分析6件;收集整理了贵州103地质队、原贵州108地质队和湖南405地质队部分菱锰矿、白云岩的分析测试资料。

# 第三节 主要研究进展与创新成果转化

## 一、主要进展和创新成果

(1) 利用现代冷泉和冷泉碳酸盐的研究思路,研究了黔东地区新元古界南华系下统铁丝垅组冰碛层(相当于Sturtian冰期)之上,大塘坡组底部一套黑色岩系当中的含锰的碳酸盐岩(菱锰矿、含锰白云岩)沉积取得重要进展,发现了目前世界上最古老的冷泉碳酸盐岩:一是通过野外的详细调查和研究,在贵州松桃大塘坡地区南华纪早期冷泉碳酸盐岩中发现了大量的、罕见的含沥青的孔洞构造、气孔构造、底辟构造、帐篷构造、上拱的纹层状构造、渗漏管构造、泥火山等典型的古天然气渗漏构造。其特征与现代海底天然气水合物的渗漏构造十分相似。另外,在相当于Sturtian冰期沉积的两界河组(南华系最底部)-铁丝垅组含砾碎屑岩中又发现多个层纹状含砾白云岩丘或透镜体,构成了从南

华纪两界河早期至大塘坡早期的一个较完整的天然气渗漏沉积系统。二是通过对黔东南地区南华系大塘坡组底部黑色含锰岩系中的菱锰矿体、白云岩透镜体进行了碳、氧、硫稳定同位素特征的研究,发现碳稳定同位素表现出强烈的负偏移,一般  $\delta^{13}\text{C}$  同位素负偏达  $-8\text{‰} \sim -11\text{‰}$ ,充填在气孔状菱锰矿石中的沥青碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值则达  $-30.98\text{‰}$ 。硫同位素表现出明显的正偏移,一般  $\delta^{34}\text{S}$  高达  $36.9\text{‰} \sim 57.8\text{‰}$ ,其特征与现代海底天然气水合物的渗漏,释放与环境突变所形成的冷泉碳酸盐岩的特征十分相似。

(2) 建立了新元古代南华纪“大塘坡式”锰矿的天然气渗漏沉积成矿模式,解决了过去锰矿成因解释上生物生成环境与矿床的形成环境之间的矛盾。实现了“大塘坡式”锰矿成矿理论的创新,从而开拓了该地区乃至整个华南地区“大塘坡式”锰矿找矿视野并指导锰矿成矿预测,取得了重要突破。

(3) 对导致 Sturtian 冰期结束的原因进行了探讨,认为是保存于冰碛层中的天然气水合物突然气化、逸出,引发甲烷等气体大规模释放导致的环境灾害所致。

(4) 通过该课题的研究,拓展了海底天然气水合物研究领域和时空范围,对其所导致的成岩成矿作用、环境评价的分析研究提供了新思路。

## 二、科技成果转化情况

由于本项目是结合项目管理单位——贵州省地矿局 103 地质队长期从事南华纪锰矿勘查开发的基础上进行的。带着问题进行研究,针对性强,故理论一旦突破,科技成果在生产应用中效果就十分突出。

如贵州省地矿局 103 地质队在黔东南及其毗邻地区运用南华纪锰矿是古天然气渗漏系统成矿的新理论指导锰矿成矿预测与找矿。结合松桃黑水溪锰矿床和外围杨家湾一带地质特征分析,认为该地区南华纪古天然气渗漏沉积特征明显,具备“大塘坡式”锰矿成矿条件并圈定锰矿找矿靶区。经贵州省地矿局 103 地质队实施钻探验证,结果新发现了杨家湾锰矿床,经详查地质工作,2008 年初求获  $332 + 333$  锰矿资源量 1444 万 t。如按沉积盆地划分,其远景可突破 2000 万 t。该锰矿成矿新理论指导杨家湾锰矿找矿取得重大突破,同时也是黔东南及毗邻地区锰矿找矿 20 余年来最重要的进展。潜在经济价值达 80 亿元。

由于有了这一重大锰矿找矿成果,松桃三合锰业公司已成功建成了年产 30 万 t 矿石的矿山。并建成了目前世界上规模较大、工艺先进的电解金属锰厂。新增年产值 5 亿元以上,新增税收 0.5 亿元,解决当地 500 个劳动力就业,经济效益明显。

同时,在松桃地区的西溪堡锰矿及外围、大塘坡大坪盖地区和杨立掌外围,贵州省地矿局 103 地质队运用该新理论进行锰矿找矿均取得重要突破。预计新增锰矿资源量 1000 万 t 以上,现仍在进行勘查评价。预计潜在经济价值将超过 50 亿元。

# 第二章 区域地质背景

## 第一节 研究区自然地理

黔东地区地处贵州高原东部向湖南丘陵地迅速过渡部位（图 2-1）。武陵山脉纵贯中部，以东为沅江水系，多缓丘，地势较平缓，处于东南季风迎风坡，降水较多；以西为乌江水系，多低山，地形起伏较大，处于背风坡，降水相对较少。黔东地区平均海拔 746 m，最低 205 m（铜仁锦江），最高 2493 m（梵净山区凤凰山），平均坡度 17.54°。山地占 64.07%，丘陵占 29.68%，平坝占 6.25%，河网密度为 0.5647 km/km<sup>2</sup>。森林覆盖率 33.09%。属亚热带季风润湿气候。年平均气温 13℃~18℃，年降水量 1100~1400 mm，日照时数 1085~1324 h，无霜期 200~310 d。武陵山主峰梵净山是地球上同纬度地带保存完好的少数几个生物资源基因库之一，更是华南地区中、新元古代地层出露较为完整的地区。

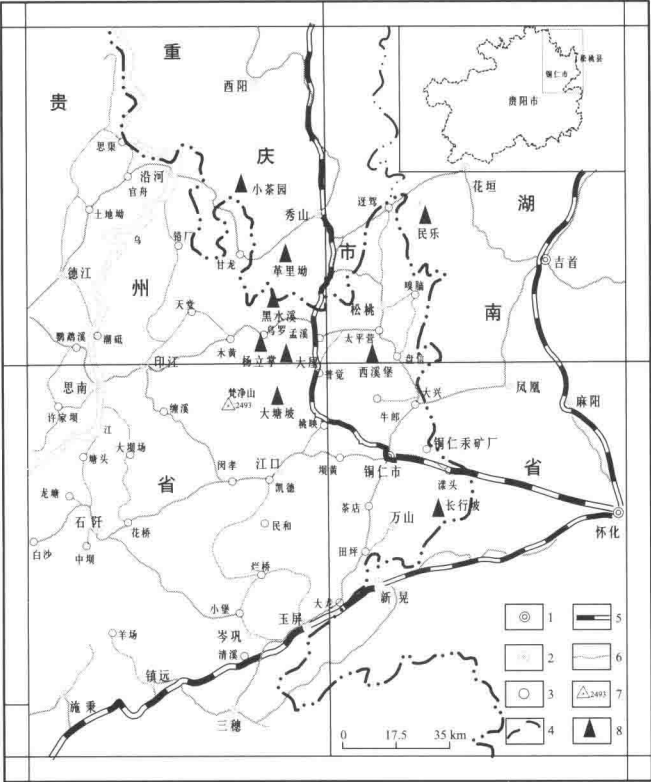


图 2-1 黔东地区交通位置图

1—市所在地；2—县城；3—乡镇所在地；4—省界；5—铁路；6—公路；7—山峰及高程；8—锰矿区位置

本区人口较为稠密，民族主要为汉族，其次为土家、苗、仡佬、回等少数民族。交通较为发达，湘黔铁路、渝怀铁路和玉铜高等级公路通过本区，铜仁大兴机场复航，各县(市)、特区公路四通八达，主要自然村也有简易公路与之相连<sup>[58]</sup>。

## 第二节 区域构造背景

### 一、大地构造背景

黔东地区位于扬子陆块与华南陆块的过渡区，大地构造位置跨越上扬子地块和江南造山带<sup>[59]</sup>，其东南为华南造山带，具体位于江南造山带西南段、上扬子陆块的南东缘(图2-2)。按照王剑及其与合作者的划分<sup>[60,61]</sup>，华南新元古代沉积盆地依据其基底构造、沉积建造及地层组合特征等可划分为扬子区(由扬子东南缘及扬子西缘组成)与华夏区。扬子区可进一步划分为：①川滇分区：包括川西南与滇中地区；②湘桂分区：主要包括桂北、湖南及黔东地区；③江南隆起分区：主要指位于浙北与湘桂分区之间的赣北皖南地区，相当于俗称的“江南岛弧”带；④浙北分区。华夏区未细分。各分区同时代表了相应的次级沉积盆地。

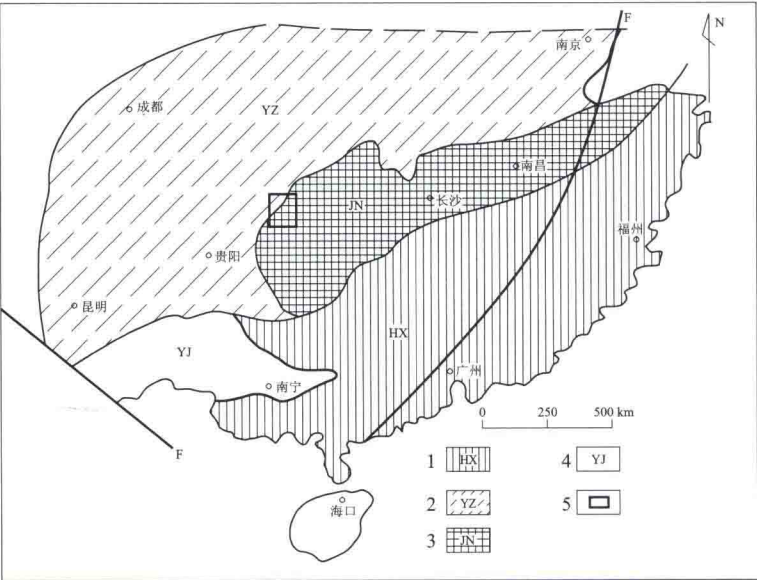


图 2-2 研究区大地构造简图

1—华南造山带；2—扬子陆块；3—江南陆块（造山带）；  
4—右江造山带；5—研究区位置

### 二、华南新元古代裂谷盆地演化

总体看来，华南裂谷盆地剖面序列从下至上由3个大的构造-地层单元组成，即裂谷基、裂谷体及裂谷盖3部分。华南裂谷盆地形成的动力学过程，也就是这3个部分的形成

与相互作用的动力学过程:

(1) 裂谷基的形成阶段: 裂谷基的形成经过了以下两个过程: 一是中元古代末至新元古代初, “晋宁-四堡”运动使古华南海关关闭, 华夏地块与扬子克拉通碰撞; 二是新元古代早期, 华南“晋宁-四堡”造山带以剥蚀作用为主<sup>[62]</sup>。

(2) 地幔柱作用与裂谷体的形成: 李正祥等提出华南裂谷盆地的形成经历了由热地幔柱作用引起的基性-超基性岩及花岗岩的侵入、地壳拉伸断裂等过程<sup>[63]</sup>。华南新元古代早期地幔柱作用及其热点活动引起的基性、超基性岩墙侵位时间大约在 830~820 Ma 期间<sup>[64]</sup>, 几乎与之同时华南开始发生大规模花岗岩侵入作用。由于地幔柱上隆引起的地壳侧向拉伸作用形成了华南呈 V 字形展布的裂谷盆地雏形。其后的裂谷充填作用形成裂谷盆地主体, 它以裂陷沉积、块体差异沉降及火山作用为特征, 反映在沉积物分布不连续、陆海古地理单元差异大等。这一阶段可以划分为 3 个亚阶段(期): ① 磨拉石-复理石及少量火山岩沉积期, 相当于丹洲群下部及河上镇群下部沉积期, 江南及川滇地垒结构区缺失沉积。② 火山岩、火山碎屑岩堆积充填(期), 相当于三门街-叶家-上墅-井潭组火山岩喷发期, 是裂谷盆地的主要裂陷、沉降期, 其演化阶段在 815~800 Ma 之间<sup>[63]</sup>。③ 复理石-磨拉石及早期冰碛岩堆积(期), 相当于拱洞-五强溪-莲沱组沉积期及长安+富禄(冰期及间冰期)沉积期, 推断这一时期的时间间隔应在 750~810 Ma 之间<sup>[65,66]</sup>。

(3) 被动沉降(下拗)与裂谷盖的形成阶段: 随着上升地幔物质的冷却与能量的消耗, 大陆裂谷带块体差异升降运动停止, 并逐渐为被动的区域性热沉降作用所取代, 反映为形成广泛的海岸上超沉积作用。裂谷盖的形成大致从南沱及其相应地层沉积期开始。新元古代末, 裂谷盖几乎超覆了整个华南早期存在的古陆, 开始形成真正的盖层。

### 三、Rodinia 解体与华南新元古代裂谷作用

Rodinia 是中元古代末(1.3~1.0 Ga)形成的一个全球性超级大陆<sup>[67~69]</sup>。研究表明, 新元古代时期(850~700 Ma)发生的全球性裂谷作用, 是引起 Rodinia 超大陆分裂解体的重要地质作用<sup>[67,70]</sup>。与华南新元古代裂谷沉积作用十分类似, 南澳大利亚阿德莱德(Adelaide)新元古代地堑沉降带为典型的裂谷系沉积<sup>[71]</sup>, 并伴随少量火山岩及火山碎屑岩沉积。阿德莱德裂谷系底部陆相沉积高角度不整合于前阿德莱德界变质岩地层之上, 其后由移地滨岸相地层超覆, 并逐步演化为滨浅海碳酸盐台地。阿德莱德陆相火山作用具明显的双模式特征, 火山凝灰岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 802 Ma<sup>[72]</sup>, 与华南裂谷盆地早期火山作用时限及特征可相对比。Sturtian 中期为澳大利亚新元古代第一冰期, 而 Marinoan 中期冰碛岩则是 Sturtian 冰期后的另一次冰碛岩堆积。由上可以看出, 南澳大利亚阿德莱德裂谷系演化史无论是地层层序还是火山及 Marinoan 之前的冰川事件, 都与华南裂谷演化史有很好的相似之处, 反映了二者在新元古代裂谷盆地演化早-中期具有十分密切的联系<sup>[60,61]</sup>。中、澳两大陆新元古代的裂谷发育历史与北美西部新元古代盆地演化史也极为相似<sup>[73]</sup>, 因而再次证明华南在 Rodinia 的解体过程中扮演过重要角色。

### 四、湘黔地区南华纪早期次级拉张盆地的形成与分布

按照王剑及其与合作者对华南新元古代裂谷盆地的划分, 湘黔桂地区属于所划分的 5 个次级盆地中的扬子东南缘西段湘桂次级盆地<sup>[60,61]</sup>。新元古代初期, 由于华南裂谷拉张