

# 中国锆资源与成矿

陈炳翰, 余金杰\*, 姚佛军

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

**内容提要:** 本文将中国锆矿划分为碱性花岗岩型、碱性杂岩型、伟晶岩型、风化壳残坡积型、滨海沉积型和河流冲积型, 将锆矿预测类型划分为花岗岩型、伟晶岩型、滨海沉积型、河流冲积型、风化壳残坡积型。中国锆矿资源分布在内蒙古、海南、四川、广东等 15 个省(自治区)。中国锆矿形成于新元古代、晚古生代、中生代、新生代, 主要形成于中生代和新生代。划分了 14 个锆矿成矿带, 厘定出 34 个与锆矿有关的成矿系列, 建立了中国锆矿成矿谱系。东南沿海的滨海沉积型和河流冲积型锆矿是将来锆矿找矿的重点。

**关键词:** 锆矿; 资源特征; 锆矿类型; 成矿时代; 锆成矿带; 成矿系列

锆具有高熔点、高沸点、无毒环保、耐腐蚀等一系列优异的性能, 被广泛应用于现代陶瓷、特种玻璃、原子能工业等战略性新兴产业以及化工、精密铸造和医疗等各个产业领域。限于技术经济、外部环境和生态环保约束, 中国目前没有开采的锆矿山。中国是世界锆矿资源的进口大国和消费大国(刘劲松和高丽丽, 2023)。随着中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段, 在未来十几年内中国对锆矿资源需求仍将保持较大的规模, 中国锆英砂供应将长期从澳大利亚和南非等国进口(智研咨询, 2022)。前人对中国锆矿矿床类型、成矿时空展布特征、资源现状、开发利用和找矿远景进行了研究(张建文等, 2019; 王汝成等, 2020; 尹传凯等, 2024)。研究表明, 中国锆矿床主要分布于内蒙古、海南、四川、广东等 15 个省(自治区)。中国内生锆矿床在空间上常与铌钽矿床共伴生, 时间上主要形成于晚古生代和中生代, 与碱性—过碱性花岗岩、花岗伟晶岩和铝质花岗岩有关(王汝成等, 2020), 塔里木—华北克拉通北缘断裂带和大兴安岭南段具有较大找矿潜力(尹传凯等, 2024), 但中国内生锆矿资源禀赋较差, 现有的技术经济条件下无法开采。中国可供开采的锆矿资源主要来源于滨海沉积型锆砂矿, 海南

岛东部海域、西部昌化江河口和胶东半岛东南沿海区有较大找矿潜力(刘洪树, 1989; 迟洪纪等, 2001; 王颖, 2002)。中国锆矿资源长期自给不足, 主要进口低品位的锆中矿和品位 65% 以上的锆精矿(张建文等, 2019; 王汝成等, 2020; 尹传凯等, 2024)。然而, 到目前为止, 前人并未关注中国锆成矿区带划分、与锆成矿有关的成矿系列和成矿谱系等重要问题。

本文通过对全国锆矿床和矿产地、矿产勘查、科研成果、预测评价等资料进行综合整理和分析, 在前人工作基础上, 对中国锆矿床和矿产地中矿床类型进行归类, 对中国锆矿资源概况进行了剖析, 尝试对中国锆矿时空分布规律进行总结, 共划分出 14 个锆成矿带, 共划分出 34 个与锆成矿有关的成矿系列, 建立了中国锆矿的成矿谱系图, 希望能推动中国锆矿的找矿勘查和资源潜力评价工作, 对中国锆矿的保护、监督和开发具有促进作用。

## 1 锆元素地球化学行为

锆具有强烈的亲氧性, 自然界中锆大部分以氧化物形式存在, 锆石是主要的含锆矿物。锆英砂常以晶体状态出现, 呈四方柱结构, 多与钛铁矿、金红

注: 本文为国家重点研发计划项目(编号 2023YFC2906401)、中国地质调查局项目(编号 DD20230040, DD20230366)和科技基础资源调查专项课题(编号 2022FY101703)联合资助的成果。

收稿日期: 2024-03-31; 改回日期: 2024-11-11; 网络发表日期: 2025-11-18; 责任编辑: 毕献武; 责任编辑: 蔡志慧。

作者简介: 陈炳翰, 男, 1990 年生。博士, 助理研究员, 从事矿床学和矿产资源潜力评价研究。E-mail: chenbinghan@cags.ac.cn。

\* 通讯作者: 余金杰, 男, 1966 年生。研究员, 博士生导师, 从事金属矿床成矿作用研究和国情调查工作。E-mail: yjchina@sina.com。

引用本文: 陈炳翰, 余金杰, 姚佛军. 2026. 中国锆资源与成矿. 地质学报, 100(1): 11~24. doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2024127.  
Chen Binghan, Yu Jinjie, Yao Fojun. 2026. Zirconium resources and mineralization in China. Acta Geologica Sinica, 100(1): 11~24.

石、独居石、磷钇矿等共生。锆英砂理论上含有 67.1% 的  $ZrO_2$ , 32.9% 的  $SiO_2$ 。纯净的锆英砂为无色透明的晶体,常因产地不同、含杂质的种类与数量不同而呈黄、橙、红、褐等色,莫氏硬度为 7.8,密度为  $4.6\sim 4.71\text{ g/cm}^3$ ,折射率为  $1.93\sim 2.01$ ,熔点为  $2550^\circ\text{C}$ 。

大陆上地壳中锆含量约  $193\times 10^{-6}$  (Rudnick and Gao, 2003),锆的富集成矿作用既可以发生于内生成矿过程,也可以与表生成矿过程有关(王汝成等,2020)。在内生成矿过程中,锆常富集在由岩浆结晶分异作用引起的残余岩浆中,尤其富集于碱性岩的造岩矿物中,如在碱性岩的霞石中,锆含量较高。高度演化的花岗质岩浆中常形成斜钠锆石和硅钠锆石等含锆矿物(Kynicky et al., 2011; Gysi and Williams-Jones, 2013),高度分异的花岗岩岩相中稀有副矿物为锆石、铌铁矿-钽铁矿、重钽铁矿、钽石、磷钇矿和独居石。因此,内生成矿过程中锆的超常富集与岩浆的高程度演化有关(Siegel et al., 2018; 吴鸣谦等,2024)。锆在热液流体中的溶解度非常低,很难发生大规模迁移与沉淀,流体只能对原生早先形成的含锆矿物进行原位再改造,导致锆元素的原位再分配(Migdisov et al., 2011)。

由于锆石耐风化和比重大特点,经表生成矿过程可形成外生矿床。高度分异的花岗岩富含含锆矿物,原岩遭受风化淋滤作用,结构已发生变化,活动性易迁移元素被移除,而耐风化的锆石被保留下来,在风化壳中形成风化壳残坡积型锆矿。在富含锆的滨海地带,长期遭受风化剥蚀作用,为砂矿的形成提供了丰富的物质来源,由于锆石耐风化和比重大特点,易形成滨海沉积型锆砂矿。河水流速快,利于侵蚀切割岩石,部分河流受季节控制明显,其丰水期河水流速要比平时高数倍,流量也大大增加,有利于含锆、钛碎屑向河口及邻近海域的输运(杨奕等,2010)。

## 2 中国锆矿矿床类型

在分类中,一级划分是与三大类地质作用相对应,即分为内生矿床、外生矿床、变质矿床和叠生矿床四大类。有的研究将锆矿床划分为硬岩型和砂矿型。对锆矿而言,可划分为内生锆矿和外生锆矿(表 1)。二级划分是按照在一定地质环境下的主要成矿作用系列来划分的,锆矿可划分为岩浆作用锆矿、表生作用锆矿和沉积作用锆矿。

三级划分则由于各类矿床形成环境的复杂性和

成矿方式的多样性,很难采用统一的标志。考虑到岩浆作用锆矿床主要与岩浆岩(过碱性—碱性花岗岩、过铝质花岗岩和花岗伟晶岩)有关,根据与成矿有关的花岗质岩石岩性特征,岩浆作用锆矿可进一步划分为碱性花岗岩型锆矿、碱性杂岩型锆矿和伟晶岩型锆矿(表 1)。碱性花岗岩型或碱性杂岩型锆矿形成于碱性花岗岩岩浆演化晚期或岩浆-热液过渡阶段,碱性(杂)岩岩体分布于陆内裂谷、板块边缘以及造山后等伸展构造环境(王汝成等,2020),主要矿床包括内蒙古扎鲁特旗巴尔哲铀稀土锆矿和辽宁凤城市赛马铀稀土锆矿。伟晶岩型锆矿床多产于由准铝质或过碱性质的 A 型花岗岩分异演化形成的 NYF 型花岗伟晶岩中,常呈层状或脉状产出,锆石常与铌铁矿族矿物、电气石等矿物共生(王汝成等,2020)。伟晶岩型锆矿主要分布于江西、新疆和内蒙古,如江西海罗岭,新疆可可托海、依兰里克,内蒙古察汗沟、汉营子。

表 1 锆矿矿床类型划分表

Table 1 Classification of zirconium ore deposit types

| 地质作用 | 成矿作用   | 锆矿床分类                | 典型矿床                                      |
|------|--------|----------------------|---|
| 内生锆矿 | 岩浆作用锆矿 | 碱性花岗岩型锆矿             | 内蒙古巴尔哲                                    |
|      |        | 碱性杂岩型锆矿<br>伟晶岩型锆矿    | 辽宁赛马<br>内蒙古察汗沟                            |
| 外生锆矿 | 表生作用锆矿 | 风化壳残坡积型锆矿            | 江西塔背                                      |
|      | 沉积作用锆矿 | 滨海沉积型锆砂矿<br>河流冲积型锆砂矿 | 海南省和广东省<br>海滨锆英石砂矿<br>辽宁大凌河、广东<br>合山、海南乌石 |

沉积作用形成锆砂矿,包括滨海沉积型锆砂矿和河流冲积型锆砂矿(表 2)。滨海砂矿主要形成于第四纪高海面及现代时期,具有工业价值的滨海砂矿中的重矿物主要来自沿岸出露的寒武系变质岩系和混合岩以及广泛出露的印支期—燕山期中酸性岩及部分第三纪—第四纪基性喷发岩(陈华祝,2018),砂矿主要分布在现代海滩区的上部,矿体沿海岸线呈条带状分布,其长度往往是宽度的数十倍(谭启新,1998)。矿石矿物主要有锆石、斜锆石、独居石、磷钇矿、铌钽铁矿等(王汝成等,2020),重要的矿床集中在海南省和广东省。河流冲积型锆矿多产于中小型河流,沿岸伴随残坡积物和海相沉积物,矿体呈层状或似层状,矿层厚度变化大( $0.5\sim 95\text{ m}$ ),矿体埋藏浅( $0\sim 85\text{ m}$ ),易开发(陈华祝,2018),一般产于富含锆石的花岗岩、碱性岩以及混合岩地区,矿石矿物为锆石、钛铁矿、独居石等,重要矿床有海南乌石、广东合山、云南勐往和勐阿等。

表生作用可形成风化壳残坡积型锆矿。风化壳残坡积型锆矿一般产于风化剥蚀强烈的海蚀阶地、河流剥蚀阶地、海岸地带丘陵、河流两岸的低缓丘陵和陡峡谷切割的多山高原地区,母岩一般为碱性岩

(如霞石正长岩)、花岗岩、花岗斑岩和混合岩等富含锆石等锆矿物的岩石,重要矿床分布于广西北流市 520 锆英石矿、湖南姑婆山稀土锆矿、江西省龙南县塔背锆矿等(王瑞江等,2015;王汝成等,2020)。

表 2 中国典型锆矿成矿时代一览表

Table 2 Ore-forming ages of large- and medium-sized zircon deposits in China

| 序号 | 矿床预测类型  | 矿产地        | 矿种(含共生伴生矿种)                | 锆矿规模及品位(锆英石)                     | 成矿时代          | 参考文献   |
|----|---------|------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|--|
| 1  | 伟晶岩型    | 新疆可可托海     | 锆质锆石                       |                                  | 220~180 Ma    | Yin Rong et al., 2013;<br>杨富全等,2018;<br>Shen Ping et al., 2022 |
| 2  | 花岗岩型    | 内蒙古巴尔哲     | 稀土、铌、钽、铍                   | 超大型, ZrO <sub>2</sub> 2.36%      | 白垩纪           | 陈金勇等,2019<br>伍辉成,2018<br>王登红等,2014                             |
| 3  |         | 四川莲花山铌钽矿   | 铌矿                         | 大型, ZrO <sub>2</sub> 0.23%       | 印支期           |  |
| 4  |         | 四川脚基坪铌钽矿   | 铌矿                         | 中型, ZrO <sub>2</sub> 0.20%       | 印支期           |  |
| 5  | 河流冲积型   | 广东合山       | 稀土、独居石                     | 超大型, 322 g/m <sup>3</sup>        | 第四纪           | 王登红等,2014  |
| 6  |         | 海南乌石       | 钛矿                         | 中型, 21 kg/m <sup>3</sup>         | 第四纪           |  |
| 7  |         | 云南勐往       | 独居石、钛铁矿                    | 大型                               | 第四纪           |  |
| 8  |         | 云南勐阿       | 磷钇矿、独居石、钛铁矿                | 大型                               | 第四纪           |  |
| 9  |         | 云南勐海县城郊    | 独居石、锆英石                    | 大型, 0.58~0.78 g/m <sup>3</sup>   | 第四纪           |  |
| 10 | 风化壳残坡积型 | 广东平定       | 铁、钛、独居石                    | 中型, 0.44 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           | 王登红等,2014  |
| 11 |         | 广东桂墟       | 钛、铁                        | 中型, 0.26%                        | 第四纪           |  |
| 12 |         | 海南长安       | 钛矿                         | 大型, 40.21 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           |  |
| 13 |         | 海南兴隆       | 钛矿                         | 大型, 21.90 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           |  |
| 14 |         | 海南海头—龙山    | 钛矿、石英砂                     | 中型, 1.01 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 15 |         | 海南万洲坡      | 钛矿                         | 中型, 2.65 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 16 |         | 广西东胜       | 钛矿、钒矿                      | 大型, 22.44 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           |  |
| 17 |         | 广东 525 铌钽矿 | 锡、钽、铌                      | 大型, 0.004 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           |  |
| 18 |         | 广东白石坑      | 铌、钽                        | 中型                               | 第四纪           |  |
| 19 |         | 广西 520     | 重稀土矿、轻稀土矿、钛矿               | 大型, 38.66~62.31 g/m <sup>3</sup> | 第四纪           |  |
| 20 | 江西塔背    |            | 中型, ZrO <sub>2</sub> 2.13% | 第四纪                              | 幸世军, 2009; 本文 |  |
| 21 | 海滨沉积型   | 海南潭门       | 钛矿、轻稀土矿                    | 中型, 15.57 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           | 王登红等,2014  |
| 22 |         | 海南南港       | 钛矿、轻稀土矿                    | 大型, 24.24 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           |  |
| 23 |         | 广东海独居石     | 稀土、钛、独居石                   | 中型, 0.81 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 24 |         | 广东柳尾       | 铁、钛、独居石                    | 中型, 3.01 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 25 |         | 海南铺前       | 钛矿、石英砂                     | 大型, 2.63 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 26 |         | 海南鹿马岭      | 钛矿                         | 中型, 1.11 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 27 |         | 海南白岭       | 钛矿                         | 中型, 0.76 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 28 |         | 海南坡口市      | 钛矿、石英砂                     | 中型, 0.66 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 29 |         | 海南昌烈       | 石英砂、钛矿                     | 超大型                              | 第四纪           |  |
| 30 |         | 海南木兰头(东段)  | 石英砂、钛矿                     | 超大型                              | 第四纪           |  |
| 31 |         | 海南木兰头(西段)  | 石英砂、钛矿                     | 中型                               | 第四纪           |  |
| 32 |         | 海南沙老       | 钛矿                         | 大型, 32.95 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           |  |
| 33 |         | 海南保定       | 钛矿、轻稀土矿                    | 超大型, 15.29 kg/m <sup>3</sup>     | 第四纪           |  |
| 34 |         | 海南横山       | 钛矿                         | 中型, 30.41 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           |  |
| 35 |         | 海南新村       | 钛矿                         | 中型, 21.35 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           |  |
| 36 |         | 海南大头       | 钛矿                         | 中型, 8.84 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 37 |         | 海南保定海      | 钛矿                         | 大型, 1.86 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 38 |         | 海南海尾—南罗    | 石英砂、钛矿                     | 超大型                              | 第四纪           |  |
| 39 |         | 海南铜岭       | 钛矿                         | 中型, 13.50 kg/m <sup>3</sup>      | 第四纪           |  |
| 40 |         | 海南新村港      | 钛矿                         | 中型, 2.76 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |
| 41 |         | 海南蓬莱       | 红蓝宝石(红锆石)                  | 大型                               | 第四系           |  |
| 42 |         | 广西官井       | 钛矿                         | 大型                               | 第四系           |  |
| 43 |         | 广东沙尾       | 稀土、磷钇矿                     | 中型                               | 第四纪           |  |
| 44 |         | 广东三村       | 稀土、独居石、锡石                  | 中型, 0.23 kg/m <sup>3</sup>       | 第四纪           |  |

注: 锆矿(锆英石)规模: 小型<5万t, 中型5~20万t, 大型≥20万t, 超大型一般为大型的5倍。

依据矿床预测类型的定义(王登红等,2013),凡是由同一地质作用形成的,成矿要素和预测要求基本一致,可以在同一预测底图上完成预测工作的矿床、矿点和矿化线索可以归为同一“矿产预测类型”,本次研究工作将锆矿预测类型划分为花岗岩型、伟晶岩型、滨海沉积型、河流冲积型、风化壳残坡积型。

### 3 中国锆矿资源概况

据美国地调局(USGS)2023年资料,全球锆储量6800万吨(氧化锆,下同),澳大利亚、南非、塞内加尔和莫桑比克4个国家锆含量合计占全球锆储量的85.7%,中国锆储量较少。

因矿体形态复杂、品位低、分离共生矿物成本高且开采难度较大等原因,全球极少原生锆矿达到经济开采级别(王汝成等,2020;孙宏伟等,2023),目前全球工业上主要开采锆石砂床,全球90%工业开采多为砂矿型(孙宏伟等,2023)。砂矿主要包括滨海锆砂矿、河流冲积型锆砂矿和风化壳残坡积型锆砂矿,其中尤以滨海锆砂矿最具工业开采价值,规模和产量远大于河流冲积型锆砂矿和风化壳残坡积型锆砂矿(Peterson et al., 1986;申正伟等,2016;车东等,2016;孙宏伟等,2019,2023;任军平等,2021)。澳大利亚是全球锆英砂最丰富的国家,锆矿类型均为滨海砂矿型,多与金红石、钛铁矿共生,主要集中在Murray、Perth以及Eucla三大盆地(王汝成等,2020;刘劲松和高丽丽,2023)。非洲已查明锆储量占全球的52%,其中莫桑比克、南非、马达加斯加、塞内加尔和肯尼亚集中了非洲几乎全部的锆矿资源。矿床类型以滨海锆砂矿为主,通常为上新世—全新世未固结的薄而平坦的砂层,重矿物以锆石、金红石和钛铁矿为主,含量2%~12%(张振芳等,2021)。

本次研究收集了全国主要的锆矿、矿产地信息。通过本次研究,中国锆矿资源分布在内蒙古、海南、四川、广东等15个省(自治区)。从矿床类型看,岩浆作用锆矿(碱性花岗岩型、碱性杂岩型和伟晶岩型锆矿)占全国总量的70%左右,沉积作用锆矿(滨海沉积型锆砂矿和河流冲积型锆砂矿)和表生作用锆矿(风化壳残坡积型锆矿)占30%。

岩浆作用锆矿(碱性花岗岩型、碱性杂岩型和伟晶岩型锆矿)均为伴生矿产,矿石品位低于边界品位或工业品位,矿石多属于难选冶矿石,现有技术经济条件下难以利用。风化壳残坡积型锆矿、滨海沉积型锆砂矿和河流冲积型锆砂矿在现有技术经济条件下可以开采利用,历史上也曾有过开采,近年来由于

国家环保政策,锆砂矿矿山全部关闭。锆矿矿产地分布图见图1。

### 4 锆矿成矿时代

本次研究收集了中国大部分矿床、矿点的成矿时代资料,大中型矿床成矿时代一览表见表2。锆英石是主要的赋锆矿物,碱性花岗岩、碱性杂岩和伟晶岩的形成时间近似代表了岩浆作用锆矿的成矿时代,外生锆矿(风化壳残坡积型锆矿、滨海沉积型锆砂矿和河流冲积型锆砂矿)形成于第四纪。

中国锆矿从新元古代到新生代均有产出,大致可以划分成新元古代、晚古生代、中生代、新生代,大部分矿床形成时代集中在新生代(表2,图2)。伟晶岩型锆矿的主要成矿时代有新元古代、晚古生代、中生代、新生代,时间跨度较广,花岗岩型锆矿的主要成矿时代为中生代,这两种类型形成时代主要受其所处的大地构造位置影响,详见第5节。风化壳残坡积型锆矿、河流冲积型锆矿和滨海沉积型锆矿形成主要受其物源控制,成矿时代集中在新生代。物源、气候与水动力条件、海岸类型与地貌类型、第四纪沉积作用和海平面变化等因素控制砂矿的形成,其中物质来源是决定因素(Azmon and Golik, 1995;Dill, 1998;Carranza-Edwards et al., 2001;Mark, 2005;Carling and Breakspear, 2006;Dill et al., 2006;Casalho and Fradique, 2007)。锆英石、金红石、钛铁矿等主要分布在中生代燕山期花岗岩区的滨海地带的砂矿中,砂矿的主要成矿期是更新世、全新世(黎广钊等,1988;刘洪树,1989)。

### 5 锆矿空间分布规律

在Ⅲ级成矿区带划分(徐志刚等,2008)的基础上,结合锆矿的预测类型、主要锆矿床的时空分布特征及其区域成矿地质条件和成矿要素,将中国锆矿划分为14个成矿带(表3,图3)。花岗岩型锆矿主要分布在突泉成矿带、康滇成矿带,伟晶岩型锆矿主要分布在北阿尔泰成矿带、康滇成矿带、粤东成矿带,主要分布于陆内裂谷、板块边缘以及造山后等伸展构造环境(王汝成等,2020)。在突泉成矿带,成矿母岩经历了高度演化,与蒙古弧形构造带和大兴安岭北北东向构造带的构造活动耦合,锆得以富集成矿,形成了国内最大的巴尔哲花岗岩型锆矿(陈金勇等,2019)。在北阿尔泰、康滇等成矿带,陆内伸展减压背景下,母岩花岗岩经历高度分异结晶(Wu Fuyuan et al., 2017, 2020;London, 2018),或者深

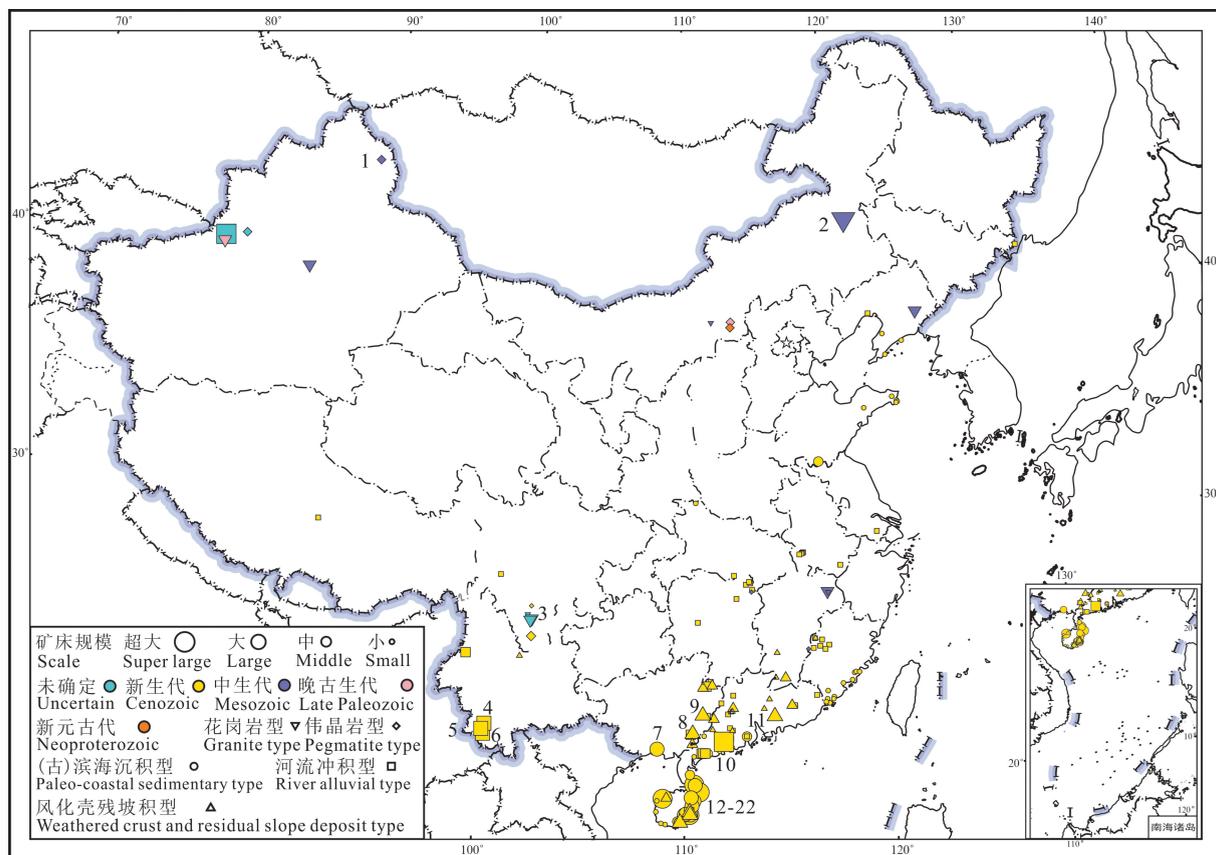


图 1 中国锆矿产地分布图

Fig. 1 Distribution of zircon deposits in China

1—可可托海;2—巴尔哲;3—莲花山;4—勐往;5—勐阿;6—勐海县城郊;7—官井;8—520;9—东胜;10—合山;11—525;12-22—兴隆,南港,铺前,昌烈,木兰头(东段),沙老,保定,保定海,海尾—南罗,蓬莱,长安;部分资料来源:蔡廷青,1975;史炎培,1976;刘力文,1989;李尚尧和张超群,1997;幸世军,2009;王勇义,2009a,2009b;杨智荣,2009;胡论元等,2010;黄卓广,2010;刘俊生,2010;吕胜青,2010;童贵生等,2010;Wu Fuyuan et al., 2010;林清梅和黃子龙,2012;刘明,2012;徐海明等,2012;党飞鹏等,2015;汪一凡,2015;孙伟,2016;Zhu Yusheng et al., 2016;杨富全等,2018;李志丹等,2019;钟军等,2020;宋家伟等,2021;雷跃增和杨红,2022

1—Koktokay; 2—Balzhe; 3—Lianhuashan; 4—Mengxiang; 5—Meng'a; 6—Menghai County suburban; 7—Guanjing; 8—520; 9—Dongsheng; 10—Heshan; 11—525; 12-22—Xinglong, Nangang, Puqian, Changlie, Mulantou (eastern section), Shalao, Baoding, Baodinghai, Haiwei Nanluo, Penglai, Chang'an; data from Cai Tingqing, 1975; Shi Yanpei, 1976; Liu Liwen, 1989; Li Shangyao and Zhang Chaoqun, 1997; Xing Shijun, 2009; Wang Yongyi, 2009a, 2009b; Yang Zhirong, 2009; Hu Lunyuan et al., 2010; Huang Zhuoguang, 2010; Lü Shengqing, 2010; Liu Junsheng, 2010; Tong Guisheng et al., 2010; Wu Fuyuan et al., 2010; Lin Qingmei and Huang Zilong, 2012; Liu Ming, 2012; Xu Haiming et al., 2012; Dang Feipeng et al., 2015; Wang Yifan, 2015; Sun Wei, 2016; Zhu Yusheng et al., 2016; Yang Fuquan et al., 2018; Li Zhidan et al., 2019; Zhong Jun et al., 2020; Song Jiawei et al., 2021; Lei Yuezeng and Yang Hong, 2022

部地壳物质小比例部分熔融,发生高程度分离结晶 (Muller et al., 2015; Simmons and Falster, 2016), 锆富集成矿。

滨海沉积型锆矿、河流冲积型锆矿、风化壳与残坡积型锆矿分布范围广泛,成矿带较多,这些地区发育适合砂矿形成及保存的条件。华北板块吕梁运动的岩浆岩将古老的变质岩(泰山群、胶东群等)经区域变质和混合岩化作用变为基底岩石,在长期上升的胶北和胶南隆起发育大量燕山期岩浆岩,为山东的滨海砂矿提供物质来源(迟洪纪等,2001)。华南板块边缘基底为变质复理石-类复理石建造,受印支

期、燕山期、喜马拉雅期三次大的构造影响,广布富钾的钙碱性侵入岩,原岩长期遭受风化剥蚀,可为该区滨海砂矿富集成矿提供大量物质来源(孙岩,1999)。江河口及其邻近海域的平坦浅缓海岸属于砂砾质平原海岸(王颖,2002),是滨海砂矿赋存的有利海岸类型(杨奕等,2010)。在长江中下游、江南成矿带等地,气候炎热湿润,物理-化学风化作用强烈,在多山地形中,降水和河流冲刷出大量的碎屑为砂矿的形成提供了充足的物源(刘英俊和曹励明,1987)。在粤西、粤中、粤东等成矿带内,原岩受风化淋滤作用,原岩结构大都已发生变化,矿石大都呈松

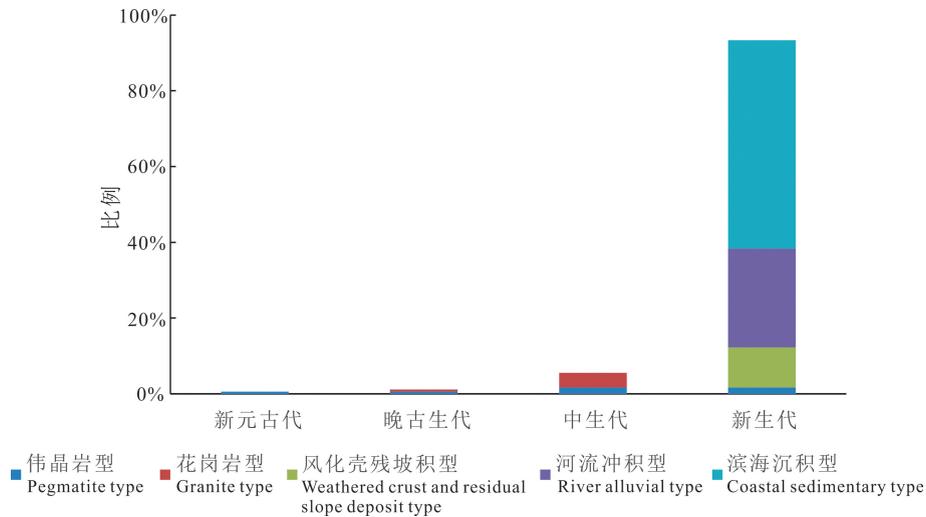


图2 中国锆矿床形成时代

Fig. 2 Metallogenic ages of zirconium deposits in China

表3 中国锆矿成矿带划分表

Table 3 Zirconium metallogenic belts in China

| 编号   | 成矿带名称 | 预测类型                     | 成矿时代    | Ⅲ级成矿带 | 代表性矿床                    |
|------|-------|--------------------------|---------|-------|--------------------------|
| Zr1  | 北阿尔泰  | 伟晶岩型                     | 三叠纪—侏罗纪 | 1     | 新疆可可托海                   |
| Zr2  | 突泉    | 花岗岩型                     | 白垩纪     | 50    | 内蒙古巴尔哲                   |
| Zr3  | 苏鲁    | 河流冲积型                    | 第四纪     | 67    | 山东石岛锆英石砂矿                |
| Zr4  | 澜沧    | 河流冲积型                    | 第四纪     | 38    | 云南勐往独居石矿                 |
| Zr5  | 康滇    | 河流冲积型、风化壳与残坡积型、花岗岩型、伟晶岩型 | 新生代     | 76    | 四川甘洛地、四川德昌茨达、云南水桥、四川路枯白草 |
| Zr6  | 长江中下游 | 河流冲积型                    | 第四纪     | 69    | 安徽张家冲                    |
| Zr7  | 江南    | 河流冲积型                    | 第四纪     | 70    | 湖南南江桥                    |
| Zr8  | 南岭    | 风化壳与残坡积型、河流冲积型           | 第四纪     | 83    | 江西大峰脑、湖南姑婆山              |
| Zr9  | 武夷山   | 河流冲积型、风化壳与残坡积型           | 第四纪     | 81    | 福建盖洋、福建雷钵岭               |
| Zr10 | 粤西    | 滨海沉积型、河流冲积型、风化壳与残坡积型     | 第四纪     | 85    | 广东512、沙尾、博贺              |
| Zr11 | 粤中    | 河流冲积型、滨海沉积型、风化壳与残坡积型     | 第四纪     | 84    | 广东合山、丹南、高村               |
| Zr12 | 粤东    | 伟晶岩型、河流冲积型、风化壳与残坡积型      | 中生代、第四纪 | 82    | 广东白石坑、江西海罗岭、福建五里桥        |
| Zr13 | 浙闽粤   | 滨海沉积型、河流冲积型              | 第四纪     | 80    | 福建曾厝安、黄厝                 |
| Zr14 | 海南    | 滨海沉积型、河流冲积型              | 第四纪     | 90    | 海南兴隆、海南翁田—昌洒             |

注：Ⅲ级成矿区带编号引自徐志刚等(2008)。

散状或黏土块状产出，半风化岩石保留了部分原岩结构，形成风化壳型锆矿(幸世军,2009)。

北阿尔泰成矿带(Zr1)代表性矿床为新疆可可托海锂-铍-铌-钽-铯矿床，伴生锆，矿床类型主要为伟晶岩型，成矿时代属于中生代。锆成矿与成矿带中偏碱性花岗岩-伟晶岩有关。可可托海成因存在不同认识，部分学者认为该矿床发育与花岗岩-伟晶岩有关的稀有金属成矿系统，地壳深部发生部分熔融，形成了巨大隐伏的母岩花岗岩，同源岩浆经历不同阶段岩浆分异作用，含矿母岩在矿区的不同位置就位(Shen Ping et al., 2022; 申萍等, 2023; 曹冲等, 2024); 部分学者提出了变质深熔成因模式，认为

伟晶岩来自壳幔混合源区(赵振华等, 2022)。

突泉成矿带(Zr2)代表性矿床为内蒙古巴尔哲稀土-铀-铍-钼-锆矿床(丘志力等, 2014)，矿床类型主要为花岗岩型，成矿时代属于中生代。巴尔哲碱性花岗岩体岩浆来源于下地壳和亏损地幔的混合源区，经历了较高分异演化(Jahn et al., 2001; 杨武斌等, 2011)，成矿作用与碱性花岗岩(A型花岗岩)岩浆演化密切相关，受高度演化岩浆后期阶段熔体-流体相互作用控制(Wu Mingqian et al., 2021, 2023; 丁腾飞等, 2023; 马甲栋等, 2023; 吴明谦等, 2024)。

苏鲁成矿带(Zr3)代表性矿床为山东石岛锆英石

砂矿床,矿床类型主要为河流冲积型,成矿时代属于新生代。锆成矿与该成矿带中洪积、冲积作用有关。

澜沧成矿带(Zr4)代表性矿床为云南勐往独居石矿床,矿床类型主要为河流冲积型,成矿时代属于新生代。锆成矿与成矿带中洪积、冲积作用有关。

康滇成矿带(Zr5)代表性矿床为四川甘洛地、四川德昌茨达、云南水桥、四川路枯白草、脚基坪、莲花山矿床,矿床类型主要为河流冲积型、风化壳残坡积型、花岗岩型、伟晶岩型,成矿时代属于中生代、新生代。花岗岩型锆矿与碱性花岗岩具有密切的成因联系,风化壳残坡积型和河流冲积型锆成矿分别与成矿带中风化残积淋滤富集作用和洪积、冲积作用有关。

长江中下游成矿带(Zr6)代表性矿床为安徽张家冲矿床,矿床类型主要为河流冲积型,成矿时代属于新生代。锆成矿与成矿带中洪积、冲积作用有关。

江南成矿带(Zr7)代表性矿床为湖南南江桥矿床,矿床类型主要为河流冲积型,成矿时代属于新生代。锆成矿与成矿带中洪积、冲积作用有关。

南岭成矿带(Zr8)代表性矿床为江西大峰脑、湖南姑婆山矿床,矿床类型主要为风化壳残坡积型、河

流冲积型,成矿时代属于新生代。风化壳残坡积型、河流冲积型锆矿分别与成矿带中浅成花岗岩类有关的陆相表生风化残积作用和洪积、冲积作用有关。

武夷山成矿带(Zr9)代表性矿床为福建盖洋、福建雷钵岭矿床,矿床类型主要为河流冲积型、风化壳残坡积型,成矿时代属于新生代。锆成矿与成矿带中酸性花岗岩类表生风化作用残积带和洪积、冲积作用有关。

粤西成矿带(Zr10)代表性矿床为广东 512、沙尾、博贺矿床,矿床类型主要为滨海沉积型、河流冲积型、风化壳残坡积型,成矿时代属于新生代。锆成矿与成矿带中酸性花岗岩类表生风化残积作用和洪积、冲积作用有关。

粤中成矿带(Zr11)代表性矿床为广东合山、丹南、高村等,矿床类型主要为河流冲积型、滨海沉积型、风化壳与残坡积型,成矿时代属于新生代。锆成矿与成矿带中酸性花岗岩类表生风化作用和洪积、冲积作用有关。

粤东成矿带(Zr12)代表性矿床为广东白石坑、江西海罗岭、福建五里桥等,矿床类型主要为伟晶岩型、河流冲积型、风化壳残坡积型,成矿时代属于中

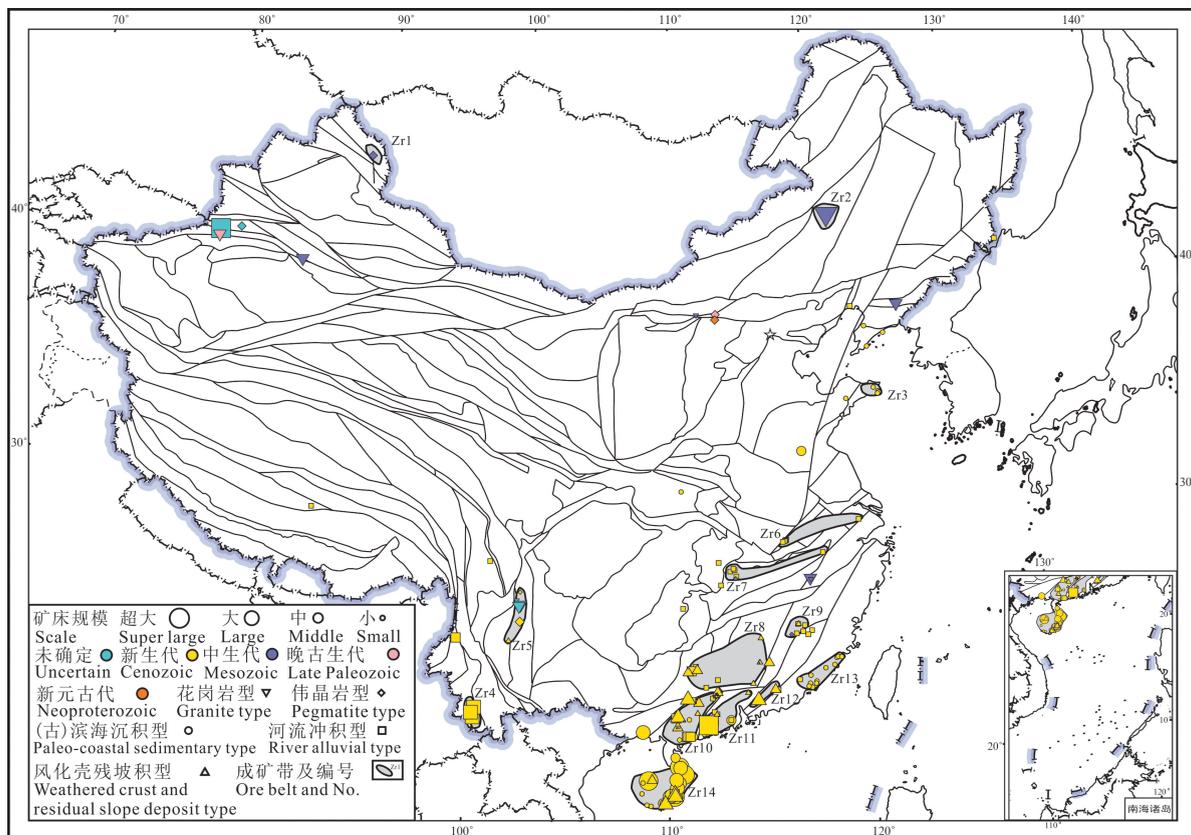


图 3 中国锆矿床成矿带分布图(底图据徐志刚等,2008)

Fig. 3 Zirconium metallogenic belts in China (modified after Xu Zhigang et al., 2008)

生代、新生代。锆成矿主要与成矿带中伟晶岩成矿作用,洪积、冲积作用有关。

浙闽粤成矿带(Zr13)代表性矿床为福建曾厝安、黄厝等,矿床类型主要为滨海沉积型、河流冲积型,成矿时代属于新生代。锆成矿与成矿带中滨海沉积作用及洪积、冲积作用有关。

海南成矿带(Zr14)代表性矿床为海南兴隆、海南翁田-昌洒等,矿床类型主要为滨海沉积型、河流冲积型,成矿时代属于新生代。锆成矿与成矿带中滨海沉积作用及洪积、冲积作用有关。

## 6 锆成矿系列与成矿谱系

矿床的成矿系列是指在一定的地质历史时期或构造运动阶段,在一定的地质构造单元及构造部位,

与一定的地质成矿作用有关的一组具有内在成因联系的矿床的自然组合(陈毓川等,2006,2007)。在陈毓川、王登红等对全国重要矿床成矿系列厘定(陈毓川等,2010a,2010b)的基础上,本次工作对与锆成矿有关的矿床成矿系列进行了重新整理,共划分出34个与锆成矿有关的成矿系列(表4),并依此建立了中国锆成矿谱系图(图4),从时空角度反映了区域锆成矿演化规律。从锆成矿谱系图(图4)可以看出,锆矿形成时代集中在新生代。北方地区的锆矿最早发育于新元古代,锆矿发育时间延续到新生代,主要成矿时间集中在晚古生代和中生代,主要为内生型锆矿;中部地区仅在长江中下游新生代形成锆矿;南方地区锆矿集中在新生代形成外生型锆矿,分布范围较广,中生代主要发育内生型锆矿。在华

表4 中国锆矿床有关的成矿系列简表

Table 4 Related metallogenic series of zirconium deposits in China

| 序号 | 时代   | 编号                   | 成矿系列(组)名称                                 | 代表矿床                         |
|----|------|----------------------|---|------------------------------|
| 1  | 元古宙  | Pt-1                 | 山西元古宙与碱性花岗岩有关的矿床成矿系列                      | 汉营子                          |
| 2  | 晚古生代 | Pz <sub>2</sub> -1   | 华北陆块北缘东段海西期一印支期与碱性花岗岩有关的矿床成矿系列            | 察汗沟                          |
| 3  |      | Pz <sub>2</sub> -2   | 库车中生代与基性岩浆侵入作用有关的Fe、V、Ti矿床成矿系列(伴生锆)       | 波孜果儿                         |
| 4  | 中生代  | Mz <sub>1</sub> -1   | 塔里木北缘中生代与深源碱性花岗岩岩浆作用有关的稀土、稀有矿床成矿系列        | 阔克塔格                         |
| 5  |      | Mz <sub>1</sub> -2   | 辽东与中生代碱性岩浆侵入-交代作用有关的稀土稀有矿床成矿系列            | 赛马                           |
| 6  |      | Mz <sub>1</sub> -3   | 康滇与印支期碱性花岗岩有关的稀土稀有矿床成矿系列                  | 莲花山                          |
| 7  |      | Mz <sub>1-2</sub> -1 | 北阿尔泰与偏碱性花岗岩-伟晶岩有关的稀有金属矿床成矿系列              | 可可托海                         |
| 8  |      | Mz <sub>1-2</sub> -2 | 永安与风化残积、淋滤富集作用有关的稀土稀有、氧化锰、高岭土矿床成矿系列       | 海罗岭                          |
| 9  |      | Mz <sub>2</sub> -1   | 突泉燕山晚期与碱性花岗岩侵入作用有关的稀有、稀土矿床成矿系列            | 巴尔哲                          |
| 10 |      | Mz <sub>2</sub> -2   | 华北陆块北缘西段海西期一印支期与碱性花岗岩有关的矿床成矿系列            | 赵井沟                          |
| 11 |      | Mz <sub>2-3</sub> -1 | 江南隆起东段与中生代洪积、冲积作用有关的砂矿成矿系列                | 传梓源                          |
| 12 |      | Mz <sub>3</sub> -1   | 武功山与燕山期碱性花岗岩有关的稀有金属矿床成矿系列                 | 黄山                           |
| 13 |      | 新生代                  | Q-1                                       | 华北陆块北缘东段与第四纪洪积、冲积作用有关的砂矿成矿系列 |
| 14 | Q-2  |                      | 小兴安岭与第四纪洪积、冲积作用有关的砂矿成矿系列                  | 黄松甸子                         |
| 15 | Q-3  |                      | 鲁西第四纪洪积、冲积作用有关的砂矿成矿系列                     | 花山子                          |
| 16 | Q-4  |                      | 辽东与第四纪洪积、冲积作用有关的砂矿成矿系列                    | 登沙河-亮甲店                      |
| 17 | Q-5  |                      | 苏鲁与第四纪洪积、冲积作用有关的砂矿成矿系列                    | 石岛                           |
| 18 | Q-6  |                      | 长江中下游与第四纪洪积、冲积作用有关的砂矿成矿系列                 | 张家冲                          |
| 19 | Q-7  |                      | 申扎改则一班戈地区与新生界冲洪积及残坡积层有关的金、锡、水晶矿床成矿系列(伴生锆) | 底然                           |
| 20 | Q-8  |                      | 义敦中生代与陆相沉积作用有关的铜银矿床成矿系列(伴生锆)              | 希扎曲                          |
| 21 | Q-9  |                      | 澜沧新生代与花岗岩浆侵入活动有关的锡钨稀有金属矿床成矿系列             | 勐海城郊                         |
| 22 | Q-10 |                      | 保山新生代与花岗岩浆侵入活动有关的锡钨稀有金属矿床成矿系列             | 板桥                           |
| 23 | Q-11 |                      | 楚雄与喜马拉雅期碱性中酸性花岗岩类有关的铜钼铅锌稀土矿床成矿系列(伴生锆)     | 水桥                           |
| 24 | Q-12 |                      | 海南与新生代风化残积淋滤富集中作用有关的宝石、高岭土稀土矿床成矿系列(伴生锆)   | 兴隆                           |
| 25 | Q-13 |                      | 江南隆起西段与新生代中浅成花岗岩类表生风化残积作用有关的矿床成矿系列        | 金潭                           |
| 26 | Q-14 |                      | 洞庭与第四纪洪积、冲积作用有关的砂金矿床成矿系列(伴生锆)             | 三郎堰                          |
| 27 | Q-15 |                      | 江南隆起东段与第四纪洪积、冲积作用有关的砂金矿床成矿系列(伴生锆)         | 詹家桥                          |
| 28 | Q-16 |                      | 南岭与新生代中浅成花岗岩类陆相表生风化残积作用有关的稀土稀有矿床成矿系列      | 姑婆山                          |
| 29 | Q-17 |                      | 粤西与新生代风化残积、淋滤富集作用、陆相表生风化残积作用有关的矿床成矿系列     | 512                          |
| 30 | Q-18 |                      | 粤中与新生代风化残积、淋滤富集作用有关的稀土稀有矿床成矿系列            | 丹南                           |
| 31 | Q-19 |                      | 粤东与新生代酸性花岗岩表生风化残积、淋滤富集、残积带有关的稀有金属矿床成矿系列   | 五里桥                          |
| 32 | Q-20 |                      | 钦州与新生代陆相表生风化残积作用有关的矿床成矿系列                 | 东胜                           |
| 33 | Q-21 |                      | 福建沿海与新生代陆相表生风化残积带有关的矿床成矿系列                | 曾厝安                          |
| 34 | Q-22 |                      | 武夷山与新生代酸性花岗岩类表生风化作用与残积带有关的稀有金属矿床成矿系列      | 盖洋                           |

注:系列名称和系列编号依据陈毓川等(2010a,2010b),系列名称略有修改;Q代表第四纪。

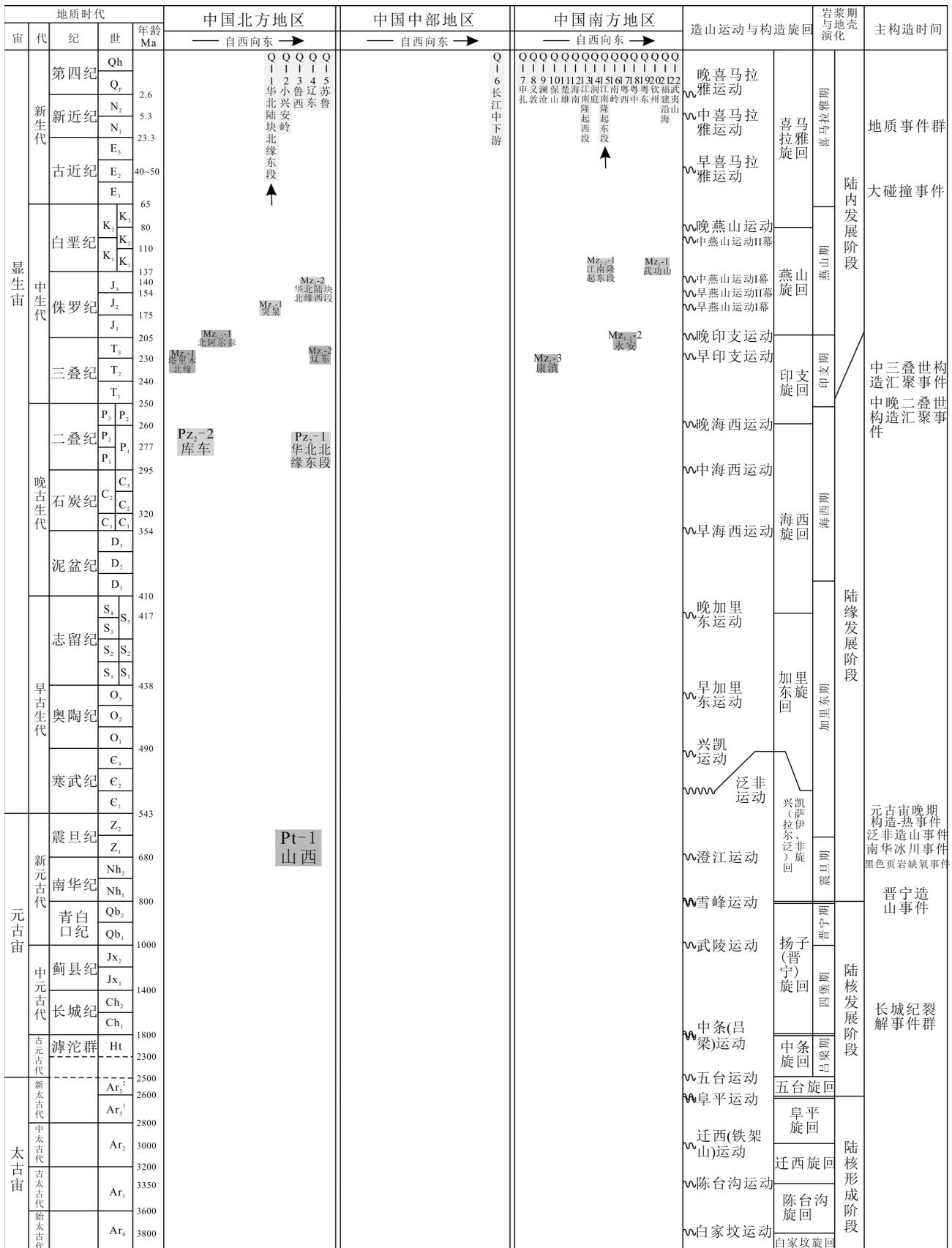


图 4 中国锆矿成矿谱系图(底图依据王成辉等,2014)

Fig. 4 Metallogenic lineage figure of zirconium deposits in China (modified after Wang Chenghui et al. , 2014)

北陆块北缘、江南隆起东段等地区,晚古生代、中生代、新生代均有锆成矿,锆矿成矿系列的产出具有延续性。北方地区以中生代突泉花岗岩型锆矿为主,南方地区集中在新生代东南沿海滨海沉积型、河流冲积型、风化壳残坡积型锆矿。东南沿海的滨海沉积型、河流冲积型锆矿,是主要的锆矿产出类型,在今后的找矿和预测工作中,应加强这些地区的工作。

## 7 结论

(1)中国锆矿资源分布在内蒙古、海南、四川、广东等 15 个省(自治区)。

(2)锆矿可划分为碱性花岗岩型、碱性杂岩型、伟晶岩型、风化壳残坡积型、滨海沉积型和河流冲积型。碱性花岗岩型、碱性杂岩型和伟晶岩型锆矿中矿石品位低于边界品位或工业品位,矿石属于难选冶矿石,现有技术经济条件下无法利用。在现有技术经济条件下,滨海沉积型和河流冲积型锆矿属于可利用矿床类型。

(3)中新生代是锆矿形成的主要时代。划分了 14 个锆矿成矿带,厘定出 34 个与锆矿有关的成矿系列,建立了中国锆矿成矿谱系。东南沿海的滨海沉积型和河流冲积型锆矿是今后的找矿和预测的重点。

**致谢:**感谢所有对“矿产资源国情调查与潜力动态评价”工作给予支持的领导、专家和技术人员,对匿名审稿人提出的宝贵意见表示感谢,他们提出的富贵修改意见使得本文质量有所提升。

## References

Azmon E, Golik A. 1995. Provenance of heavy minerals on the eastern Mediterranean shelf: From the Nile or from the north? *Marine Geology*, 122(4): 277~279.

Cai Tingqing. 1975. Geological survey report on Dongsheng vanadium titanium weathering shell sand deposit in Tengxian, Guangxi (in Chinese).

Cao Chong, Shen Ping, Feng HaoXuan, Luo YaoQing, Chu XiangKai, Ren WenBin. 2024. A study of the genesis and mineralization potential of pegmatites in the Koktokayore district, Altay, Xinjiang; Indications from SEM-CL and trace elements in quartz. *Acta Petrologica Sinica*, 40(3): 889~906 (in Chinese with English abstract).

Carling P A, Breakspear R M D. 2006. Placer formation in gravel-bedded rivers: A review. *Ore Geology Reviews*, 28(4): 377~401.

Carranza-Edwards A, Centeno-Garcia E, Rosales-Hoz L, Lozano-Santa Cruz R. 2001. Provenance of beach gray sands from western Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(3): 291~305.

Cascalho J, Fradique C. 2007. The sources and hydraulic sorting of heavy minerals on the northern Portuguese continental margin. *Developments in Sedimentology*, 58: 75~110.

Che Dong, Wang Jianping, Wu Qixin, Gu Ya, Yu Chao. 2016.

China's zirconium resource situation and suggestions for sustainable development. *Resources and Industries*, 18(3): 23~28 (in Chinese with English abstract).

Chen Huazhu. 2018. Present situation and utilization trend of zirconium resources of Hainan. *China Metal Bulletin* 4: 97~98 (in Chinese).

Chen Jinyong, Fan Honghai, Wang Shengyun, Zhang Jia. 2019. Geochemical characteristics and chronology of alkaligranites in Baerzhe area, Inner Mongolia, and geological significance. *Geological Review*, 65(1): 45~46 (in Chinese).

Chen Yuchuan, Chang Yinfo, Pei Rongfu. 2007. Metallogenic System and Regional Metallogenic Evaluation in China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui. 2010a. Technical Requirements for Research on National Important Minerals and Regional Metallogenic Laws. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Chen Yuchuan, Wang Denghong, Li Houmin. 2010b. Classification Scheme of Important Mineral Prediction Types. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong. 2006. On minerogenetic (metallogetic) series: Third discussion. *Acta Geologica Sinica*, 80(10): 1501~1508 (in Chinese with English abstract).

Chi Hongji, Li Xiuzhang, Zheng Zuoping. 2001. Littoral placers forming rule and prospecting divisions in Shandong Province. *Geology of Shandong*, 17(5): 24~31 (in Chinese with English abstract).

Dang Feipeng, Liang Fahui, Chen Liming, Li Zhipeng, Luo Shun. 2015. Analysis on geological conditions and tectonic settings of uranium metallization in the central south Longyuanba pluton, southern Jiangxi Province. *Progress Report on China Nuclear Science & Technology*. Chinese Nuclear Society, 4: 211~218 (in Chinese with English abstract).

Dill H G. 1998. A review of heavy minerals in clastic sediments with case studies from the alluvial fan through the nearshore-marine environments. *Earth-Science Reviews*, 45(1~2): 103~132.

Dill H G, Melcher F, Fussl M, Weber B. 2006. Accessory minerals in cassiterite: A tool for provenance and environmental analyses of colluvial fluvial placer deposits (NE Bavaria Germany). *Sedimentary Geology*, 191(3~4): 171~189.

Ding Tengfei, Zhang Guobin, Ju Nan, Liu Xin. 2023. Restriction on rare-earth element enrichment and mineralization by alkaline magmatic evolution of the Baerzhezircon-niobium-rare earth deposit in the eastern section of the northern margin of the North China Craton. *Geological Review*, 69(1): 153~154 (in Chinese with English abstract).

Gysi A P, Williams-Jones A E. 2013. Hydrothermal mobilization of pegmatite-hosted REE and Zr at Strange Lake, Canada: A reaction path model. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 122: 324~352.

Hu Lunyuan, Li Songbai, Huang Qing, Xi Zhiqiang, Yao Lina. 2010. Verification Report on Resource Reserve of Hailuoling Niobium Tantalum Mine in Shicheng County, Jiangxi Province. Gannan Geological Survey Brigade of Jiangxi Geological and Mineral Exploration and Development Bureau (in Chinese).

Huang Zhuoguang. 2010. Verification Report on Resource Reserve of Yonghan Section of Yonghan Niobium Iron Mine in Longmen County, Guangdong Province (in Chinese).

Intelligence Research Group. 2022. Report of Analysis of Competition Pattern and Future Prospect planning on China Zirconium Industry (2022-2028) (in Chinese).

Jahn Borming, Wu Fuyuan, Capdevila R, Martineau F, Zhao Zhenhua, Wang Yixian. 2001. Highly evolved juvenile granites with tetrad REE patterns: The Woduhe and Baerzhe granites from the Great Xing'an Mountains in NE China. *Lithos*, 59(4): 171~198.

Kynicky J, Chakhmouradian A R, Xu C, Krmicek L, Galiova M.

2011. Distribution and evolution of zirconium mineralization in peralkaline granites and associated pegmatites of the Khan Bogd complex, southern Mongolia. *Canadian Mineralogist*, 49(4): 947~965.
- Lei Yuezeng, Yang Hong. 2022. The feature and prospecting direction of Shuiqiaosi REE deposit in Mouding, Yunnan. *Yunnan Geology*, 2: 236~241 (in Chinese with English abstract).
- Li Guangzhao, Ye Weiqiang, Pang Yanjun. 1988. Characteristics and enrichment of coastal placer deposits in Guanxi Autonomous region. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 8(3): 85~92 (in Chinese with English abstract).
- Li Shangyao, Zhang Chaoqun. 1997. Preliminary exploration of phosphorus content in Pingding ilmenite in Huazhou, Guangdong. *Guangdong Nonferrous Metals*, 4: 30~33 (in Chinese).
- Li Zhidan, Zhang Jia, Li Guozhan, Yu Ren'an, Xie Yu, Guo Hu, Wang Jiaying, Cui Yurong, Zhang Chao, Li Xiaoguang. 2019. Yanshanian mineralization of Zhaojinggou Nb-Ta deposit, Inner Mongolia; Evidences from the monazite and zircon LA-MC-ICP-MS U-Pb and biotite  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology. *Earth Science*, 44(1): 234~247 (in Chinese with English abstract).
- Lin Qingmei, Huang Zilong. 2012. Geological characteristics and ore controlling factors of the sand tin deposit in Fuhezong District, Guangxi. The 4th South China Youth Geoscience Academic Seminar and the 8th Hope Star Academic Seminar of Guangxi Geological Society (in Chinese).
- Liu Hongshu. 1989. Enrichment laws of Quaternary littoral placer deposits in China. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 9(2): 41~49 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jinsong, Gao Lili. 2023. Zirconium industry development and industrial policy analysis in Australia. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2: 116~123 (in Chinese with English abstract).
- Liu Junsheng. 2010. Verification Report on Resource Reserve of Heavy Rare Earth Mines in Changling Mining Area, Shangyou County, Jiangxi Province. Gannan Geological Survey Brigade of Jiangxi Geological and Mineral Exploration and Development Bureau (in Chinese).
- Liu Liwen. 1989. Characteristics of Gupo Mountain granite weathering crust ion adsorption rare earth deposit in Hekou Township, Jianghua County, Hunan Province. Hunan Geological School (in Chinese).
- Liu Ming. 2012. Verification report on resource reserves of Baoding ilmenite, zirconia, and monazite sand mines in Wanning City, Hainan Province (in Chinese).
- Liu Yingjun, Cao Liming. 1987. Introduction to Elemental Geochemistry Beijing; Geological Publishing House (in Chinese).
- London D. 2018. Ore-forming processes within granitic pegmatites. *Ore Geology Reviews*, 101: 349~383.
- Lü Shengqing. 2010. Verification Report on Resource Reserve of Cassiterite Monazite Zirconia Sand Mine in Gaocun Mining Area, Xinxing County, Guangdong Province (in Chinese).
- Ma Jiadong, Wu Mingqian, Diao Xi, He Dengyang, Cui Tao, Long Zhengyu, Qiu Kunfeng. 2023. Na-metasomatism and hematization implication of Zr and Nb-Be-REE mineralization; Case study of the Baerzhe deposit in Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 39(2): 432~444 (in Chinese with English abstract).
- Mark P. 2005. Sedimentology of the Bondi main heavy mineral beach placer deposit, Murraybasin, southeastern Australia. *Sedimentary Geology*, 174(3~4): 177~195.
- Migdisov A A, Williams-Jones A E, Hinsberg V V, Salvi S. 2011. An experimental study of the solubility of baddeleyite ( $\text{ZrO}_2$ ) in fluoride-bearing solutions at elevated temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(23): 7426~7434.
- Muller A, Ihlen P M, Snook B, Larsen R B, Flem B, Bingen B, Williamson B J. 2015. The chemistry of quartz in granitic pegmatites of southern Norway; Petrogenetic and economic implications. *Economic geology and the bulletin of the Society of Economic Geologists*, 110(7): 1737~1757.
- Peterson C D, Komar P D, Scheidegger K F. 1986. Distribution, geometry, and origin of heavy mineral placer deposits on Oregon beaches. *Journal of Sedimentary Research*, 56: 67~77.
- Qiu Zhili, Liang Dongyun, Wang Yanfen, Sun Yuan, Li Liufen. 2014. Zircon REE, trace element characteristics and U-Pb chronology in the Baerzhe alkaline granite; Implications to the petrological genesis and mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 6: 1757~1768 (in Chinese with English abstract).
- Ren Junping, Wang Jie, Gu Alei, Zuo Libo, Sun Hongwei, Dai Chaoheng, Xu Kangkang, Tang Wenlong, Peng Lina, Wang Feicui, Xing Shi, Liu Zijiang. 2021. Development status and investment environment of the ilmenite-zircon resources in Mozambique. *Geology and Resources*, 30(1): 45~52 (in Chinese with English abstract).
- Rudnick R L, Gao S. 2003. Composition of the continental crust. In: Rucnick R L, ed. *Treatise on Geochemistry: The Crust*. Amsterdam; Elsevier, 3: 1~64.
- Shen Ping, He Lanfang, Jing Linhai, Pan Hongdi, Feng Haoxuan, Luo Yaoqing, Li Changhao, Ma Huadong, Cao Chong, Bai Yingxiong. 2023. Genesis of Koktokay rare metal deposit (Xinjiang) and concealed orebody forecast in its southern district; Evidence from geology, remote sensing and geophysics. *Acta Geologica Sinica*, 97(11): 3651~3672 (in Chinese with English abstract).
- Shen Ping, Pan Hongdi, Li Changhao, Feng Haoxuan, He Lanfang, Bai, Yingxiong, Luo Yaoqing, Suo Qingyu, Cao Chong. 2022. Newly-recognized Triassic highly fractionated leucogranite in the Koktokay deposit (Altai, China): Rare-metal fertility and connection with the No. 3 pegmatite. *Gondwana Research*, 112: 24~51.
- Shen Zhengwei, Zhang Fangfang, Han Cong, Han Sipeng, Zhao Jingwen. 2016. Situation analysis and sustainable development suggestion of zirconium resources in China. *China Mining Magazine*, 25(3): 16~20 (in Chinese with English abstract).
- Shi Yanpei. 1976. Evaluation report on magnetic anomaly geophysical exploration in the surrounding area of Vanadium Titanium Magnetite Mine in Luku Huili, Sichuan Province. Geophysical Exploration Brigade of Sichuan Provincial Geological Bureau (in Chinese).
- Siegel K, Vasyukova O V, Williams-Jones A E. 2018. Magmatic evolution and controls on rare metal-enrichment of the Strange Lake a-type peralkaline granitic pluton, Québec-Labrador. *Lithos*, 308: 34~52.
- Simmons W B, Falster A U. 2016. Evidence for an anatectic origin of an LCT type pegmatite; Mt. Mica, Maine. In *Second Eugene E. ed. Foord Pegmatite Symposium*. Colorado, USA, 103.
- Song Jiawei, Wu Deming, Chen Fei, Deng Kaizhang. 2021. Geochemical characteristics and resource potential of Zr and Ti in shallow sea surface sediments in the east of Hainan Island. *China Mining*, 30(S1): 217~221 (in Chinese with English abstract).
- Sun Hongwei, Wang Jie, Ren Junping, Zhang Weibo, Tang Wenlong, Fu Chao, Wu Xingyuan, Dang Zhicai. 2019. Present situation and utilization trend of zirconium resources in the world. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 5(5): 98~105 (in Chinese with English abstract).
- Sun Hongwei, Xu Kangkang, Zuo Libo, Ren Junping, Tang Wenlong, Gu Alei, Wu Xingyuan, Mukofu C, Dokowe A P. 2023. Distribution characteristics, types, supply-demand and development utilization status of zirconium and titanium resources. *Geology in China*, 50(4): 1070~1081 (in Chinese with English abstract).
- Sun Wei. 2016. Geological characteristics and genesis of the Baishikeng ceramic clay (kaolin) deposit in Guangdong Earth, 6: 136~136 (in Chinese).

- Sun Yan, Han Changfu. 1999. The distribution and development of coastal sand mineral resources in China. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 19(1): 117~122 (in Chinese).
- Tan Qixin. 1998. China's marine sand mines. *Geology of China*, 4: 23~26 (in Chinese).
- Tong Guisheng, Zhou Bao, Chen Zhongwen, Zheng Wenbin, Ma Xiujun. 2010. Resource reserve verification report of Mount Huangshan niobium tantalum mine verification area in Hengfeng County, Jiangxi Province. Jiangxi Northeast Brigade of Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development (in Chinese).
- U. S. Geological Survey. 2023. Mineral commodity summaries 2023. U. S. Geological Survey, 1~210.
- Wang Chenghui, Xu Jue, Huang Fan, Chen Zhenghui, Ying Lijuan, Liu Shanbao. 2014. Resources characteristics and outline of regional metallogeny of gold deposits in China. *Acta Geologica Sinica*, 88 (12): 2315 ~ 2325 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang, Sheng Jifu, Zhu Mingyu, Liu Xifang, Zhang Changqing, Wang Chenghui, Wang Yonglei. 2013. Prediction type of mineral resources and its application in the assessment work of mineral resources potential. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 43(4): 1092~1099+1110 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Wang Chenghui, Xing Shuwen. 2014. China Geological Records of Mineral Resources (Volume of Geographical Names of Mineral Resources). Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang Rucheng, Che Xudong, Wu Bin, Xie Lei. 2020. Critical mineral resources of Nb, Ta, Zr, and Hf in China. *Chinese Science Bulletin*, 65: 3763 ~ 3777 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ruijiang, Wang Denghuang, Li Jiankang, Sun Yan, Li Dexian. 2015. Rare Earth and Rare Mineral Resources and Their Development and Utilization. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang Xuena, Chen Xilian, Chen Long, Xu Deru, Zou Shaohao, Wan Taian, Wang Guojian, Li Bo. 2024. Factors controlling the differential enrichment of ore-forming elements in the Yichun Ta-Nb and Huangshan Nb-Ta deposits. *Geotectonica et Metallogenia*, 48 (3): 597 ~ 620 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yifan. 2015. Research on genesis and characteristics of associated magmatite of the Kuoketage Nb-REE deposit, Xinjiang. Master's thesis of China University of Geoscience (in Chinese with English abstract).
- Wang Ying. 2002. Features of Hainan island coastal environment. *Marine Geology Letters*, 18(3): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yongyi. 2009a. Verification report on the current utilization status of phosphorus yttrium ore resources in the 512 mining area of Guangning County, Guangdong Province (in Chinese).
- Wang Yongyi. 2009b. Verification report on the current utilization status of phosphorus yttrium ore resources in the 513 mining area of Guangning County, Guangdong Province (in Chinese).
- Wu Fuyuan, Yang Yueheng, Michael M A W, Liu Zhichao, Zhou Qin, Ge Wenchun, Yang Jingsui, Zhao Zifu, Mitchell R H, Gregor M. 2010. *In situ* U-Pb, Sr, Nd and Hf isotopic analysis of eudialyte by LA-(MC)-ICP-MS. *Chemical Geology*, 273(1~2): 8~34.
- Wu Fuyuan, Liu Xiaochi, Ji Weiqiang, Wang Jiamin, Yang Lei. 2017. Highly fractionated granites: Recognition and research. *Science China Earth Sciences*, 60: 1201~1219.
- Wu Fuyuan, Liu Xiaochi, Liu Zhichao, Wang Rucheng, Xie Lei, Wang Jiamin, Ji Weiqiang, Yang Lei, Liu Chen, Khanal Gautam Prashad, He Shaoxiong. 2020. Highly fractionated himalayan leucogranites and associated rare-metal mineralization. *Lithos*, 352~353: 105319.
- Wu Huicheng. 2018. Geological characteristics of the Lotus Hill Nb-Ta rare earth metal deposit in Xichangand prospecting prediction at the periphery. Master's thesis of Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Wu Mingqian, Samon I M, Qiu Kunfeng, Zhang Dehui. 2021. Concentration mechanisms of rare earth element Nb-Zr-Be deposit, Northeast China: Insights from textural and chemical features of amphibole and rare metal minerals. *Economic Geology*, 116(3): 651~679.
- Wu Mingqian, Samson I M, Qiu Kunfeng, Zhang Dehui. 2023. Multistage metasomatic Zr mineralization in the world class Baerzhe rare earth element Nb-Zr-Be deposit, China. *American Mineralogist*, 108(2): 389~405.
- Wu Mingqian, Ma Jiadong, Deng Jun, Diao Xi, Pei Lei, Qiu Kunfeng. 2024. A study of the fine Zr-Nb-Be-REE mineralizing process of the Baerzhe deposit, China. *Acta Petrologica Sinica*, 40 (6): 1817 ~ 1836 (in Chinese with English abstract).
- Xing Shijun. 2009. Discussion about the geological characteristics of the Tabei weathering crust-type Zr, Hf deposit in Longnan County, Jiangxi Province. *Mineral Resources and Geology*, 1: 70~72 (in Chinese with English abstract).
- Xu Haiming, Zou Tianren, Fang Jingling, Xu Jue, Fan Li, Wang Jun. 2012. Metallogenic epoch and genesis of Boziguoer Nb-Ta deposit in Xinjiang. *Mineral Deposits*, 31: 625 ~ 626 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Li Houmin. 2008. Division Scheme of Metallogenic Zones in China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Yang Fuquan, Zhang Zhongli, Wang Rui, Li Qiang, Ding Jiangang, Su Zhenhua, Ma Kun. 2018. Geological characteristics and mineralization of rare metal deposits in Altay, Xinjiang. *Geotectonics and Metallogeny*, 42(6): 1010~1026 (in Chinese with English abstract).
- Yang Wubin, Su Wenchao, Liao Siping, Niu Hecai, Luo Yong, Shan Qiang, Li Ningbo. 2011. Melt and melt-fluid inclusions in the Baerzhe alkaline granite: Information of the magmatic-hydrothermal transition. *Acta Petrologica Sinica*, 27 (5): 1493~1499 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yi, Qi Rong, Liu Xiujuan, He Yusheng, Zhang Gucheng. 2010. Mineralization prospect of Zr and Ti and analysis of metallogenic conditions at the Changhua River estuary and its adjacent sea area in Hainan. *Geological Science and Technology Information*, 29 (1): 80 ~ 85 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhirong. 2009. Report on Resource Reserve Verification of Rare Earth Mines in Xueshan Mining Area, Xinfeng County, Guangdong Province (in Chinese).
- Yin Chuankai, Wang Chunlian, You Chao, Liu Dianhe, Yan Kai, Sun Peijie, Liang Zhen, Ning Pengyuan. 2024. Zircon resource characteristics, deposit types, development utilization and prospecting prospects in China. *Geology in China*, 51 (6): 1930~1945 (in Chinese with English abstract).
- Yin Rong, Wang Rucheng, Zhang Aicheng, Hu Huan, Zhu Jinchu, Rao, Can, Zhang, Hui. 2013. Extreme fractionation from zircon to hafnium in the Koktokay No. 1 granitic pegmatite, Altai, northwestern China. *American Mineralogist*, 98(10): 1714~1724.
- Zhang Jianwen, Wang Haidong, Gong Wenyong, Ma Chongzhen, Zhang Hua, Liao Qian. 2019. Analysis on the development and utilization situation of zirconium resource in China. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 5 (5): 106~110 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhenfang, Wang Liangliang, Yu Rui, Chen Xiufa, Chen Xifeng, Li Yangchun, Zhang Xinyuan, Gao Aihong. 2021. Geological characteristics, exploration and development of zirconium resources in Africa. *Geology and Exploration*, 57 (6): 1257~1268 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenghua, Chen Huayong, Han Jinsheng. 2022. Rare metal

mineralization of the Mesozoic pegmatite in Altay orogeny, northern Xinjiang. *Acta Scientiarum Naturalium University Sunyatseni*, 1: 1~26 (in Chinese with English abstract).

- Zhong Jun, Fan Honghai, Chen Jinyong, Meng Yanning, Zhao Jingyang, Shi Changhao, Wang Shengyun. 2020. geochemistry characteristics and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age of biotite from the Saima aegirine-nepheline syenite and its geological significance. *Earth Science*, 45(1): 131~144 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yusheng, Yang Jinhui, Sun Jinfeng, Zhang Jiheng, Wu Fuyuan. 2016. Petrogenesis of coeval silica-saturated and silica-undersaturated alkaline rocks: Mineralogical and geochemical evidence from the Saima alkaline complex, NE China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 117: 184~207.

## 参 考 文 献

- 蔡廷青. 1975. 广西藤县东胜钒钛风化壳砂矿床地质普查报告书. 曹冲, 申萍, 冯浩轩, 罗耀清, 楚翔凯, 任文斌. 2024. 新疆阿尔泰可可托海矿区伟晶岩成因与矿化潜力研究: 来自石英 SEM-CL 和微量元素的指示. *岩石学报*, 40(3): 889~906.
- 车东, 王建平, 吴起鑫, 顾亚, 余超. 2016. 我国锆资源形势及可持续发展建议. *资源与产业*, 18(3): 23~28.
- 陈华祝. 2018. 海南锆矿资源开发利用现状分析建议. *中国金属通报*, 4: 97~98.
- 陈金勇, 范洪海, 王生云, 张佳. 2019. 内蒙古巴尔哲地区碱性花岗岩地球化学特征, 年代学及地质意义. *地质论评*, 65(1): 45~46.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题. *地质学报*, 80(10): 1501~1508.
- 陈毓川, 常印佛, 裴荣富. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价. 北京: 地质出版社.
- 陈毓川, 王登红, 陈郑辉. 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.
- 陈毓川, 王登红, 李厚民. 2010b. 重要矿产预测类型划分方案. 北京: 地质出版社.
- 迟洪纪, 李秀章, 郑作平. 2001. 山东省滨海砂矿成矿规律及远景区划. *山东地质*, 17(5): 24~31.
- 党飞鹏, 梁发辉, 陈黎明, 李志鹏, 罗顺. 2015. 赣南龙源坝岩体中南部铀成矿地质条件浅析. *中国核科学技术进展报告(第四卷)*——中国核学会 2015 年学术年会论文集第 1 册(铀矿地质分卷, 铀矿冶分卷). 中国核学会, 211~218.
- 丁腾飞, 张国宾, 鞠楠, 刘欣. 2023. 华北克拉通北缘东段巴尔哲钨-铋-稀土矿床碱性岩浆演化对稀有-稀土元素富集成矿的制约. *地质论评*, 69(1): 153~154.
- 胡论元, 李松柏, 黄晴, 奚志强, 姚丽娜. 2010. 江西省石城县海罗岭钨钼矿核査矿区资源储量核査报告. 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队.
- 黄卓广. 2010. 广东省龙门县永汉钨铁矿永汉区段核査区资源储量核査报告.
- 雷跃增, 杨红. 2022. 云南牟定县水桥寺稀土矿床特征及找矿方向. *云南地质*, 2: 236~241.
- 黎广钊, 叶维强, 庞衍军. 1988. 广西滨海砂矿特征及其富集条件. *海洋地质与第四纪地质*, 8(3): 85~92.
- 李尚尧, 张超群. 1997. 广东化州平定钨铁矿含磷初探. *广东有色金属*, 4: 30~33.
- 李志丹, 张佳, 李国占, 俞初安, 谢瑜, 郭虎, 王佳营, 崔玉荣, 张超, 李效广. 2019. 内蒙古赵北井沟钨钼矿床燕山期成矿: 来自 LA-MC-ICP-MS 独居石、锆石 U-Pb 和黑云母  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄的证据. *地球科学*, 44(1): 234~247.
- 林清梅, 黄子龙. 2012. 广西富贺钟区砂锡矿地质特征及控矿因素浅析. 第四届华南青年地质学术研讨会暨广西地质学会第八届希望之星学术研讨会.
- 刘洪树. 1989. 我国滨海砂矿在第四系中的富集规律. *海洋地质与第四纪地质*, 9(2): 41~49.
- 刘劲松, 高丽丽. 2023. 澳大利亚锆矿产业发展及其产业政策分析. *矿产综合利用*, 2: 116~123.

- 刘俊生. 2010. 江西省上犹县长岭矿区重稀土矿核査区资源储量核査报告. 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队.
- 刘力文. 1989. 湖南省江华县河路口乡姑婆山花岗岩风化壳离子吸附型稀土矿床特征. 湖南省地质学校.
- 刘明. 2012. 海南省万宁市保定铁矿, 锆英石, 独居石砂矿核査区资源储量核査报告.
- 刘英俊, 曹励明. 1987. 元素地球化学导论. 北京: 地质出版社.
- 吕胜青. 2010. 广东省新兴县高村矿区锡石独居石锆英石砂矿核査区资源储量核査报告.
- 马甲栋, 吴鸣谦, 刁习, 何登洋, 崔涛, 龙政宇, 邱昆峰. 2023. 钠化和赤铁矿化蚀变对 Zr 和 Nb-Be-REE 矿化的指示意义: 以内蒙古巴尔哲矿床为例. *岩石学报*, 39(2): 432~444.
- 丘志力, 梁冬云, 王艳芬, 孙媛, 李榴芬. 2014. 巴尔哲碱性花岗岩钨钼-稀土微量元素、U-Pb 年龄及其成岩成矿指示. *岩石学报*, 6: 1757~1768.
- 任军平, 王杰, 古阿雷, 左立波, 孙宏伟, 戴朝成, 许康康, 唐文龙, 彭丽娜, 汪翡翠, 邢仕, 刘子江. 2021. 莫桑比克钨钼砂矿资源开发现状与投资环境分析. *地质与资源*, 30(1): 45~52.
- 史炎培. 1976. 四川会理路枯钨钼磁铁矿矿区外围磁异常物探检查评价报告. 四川省地质局物探大队.
- 宋家伟, 伍德明, 陈飞, 邓开章. 2021. 海南岛东部浅海表层沉积物钨、钛地球化学特征及资源潜力分析. *中国矿业*, 30(S1): 217~221.
- 孙宏伟, 王杰, 任军平, 张伟波, 唐文龙, 付超, 吴兴源, 党智财. 2019. 全球钨钼资源现状与利用趋势. *矿产保护与利用*, 5(5): 98~105.
- 孙宏伟, 许康康, 左立波, 任军平, 唐文龙, 古阿雷, 吴兴源, Mukofu C, Dokowe A P. 2023. 钨-钼矿产资源分布特点、类型、供需格局及开发利用现状. *中国地质*, 50(4): 1070~1081.
- 孙伟. 2016. 广东白石坑陶瓷土(高岭土)矿床地质特征及成因探讨. *地球*, 6: 136~136.
- 孙岩, 韩昌甫. 1999. 我国滨海砂矿资源的分布及开发. *海洋地质与第四纪地质*, 19(1): 117~122.
- 申正伟, 张方方, 韩聪, 韩思鹏, 赵靖文. 2016. 我国锆资源现状分析及可持续发展建议. *中国矿业*, 25(3): 16~20.
- 谭启新. 中国的海洋砂矿. 1998. *中国地质*, 4: 23~26.
- 童贵生, 周宝直, 陈忠文, 郑文斌, 马秀君. 2010. 江西省横峰县黄山钨钼矿核査区资源储量核査报告. 江西省地质矿产勘查开发局赣东北大队.
- 王成辉, 徐珏, 黄凡, 陈郑辉, 应立娟, 刘善宝. 2014. 中国金矿资源特征及成矿规律概要. *地质学报*, 88(12): 2315~2325.
- 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): 1092~1099, 1110.
- 王登红, 王成辉, 邢树文. 2014. 中国矿产地质志(矿产地名录卷). 北京: 地质出版社.
- 王汝成, 车旭东, 郭斌, 谢磊. 2020. 中国钨钼钨钨资源. *科学通报*, 65: 3763~3777.
- 王瑞江, 王登红, 李建康, 孙艳, 李德先. 2015. 稀有稀土稀散矿产资源及其开发利用. 北京: 地质出版社, 1~429.
- 王雪娜, 陈喜连, 陈龙, 许德如, 邹少浩, 万泰安, 王国建, 李博. 2024. 宜春 Ta-Nb 与黄山 Nb-Ta 矿床成矿元素差异性富集的因素研究. *大地构造与成矿学*, 48(3): 597~620.
- 王颖. 2002. 海南岛海岸环境特征. *海洋地质动态*, 18(3): 1~9.
- 汪一凡. 2015. 新疆阿克塔格 Nb-REE 矿岩浆岩特征及成矿作用研究. 中国地质大学(北京). 硕士论文.
- 王勇义. 2009a. 广东省广宁县 512 矿区磷钨矿资源储量利用现状核査报告.
- 王勇义. 2009b. 广东省广宁县 513 矿区磷钨矿资源储量利用现状核査报告.
- 伍辉成. 2018. 西昌莲花山钨钼稀有金属矿床地质特征及外围找矿预测. 成都理工大学, 硕士论文.
- 吴鸣谦, 马甲栋, 邓军, 刁习, 裴磊, 邱昆峰. 2024. 巴尔哲钨-钼-稀土矿床成矿精细过程研究. *岩石学报*, 40(6): 1817~1836.
- 申萍, 何兰芳, 荆林海, 潘鸿迪, 冯浩轩, 罗耀清, 李昌昊, 马华东, 曹

冲,白应雄. 2023. 新疆可可托海稀有金属矿床成因和南部隐伏矿预测——来自地质、遥感和地球物理的证据. 地质学报, 97(11): 3651~3672.

幸世军. 2009. 浅析江西省龙南塔背风化壳型钨钼矿床地质特征. 矿产与地质, 1: 70~72.

徐海明, 邹天人, 方景玲, 徐珏, 樊莉, 王军. 2012. 新疆波孜果尔钨钼矿成矿床时代及成因研究. 矿床地质, 31: 625~626.

徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案. 北京: 地质出版社.

杨富全, 张忠利, 王蕊, 李强, 丁建刚, 苏振华, 麻坤. 2018. 新疆阿尔泰稀有金属矿地质特征及成矿作用. 大地构造与成矿学, 42(6): 1010~1026.

杨武斌, 苏文超, 廖思平, 牛贺才, 罗勇, 单强, 李宁波. 2011. 巴尔哲碱性花岗岩中的熔体和熔体-流体包裹体: 岩浆-热液过渡的信息. 岩石学报, 27(5): 1493~1499.

杨奕, 齐荣, 刘秀娟, 何玉生, 张固成. 2010. 海南岛昌化江河口与邻近海域钨、钛矿化远景及成矿地质条件分析. 地质科技情报, 29(1): 80~85.

杨智荣. 2009. 广东省新丰县雪山矿区稀土矿核查区资源储量核查报告.

尹传凯, 王春连, 游超, 刘殿鹤, 颜开, 孙珮婕, 梁震, 宁鹏远. 2024. 中国锆矿资源特征、矿床类型、开发利用及找矿远景. 中国地质, 51(6): 1930~1945.

张建文, 王海东, 龚文勇, 马崇振, 张华, 廖乾. 2019. 中国锆矿资源开发利用形势分析. 矿产保护与利用, 5(5): 106~110.

张振芳, 王靓靓, 于瑞, 陈秀法, 陈喜峰, 李仰春, 张新元, 高爱红. 2021. 非洲锆矿资源地质特征及勘查开发. 地质与勘探, 57(6): 1257~1268.

赵振华, 陈华勇, 韩金生. 2022. 新疆阿尔泰造山带中生代伟晶岩的稀有金属成矿作用. 中山大学学报(自然科学版), 1: 1~26.

智研咨询. 2022. 2022-2028年中国锆行业竞争格局分析及未来前景规划报告.

钟军, 范洪海, 陈金勇, 孟艳宁, 赵敬洋, 史长昊, 王生云. 2020. 辽宁赛马霓霞正长岩黑云母地球化学特征、<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄及其地质意义. 地球科学, 45(1): 131~144.

## Zirconium resources and mineralization in China

CHEN Binghan, YU Jinjie\*, YAO Fojun

*MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China*

\* Corresponding author: yjjchina@sina.com

### Abstract

This article divides China's zirconium deposits into alkaline granite, alkaline complex, pegmatite, weathering crust-residual slope deposit, coastal sedimentary, and river alluvial types. The predicted types of zirconium deposits are divided into granite, pegmatite, coastal sedimentary, river alluvial, and weathering crust-residual slope deposits. China's zirconium resources are distributed across 15 provinces and autonomous regions, including Inner Mongolia, Hainan, Sichuan, and Guangdong. Statistical analysis delineates four principal metallogenic epochs: Neoproterozoic, Late Paleozoic, Mesozoic, and Cenozoic. This framework allows for the division of 14 zirconium metallogenic belts and the determination of 34 zirconium-related metallogenic series, culminating in the establishment of a national zirconium deposit metallogenic pedigree. The coastal sedimentary and river alluvial zirconium deposits along the southeastern coast constitute primary prospects for zirconium exploration.

**Key words:** zirconium; resource characteristics; type of zirconium deposits; metallogenic period; zirconium metallogenic belt; metallogenic series