

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.025

# 马达加斯加石墨矿床控矿构造特征与找矿模型

孙振一, 白浩, 方焯, 狄永军  
(中国地质大学(北京), 北京 100083)

**摘要:** 马达加斯加石墨矿床主要分布于马达加斯加岛中东部及南部, 矿床类型丰富且成矿地质条件优越, 具有良好的找矿前景。综合研究表明, 石墨矿床成矿作用经历了自新太古代至新元古代沉积、变质变形及岩浆叠加改造三个阶段。控矿构造研究表明, 中部石墨矿床主要受由于紧密同斜褶皱改造的变质片理构造控制, 矿体翼部薄而转折端较厚。东部石墨矿床受同斜褶皱及顺变质片理的剪切带控制, 并被后期沿脆性断裂迁移的热液叠加富集。南部石墨矿床由于受深层次剪切变形带的影响而延伸稳定。在控矿构造研究的基础上, 提出针对石墨矿床“层带复合-岩浆叠加”为主体的区域找矿模型。结合已有矿化时空分布规律及成矿条件, 提出了马达加斯加 4 个主要的成矿远景区。

**关键词:** 马达加斯加; 石墨矿; 控矿构造; 找矿模型

**中图分类号:** P619.252; P613

**文献标识码:** A

## MAIN ORE-CONTROLLING STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND PROSPECTING MODEL OF MADAGASCAR GRAPHITE DEPOSIT

SUN Zhenyi, BAI Hao, FANG Ye, DI Yongjun  
(China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Madagascar graphite deposits are mainly distributed in the Middle-East and south of Madagascar Island. There are abundant types of graphite deposits and favorable metallogenic geological conditions in this area, which have good prospecting prospects. The comprehensive study shows that the metallogenesis of graphite deposits has gone through three stages: Neoproterozoic to Neoproterozoic sedimentation, metamorphic deformation and magmatic superimposition and transformation. The study of ore-controlling structure shows that the central graphite deposit is mainly controlled by metamorphic schistosity transformed by tight isoclinal folds, with thin wings and thick hinge zone. The eastern graphite deposits are controlled by shear zones of synclinal folds and metamorphic schistosity, and are enriched by hydrothermal superimposition of later migration along brittle faults. The southern graphite deposit extends steadily due to the influence of deep shear deformation zone. Based on the study of ore-controlling structures, a regional prospecting model for graphite deposits is proposed, in which the main body is “zonal composite-magmatic superimposition”. Based on the existing spatial and temporal

**基金项目:** 地质调查项目 (DD20160104)

**作者简介:** 孙振一 (1996-), 男, 在读硕士, 地质工程专业。E-mail: 2311694987@qq.com

**通讯作者:** 狄永军 (1965-), 男, 副教授, 硕士生导师, 岩石学专业。E-mail: diyongjun@cugb.edu.cn

**引用格式:** 孙振一, 白浩, 方焯, 等. 马达加斯加石墨矿床控矿构造特征与找矿模型 [J]. 地质力学学报, 2019, 25 (S1): 145-149

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.025

SUN Zhenyi, BAI Hao, FANG Ye, et al. Main ore-controlling structural characteristics and prospecting model of Madagascar graphite deposit

[J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25 (S1): 145-149 DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.025

distribution of mineralization and metallogenic conditions, four major metallogenic prospects in Madagascar are divided in this paper.

**Key words:** Madagascar; graphite deposit; ore-controlling structure; prospecting model

马达加斯加矿产资源分布广泛且具有丰富的储量及良好的潜力, 与该区自太古代古陆形成以来的构造岩浆演化关系密切。其中石墨矿资源的形成与该区前寒武纪构造-岩浆-变质作用的关系尤为紧密<sup>[1-3]</sup>。长期以来, 该区基础地质、矿产勘查及开发程度的不断提高为建立与石墨矿相关的找矿模型奠定了重要基础, 因此进一步的找矿工作有必要全面考虑已有的构造、岩浆、变质作用与成矿的关系, 其中构造控矿特征对于进一步预测至关重要。文章通过构造解析, 结合已有成果, 分析了石墨矿床控矿构造的主要类型, 在此基础上, 初步建立石墨矿的区域找矿模型, 并开展了区域找矿方向研究。

## 1 成矿背景

马达加斯加主要发育中新太古代克拉通边缘的新太古代—古元古代增生带, 中新元古代超大陆裂解带及新元古代拼贴造山带。因此马达加斯加石墨矿床形成的构造背景与多阶段复合演化相关<sup>[4-6]</sup>。主要变质岩系包括: Betsiboka 花岗岩及混合岩岩套, 新太古代 Vondrozo 群片麻岩, 元古宙 Ambatolampy 群、Mamampotsy 群及 Andriba 群的片岩及片麻岩等, 元古宙 Imaloto 群片麻岩。变质基底主要为石墨岩系, 正变质岩的原岩主要为花岗侵入岩基或基性-中酸性火山岩; 副变质岩原岩主要为含碳质较高的泥岩、石英砂岩及部分碳酸盐岩沉积等。岩浆岩也以新太古代—古元古代变质程度较高的花岗岩及混合岩, 新元古代花岗岩、正长岩, 晚新元古代长英质伟晶岩及花岗岩或正长岩脉为主。石墨矿床形成于新太古代到新元古代, 一般经历了石墨岩系的沉积、变质变形改造以及岩浆叠加改造三个阶段。

## 2 主要控矿构造

马达加斯加自太古宙以来发生多期次构造沉积岩浆作用, 形成不同类型的沉积建造、岩浆单元及区域性的构造变形形迹<sup>[7]</sup>, 不仅控制地质单元及地质体的空间展布, 同时也对在此基础上形

成的矿床具有明显的控制作用(图1)。

除区域构造带外, 变质基底发育多层次的构造变形<sup>[8-9]</sup>。主要以深层次的韧性变形为主, 其次为后期脆性构造。这些构造变形大多与冈瓦纳块体的形成演化过程相关。韧性变形中大量发育流变褶皱、紧闭同斜褶皱、平卧褶皱、韧性及韧脆性剪切带, 同时也有挤压及伸展断层。导致变质基底地层间产生剪切滑脱效应, 形成大量的挤压片理或破碎带。这些中尺度的构造变形对于石墨矿床也具有相应的控制作用, 是控岩控矿的主要构造。

### 2.1 塔那块体中部石墨矿床控矿构造

该构造单元主要以古元古宙石墨岩系 Ambatolampy 群片岩及片麻岩为主。石墨矿床主要产于云母片岩中。主要控矿构造变形样式为枢纽 NW 倾伏、轴面倾向东的紧闭同斜褶皱, 褶皱两翼受到强烈剪切而变薄, 而褶皱枢纽部分则相对变厚。变质片理总体上与变质岩成分层相平行, 并微向西倾。该成矿远景区东缘为推覆构造带控制区域。矿区中变质片理为 NW 向缓倾斜。一般石墨矿体的分布与片理关系密切, 常顺着片理方向多层展布。

由于片岩主要变形样式为褶皱, 因此一般认为, 位于翼部石墨层位较薄, 转折端部位较厚。且矿化范围广, 具有稳定分布特征。后期改造也总体上表现为宽缓的褶皱, 枢纽近南北向, 石墨矿体稳定地受褶皱构造控制。后期抬升使矿体在平面上具有一定的起伏。

### 2.2 塔那块体东部石墨矿床控矿构造

该构造单元位于塔那块体东部, 大地构造上属前寒武纪克拉通增生带, 后期受新元古带拼合造山运动叠加。主要建造有元古宙石墨变质岩系第二段 Manampotsy 群黑云角闪片麻岩、石英长石片麻岩及含石墨片岩。

由于经历了早期沉积变质作用, 以及后期不同块体间的相互作用, 形成了不同期次及不同层次的构造变形, 导致该区构造变形强烈。主要控矿构造样式为相间排列的紧密同斜褶皱, 以及伴生的剪切变形。这些褶皱构造的核部及剪切带是

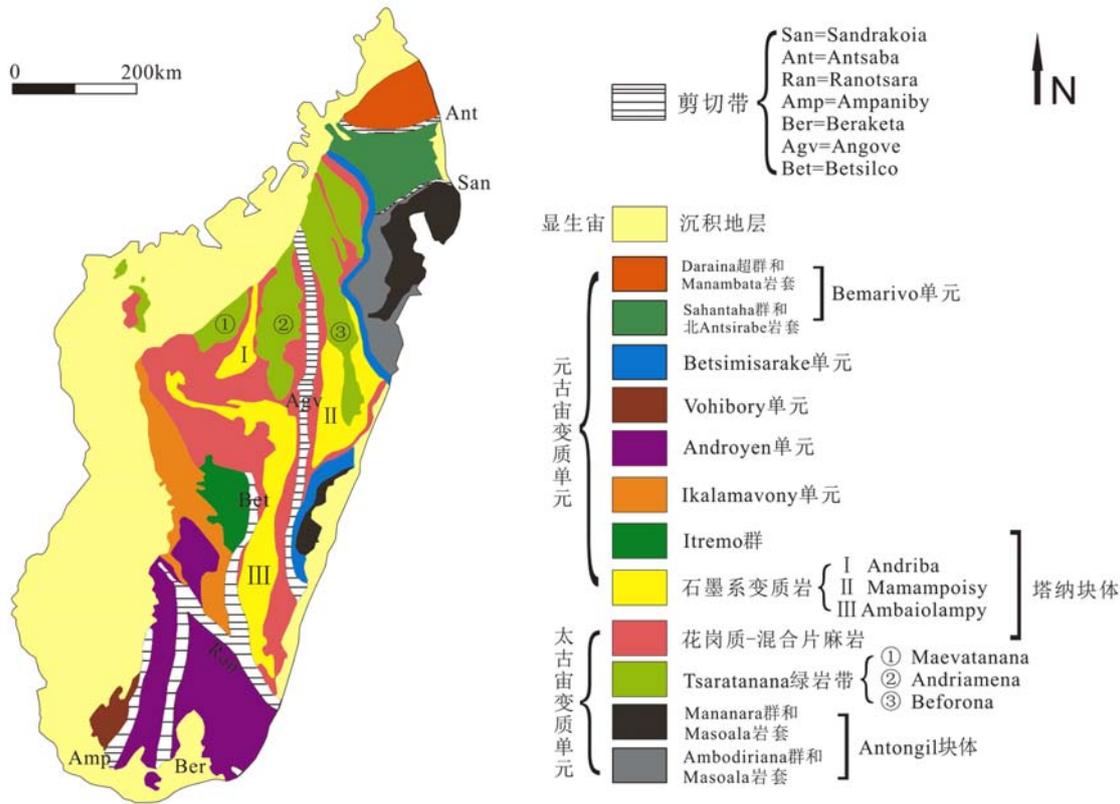


图 1 马达加斯加地质图

Fig. 1 Geological map of Madagascar

石墨矿床的重要成矿空间。

由于该构造单元处于多个块体结合的部分, 周边断裂带发育, 因此深部热液易通过这些构造通道上升, 并叠加已有的石墨矿化, 形成较富的矿体。

### 2.3 南部 Androyen 及 Anosyen 块体石墨矿床控矿构造

南部块体主要由三部分组成, 自西向东包括 Vohibory 块体、Androyen 块体和 Anosyen 块体。这三个块体主要变质岩有变质沉积岩、变质火山岩以及不同性质的变质侵入岩组成。该块体与古克拉通空间关系密切, 是古克拉通增生的重要构造带。加之新元古代冈瓦纳大陆聚合过程中的再次活动, 构造演化复合叠加明显。

该区石墨矿化的一个重要特征是受剪切变形作用的影响较为明显。由于该区处于古克拉通边缘, 因此不同时期的构造活动较为强烈。深层次的韧性剪切变形必然会造成 C 元素的富集, 早期形成的石墨矿化进一步集中。另外由于剪切带位于不同单元的结合部位, 切割深, 能连通深部岩

浆热液, 使热液上升叠加早期形成的矿化带, 再次富集而形成较厚大矿体。因此该区的剪切带是重要的控矿构造, 也是找矿的主要标志。受构造带控制, 矿体延伸较远, 可达 3 km, 具有良好的空间规模, 找矿前景可观。

## 3 找矿模型

马达加斯加石墨矿床主要分布于该岛前寒武纪变质基底内, 变质基底地层的形成主要源于太古代古陆核的形成、增生、裂解与聚合。每一阶段都发育与之相应的变形变质、沉积及岩浆活动。这些地质作用形成了石墨矿床较为稳定的变质基底, 经过不同基底单元间的深层剪切变形作用而进一步富集<sup>[10]</sup>, 以及后期岩浆作用的局部叠加, 形成区域上“区—带结合”的矿床分布规律, 其中带指石墨矿床的分布沿变质层带以及主要剪切带呈带状展布, 以北东、北西向为主; “区”主要指受局部构造复合及长英质脉及伟晶岩脉等的叠加形成石墨矿化富集区。根据马达加斯加石墨

矿床的成矿特征及成矿规律, 该项目提出针对石墨矿床的“层带复合-岩浆叠加”的区域找矿模型。

“层”指前寒武纪变质基底中与石墨相关的赋矿层位, 主要有: ①分布于 Antananarivo 块体 (塔纳块体) 的元古宙 Betsiboka 岩套, 主要岩性为花岗岩及混合岩; ②分布于塔纳块体之上的新太古代原岩为沉积岩的 Vondrozo 群片麻岩; ③塔纳块体之上的元古宙变质沉积地层, 主要包括 Ambatolampy 群、Mamampotsy 群及 Andriba 群组成的石墨变质岩系, 主要岩性为片岩及片麻岩等, 其中以 Mamampotsy 群变质岩中石墨分布最为普遍, 是找矿的重要标志; ④分布于 Androyen 块体之上的原岩为流纹质岩石的 Imaloto 群石英长石片麻岩。

“带”主要指前寒武纪不同时代的变质基底受陆块增生、裂解及拼合等作用而形成的剪切带, 这些剪切带由于深层变质变形作用使石墨进一步富集, 同时也是成矿流体有利的运移通道。这些带贯通分布于变质基底之上, 主要包括 Sandrakota, Antsaba, Ranotsara, Ampanihy, Beraketa, Angove 以及 Betsileo 等构造带, 以及 Betsimisarakaka 蛇绿混杂岩带。

上述层带复合地带往往是成矿的有利地段, 因此层带复合特征是找矿模型重要组成部分。

“岩浆叠加”是指除上述层带复合之外, 由于马达加斯加泛非运动导致广泛的岩浆活动, 这些岩浆活动局部表现为伟晶岩脉或长英质脉, 对早期石墨矿化具有明显的叠加富集作用, 局部形成结晶程度较高的富矿体, 是有利的矿化区域。

综上所述马达加斯加石墨矿床找矿方向应是以复合叠加为主体的找矿模型为指导, 在此基础上结合各类成矿地质条件及找矿标志, 开展进一步找矿工作。

马达加斯加石墨矿床主要以沉积变质型为主, 局部发育接触变质矿化, 因此区域找矿模型主要针对沉积变质型。

## 4 区域找矿方向

根据马达加斯加石墨矿床成矿地质条件以及主要矿床类型特征, 结合矿化时空分布规律, 可以确定该区石墨主攻矿床类型为沉积变质型。根据该矿床找矿模型, 通过梳理马达加斯加地质及

矿产特征, 提出了主要的成矿远景区及重点找矿区。

成矿远景区主要有 4 个, 分别位于塔那那那那中部成矿远景区 (I)、塔那那那那东部成矿远景区 (II)、南部 Androyen 及 Anosy 块体成矿远景区 (III) 以及塔那那那那东南部成矿远景区 (IV)。其中前三个远景区已存在大量不同规模的矿床 (点), 但也有较多区域工作程度较低, 具有进一步找矿的潜力。塔那那那那东南部成矿远景区 (IV) 虽无大规模的矿床, 但矿化点广泛分布, 也可作为进一步找矿的远景区域。

## 参考文献/References

- [ 1 ] COLLINS A S, KINNY P D, RAZAKAMANANA T. Depositional age, provenance and metamorphic age of metasedimentary rocks from southern Madagascar [J]. *Gondwana Research*, 2012, 21 (2-3): 353-361.
- [ 2 ] TUCKER R D, ROIG J Y, MACEY P H, et al. A new geological framework for south-central Madagascar, and its relevance to the “out-of-Africa” hypothesis [J]. *Precambrian Research*, 2011, 185 (3-4): 109-130.
- [ 3 ] NAWARATNE S W, DISSANAYAKE C B. Gold occurrences in Madagascar, South India and Sri Lanka: Significance of a possible Pan-African event [J]. *Gondwana Research*, 2001, 4 (3): 367-375.
- [ 4 ] COLLINS A S, RAZAKAMANANA T, WINDLEY B F. Neoproterozoic extensional detachment in central Madagascar: implications for the collapse of the East African Orogen [J]. *Geological Magazine*, 2000, 137 (1): 39-51.
- [ 5 ] COLLINS A S, WINDLEY B F. The tectonic evolution of central and northern Madagascar and its place in the final assembly of Gondwana [J]. *The Journal of Geology*, 2002, 110 (3): 325-339.
- [ 6 ] COLLINS A S, FITZSIMONS I C W, HULSCHER B, et al. Structure of the eastern margin of the East African Orogen in central Madagascar [J]. *Precambrian Research*, 2003, 123 (2-4): 111-133.
- [ 7 ] 马君, 刘剑平, 潘校华, 等. 东、西非大陆边缘比较及其油气意义 [J]. *成都理工大学学报 (自然科学版)*, 2009, 36 (5): 538-545.  
MA Jun, LIU Jianping, PAN Xiaohua, et al. Geological characters of the East and West Africa continental margins and their significance for hydrocarbon exploration [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2009, 36 (5): 538-545. (in Chinese with English abstract)
- [ 8 ] 杨喜安, 刘善宝, 王光良, 等. 马达加斯加 Maevatanana 金矿床构造控矿特征 [J]. *黄金*, 2013, 34 (9): 16-22.

- YANG Xi'an, LIU Shanbao, WANG Guangliang, et al. Characteristics of ore-controlling structure in Maevatanana gold deposit, Madagascar [J]. *Gold*, 2013, 34 (9): 16 - 22. (in Chinese with English abstract)
- [ 9 ] 车继英, 赵院冬, 王奎良, 等. 马达加斯加前寒武纪变质基底特征综述 [J]. *地质与资源*, 2013, 22 (4): 340 - 346.
- CHE Jiying, ZHAO Yuandong, Wang Kuiliang, et al. Overview of the precambrian geology of Madagascar [J]. *Geology and Resources*, 2013, 22 (4): 340 - 346. (in Chinese with English abstract)
- [ 1 0 ] 贾凤仪, 赵永辉, 杨本昭. “三位一体”找矿模型在金矿勘查中的应用——以陕西省汉阴县坝王沟金矿为例 [J]. *地质力学学报*, 2016, 22 (2): 185 - 198.
- JIA Fengyi, ZHAO Yonghui, YANG Benzao. Application of the trinity prospecting model in gold exploration: An example From the Bawangou gold deposit in Hanyin, Shaanxi [J]. *Journal of Geomechanics*, 2016, 22 (2): 185 - 198. (in Chinese with English abstract)