

# 四川西部钨矿控矿因素解析与高效找矿模型构建

张伟

四川省综合地质调查研究所

DOI:10.12238/gmsm.v8i2.2171

**[摘要]** 本论文聚焦四川西部钨矿资源,通过系统的地质调查与数据分析,深入解析钨矿的控矿因素,并构建高效找矿模型。研究发现,地层的岩石组合、构造断裂的空间展布、岩浆岩的成分与演化,以及变质流体作用,对钨矿的形成与富集具有显著控制作用。基于此,结合地质、地球化学、地球物理等多学科信息,构建了包含多元找矿标志的高效找矿模型,并通过典型矿区案例验证了模型的有效性。研究成果为四川西部钨矿资源的勘查与开发提供了重要的理论依据和实践指导,有助于提升找矿效率,保障区域矿产资源安全。

**[关键词]** 四川西部; 钨矿; 控矿因素; 找矿模型; 地质勘查

中图分类号: P5 文献标识码: A

## Analysis of ore controlling factors and construction of efficient prospecting model for tungsten deposits in western Sichuan province

Wei Zhang

Sichuan Institute of Comprehensive Geological Survey

**[Abstract]** This paper focuses on the tungsten ore resources in western Sichuan. Through systematic geological surveys and data analysis, it provides a deep understanding of the factors controlling tungsten ore formation and constructs an efficient mineral exploration model. The study reveals that the rock assemblage of strata, the spatial distribution of structural fractures, the composition and evolution of magmatic rocks, and metamorphic fluid activities significantly influence the formation and enrichment of tungsten ores. Based on this, by integrating information from geology, geochemistry, geophysics, and other disciplines, an efficient mineral exploration model incorporating multiple exploration indicators has been developed. The effectiveness of this model has been verified through case studies of typical mining areas. The findings provide important theoretical support and practical guidance for the exploration and development of tungsten ore resources in western Sichuan, enhancing exploration efficiency and ensuring regional mineral resource security.

**[Key words]** western Sichuan; tungsten ore; mineral control factors; prospecting model; geological exploration

### 引言

钨是关键战略金属,广泛应用于多个领域。四川西部地质复杂,是钨矿找矿的重要区域,但勘查工作面临挑战,控矿因素认识不足,找矿效率需提升。深入研究控矿因素和建立高效找矿模型,对指导勘查工作和保障钨矿资源供应具有重要意义。

尽管国内外在钨矿控矿因素和找矿模型方面取得进展,特别是岩浆岩与成矿关系、构造因素对矿体定位和富集的研究,但针对四川西部钨矿的系统性研究不足,特别是在多因素耦合控矿机制和高效找矿模型构建方面。因此,本研究具有重要的科学和实践价值。

### 1 四川西部钨矿地质背景

四川西部位于松潘-甘孜造山带与扬子地块西缘,地质构造

复杂,多期构造运动和岩浆活动影响显著。地层发育完整,古生代至中生代地层与钨矿关系密切,主要赋矿地层包括泥盆系、石炭系、二叠系和三叠系,主要岩性为碳酸盐岩、碎屑岩和火山岩。

区域构造以断裂和褶皱为主,北西向、北东向和近南北向断裂相互交织,形成复杂构造格架。这些断裂控制地层分布、岩浆侵入,为成矿流体运移和矿体定位提供通道和空间。区内褶皱构造多样,其虚脱部位常是矿体赋存的有利空间。<sup>[2]</sup>

岩浆活动在四川西部钨矿成矿中起关键作用,岩浆岩类型多样,以燕山期和喜马拉雅期活动最为强烈。岩浆侵入活动为钨矿成矿提供热源和物质,改变围岩物理化学性质,促进成矿元素迁移和富集。

四川西部钨矿在空间上呈现出明显的带状分布特征。主要

集中分布在松潘-甘孜造山带南缘、龙门山构造带西侧等区域。<sup>[1]</sup>从图1可以看出,钨矿化主要沿北西向和北东向构造带展布,形成了多个钨矿化集中区,如白玉-理塘钨矿带、丹巴-康定钨矿带等。这些钨矿带的形成与区域构造、岩浆活动和地层条件密切相关。

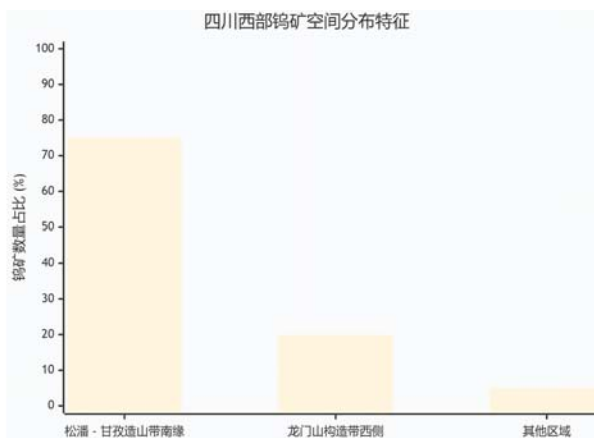


图 1

## 2 控矿因素解析

### 2.1 地层因素

#### 2.1.1 赋矿地层特征

四川西部钨矿主要赋存于泥盆系-三叠系地层中。以泥盆系为例,岩性主要为浅海相碳酸盐岩、碎屑岩组合,富含硅质条带和生物碎屑。这些岩石在沉积过程中,通过吸附、沉淀等作用,使得钨元素在局部地段发生初步富集。<sup>[4]</sup>研究表明,泥盆系地层中钨元素的平均含量可达 $12 \times 10^{-6}$ ,高于地壳克拉克值( $1.3 \times 10^{-6}$ )近10倍。显示出良好的成矿物质基础,如图2所示:

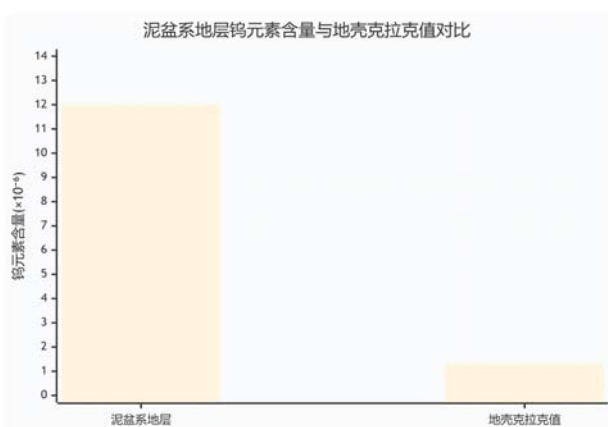


图 2

三叠系地层岩性复杂,以浅变质的碎屑岩、火山岩为主,其岩石组合和地球化学性质对钨矿成矿具有重要影响。例如,在某些三叠系火山岩地层中,发现了与火山热液活动相关的钨矿床,其成矿与火山岩的成分、结构以及火山活动过程中产生的热液流体密切相关。<sup>[3]</sup>

#### 2.1.2 地层与钨矿的关系

地层不仅为钨矿成矿提供了物质基础,其岩石性质和沉积环境还影响着成矿流体的运移和矿质沉淀。碳酸盐岩地层中发育的溶洞、裂隙等孔隙空间,为成矿流体的储存和矿质沉淀提供了有利场所。<sup>[6]</sup>同时,地层中的有机质在成岩过程中会产生还原性流体,这些流体能够与成矿元素发生化学反应,促进钨元素的活化、迁移和富集。<sup>[5]</sup>在白玉县某钨矿,矿体主要赋存于泥盆系碳酸盐岩与碎屑岩的接触带附近,接触带处的岩石破碎,裂隙发育,为成矿流体的运移和矿体的形成提供了良好的空间条件。

### 2.2 构造因素

#### 2.2.1 区域构造格局

四川西部的区域构造格局对钨矿的分布具有宏观控制作用。北西向的甘孜-理塘断裂带和北东向的龙门山断裂带是区域内两条重要的控矿构造带。这些断裂带切割深度大,沟通了深部的成矿流体源区与浅部的成矿空间,使得深部富含钨元素的成矿流体能够沿断裂带上升至有利部位成矿。同时,断裂带的活动还导致地层发生褶皱变形,形成了一系列的背斜、向斜构造。<sup>[8]</sup>在背斜的轴部和翼部,由于应力集中,岩石破碎,裂隙发育,为矿体的赋存提供了空间。如丹巴县某钨矿,矿体主要赋存于背斜轴部的裂隙带中,背斜构造对矿体的定位和富集起到了关键作用。

#### 2.2.2 控矿断裂特征

控矿断裂在四川西部钨矿成矿过程中起着重要的作用。通过对多个钨矿矿区的调查发现,控矿断裂主要为脆性断裂,产状陡倾,走向以北西向和北东向为主。断裂的规模大小不一,长度从几百米到数千千米不等,宽度一般在数米到数十米之间。<sup>[7]</sup>这些断裂在成矿前为成矿流体的运移提供通道,成矿期则成为矿体的赋存空间。例如,在康定县某钨矿,一条北西向的控矿断裂贯穿整个矿区,矿体沿断裂带呈脉状产出,矿石品位较高,断裂带内岩石破碎,发育石英脉、黑钨矿脉等。对该断裂带的研究表明,其形成与区域构造应力场的演化密切相关,断裂的多次活动为成矿流体的多次充填和成矿提供了条件。

控矿断裂以脆性断裂为主,其产状与规模对矿体定位起决定性作用,四川西部钨矿控矿断裂特征统计表,如表1所示:

表1 四川西部钨矿控矿断裂特征统计表

断裂走向	倾角(°)	长度范围	宽度范围	矿体赋存特征
北西向	60-85	500-3000m	2-15m	脉状矿体沿断裂带连续分布
北东向	55-75	300-2000m	1-10m	透镜状矿体集中于断裂交汇区

### 2.3 岩浆岩因素

#### 2.3.1 岩浆岩类型与分布

四川西部与钨矿有关的岩浆岩主要为花岗岩类,包括黑云母花岗岩、二云母花岗岩、白云母花岗岩等。这些花岗岩在空间上主要沿区域断裂带分布,呈岩基、岩株、岩脉等多种形态产出。从时间上看,岩浆活动主要集中在燕山期-喜马拉雅期,与钨

矿成矿时代具有较好的对应关系。例如,在白玉-理塘钨矿带,燕山期花岗岩广泛分布,这些花岗岩与区内的钨矿床在空间上紧密相伴,表明二者具有密切的成因联系。

### 2.3.2 岩浆岩与钨矿的成因联系

岩浆岩与钨矿的成因联系主要体现在物质来源、热动力条件和矿化蚀变等方面。花岗岩在岩浆结晶分异过程中,富含钨、锡、钼等成矿元素的残余岩浆流体逐渐富集,当这些流体运移到有利的构造-地层部位时,便会发生矿质沉淀形成钨矿床。此外,岩浆活动带来的高温高压环境,促使围岩发生变质和蚀变作用,形成一系列与钨矿有关的蚀变矿物组合,如云英岩化、硅化、钾长石化等。这些蚀变作用不仅改变了围岩的物理化学性质,还为钨矿成矿提供了有利的地球化学环境,促进了钨元素的富集。在丹巴县某钨矿,矿区内花岗岩体周围广泛发育云英岩化蚀变带,蚀变带内黑钨矿富集,形成了具有工业价值的钨矿床。

### 2.4 其他因素

#### 2.4.1 变质作用

四川西部在漫长的地质历史时期经历了多期变质作用,这些变质作用对钨矿的形成和改造具有重要影响。区域变质作用使得原岩发生矿物成分和结构构造的改变,促进了成矿元素的活化和迁移。<sup>[10]</sup>在变质过程中,岩石中的水分和挥发分被释放出来,形成富含成矿元素的流体,这些流体在构造裂隙中运移,当物理化学条件合适时,便会发生矿质沉淀,形成变质热液型钨矿床。动力变质作用则主要表现为岩石的破碎和糜棱岩化,为成矿流体的运移和矿体的定位提供了空间。例如,在某些钨矿矿区,矿体主要赋存于糜棱岩带中,糜棱岩带中的裂隙和孔隙为成矿流体的充填和矿质沉淀创造了有利条件。

#### 2.4.2 流体作用

成矿流体在钨矿成矿过程中起着关键作用。通过对四川西部多个钨矿矿区的流体包裹体研究表明,成矿流体主要为中-高温、中-低盐度的水溶液,成分以 $H_2O-NaCl$ 为主,含有少量的 $CO_2$ 、 $CH_4$ 等挥发分。这些成矿流体的来源具有多源性,可能包括岩浆水、变质水和大气降水。在成矿过程中,成矿流体携带大量的钨等成矿元素,在运移过程中与围岩发生水-岩相互作用,导致流体的物理化学性质发生改变,从而使得钨元素沉淀富集形成矿体。例如,在康定县某钨矿,通过对流体包裹体的测温研究发现,成矿温度在 $250-400^{\circ}C$ 之间,成矿流体在沿断裂带运移过程中,由于温度、压力的降低和围岩成分的影响,钨元素逐渐沉淀析出,形成了具有工业价值的钨矿体。

## 3 高效找矿模型构建

### 3.1 找矿标志确定

#### 3.1.1 地质标志

地质标志是找矿的重要依据。在四川西部钨矿找矿中,地层标志表现为特定的赋矿地层,如泥盆系、三叠系的碳酸盐岩、碎屑岩组合;构造标志包括北西向、北东向的控矿断裂带,以及褶皱构造的轴部和翼部;岩浆岩标志主要为燕山期-喜马拉雅期的花岗岩类岩体,尤其是与云英岩化、硅化等蚀变作用密切相关

的花岗岩体。此外,矿化蚀变带也是重要的地质找矿标志,如黑钨矿化、白钨矿化、云英岩化等蚀变现象的出现,往往指示着附近可能存在钨矿体。

#### 3.1.2 地球化学标志

地球化学测量是寻找钨矿的有效手段之一。通过对四川西部钨矿矿区及周边地区的土壤、水系沉积物地球化学测量发现,钨元素的异常分布与钨矿床具有良好的对应关系。<sup>[9]</sup>在表2中,统计了不同类型钨矿矿区的地球化学异常特征,其中,钨元素的异常下限一般在 $15 \times 10^{-6} - 20 \times 10^{-6}$ 之间,异常面积大小不等,与矿体规模和矿化强度相关。此外,与钨矿密切相关的伴生元素,如锡、钼、铋等元素的异常组合,也可作为重要的地球化学找矿标志。

表2 四川西部部分钨矿矿区地球化学异常特征

矿区名称	钨元素异常下限( $\times 10^{-6}$ )	异常面积(km <sup>2</sup> )	伴生元素异常组合
白玉矿区	18	5.2	Sn、Mo、Bi
丹巴矿区	16	3.8	Sn、Mo、W
康定矿区	20	6.5	Mo、Bi、Cu

#### 3.1.3 地球物理标志

地球物理方法在钨矿找矿中具有重要的应用价值。根据四川西部钨矿的地质特征,重力、磁力和电法测量是常用的地球物理找矿方法。在重力测量中,钨矿体及其围岩由于密度差异,会引起局部重力异常,通过重力异常的圈定,可以推测矿体的位置和规模。磁力测量则主要用于寻找与钨矿有关的磁性矿物,如磁铁矿、磁黄铁矿等,这些磁性矿物的存在往往与钨矿化具有一定的联系。电法测量可以通过探测地下岩石的电阻率差异,识别出含矿构造带和矿体的位置。例如,在某钨矿矿区,通过高精度磁法测量,圈定了多个磁异常区,结合地质和地球化学资料分析,确定了多个找矿靶区,经后续勘查验证,在部分靶区内发现了具有工业价值的钨矿体。

### 3.2 找矿模型建立

#### 3.2.1 模型构建思路

基于对四川西部钨矿控矿因素的深入分析和找矿标志的系统总结,结合地质、地球化学、地球物理等多学科勘查技术,构建四川西部钨矿高效找矿模型。该模型以控矿因素为基础,以找矿标志为线索,通过多学科信息的综合分析和相互验证,实现对潜在钨矿找矿靶区的快速识别和评价。

#### 3.2.2 模型组成要素

找矿模型主要由地质要素、地球化学要素和地球物理要素组成。地质要素包括赋矿地层、控矿构造、岩浆岩及矿化蚀变等;地球化学要素主要为钨及伴生元素的异常分布特征;地球物理要素涵盖重力、磁力、电法等地球物理异常信息。这些要素相互关联、相互补充,共同构成了找矿模型的有机整体。在实

际应用中,通过对各要素的综合分析和对比,能够更准确地判断找矿靶区的潜力。

### 3.2.3 模型应用流程

找矿模型的应用流程主要包括资料收集、信息分析、靶区圈定和验证评价四个阶段。首先,收集研究区的地质、地球化学、地球物理等资料;然后,对这些资料进行系统分析,提取找矿标志信息;接着,根据找矿标志和控矿因素,圈定潜在的找矿靶区;最后,对靶区进行野外验证和综合评价,确定靶区的找矿潜力。例如,在某新区钨矿勘查中,应用该找矿模型,通过对区域地质资料的分析,确定了有利的赋矿地层和控矿构造部位;结合地球化学和地球物理异常信息,圈定了3个找矿靶区;经后续的钻探验证,在其中2个靶区内发现了钨矿体,取得了良好的找矿效果。

## 4 案例分析

选取四川西部白玉县某钨矿作为典型案例进行分析。该矿区位于松潘-甘孜造山带南缘,大地构造位置处于甘孜-理塘断裂带西侧,复杂的构造环境为钨矿形成创造了条件。矿区内地层主要为泥盆系和三叠系,泥盆系岩性以碳酸盐岩为主,三叠系以浅变质碎屑岩、火山岩为主,二者呈角度不整合接触。矿体主要赋存于泥盆系碳酸盐岩与三叠系碎屑岩的接触带,此处岩石破碎、裂隙发育,为成矿流体运移和矿体形成提供空间。

选取四川西部白玉县某钨矿作为典型案例,其成矿要素耦合关系如图3所示。该矿区矿体赋存于泥盆系碳酸盐岩与三叠系碎屑岩接触带,受北西向断裂控制,与燕山期花岗岩体伴生,云英岩化蚀变带内钨矿化显著。

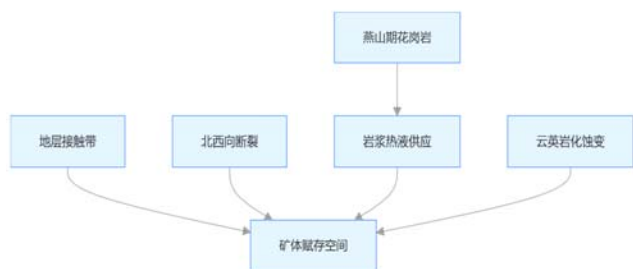


图 3

构造方面,矿区发育多条北西向和北东向断裂,一条北西向主干断裂贯穿矿区,直接控制矿体走向和分布,矿体沿断裂带呈脉状产出。岩浆岩方面,矿区外围出露燕山期花岗岩体,其与矿体空间联系紧密,岩体周围发育的云英岩化蚀变带内黑钨矿富

集,证实岩浆活动为成矿提供物质与热动力。此外,变质作用促使围岩蚀变,流体在运移中与围岩发生水-岩反应,改变物理化学性质,促使钨元素沉淀,共同促成了该矿区钨矿的形成与富集。

## 5 总结

本研究系统解析四川西部钨矿控矿因素,发现地层、构造、岩浆岩、变质与流体作用等多因素协同控制钨矿成矿。泥盆系-三叠系特定地层为成矿提供物质基础与储矿空间;北西向、北东向断裂及褶皱构造控制矿体分布与定位;燕山期-喜马拉雅期花岗岩类岩浆活动提供物质与热动力;变质和流体作用促进成矿元素迁移富集。基于此,构建了融合地质、地球化学、地球物理多元信息的高效找矿模型,并通过白玉县钨矿案例验证其有效性。研究成果为四川西部钨矿勘查提供理论与实践指导,有助于提高找矿效率,对保障区域矿产资源供应、推动矿业可持续发展具有重要意义。

### [参考文献]

- [1]李四光.地质力学概论[M].北京:科学出版社,1973.
- [2]赵鹏大.矿床勘查与评价[M].武汉:中国地质大学出版社,2003.
- [3]涂光炽.中国矿床成矿系列初论[M].北京:地质出版社,1994.
- [4]夏庆霖,胡光道.应用地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社,2007.
- [5]王登红,陈郑辉,李建康,等.中国钨矿资源潜力分析与找矿方向[J].地质通报,2012,31(11):1833-1844.
- [6]刘建明,叶杰,刘家军,等.热液矿床流体成矿作用[M].北京:科学出版社,2007.
- [7]毛景文,谢桂青,张作衡,等.中国主要金属矿床成矿规律[J].地质学报,2007,81(10):1305-1327.
- [8]侯增谦,杨志明,曲晓明,等.碰撞造山带成矿作用研究进展与问题[J].岩石学报,2006,22(5):1263-1274.
- [9]李文昌,尹光侯,卢映祥,等.西南“三江”多岛弧盆系构造演化与成矿[M].北京:地质出版社,2006.
- [10]杨立强,刘江涛,张闯,等.构造控矿研究进展与展望[J].地学前缘,2012,19(2):32-46.

### 作者简介:

张伟(1982-),男,汉族,山西平遥人,地质调查与矿产勘查高级工程师,文章研究方向:四川省钨矿成矿规律与找矿方向。