

锡矿地球化学特征及成矿机理研究

王 强

青海省柴达木综合地质矿产勘查院-青海省柴达木盆地盐湖资源勘探研究重点实验室 青海 格尔木 816099

摘 要：文章研究了锡矿的地球化学特征及成矿机理，分析锡矿床的元素组合与分带、地球化学标志及勘查方法。通过探讨锡矿的成矿作用与过程，揭示岩浆作用、热液作用及变质作用对锡矿形成的影响。同时研究控矿因素，包括地层、构造、岩浆活动及地球化学背景等。本文提出的成矿模式为锡矿勘查和开发提供理论依据，对指导锡矿资源勘探具有重要意义。

关键词：锡矿；地球化学特征；成矿机理

1 锡的地球化学特征

1.1 锡的基本性质

锡是一种金属元素，元素符号为Sn，原子序数为50，原子量为118.71。在常温常压下，锡单质为白锡，具有银白色金属光泽，延展性强，且熔点较低，为231.89摄氏度。锡的密度为7.3g/cm³，是一种相对柔软且易弯曲的金属。锡在自然界中主要以二氧化物（锡石）和各种硫化物（如硫锡石）的形式存在。在化学性质上，锡能与多种元素反应，如与卤素反应生成四卤化锡，与硫反应，且能在稀酸中缓慢溶解，在浓酸中迅速溶解，同时也能溶于强碱溶液。此外，锡在氯化铁、氯化锌和其他盐的酸性溶液中会被腐蚀。在空气中，锡的表面会生成二氧化锡保护膜，从而阻碍其进一步氧化。

1.2 锡的地球化学行为

锡的地球化学行为涉及其在地球内部和外部环境中的迁移、转化和富集过程。在岩浆活动中，锡是一种与岩浆作用成矿密切相关的元素。研究表明，岩浆演化过程中通过降压出溶、分离结晶和岩浆脱气作用，可以形成主要由水及挥发分组成的岩浆热液，这些热液是锡等金属元素迁移和富集的重要载体。在岩浆流体演化过程中，锡的溶解度、配分行为等受到多种因素的影响，如熔体成分、氧逸度等。例如，在还原环境中，锡石高度溶解，锡主要以Sn²⁺形式存在；而在氧化条件下，SnO₂溶解较少，锡以Sn⁴⁺为主。锡在岩浆熔体中的溶解度还受到熔体碱质程度的影响，随熔体碱质增高，锡的溶解度增大。在地质作用过程中，锡的地球化学行为还表现为其在不同地质体中的分布和富集特征^[1]。随着成矿流体的演化，锡等元素在夕卡岩体中发生迁移、沉淀和富集，形成锡矿床，在风化剥蚀和地表水作用下，锡还可以从原生矿床中释放出来，以离子或络合物的形式在地表水中迁移，并在有利条件下沉淀富集形成砂锡矿床。

1.3 锡的地球化学异常

锡的地球化学异常是指在地壳表层或岩石圈中锡元素含量超过正常背景值的现象。这些异常通常与锡矿床的形成有关，因此可以作为找矿的重要指示标志。锡的地球化学异常可以通过地球化学勘查方法如土壤测量、水系沉积物测量、岩石测量等发现。在异常圈定过程中，通常根据异常强度、规模、形态等特征将异常分为不同级别，如一级异常、二级异常等。锡的异常下限值通常根据背景值和标准差等统计参数确定。锡的地球化学异常分布形态通常与控矿构造、地层和岩性等因素有关。这些异常分布特征对于指导找矿预测具有重要意义。

2 锡矿的地质背景与分布规律

2.1 锡矿的全球分布

全球锡矿分布具有显著的地域性和集中性特征。重要的锡矿产地高度集中且分布区域的地质环境十分多样化。总体来说，锡矿分布具有全球性近南北向经向及近东西向纬向的带状系统分布特征。前者称为经向锡富集带，后者称为纬向锡富集带。在纬向带系统中，如自纳米比亚至南非东部及斯威士兰的纬向带内，也有一系列锡矿产区呈近东西向展布。我国是世界上锡矿资源最为丰富的国家之一，我国的锡矿资源分布较为集中，主要分布在湖南、广西、广东、云南、内蒙古和江西等地。这些地区的锡矿储量占全国总储量的绝大部分，且拥有众多大型和超大型锡矿床。

2.2 锡矿的地质背景

锡矿的形成与多种地质作用过程密切相关，包括岩浆活动、构造运动、变质作用等。岩浆活动是控制锡矿分布的重要因素之一。许多大型和中型锡矿床都形成于岩浆活动过程中，特别是与花岗岩类岩浆有关的成矿作用。这些花岗岩类岩浆在演化过程中释放出富含锡等金属元素的成矿流体，这些流体在有利的地质条件下发生

迁移、沉淀和富集，最终形成锡矿床。构造运动对锡矿的形成和分布也具有重要影响，构造运动不仅为锡等金属元素的迁移提供了通道和空间，还控制了成矿流体的运移方向和沉淀场所。变质作用也是锡矿形成的一种重要地质过程。在变质作用过程中，原始含锡矿源层或高值层经受岩浆期后的热液作用或变质作用活化富集，形成锡矿床。

2.3 锡矿的分布规律

锡矿的分布受到多种地质因素的控制和影响，因此呈现出一定的规律性。首先，锡矿往往沿着特定的构造区域呈带状分布。这些构造区域包括褶皱带、断裂带、岩浆岩带等。其次，锡矿的分布与岩浆活动密切相关，许多锡矿床都形成于与花岗岩类岩浆有关的成矿作用过程中。这些花岗岩类岩浆在演化过程中释放出富含锡等金属元素的成矿流体，这些流体在有利的地质条件下发生迁移和富集，最终形成锡矿床，在花岗岩类岩浆活动频繁的地区，往往容易形成锡矿床^[2]。另外，锡矿的分布还受到地层、岩性和地球化学背景等因素的影响。地球化学背景的差异也会影响锡矿的分布和富集程度。例如，在某些地球化学异常区域内，由于锡等元素含量的异常增高，往往容易形成锡矿床或矿化点。

3 锡矿的地球化学特征分析

3.1 锡矿床的元素组合与分带

锡矿床的元素组合特征是其地球化学研究的重要内容之一。在锡矿床中，锡元素往往不是孤立存在的，而是与其他多种元素共同出现，形成特定的元素组合。这些元素组合不仅反映了锡矿床的成因类型，还提供了关于成矿流体性质、来源及演化过程的重要信息。例如，在一些与花岗岩有关的锡矿床中，锡常常与钨、钼、铋、氟等元素共生，形成锡-钨、锡-钼、锡-铋等元素组合。这些元素组合的出现，通常与花岗岩的岩浆分异作用及成矿流体的演化过程密切相关。锡矿床的分带特征也是其地球化学特征的重要组成部分，在锡矿床中，由于成矿流体在运移和沉淀过程中受到温度、压力、氧化还原条件等多种因素的影响，导致锡及其他元素在矿床中的分布呈现出一定的分带性。这种分带性不仅表现在元素的水平分布上，还表现在垂直方向上。这种分带现象对于指导锡矿的勘查和开发具有重要意义，可以帮助人们更好地了解矿床的内部结构和成矿规律。具体来说，锡矿床的分带特征通常包括氧化带、过渡带和还原带等。在氧化带中，由于氧化作用较强，锡主要以四价锡的形式存在，与其他氧化态的元素共生；在过渡带中，氧化还原条件介于氧化带和还原带之间，锡的价态

和共生元素种类也相应发生变化；在还原带中，还原作用较强，锡主要以二价锡的形式存在，与还原态的元素共生。这种分带特征不仅反映了成矿流体的演化过程，还提供了关于矿床成因和成矿条件的重要信息。

3.2 锡矿床的地球化学标志

锡矿床的地球化学标志是指那些能够指示锡矿床存在或可能存在的地球化学特征或异常。元素异常是锡矿床地球化学标志的重要组成部分，它指的是在锡矿床周围或上方，锡元素及其他相关元素的含量明显高于背景值的现象。这种元素异常的出现，通常与成矿流体的运移和沉淀过程密切相关，是锡矿床存在的重要指示标志。同位素异常也是锡矿床地球化学标志的重要方面，在锡矿床中，由于成矿流体与围岩之间的同位素交换作用，导致锡及其他元素的同位素组成发生异常变化。这种同位素异常不仅反映成矿流体的来源和演化过程，还提供关于矿床成因和成矿时代的重要信息。矿物组合异常也是锡矿床地球化学标志的重要方面之一，在锡矿床中，由于成矿流体的性质和演化过程的不同，导致形成的矿物组合也各不相同。这些矿物组合不仅反映了成矿流体的化学性质和物理化学条件，还提供了关于矿床成因和成矿过程的重要信息。

3.3 锡矿床的地球化学勘查方法

地球化学勘查方法是寻找和发现锡矿床的重要手段之一。土壤测量是通过采集地表土壤样品并分析其中锡及其他相关元素的含量来寻找异常的方法。由于土壤是地表岩石风化的产物，其中蕴含着丰富的地球化学信息，因此土壤测量是寻找锡矿床的有效手段之一。水系沉积物测量是通过采集水系中的沉积物样品并分析其中锡及其他相关元素的含量来寻找异常的方法^[3]。水系沉积物是地表岩石风化后经过水流搬运和沉积而形成的，其中也蕴含着丰富的地球化学信息。通过水系沉积物测量，可以了解水系中锡元素的分布规律和异常特征，为寻找锡矿床提供线索。岩石测量是通过直接采集岩石样品并分析其中锡及其他相关元素的含量来寻找异常的方法，岩石是构成地球地壳的基本单元，其中蕴含着大量的地球化学信息。通过岩石测量，可以了解岩石中锡元素的含量和分布规律，为寻找和评价锡矿床提供直接依据。

4 锡矿的成矿机理研究

4.1 锡矿的成矿作用与过程

锡矿的成矿作用与过程是一个复杂而漫长的地质过程，涉及多种地质作用和物理化学条件的变化。一般来说，锡矿的成矿作用主要包括岩浆作用、热液作用、变质作用等。在岩浆作用过程中，富含锡等金属元素的

岩浆在上升和演化过程中,由于温度、压力等条件的变化,导致锡等金属元素在岩浆中发生分异和富集,最终形成锡矿床。热液作用是锡矿成矿的重要机制之一,在热液作用过程中,富含锡等金属元素的成矿流体在地下深处形成后,沿着断裂、裂隙等通道向上运移。在运移过程中,由于温度、压力、氧化还原条件等多种因素的影响,成矿流体中的锡等金属元素发生沉淀和富集,形成锡矿床。热液作用形成的锡矿床通常具有明显的分带性和矿物组合特征。变质作用也是锡矿成矿的一种重要机制,在变质作用过程中,原始含锡矿源层或岩石在高温、高压等条件下发生变质作用,导致锡等金属元素在变质岩石中发生重新分配和富集,形成锡矿床。变质作用形成的锡矿床通常与特定的变质岩相和变质作用类型密切相关。锡矿的成矿过程通常包括成矿流体的形成、运移、沉淀和富集等多个阶段。在成矿流体形成阶段,由于岩浆分异作用、地下水循环作用等过程,形成富含锡等金属元素的成矿流体;在运移阶段,成矿流体沿着断裂、裂隙等通道向上运移;在沉淀和富集阶段,由于温度、压力、氧化还原条件等多种因素的影响,成矿流体中的锡等金属元素发生沉淀和富集,最终形成锡矿床。

4.2 锡矿的控矿因素

锡矿的控矿因素是指那些影响锡矿床形成和分布的地质因素。地层是锡矿形成的重要物质基础之一,不同地层中锡的含量和分布规律各不相同,因此地层对锡矿的形成和分布具有重要影响。构造是控制锡矿分布的重要因素之一,构造运动不仅为锡等金属元素的迁移提供了通道和空间,还控制了成矿流体的运移方向和沉淀场所。构造运动还可能导致地层和岩石的抬升或下降,从而影响锡矿的剥蚀程度和保存条件。岩浆活动是锡矿形成的重要机制之一,也是控制锡矿分布的重要因素之一。岩浆活动不仅提供了富含锡等金属元素的成矿流体,还控制了成矿流体的运移方向和沉淀场所。变质作用也是控制锡矿分布的重要因素之一,变质作用不仅改变了原始岩石的矿物组成和结构特征,还可能导致锡等金属元素在变质岩石中发生重新分配和富集。地球化学背景也是控制锡矿分布的重要因素之一。地球化学背景的差异可能导致不同地区锡元素的含量和分布规律各不

相同,从而影响锡矿的形成和分布。

4.3 锡矿的成矿模式与预测

锡矿的成矿机理是一个复杂而多因素的过程,涉及岩浆活动、热液作用、变质作用以及地壳演化等多个方面^[4]。在成矿过程中,富含锡的岩浆或热液在特定地质条件下,沿着断裂、裂隙等通道上升并沉淀,形成锡矿床。这一过程中,温度、压力、氧化还原条件等物理化学因素的变化起着至关重要的作用。基于锡矿的成矿机理,可以总结出一定的成矿模式。根据成矿模式,可以对未知区域或已知矿床周边可能存在的锡矿资源进行预测。通过地质勘查、地球化学异常分析等手段,结合区域地质背景和成矿条件,可以圈定出有利的找矿靶区,为锡矿资源的勘探和开发提供科学依据。未来,随着地质科学的不断发展,锡矿的成矿机理和成矿模式将得到更深入的认识和理解,为锡矿资源的可持续利用提供有力支撑。

结束语

本文通过对锡矿地球化学特征及成矿机理的深入研究,取得了较为丰富的成果。不仅揭示锡矿床的形成机制和控矿因素,还提出有效的勘查方法和成矿模式。这些研究成果将为锡矿资源的勘探和开发提供有力支持,推动锡矿地质学的发展。未来,将继续深化锡矿研究,为锡矿资源的可持续利用贡献力量。

参考文献

- [1]邓楠,刘云华,赵强,吴勇,李小严,马振皓,范媛媛,孟茹.甘肃武都塘坝金矿床地质特征及矿床成因[J].西北地质,2019,52(04):194-205.
- [2]袁莹,刘方方,薛培,彭晓明.秘鲁Pachagon铜矿床岩石地球化学特征及成因[J].矿产勘查,2019,10(10):2691-2700.
- [3]王蕾.试析洞锡矿床稀土元素地球化学研究[J].中国化工贸易,2018,10(36):249,251.DOI:10.3969/j.issn.1674-5167.2018.36.234.
- [4]谭开远,赵立克,李敏,等.内蒙古巴林左旗腰尔压锡多金属矿地球化学找矿应用及找矿前景[J].世界有色金属,2024(12):68-71.DOI:10.3969/j.issn.1002-5065.2024.12.021.