



钨

—资源、
冶金、
性质和
应用

[美] 叶惟洪 著
王崇敬
罗英浩 译
阮允翔
何彪祺

冶金工业出版社

16.35
673

钨

——资源、冶金、性质和应用

〔美〕叶帷洪 王崇敬 著

罗英浩 阮允翔 何颀祺 译

献给献身于钨工业的华昌公司创始人
老前辈李国卿先生

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书译自美国普莱南 (Plenum) 出版社1979年出版的《**Tungsten Sources, Metallurgy, Properties, and Applications**》一书。著者是美籍华人叶惟洪 (Stephen W.H. Yih) 和王崇敬 (Chun T. Wang)。

本书是一本有关钨的专题论著, 分十一章, 内容包括: 钨的地质、采矿、选矿, 钨的提取冶金, 钨的氧化物、卤化物和矿石的还原, 钨的致密化, 钨的加工, 钨的性质, 钨合金, 碳化钨和硬质合金工业, 钨的应用等; 本书还有两个附录: 钨、钨合金和碳化钨的金相试样制备, 钨的分析化学。

本书内容涉及到钨的各个方面, 可作为参考手册供从事钨工业生产、科研、设计人员使用, 也可供大专院校有关专业师生参考。

本书第一章由罗英浩翻译、第二~五章由何颀祺翻译, 第六~十一章及附录由阮允翔翻译。

钨

——资源、冶金、性质和应用

〔美〕叶惟洪、王崇敬 著

罗英浩 阮允翔 何颀祺 译

*

冶金工业出版社出版

(北京市丰台区口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 17 5/8 字数 464 千字

1983年3月第一版 1983年3月第一次印刷

印数 00,001~1,750 册

统一书号: 15062·3919 定价2.20元

序 言

在世界历史中，钨的发现较晚，这大概是由于从钨矿物中提取钨较难。此外，由于钨的非常难熔的性质，它的致密化与加工是早年的金属工业力所不及的。这就更加妨碍它被加工成为实用的形式。

然而，自从认识到钢中添加钨具有强化效应，并且发明了生产钨的粉末冶金法以后，这种高度难熔的金属在下列应用领域很快占有特殊地位：（1）电灯和电子管的灯丝；（2）高速钢和其它工具钢的钨添加剂；（3）在刀具材料和耐磨部件中应用的碳化钨。近年来，宇宙飞行器和核反应堆的出现，进一步开辟了钨的新应用领域。

本书第一章讨论了钨的矿物学和地质成因。接着概括地介绍了美国和世界上当前的主要采矿作业。在选矿部分（第1.5节），论述了分选过程，然后举例说明目前的一些工业实践。

第二章探讨了钨矿石的各种分解与提纯方法，着重于目前的发展趋势。然后列举了工业生产实例。同时还讨论了钨的再生回收。

第三章论述了钨的氧化物、卤化物和矿石的还原，介绍了一些新型还原炉和设备。同时还讨论了钨铁的生产。

第四章详细地讨论了粉末冶金的工艺过程和理论基础以及最近采用的电弧熔炼法；还探讨了电子束熔炼和其它新发展起来的致密化方法。

第五章极其详细地论述了钨的拉丝，这仍然是一种主要的工业加工方法；此外，还介绍了钨的其它加工新技术，从挤压、锻造和轧制到轧管；同时也讨论了除鳞、机械加工、焊接和保护涂层。

第六章探讨了钨的结构以及热性质、光学性质和电学性质；

接着讨论了钨的机械性能，其中对比了不同纯度和加工过程的钨的延性、硬度以及抗拉性能和抗蠕变性能。

第七章讨论了钨的一般性质和氧化行为，接着介绍了钨的化合物、钨酸盐和钨青铜的性质。

第八章重点放在钨合金和复合材料的制备和机械性能的论述上，包括重合金和金属熔渗钨；同时还讨论了含钨的钢、超级合金和高熔点合金的成分和应用。

第九章论述了碳化钨的制备及其性能，着重于碳化钨硬质合金以及硬质合金工业的一些新方向。

第十章介绍了各种形式的钨制品的应用。

第十一章概述了钨工业的结构，讨论了钨的应用趋势和可能的代用品，展望了钨的发展前途。

附录 I 简单地介绍了钨的金相检验程序。

附录 II 论述了有关钨的各种分析方法。

本书就篇幅所及力求尽可能全面，力求包括工业中的最新技术进展，以图作为从事钨的勘探、采矿和选矿、提取、还原、致密化、加工制造以及钨的合金、伪合金、复合材料、碳化钨和钨化学制品工作的科学家和工程师的一本手册；作为关心钨制品性质或生产工艺的用户的指南；以及作为对本领域特别感兴趣的或者正准备投身于本领域工作的大学生的一本入门书。

目 录

第一章 钨的产状、地质学、采矿和选矿	1
1.1 钨矿物的发现.....	1
1.2 矿物学.....	2
1.2.1 黑钨矿类 (2) 1.2.2 白钨矿类 (6) 1.2.3 次要钨 矿物 (7)	
1.3 地质学.....	10
1.3.1 概述 (10) 1.3.2 钨矿床的分类 (15)	
1.4 采矿.....	27
1.4.1 概述 (27) 1.4.2 美国 (32) 1.4.3 加拿大 (53) 1.4.4 巴西和玻利维亚 (54) 1.4.5 奥地利 (57) 1.4.6 葡萄 牙 (58) 1.4.7 澳大利亚 (59) 1.4.8 亚洲 (61)	
1.5 钨矿石的选矿.....	64
1.5.1 流程的制定原则 (64) 1.5.2 钨矿石的特性 (66) 1.5.3 破碎与磨矿设备 (67) 1.5.4 破碎与磨矿回路——分级 (67) 1.5.5 重力选矿 (70) 1.5.6 浮选 (71) 1.5.7 磁选 (76) 1.5.8 高压电选 (77) 1.5.9 目前的工业实践 (77)	
第二章 钨的提取冶金	91
2.1 引言.....	91
2.2 矿石的预处理.....	95
2.2.1 白钨矿 (95) 2.2.2 黑钨矿 (96)	
2.3 矿石的分解.....	96
2.3.1 酸浸出 (96) 2.3.2 碱焙烧法 (99) 2.3.3 苛性碱浸出法 (102) 2.3.4 苏打压煮法 (102) 2.3.5 氯化法 (106)	
2.4 中间钨化合物的提纯.....	112
2.4.1 钨酸铵溶液和仲钨酸铵结晶 (112) 2.4.2 钨酸钠溶液的 净化 (118) 2.4.3 液体离子交换萃取 (LIX) (119) 2.4.4 氯化钨的提纯 (125) 2.4.5 钨的电解 (129)	
2.5 工业生产方法举例.....	131

2.5.1 经典的仲钨酸铵结晶法 (132)	2.5.2 液体离子交换萃取法 (LIX) (136)	2.5.3 六氯化钨蒸馏法 (140)
2.6 钨的再生回收		142
2.6.1 总论 (142)	2.6.2 碳化钨硬质合金的再生回收法 (143)	
2.6.3 用化学法再生回收 (145)		
第三章 钨的氧化物、卤化物和矿石的还原		148
3.1 一般情况		148
3.2 从仲钨酸铵到氧化钨		149
3.2.1 固定式炉 (150)	3.2.2 回转炉 (153)	
3.3 氧化钨的氢还原		155
3.4 氧化钨的碳还原		161
3.5 氧化钨的金属还原		162
3.5.1 铝热还原 (163)	3.5.2 钙还原 (163)	3.5.3 用其他金属还原 (164)
3.6 卤化钨的氢还原		164
3.7 钨铁的生产		168
3.7.1 坩埚碳还原 (168)	3.7.2 铝热还原法 (168)	3.7.3 硅热还原法 (169)
3.7.4 金属热还原法 (169)	3.7.5 电炉还原 (170)	3.7.6 粉末冶金法 (171)
第四章 钨的致密化		173
4.1 基本情况		173
4.2 粉末冶金		173
4.2.1 粉末的选择 (174)	4.2.2 压制成形 (183)	4.2.3 烧结 (186)
4.3 电弧熔炼		198
4.3.1 普通电弧熔炼 (198)	4.3.2 电弧离心铸造 (203)	
4.4 其他致密化方法		206
4.4.1 热压 (206)	4.4.2 热等静压 (208)	4.4.3 爆炸成形 (209)
4.4.4 粉浆浇注 (209)	4.4.5 等离子弧喷镀 (210)	
4.4.6 化学气相沉积 (212)	4.4.7 粉末轧制 (213)	4.4.8 电子束熔炼 (213)

4.5 单晶制备	214
4.5.1 电子束区域熔炼 (215)	
4.5.2 应变-退火法 (216)	
第五章 钨的加工	217
5.1 一般情况	217
5.2 挤压	217
5.2.1 普通挤压 (218)	
5.2.2 高速挤压 (220)	
5.3 锻造	222
5.3.1 普通锻造 (223)	
5.3.2 高速锻造 (224)	
5.3.3 闭模锻造 (224)	
5.4 平辊轧制	226
5.4.1 开坯轧制 (228)	
5.4.2 二次轧制 (232)	
5.5 钨条轧制和旋锻	236
5.6 钨丝加工	240
5.6.1 普通加工方法 (240)	
5.6.2 纯 (非合金化) 钨丝 (245)	
5.6.3 掺杂 (不垂坠) 钨丝 (246)	
5.6.4 掺氧化钽和氧化锆的钨丝 (251)	
5.7 金属成形	254
5.7.1 环轧 (254)	
5.7.2 旋压和剪切成形 (254)	
5.8 管材加工	255
5.8.1 管材挤压 (256)	
5.8.2 管材拉拔 (257)	
5.8.3 管材轧制 (260)	
5.8.4 化学气相沉积 (261)	
5.8.5 管材加工方法比较 (262)	
5.9 除鳞和清理	262
5.10 接合	263
5.10.1 熔焊 (264)	
5.10.2 电阻焊 (265)	
5.10.3 钎焊 (266)	
5.10.4 扩散焊 (266)	
5.10.5 其它接合技术 (268)	
5.11 机械加工和磨削	268
5.11.1 机械加工 (268)	
5.11.2 砂轮磨削和切割 (272)	
5.11.3 电火花加工和磨削 (273)	
5.12 保护层	275
5.12.1 金属涂层 (276)	
5.12.2 难熔氧化物涂层 (276)	

5.12.3 碳化物、氮化物、硼化物和硅化物 (280)	5.12.4 金属 间化合物 (281)
第六章 钨的物理性质和机械性能	282
6.1 元素	282
6.1.1 原子核 (282)	6.1.2 原子 (283)
6.2 钨的物理性质	285
6.2.1 结构性质 (285)	6.2.2 热学性质 (287)
6.2.3 光学性质 (293)	6.2.4 电学性质 (297)
6.3 钨的机械性能	306
6.3.1 低温延性 (307)	6.3.2 弹性 (315)
6.3.3 硬度 (316)	6.3.4 抗拉性能 (320)
6.3.5 抗蠕变行为 (331)	6.3.6 李晶 结构与位错结构 (335)
第七章 钨及其化合物的化学性质	338
7.1 总论	338
7.2 钨的氧化行为	340
7.3 金属间化合物和中间金属相	340
7.4 钨的硼化物	344
7.5 钨与第Ⅳ族元素形成的化合物	349
7.5.1 碳化物 (349)	7.5.2 硅化物 (349)
7.6 钨与第Ⅴ族元素形成的化合物	350
7.6.1 氮化物 (350)	7.6.2 磷化物 (350)
7.6.3 砷化物 (350)	
7.7 钨与第Ⅵ族元素形成的化合物	352
7.7.1 氧化物 (352)	7.7.2 硫化物 (355)
7.7.3 硒化物 (357)	7.7.4 碲化物 (357)
7.8 钨与第Ⅶ族元素形成的化合物	357
7.8.1 氟化物和氟氧化物 (358)	7.8.2 氯化物和氯氧化物 (361)
7.8.3 溴化物和溴氧化物 (364)	7.8.4 碘化物和碘氧 化物 (365)
7.9 钨的水合物 (钨酸) 及其盐类	366
7.9.1 钨的水合物——钨酸 (366)	7.9.2 钨酸盐 (367)
7.10 过钨酸和过钨酸化合物	375

7.11 钨青铜	376
第八章 钨合金、复合材料和钨用作合金元素	379
8.1 一般情况	379
8.2 固溶合金	380
8.2.1 钼、铌和钽作为合金元素 (381) 8.2.2 钨-铌合金 (384) 8.2.3 其它固溶合金 (394)	
8.3 弥散强化和沉淀硬化合金	394
8.3.1 带氧化物弥散体的合金 (395) 8.3.2 带碳化物弥散体的合金 (396) 8.3.3 其它弥散强化合金 (404)	
8.4 钨复合材料	404
8.4.1 高比重合金 (404) 8.4.2 金属熔渗钨 (408) 8.4.3 钨纤维强化复合材料 (420)	
8.5 钨用作合金元素	426
8.5.1 钨用作钢的合金元素 (426) 8.5.2 钨用作难熔金属的合金元素 (427) 8.5.3 钨用作其他金属的合金元素 (429)	
第九章 碳化钨和硬质合金工业	435
9.1 引 言	435
9.2 相平衡	435
9.3 化学性质和物理性质	436
9.3.1 化学反应能力 (436) 9.3.2 物理性质 (437)	
9.4 碳化钨的制备	440
9.4.1 直接还原 (440) 9.4.2 由合金离析 (441) 9.4.3 气相沉积 (441) 9.4.4 熔盐电解 (442) 9.4.5 由元素合成 (442)	
9.5 碳化钨硬质合金	445
9.5.1 碳化钨硬质合金的制造 (446) 9.5.2 碳化钨硬质合金的性能 (449)	
9.6 碳化钨的再生回收	456
第十章 钨的应用	457
10.1 引言	457
10.2 非合金化钨	457
10.2.1 钨丝 (457) 10.2.2 钨条 (461) 10.2.3 其它形状的轧制	

品 (465)	
10.3 钨合金、复合材料和含钨高熔点合金	465
10.3.1 钨合金 (465) 10.3.2 钨复合材料 (466) 10.3.3 含钨高 熔点合金 (468)	
10.4 钨钢	469
10.4.1 高速钢 (469) 10.4.2 其它钨钢 (470)	
10.5 耐热合金和耐磨合金	471
10.5.1 超级合金 (472) 10.5.2 表面硬化合金和耐磨合金 (472)	
10.6 碳化钨	472
10.6.1 碳化钨硬质合金 (473) 10.6.2 熔铸硬质合金 (474)	
10.7 化工用途	474
第十一章 钨工业及未来展望	475
11.1 引 言	475
11.2 工业结构	475
11.2.1 矿业 (475) 11.2.2 钨制品和产品 (478) 11.2.3 废料回 收 (482)	
11.3 钨的消费量和可能的代用品	484
11.3.1 非合金化钨 (484) 11.3.2 钨合金、复合材料和含钨高 熔点合金 (484) 11.3.3 钨钢 (486) 11.3.4 耐热合金和耐磨 合金 (487) 11.3.5 碳化钨 (487) 11.3.6 化工用途 (490)	
11.4 未来展望	490
附录I. 钨、钨合金和碳化钨的金相试样制备	492
I .1 光学显微镜检验的金相试样制备	492
I .1.1 切片和镶样 (492) I .1.2 研磨 (492) I .1.3 抛光 (493) I .1.4 浸蚀 (494)	
I .2 电子显微镜检验的金相试样制备	495
附录II. 钨的分析化学	496
I .1 钨的检测	496
II .1.1 氧化钨的还原 (496) II .1.2 钨检测的矿石准备 (496) II .1.3 发射光谱法 (496) II .1.4 原子吸收法 (497)	
I .2 钨的测定	497

II.2.1 重量分析程序 (497)	II.2.2 分光光度测定程序 (499)
II.2.3 滴定分析程序 (501)	II.2.4 原子吸收测定程序 (501)
II.2.5 发射光谱测定程序 (502)	II.2.6 X-射线荧光分析程序 (502)
II.3 钨中杂质的测定	502
II.3.1 发射光谱法 (502)	II.3.2 填隙杂质 (505)
II.3.3 原子吸收光谱法 (509)	II.3.4 湿化学分析程序 (511)
文献目录	522

第一章 钨的产状、地质学、采矿和选矿

1.1 钨矿物的发现

早在元素钨发现很久以前就已知道了钨矿物黑钨矿，它先是在萨克森-波希米亚地区的锡矿山，随后在康沃尔被发现(Weeks, 1945)。J.F.Henckel曾把黑钨矿当作是一种含砷和铁的锡矿石。J.G.Wallerius, A.Cronstedt, J.H.G.von Justi 和 J.G.Lehmann等人也曾持有同样的观点(Li和Wang, 1955)。

1781年，一直在研究某种脉石矿物的瑞典化学家 Scheele 阐明了该矿物的成分是钙与某种未知酸的一种化合物。1755年，A.F.Cronstedt曾把如此发现的这种成酸元素命名为“tungsten”(“钨”)，这是来源于瑞典单词“tung”(意思是“重的”)和“sten”(意思是“石头”)。随后在1821年，Leonhard为了纪念Scheele，把这种矿物取名为“Scheelite”(白钨矿或钨酸钙矿)。

1783年，J.J.和F.de Elhujar 兄弟俩发现了黑钨矿(钨锰铁矿)也含有钨，但不是与钙在一起，而是与铁和锰在一起。他们还与T.Bergmann合作，用碳还原这种氧化物，成功地获得了金属钨。这大概是首次制出金属钨(Li和Wang, 1955)，他们把它定名为“Wolfram”(“钨”)。关于这个词的起源还不十分清楚，也许是来源于德文单词“Wolf”和“Rahm”或者是瑞典单词“Wolfrig”。这很可能与难于从含有黑钨矿的锡石中提取锡有关(Palache等, 1951; Li和Wang, 1955)。后来在1863年，Liebe介绍了在西班牙的阿尔马格勒拉山脉发现的几乎是纯的钨酸铁，取名为“钨铁矿”(“ferberite”)。

然而直至Oxland(1847年)取得了有关他制造钨酸钠、钨酸和金属钨的方法的专利以前，在工业中钨仍然很少为人们所了解。Oxland在1857年还取得铁-钨合金制造方法的专利权，但几乎过了五十年之后，金属钨本身才得到了应用，当时是用作白炽

灯灯丝。有关钨的提取、还原、加工和应用的更详细情况，将在下面的有关章节进行论述。

1.2 矿 物 学

埋藏量相当丰富而具有经济价值的钨矿物可分为两类：黑钨矿类和白钨矿类。这两类矿物将相当详细地进行讨论，在第1.2.3节再简单介绍其它矿物。

1.2.1 黑钨矿类

表 1.1 黑钨矿类矿物的物理性质和化学性质^①

性 质	钨 铁 矿	钨 锰 铁 矿	钨 锰 矿
化学式 (纯)	FeWO_4	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$	MnWO_4
WO_3 含量 (%)	76.3	76.5	76.6
Mn含量 (%)	0~3.6	3.6~14.5	14.5~18.1
Fe含量 (%)	18.4~14.7	14.7~3.7	3.7~0
晶体结构	单斜晶系	单斜晶系	单斜晶系
晶格参数 ^②			
a (Å)	4.71	4.79	4.85
b (Å)	5.70	5.74	5.77
c (Å)	5.94	4.99	4.98
β	90°	90°26'	90°53'
解理	在一个方向完全解理	在一个方向完全解理	在一个方向完全解理
比重	7.5	7.1~7.5	7.2~7.3
颜色	黑 色	暗灰色到黑色	红褐色到黑色
韧性	极 脆	极 脆	极 脆
光泽	半金属光泽到金属光泽	半金属光泽到金属光泽	半金属光泽到金属光泽
断口	不平整	不平整	不平整
硬度 (莫氏)	5	5~5.5	5
磁性	有时弱磁性	轻微磁性	—
条痕	暗褐色	暗褐色	棕红色到绿黄色
透明度	解理面不透明到半透明	不透明	不透明到半透明
通常产状	结晶完整，块状结晶	不规则块状，板状晶体的放射状集合体	薄板状晶体的放射状集合体

① Li 和 Wang, 1955.

② Palache 等人, 1951.

黑钨矿类包括三种矿物——钨铁矿、钨锰铁矿（黑钨矿）和钨锰矿。钨铁矿是富铁矿物，钨锰矿是富锰矿物，而钨锰铁矿则含纯态钨铁矿和钨锰矿均在20~80%之间。这些矿物的物理性质和化学性质列于表1.1。

在高温下，这三种矿物形成了钨酸铁和钨酸锰的连续固溶体系列。钨锰矿和钨铁矿可能共生于一个矿床中，因为许多钨矿床的形成温度低于可混溶性极限。有人认为，如果有足够量的锰存在，则 FeWO_4 和 MnWO_4 在低温下的可混溶性之差，可用作地质温度表。

黑钨矿系列中发现有钙，大概是由于有白钨矿的夹杂。在黑钨矿系列中检测出铌、钽和钪，认为是由于存在 ScNbO_4 和 FeNb_2O_6 及它们相应的钽化合物(Goldschmidt和Peters, 1931)。

钨铁矿 (Ferberite) 是依照德国格拉的鲁道夫·费伯 (Rudolph Ferber)命名的。通常为长条状 (010) 而稍扁平 (100)，往往带条纹 (001) (Palache等, 1951)。这些晶体外观常呈劈片形 (楔状) 外观 (图1.1)。



图 1.1 钨铁矿——黑色不透明目形晶体
大小为6×3厘米，产于科罗拉多州吉平县努基特矿山

钨锰铁矿通常是短棱柱形 (100)，较少为长棱柱形，稍微扁

平或板状 (100)，往往带条纹 (001) (Palache 等，1951) (图 1.2)。

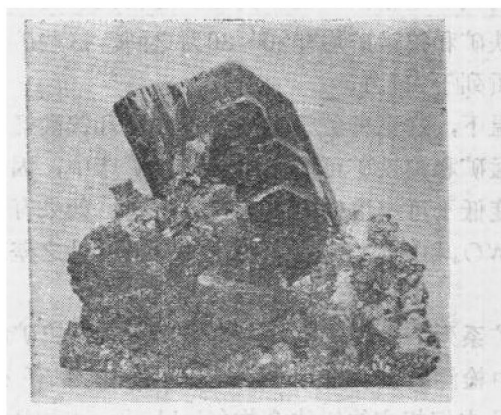


图 1.2 在砷黄铁矿上的钨锰铁矿——黑色的自形晶体
大小为 8×7 厘米，产于葡萄牙帕纳斯凯拉

钨锰矿 (Hübnerite) 是为了纪念德国弗赖堡的阿道夫·许布纳 (Adolph Hübner) 而取名的。它通常呈棱柱形到长棱柱形 (001)，往往是扁平板状 (100)，带有条痕或凹痕 (001) (Palache等，1951) (图 1.3)。

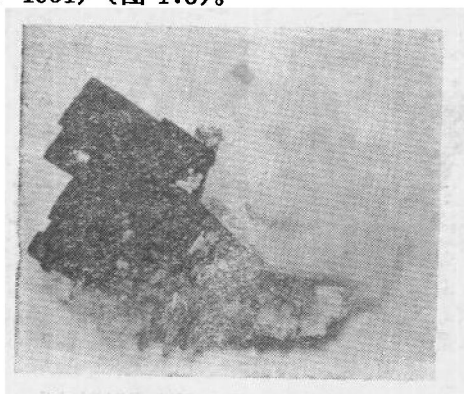


图 1.3 在石英上的钨锰矿——带有红宝石红色、透明到半透明的自形晶体
大小为 10×7.5 厘米，产于秘鲁安卡什省米纳瓦利邦帕斯塔布诺

从黑钨矿类矿物抛光面所测得的光学数据如下 (Cameron,

1961): 颜色为灰色, 类似于闪锌矿; 硬度为E级; 对所有试剂均呈负电性; 在两个方向呈现解理; 反射多向色性很低, 在晶界处明显; 非均质性效应明显; 消光偏斜; 用正交尼科耳棱镜和在油中的内反射是可见的, 而在空气中不用正交尼科耳棱镜的内反射则很少看见; 红色光强度随锰含量共增。不用化学分析很难把黑钨矿系列中各矿物区别开来。

表 1.2 钨矿物粉末衍射图X射线数据^①

矿 物	最强谱线的d值 (Å)	化 学 式
钨铁矿 ^②	2.94 4.75 3.75 3.65 2.48 2.49 1.72 2.20	FeWO ₄
钨铁矿 ^③	2.94 4.69 3.75 2.48 2.47 3.65 2.20 2.19	FeWO ₄
钨锰铁矿 ^④	2.97 2.95 4.78 3.76 3.67 2.49 2.86 2.39	FeMn(WO ₄) ₂
钨锰铁矿 ^⑤	2.95 2.48 4.76 3.74 3.65 1.72 1.77 2.19	(Fe, Mn)WO ₄
钨锰矿 ^⑥	3.00 2.95 4.84 3.78 3.70 2.50 2.88 1.73	MnWO ₄
白钨矿 ^⑦	3.10 4.76 3.07 1.93 1.59 2.62 2.30 1.69	CaWO ₄
白钨矿 ^⑧	3.11 1.60 1.94 1.25 4.77 1.69 1.56 1.09	CaWO ₄
水钨铝矿 ^⑨	4.20 3.07 3.05 5.66 3.98 1.94 1.86 6.09	Al(WO ₄)(OH)H ₂ O
水钨铝矿 ^⑩	5.63 4.19 3.97 3.06 2.46 4.33 4.12 3.65	AlWO ₃ (OH) ₂
铜钨华	2.53 1.73 3.93 3.02 1.46 7.30 2.23 4.73	Cu ₂ WO ₄ (OH) ₂
高铁钨华	5.94 2.97 3.10 1.82 1.55 2.57 0.99 0.87	Ca ₂ Fe ₂ ²⁺ Fe ₂ ³⁺ (WO ₄) ₉ H ₂ O
斜钨铝矿	3.22 2.76 3.62 2.71 1.81 3.59 3.48 2.91	PbWO ₄
钨铋矿	3.12 1.64 1.92 2.71 1.25 1.22 1.58 1.11	Bi ₂ WO ₆
钨铋矿 ^⑪	2.93 2.91 3.73 4.69 3.62 2.47 2.46 2.86	ZnWO ₄
钨铋矿 ^⑫	2.93 1.70 2.47 4.68 3.62 1.76 3.73 2.18	(Zn, Fe, Ca, Mn)WO ₄
钨铅矿	3.25 2.02 1.66 2.73 3.01 1.78 1.93 1.63	PbWO ₄
硫钨矿	6.18 2.28 2.73 2.67 1.83 1.58 3.09 1.53	WS ₂
钨华	3.49 5.39 2.57 1.84 2.63 2.69 1.85 1.74	WO ₃ ·H ₂ O

① ICDD, 1977.

② 计算图象。

③ 从德国奥尔斯尼兹的蒂佩斯多夫取样。

④ 实验室制备的试样。

⑤ 从波希米亚的津瓦尔德取样。

⑥ 从加利福尼亚州克恩维尔取样。

⑦ 从萨克森施瓦岑贝格的福斯廷贝格取样。

⑧ 从扎伊尔卡利马区米索古山取样。

⑨ 从乌干达的尼亚马利洛山取样。

⑩ 从阿根廷圣路易斯圣马丁省取样。