

# 钨矿开发利用现状及研究进展

薛志恺

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2025年2月27日; 录用日期: 2025年4月2日; 发布日期: 2025年4月14日

## 摘要

钨及其合金由于其优异的理化性质被广泛应用在诸多工业领域, 是一种传统的具有战略意义的重要矿产资源。我国钨储量在全球位居第一, 但近年来在全球占比处于下降趋势。随着钨矿需求量的增加以及资源量的消耗, 更迫切的找矿需求推动了对钨矿床及含钨矿物的研究, 文章依托前人对不同类型钨矿床的矿床成因, 钨矿矿物学, 成矿规律等研究成果进行梳理与总结。

## 关键词

钨矿床, 开发利用, 成矿规律, 研究进展

# Current Situation and Research Progress of Tungsten Ore Development and Utilization

Zhikai Xue

College of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Feb. 27<sup>th</sup>, 2025; accepted: Apr. 2<sup>nd</sup>, 2025; published: Apr. 14<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

Tungsten and its alloys are widely used in many industrial fields due to their excellent physical and chemical properties, and are a traditional important mineral resource of strategic significance. China's tungsten reserves rank first in the world, but in recent years, the proportion in the world has been declining. With the increase of tungsten ore demand and the consumption of resources, the more urgent demand for prospecting has promoted the study of tungsten deposits and tungsten-containing minerals.

## Keywords

Tungsten Deposits, Development and Utilization, Metallogenic Law, Research Progress



1. 引言

钨及其合金由于其优异的理化性质被广泛应用在诸多工业领域，钨是一种具有优良物理性质的稀有金属，通常作为钢材、合金、照明或化工品生产材料。钨作为中国重要的战略金属，尤其是在航空、硬质合金、电子、采矿、重型制造业和新型功能材料等重要领域有着相当重要的作用，是一种具有战略意义的传统重要矿产资源[1]。如今，在地壳中发现的钨及含钨矿物种类仅有 20 多种，其中黑钨矿和白钨矿是最为重要且经济价值较高的矿物，是我国钨资源的主要来源。

我国是世界上钨矿资源最丰富的国家，我国钨资源主要产于华南地区的南岭构造带上以及祁连山、秦岭褶皱山脉中。虽然我国钨资源较为丰富，但由于我国钨矿长期开采强度大，资源越来越贫化且我国钨矿品位相对较低且成分复杂，难选难冶。虽然中国的选矿技术一直在进步，但是中国的优质钨矿资源(黑钨矿)消耗严重，目前，钨矿主流已从品位较高的黑钨矿转变成品位相对较低的白钨矿和黑白钨混合矿。

近年来，随着钨矿需求量的增加以及资源量的消耗，更迫切的找矿需求推动了对钨矿床的进一步研究[2]。近年来，众多学者围绕钨矿床的矿床成因、成矿时代及成矿物质来源等方面进行了较为深入研究，并取得了显著进展，提出了许多新的见解和理论。本文通过前人对不同类型钨矿床的矿床成因，钨矿矿物学，成矿规律等研究，总结出钨矿床成矿过程新的认识，同时也对后续钨矿床研究提供了重要线索。

2. 资源分布概况

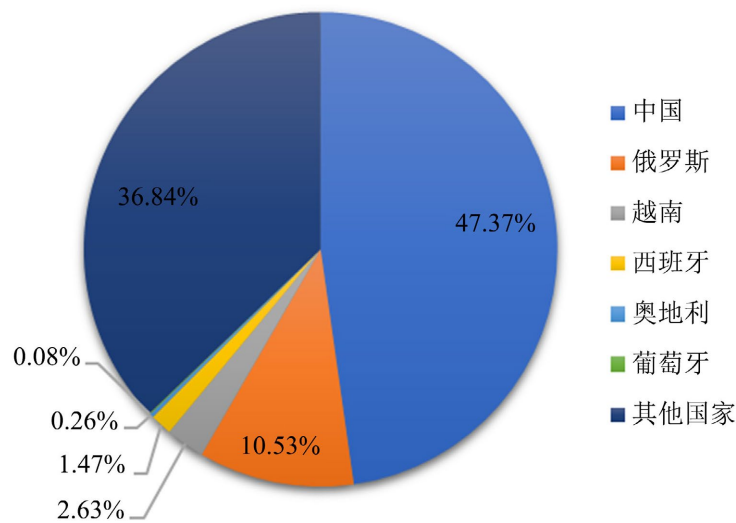
2.1. 全球钨矿资源分布

据美国地质调查局(U. S. Geological Survey)的数据[3]，我们可以了解在 2022 年全世界的钨储量大约有 380 万 t，较上年增长了 2.70%。全球钨资源主要集中在分布在中国、俄罗斯和越南等国家(图 1)，其中，中国钨储量位居全球首位，高达 180 万吨，占世界钨储量的 47.37%；俄罗斯钨储量位于全球第二，约为 40 万吨，占全球储量的 10.53%，比中国少 140 万吨；越南钨储量为 10 万吨，占全球储量的 2.63%。这些数据表明，中国在全球钨资源储量中占据显著优势，其储量远超其他国家(表 1)。

Table 1. Distribution of global tungsten resources reserves in 2022  
表 1. 2022 年全球钨资源储量分布

| 国家   | 储量/t      | 占比/%   | 同比/%   |
|------|-----------|--------|--------|
| 中国   | 1,800,000 | 47.37  | -5.26  |
| 俄罗斯  | 400,000   | 10.53  | 0.00   |
| 越南   | 100,000   | 2.63   | 0.00   |
| 西班牙  | 56,000    | 1.47   | 7.69   |
| 奥地利  | 10,000    | 0.26   | 0.00   |
| 葡萄牙  | 3100      | 0.08   | -39.22 |
| 其他国家 | 1,400,000 | 36.84  | 16.67  |
| 世界合计 | 3,800,000 | 100.00 | 2.70   |

资料来源：美国地质调查局(USGS)。



**Figure 1.** Map of global tungsten resource reserves by country (according to USGS, 2022)  
**图 1.** 全球各国钨资源储量占比图(据 USGS, 2022)

从表 1 可以看出我国钨储量虽比往年下降了 5.26%，但现有储量仍然以巨大优势位于世界第一。

2.2. 我国钨资源分布概况

**Table 2.** National tungsten resources (WO<sub>3</sub>) reserves distribution in 2022  
**表 2.** 2022 年全国钨资源(WO<sub>3</sub>)储量分布

| 地区   | 储量/万吨  | 占比/%   |
|------|--------|--------|
| 江西   | 169.36 | 56.54  |
| 湖南   | 59.5   | 19.86  |
| 河南   | 17.44  | 5.82   |
| 新疆   | 10.76  | 3.59   |
| 广西   | 10.15  | 3.39   |
| 福建   | 8.65   | 2.89   |
| 广东   | 6.06   | 2.02   |
| 云南   | 5.56   | 1.86   |
| 黑龙江  | 3.94   | 1.32   |
| 甘肃   | 2.86   | 0.95   |
| 内蒙古  | 2.24   | 0.75   |
| 青海   | 1.05   | 0.35   |
| 安徽   | 0.98   | 0.33   |
| 浙江   | 0.52   | 0.17   |
| 湖北   | 0.45   | 0.15   |
| 四川   | 0.04   | 0.01   |
| 全国合计 | 299.56 | 100.00 |

资料来源：《2023 年中国矿产资源报告》。

中国是全球钨矿资源最丰富的国家，且钨矿资源在国内的分布较为广泛。然而，从主产区来看，华南地区尤其是南岭构造带，钨矿资源分布极为集中。根据中国自然资源部发布《2023 年中国矿产资源报告》，我国钨矿储量(以  $\text{WO}_3$  计)高达 299.56 万吨，稳居世界首位(表 2)。按省域分布来看，钨资源分布最丰富的地区是江西和湖南，两省的储量占全国总量的比例分别为 56.54%和 19.86%；紧随其后的是河南，新疆，广西，福建，广东等省(区)，钨矿资源也较为可观。

我国有着种类齐全的钨矿资源。据矿石成分和开采特点，钨矿石通常可划分成 3 种：黑钨矿、白钨矿及黑白混合钨矿，其中黑钨矿占 20.90%；白钨矿占 68.70%；黑白混合钨矿占 10.40% [4] (图 2)。

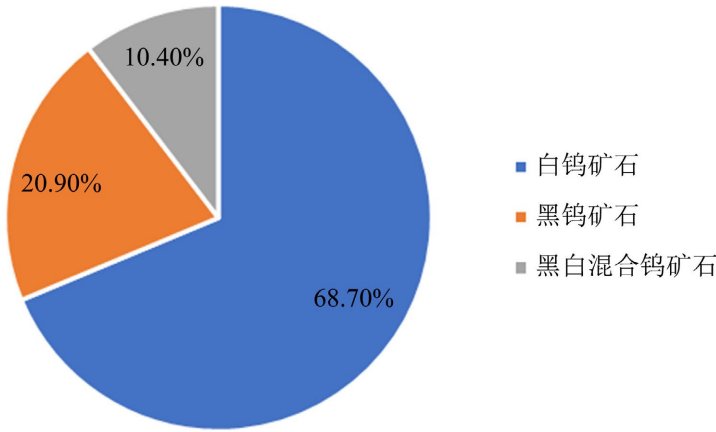


Figure 2. Map of the proportion of retained resources of different tungsten ore types  
图 2. 不同钨矿石类型保有资源量占比图

2.3. 我国钨资源的主要特点

- 我国钨资源有着显著的特点，主要体现在以下 3 个方面：
- (1) 共伴生组分丰富，且有着较高的综合利用价值；
  - (2) 富矿相对较少，矿石品位普遍较低；
  - (3) 矿床类型齐全，分布广泛。

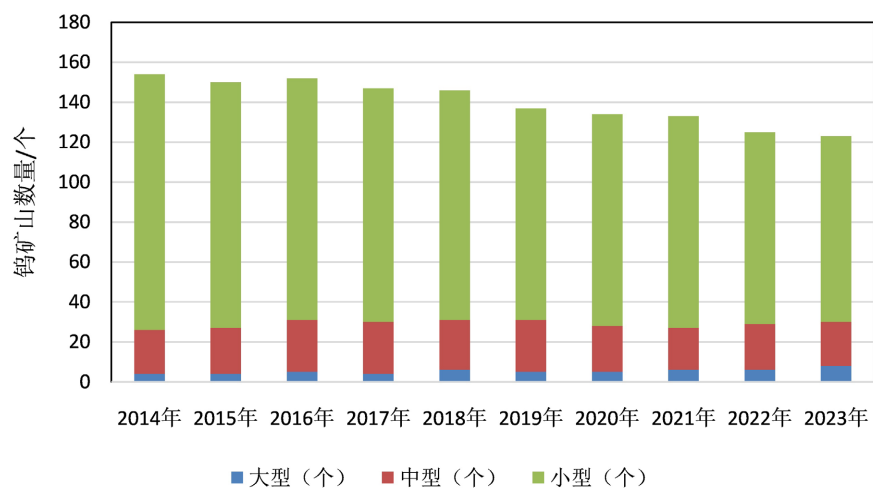
3. 全球开发利用现状

截至 2023 年，我国钨矿山有 123 个，主要分布在江西、湖南和广东等省份。2014~2023 年来，我国钨矿山数量整体呈下降趋势[5] (表 3)。从矿山规模看，2014~2023 年来，大型钨矿山呈逐渐增多趋势；中型钨矿山相对平稳；小型钨矿山呈逐渐减少趋势(图 3)。

Table 3. Trends in the number of tungsten mines in China, 2014~2023 [5]  
表 3. 2014~2023 年中国钨矿山数量变化趋势[5]

| 钨矿山规模 | 2014 年 | 2015 年 | 2016 年 | 2017 年 | 2018 年 | 2019 年 | 2020 年 | 2021 年 | 2022 年 | 2023 年 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 大型(个) | 4      | 4      | 5      | 4      | 6      | 5      | 5      | 6      | 6      | 8      |
| 中型(个) | 22     | 23     | 26     | 26     | 25     | 26     | 23     | 21     | 23     | 22     |
| 小型(个) | 128    | 123    | 121    | 117    | 115    | 106    | 106    | 106    | 96     | 93     |
| 合计(个) | 154    | 150    | 152    | 151    | 146    | 137    | 134    | 133    | 125    | 123    |

资料来源：《中国自然资源统计年鉴》。



**Figure 3.** Trend of the number of tungsten mines in China, 2014~2023  
**图 3.** 2014~2023 年中国钨矿山数量变化趋势图

截至 2018 年，我国累计探明钨矿储量中，石英脉型钨矿占 39%，高于矽卡岩型钨矿(38%) [6]。由于近几十年来长期高强度的开采钨矿，我国钨资源面临着严重日益贫化问题，尤其是品位较好的黑钨矿资源已接近枯竭，与此同时，大部分白钨矿品位普遍低于 0.4%，属于低品位矿石，这给选矿工艺带来了极大的技术挑战，低品位的白钨矿不仅增加了选矿的难度，还显著提高了生产成本[7]。

我国钨矿品位较低且成分复杂，主要由白钨矿、黑钨矿及黑白钨混合矿组成。近百年尤其是近几十年，由于我国钨资源的快速开采且开采技术的不完善，较为优质的黑钨矿已基本被消耗完了，白钨精矿的品位也逐年下降。

在钨精矿生产过程中，提高选矿回收率与精矿品位之间存在显著的权衡关系。由于选矿工艺的固有特性，追求更高的回收率往往需要放宽对精矿品位的控制，导致产品质量下降；反之，若以提升精矿品位为目标，则必须牺牲部分回收效率。从我国长期数据来看，近十年的钨精矿品位和选矿回收率均呈现双下降趋势，明显低于上世纪中后期的水平。尽管选矿技术持续进步，但资源禀赋的劣化导致技术改进难以完全抵消选别难度的增加。

4. 钨矿床成矿规律研究

近年来，随着钨矿需求量的增加以及资源量的消耗，更迫切的找矿需求推动了对钨矿床的进一步研究[2]。近年来，众多学者围绕钨矿床的矿床成因、成矿时代及成矿物质来源等方面进行了较为深入研究，并取得了显著进展，提出了许多新的见解和理论。本文将原生的钨矿床分成四大类(表 4)：石英脉型、矽卡岩型、云英岩型、斑岩型。

**Table 4.** Main types of tungsten deposits, metallogenic element combinations, geological features and typical deposits in China

**表 4.** 我国钨矿床的主要类型、成矿元素组合、地质特征和典型矿床

| 主要类型 | 成矿元素组合      | 主要地质特征                             | 代表性矿床    |
|------|-------------|------------------------------------|----------|
| 石英脉型 | W, Sn       | 矿体以石英脉状分布于含矿花岗岩体外接触带地层中，矿脉具五层楼分布模式 | 广西珊瑚钨矿床  |
| 矽卡岩型 | W, Sn, W-Sn | 矿体产于花岗岩与碳酸盐岩的内、外接触带中               | 湖南柿竹园钨矿床 |
| 云英岩型 | W-Sn-Nb-Ta  | 矿体主要产于花岗岩体顶部内接触带                   | 湖南香花岭钨矿床 |
| 斑岩型  | W, W-Sn     | 矿体主要产于花岗斑岩体内部及接触带附近                | 江西阳储岭钨矿床 |

#### 4.1. 石英脉型钨矿床

石英脉型钨矿床作为钨矿资源中最重要的类型之一，其具有开发历史最悠久、分布范围最广泛、矿床数量最多、工业价值显著以及研究程度最深入的特点。其成矿母岩以二云母花岗岩和白云母花岗岩为主，这些岩石为成矿提供了重要的物质来源和热液条件。矿体通常以石英脉的形式赋存于含矿花岗岩体外接触带的碎屑岩和浅变质岩地层中，其形成机制与岩浆热液活动密切相关。具体而言，含矿的岩浆热液流体在运移过程中，沿着围岩地层中的裂隙构造充填并沉淀，最终形成石英脉型矿体。这类矿床在垂向上表现出典型的“五层楼”分布模式。这种分带性不仅反映了成矿流体的演化过程，也为矿床勘探和开采提供了重要的地质依据。此外，石英脉型钨矿床的形成还受到构造、岩性和热液活动等多重因素的控制，其复杂的成矿过程使其成为矿床学研究的热点之一。

其中，在石英脉型钨矿床的矿物学研究方面，谢星采用电子探针、X 射线衍射等分析技术在空间上对盘古山和淘锡坑黑钨矿的化学成分、晶体特征等方面展开了进一步的研究，基于在两矿区样品的化学成分和晶格结构等特征对两矿区成矿的异同点进行了分析归纳，同时也基于两矿区中不同采样点样品的各项特征，通过两矿床空间上的对比以及跟珊瑚、浒坑、瑶岗仙矿区黑钨矿晶胞参数的对比，得出一系列结论[8]。在两矿区，都有同一矿脉自下而上黑钨矿都有 FeO 含量先增大后减小的特点，其指示黑钨矿成矿温度从下至上表现出先增大，而后减小。由此推测，在两矿区矿液沿裂隙从下至上运移，随后上部矿液又有向下回流的现象[8]。同时基于两矿区黑钨矿常量元素、微量元素、稀土元素的含量差异及晶胞参数差异并结合其他相邻矿区的研究，又得出盘古山黑钨矿体比淘锡坑黑钨矿体更接近成矿岩体的结论[8]。于萍使用电子探针、X 射线衍射测试方法对盘古山黑钨矿的化学成分和氧同位素特征展开研究，并据此探讨了成矿热液的运移特征和物质来源，其认为热液在向上运移的同时有向不同有利方向的斜向插入[9]。另外，宋生琼等、王璇等、陈莉莉等分别在淘锡坑、荡坪、茅坪对黑钨矿中的包裹体开展了系统研究，并据此对三地黑钨矿形成时期的热液流体特征和黑钨矿的形成特点进行了分析，并普遍得出黑钨矿包裹体中的物质比石英包裹体中的物质表现出形成时有更高温度、更高盐度、更高压力、更小密度的结论[10]-[12]。

在学者们直接针对黑钨矿族矿物展开矿物学研究的同时，另有大量学者通过其他侧面的研究方法对钨矿进行了研究。其中刘善宝等使用白云母的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年研究了漂塘和柯树岭矿区的成岩成矿时代[13]。方贵聪等采用 LA-ICP-MS 测试方法测定盘古山矿区下伏岩体锆石 U-Pb 定年并使用基于 ICP-MS 的辉钼矿 Re-Os 年代学研究方法对盘古山内带矿化石英脉进行研究[14]。黄帆等在黄沙钨矿使用 Re-Os 方法对花岗岩体和钨矿床开展年代学研究[15]。同时还有学者提出了黑钨矿的直接测年方法并验证了其可行性[16]，使直接对黑钨矿进行年代学研究成为可能。这些年代学研究相比前人研究从更为直接的角度对石英脉型钨矿床的形成年代进行了更为精确的圈定，并揭示出钨矿床成岩与成矿存在一定时差的特点，丰富了人们对赣南地区钨矿形成过程的理解，为后续成矿理论的研究提供了重要依据。

方贵聪等通过对盘古山石英脉中流体的氢氧同位素研究揭示成矿流体成分特征，认为热液物质来源包含岩浆气液和大气降水两部分，并以岩浆气液为主[14]。叶诗文等使用显微测温及激光拉曼探针等手段研究石英脉流体包裹体特征揭示了盘古山矿区的多期热液特点[17]。王旭东分别在区内盘古山、木梓园和大吉山钨矿开展石英流体包裹体研究，使用显微测温及激光拉曼探针手段分析流体成分并通过对比研究其演化特点，并对两矿区金属矿物沉淀机制做出判断[18]。在近年来多地的包裹体研究中，石英脉型钨矿床多期热液活动的特点得到进一步揭示。

#### 4.2. 矽卡岩型钨矿床

矽卡岩型钨矿床主要形成于构造活跃区域，其空间分布具有显著的区域性特征。我国作为全球矽卡

岩型钨矿床的重要分布区,其成矿带主要与造山作用密切相关,其主要集中在南岭成矿带。其成矿过程与中酸性岩浆活动密切相关,含矿热液沿接触带渗透并与钙质围岩发生强烈交代作用,形成以钙铁榴石、透辉石等矽卡岩矿物为特征的矿化带。值得注意的是,矽卡岩型钨矿化常与热液脉型钨矿(如石英脉型)、云英岩型矿化以及锡、钼、铋等多金属矿化共生,构成复杂的成矿系统。

在矽卡岩钨矿床成因研究上,于志峰等对瑶岗仙矿床矽卡岩型矿体的白钨矿及流体包裹体进行了系统研究,发现矽卡岩型和石英脉型钨矿化的形成与不同流体性质密切相关于[19]。矽卡岩型钨矿化由富含挥发分的岩浆-热液流体在较高氧化条件下通过不混溶作用结晶沉淀形成,并随温度降低演化为热液,形成典型矽卡岩矿化;石英脉型黑钨矿化则属于岩浆期后热液矿化模式,与岩浆期后热液流体密切相关。任云生等研究吉黑地区矽卡岩型钨矿床的成矿流体特征及机制,选取黑龙江省逊克县翠宏山钨多金属矿床和吉林省汪清县白石砬子钨矿床为代表,对白钨矿进行原位微区 LA-ICP-MS 微量元素分析[20]。结果表明,该地区钨矿床的初始成矿流体源自岩浆。白钨矿与成矿岩体在 Y/Ho-La/Ho 图中的差异进一步揭示,流体演化过程中的水岩反应和流体混合作用是白钨矿富集成矿的主要机制。

在成矿成岩时期方面,戴盼等对江西省香炉山钨矿中不同阶段的白钨矿进行了原位 LA-ICP-MS 分析,通过微量元素研究并结合矽卡岩矿物成分示踪流体性质,发现石榴子石和辉石的成分可反映矽卡岩形成时的氧化还原条件[21]。强氧化条件下主要形成钙铁榴石和透辉石,而强还原条件下则形成钙铝榴石和钙铁辉石[22]。同时云母的主量元素特征显示,流体演化过程中 Na、Al、K 含量先减后增,Mg 和 Fe 含量先增后减,与石榴子石中 Mn、Fe 含量增加及 Al 含量减少的趋势一致。研究将香炉山矽卡岩钨矿床成矿作用分为四个阶段:矽卡岩阶段、退化蚀变阶段、石英-硫化物-白钨矿阶段和方解石-萤石阶段。

在定年方面,李佳黛等认为,LA-ICP-MS 石榴子石 U-Pb 定年技术开发的标样主要为钙铁榴石,但矽卡岩型钨矿中普遍发育钙铝榴石以及贫钙石榴子石[23],因此,仍需要开发钙铝榴石及贫钙石榴子石标样或者未来应该着重建立 LA-ICP-MS 白钨矿 U-Pb 定年方法。

### 4.3. 云英岩型钨矿床

云英岩型钨矿床属于钨锡矿床中较为关键的类别,它们多出现于岩浆岩分布密集的区域。这类矿床主要在岩浆活动的晚期阶段,即岩浆-热液过渡期形成。在这个阶段,岩浆期后的热液流体在花岗岩体的顶部受到周围岩石的遮挡,导致顶部的花岗岩在晚期发生自蚀变作用,进而生成云英岩以及钨锡矿化现象。矿体多以不规则团块状或包壳状出现在花岗岩体顶部的云英岩带内,常与石英脉型钨矿床构成“五层楼+地下室”模式。此外,石英脉型钨矿床还展现出“扇状成矿规律”。像“五层楼”、“五层楼+地下室”、“上脉下体”、“扇状”等找矿模型[24]-[27]的提出都为日后的找矿工作提供了极大的帮助。

在云英岩型钨矿床的矿物学研究领域,吴锟言等对南岭地区云英岩型钨矿床中的白钨矿进行了系统的矿物组合分析及 X 射线单晶衍射研究,发现白钨矿的形成主要与 Nb<sup>5+</sup>的耦合作用及空穴替代机制密切相关,这一发现为理解云英岩型钨矿床中白钨矿的成矿机制提供了重要的矿物学依据[28]。与此同时,丰成友等通过对九龙脑岩体中花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 测年及与之成因紧密关联的洪水寨云英岩型钨矿中辉钨矿 Re-Os 同位素测年数据的对比分析,揭示了成岩与成矿年龄的高度一致性,进一步明确了以九龙脑岩体为核心的钨锡多金属矿成岩成矿作用主要集中于 150~160 Ma,并证实了钨锡成矿作用与九龙脑花岗质岩浆活动之间的密切成因联系,表明其属于同一岩浆-流体成矿体系的产物[29]。此外,范飞鹏等通过白云母 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 定年及锆石 U-Pb 法定年技术,对良源铌钽铍钨矿床外带云英岩型铌钽铍钨矿体的白云母形成时代及云英岩成岩时代进行了深入研究,提出了良源矿床独特的“五层楼”(石英脉-云英岩型钨矿体)与“地下室”(花岗岩型铌钽铍矿体)相结合的成矿模式[30]。这一研究成果不仅深化了对区域成矿作用的认识,也为类似矿床的勘探与开发提供了新的理论支撑和实践指导。

#### 4.4. 斑岩型钨矿床

斑岩型钨矿床是全球第三大钨矿类型，主要与次火山花岗质岩浆活动相关。该类矿床广泛分布于环太平洋和阿尔卑斯-喜马拉雅成矿带[31]。

近年来，针对斑岩型钨矿床成矿物质来源的研究取得了重要进展，刘俊等通过对与斑岩钨矿床具有成因联系的岩浆岩进行系统总结，指出其成矿物质主要与 I/A 型花岗岩类相关，而非陆壳重熔型(S 型)花岗岩[31]；周洁则通过对江南造山带东段东源白钨矿床的全岩 Sr-Nd 同位素及锆石 Hf 同位素分析，揭示了成矿相关岩浆岩主要起源于古老地壳的重熔作用，并伴有少量亏损地幔或海洋沉积物的混染，进一步丰富了斑岩钨矿床成矿物质来源的认识[32]；此外，Burnard and Polya 基于 He-Ar 和 Sr-Nd 同位素对钨矿物的直接分析，提出了地幔源区可能直接为钨矿化提供成矿物质的新观点，为斑岩型钨矿床的成矿机制研究提供了新的理论视角。这些研究成果共同表明，斑岩型钨矿床的成矿物质来源具有多源性，可能同时涉及地壳重熔、地幔贡献及沉积物混染等多种地质过程，为深入理解斑岩钨矿床的成矿作用及勘探实践提供了重要的科学依据[33]。

在斑岩型钨矿成岩成矿时期研究方面，胡开明等通过对浙西大铜坑斑岩型钨钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年，获得等时线年龄为  $146.47 \pm 0.81$  Ma，表明钨钼成矿作用发生于晚侏罗世[34]；李陈浩等对牛角坞花岗岩闪长斑岩锆石 U-Pb 定年，得出成岩年龄为  $149.1 \pm 0.6$  Ma，指示区内钨多金属成岩成矿作用发生于燕山早期阶段[35]。

#### 4.5. 钨矿床成因总结

以上典型钨矿床通常与花岗岩岩浆-热液体系有关，且在同一岩浆系统中，多种矿化类型共生并按一定的空间分布：石英脉型、矽卡岩型钨锡矿床通常发育于云英岩型或斑岩型矿床的上部或接触带上。例如：江西大湖塘钨矿区，矿化类型以斑岩型钨矿为主，兼有石英脉型黑钨矿和隐爆角砾岩型钨(铜、钼)矿等；湖南瑶岗仙矿区大规模石英脉型钨矿和矽卡岩型钨矿共同发育。但这些矿床的“岩浆成因”在国内、外已取得较为一致的认识，除矽卡岩型钨矿床中围岩具有较大贡献率外，各类钨矿床成矿物质均主要来源于花岗岩岩浆，且有不同程度的大气降水参与[36]。钨的富集与花岗岩岩浆的形成、演化及多期次的活动，密切相关，钨以岩浆热液方式运移并在岩浆期后热液作用下富集成矿。钨的成矿花岗岩浆多数由古老地壳物质重熔形成(S 型花岗岩)，经历了较充分的分异演化，重熔过程中可能受到壳幔相互作用的影响[37]；原岩中富钨白云母分解后钨进入花岗岩浆，结晶分异过程中岩浆晶粥体和残留岩浆长期不断分凝，经过高度分异演化产生富钨的成矿热液。何兴华等对华南中生代的上述四种钨矿床的成矿流体 He-Ar 和 H-O 同位素特性进行了深入研究，他们发现这些成矿流体主要是壳源和幔源的混合，并且常常伴随着大气降水的加入[38]。在这些中，矽卡岩型钨矿的成矿流体，尤其是大气降水的参与最为显著，这可能包含了地幔的成分；石英脉型、斑岩型白钨矿流体主要来源于壳源，并伴随着少量的大气降水[39]。

### 5. 结论

(1) 随着钨及其合金由于其优异的理化性质使其应用领域不断扩展，钨矿需求量和消耗量的不断增加，导致我国钨矿储量在全球占比逐年下降，为缓解这一现状，我们不仅要着手于钨矿找矿工作上，还应进一步提高选矿利用率。

(2) 近年来通过对石英脉、矽卡岩等类型钨矿床的矿床成因，找矿模型上的研究，伴随着“五层楼”、“五层楼 + 地下室”、“上脉下体”、“扇状”等找矿模型的提出进一步为找矿工作者提供了帮助。

(3) 我国大多数钨矿床通常与花岗岩岩浆-热液体系有关，且在同一岩浆系统中，多种矿化类型共生并按一定的空间分布。通过前人对不同类型钨矿床的矿床成因，钨矿矿物学，成矿规律等研究，我们对

钨矿床的成矿过程有了新的认识,同时也对后续的钨矿床研究提供了重要线索。

## 参考文献

- [1] 毛景文, 杨宗喜, 谢桂青, 等. 关键矿产——国际动向与思考[J]. 矿床地质, 2019, 38(4): 689-698.
- [2] 王登红, 陈毓川, 陈郑辉, 等. 南岭地区矿产资源形势分析和找矿方向研究[J]. 地质学报, 2007(7): 882-890.
- [3] 余泽全, 苏刚, 田雪芹. 2022 年中国钨工业发展报告[J]. 中国钨业, 2023, 38(2): 1-7.
- [4] 余良晖, 马茁卉, 周海东. 我国钨矿资源开发利用现状与发展建议[J]. 中国钨业, 2013, 28(4): 6-9.
- [5] 仇巍巍, 李政, 吴初国, 等. 全球钨矿资源形势及中国开发利用现状分析[J]. 中国矿业, 2025, 34(2): 429-437.
- [6] 林海清. 中国钨矿山及选矿工艺发展[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2019: 1-326.
- [7] 李思佑, 李丽匣, 张宏亮, 等. 钨矿预选抛废技术研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(3): 89-95.
- [8] 谢星, 梁婷, 鲁麟, 等. 赣南盘古山和淘锡坑黑钨矿化学成分和晶体结构及指示意义[J]. 地质学报, 2017, 91(4): 876-895.
- [9] 于萍. 江西盘古山钨矿矿物学特征研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2012.
- [10] 宋生琼, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 赣南淘锡坑钨矿床流体包裹体地球化学研究[J]. 地球化学, 2011, 40(3): 237-248.
- [11] 王璇, 王旭东, 袁顺达, 等. 赣南荡坪石英脉型黑钨矿床成矿流体研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2016, 35(3): 534-539.
- [12] 陈莉莉, 倪培, 王国光, 等. 赣南茅坪钨矿黑钨矿及共生石英中流体包裹体组合(FIA)研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2018, 54(2): 336-350.
- [13] 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 等. 赣南崇义-大余-上犹矿集区不同类型含矿石英中白云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2008(7): 932-940.
- [14] 方贵聪, 陈毓川, 陈郑辉, 等. 赣南盘古山钨矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义[J]. 地球学报, 2014, 35(1): 76-84.
- [15] Fan, H., Chengyou, F., Yuchuan, C., Lijuan, Y., Zhenghui, C., Zailin, Z., *et al.* (2011) Isotopic Chronological Study of the Huangsha-Tieshanlong Quartz Vein-Type Tungsten Deposit and Timescale of Molybdenum Mineralization in Southern Jiangxi Province, China. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, **85**, 1434-1447. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2011.00597.x>
- [16] Harlaux, M., Romer, R.L., Mercadier, J., Morlot, C., Marignac, C. and Cuney, M. (2017) 40 Ma of Hydrothermal W Mineralization during the Variscan Orogenic Evolution of the French Massif Central Revealed by U-Pb Dating of Wolf-ramite. *Mineralium Deposita*, **53**, 21-51. <https://doi.org/10.1007/s00126-017-0721-0>
- [17] 叶诗文, 路远发, 童启荃, 汪群英, 陈郑辉, 彭相林. 盘古山钨矿成矿流体特征及其地质意义[J]. 华南地质与矿产, 2014, 30(1): 26-35.
- [18] 王旭东, 倪培, 袁顺达, 吴胜华. 江西大吉山钨多金属矿床流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 2013, 32(2): 308-322.
- [19] 于志峰, 赵正, 王艳丽, 祝新友, 尹政. 湖南瑶岗仙矽卡岩型白钨矿床成矿流体演化特征研究[J]. 岩石学报, 2022, 38(2): 513-528.
- [20] 任云生, 李京谋, 郝宇杰, 等. 吉黑东部矽卡岩型钨矿床白钨矿原位微量元素特征及其指示意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2023, 53(6): 1706-1721.
- [21] 戴盼, 毛景文, 吴胜华, 李超, 程冰冰, 高涛, 倪洪, 刘琦. 江西香炉山钨矿矽卡岩矿物学和白钨矿微量元素特征及其对成矿作用的指示[J]. 岩石学报, 2023, 39(6): 1674-1692.
- [22] 赵盼盼, 袁顺达, 原垭斌. 湘南黄沙坪多金属矿床石榴子石地球化学特征及其对 Cu 与 W-Sn 复合成矿机理的指示[J]. 岩石学报, 2018, 34(9): 2581-2597.
- [23] 李佳黛, 李晓峰. 矽卡岩型钨矿床成矿作用研究进展[J]. 矿床地质, 2020, 39(2): 256-272.
- [24] 许建祥, 曾载淋, 王登红, 陈郑辉, 刘善宝, 王成辉, 应立娟. 赣南钨矿新类型及“五层楼+地下室”找矿模型[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 880-887.
- [25] 王登红, 唐菊兴, 应立娟, 陈郑辉, 许建祥, 张家菁, 李水如, 曾载淋. “五层楼+地下室”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(4): 733-738.
- [26] 华仁民, 韦星林, 王定生, 郭家松, 黄小娥, 李光来. 试论南岭钨矿“上脉下体”成矿模式[J]. 中国钨业, 2015, 30(1): 16-23.

- [27] 方贵聪, 王登红, 冯佐海, 许成, 杨植根, 申昌健, 童启荃, 杨明, 孙杰, 付伟, 康志强, 刘希军, 陈远荣, 杨锋, 刘奕志. 赣南盘古山钨铋矿床发现扇状成矿现象[J]. 地质论评, 2021, 67(6): 1780-1784.
- [28] 吴锬言, 刘飏. 白钨矿晶体结构及微量元素替代机理[J]. 地质学报, 2023, 97(10): 3314-3325.
- [29] 丰成友, 黄凡, 曾载淋, 屈文俊, 丁明. 赣南九龙脑岩体及洪水寨云英岩型钨矿年代学[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(1): 111-121.
- [30] 范飞鹏, 肖惠良, 陈乐柱, 李海立, 鲍晓明. 粤北良源铌钽铷钨矿床地质、成岩成矿时代与成矿模式[J]. 岩石学报, 2022, 38(2): 393-410.
- [31] 刘俊, 李文昌, 周清, 杨富成, 姜晓佳, 张树志, 郭欣然. 斑岩型钨矿床研究进展[J]. 中国地质, 2021, 48(3): 732-748.
- [32] 周洁. 江南造山带东段含钨花岗岩成因研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 2016: 1-83.
- [33] Burnard, P.G. and Polya, D.A. (2004) Importance of Mantle Derived Fluids during Granite Associated Hydrothermal Circulation: He and Ar Isotopes of Ore Minerals from Panasqueira. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **68**, 1607-1615. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2003.10.008>
- [34] 胡开明, 唐增才, 孟祥随, 周汉文, 董学发, 杜雄, 陈忠大. 浙西大铜坑斑岩型钨钼矿床成岩成矿年代学[J]. 地球科学, 2016, 41(9): 1435-1450.
- [35] 李陈浩, 赵正, 刘善宝, 等. 赣东北牛角坞钨多金属矿床地质、年代学和地球化学[J]. 岩石学报, 2024, 40(1): 178-196.
- [36] 祝新友, 王京彬, 王艳丽, 陈细音, 傅其斌. 论石英脉型钨矿成矿系统的相对封闭性——以湖南瑶岗仙脉型钨矿床为例[J]. 地质学报, 2014, 88(5): 825-835.
- [37] 蒋少涌, 赵葵东, 姜海, 苏慧敏, 熊索菲, 熊伊曲, 徐耀明, 章伟, 朱律运. 中国钨锡矿床时空分布规律、地质特征与成矿机制研究进展[J]. 科学通报, 2020, 65(33): 3730-3745.
- [38] 何兴华, 顾尚义. 钨在花岗岩岩浆体系中的分配特征以及对成矿作用的影响[J]. 矿产勘查, 2017, 8(4): 631-643.
- [39] Xie, G., Mao, J., Li, W., Fu, B. and Zhang, Z. (2018) Granite-Related Yangjiashan Tungsten Deposit, Southern China. *Mineralium Deposita*, **54**, 67-80. <https://doi.org/10.1007/s00126-018-0805-5>