

# 中国钼矿资源特征及其成矿规律概要

黄凡<sup>1)</sup>, 王登红<sup>1)</sup>, 王成辉<sup>1)</sup>, 陈郑辉<sup>1)</sup>, 袁忠信<sup>1)</sup>, 刘新星<sup>1,2)</sup>

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037;

2) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京, 100083

**内容提要:**中国钼矿资源丰富, 是我国的优势矿种之一。近年来钼矿找矿成果突出, 钼矿在我国遍地开花, 呈现出“面型”分布的特征。从地理分布上看, 总体集中在中国东部地区, 其中河南省钼储量居首; 从矿床规模看, 查明的超大型钼矿床约占全国钼资源量的 53%, 大型钼矿床约占 30%, 中型钼矿床约占 14%, 小型钼矿床和钼矿(化)点仅占约 3%; 从矿床类型来看, 主要有斑岩型、矽卡岩型、热液(脉)型和沉积(变质)型, 分别占钼总资源量的 85.75%, 8.83%, 2.79%, 2.63%。根据辉钼矿 Re-Os 同位素年龄将中国钼成矿期划分为六个阶段: 前寒武纪(>800Ma)、寒武纪—志留纪(540~415Ma, 加里东期)、泥盆纪—二叠纪(400~290Ma, 海西期)、三叠纪(260~200Ma, 印支期)、侏罗纪—白垩纪(195~70Ma, 燕山期)和古近纪—新近纪(65~10Ma, 喜马拉雅期), 其中燕山期是最主要的成矿期, 形成了约 76.69% 钼资源, 其次为喜马拉雅期。本文初步总结了我国钼矿的时空分布特征及其成矿规律, 将全国钼矿划分为 41 个Ⅲ级成钼带, 13 个Ⅱ级成钼省, 4 个Ⅰ级成钼域, 建立了中国钼矿成矿谱系, 探讨了不同类型钼矿的时空演化、钼成矿作用与构造演化的关系, 并认为钼是反映中国地壳演化的有效示踪剂。

**关键词:** 钼矿; 矿床类型; 成钼带; 成矿规律; 构造演化

中国钼矿资源丰富, 近年来在传统和非传统钼矿产区均取得重大突破, 彻底改变了中国大陆原有的“南钨北钼”的分布格局, 钼矿呈现全国遍地开花之势, 成为世界第一钼资源大国(黄凡等, 2013)。同时, 随着科技进步和社会经济发展, 钼金属及合金被广泛应用于冶金、电子、化工、军事及航空航天等领域, 素有“能源金属”、“战争金属”之称, 具有重要的战略储备价值; 最新的研究表明, 由单层或几层二硫化钼构成的类石墨烯二硫化钼(graphene-like MoS<sub>2</sub>)显示出良好的半导体特性, 有些性能超过现在广泛使用的硅和研究热门石墨烯, 可望取代硅半导体材料成为下一代半导体材料(汤鹏等, 2013), 辉钼矿在新兴材料方面表现出强劲的优势。因此, 查明我国已有的钼资源家底, 加强钼成矿规律研究, 指导找矿勘查部署, 争取更大找矿突破, 做好战略储备将是一项长久的工作内容。本文通过对全国矿产资源潜力评价项目统计的 1114 个钼矿产地进行了系统的梳理, 初步总结了我国钼矿资源特征及其成矿规律。

## 1 资源特征

### 1.1 资源量

根据“全国矿产资源潜力评价”项目“全国重要矿产和区域成矿规律研究”的统计数字(表 1)显示, 全国一共发现钼矿床(点)1114 个, 共查明钼资源量约  $2708 \times 10^4$  t, 主要集中在中国东部地区, 占全国查明钼资源量的 76.15%。从省份分布看, 已查明钼资源量主要集中在河南、内蒙古、西藏、黑龙江、安徽、吉林、陕西等省份, 其中河南省最多, 已查明钼资源量约 5582862 t, 占全国的 20.61%。从矿床规模看, 超大型钼矿床 16 个, 大型 43 个, 中型 131 个, 小型 241 个, 矿点(矿化点)700 个。其中超大型钼矿床只占钼矿床总数量的 3%(图 1a), 但其钼资源量约 14122441 t, 约占全国的 53%(图 1b), 主要分布在新疆、陕西、西藏、黑龙江、吉林、内蒙古、山东、河南和安徽 9 个省份(表 1); 大型钼矿床占全国钼矿床数量的 7%, 已查明钼资源量约 8061921 t, 占全国的 30%, 除四川、北京、天津、山东、江苏、浙江、湖

注: 本文得到中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(编号 K1305)、中国地质大调查项目中国矿产地质与区域成矿规律综合研究(中国矿产地志)项目(编号 12120114039701、12120114039601)和全国矿产资源潜力评价项目(编号 1212010633901)联合资助。

收稿日期: 2014-08-30; 改回日期: 2014-11-20; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 黄凡, 男, 1983 年生。助理研究员, 主要从事矿床学研究。Email: hfhyymn@163.com。

表 1 中国钼矿在各省(市、自治区)的分布表

| Table 1 The distribution of molybdenum deposits in 30 provinces (municipalities and autonomous regions) in China |         |     |    |     |     |       |       |             |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|----|-----|-----|-------|-------|-------------|--------|
| 序号                                                                                                               | 省份      | 超大型 | 大型 | 中型  | 小型  | 矿(化)点 | 合计    | 钼查明资源量(t*)  | 百分比(%) |
| 1                                                                                                                | 新疆      | 1   | 2  | 4   | 7   | 37    | 51    | 865500      | 3.20   |
| 2                                                                                                                | 甘肃      |     | 1  | 3   | 2   | 9     | 14    | 267708.82   | 0.99   |
| 3                                                                                                                | 青海      |     | 1  | 1   | 3   | 45    | 51    | 289718.53   | 1.07   |
| 4                                                                                                                | 陕西      | 1   | 2  | 4   | 12  | 7     | 25    | 1348182.55  | 4.98   |
| 5                                                                                                                | 四川      |     |    |     | 2   | 18    | 20    | 39719.1     | 0.15   |
| 6                                                                                                                | 重庆      |     | 1  |     | 5   | 7     | 13    | 122232.26   | 0.45   |
| 7                                                                                                                | 云南      |     | 1  | 3   | 7   | 6     | 17    | 322234.71   | 1.19   |
| 8                                                                                                                | 西藏      | 2   | 3  | 12  | 5   | 37    | 59    | 2702449.41  | 9.98   |
| 9                                                                                                                | 黑龙江     | 2   | 4  | 6   | 4   | 81    | 97    | 2512567     | 9.28   |
| 10                                                                                                               | 吉林      | 1   | 2  | 4   | 16  | 3     | 24    | 2010163.379 | 7.42   |
| 11                                                                                                               | 辽宁      |     | 3  | 6   | 5   | 1     | 14    | 687920      | 2.54   |
| 12                                                                                                               | 内蒙古     | 1   | 4  | 17  | 17  | 38    | 72    | 3343751     | 12.35  |
| 13                                                                                                               | 北京      |     |    | 4   | 1   | 9     | 12    | 71318       | 0.26   |
| 14                                                                                                               | 天津      |     |    |     | 1   |       | 1     | 2066.2      | 0.01   |
| 15                                                                                                               | 河北      |     | 3  | 4   | 8   | 11    | 25    | 770157.98   | 2.84   |
| 16                                                                                                               | 山东      | 1   |    | 2   | 4   | 5     | 12    | 602058.99   | 2.22   |
| 17                                                                                                               | 河南      | 6   | 5  | 8   | 21  | 12    | 52    | 5582862     | 20.61  |
| 18                                                                                                               | 江苏(含上海) |     |    | 1   | 4   | 6     | 11    | 38835.67    | 0.14   |
| 19                                                                                                               | 安徽      | 1   | 1  | 3   | 14  | 31    | 50    | 2232743.24  | 8.24   |
| 20                                                                                                               | 江西      |     | 3  | 7   | 14  | 27    | 48    | 587627      | 2.17   |
| 21                                                                                                               | 浙江      |     |    | 1   | 21  | 43    | 65    | 78164       | 0.29   |
| 22                                                                                                               | 福建(含台湾) |     | 1  | 16  | 17  | 34    | 66    | 479264.93   | 1.77   |
| 23                                                                                                               | 湖北      |     |    | 1   | 5   | 31    | 37    | 72784.7     | 0.27   |
| 24                                                                                                               | 湖南      |     | 1  | 6   | 5   | 136   | 148** | 247565      | 0.91   |
| 25                                                                                                               | 广东      |     | 3  | 5   | 16  | 50    | 74    | 951333      | 3.51   |
| 26                                                                                                               | 广西      |     |    | 1   | 3   | 11    | 15    | 62398       | 0.23   |
| 27                                                                                                               | 贵州      |     | 1  | 10  | 17  | 3     | 31    | 501701.58   | 1.85   |
| 28                                                                                                               | 海南      |     | 1  | 2   | 5   | 2     | 10    | 291345.81   | 1.08   |
| 合计                                                                                                               |         | 16  | 43 | 131 | 241 | 700   | 1114  | 27084372.86 | 100    |

注:时间截止到 2012 年底,不含山西和宁夏。\* 钼查明资源量包括非上表储量数据。\*\* 湖南省矿产地统计包括了几乎全部伴生钼矿床,河南省只统计了约 50 个主要钼矿产地。

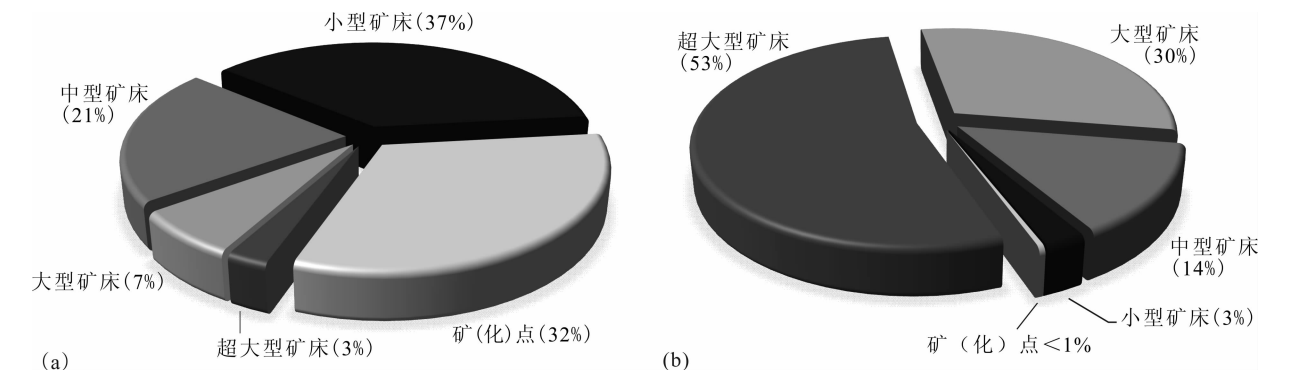


图 1 中国钼矿床按规模分布饼图

Fig. 1 Pie chart of molybdenum deposit according to the scale of deposit in China

(a)—矿床数量;(b)—查明资源量

(a)—Numbers of deposits; (b)—identified resources

北、广西外,其余省份均有分布(以下讨论均不含山西和宁夏);中型钼矿床占钼矿床总数的 21%,已查明钼资源量 3714733 t,占全国的 14%,除四川、重庆和天津外,其余省份均有分布;小型钼矿床和钼矿(化)点虽然在全国均有分布,其总数占全国钼矿床(点)的 69%,但已查明钼资源量只占全国的约 3%(图 1)。如此多的小型钼矿床和矿(化)点可作为将来进一步钼找矿的线索。

1.2 近 10 年来钼找矿进展

中国钼矿近十年来取得的找矿突破可以说是最具代表性的,根据 2002~2012 年《全国矿产资源储量通报》,钼查明资源量从 2002 年的  $985.92\times 10^4$  t 到 2012 年的  $2131.91\times 10^4$  t (表 2),增量达  $1145.99\times 10^4$  t,平均每年新增查明钼资源量  $114.599\times 10^4$  t,相当于平均每年新发现 2 个超大型钼矿床,或者 11 个大型钼矿床。表 2 和图 2 动态的反映了中国钼矿从 2002 年到 2012 年 11 年间矿区数、基础储量、储量、资源量和查明资源量的变化情况,从中可以看出,

表 2 中国钼矿 2002~2012 年矿区数和储量变化统计表  
Table 2 Changes of numbers and reserves of molybdenum mining area from 2002 to 2012 in China

| 年份   | 矿区数<br>(个) | 基础储量<br>( $\times 10^4$ t) | 储量<br>( $\times 10^4$ t) | 资源量<br>( $\times 10^4$ t) | 查明资源储量<br>( $\times 10^4$ t) |
|------|------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 2002 | 238        | 330.17                     | 183.98                   | 655.75                    | 985.92                       |
| 2003 | 242        | 345.48                     | 177.19                   | 653.42                    | 998.91                       |
| 2004 | 252        | 263.14                     | 162.32                   | 612.51                    | 875.65                       |
| 2005 | 268        | 363.42                     | 179.39                   | 712.49                    | 1075.91                      |
| 2006 | 315        | 381.01                     | 178.17                   | 713.2                     | 1094.21                      |
| 2007 | 359        | 431.68                     | 213.72                   | 704.32                    | 1136                         |
| 2008 | 411        | 435.53                     | 146.7                    | 796.7                     | 1232.23                      |
| 2009 | 454        | 444.8                      | 145.2                    | 811                       | 1255.8                       |
| 2010 | 490        | 462.98                     | 149.76                   | 938.77                    | 1401.75                      |
| 2011 | 583        | 586.12                     | 197.95                   | 1349.75                   | 1935.87                      |
| 2012 | 629        | 651.37                     | 233.6                    | 1480.54                   | 2131.91                      |

注:数据引自国土资源部储量司<sup>①</sup>。

中国钼矿数量呈逐年递增的趋势,由 2002 年的 238 个钼矿区增加到 2012 年的 629 个钼矿区,增加 391 个,结合上述钼查明资源量的增量,相当于在过去 11 年,每发现一个钼矿床就增加约  $2.93\times 10^4$  t 的钼资源量。钼资源量在 2004 年有个低值,其余年份均保持增长态势,查明钼资源量年平均增速达 10.5%,特别是最近几年(2011 年和 2012 年),矿区数和查明资源量增长最为明显,2011 年呈飞跃式增长,钼查明资源量相对于 2010 年增速达 38%。

进入新世纪,我国几乎所有省区市的钼勘查工作都得到进一步加强,成为我国钼找矿勘查的重要时期。图 3 显示了 2002 年与 2012 年我国主要省区市的钼矿区数量的对比情况,可以看出,除少数几个直辖市不在统计钼矿区数量外,其他省区市钼矿区数量均增加,其中,河南省的钼矿区数最多,达 69 个。此外,在某些省份,如重庆市新发现了钼矿床。图 4 显示了 2002 年与 2012 年我国主要省区市的钼查明资源量对比情况,可以看出除陕西、辽宁、山东、四川四个省查明钼资源量均有不同程度减少外,我国多数省区市钼查明资源储量均表现为增加,其中,河南、内蒙古、黑龙江、西藏、吉林、新疆等几个省份增量明显,特别是在一些非传统的钼矿产区均发现了大型—超大型钼矿床,如西藏、新疆、内蒙古、江西等省份,显示了我国大陆的富钼背景和强大的钼资源潜力(表 3)。

1.3 不同类型和不同时期钼矿资源分布特征

中国各主要成矿期的钼矿分布情况见表 4、表 5 和图 5。

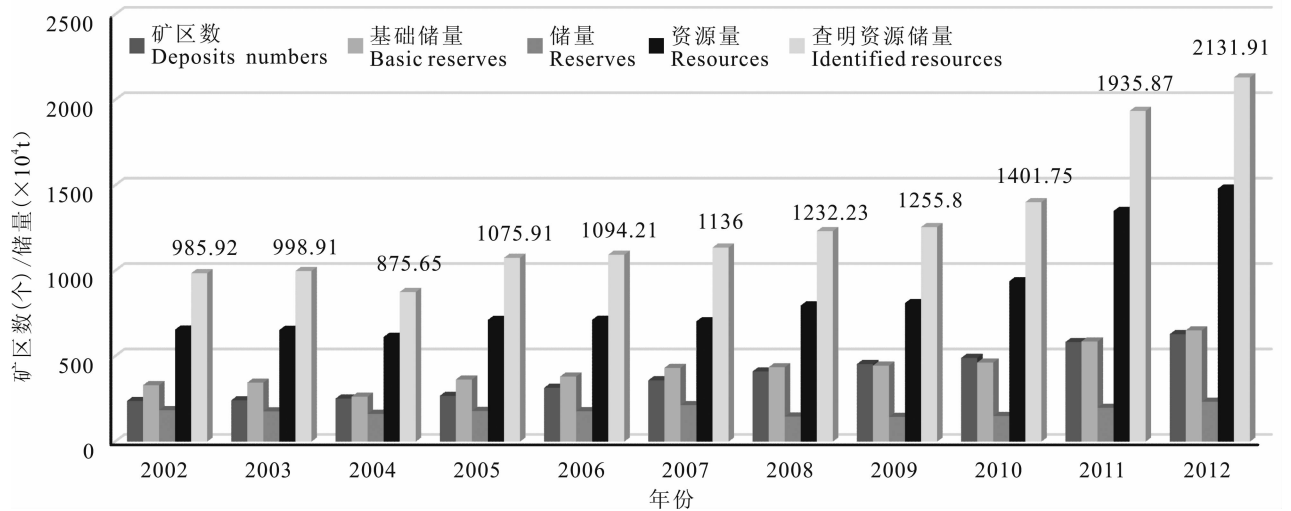


图 2 中国钼矿 2002~2012 年矿床数量和储量变化柱状图  
Fig. 2 Histogram of numbers and reserves of molybdenum mining area from 2002 to 2012 in China

表 3 近年来中国新发现的部分主要钼矿床一览表

Table 3 List of some newly founded molybdenum deposits in recent years, China

| 编号 | 矿区名称    | 省份 | 资源类型   | 资源量<br>(×10 <sup>4</sup> t) | 编号 | 矿区名称     | 省份  | 资源类型    | 资源量<br>(×10 <sup>4</sup> t) |
|----|---------|----|--------|-----------------------------|----|----------|-----|---------|-----------------------------|
| 1  | 汝阳东沟    | 河南 | 探明储量   | 68.98                       | 20 | 封开圆珠顶    | 广东  | 钼金属资源量  | 25                          |
| 2  | 汝阳竹园沟   | 河南 | 估算钼矿量  | 10                          | 21 | 苏左旗乌兰德勒  | 内蒙古 | 估算钼金属量  | 12                          |
| 3  | 嵩县鱼池岭   | 河南 | 探明钼资源量 | 55                          | 22 | 西乌旗东不拉格  | 内蒙古 | 估算钼金属量  | 7                           |
| 4  | 栾川石窑沟   | 河南 | 探明储量   | 7.11                        | 23 | 阿旗必鲁甘干   | 内蒙古 | 估算钼金属量  | 9.23                        |
| 5  | 栾川白庙沟   | 河南 | 钼资源量   | 6.14                        | 24 | 阿荣旗太平沟   | 内蒙古 | 钼金属量    | >5                          |
| 6  | 嵩县大石门沟  | 河南 | 钼资源量   | >10                         | 25 | 松岭区岔路口钼矿 | 黑龙江 | 探明资源储量  | 246.68                      |
| 7  | 商城汤家坪   | 河南 | 探明储量   | 23.5                        | 26 | 乌拉特后旗    | 内蒙古 | 探明钼金属量  | >30                         |
| 8  | 金寨沙坪沟   | 安徽 | 估算钼资源量 | 220                         | 27 | 额济纳旗小狐狸山 | 内蒙古 | 估算钼金属量  | >10                         |
| 9  | 信阳千鹅冲   | 河南 | 钼金属量   | 60                          | 28 | 卓资大苏计    | 内蒙古 | 钼金属量    | 12                          |
| 10 | 武山温泉    | 甘肃 | 探明储量   | 11.67                       | 29 | 兴和曹四夭    | 内蒙古 | 估算钼金属量  | 176                         |
| 11 | 仙游      | 福建 | 钼金属资源量 | 1.21                        | 30 | 东乌旗迪彦钦阿木 | 内蒙古 |         | 77.8                        |
| 12 | 工布江达沙让  | 西藏 | 估算资源量  | >10                         | 31 | 栖霞市尚家庄   | 山东  | 钼金属量    | 4.02                        |
| 13 | 尼木县冲江   | 西藏 | 钼金属量   | 2.7                         | 32 | 宽甸万宝源    | 辽宁  | 钼金属量    | 0.22                        |
| 14 | 工布江达亚贵拉 | 西藏 | 钼金属量   | >23                         | 33 | 舒兰季德钼矿   | 吉林  | 钼金属量    | 24.51                       |
| 15 | 墨竹工卡驱龙  | 西藏 | 钼金属量   | 45.7                        | 34 | 敦化大石河    | 吉林  | 钼金属储量   | 10                          |
| 16 | 工布江达汤不拉 | 西藏 | 钼金属量   | 20.8                        | 35 | 安远园岭寨    | 江西  | 估算钼金属量  | >20                         |
| 17 | 墨竹工卡邦铺  | 西藏 | 钼金属量   | 62                          | 36 | 哈密东戈壁    | 新疆  | 探明钼金属储量 | 50                          |
| 18 | 墨竹工卡甲马  | 西藏 | 钼金属量   | 60                          | 37 | 保亭罗葵洞    | 海南  | 钼金属量    | 30.58                       |
| 19 | 江达玉龙    | 西藏 | 钼金属量   | 40.7                        | 38 | 铁力鹿鸣     | 黑龙江 | 钼金属量    | 80                          |

表 4 中国不同时期钼矿成因类型分布统计表

Table 4 Statistics table of different genetic types of molybdenum deposits in different periods in China

| 成矿期   | 斑岩型   |          | 矽卡岩型  |         | 热液(脉)型 |        | 沉积(变质)型 |        | 总量百分比(%) |       |
|-------|-------|----------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|----------|-------|
|       | 个数    | 查明资源量    | 个数    | 查明资源量   | 个数     | 查明资源量  | 个数      | 查明资源量  | 个数       | 查明资源量 |
| 喜马拉雅期 | 32    | 2521373  | 3     | 632389  | 3      | 3381   |         |        | 4.18     | 11.94 |
| 燕山期   | 213   | 18060825 | 148   | 1658796 | 357    | 545135 | 1       | 1995   | 75.84    | 76.69 |
| 印支期   | 25    | 1613117  | 5     | 30565   | 18     | 186458 | 1       | 3283   | 5.02     | 7.12  |
| 海西期   | 40    | 240460   | 5     | 1107    | 6      | 286    | 11      | 131918 | 6.49     | 1.41  |
| 加里东期  | 4     | 186553   | 4     | 6631    | 7      | 1000   | 61      | 555772 | 7.95     | 2.84  |
| 前寒武纪  |       |          |       |         | 4      |        | 1       |        | 0.52     |       |
| 合计    | 314   | 22622328 | 165   | 2329488 | 395    | 736260 | 75      | 692968 | 100      | 100   |
| 百分比/% | 33.09 | 85.75    | 17.39 | 8.83    | 41.62  | 2.79   | 7.90    | 2.63   |          |       |

注:资源量单位:t。

表 5 中国不同时期钼矿规模统计表

Table 5 Statistics table of different scale of molybdenum deposits in different periods in China

| 成矿期   | 超大型 |          | 大型 |         | 中型  |         | 小型  |        | 矿(化)点 |       |
|-------|-----|----------|----|---------|-----|---------|-----|--------|-------|-------|
|       | 个数  | 查明资源量    | 个数 | 查明资源量   | 个数  | 查明资源量   | 个数  | 查明资源量  | 个数    | 查明资源量 |
| 喜马拉雅期 | 2   | 1225791  | 5  | 1494409 | 12  | 422062  | 5   | 14326  | 16    | 556   |
| 燕山期   | 13  | 12393176 | 28 | 5160261 | 77  | 2257170 | 148 | 413132 | 459   | 45852 |
| 印支期   | 1   | 503474   | 5  | 917748  | 15  | 429789  | 8   | 29305  | 19    | 327   |
| 海西期   |     |          | 3  | 263725  | 5   | 70742   | 13  | 39038  | 41    | 286   |
| 加里东期  |     |          | 2  | 225778  | 17  | 425823  | 21  | 95937  | 36    | 2417  |
| 前寒武纪  |     |          |    |         |     |         |     |        | 5     |       |
| 合计    | 16  | 14122441 | 43 | 8061921 | 126 | 3605586 | 195 | 591738 | 576   | 49438 |

注:资源量单位:t。

从矿床类型看,中国钼矿床主要包括斑岩型、矽卡岩型、热液(脉)型和沉积(变质)型等四类(下文详述),其中,斑岩型最为主要,矿床数量约占全国钼矿总数的 33.09%,查明钼资源量占全国总储量的 85.75%,优势地位更加明显;其次是矽卡岩型,矿床数量约占全国总数的 17.39%,查明钼资源量约占全国的 8.83%。由于近年来发现的超大型、大型钼矿以斑岩型为主,而矽卡岩型除发现甲玛超大型矿



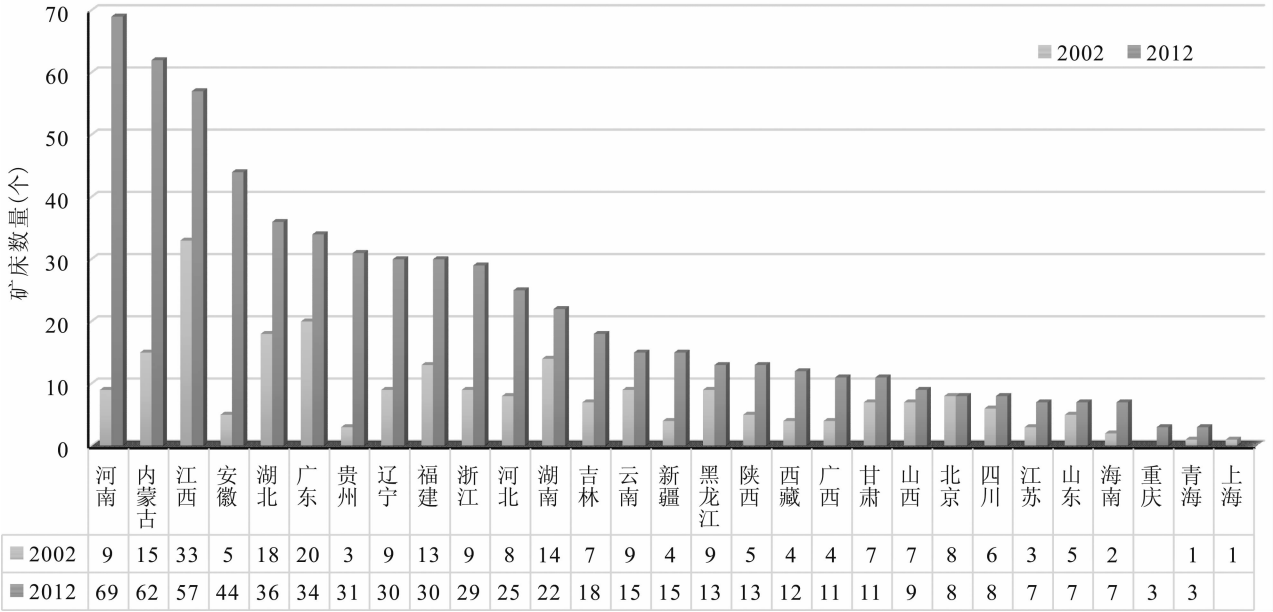


图 3 我国主要省区市 2002 年与 2012 年钼矿区数量对比柱状图

Fig. 3 Histogram of the numbers of molybdenum mining area in 2002 and 2012 of main provinces, China

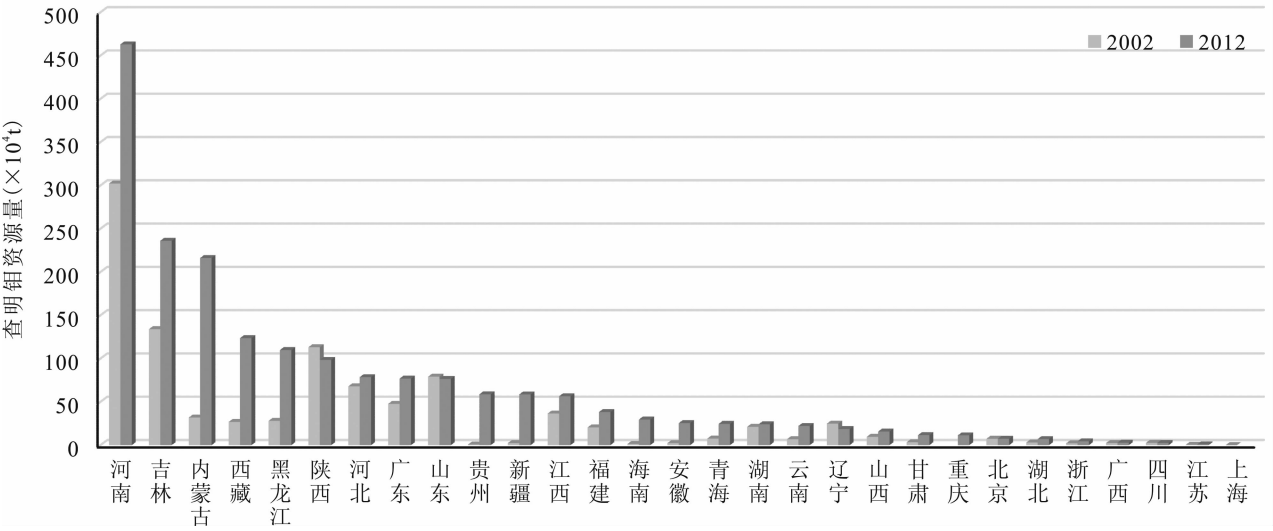


图 4 我国主要省区市 2002 年与 2012 年钼查明资源储量对比柱状图

Fig. 4 Histogram of the resources reserves of molybdenum mining area in 2002 and 2012 of main provinces, China

床和少数大型钼矿外没有太大进展,导致矽卡岩型钼矿查明资源量在全国总储量所占比例下降明显。热液(脉)型矿床数量约占全国钼矿总数的 41.62%,查明钼资源量占全国总储量的 2.79%;沉积(变质)型矿床数量约占全国钼矿总数的 7.90%,查明钼资源量占全国总储量的 2.63%。

从成矿时代看,虽然前寒武纪有钼成矿事件的发生,但基本没有形成可供开采利用的钼矿资源;加里东期形成的钼矿床查明钼资源量占总量的 2.84%,矿床规模大中小型均有,但由于主要是沉积

(变质)型钼矿,目前尚难分选利用;海西期钼矿床以斑岩型为主,但形成的资源量很少,仅占全国的 1.41%;印支期钼成矿作用开始爆发,虽然矿床数量不多(占全国的 5.02%),但目前已查明资源量占到全国的 7.12%,并有超大型钼矿的形成;燕山期是中国形成钼矿的井喷爆发时期,形成了 13 个超大型钼矿床,全国已发现的 75.84%钼矿床均形成于此时,查明资源量占到 76.69%,最主要的矿床类型为斑岩型;喜马拉雅期也是中国重要的钼成矿期,虽然矿床数量仅占全国的 4.18%,但却形成了

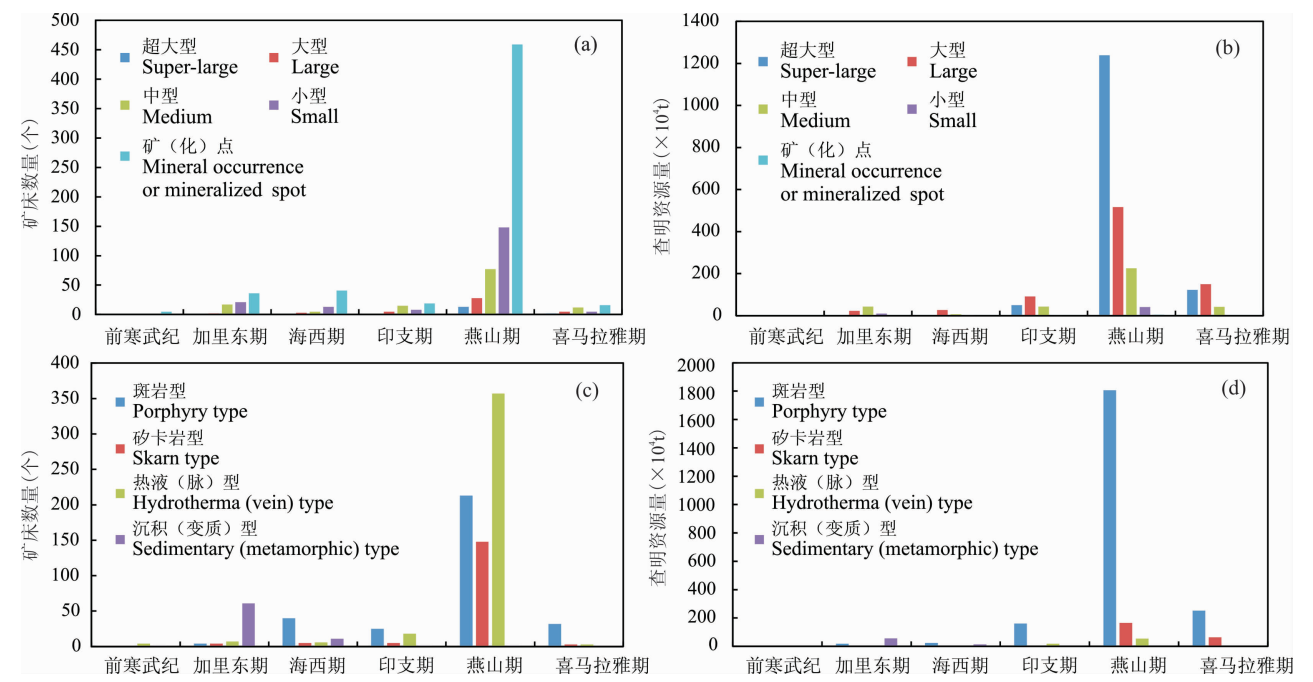


图 5 不同时期我国钼矿床形成数量与查明资源量分布图

Fig. 5 Histogram of numbers and identified resources of molybdenum deposits in different periods in China

11.94%的钼矿资源。

## 2 钼矿床类型

在任何科学领域,分类往往是研究的首要任务,因为只有通过分类才能更好地揭示事物的内在联系,促进学科的研究。矿床学研究也不例外。4000年前,就有了由出露地表的砂矿、堆积矿、露头矿等直观的地质产状分类,到以金属矿种为分类标准的简单分类,如金、银、铜等,再到次生矿到原生矿的认识,到现代矿床地质按照成因或成矿作用的分类等等,这种由粗略泛称到细分矿种,由地表到地下,由成矿表象到成矿实质的理论认识经历了由实践到理论再到实践的认知过程,随着认识的深入,极大地促进了和服务于找矿勘探和矿山评价。

### 2.1 前人工作评述

迄今为止,现代地质研究中,国内外尚无钼矿床的统一分类方案。根据宋叔和(1989)对苏联矿床学家关于钼矿类型成果的梳理,Н. А. Хрущов(1937)首先建立钼天然富集体的第一个成因分类,后又根据金属和非金属矿物组合特点及数量比例,把矿石建造作为钼矿床分类的基础;В. Т. Покалов(1972)把所有内生钼矿床划分为铜钼类型、钼类型和钨—钼类型的矿石建造分类;В. Т. Покалов(1974)又划分了内生钼矿床的成因类型,即伟晶岩型、碳酸岩型、矽卡岩型、钠长岩型、云英岩型、热液型和黄铁矿

型(转引自宋叔和,1989)。在美洲,Hess(1924)首次对世界钼矿床做了评述,当时就已经认识到钼矿化是一个广泛发育的成矿作用,并论述了石英脉、伟晶岩、云英岩、花岗岩、区域性变质岩以及接触变质岩中钼矿的一些基本特征;King等(1973)不仅考虑了内生钼矿也考虑了外生作用形成的钼矿床,将钼矿床分为五类:斑岩型、接触变质型、石英脉型、伟晶岩型和沉积岩型;Dill(2010)将钼矿床分为岩浆型和沉积型两大类,前者主要包括钼伟晶岩型、接触交代型、低F或高F斑岩型、爆破角砾岩筒型Cu-(Au-Mo),后者主要为页岩Mo-Ni-PGE-Zn-(Re)型。在我国,闻广(1958<sup>①</sup>)将我国钼矿分为三种主要类型:细脉浸染型、矽卡岩型及脉型;宋叔和(1989)在《中国矿床》一书中,以成矿作用为主,并结合成矿的物理化学条件、不同矿石类型所占比例及主要有用金属矿物将我国主要钼矿床划分为伟晶岩型钼矿、斑岩型钼、钨—钼、铜—钼矿、斑岩—矽卡岩型钼—钨、钼—铁、钼—铜、矽卡岩型钼矿、碳酸岩脉型钼—铅矿、石英脉型钼、钼—钨矿和沉积岩型钼—铀—钼—镍矿等几类;罗铭玖等(1991)按照斑岩型、矽卡岩型、脉型和沉积型四类论述了我国主要钼矿的特征,奠定了我国钼矿床成因分类的基础;陈毓川等(2010a)和黄凡等(2011a)给出的钼矿床分类与此基本一致,并将海相火山岩型单独列出;Zeng等(2013)总结了我国钼矿除沉积型矿床外的基本特

征,矿床类型主要包括斑岩型、斑岩—矽卡岩型、矽卡岩型和脉型,与罗铭玖等(1991)给出的划分方案保持一致。

2.2 矿床成因和预测类型

综上所述,成因类型划分能反映矿床较多方面的特点,对找矿勘探有一定的指导意义。综合已有的关于我国钼矿床的成因分类,其分类体系前人已经比较完整,主要有斑岩型、矽卡岩型、斑岩—矽卡岩复合型、脉型(碳酸岩型、热液型)、沉积型及沉积变质型等七大类[黄凡等,2011a,本文在对钼矿床的分类描述中将钼矿类型归结为斑岩型、矽卡岩型、热液(脉)型和沉积(变质)型4个类型]。其中,钼矿主要以辉钼矿的形式产于斑岩型钼矿床和斑岩—矽卡岩型钼矿床中,其次是矽卡岩型和热液(脉)型钼矿床。从世界上主要的钼矿类型也可以看出,斑岩型钼矿是钼金属的主要来源(99%,Simon et al.,2011),也是地质学界研究的主要对象(芮宗瑶等,1984;罗铭玖等,1991)。

同时,对客观对象不同角度的分类也决定了其结果所面向的对象或服务不同,根据全国矿产资源潜力评价工作对成矿规律研究的目的要求,项目组在项目执行过程中最终提出了矿产预测类型划分方案(陈毓川等,2010b;王登红等,2013)。该方案便是将今后可能发现的矿产资源进行了分类,称为"矿产预测类型",所得到的类型可以与目前已知的类型一致或不一致。矿产预测类型是从成矿预测和矿产资源潜力评价的角度对矿产资源进行分类的一种方法,具有区域性但也兼顾典型矿床的一般性成矿规律,其理论基础就是成矿系列理论的矿床式(王登红等,2013)。在《重要矿产预测类型划分方案》一书中,将中国钼矿预测类型划分为斑岩型、矽卡岩型、岩浆—热液型、海相沉积型、陆相沉积型和沉积变质

型等六类(表6),并且不同预测类型均给出了划分原则、适用范围、构造背景、成矿时代、成矿要素和预测要素等方面的主要信息,可作为开展钼矿床成矿预测的基础(陈毓川等,2010b)。其中,最主要的钼矿床预测类型是斑岩型,其次为(斑岩—)矽卡岩型和岩浆—热液型。

3 钼矿的成矿规律概要

3.1 中国钼矿成矿期的划分

在地质历史上,由于长期复杂的地质过程和成矿事件,使得钼可单独产出或与不同的金属元素组成不同的成矿元素组合或矿物组合,如内生金属矿床中,钼与铜组合,可形成铜钼或钼铜矿床等。代表着精确定年的辉钼矿 Re-Os 同位素测年体系为大批矿床的精确测年提供了技术保障。然而,这些报道是相当混乱的,既有以钼为主矿种的矿床,也有以辉钼矿为共(伴)生矿物的矿床的 Re-Os 同位素年龄。如元古代的山西铜矿峪铜矿有 2947Ma(陈文明等,1998)和 2108Ma(陈文明等,1998;黄典豪等,1996)两个数据、篦子沟铜矿 1919Ma(黄典豪等,1996)和三岔沟金矿 1823Ma(赵斌等,2009)、河南龙门店钼矿 1875(魏庆国等,2009)和寨凹钼矿 1686Ma(李厚民等,2009)、早古生代的甘肃小柳沟钨钼矿的  $462 \pm 13\text{Ma}$ (毛景文等,1999)、黑龙江多宝山铜钼的  $506 \pm 13\text{Ma}$ (赵一鸣等,1997)、广西白石顶钼矿  $424.6 \pm 5.7\text{Ma}$ (李晓峰等,2009)和德保铜锡矿  $445 \pm 11\text{Ma}$ (王永磊等,2010)、中生代印支期的陕西黄水庵和黄龙铺钼铅矿 209.5Ma 和 221Ma(黄典豪等,1994,2009)、新疆白山钼矿  $227.7 \pm 4.3\text{Ma}$ (张达玉等,2009),中生代燕山期的大多数钼矿床,如东秦岭成钼带、燕辽成钼带、南岭成钼带等(代军治,2008;Mao J W et al.,2008;王

表 6 中国钼矿预测类型划分表  
Table 6 Prediction type of molybdenum deposits in China

|        | 西北       | 华北                                | 东北             | 西南                          | 中南           | 华东                           |
|--------|----------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------|--------------|------------------------------|
| 沉积变质型  |          |                                   |                | (拉拉厂式)                      |              |                              |
| 斑岩型    | 金堆城式     | 邢家山式、南泥湖式、大湾式、撒岱沟门式、东沟式、沙坪沟式、鱼池岭式 | 大黑山式、多宝山式、岔路口式 | (玉龙式)(馬拉松多式)、(馬厂箐式)、沙让式、邦铺式 | 大宝山式、圆珠顶式    | (德兴式)、(行洛坑式)、(阳储岭式)、赤路式、园岭寨式 |
| 矽卡岩型   | 小柳沟式     | 三道庄式、碾子沟式                         | 杨家杖子式、五道岭式     | 甲马式                         | (柿竹园式)(黄沙坪式) | (马坑式)                        |
| 岩浆—热液型 | 黄龙铺式、桃园式 |                                   | 杨金沟式           |                             | 白石嶂式         | 下桐岭式、石平川式、铜坑嶂式               |
| 海相沉积型  |          |                                   |                | 田坝式                         | 鱼泉式          |                              |
| 陆相沉积型  |          |                                   |                | 沐川式                         |              |                              |

注:( )表示伴生或共生钼矿。



| 表 7 中国主要钼矿床(大型规模以上)辉钼矿 Re-Os 同位素年龄简表                                                                     |          |      |                    |             |              |                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|--------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| Table 7 Re-Os isotope ages of molybdenites from large and super-large scale molybdenum deposits in China |          |      |                    |             |              |                       |
| 省份                                                                                                       | 矿床名称     | 矿床规模 | 矿床类型               | 成矿时代        | 成矿年龄(Ma)     | 参考文献                  |
| 安徽                                                                                                       | 沙坪沟      | 超大型  | 斑岩—爆破角砾岩型          | 白垩纪中期       | 113.21±0.53  | 黄凡等,2011b             |
| 河南                                                                                                       | 南泥湖      | 超大型  | 斑岩—矽卡岩型            | 侏罗纪晚期—白垩纪早期 | 139.3±2.3    | Mao J W et al. , 2008 |
| 河南                                                                                                       | 三道庄      | 超大型  | 斑岩—矽卡岩型            | 侏罗纪晚期—白垩纪早期 | 144.4±1.6    | Mao J W et al. , 2008 |
| 河南                                                                                                       | 上房沟      | 超大型  | 斑岩—矽卡岩型            | 侏罗纪晚期—白垩纪早期 | 143.7±2.1    | 李永峰等,2003             |
| 河南                                                                                                       | 鱼池岭      | 超大型  | 斑岩—爆破角砾岩型          | 白垩纪早期       | 131.2±1.4    | 周珂等,2009              |
| 河南                                                                                                       | 东沟       | 超大型  | 斑岩型                | 白垩纪中期       | 115.2±1.6    | 叶会寿等,2006             |
| 河南                                                                                                       | 千鹤冲      | 超大型  | 斑岩型                | 白垩纪早期       | 127.82±0.87  | 杨梅珍等,2010             |
| 黑龙江                                                                                                      | 岔路口      | 超大型  | 斑岩型                | 侏罗纪晚期—白垩纪早期 | 146.96±0.79  | 聂风军等,2011             |
| 黑龙江                                                                                                      | 鹿鸣       | 超大型  | 斑岩型                | 侏罗纪早期       | 177.4±3.5    | 谭红艳等,2012             |
| 吉林                                                                                                       | 大黑山      | 超大型  | 斑岩型                | 侏罗纪中期       | 168.2±3.2    | 王成辉等,2009             |
| 内蒙古                                                                                                      | 曹四夭      | 超大型  | 斑岩型                | 白垩纪早期       | 130.4±2.4Ma  | 聂风军等,2013             |
| 山东                                                                                                       | 邢家山      | 超大型  | 矽卡岩型               | 侏罗纪中期       | 161.4±2.5    | 刘善宝等,2011             |
| 陕西                                                                                                       | 金堆城      | 超大型  | 斑岩型                | 侏罗纪晚期—白垩纪早期 | 138.3~138.4  | Stein et al. , 1997   |
| 西藏                                                                                                       | 邦铺       | 超大型  | 斑岩型                | 新近纪(中新世)    | 15.32±0.79   | 孟祥金等,2003a            |
| 西藏                                                                                                       | 甲玛       | 超大型  | 矽卡岩型               | 新近纪(中新世)    | 15.34±0.10   | 应立娟等,2009             |
| 新疆                                                                                                       | 东戈壁      | 超大型  | 斑岩型                | 三叠纪晚期       | 231.1±1.5    | 涂其军等,2012             |
| 安徽                                                                                                       | 黄山岭      | 大型   | 矽卡岩型               | 侏罗晚期—白垩纪早期  |              |                       |
| 重庆                                                                                                       | 田坝       | 大型   | 沉积型                | 二叠纪晚期       |              |                       |
| 福建                                                                                                       | 北坑场      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪晚期—白垩纪早期 | 141.7~147.8  | 张达等,2010              |
| 甘肃                                                                                                       | 温泉       | 大型   | 斑岩型                | 三叠纪晚期       | 214.1±1.1    | 朱赖民等,2009             |
| 广东                                                                                                       | 大宝山      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪中期       | 164.7±3      | 毛景文等,2004             |
| 广东                                                                                                       | 园珠顶      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪晚期       | 155.6±3.4    | 钟立峰等,2010             |
| 广东                                                                                                       | 鸡龙山      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪晚期—白垩纪早期 |              |                       |
| 贵州                                                                                                       | 陈家湾、杨大湾  | 大型   | 沉积型                | 寒武纪早期       |              |                       |
| 海南                                                                                                       | 罗葵洞      | 大型   | 斑岩型                | 白垩纪中期       | 99.8         | 付王伟等,2011             |
| 河北                                                                                                       | 撒岱沟门     | 大型   | 斑岩型                | 三叠纪中期       | 237~238      | 代军治,2008              |
| 河北                                                                                                       | 大湾       | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪晚期—白垩纪早期 | 144.4±7.4    | 黄典豪等,1996             |
| 河北                                                                                                       | 安妥岭      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪晚期       | 147.83±0.95  | 梁涛,2010               |
| 河南                                                                                                       | 夜长坪      | 大型   | 斑岩—矽卡岩型            | 侏罗纪晚期       | 145.3±4.4    | 毛冰等,2011              |
| 河南                                                                                                       | 石窑沟      | 大型   | 斑岩型                | 白垩纪早期       | 135.2±1.8    | 高亚龙等,2010             |
| 河南                                                                                                       | 雷门沟      | 大型   | 斑岩—爆破角砾岩型          | 白垩纪早期       | 131.6±1.8    | 李永峰等,2006             |
| 河南                                                                                                       | 汤家沟      | 大型   | 斑岩型                | 白垩纪早期       | 120.9±2.2    | 黄凡等,2010              |
| 河南                                                                                                       | 汤家坪      | 大型   | 斑岩型                | 白垩纪中期       | 113.1±7.9    | 杨泽强,2007              |
| 黑龙江                                                                                                      | 多宝山      | 大型   | 斑岩型                | 寒武纪晚期       | 506±14       | 赵一鸣等,1997             |
| 黑龙江                                                                                                      | 霍吉河      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪早期       | 186±1.7 岩体年龄 | 杨言辰等,2012             |
| 黑龙江                                                                                                      | 五道岭      | 大型   | 矽卡岩型               | 侏罗纪早期       |              |                       |
| 湖南                                                                                                       | 柿竹园      | 大型   | 矽卡岩型               | 侏罗纪晚期       | 151±3.5      | 李红艳等,1996             |
| 吉林                                                                                                       | 季德屯      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪         |              |                       |
| 吉林                                                                                                       | 大石河      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪早期       | 186.7±5.0    | 鞠楠等,2012              |
| 江西                                                                                                       | 园岭寨      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪中期       | 162.7±1.1    | 黄凡等,2012              |
| 江西                                                                                                       | 德兴铜厂     | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪中期       | 172.3±2.3    | 周清,2011               |
| 江西                                                                                                       | 富家坞      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪中期       | 172.3±2.3    | 周清,2011               |
| 辽宁                                                                                                       | 兰家沟      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪早期       | 186.5±0.7    | 黄典豪等,1996             |
| 辽宁                                                                                                       | 杨家杖子     | 大型   | 矽卡岩型               | 侏罗纪早期       | 187±2~191±6  | 黄典豪等,1996             |
| 内蒙古                                                                                                      | 乌奴格吐山    | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪早期       | 177.4±2.4    | 余宏全等,2009             |
| 内蒙古                                                                                                      | 查干花(北)   | 大型   | 斑岩型                | 三叠纪早期       | 242.7±3.5    | 蔡明海等,2011a            |
| 内蒙古                                                                                                      | 查干德尔斯(南) | 大型   | 斑岩型                | 三叠纪早期       | 243±2.2      | 蔡明海等,2011b            |
| 内蒙古                                                                                                      | 乌兰乌拉     | 大型   | 斑岩型                | 石炭纪早期       | 332±9        | 聂风军等,2005             |
| 青海                                                                                                       | 纳日贡玛     | 大型   | 斑岩型                | 古近纪中期(始新世)  | 40.86±0.85   | 王召林等,2008             |
| 陕西                                                                                                       | 大石沟      | 大型   | 热液脉型<br>(石英—碳酸岩脉型) | 三叠纪晚期       | 201.53±0.68  | Mao et al. ,2008      |
| 陕西                                                                                                       | 石家湾      | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪晚期—白垩纪早期 | 138±8        | 黄典豪等,1994             |
| 西藏                                                                                                       | 汤不拉      | 大型   | 斑岩型                | 新近纪(中新世)    | 20.9±1.3     | 王保弟等,2010             |
| 西藏                                                                                                       | 驱龙       | 大型   | 斑岩型                | 新近纪(中新世)    | 16.41±0.48   | 孟祥金等,2003b            |
| 西藏                                                                                                       | 玉龙       | 大型   | 斑岩型                | 古近纪(始新世)    | 41.6±1.4     | 唐菊兴等,2009             |
| 新疆                                                                                                       | 白山       | 大型   | 斑岩型                | 侏罗纪早期       | 229.4±1.7    | 李华芹等,2006             |
| 新疆                                                                                                       | 库勒萨依     | 大型   | 斑岩型                | 二叠纪早期       |              |                       |
| 云南                                                                                                       | 老厂       | 大型   | 斑岩型                | 古近纪(始新世)    | 43.78±0.78   | 李峰等,2009              |



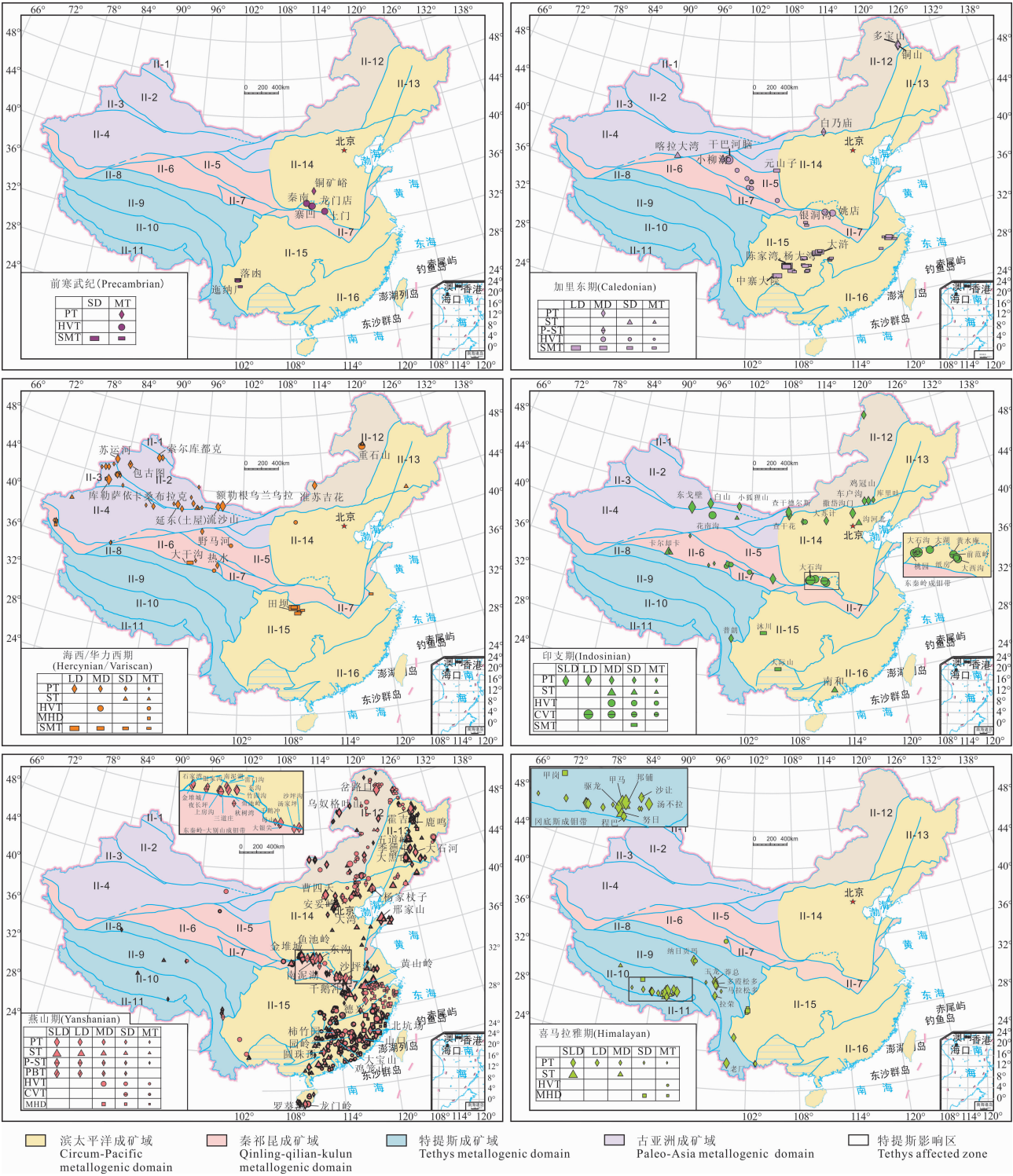


图 7 中国钼矿各成矿期空间分布(底图据《中国成矿区带划分方案》,徐志刚等,2008)

Fig. 7 Spatial distribution of molybdenum deposits in different periods in China

(the background map after “The scheme of the classification of the minerogenetic units in China”, Xu Zhigang et al. , 2008)

矿床规模: SLD—超大型; LD—大型; MD—中型; SD—小型; MT—矿(化)点; 矿床类型: PT—斑岩型; ST—矽卡岩型; P-ST—斑岩—矽卡岩型; P-BT—斑岩—爆破角砾岩型; HVT—热液(脉)型; MHD—岩浆热液型; SMT—沉积(变质)型; CVT—碳酸盐脉型

Deposit scale: SLD—Super-large; LD—large; MD—medium; SD—small; MT—mineral occurrence or mineralized spot; Deposit types: PT—porphyry type; ST—skarn type; P-ST—porphyry-skarn type; P-BT—porphyry-explosive breccia type; HVT—hydrotherma (vein) type; MHD—magma hydrotherma type; SMT—sedimentary (metamorphic) type; CVT—carbonatite vein type

地区(延东—土屋、包谷图、三岔口、北达巴特、索尔库都克、库勒萨依等矿床)、青海(热水等)、内蒙古(乌兰乌拉、准苏吉花、重石山等矿床),矿床类型以斑岩型为主,其次为热液脉型、矽卡岩型和沉积(变质)型。沉积(变质)型钼矿主要集中在重庆市北部地区。

### 3.2.4 三叠纪(印支期)

此时期的钼成矿作用是进入 21 世纪后才逐渐被认识和重视的,目前已经发现印支期钼矿床(点)几十个,主要分布华北陆块周缘(燕辽、华北陆块北缘中西段、西拉木伦、秦岭等成矿带内发现有印支期钼矿床)和天山东段和北山地区,斑岩型、矽卡岩型、热液脉型等类型矿床均有产出。如东戈壁、撒岱沟门、大苏计、查干花、流沙山、车户沟、黄龙铺(大石沟)、黄水庵、前范岭等;在西南地区零星出露,如云南普朗等矿床。此外,在南岭地区零星发育印支期钼矿床(点)。四川省沐川太平砂岩型铼钼(钼)矿等沉积型矿产也形成于印支期。

### 3.2.5 侏罗纪—白垩纪(燕山期)

为中国最主要的钼成矿期,该期形成的钼矿床不仅储量大(占全国钼查明资源量的 76% 以上),而且分布广泛,特别是在中国东部地区广泛发育,国内已查明的超大型矿床几乎均形成于此时期,如岔路口、大黑山、金堆城、岔路口、鹿鸣、曹四夭、邢家山、南泥湖、三道庄、上房沟、鱼池岭、东沟、千鹤冲、沙坪沟,此外还有众多的大中型钼矿床,如季德屯、大石河、兰家沟、杨家杖子、兰家沟、乌奴格吐山、大湾、夜长坪、石窑沟、雷门沟、竹园沟、汤家坪、园岭寨、德兴铜厂、富家坞、大宝山、园珠顶、鸡龙山、罗葵洞等。矿床成因类型以斑岩型和矽卡岩型及其过渡类型为主,其次为热液脉型。

虽然中国东部钼矿床在各地质时期均有出现,但主要集中在中生代的燕山期。大量的同位素测年数据已表明,燕山期钼成矿以侏罗纪—白垩纪为最主要的成矿阶段,呈现连续成矿的特征,峰期出现在 165Ma、155Ma、135Ma 和 110Ma 四个年龄值左右(黄凡等,2013)。大地构造位置上,中国钼矿主要分布在古陆块的活动边缘,即在造山带内广泛发育钼矿床。矿床类型的分布与成矿时代不存在必然的联系,但在某一成钼带内往往在一个时期内以某一种矿床类型为主,如东秦岭成钼带内晚侏罗—早白垩世产出的钼矿床,就是以斑岩型(—爆破角砾岩型)或斑岩—矽卡岩型矿床为主;南岭地区成钼带内中段以中晚侏罗世以矽卡岩型矿床为主,东段则以石

英脉型为主,南岭东段与武夷山交汇部位则以斑岩型矿床为主,这可能与钼矿床的产出物理化学环境(如赋矿层位、赋矿围岩的性质等)存在一定的联系。

### 3.2.6 古近纪—新近纪(喜马拉雅期)

随着找矿勘查工作的深入,特别是冈底斯成矿带的发现,使得此时期也成为我国重要的钼成矿期,钼矿床主要分布在中国西南部的冈底斯和三江成矿带中,虽然钼矿床数量目前还不是很多,但已经表现出强大的成矿潜力,不乏超大型、大中型钼矿床产出,如西藏甲玛、驱龙、邦铺、程巴、汤不拉、拉荣、沙让、马拉松多、莽总、玉龙、扎那尔等大中型钼矿,云南马厂箐等矿床。矿床成因类型主要为斑岩型和矽卡岩型。

### 3.3 钼矿的空间分布——成钼带划分

罗铭玖等(1991)编著的《中国钼矿床》一书依据当时中国已勘查发现的钼矿床(包括铜钼及铜钼多金属矿床和矿点)产出的大地构造位置,区域地质构造背景及钼成矿地质条件等因素,将内生钼矿床的空间分布划分为 3 个钼成矿域、11 个钼成矿带和 2 个钼矿化区。但距今已有 20 多年,前文论述已表明,进入新世纪以来,中国钼找矿工作已经取得了重大突破,其分布格局已经发生了翻天覆地的变化,传统钼矿产区有新的找矿突破,非传统钼矿产区也发现了大量的钼矿,罗铭玖等(1991)编著的《中国钼矿床》满足不了成矿规律研究和成矿预测的需要。因此,在全国矿产资源潜力评价执行过程中,为了方便成矿规律研究和成矿预测,对钼矿进行了单矿种Ⅲ级成矿区带划分。

对于单矿种的成矿区带,即是指在全国不分矿种成矿区带划分(《中国成矿区带划分方案》,徐志刚等,2008)的基础上,以单矿种矿产资源的空间分布特征(不考虑时代因素)为基础,以单矿种的成矿规律和成矿条件为依据,充分利用成矿模式和预测模型(包括典型矿床和区域成矿模式)的研究成果,将单矿种聚集程度比较高、又具有特定成矿背景的区域划分为单矿种的成矿区带(王登红,2013<sup>①</sup>)。简言之,成矿要素背景下的单矿种聚集区、带称之为单矿种的成矿区带。本次将钼矿的Ⅲ级成矿区带简称为“成钼带”,每一个成钼带均有明确的边界。Ⅲ级成钼带的划分结果见表 8,共包括 41 个Ⅲ级成钼带,13 个Ⅱ级成钼省,4 个Ⅰ级成钼域。关于中国Ⅲ级成钼带的论述将另文发表。

### 3.4 不同类型钼矿的时空演化

根据不同类型钼矿的时空演化表(表 9),可以

看出,中国钼矿总体上以斑岩型钼矿床为主,中国西部于加里东期在准格尔地区开始发育,向东到东部的阿尔金—祁连地区,成矿强度东部较强;海西期—印支期在准葛尔强度最大,均有大型、超大型矿床的形成;喜马拉雅期在中国西南部冈底斯—腾冲和三江成矿强度达到极大,特别是前者。其它钼矿类型分布零散,矽卡岩型钼矿仅在塔里木、阿尔泰—祁连、昆仑、喀喇昆仑—三江和冈底斯—腾冲地区发育,除冈底斯—腾冲外,其成矿强度很弱。中国东部北方的钼成矿类型主要为斑岩型、矽卡岩型和少量的热液(脉)型,其中,斑岩型成矿作用以吉黑、秦岭—大别(东)最为强烈,其次为大兴安岭和华北,成矿时代主要集中在燕山期,其次为印支期,加里东期钼矿零星出露,以斑岩型为主;在秦岭—大别(东)还存在有前寒武纪的热液脉型钼矿。中国东部南方钼矿类型以斑岩型、矽卡岩型、热液脉型和沉积(变质)型,前三者发育广泛,燕山期为主,在华南地区西缘出现少量斑岩型和热液脉型钼矿;沉积(变质)型钼矿主要集中在扬子地区,钼成矿作用时间跨度比较大,从前寒武纪到燕山期均有产出,在海西期和加里东期成矿强度最大,以前者更为重要,其次为前寒武纪。总体上看,不考虑太古宙—元古宙伴生的内生钼成矿作用,沉积(变质)型钼矿出现的最早,但分布范围局限;斑岩型钼矿贯通整个中国大陆,在燕山期(东部)和喜马拉雅期(西南)达到鼎盛;矽卡岩型和热液(脉型)更多的分布在中国东部,特别是后者,以燕山期为主。

### 3.5 钼成矿演化与构造演化

中国钼矿分布广泛,但这些钼矿具有明显的阶段性、区域性以及不同的成矿作用类型和强度,可能是由于不同阶段、不同区域地壳的物质组成和结构不同影响的结果,因此,大量发育的钼矿床可看做中国不同区域的构造—岩浆事件的浅表响应,研究钼矿的成矿演化对地壳构造演化具有重要的指示意义。

前寒武纪主要包括太古宙中国古陆核萌发和古大陆的形成、元古宙的古大陆聚成、克拉通化和裂解。虽然这个时期并没有出现大规模中酸性岩浆活动,没有造成钼矿床的大量形成,但可以看做是钼成矿的启动时期,以微弱的伴生钼成矿作用或热液作用形式呈现,特别是在元古宙陆缘裂陷或内部裂解带内,如中国中部的中条山地区的伴生钼成矿作用,时代集中在  $1.8\sim 2.1\text{Ga}$ ,应为中条山地区前寒武纪构造热事件最晚阶段的产物(陈文明等,1998);在秦

岭地区,钼成矿作用集中在  $1.6\sim 1.9\text{Ga}$ ,为中元古代为中元古代早期华北克拉通伸展—裂解环境中构造—岩浆热事件所伴随的热液成矿作用的产物,与熊耳群火山岩浆活动有密切的时空和成因联系(李厚民等,2009)。元古宙末期的晋宁运动,是秦岭与华北陆块发生碰撞,裂解的地块又开始重新封闭,在这个过程中也出现了零星钼成矿作用,如土门钼矿(865Ma)。进入加里东期,古中国地台重新大规模裂解,解体为塔里木、华北、扬子及众多微陆块,此时期钼成矿作用依旧不强烈,钼矿分布零散,但相比前寒武纪成矿作用,内生钼成矿作用沿秦祁昆的北缘由中国东部往西北迁移(如小柳沟钨钼矿  $462\pm 13\text{Ma}$ ,毛景文等,1999),东北地区零星出露(多宝山铜钼矿  $506\pm 14\text{Ma}$ ,赵一鸣等,1997),而沉积型钼成矿作用大量在扬子地台内部发育,成矿时代为寒武纪早期,反映了稳定地台成矿作用的特色。至加里东晚期,在秦岭地区形成北秦岭加里东褶皱带,伴随着钼成矿作用的发生,此时的内生钼成矿强度已经明显增加,但分布有限。海西期,中国北方进入古亚洲构造演化阶段,特别是在石炭纪—二叠纪冈瓦纳和西伯利亚间构造复杂的陆核发生碰撞,中国北部进入挤压机制,西伯利亚板块和塔里木—华北板块沿伊林哈别尔—西拉木伦板块结合带开始拼接,在两大板块的南北缘形成了众多海西期陆缘增生褶皱带,构造—岩浆活动强烈,伴随着众多钼矿的形成,特别是在南天山—北山段。

前人研究已经表明,地壳演化越成熟对钼成矿越有利。从印支期开始,中国钼成矿作用进入活跃期,但印支期的钼成矿作用依旧延续了海西期古亚洲构造演化的特点,随着西伯利亚和塔里木—华北板块的碰撞,塔里木—华北板块逐渐隆升,伴随了强烈的构造岩浆活动,钼成矿作用向东偏移,依旧沿拼合带形成近东西向的钼矿带;受制于古特提斯构造域的演化,秦祁昆成矿域,特别是东昆仑—秦岭带内形成了众多钼矿床,其中不乏大型钼矿的产出。可以看出,印支期钼成矿强度明显增加,但分布依然受局限,可能代表了大规模钼成矿期到来之前能量和成矿物质准备时期。

中生代是中国大陆地壳由分散拼贴发展为统一大陆的转折时期,进入燕山期,中国东部受古太平洋构造域的控制,东部的太平洋板块与欧亚大陆碰撞,陆内—陆缘东西向构造向北东向构造转换,形成了众多大小不一的断陷/拗陷盆地,特别是发育了强烈的板内活化和构造岩浆活动,这为钼成矿作用的大



爆发准备了物质基础:中侏罗世一早白垩世,中国东部各块体强烈碰撞挤压,并受古太平洋对中国东部洋一陆消减作用远程效应的影响,造成了中国东部地壳的加厚,深部岩石圈拆沉或幔源岩浆底侵等深部过程,发生了强烈的壳幔相互作用,浅表表现在中国东部经历了由 EW 走向构造向 NE-NNE 向构造体系的转换,受稳定地块的阻碍和流体挤出的影响,在各块体的边缘发育了大规模的火山—侵入岩浆活动和钼金属成矿作用。受各古陆块边缘性质、幔源物质影响程度、构造活动及岩石圈钼金属元素富集

表 8 中国成钼带划分表

Table 8 Molybdenum-forming belts in China

| 成钼域(Ⅰ)、省(Ⅱ)和区带(Ⅲ) |         |      |                 |                   |               | 典型矿床                                       | 对应全国Ⅲ级区带             |
|-------------------|---------|------|-----------------|-------------------|---------------|--------------------------------------------|----------------------|
| 编号                | Ⅰ级      | 编号   | Ⅱ级              | 编号                | Ⅲ级            |                                            |                      |
| Ⅰ-1               | 古亚洲成钼域  | Ⅱ-1  | 准噶尔成钼省          | Mo1***            | 北准噶尔成钼带       | 索尔库都克、希勒库都克                                | Ⅲ-03                 |
|                   |         |      |                 | Mo2***            | 西准噶尔南部成钼带     | 苏运河、包古图                                    | Ⅲ-04                 |
|                   |         |      |                 | Mo3*              | 东天山成钼带        | 东戈壁、白山、延东(土屋)                              | Ⅲ-08-①               |
|                   |         |      |                 | Mo4**             | 甘蒙北山北部成钼带     | 流沙山、额勒根乌兰乌拉、小狐狸山、独龙包                       | Ⅲ-08-②               |
|                   |         | Ⅱ-2  | 伊犁成钼省           | Mo5**             | 西天山成钼带        | 库勒萨依、北达巴特、喇嘛苏                              | Ⅲ-09、Ⅲ-10            |
|                   |         | Ⅱ-3  | 塔里木成钼省          | Mo6***            | 甘蒙北山南部成钼带     | 花南沟、七一山                                    | Ⅲ-14                 |
| Ⅰ-2               | 秦祁昆仑成钼域 | Ⅱ-4  | 阿尔金-祁连(造山带)成钼省  | Mo7***            | 北祁连成钼带        | 小柳沟、干巴河脑                                   | Ⅲ-21                 |
|                   |         | Ⅱ-5  | 昆仑(造山带)成钼省      | Mo8***            | 东昆仑东部成钼带      | 卡而却卡、热水、大干沟                                | Ⅲ-26                 |
|                   |         |      |                 | Mo9***            | 西昆仑西部成钼带      | 大同西、恰帕科甫                                   | Ⅲ-27                 |
|                   |         | Ⅱ-6  | 秦岭-大别(造山带)成钼省   | Mo10**            | 西秦岭成钼带        | 温泉                                         | Ⅲ-28                 |
| Ⅰ-3               | 特提斯成钼域  | Ⅱ-7  | 喀喇昆仑-三江(造山带)成钼省 | Mo11***           | 义敦-香格里拉南段成钼带  | 普朗、红山、休瓦促                                  | Ⅲ-32                 |
|                   |         |      |                 | Mo12**            | 三江北段成钼带       | 玉龙、马拉松多、莽总、扎那朵、多霞松多                        | Ⅲ-36                 |
|                   |         |      |                 | Mo13**            | 昌宁-澜沧成钼带      | 老厂                                         | Ⅲ-38                 |
|                   |         | Ⅱ-8  | 冈底斯-腾冲(造山系)成钼省  | Mo14*             | 冈底斯成钼带        | 甲马、帮铺、汤不拉、驱龙、程巴、冲江、白容                      | Ⅲ-43                 |
| Ⅰ-4               | 滨太平洋成钼域 | Ⅱ-9  | 大兴安岭成钼省         | Mo15**            | 得尔布干成钼带       | 乌奴格吐山、太平川、八大关                              | Ⅲ-47-①               |
|                   |         |      |                 | Mo16*             | 大兴安岭北段成钼带     | 岔路口、多宝山、滨南林场、铜山、太平沟、宜里农场                   | Ⅲ-47-②、Ⅲ-47-③、Ⅲ-48-① |
|                   |         |      |                 | Mo17***           | 东乌珠穆沁旗-博克图成钼带 | 乌日尼图、乌花敖包、准苏吉花                             | Ⅲ-48-②、Ⅲ-49          |
|                   |         |      |                 | Mo18***           | 大兴安岭南段成钼带     | 敖仑花、半拉山、曹家屯、必鲁甘干、沙布楞山、小东沟、车户沟、鸡冠山、碾子沟、库里吐  | Ⅲ-50                 |
|                   |         | Ⅱ-10 | 吉黑成钼省           | Mo19*             | 小兴安岭-张广才岭成钼带  | 霍吉河、鹿鸣、五道岭、季德屯                             | Ⅲ-52                 |
|                   |         |      |                 | Mo20*             | 吉中-延边成钼带      | 大黑山、双山、刘生店、一心屯、火龙岭、东风北山、铁永山                | Ⅲ-55                 |
|                   |         | Ⅱ-11 | 华北(陆块)成钼省       | Mo21***           | 辽东成钼带         | 达子营、姚家沟                                    | Ⅲ-56-①、②、③           |
|                   |         |      |                 | Mo22*             | 燕辽成钼带         | 兰家沟、杨家杖子、小寺沟、莫古峪、董家沟、大庄科、东三岔、安妥岭、大湾、野孤     | Ⅲ-57-①、②、③           |
|                   |         |      |                 | Mo23*             | 华北陆块北缘西段成钼带   | 查干花、查干德尔斯、曹四夭、大苏计、白乃庙、西沙德盖                 | Ⅲ-49、Ⅲ-58、Ⅲ-61-②     |
|                   |         |      |                 | Mo24*             | 东秦岭成钼带        | 金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟、东沟、鱼池岭、大石沟、石家湾、石窑沟、竹园沟、夜长坪 | Ⅲ-63-②、③、④、Ⅲ-66-①    |
|                   |         |      |                 | Mo25*             | 胶东成钼带         | 邢家山、尚家庄、冷家、团栾、孔辛头                          | Ⅲ-65、Ⅲ-67-②          |
|                   |         |      |                 |                   |               |                                            |                      |
| Ⅰ-4               | 滨太平洋成钼域 | Ⅱ-6  | 秦岭-大别(造山带)成钼省东段 | Mo26***           | 南秦岭西部成钼带      | 月河坪、海塘河、桂林沟                                | Ⅲ-66-②               |
|                   |         |      |                 | Mo27*             | 大别山成钼带        | 千鹤冲、沙坪沟、汤家坪                                | Ⅲ-67-①               |
|                   |         | Ⅱ-12 | 扬子成钼省           | Mo28**            | 长江中下游成钼带      | 铜山口、付家山、铜绿山、武山、武山、黄山岭、湛岭、檀树岭、姑山、谏壁         | Ⅲ-69-①、②、③、④         |
|                   |         |      |                 | Mo29***           | 江南隆起东段成钼带     | 大湖塘、阳储岭、里东坑、祁门粒七湾、龙王排                      | Ⅲ-70                 |
|                   |         |      |                 | Mo30**            | 德兴-杭州湾成钼带     | 铜厂、富家坞、米砂红、闲林埠、漓渚                          | Ⅲ-71-①、③             |
|                   |         |      |                 | Mo31***           | 武功山-北武夷山成钼带   | 下桐岭、熊家山、川口                                 | Ⅲ-71-②               |
|                   |         |      |                 | Mo32***           | 盐源-丽江-金平成钼带   | 铜厂沟、马厂箐、长安冲、铜厂                             | Ⅲ-75                 |
|                   |         |      |                 | Mo33***           | 康滇隆起成钼带       | 格衣乍、普雄、鹿子湾、落函、牦牛坪                          | Ⅲ-76-①、②             |
|                   |         |      |                 |                   |               |                                            |                      |
|                   |         |      |                 | Mo34 <sup>+</sup> | 上扬子东部滇川黔成钼带   | 水东龙井边、陈家湾、杨大湾、双龙桥、鸡公山、大浒                   | Ⅲ-77-①               |

| 成钼域(Ⅰ)、省(Ⅱ)和区带(Ⅲ) |         |      |       |         |               | 典型矿床                              | 对应全国Ⅲ级区带 |
|-------------------|---------|------|-------|---------|---------------|-----------------------------------|----------|
| 编号                | Ⅰ级      | 编号   | Ⅱ级    | 编号      | Ⅲ级            |                                   |          |
| Ⅰ-4               | 滨太平洋成钼域 | Ⅱ-13 | 华南成钼省 | Mo35*** | 浙闽粤沿海成钼带      | 石平川、古田西朝、三枝树、大林山、黄帝殿、南靖南坑         | Ⅲ-80     |
|                   |         |      |       | Mo36**  | 浙中-武夷山(隆起)成钼带 | 园岭寨、铜坑嶂、葛廷坑、行洛坑、浦城九里、松溪古同、建阳井后、   | Ⅲ-81     |
|                   |         |      |       | Mo37**  | 永安-梅州成钼带      | 尤溪卓坑、漳平北坑场、连城姑田、永定山口、龙岩马坑、坡仔营、白石嶂 | Ⅲ-82     |
|                   |         |      |       | Mo38**  | 南岭成钼带         | 柿竹园、宝山、瑶岗仙、大宝山、园珠顶、鸡笼山            | Ⅲ-83     |
|                   |         |      |       | Mo39*** | 粤中(坳陷)南段成钼带   | 水口村银岩、将军岗、南和、将军头                  | Ⅲ-84     |
|                   |         |      |       | Mo40*** | 云开隆起成钼带       | 铁山嶂、坝头、安垌                         | Ⅲ-85-①   |
|                   |         |      |       | Mo41**  | 海南南部成钼带       | 石门山、罗葵洞、龙门岭、梅岭、高通岭、红门岭、报告村        | Ⅲ-90     |

注:与岩浆-热液作用相关的Ⅲ级成钼带包括三个级别:\*重要的Ⅲ级成钼带,共 10 个,主要依据是在每个重要成钼带中至少产出 1 个或以上超大型钼矿或产出有众多的大型钼矿床;\*\*次要的Ⅲ级成钼矿带,共 12 个,主要依据是每个次要的Ⅲ级成钼带均有若干大型钼矿产出;\*\*\*一般的Ⅲ级成钼带,共 18 个,每个一般的Ⅲ级成钼带均包含有若干个中型、小型钼矿床或矿(化)点;与沉积-变质作用相关的Ⅲ级成钼带仅有一个重要的Ⅲ级成钼带(+).

表 9 中国不同类型钼矿的时空演化表

Table 9 Spatio-temporal evolution of different types of molybdenum deposits in China

| 矿床类型    | 成矿期 | 准格尔  | 伊利   | 塔里木 | 阿尔金-祁连 | 昆仑 | 秦岭-大别(西) | 喀刺昆仑-三江 | 冈底斯-腾冲 | 大兴安岭 | 吉黑   | 华北   | 秦岭-大别(东) | 扬子   | 华南   |
|---------|-----|------|------|-----|--------|----|----------|---------|--------|------|------|------|----------|------|------|
| 斑岩型     | 1   |      |      |     |        |    |          |         |        |      |      |      |          |      |      |
|         | 2   | +    |      |     | +++    |    |          |         |        | ++   |      | +    |          |      |      |
|         | 3   | ++++ | ++++ |     | +      | +  |          | +++     |        |      |      |      |          |      |      |
|         | 4   | ++++ |      | ++  |        | +  | +++      | ++      |        | +++  |      | ++++ | ++       |      |      |
|         | 5   | +    |      |     |        |    |          | ++      |        | ++   |      | ++++ | ++++     | ++++ | ++++ |
|         | 6   |      |      |     |        |    |          | +++     | ++++   | ++++ | ++++ | ++++ | ++++     | ++++ | ++++ |
| 矽卡岩型    | 1   |      |      |     | ++     |    |          |         |        |      |      |      |          |      |      |
|         | 2   |      |      |     |        |    |          |         |        | +    | +    |      |          |      |      |
|         | 3   |      |      |     |        |    |          |         |        |      |      |      |          |      |      |
|         | 4   |      |      | +   |        | ++ |          |         |        | +    | +    | +    |          |      |      |
|         | 5   |      |      |     |        |    |          | ++      |        | +    | +++  | ++++ | ++++     | ++++ | ++++ |
|         | 6   |      |      |     |        |    |          | ++++    |        |      |      |      |          |      |      |
| 热液(脉)型  | 1   |      |      |     | +      |    |          |         |        |      |      |      | ++       |      |      |
|         | 2   |      |      |     | +      |    |          |         |        | +    |      | +    | +        |      |      |
|         | 3   |      |      |     |        |    |          |         |        |      |      |      |          |      |      |
|         | 4   |      |      | +   |        | +  | +        | +       |        | ++   | +    | +    | +++      |      |      |
|         | 5   |      |      |     |        |    |          |         |        |      |      |      | ++       | +++  | ++++ |
|         | 6   |      |      |     |        | +  |          |         |        |      |      |      |          | ++   |      |
| 沉积(变质)型 | 1   |      |      |     |        |    |          |         |        |      |      |      |          | +++  |      |
|         | 2   |      |      |     |        |    |          |         |        |      |      |      |          | ++++ |      |
|         | 3   |      |      |     |        | +  |          |         |        | +    |      |      |          | ++++ |      |
|         | 4   |      |      |     |        |    |          |         |        |      |      |      |          | ++   |      |
|         | 5   |      |      |     |        |    |          |         |        |      |      |      |          | +    |      |
|         | 6   |      |      |     |        |    |          |         |        |      |      |      |          |      |      |

注:成矿期 1—前寒武纪;2—加里东期;3—海西期;4—印支期;5—燕山期;6—喜山期。 钼成矿作用强度: + 微弱; ++ 弱; +++ 较强; ++++ 强; +++++ 极强。

程度等因素的影响,各地区钼成矿强度不一,在华北陆块的周缘,发生了中国东部最为强烈的钼成矿作用。

地壳演化的差时性导致了钼成矿作用发育的区域性。喜马拉雅期,中国西南部受印度板块与亚洲板块碰撞影响,与东部地区的高原边平原乃至盆地不同,青藏高原不断隆升,伴随着强烈的构造—岩浆—流体活动,内生成矿作用开始发育,形成了大量的新生代钼矿床。由于中国东部的平原化导致众多的钼矿床被发现,而西南部众多的钼矿床可能还未剥蚀出地表或正在成形,其钼成矿潜力巨大,最新的找矿勘查成果即证明了这一点,如甲玛、邦铺超大型钼矿的发现。

从矿床的成矿系列角度来看,由于钼成矿作用的广泛发育,以及钼矿床新报道的大量年龄数据和重大的找矿进展,导致已有的成矿系列出现不足或

空缺,许多共伴生钼矿的矿床在钼成矿系列的研究中将更加重要。因此,本次研究以《中国成矿体系与区域成矿评价》(陈毓川等,2007)为基础,对与钼成矿有关的矿床成矿系列进行了重新厘定,共厘定出 39 个与钼成矿有关的成矿系列,60 个亚系列,依此建立了中国钼矿成矿谱系图,亦较清楚的反映了区域钼成矿演化规律(图 8),详细论述将另文发表。

4 结论

(1)中国钼矿呈现“面型”分布的特征,但总体总体上集中在中国东部地区,其中以河南省钼储量为首,钼矿储量主要分布于超大型、大型规模矿床中,两者占全国总储量的 83%;钼矿床类型主要有斑岩型、矽卡岩型、热液(脉)型和沉积(变质)型,分别占钼总资源量的 85.75%,8.83%,2.79%,2.63%。

(2)根据辉钼矿 Re-Os 同位素年龄将中国钼成

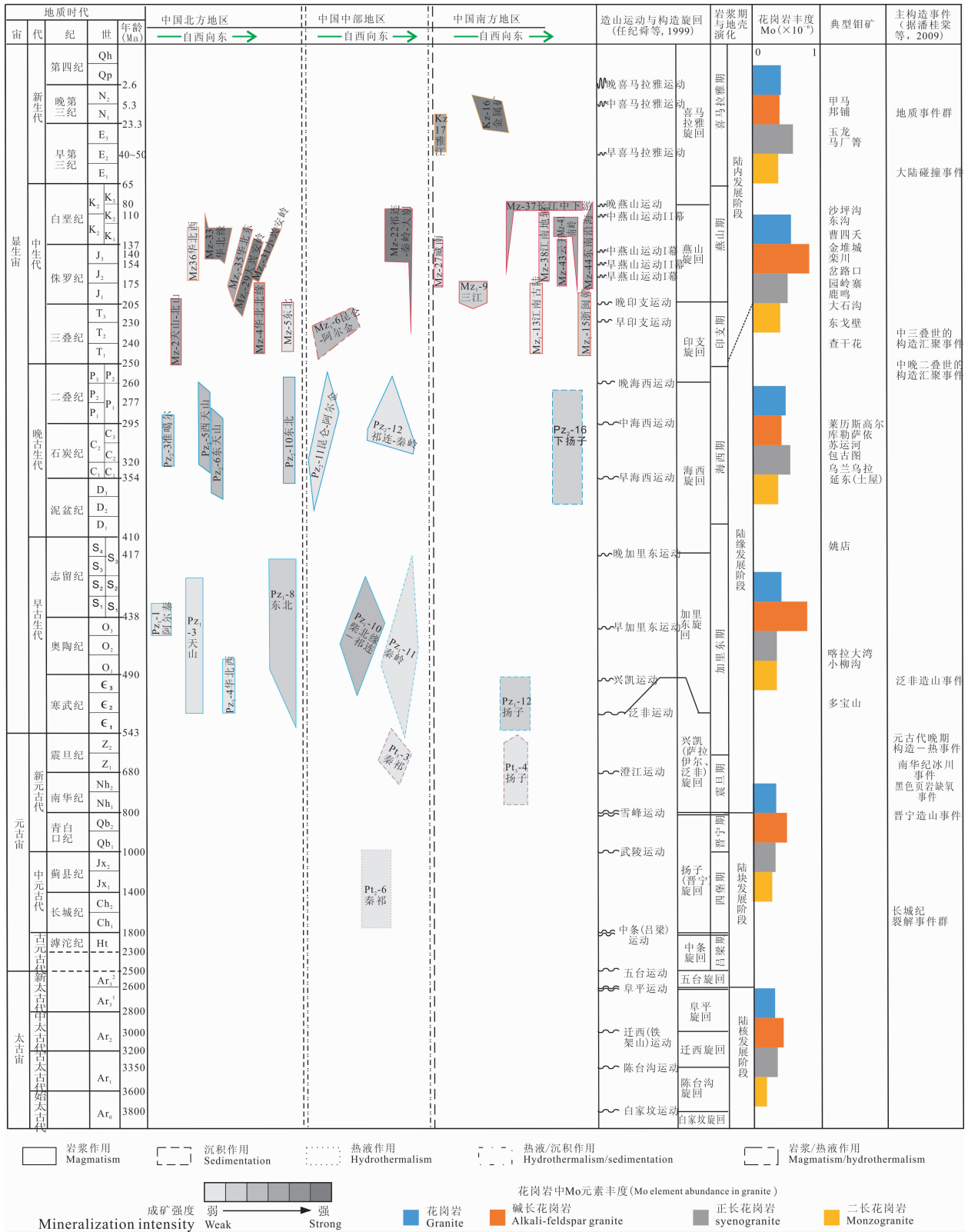


图 8 中国钼矿成矿谱系图

成矿系列编号见《中国成矿体系与区域成矿评价》(陈毓川等, 2007)

Fig. 8 Minerogenetic lineage of molybdenum deposits in China Numbers of minerogenetic series explained in "Chinese minerogenetic system and assessment of regional mineralization" (Chen Yuchuan et al. , 2007)

矿期划分为六个阶段:前寒武纪( $>800\text{Ma}$ )、寒武纪—志留纪( $540\sim415\text{Ma}$ ,加里东期)、泥盆纪—二叠纪( $400\sim290\text{Ma}$ ,海西期)、三叠纪( $260\sim200\text{Ma}$ 、印支期)、侏罗纪—白垩纪( $195\sim70\text{Ma}$ 、燕山期)和古近纪—新近纪( $65\sim10\text{Ma}$ 、喜马拉雅期),其中燕山期是最主要的成矿期,形成了约 76.69% 钼资源,其次为喜马拉雅期。

(3)中国钼矿的成矿时间跨度很大,从早元古代到新生代均有钼成矿作用的发生,成矿时代分布具有区域性,即西北地区(中亚)钼成矿时代主要集中在古生代,东部(滨太平洋)钼矿主要集中在中生代,西南地区(特提斯)钼矿成矿时代主要集中在新生代。

(4)将全国钼矿划分为 41 个Ⅲ级成钼带,建立了中国钼矿成矿谱系,讨论了钼矿类型的时空演化,表明斑岩型矿床贯穿于主要的钼成矿期,在燕山期(东部)和喜马拉雅期(西南)达到鼎盛;根据钼矿成矿作用的分布区域和发生时间及其与构造演化的关系,认为钼成矿作用可有效的反演中国地壳的构造演化史。

**致谢:**感谢所有参加“全国矿产资源潜力评价项目”项目的各省级地勘单位、科研院所领导和技术人员的大力支持。谨以此文献给导师陈毓川院士八十八华诞,感谢陈毓川院士多年来对青年地质工作者工作的鼓励和指导!

注 释

- ① 国土资源部储量司. 2002~2012. 全国矿产资源储量通报. 内部出版.
- ② 闻广. 1958. 中国钼矿床(全国第一届矿床会议论文). 未刊稿.
- ③ 卢欣祥, 罗照华, 黄凡, 谷德敏, 李明立, 董有, 祝朝辉, 杨宗锋, 杨晓勇, 黄丹峰, 梁涛. 2011. 河南省花岗岩类及与成矿关系研究——透岩浆成矿理论体系与河南钼成矿作用(河南省国土资源科学研究院成果报告). 内部出版.
- ④ 王登红. 2013. 矿种成矿区带的划分与运用. 未刊稿.

参 考 文 献

蔡明海, 彭振安, 屈文俊, 贺钟银, 冯罡, 张诗启, 徐明, 陈艳. 2011b. 内蒙古乌拉特后旗查干德尔斯钼矿床地质特征及 Re-Os 测年. 矿床地质, 30(3): 377~384.

蔡明海, 张志刚, 屈文俊, 彭振安, 张诗启, 徐明, 陈艳, 王显彬. 2011a. 内蒙古乌拉特后旗查干花钼矿床地质特征及 Re-Os 测年. 地球学报, 32(1): 64~68.

陈文明, 李树屏. 1998. 中条山铜矿峪斑岩铜矿金属硫化物的铼~钨同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 17(3): 224~228.

陈毓川, 王登红, 徐志刚, 陈郑辉, 李建康, 芮宗瑶, 盛继福, 徐珏, 袁忠信, 白鸽, 李厚民, 高兰, 李华芹, 屈文俊, 陈文, 王彦斌,

张永生, 叶会寿, 应立娟, 王成辉, 刘善宝. 2010a. 全国重要矿产和区域成矿规律研究技术要求. 北京:地质出版社, 1~183.

陈毓川, 王登红, 李厚民, 熊先孝, 高兰, 徐志刚, 盛继福, 徐珏, 袁忠信, 白鸽, 朱明玉, 芮宗瑶, 叶会寿, 刘喜方, 张长青, 陈郑辉, 王成辉, 王永磊, 应立娟, 张建等. 2010b. 重要矿产预测类型划分方案. 北京:地质出版社, 1~222.

陈毓川, 王登红, 朱裕生, 徐志刚. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价. 北京:地质出版社, 1~1005.

代军治. 2008. 燕辽成矿带钼(铜)矿床成矿作用与成矿动力学背景. 中国地质科学院博士论文. 1~107.

邓小华. 2011. 东秦岭造山带多期次钼成矿作用研究. 北京大学博士毕业论文, 1~200.

付王伟, 许德如, 傅杨荣, 杨昌松, 周迎春, 杨东生, 吴传军, 王智琳. 2011. 海南岛钼矿床区域成矿规律初探. 矿床地质, 30(S1): 772~773.

高亚龙, 张江明, 叶会寿, 孟芳, 周柯, 高阳. 2010. 东秦岭石窟沟斑岩钼矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 年龄. 岩石学报, 26(3): 729~739.

侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 高永丰, 杜安道, 黄卫. 2003. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄:成矿作用时限与动力学背景应用. 中国科学(D辑:地球科学), 33(7): 609~618.

黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 刘兰笙, 孙亚莉, 邹晓秋. 1996. 华北地台钼(铜)矿床成矿年代学研究——辉钼矿铼~钨年龄及其地质意义. 矿床地质, 15(4): 365~373.

黄典豪, 侯增谦, 杨志明, 李振清, 许道学. 2009. 东秦岭钼矿带内碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质—地球化学特征、成矿机制及成矿构造背景. 地质学报, 1968~1984.

黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼~钨同位素年龄及其意义. 矿床地质, 13(3): 221~230.

黄凡, 陈毓川, 王登红, 袁忠信, 陈郑辉. 2011a. 中国钼矿主要矿集区及其资源潜力探讨. 中国地质, 38(5): 1111~1134.

黄凡, 罗照华, 卢欣祥, 陈必河, 杨宗峰. 2010. 河南竹园沟钼矿地质特征、成矿时代及其地质意义. 地质通报, 29(11): 1704~1711.

黄凡, 王登红, 曾载淋, 张永忠, 曾跃, 温珍连. 2012. 赣南园岭寨大型钼矿岩石地球化学、成岩成矿年代学及其地质意义. 岩石大地构造与成矿学. 36(3): 363~376.

黄凡, 王登红, 陈毓川, 著. 2013. 中国东部中生代典型钼矿研究. 北京:地质出版社, 1~272.

黄凡, 王登红, 陆三明, 陈毓川, 王波华, 李超. 2011b. 安徽省金寨县沙坪沟钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄——兼论东秦岭—大别山中生代钼成矿作用期次划分. 矿床地质. 30(6): 1039~1057.

鞠楠, 任云生, 王超, 王辉, 赵华雷, 屈文俊. 2012. 吉林敦化大石河钼矿床成因与辉钼矿 Re-Os 同位素测年. 世界地质, 31(1): 68~76.

李峰, 鲁文举, 杨映忠, 陈琿, 罗思亮, 石增龙. 2009. 云南澜沧老厂斑岩钼矿成岩成矿时代研究. 现代地质, 23(6): 1049~1055.

李红艳, 毛景文, 孙亚利, 周晓秋, 何红蓼, 杜安道. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究. 地质论评, 42(3): 261~267.

李厚民, 叶会寿, 王登红, 陈毓川, 屈文俊, 杜安道. 2009. 豫西熊

- 耳山寨钼矿床辉钼矿铼—钼年龄及其地质意义. 矿床地质, 28(2):133~142.
- 李华芹, 陈福文, 李锦铁, 屈文俊, 王登红, 吴华, 邓刚, 梅玉萍. 2006. 再论东天山白山钼钼矿区成岩成矿时代. 地质通报, 25(8): 916~922.
- 李晶, 仇建军, 孙亚莉. 2009. 河南银洞沟银金钼矿床铼—钼同位素定年和加里东期造山—成矿事件. 岩石学报, 25(11): 2763~2768.
- 李晓峰, 冯佐海, 李容森, 唐专红, 屈文俊, 李军朝. 2009. 华南志留纪钼的矿化:白石顶钼矿锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和辉钼矿 Re-Os 年龄证据. 矿床地质, 28(4): 403~412.
- 李永峰, 毛景文, 白风军, 李俊平, 和志军. 2003. 东秦岭南泥湖钼(钨)矿田 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 地质论评, 49(6): 652~659.
- 李永峰, 毛景文, 刘敦一, 王彦斌, 王志良, 王义天, 李晓峰, 张作衡, 郭保健. 2006. 豫西雷门沟斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义. 地质论评, 52(1): 122~131.
- 梁涛. 2010. 安妥岭斑岩钼矿的成因及其深部约束. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 1~183.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 周会青, 屈文俊, 王成辉. 2011. 胶东半岛烟台地区邢家山钼钼矿床地质特征及其辉钼矿 Re-Os 同位素测年. 地质通报, 30(8): 1294~1302.
- 罗铭玖, 张辅民, 董群英, 许永仁, 黎世美, 李坤华. 1991. 中国钼矿床. 郑州: 河南科学技术出版社, 1~452.
- 毛冰, 叶会寿, 李超, 肖中军, 杨国强. 2011. 豫西夜长坪钼矿床辉钼矿铼—钼同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 30(6): 1069~1074.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. 地学前缘, 11(1): 45~55.
- 毛景文, 张作衡, 张招崇, 杨建民, 王志良, 杜安道. 1999. 北祁连山小柳沟钼矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其意义. 地质论评, 49(6): 652~659.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 黄卫, 曲晓明, 屈文俊. 2003b. 西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿 Re-Os 年龄及成矿学意义. 地质论评, 49(6): 660~666.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 黄卫, 曲晓明, 屈文俊. 2003a. 西藏冈底斯东段斑岩铜钼铅锌成矿系统的发育时限: 帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据. 矿床地质, 22(3): 246~252.
- 聂凤军, 屈文俊, 刘妍, 杜安道, 江思宏. 2005. 内蒙古额勒根斑岩型钼(铜)矿化区辉钼矿铼—钼同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 24(6): 638~646.
- 聂凤军, 孙振江, 李超, 刘翼飞, 吕克鹏, 张可, 刘勇. 2011. 黑龙江岔路口钼多金属矿床辉钼矿铼—钼同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 30(5): 828~836.
- 聂凤军, 李香资, 李超, 赵宇安, 刘翼飞. 2013. 内蒙古兴和县曹四夭特大型钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及地质意义. 地质论评, 59(1): 175~181.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分. 中国地质, 36(1): 1~28.
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 姜春发, 牛宝贵, 李锦铁, 谢广连, 和政军, 刘志刚. 1999. 从全球看中国大地构造: 中国及邻区大地构造图简要说明. 北京: 地质出版社, 1~50.
- 芮宗瑶, 黄崇珂, 齐国明, 徐钰, 张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京: 地质出版社, 1~350.
- 余宏全, 李红红, 李进文, 赵士宝, 谭刚, 张德全, 金俊, 董英君, 丰成友. 2009. 内蒙古大兴安岭中北段铜铅锌金银多金属矿床成矿规律与找矿方向. 地质学报, 83(10): 1456~1472.
- 宋叔和, 主编. 1989. 中国矿床(上册). 北京: 地质出版社, 1~539.
- 谭红艳, 舒广龙, 吕骏超, 韩仁萍, 张森, 寇林林. 2012. 小兴安岭鹿鸣大型钼矿 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 吉林大学学报(地球科学版), 42(6): 1757~1770.
- 汤鹏, 肖坚坚, 郑超, 王石, 陈润锋. 2013. 类石墨烯二硫化钼及其在光电子器件上的应用. 物理化学学报, 29(4): 667~677.
- 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 王成辉, 许远平, 屈文俊, 黄卫, 黄勇. 2009a. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼—钼同位素年龄及其地质意义. 地质学报, 83(5): 698~704.
- 唐菊兴, 王成辉, 屈文俊, 杜安道, 应立娟, 高一鸣. 2009b. 西藏玉龙斑岩铜钼矿辉钼矿铼—钼同位素定年及其成矿学意义. 岩矿测试, 28(3): 215~218.
- 涂其军, 董连慧, 王克卓. 2012. 东天山东戈壁钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及地质意义. 新疆地质, 30(3): 272~276.
- 王保弟, 许继峰, 陈建林, 张兴国, 王立全, 夏抱本. 2010. 冈底斯东段汤不拉斑岩 Mo-Cu 矿床成岩成矿时代与成因研究. 岩石学报, 26(6): 1820~1832.
- 王成辉, 松权衡, 王登红, 李立兴, 于城, 汪志刚, 屈文俊, 杜安道, 应立娟. 2009. 吉林大黑山超大型钼矿辉钼矿铼—钼同位素定年及其地质意义. 岩矿测试, 28(3): 269~273.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 盛继福, 朱明玉, 刘喜方, 张长青, 王成辉, 王永磊. 2013. 矿产预测类型及其在矿产资源潜力评价中的运用. 吉林大学学报(地球科学版), 43(4): 1092~1110.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 唐菊兴, 李建康, 应立娟, 王成辉, 刘善宝, 李立兴, 秦燕, 李华芹, 屈文俊, 王彦斌, 陈文, 张彦. 2010. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据. 地质学报, 84(7): 1030~1040.
- 王永磊, 王登红, 张长青, 屈文俊, 胡艳春. 2010. 广西德保铜锡矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年及对加里东期成矿的探讨. 矿床地质, 29(5): 881~889.
- 王召林, 杨志明, 杨竹森, 田世洪, 刘英超, 马彦青, 王贵仁, 屈文俊. 2008. 纳日贡玛斑岩钼铜矿床: 玉龙铜矿带的北延——来自辉钼矿 Re-Os 同位素年龄的证据. 岩石学报, 24(3): 503~510.
- 魏庆国, 姚军明, 赵太平, 孙亚莉, 李晶, 原振雷, 乔波. 2009. 东秦岭发现~1.9Ga 钼矿床——河南龙门店钼矿床 Re-Os 定年. 岩石学报, 25(11): 2747~2751.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 2008. 中国成矿区带划分方案. 北京: 地质出版社, 1~138.
- 杨梅珍, 曾键年, 覃永军, 李法岭, 万守权. 2010. 大别山北缘千鹅冲斑岩型钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年代学及其地质意义. 地质科技情报, 29(5): 35~45.
- 杨言辰, 韩世炯, 孙德有, 郭嘉, 张苏江. 2012. 小兴安岭—张广才

岭成矿带斑岩型钼矿床岩石地球化学特征及其年代学研究. 岩石学报, 28(2): 379~390.

杨泽强. 2007. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼—钼同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 26(3): 289~295.

叶会寿, 毛景文, 李永峰, 郭保健, 张长青, 刘珺, 闫全人, 刘国印. 2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 地质学报, 80(7): 1078~1088.

应立娟, 唐菊兴, 王登红, 畅哲生, 屈文俊, 郑文宝. 2009. 西藏甲玛铜多金属矿床矽卡岩中辉钼矿铼—钼同位素定年及其成矿意义. 岩矿测试, 28(3): 265~268.

张达, 吴淦国, 刘乃忠, 狄永军, 吕良冀, 曹文融. 2010. 福建漳平北坑场钼多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 地质学报, 84(10): 1428~1437.

张达玉, 周涛发, 袁峰, 范裕, 刘帅, 屈文俊. 2009. 新疆东天山地区白山钼矿床的成因分析. 矿床地质, 28(5): 663~672.

赵斌, 陈毓川, 王双猗, 刘仁亮. 2009. 三岔沟金矿区钼矿成矿时代及中条山区找矿方向的研究. 地质学报, 83(9): 1335~1343.

赵一鸣, 毕承思, 邹晓秋, 孙亚莉, 杜安道, 赵玉明. 1997. 黑龙江多宝山、铜山大型斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿的铼—钼同位素年龄. 地球学报, 18(1): 61~67.

钟立峰, 夏斌, 刘立文, 李杰, 林秀广, 徐力峰, 林良庄. 2010. 粤西-桂东成矿带园珠顶铜钼矿床成矿年代学及其地质意义. 矿床地质, 29(3): 395~404.

周珂, 叶会寿, 毛景文, 屈文俊, 周树峰, 孟芳, 高亚龙. 2009. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼—钼同位素年龄. 矿床地质, 28(2): 170~184.

周清. 2011. 德兴斑岩铜矿含矿斑岩成因及成矿机制. 南京大学博士学位论文, 1~99.

朱赖民, 丁振举, 姚书振, 张国伟, 宋史刚, 屈文俊, 郭波, 李犇. 2009. 西秦岭甘肃温泉钼矿床成矿地质事件及其成矿构造背景. 科学通报, 54(16): 2337~2347.

Dill H G. 2010. The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. Earth Science Reviews, 100: 1~420.

Feng C Y, Zeng Z L, Zhang D Q, Qu W J, Du A D, Li D X, She H Q. 2011. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os isotopic dating of the tungsten deposits in the Tianmenshan-Hongtaoling W-Sn orefield, southern Jiangxi Province, China, and geological implications. Ore Geology Reviews, 43: 8~25.

Hess F L. 1924. Molybdenum deposits—a short review. Washington, government printing office, 1~35.

King R U, Shawe D R, Mackeven Jr E M. 1973. Molybdenum. In: Brobst D A, Pratt W P, eds. United States Mineral Resources. U. S. Geological Survey Professional Paper 820:425~435.

Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qu W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F, Yang Z Q. 2008. Tectonic implications from Re - Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling - Dabie orogenic belt. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72(18): 4607~4626.

Simon A C, Ripley E M. 2011. The role of magmatic sulfur in the formation of ore deposits. Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 73: 513~578.

Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A, Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the east Qinling molybdenum belt, Shanxi Province, China. Economic Geology, 92(7~8): 827~835.

Zeng Q D, Liu J M, Qin K Z, Fan H R, Chu S X, Wang Y B, Zhou L L. 2013. Types, characteristics, and time-space distribution of molybdenum deposits in China. International Geology Review, 55(11): 1311~1358.



## Resources Characteristics of Molybdenum Deposits and Their Regional Metallogeny in China

HUANG Fan<sup>1)</sup>, WANG Denghong<sup>1)</sup>, WANG Chenghui<sup>1)</sup>, CHEN Zhenghui<sup>1)</sup>,  
YUAN Zhongxin<sup>1)</sup>, LIU Xinxing<sup>1,2)</sup>

1) *MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment,  
Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037;*

2) *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083*

### Abstract

Molybdenum is one of the dominant minerals in China because of its rich reserves. In recent years, the distribution of molybdenum deposits is characterized by “surface type” distribution, because molybdenum deposits have been got considerable prospecting breakthrough. In general, these molybdenum deposits are concentrated in the eastern China, including the largest molybdenum reserves of Henan province. From the scale of molybdenum deposits, the identified resources of superlarge deposit is the most important which accounts for about 53% of the whole country, the large deposit accounts for about 30%, the medium-sized deposit accounts for about 14%, small-sized deposit, mine dot and mineralization account for about 3%. Molybdenum deposits are mainly of porphyry type, skarn type, hydrothermal (vein) type and sedimentary (metamorphic) type in genesis, the identified resources of these types are accounting for 85.75%, 8.83%, 2.79% and 2.63% of the total resources respectively. Base on the statistics of precise chronology data of molybdenites Re-Os, Mo-mineralization can be divided into 6 periods in Chinese geological history. These periods of Mo-mineralization are Precambrian (>800Ma), Cambrian-Silurian (540 ~ 415Ma, Caledonian), Devonian-Permian (400 ~ 290Ma, Hecynian), Triassic (260 ~ 200Ma, Indosinian), Jurassic-Cretaceous (195 ~ 70Ma, Yanshanian) and Paleogene-Neogene (65 ~ 10Ma, Himalayan). The Mo mineralization during Yanshanian period is the strongest one, in which about 76.69% Chinese total identified resources was formed. The second is the Himalayan period. According to spatial-temporal distribution characteristics of molybdenum deposits, the metallogenic regularity of molybdenum deposits was preliminarily summarized, and 41 III-level molybdenum-forming belt were divided in mainland China. Metallogenic lineage of molybdenum deposits was also established. Spatial-temporal evolution of different types of molybdenum deposits, the relationship between Mo-mineralization and tectonic evolution have been discussed in this paper. On this basis, the authors think Mo is an effective tracer for recording the crustal evolution history of China.

**Key words:** molybdenum deposits; deposits types; molybdenum-forming belt; regional metallogeny; tectonic evolution