

大洋洲地区大地构造格架与优势矿产资源

姚仲友¹, 王天刚¹, 傅朝义², 马春³, 齐立平⁴, 孔红杰⁴,
汪传胜³, 李文光², 陈刚¹

YAO Zhong-you¹, WANG Tian-gang¹, FU Chao-yi², MA Chun³, QI Li-ping⁴,
KONG Hong-jie⁴, WANG Chuan-sheng³, LI Wen-guang², CHEN Gang¹

1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016;

2. 中矿资源勘探股份有限公司, 北京 100089;

3. 江苏省有色金属华东地质勘查局, 江苏 南京 210007;

4. 山东地矿国际投资有限公司, 山东 济南 250013

1. *Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;*

2. *Sinomine Resource Exploration Co., Ltd., Beijing 100089, China;*

3. *East China Geological Exploration Bureau of Nonferrous Metals, Jiangsu Province, Nanjing 210007, Jiangsu, China;*

4. *Shandong Geo-mineral International Investment Co., Ltd., Ji'nan 250013, Shandong, China*

摘要:大洋洲横跨印澳板块、太平洋板块和欧亚板块三大板块,区内从太古宙至今经历了漫长的构造演化历史。根据区域地质特征,该区可划分为3个一级构造单元,即澳大利亚中西部前寒武纪克拉通、澳大利亚东部古生代造山带和环太平洋中生代岛弧区,12个二级构造单元和40个三级构造单元。3个一级构造单元由于经历了不同的构造演化过程,各自发育了不同的岩石组合和矿化作用。在研究区域构造演化与成矿作用耦合关系的基础上,总结出3个构造单元的成矿特征:澳大利亚中西部前寒武纪克拉通成矿过程与克拉通的生长有关,成矿时代主要为太古宙和元古宙,优势矿种为金、铜、镍、锰、铁、铀、稀土、铅、锌、铝土等;东部古生代造山带成矿多和古太平洋与古冈瓦纳板块的相互作用有关,成矿时代为古生代,优势矿种为铜、金、铅、锌和钨锡;环太平洋中生代岛弧区的成矿作用多与印澳板块、欧亚板块与太平洋板块的相互作用有关,成矿时代多集中在中—更新世,优势矿种为铜、金、镍、钴等。对大洋洲地区矿产资源潜力进行了评估,认为大洋洲地区的铁、锰、铜、铝、镍、金、铀、稀土等矿产资源均具有较好的潜力。

关键词:构造单元;优势矿产资源;构造事件;成矿作用;成矿系列;找矿远景

中图分类号:P542^{+.4} **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2014)02/03-0143-16

Yao Z Y, Wang T G, Fu C Y, Ma C, Qi L P, Kong H J, Wang C S, Li W G, CHEN G. Geological framework and dominant mineral resources of Oceania. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(2/3):143-158

Abstract: Located across Indo-Australian plate, Pacific plate and Eurasian plate, Oceania has undergone long and complex tectonic evolution since Archean. Three major tectonic units can be identified according to the regional geology of this region, i.e., middle-western Australian Precambrian craton, eastern Paleozoic orogenic belt and Circum-Pacific Meso-Cenozoic island arcs. These three major tectonic units could be subdivided into twelfth second-order tectonic units and forty third-order tectonic units. The three major tectonic units exhibit different types of rock assemblage and mineralization due to the unique tectonic evolution history of each unit. Mineralization characteristics of the three major tectonic elements are summarized on the basis of a comprehensive analysis of the relationship between the tectonic evolution and the mineralization events: the mineralization of the middle-western Australian Precambrian craton mainly took place in Archean and Proterozoic, with the dominant mineral resources being gold, copper, nickel,

收稿日期:2013-04-07;修订日期:2013-12-24

资助项目:中央地勘基金项目(编号:201130D06200123)

作者简介:姚仲友(1962-),男,教授级高级工程师,从事地质矿产普查找矿及成矿规律研究。E-mail:yaoyao_q@163.com

manganese, iron, uranium, REE, lead-zinc bauxite, which were associated with the development of Australian Precambrian craton; the mineralization of the eastern Paleozoic orogenic belt mainly occurred in Paleozoic, and dominant mineral resources were copper, gold, lead-zinc, tungsten and tin, which were associated with the interaction between Palaeo-Pacific and Australia; the mineralization of the Circum-Pacific Meso-Cenozoic island arcs mainly occurred in Miocene-Pleistocene, and the dominant mineral resources produced included copper, gold, nickel and cobalt, which were related to the interaction between Indo-Australian plate, Pacific plate and Eurasian plate. An overall assessment shows that Oceania has very good iron, manganese, copper, gold, bauxite, uranium, nickel and REE resource potentials.

Key words: tectonic elements; dominant mineral resources; tectonic events; metallogenesis; metallogenic series; mineral resource potential

大洋洲横跨印澳板块、太平洋板块及欧亚板块,经历了长期的构造演化过程,形成了现今的面貌。从澳大利亚伊尔岗地块纳里(Narryer)地区出露的世界上最古老的岩石和已知最古老的锆石($3731\pm 4\text{Ma}$ 和 4404Ma)到现在新西兰和巴布亚新几内亚正在活动的火山,地壳演化过程已经历了 4.4Ga 。在漫长的演化过程中,区内发生了多期板块汇聚、离散和平移过程,并由此引发了大规模的壳幔相互作用、沉积作用、变质作用、岩浆活动、流体运移,以及成矿物质活化、迁移、聚集等。该过程不仅形成了现今大洋洲地区独一无二的地质特征,还造就了其得天独厚的矿产资源禀赋,特别是中国紧缺的铁、锰、铜、铝、镍及具有战略意义的金、铀、稀土等矿产的资源储量和产量巨大,与中国形成良好的矿产资源互补,是中国企业“走出去”进行矿产资源勘查、开发和投资的理想地区。

本文以大洋洲地区的澳大利亚、巴布亚新几内亚和西兰为主要研究区,在收集、整理3个国家相关的地质、矿产、物化探和遥感资料的基础上,进行了该区综合编图和矿产地数据库建设,并对编图建库结果进行了统计和综合研究,初步总结了大洋洲地区的构造格架和优势矿种,并进一步对其构造单元及成矿特征进行了研究分析,总结出大洋洲地区的成矿系列,并以此为基础对区内优势矿产资源的找矿前景进行了简要分析,以期为中国地勘单位“走出去”在大洋洲地区开展矿产资源开发提供基础信息和参考。

1 大地构造格架

大洋洲地区的构造格架从西向东依次为:澳大利亚中西部前寒武纪克拉通、澳大利亚东部古生代造山带和环太平洋新生代岛弧区(图1,表1)。

1.1 澳大利亚中西部前寒武纪克拉通

澳大利亚中西部前寒武纪克拉通占澳大利亚

大陆面积的 $2/3$,由多个古元古代陆核及其周边的中元古代缝合带组成,东以澳大利亚东部古生代造山带为界,主要分为3个部分:西澳克拉通、北澳克拉通和南澳克拉通^[2-5](图1)。它们之间是古元古代—中元古代造山带组成的中部活动带。克拉通内部基底以太古宙—古元古代岩石为主,盖层沉积为之后在盘古(Pangea)大陆裂解和澳大利亚大陆北移的过程中形成的元古宙—显生宙盆地沉积物,包括澳大利亚超级盆地^[6-7]。

1.1.1 西澳克拉通

西澳克拉通由太古宙皮尔巴拉(Pilbara)和伊尔岗(Yilgarn)地块及两者之间的南回归线(Capricorn)造山带组成(图2,表1),部分地区被后期盆地沉积物覆盖^[9],南部和东南部为中元古代阿尔巴尼—弗雷泽(Albany-Fraser)造山带,东北部为古元古代—中元古代派特森造山带,西部为晚中元古代—新元古代平贾拉(Pinjarra)造山带。克拉通剩余界线隐藏在新元古代—显生宙沉积盆地之下。

皮尔巴拉地块为一个典型的花岗岩—绿岩带地体(图2),形成演化时间在 $3.65\sim 2.0\text{Ga}$ 之间^[9]。根据地质特征该地块分为3个部分:东北部、西北部和南部。东北部底部为硅铝质基底,上部覆盖绿岩带^[10],绿岩带的形成时代为 $3.51\sim 3.24\text{Ga}$ ^[11],该地区还广泛分布穹窿状钙碱性花岗岩岩基,侵入时代为 $3.50\sim 3.43\text{Ga}$,与绿岩带时代相似。西北部出露分别形成于 3.32Ga 和 2.8Ga ^[9]的NE向拉长的花岗岩和绿岩带,这些岩石的演化可能与 $3.15\sim 2.78\text{Ga}$ 时期活动板块边缘环境的火山弧(弧后)盆地的幕式发育和板块增生有关^[12],地块东部和西部之间发育走滑断层。南部哈默斯利盆地发育新太古代—古元古代^[13],盆地内多为被动大陆边缘环境沉积的火山岩、碎屑岩、碳酸盐岩和条带状铁建造。

伊尔岗地块由东部低级变质的花岗绿岩带和

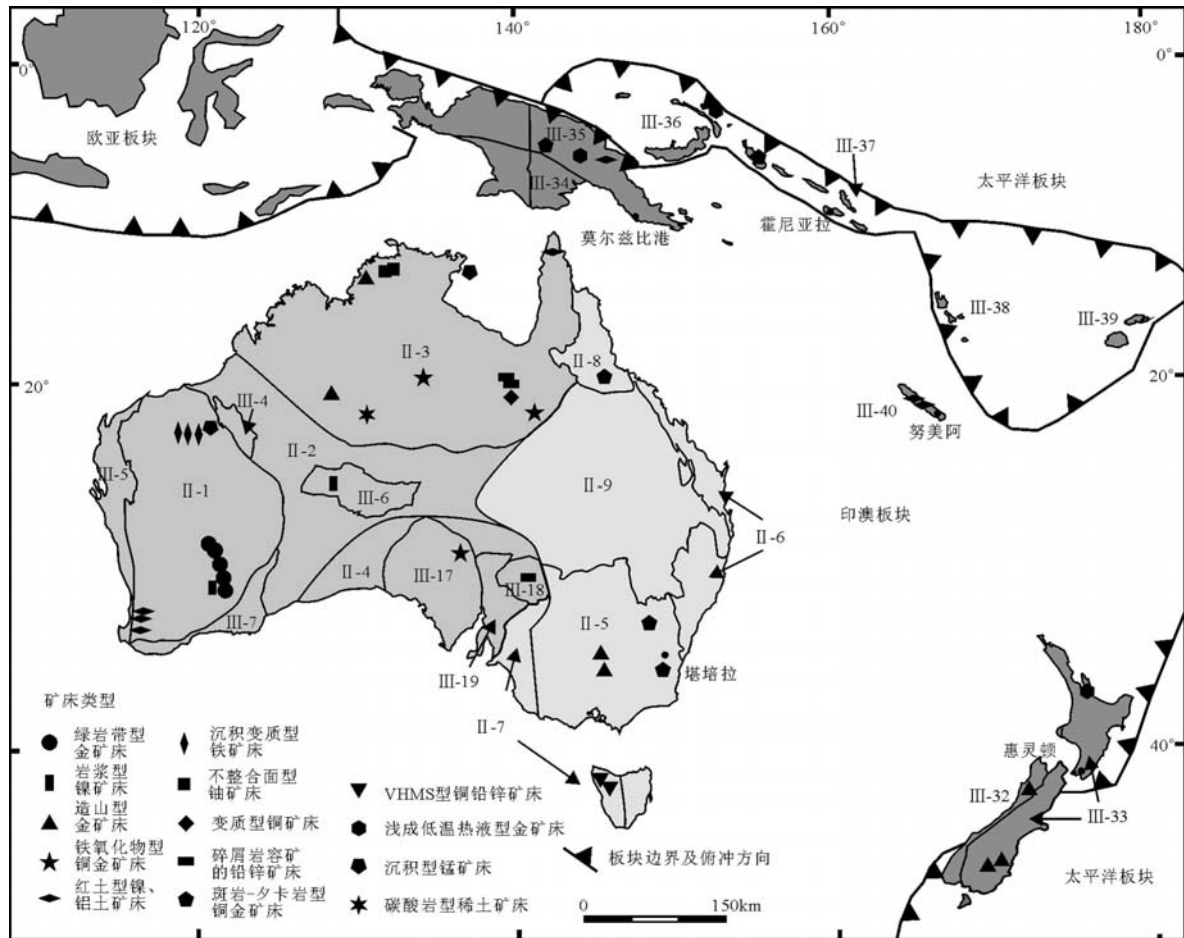


图 1 大洋洲地区构造格架及矿产分布简图(据参考文献[1-4]修改,构造单元编号见表 1)

Fig. 1 Simplified tectonic map of Oceania with Phanerozoic, Proterozoic and Archean terranes, showing distribution of mineral resources

西部的花岗片麻岩地块组成(图 2),自西向东地块年龄逐渐变新。西部花岗片麻岩地块的形成时间为 3.73 ~ 2.9Ga,由西北部的纳里微地块(Narryer)和西南部的西南片麻岩微地块组成,主要由变形的花岗岩、片麻岩和变质沉积物、绿岩带和变质程度为高级角闪岩—麻粒岩相的层状基性侵入岩组成。东部的花岗绿岩带地块形成于 2.94~2.66Ga,由东部黄金省(Eastern Goldfields)微地块、南克罗斯(South Cross)微地块和穆奇森(Murchison)微地块组成,该地区下部主要为高镁玄武岩和科马提岩夹硅铝质火山岩、火山碎屑岩和碎屑岩,形成时代为 2.71Ga、2.70Ga^[14],其上为被地壳混染的科马提岩和浊积岩,形成时代约为 2.69Ga^[15],在地块中部出露的绿岩带的最新时代为 3.02Ga,表明部分绿岩带形成时代较

早。在 2.68Ga 左右,东部花岗绿岩带地块处于伸展环境下,沉积岩被拉斑质侵入岩侵入,其上被复理石和磨拉石覆盖^[16]。

皮尔巴拉与伊尔岗地块之间的缝合带为南回归线造山带(图 2),该造山带基底为 2 个地块的边缘和加斯科因杂岩体,并包括一系列古元古代的火山—沉积盆地如阿什伯顿(Ashburton)盆地、布莱恩(Bryah)盆地、耶里达(Yerrida)盆地、帕德伯里(Padbury)盆地和埃拉里迪(Earaheedy)盆地^[17]。加斯科因杂岩体为古元古代由高级变质岩和大量花岗岩类侵入体组成的杂岩体,在造山过程中该部分作为一个小地块首先拼贴到皮尔巴拉克拉通上。古元古代盆地内的地层由低级变质的沉积岩和少量火山岩组成,在造山作用开始时作为前陆盆地接受沉

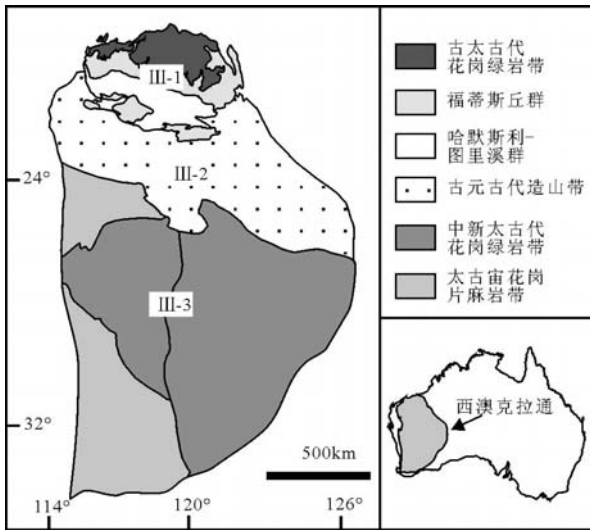


图2 西澳克拉通地质简图^⑧(构造单元编号见表1)

Fig. 2 Simplified geological map of Western Australian craton
积,后期在造山过程中发生褶皱变形。沉积盖层主要为中元古代时期造山带沉积物被剥蚀形成的埃

德蒙德(Edmund)和科利尔(Collier)盆地,不整合覆盖在南回归线造山带中部地区^[18]。

1.1.2 北澳克拉通

北澳克拉通位于中西部克拉通的北部,南和西南界线为玛斯格雷夫和派特森造山带,东部是新澳大利亚造山带。北澳克拉通包含新太古代—古元古代的克拉通地块,如金伯利(Kimberley)地块,一系列轮廓不清的造山带,如霍尔斯基里克(Halls Creek)、金利奥波德(King Leopold)、派恩克里克(Pine Creek)、滕南特克里克(Tennant Creek)、芒特艾萨(Mount Isa)、塔纳米(Tanami)、阿伦塔(Arunta)、乔治敦(Georgetown)和科恩(Coen)造山带,其间发育古元古代—古生代的盆地,如麦克阿瑟(McArthur)盆地等,其余地区被后期的沉积盆地覆盖,使得造山带和克拉通地块之间的关系难以被识别(图3)。

金伯利地块位于北澳克拉通西部,基底为新太古代构造层^[20],上部盖层为古元古代沉积物。霍尔

表1 大洋洲地区构造单元划分

Table 1 Tectonic elements of Oceania

一级	二级	三级	一级	二级	三级	
I-1 澳大利亚中西部前寒武纪克拉通	II-1 西澳克拉通	III-1 皮尔巴拉地块	I-2 澳大利亚东部古生代造山带	II-5 拉克兰造山带	III-22 东带	
		III-2 南回归线造山带			III-23 岩浆弧	
		III-3 伊尔岗地块			III-24 弧前盆地	
	II-2 中澳结合带	III-4 派特森造山带		III-25 增生混杂岩带	II-7 德拉梅里亚造山带	
		III-5 平贾拉造山带		III-26 霍奇森地区	II-8 北昆士兰造山带	III-27 格林维尔地区
		III-6 玛斯格雷夫造山带		III-28 格雷夫溪地区		
	II-3 北澳克拉通	III-7 阿尔巴尼-弗雷泽造山带		III-29 卡米尔溪地区	II-8 北昆士兰造山带	III-30 查特斯堡地区
		III-8 金伯利地块		III-31 巴纳德地区		
		III-9 金利奥波德-霍尔斯基里克造山带		II-9 汤姆森造山带		
		III-10 派恩克里克造山带		II-10 新西兰	III-32 西部省	
		III-11 塔纳米造山带			III-33 东部省	
		III-12 滕南特克里克造山带		II-11 巴布亚新几内亚	III-34 弗莱地台	
		III-13 阿伦塔造山带			II-35 新几内亚造山带	
		III-14 芒特艾萨造山带			III-36 新几内亚群岛	
	III-15 麦克阿瑟盆地	II-12 新生代岛弧区		III-37 所罗门群岛		
	III-16 乔治敦-科恩造山带			III-38 瓦努阿图群岛		
	III-17 高勒地块			III-39 斐济群岛		
	II-4 南澳克拉通	III-18 柯纳莫纳地块		III-20 西带	III-40 新喀里多尼亚岛	
		III-19 阿德莱德褶皱带				III-21 中带
II-5 拉克兰造山带						

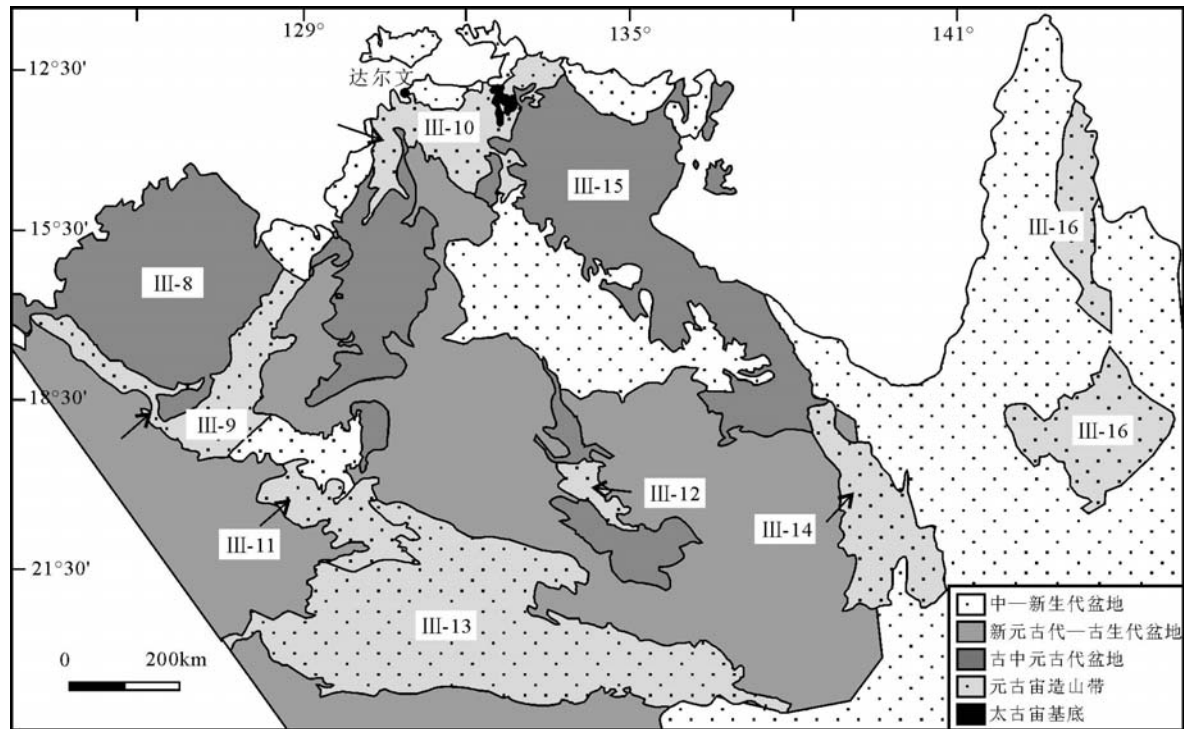
图3 北澳克拉通地质简图^[19](构造单元编号见表1)

Fig. 3 Simplified geological map of Northern Australian craton

斯克里克和金利奥波德造山带沿金伯利地块东南和西南边缘发育, 霍尔斯科里克造山带被分为3个部分^[21]: 东区基底为古元古代酸性和基性的双峰式火山岩, 并被稍后的碱性火山岩和浊积岩不整合覆盖; 西区和中区的地层相对较新, 底部主要为浊积岩和岛弧岩浆岩。金伯利地块和霍尔斯科里克造山带最后被造山带剥蚀形成的沉积物不整合覆盖^[22]。金利奥波德造山带地区地层与霍尔斯科里克相似, 出露古元古代的变质杂岩体, 由一系列变质的火山岩和碎屑岩组成。

派恩克里克造山带可分为中部的马拉凯(Marrakai)低级变质区和东西部高级变质的利希菲尔德(Litchfield)地区和尼布瓦(Nimuwah)地区^[23]。利希菲尔德地区由N-NE向的角闪岩到麻粒岩相变质的沉积岩和花岗岩组成, 被认为是霍尔斯科里克造山带的向北发展的产物^[24]; 中部地区出露低级变质的古元古代变质沉积物和后构造花岗岩; 尼布瓦地区出露高级变质的新太古代基底和古元古代变质沉积岩, 以及副片麻岩和花岗岩。

塔纳米造山带基底为少量新太古代地层和古

元古代时期形成于霍尔斯科里克造山带外侧的弧后盆地环境的深水沉积岩、镁铁质火山岩和辉绿岩墙夹层组成^[25], 古元古代以硅质碎屑岩为主的浊积岩(塔纳米群)和中酸性火山岩(瓦尔群)不整合覆盖在基底之上^[26], 之后区内沉积了台地沉积物(比林杜杜群、查尔斯山组和帕吉砂岩)^[27]。区内花岗质岩浆侵入活动主要发生在古元古代, 活动剧烈。

滕南特克里克造山带基底为古元古代浊流沉积物, 上部不整合覆盖古—中元古代浅海沉积物和双峰式火山岩, 岩浆侵入活动发育, 主要集中在古元古代, 以花岗质岩浆侵入活动为主^[28]。

阿伦塔造山带也包含被一系列构造热事件分割的晚古元古代沉积层序^[29], 可分为3个部分: 南部地区, 由绿片岩相—角闪岩相的古元古代石英长石片麻岩组成, 并被花岗质岩浆活动侵入; 中部地区, 由麻粒岩相或角闪岩相的古元古代片麻岩和变质沉积物组成; 北部地区, 主要由绿片岩相的铝质和硅质变质沉积岩构成, 还分布少量的变质火山岩和高级片麻岩, 花岗岩侵入活动剧烈, 可以分为2组, 一组为形成于1.75~1.5Ga之间的片麻状花岗岩,

另一组为1.5~1.4Ga之间侵入的花岗岩及相关的斑岩。此外,区内古元古代时期大规模的发育基性超基性岩浆侵入作用^[30]。

芒特艾萨造山带可分为3个部分^[31]:西部褶皱带,其西段主要为古元古代的碳酸盐和硅质碎屑的台地沉积物,东段为绿片岩相一角闪岩相的变质碎屑沉积物、碳酸盐沉积物和火山地层;东部褶皱带主要为绿片岩相一角闪岩相变质的碳酸盐—蒸发盐—火山岩沉积物,并被中元古代花岗岩侵入;卡尔卡敦—莱卡特(Kalkadoon—Leichhardt)带内古元古代时期发育岛弧岩浆活动,形成了长英质火山岩和同期的卡尔卡敦岩基花岗岩^[32],之后区内进入弧后盆地环境,发育的双峰式岩浆活动。

乔治敦—科恩造山带底部为古元古代浅水沉积的埃瑟雷奇(Etheridge)群,变质作用向东逐渐增强,最高可达到麻粒岩相。区内岩浆侵入活动强烈,在 $1695.8 \pm 1.5\text{Ma}$ 、 $1684.2 \pm 2.1\text{Ma}$ ^[33]和 1550Ma ^[34]均发育岩浆侵入作用。

1.1.3 南澳克拉通

南澳克拉通位于中西部克拉通南部,边缘多被盆地覆盖,界线较为模糊,仅北部界线清晰,以玛斯格雷夫造山带为北界。克拉通主要包括高勒(Gawler)地块、柯纳莫纳(Curnamona)地块及其之间的阿德莱德(Adelaide)造山带,两地块之间的界线不清,被后期盖层覆盖(图1,表1)。

高勒地块基底为太古代麻粒岩相变质的杂岩体,元古宙岩石组合以基底为中心聚集。古元古代岩石以变质的浅海相沉积物^[35],可能代表了以Miltalie片麻岩侵位为起点的伸展环境下的被动大陆边缘沉积层序。古元古代时期,区内还发育Donington花岗岩套^[36],该岩套的地球化学数据表明其形成于汇聚板块边缘环境的岩浆弧或同碰撞背景^[37]。1690~1670Ma,区内发育岩浆弧到弧后弧后的花岗岩岩浆运动^[38]。在地块西南和中部,古元古代—早中元古代时期以广泛发育岩浆活动为特征,包括1620~1610Ma与俯冲相关的弧岩浆活动^[39],以及之后的产于裂谷或弧后环境的双峰式火山活动^[40]。地块内最晚期的岩浆活动发生在1500Ma左右^[40],之后在新元古代时期,岩脉群的侵入标志着地块伸展作用的开始。

柯纳莫纳地块位于高勒省东北部,根据岩性特征和变质程度的不同分为奥拉里(Olary)和布罗肯

希尔(Broken Hill)2个微地块^[41]。该地块由古元古代晚期的变质沉积层序维尔亚玛(Willyama)超群和相关的长英质和镁铁质火成岩组成。该超群由长英质和泥质沉积物,钙硅质岩和少量火山及次火山岩组成,说明其是在浅成水环境中沉积,构造背景为克拉通内裂谷环境中^[42]或弧后盆地环境^[43]。

新澳大利亚造山带沿克中西澳克拉通东部边缘发育,主要在高勒地块与柯纳莫纳地块之间发育阿德莱德造山带,造山带中新元古代发育多期与裂解活动有关的沉积序列,岩石以大陆边缘海陆交互的硅质碎屑和碳酸盐层序为主,局部夹杂基性和长英质火成岩,其形成可能与罗迪尼亚超级大陆裂解有关;寒武纪时期区内依然以海相沉积物为主,在寒武纪末期到志留纪初,区域从早到晚依次发育同构造到后构造的花岗岩侵入活动^[44]。

1.1.4 中部活动带

中部活动带位于西、北和南澳大利亚克拉通之间,大部分被后期沉积盆地覆盖,仅有少量地区出露,包括古元古代—中元古代派特森造山带(Pater-son)、中元古代玛斯格雷夫(Musgrave)造山带和阿尔巴尼—弗雷泽(Albany—Fraser)。此外,该地区还包括西澳克拉通西部的平贾拉造山带。

派特森造山带位于西澳和北澳克拉通之间,由变形和变质沉积火成岩组成的鲁达尔(Rudall)杂岩体组成,被分为3个构造单元:塔尔波特(Talbot)、康诺顿(Conaughton)和帝柏托普(Tabletop),不同构造单元被断层分割^[45],其中塔尔波特时代最老,为石英岩、角闪岩、蛇纹岩和条带状铁建造的变质沉积层序,并被长英质正片麻岩侵入,时间为 $2015 \pm 26\text{Ma}$ 和 $1972 \pm 4\text{Ma}$ ^[46];康诺顿岩体包含年龄未定的变质到角闪岩—麻粒岩过渡相的镁铁质片麻岩^[47];帝柏托普岩体以微变形绿片岩相的中元古代变质花岗岩为主,含少量石英岩、钙硅质岩、闪岩、条带状含铁建造和超镁铁岩^[45]。

玛斯格雷夫造山带位于北澳和南澳克拉通之间,周围均被盆地覆盖。造山带基底地层为古—中元古代角闪岩相—麻粒岩相的长英质和镁铁质岩浆岩、少量变泥质岩、石英岩和钙硅质岩组成^[48];中元古代长英质与镁铁质火山岩、火山碎屑岩、碎屑岩、石英岩等沉积物不整合覆盖在基底之上;新元古代千枚岩、碳酸盐岩等不整合覆盖在中元古代地层之上。区内岩浆侵入活动发育,在中元古代和新

元古代均发育岩浆侵入活动,早期岩浆活动带有弧岩浆岩的特征^[49]或同构造的特征^[50],晚期岩浆活动则形成于伸展环境下,以超基性岩浆侵入为特征,时代为中元古代末期—新元古代^[51]。

阿尔巴尼弗雷泽造山带沿西澳克拉通南部和东南边缘发育,根据地层特征的不同被划分为 4 个地区:北福尔兰(Foreland),由再造的新太古代花岗岩、古元古代变质沉积物组成;比拉那(Biranup)杂岩体,主要由长英质正片麻岩组成,原岩年龄分别为 2640~2575Ma 和 1700~1630Ma^[52],夹层有少量副片麻岩和变辉长岩;洛那普(Nornalup)杂岩体,由花岗正片麻岩和砂质—泥质变质沉积岩组成,被 1330~1280Ma 和 1190~1135Ma 广泛发育的花岗岩侵入^[52],三部分均沿造山带发育;Fraser 杂岩体,为一条 450km 长的中元古代(1291±21Ma^[53])辉长岩侵入体,形成于俯冲相关的大洋岛弧环境^[54]。

中元古代—早古生代平贾拉造山带沿西澳西海岸延伸,西部为伊尔岗克拉通。造山带绝大部分地区被显生宙盆地沉积物覆盖,局部出露诺汉普顿(Norhampton)、马林加拉(Mullingarra)和鲁文(Leeuwin)杂岩体,前两个组成相似,为砂屑副片麻岩伴随石英岩、泥质岩和镁铁质片麻岩透镜体^[55],而鲁文杂岩体是长英质正片麻岩夹钙长石、淡色花岗岩和部分镁铁质片麻岩透镜体^[56],岩体时代介于中元古代—新元古代之间。

1.2 澳大利亚东部古生代造山带

澳大利亚东部古生代造山带(图 4)由古生代时期冈瓦纳古陆与古太平洋的相互作用形成,造山带根据地质特征可分为 5 个部分:德拉梅里亚(Delamerian)造山带、拉克兰(Lachlan)造山带、新英格兰(New England)造山带、汤姆森(Thompson)造山带和北昆士兰(North Queensland)造山带^[57]。

德拉梅里亚造山带包括坎曼图(Kanmantoo)褶皱带和塔斯马尼亚岛的西部地区,并影响了阿德莱德造山带(图 4)。造山带的基底可能为柯纳莫纳地块^[58],盖层沉积主要为中寒武世—早奥陶世角闪岩相变质变形的、发育前陆盆地沉积的深水沉积物,主要分布在坎曼图褶皱带和阿德莱德造山带内。塔斯马尼亚发育前寒武纪裂谷环境的基性—超基性岩浆活动,以及之后的弧后或与岛弧有关的岛弧火山岩。

拉克兰造山带位于新南威尔士州的东部,维多

利亚州和塔斯马尼亚州的东北部,可分为西、中、东 3 个部分(图 4):西部和中部亚区出露少量寒武纪—奥陶纪洋壳的残留物,并以断层残片和逆冲推覆体的形式产出,这些岩石上部覆盖了富石英的砂岩和黑色页岩为主的浊积岩序列;东部拉克兰造山带分布于维多利亚州和新南威尔士州,分别对应麦考瑞弧、纳鲁马地体等组成的增生杂岩体,主要为志留纪—泥盆纪的富铁镁质火山岩、花岗岩侵入体和碳酸盐岩^[1, 59]。

新英格兰造山带是东部造山带中最东部的构造单元,可分为 3 个构造亚区(图 4):弧前增生楔,主要为一系列的微小地块,分布在最西部,为蛇绿混杂岩带,由一系列小型的洋壳碎片和残余岛弧拼贴在一起形成,时代为新元古代—晚古生代;弧前盆地,位于造山带中部,以火山沉积物为主,形成时代为古生代;岩浆弧位于造山带最东部,为晚泥盆世—石炭纪的岛弧^[60]。

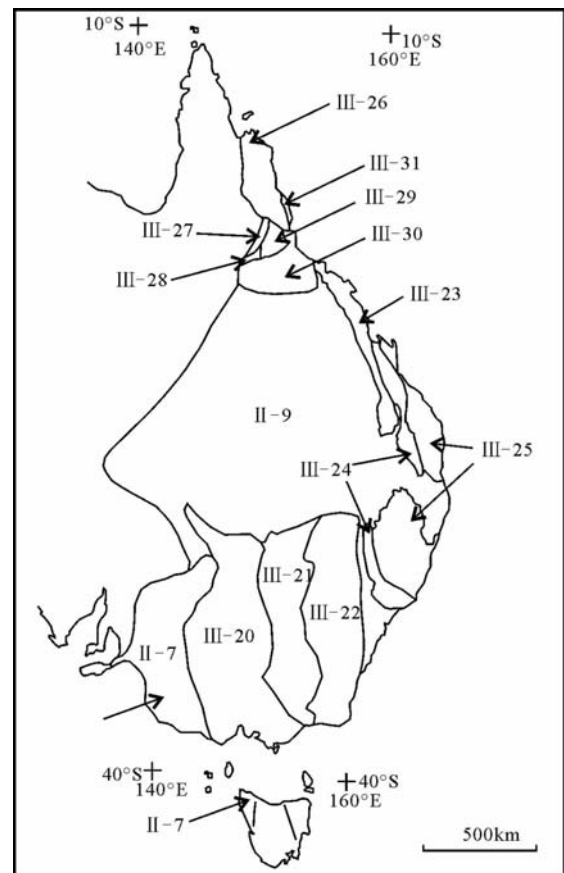


图 4 澳大利亚东部古生代造山带构造单元图^[1]
(构造单元编号见表 1)

Fig. 4 Tectonic elements of Eastern Paleozoic orogenic belt

汤姆森造山带位于澳大利亚内陆地区,被中生代地层覆盖,由于地层的连续沉积,除了南北边界之外,整个范围的情况很难被界定(图4)。钻井资料显示,汤姆森造山带沉积了前寒武纪一晚泥盆世的一套地层。古元古代沉积了细粒、富石英的碎屑沉积物。西南部沉积了寒武纪碳酸盐岩,北部为一条寒武纪—奥陶纪岛弧构造活动带。

北昆士兰造山带位于昆士兰州北部地区,古生代造山带的北段(图4)。造山带基底为古元古代—中元古代地层,其上连续沉积了新元古代—寒武纪、寒武纪—奥陶纪和奥陶纪—石炭纪地层,区内广泛分布大量的长英质I型、S型及少量A型岩浆侵入岩,时间跨度1200Ma。花岗岩侵入活动主要发生在中元古代(1550Ma)、寒武纪—奥陶纪(480~460Ma)、志留纪—泥盆纪(430~380Ma)及石炭纪—二叠纪(330~260Ma),其中最后一期岩浆活动规模最大,Sm-Nd同位素分析表明肯尼迪岩浆省花岗岩源区为古老的地壳^[61]。

1.3 环太平洋中生代岛弧区

环太平洋成矿域的形成与太平洋板块与印澳板块的相互作用有关,主要分布在大洋洲边缘的岛弧区,主要包括太平洋板块与印澳板块边界部位的巴布亚新几内亚、新西兰、斐济等国。

1.3.1 新西兰

新西兰可分为2个构造单元(图5),西部省和东部省。西部省包括布勒地块和塔卡卡地块,而东部省则由布鲁克街地块、穆里希库地块、马太地块、开普勒地块、怀帕帕地块、托勒斯地块等多个地块组成^[3,63]。

西部布勒地块主要分布在新西兰西部地区及峡湾地区,地层以古生代奥陶纪绿片岩相杂砂岩为主。区内岩浆侵入事件分为2期:早期泥盆纪—石炭纪发育S型黑云母和二云母花岗岩、花岗闪长岩及石英闪长岩侵入作用;晚期早白垩世发育I型花岗闪长岩—花岗岩侵入作用。塔卡卡地块位于布勒地块东侧,可分为2个地层单元:中带主要发育中寒武世—晚奥陶世的安山质—玄武质火山岩,少量流纹岩和英安岩,砂岩、砾岩、灰岩、白云岩、粉砂岩和角岩,火山沉积序列附近发育一套超铁镁质—铁镁质杂岩体;东带内主要发育奥陶纪—志留纪的石英砂岩、粉砂岩、黑色页岩、灰岩和白云质页岩,还有部分泥盆纪和中二叠世沉积岩残留不整合覆盖于奥陶纪—志留纪岩石之上。岩浆侵入活动仅在

东带内发育,为I型角闪岩—黑云母花岗岩和花岗闪长岩侵入。

东部的布鲁克街地块由经历变质作用的玄武质枕状熔岩、安山岩、火山角砾岩和火山碎屑岩岩石组成。在地块南部发育层状铁镁质侵入体侵入花岗岩中,岩性为辉石橄榄岩—斜方辉石辉长岩—斜长岩和石英闪长岩—淡色辉长岩。地块内所有岩石的年龄均为二叠纪。穆里希库地块,岩性为火山弧的弧前盆地环境沉积的厚层火山碎屑质砂岩和粉砂岩、安山质到流纹岩质凝灰岩及砾岩,地层发生褶皱变形。马太地块内主要出露邓恩山脉蛇绿岩带和马太群二组地层:邓恩山脉蛇绿岩带被阿尔卑斯断层分为南北两部分,岩石组成为蛇纹石、辉长岩、细碧岩质熔岩、层状火山角砾岩和构造混杂岩;马太群为二叠纪火山弧环境下形成的粉砂岩、砂岩、灰岩和砾岩,该组地层覆盖于蛇绿岩带最顶部的火山岩之上。开普勒地块中地层主要为石炭系—下白垩统的杂砂岩,二叠纪—三叠纪与火山作用有关的砂岩和粉砂岩,并发育有玄武质凝灰岩、枕状熔岩和燧石等地层。怀帕帕地块以中生代火山岩和燧石为主,并在中新世在地块北部地区形成一系列陆缘火山弧,主要为地

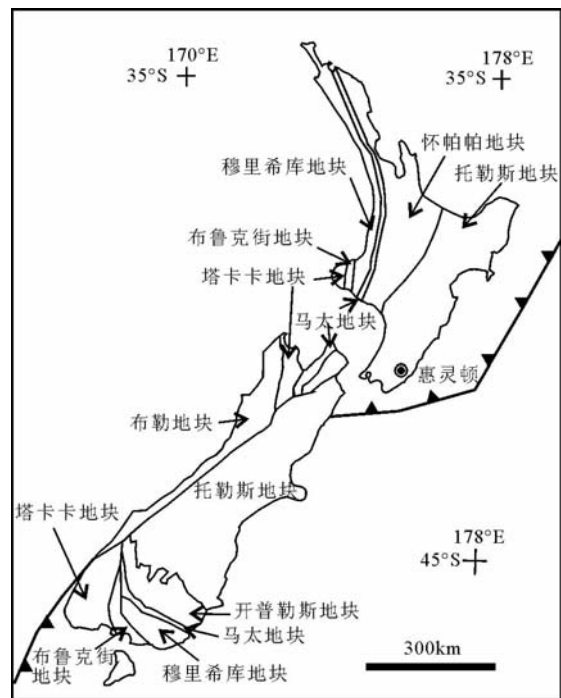


图5 新西兰构造单元简图^[62]

Fig. 5 Tectonic elements of New Zealand

表的钙碱性的安山质—英安质—流纹质火山带。托勒斯地块内主要出露石炭系—下白垩统的杂砂岩,也包括马尔堡、西部地区和奥塔哥地区的哈斯特片岩带,主要由变质杂砂岩和变质泥岩组成,并发育少量变质火山质绿片岩及含锰的变质燧石。

1.3.2 巴布亚新几内亚

巴布亚新几内亚包括弗莱地台、新几内亚造山带、新几内亚群岛地体(美拉尼西亚弧)、太平洋板块、卡洛林板块等构造单元^[4],并具体可分为多个次级构造单元(图6)。

弗莱地台分布于巴布亚新几内亚中央山脉以南低缓平坦的地区,基底为澳大利亚东部古生代造山带的结晶岩系,上覆一套巨厚的、近水平的、大部分未变形的三叠纪—新近纪滨海相和大陆架相的海相沉积岩,它们被第四纪磨拉石堆积覆盖。

新几内亚造山带为弧—陆碰撞造山带,又分为西造山带(高原山区和拉穆—塞皮克地区)和东造山带(巴布亚半岛和巴布亚群岛)。造山带由各种变质变形沉积岩、变质岩和火成岩组成,包括前陆逆断带、岛弧和过渡小洋盆。区内岩浆侵入事件可

分为3期,即马拉穆尼弧和塞皮克弧2期弧岩浆活动,以及在中新世时期以波尔盖拉碱性侵入岩为代表的第3期岩浆侵入活动。造山带内转换断层的发育,主要走向为NNE向。

美拉尼西亚岛弧由一系列现已解体的岛弧组成,处于太平洋板块边缘上,包括新不列颠岛、马努斯岛、新爱尔兰岛、布干维尔岛、所罗门群岛等。所有这些岛屿都发育岛弧枕状熔岩、火山碎屑岩、稀少的辉长岩和少量的泥晶灰岩,伴有发育不等厚的渐新统。侵入岩以中新世中性浅成侵入岩为主。

除此之外,大洋洲地区的外围岛弧区还包括如斐济、新喀里多尼亚、瓦努阿图群岛等地区,其地质特征与巴布亚新几内亚、新西兰等地十分相似,地层均以新生代的海相沉积物、蛇绿混杂岩和岛弧岩浆岩为主。

2 重要构造事件与成矿作用

大洋洲地区丰富的矿产资源、多样的矿化类型与其漫长的构造演化历史是密不可分的,区内从4.4Ga年以来经历了包括太古宙—古元古代陆核生

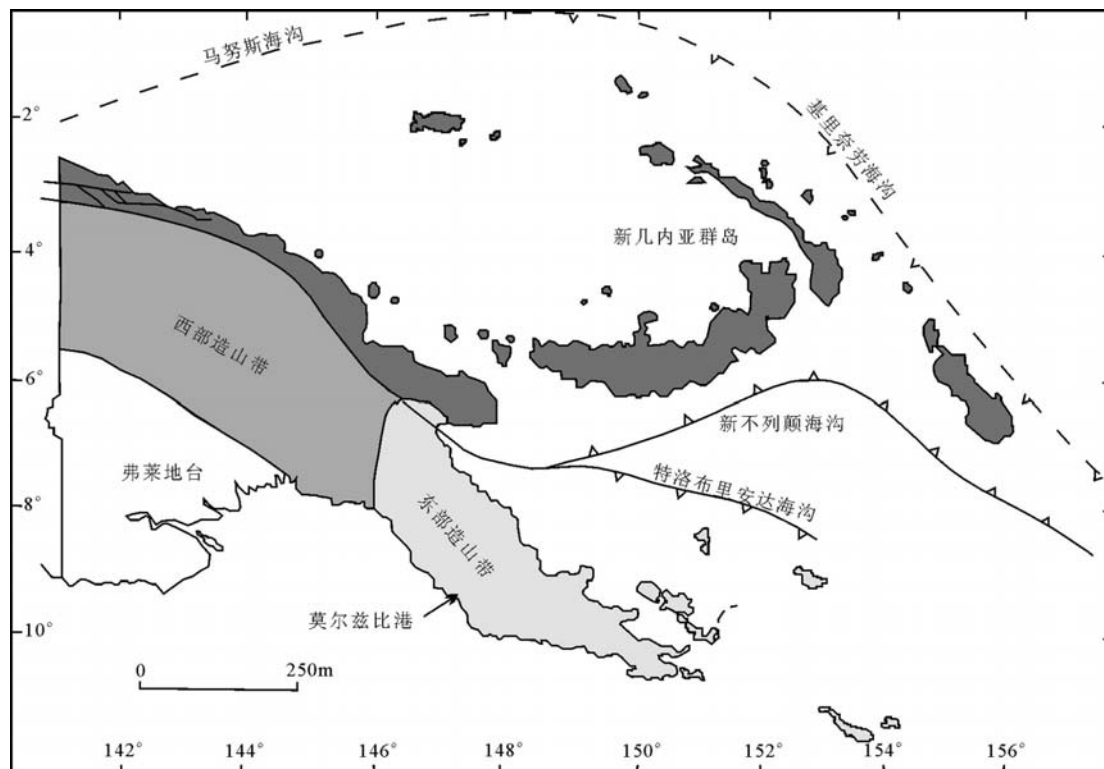


图6 巴布亚新几内亚构造格架^[4]

Fig. 6 Tectonic elements of Papua New Guinea

长期、古中元古代克拉通形成期和中新元古代克拉通演化期、新元古代—古生代澳大利亚东部造山期、中生代现代板块构造活动期等多期构造演化过程,在此过程中形成了不同类型的矿床。

2.1 太古代—古元古代(4.4~2.2Ga)陆核生长与成矿作用的关系

该时期为澳大利亚古陆核包括伊尔岗地块、皮尔巴拉地块和高勒地块的形成时期,也是第1个地壳快速生长期,该时期的地壳运动以垂向运动为主,水平运动相对较少^[64]。

皮尔巴拉地块形成时代最早,作为最古老的瓦尔巴拉(Vaalbara)超级克拉通的一部分,皮尔巴拉地块东、西部在3.6Ga开始形成,伴随着花岗绿岩带的形成在该地区形成了与绿岩带有关的造山型金矿和岩浆型镍矿,在火山岩内发育VHMS型铜矿成矿作用。该地块在2.8Ga左右裂解,裂解过程中,在皮尔巴拉地块南缘形成类似于现今被动大陆边缘环境的哈默斯利盆地,并在盆地内沉积了大量的硅铁建造,为与条带状铁建造有关的沉积变质型铁矿提供了最原始的成矿物质。

伊尔岗地块2.78~2.55Ga时期通过一系列微地块的东西向俯冲作用拼贴在一起,该过程与现代的俯冲过程相似,并导致俯冲带两侧形成了壳幔韧性剪切带,该过程同时引发了地幔物质的上涌,因此沿俯冲带发育大量的绿岩带,其中还夹杂大量的硅铁建造。这些绿岩带中同样发育与绿岩带有关的造山型金矿和与科马提岩有关的岩浆型镍矿,以及VHMS型铜矿成矿作用。

高勒地块此时形成了太古宙的基底,基底形成后在新太古到古元古代时期经历了麻粒岩相变质作用,形成了一种较为特殊的金矿类型“与混合岩有关的金矿(migmatized gold deposit)^[65]”,在该地区地层内同样形成了大量的硅铁建造。

2.2 古元古代—中元古代(2.2~1.3Ga)中西澳克拉通形成与成矿作用

该时期为澳大利亚大陆中西部克拉通形成的主要时期,构造运动主要表现为不同地块之间的拼贴,澳大利亚中西部克拉通的主要组成部分西澳克拉通、北澳克拉通、南澳克拉通在该时期形成,部分克拉通还会聚在一起形成了澳大利亚中西部前寒武纪克拉通的雏形,该时期的构造运动逐渐由垂向运动过渡为水平运动,少数地区表现出现代板块运动的特征^[64]。

皮尔巴拉地块和伊尔岗地块2.20~1.95Ga通过一系列的造山运动沿南回归线造山带固结在一起,形成了西澳克拉通,在造山初期的盆地形成阶段,南回归线造山带的古元古代沉积盆地内发育了沉积型锰矿化、VHMS型铜矿化和层控的铅锌矿化,并在部分地区沉积了大量的硅铁建造。在造山过程中,造山带内的沉积物经过变质作用发育了大量的造山型金矿化,变质作用还对造山带内和哈默斯利盆地内的硅铁建造富集改造并形成了沉积变质型铁矿化^[66]。

北澳克拉通在1.87~1.82Ga时通过巴拉蒙蒂造山运动会聚在一起,该造山运动相继伴随着幕式的裂谷和凹陷盆地发育、地壳缩短、大规模岩浆活动、变质作用等,在北澳克拉通的霍尔斯科里克、派恩斯科里克、滕南特斯科里克和芒特艾萨造山带内均有表现^[64],该过程在北澳大利亚克拉通内部形成了大规模的造山型金矿化和不整合面型铀矿化。

西澳大利亚地区在1.79Ga左右通过亚旁库(Yapungku)造山运动沿派特森造山带与北澳大利亚地区拼贴在一起,而南北澳克拉通的会聚过程则较为复杂,两者在2.5Ga左右曾短暂固结在一起,之后3个克拉通可能再次拼贴在一起形成澳大利亚中、西部前寒武克拉通^[64]。南、北澳大利亚克拉通会聚之后,在其东部发育弧后伸展盆地^[67],并在1.6~1.5Ga转变为造山环境,该构造过程影响了麦克阿瑟盆地、芒特艾萨盆地、乔治敦盆地和柯那莫纳地块,并在这些地区形成了碎屑岩容矿的铅锌矿化、变质型铜矿化、铁氧化物型铜金矿化及少量的夕卡岩型铀矿化。此后莫森(Mawson)地块和高勒地块与西—北澳大利亚克拉通开始分离裂解,裂解事件引发了大规模的双峰式岩浆活动,并在高勒地块内形成了大规模的铁氧化物型铜金铀矿化。

2.3 中新元古代(1.3~0.6Ga)澳大利亚中西部克拉通演化与成矿作用

该时期中西澳克拉通已经基本形成,并处于板内环境,构造活动相对沉寂,主要构造运动为格林维尔造山期造山运动,对中西澳克拉通内部的造山带进行了再造。

格林维尔期造山运动主要发生在1.30~1.10Ga时期,南澳克拉通和北澳克拉通再次拼贴在一起,拼贴作用发生在格林维尔期的玛斯格雷夫造山带和阿尔巴尼—弗雷泽造山带内^[68]。之后,中西澳克

拉通进入板内阶段,相对不稳定的造山带地区由于造山之后的伸展作用在中部活动带和北澳克拉通地区发育大规模的基性—超基性岩浆与碱性的碳酸盐岩岩浆侵入活动,并形成了大规模的与超基性岩有关的铜镍硫化物铂族元素、钒钛磁铁矿矿化和与碳酸盐岩有关的稀土、铀矿化。

在经过1100~850Ma的构造静默期之后,850~600Ma,澳大利亚中西部克拉通进入了长期的裂解期,该裂解过程在NW向的加德纳大火成岩省侵入到北澳大利亚和南澳大利亚及派特森造山带西北部,中央超级盆地也在此时开始形成^[7,69],该裂解过程还最终导致了古太平洋的打开。该期构造活动同样形成了一期与超基性岩有关的铜镍硫化物铂族元素和钒钛磁铁矿矿化。局部地区则发育造山运动,例如此时派特森造山带、阿德莱德褶皱带、平贾拉造山带,形成少量的MVT型铅锌矿床和斑岩型铜金矿化。

2.4 新元古代—古生代(600~250Ma)澳大利亚东部造山期与成矿作用

该时期为作为古冈瓦纳大陆一部分的澳大利亚大陆与古太平洋相互作用期,构造运动表现出明显的与现代板块构造运动相似的特点。该时期构造运动主要发生在澳大利亚大陆的东部,表现为塔斯曼造山运动,其它地区构造活动相对较少。构造运动最早开始于515Ma甚至更早的560Ma,在澳大利亚东南部开始俯冲作用并经历多期构造旋回,形成了澳大利亚东部的大陆壳岩石圈。该时期构造旋回主要有5期:德拉梅里亚期(Deramerian, 515~490Ma)、贝纳布兰期(Benambran, 490~440Ma)、塔伯兰期(Tabberbberan, 440~380Ma)、卡宁布朗期(Kanimblan, 380~350Ma)和亨特—鲍文期(Hunter-Bowen, 350~220Ma)。每期构造旋回持续时间30~130Ma不等,每期构造运动在不同的构造单元内都有所表现。该时期的构造运动表现出后期的构造运动经常叠加在前期构造运动之上,而且整体上从西到东逐渐变新^[70],并且以总体表现为从弧后伸展作用形成弧后盆地开始到以挤压变形事件结束,最后大陆碎片和岛弧都拼贴到澳大利亚大陆之上。该时期伴随着板块之间的俯冲碰撞,发育了具有大陆边缘特色的成矿作用:斑岩型铜金矿化、浅成低温热液型金矿化、VHMS型铜矿化、层控的铅锌矿化与花岗岩有关的钨锡矿化等重要的成矿作用。

2.5 中生代(250Ma至今)现代板块构造演化与成矿作用

该时期为印澳板块、欧亚板块与太平洋板块相互作用期,具有典型的板块构造运动特征,具体表现为多期的岛弧发育、弧陆碰撞、洋壳拼贴、岛弧反转、弧后盆地发育、碰撞造山等过程,主要发生在环太平洋的巴布亚新几内亚、新西兰、斐济、所罗门群岛、新喀里多尼亚等地区。

该地区最早的构造运动可以追溯到志留纪—泥盆纪发生在新西兰西部地区的图胡亚造山运动,造山过程在该地区产生了少量的造山型金矿化,该期金矿化被认为与拉克兰造山带的造山型金矿同时形成。此后,新西兰东部地区在侏罗纪—白垩纪时期发生郎伊塔塔造山运动(Rangitata),该期造山运动在区内形成大量平移断层,典型的如阿尔卑斯断裂,该期造山过程在新西兰东部地区的托勒斯地块形成了大规模的造山型金矿化。新生代时期,由于太平洋板块的俯冲在新西兰北岛地区形成了大规模的钙碱性弧岩浆活动,还形成了大规模的浅成低温热液型金矿化和少量斑岩型铜金矿化。

巴布亚新几内亚的弗莱地台被认为与澳大利亚大陆相连,中生代开始一直处于活动大陆边缘和岛弧环境。此后从古新世开始,地台北部边缘经历了大陆边缘裂谷、火山弧拼贴、俯冲碰撞、弧岩浆活动等一系列地质过程^[71],从而在该区内形成了大量的斑岩型铜金矿化、浅成低温热液型金矿化、VHMS型铜铅锌矿化、红土型镍钴矿化等,其它岛弧地区如所罗门群岛、斐济群岛、瓦努阿图、新喀里多尼亚等地区的构造演化与成矿作用与巴布亚新几内亚相似。

该时期澳大利亚大陆由于表生风化也在克拉通地区形成了大规模的红土型铝土矿化、沉积型锰矿、砂矿等。

3 成矿系列和矿床组合

通过对大洋洲地区构造格架、成矿系列、矿床组合及构造演化历史对成矿作用的控制等多方面的分析,将大洋洲地区分为3个成矿系列:前寒武纪成矿系列、古生代成矿系列和中生代成矿系列,并在此基础上对大洋洲的矿产资源潜力进行分析和评估。

3.1 前寒武纪成矿系列

众所周知,前寒武纪时期是地壳生长的重要时

期,也是许多大型和超大型矿产资源的形成期。在大洋洲表现为澳大利亚中西部克拉通的生长、形成与完善,与之相伴形成了一个完整的成矿系列。根据成矿作用的差别分为6个矿床组合。

(1)克拉通内部与绿岩带有关系的金、铜、镍矿床组合

该矿床组合主要产于西澳克拉通的绿岩带内,矿床类型为绿岩带型金矿和与科马提岩有关的铜镍硫化物矿床。绿岩带型金矿通常沿着断裂带分布,矿床大多赋存在绿岩带内的辉绿岩、硅铁建造中,矿化以石英脉型和蚀变岩型金矿为主,并受到韧性剪切带的控制,矿床成矿时代为新元古代晚期,矿床的形成可能与碰撞造山过程中的变质作用、后期岩浆侵入等过程有关,典型矿床如西澳克拉通的卡尔古利金矿,与科马提岩有关的铜镍硫化物矿床大多赋存在绿岩带内的科马提岩内,以铜镍硫化物型矿化为主,成矿时代为新元古代晚期,典型矿床如芒特基斯镍矿和卡姆巴尔达镍矿。

(2)克拉通边缘与海相沉积作用有关的铁、金、锰矿床组合

该矿床组合产于克拉通边缘的盆地内,矿床类型为与硅铁建造有关的铁矿和沉积型锰矿。与硅铁建造有关的铁矿主要形成于新太古代—古元古代时期,该时期大气和海水中氧含量较低,在克拉通边缘盆地内沉积了大量的硅铁建造,这些硅铁建造开始形成的品位都较低,一般TFe在25%~40%之间,在之后的造山过程中变质富集形成了高品位的铁矿,典型矿床如哈默斯利盆地内的芒特维尔贝克铁矿等;沉积型锰矿多形成于大陆边缘的沉积盆地内,成矿时代从新太古代—中生代,成矿作用与海底火山热液活动有关,典型矿床如哈默斯利盆地内的乌第乌第、北澳克拉通的格鲁特岛等。

(3)造山带中与褶皱造山过程有关的金、铜、铅、锌矿床组合

该矿床组合与造山带的褶皱变形过程有关,矿床类型包括造山型金矿、变质型铜矿、MVT型铅、锌矿等。造山型金矿主要赋存在绿片岩相—角闪岩相的浊积岩内,成矿时代为古元古代,典型矿床如塔纳米金矿;变质型铜矿主要赋存在白云石化的片岩中,成矿时代为中元古代,典型矿床如芒特艾萨;MVT型铅、锌矿床主要赋存在碳酸盐岩内,成矿时代为元古宙。

(4)陆内伸展过程中与岩浆、沉积作用有关的铜、金、铀、铅、锌矿床组合

该类矿床大多分布在克拉通内部,与裂谷或伸展作用有关的岩浆、沉积作用有关。矿床类型包括铁氧化物型铜、金、铀矿床和碎屑岩容矿的铅、锌矿。铁氧化物型铜、金、铀矿床受到断裂控制,并大多与岩浆活动有关,成矿时代为中元古代,典型矿床如奥林匹克坝铜、金、铀矿;碎屑岩容矿的铅、锌矿产于碎屑岩或碳酸盐岩内,成矿时代为中元古代,典型矿床如芒特艾萨铅、锌矿。

(5)陆内深断裂带与基性、超基性和碳酸盐岩岩浆有关的铜、镍、铂族元素、铀、稀土和钒、钛、磁铁矿矿床组合

该矿床组合大多分布在陆内的深断裂带附近,多与地幔相关的岩浆活动有关,矿床类型包括岩浆型铜、镍、铂族元素、钒、钛、磁铁矿矿床和碱性岩,与碳酸盐岩有关的稀土、铀矿床。岩浆型铜、镍、铂族元素、钒、钛、磁铁矿矿床大多分布在元古宙的大火成岩省内的基性—超基性岩体内部,成矿时代为元古宙,典型矿床如内博—巴贝尔;与碳酸盐岩有关的稀土、铀矿床多产于岩体内及其表面的风化壳内,成矿时代为新太古代—元古宙,典型矿床如威尔德山。

(6)以前寒武纪克拉通地质成矿作用的产物为矿源,经后期和表生风化作用而形成的铀、稀土、铝土矿床组合

该矿床组合以前寒武纪克拉通地质成矿作用所形成的产物为矿源,经历次表生风化作用而成矿,它们多分布在盆地或克拉通边缘,矿床类型包括不整合面型铀矿、砂岩型铀矿、钙结砾岩型铀矿、稀土砂矿和红土型铝土矿:不整合面型铀矿主要赋存在太古宙或者古元古代基底地层与盖层之间的不整合面内,成矿时代为中元古代,典型矿床如兰杰铀矿;砂岩型铀矿主要赋存在古近纪—新近纪的古河道内,成矿物质来源于元古宙地层,成矿时代为中生代;钙结砾岩型也产于古近纪—新近纪的古河道,成矿物质来源于新太古代基底地层,典型矿床如伊列列铀矿;稀土砂矿主要产于盆地边缘或者古河道内;红土型铝土矿由富铝的基底地层的风化形成,成矿时代为中新生代,典型矿床如达令山脉的铝土矿。

3.2 古生代成矿系列

古生代是澳大利亚大陆与古太平洋相互作用

的重要时期,该过程在形成澳大利亚东部造山带的同时也在该地区形成了大量的矿床,根据这些矿床的构造背景、岩石类型及组合、主要成矿元素等划分成4个矿床组合。

(1)与岛弧岩浆活动有关的铜、金矿床组合

该类矿床多分布在岛弧岩浆岩中,部分矿床还表现出与碱性岩浆活动有关的特征,矿床类型包括斑岩型铜金矿床和浅成低温热液金矿,成矿时代为古生代,典型矿床如卡迪亚铜金矿和芒特莱松金矿。

(2)弧后盆地与中酸性火山岩有关的铜、铅锌矿床组合

该类矿床多分布与弧后盆地内,并与中酸性火山岩有关,成矿时代为古生代,典型矿床如奎河铜铅锌矿。

(3)褶皱造山带中与花岗岩有关的钨、锡、锑、金矿床组合

该类矿床多分布在造山带内,多与S型和I型花岗岩有关,矿床类型包括与花岗岩有关的钨锡矿床和与侵入岩有关的金锑矿,成矿时代为古生代,典型矿床如希尔格罗夫金锑矿等。

(4)造山带中与褶皱造山过程有关的金矿床组合

该类矿床成矿时代多为古生代,矿床多赋存在逆冲推覆带内,典型矿床如本迪戈金矿。

3.3 中生代成矿系列

中生代时期为印澳板块与太平洋板块、欧亚板块相互作用的重要时期,在大洋洲表现为环太平洋地区地壳的生长及相关矿床的形成,该过程成矿作用多与洋壳有关,根据矿床的构造背景、岩石类型及组合、主要成矿元素等划分成2个矿床组合。

(1)与岛弧岩浆活动有关的铜、金矿床组合

该类矿床分布更为广泛,主要赋存在岛弧岩浆岩带内,矿床类型包括斑岩型铜金矿、夕卡岩型铜金矿、浅成低温热液型金矿和火山喷流沉积铜金矿,成矿时代为中新生—更新世,典型矿床如奥克泰迪铜金矿、波尔盖拉金矿、玛萨希尔金矿等。

(2)与洋壳的表生风化作用有关的镍、钴、铬矿床组合

该类矿床主要与拼贴的洋壳被风化有关,成矿时代为新生代,矿床类型红土型镍钴矿和海滨砂矿,典型矿床如拉穆镍钴矿。

4 矿产资源潜力评估

以澳大利亚为主体的大洋洲一直是传统的矿产资源强国,矿产品出口贸易大国。特别是铁矿、铝土矿、镍矿、铜矿、铅锌矿等支撑着新兴工业化国家的发展与繁荣。

大洋洲矿产资源之所以特别丰富,首先依赖于有利的成矿地质条件,该区发育3个宏伟的成矿系列,蕴藏着世界上许多著名的矿床组合和矿床类型;其次,该区蕴藏着不少世界级超大型矿床,如哈默斯利超大型铁矿、奥林匹克坝超大型铜金铀矿、韦帕—米切尔大型—超大型铝土矿、芒特基斯和卡姆巴尔达大型—超大型科马提岩型镍铜矿,布罗肯希尔、麦克阿瑟河、芒特艾萨元古宙沉积变质型铅锌铜矿等。

区内铁矿资源特别丰富,品位甚高,世界上很多国家由澳大利亚进口铁矿石,这以哈默斯利盆地的铁矿为代表,该矿床规模大、品位高,前寒武纪火山沉积作用奠定了其成矿的基础,在之后的区域变质作用和风化过程中硅钙质淋失,Fe元素相对富集,形成了高品位的铁矿石。该矿床铁矿石储量达到 $3.20 \times 10^8 \text{t}$,品位达到60%,远景资源量 $6.0 \times 10^8 \text{t}$ 。澳大利亚中西部前寒武纪地块发育,已发现同类型矿床数十处,找矿前景乐观。

区内锰矿资源也很可观,西澳克拉通皮尔巴拉地块的皮克希尔中元古代沉积变质型锰矿储量达到 $3.3 \times 10^8 \text{t}$ 。北澳克拉通麦克阿瑟盆地的格鲁特岛早白垩世海相沉积型锰矿储量达 $2.5 \times 10^8 \text{t}$ 。该区相似的成矿条件甚多,找矿前景甚好。

区内铝土矿资源尚佳。前寒武纪花岗岩片麻岩地体经新生代风化红土化而成的铝土矿资源丰富,如伊尔岗地块西南片麻岩地体的达令矿区储量达到 $10 \times 10^8 \text{t}$,金伯利地块的米切尔矿储量达到 $12 \times 10^8 \text{t}$;中新生代海相碎屑岩、粘土岩和碳酸盐岩的风化剥蚀面上发展起来的铝土矿,如北澳克拉通的韦帕铝土矿储量达到 $25 \times 10^8 \text{t}$ 。大洋洲地区相似的成矿地质条件较多,找矿潜力巨大。

区内镍矿资源前景较好。科马提岩型镍铜矿床在西澳克拉通的太古宙—古元古代绿岩带内特别发育,镍矿储量超过 $6.0 \times 10^6 \text{t}$ 。基型—超基性火山岩经过风化作用形成的镍矿在新喀里多尼亚、东澳大利亚和巴布亚新几内亚广泛分布,部分矿床镍

矿资源量在 2.0×10^6 t以上,找矿前景较大。

区内铜矿的控矿条件多样,矿床类型众多,大型—超大型矿床有:西澳前寒武纪科马提岩型铜镍矿、南澳高勒地块前寒武纪奥林匹克坝铜金铀矿、北澳克拉通前寒武纪芒特艾萨沉积变质型铜铅锌矿、东部拉克兰造山带内古生代火山喷流沉积型铜矿、环太平洋新生代弧后环境火山喷流沉积型铜矿、潘古那斑岩型铜矿等。相似的成矿地质条件宽广,找矿前景喜人。

区内铅锌矿资源也十分丰富,以中元古代沉积型矿床为主,超大型矿床有布罗肯希尔、麦克阿瑟河、芒特艾萨、希尔顿铅锌矿等,另外在东部还有伍德朗中晚志留世火山岩型铅锌矿,储量都在 10.0×10^8 t之上,找矿前景良好。

金矿在澳大利亚点多面广。西澳克拉通是最重要的产金区,金矿多集中在太古宙绿岩带内,主要是变质热液型含金石英脉,典型矿山是戈尔登迈尔,已累计生产黄金1200t,金品位为11.9g/t。其它还有南澳克拉通的奥林匹克坝铜金铀矿,金储量达到1000t,品位为0.6g/t。布丁顿金矿是由基型—超基性岩石经风化淋滤而形成的红土型金矿,储量为200t,品位为2g/t,最高者可达到16~19g/t,矿床以露天方式开采,年产金5.1t。巴布亚新几内亚有利希尔岛、波尔盖拉、弗里达河等多处金矿,储量都在300t以上,品位为0.22~3.1g/t。新西兰金矿科罗曼多尔半岛的浅成低温热液型金矿矿集区已累计产金320t。斐济恩佩罗新近纪火山热液型金矿储量达到140t,品位7.8~31g/t。总之,大洋洲地区金矿成矿条件十分多样,因而找矿前景非常好。

此外,大洋洲其它矿产资源如铀矿、稀土矿等都具有较好的找矿前景。综上所述,大洋洲地区成矿条件优越,应该调动一切积极因素,加大找矿力度,为促进中国企业“走出去”,贯彻“两种资源,两个市场”资源战略而努力。

致谢:对中国地质调查局发展研究中心邱瑞照研究员及中国地质调查局南京地质调查中心张传林研究员在本文修改过程中给予的指导致以诚挚的谢意。

参考文献

- [1]Foster D A, Gray D R. Evolution and structure of the Lachlan Fold Belt (Orogen) of eastern Australia[J]. Annual review of earth and planetary sciences, 2000, 28: 47–80.
- [2]Myers J S, Shaw R D, Tyler I M. Tectonic evolution of Proterozoic Australia[J]. Tectonics, 1996, 15: 1431–1446.
- [3]Mortimer N. Origin of the Torlesse terrane and coeval rocks, North Island, New Zealand[J]. International geology review, 1994, 36: 891–910.
- [4]Williamson A, Hancock G. The geology and mineral potential of Papua New Guinea[M]. Port Moresby: Papua New Guinea Department of Mining, 2005.
- [5]Myers J S. Precambrian tectonic evolution of part of Gondwana, southwestern Australia[J]. Geology, 1990, 18: 537–540.
- [6]Veevers J. Gondwanaland from 650–500Ma assembly through 320Ma merger in Pangea to 185–100Ma breakup: supercontinental tectonics via stratigraphy and radiometric dating[J]. Earth–Science Reviews, 2004, 68: 1–132.
- [7]Walter M, Veevers J, Calver C, et al. Neoproterozoic stratigraphy of the Centralian Superbasin, Australia[J]. Precambrian Research, 1995, 73:73–195.
- [8]Myers J S. Precambrian Tectonic History of the West Australian Craton and Adjacent Orogens[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1993, 21:53–485.
- [9]Barley M, Loader S, McNaughton N. 3430 to 3417Ma calc–alkaline volcanism in the McPhee Dome and Kelly Belt, and growth of the eastern Pilbara Craton[J]. Precambrian Research, 1998, 88: 3–23.
- [10]Wellman P. Upper crust of the Pilbara Craton, Australia: 3D geometry of a granite/greenstone terrain[J]. Precambrian Research, 2000, 104: 175–186.
- [11]Buick R, Thorne J, McNaughton N, et al. Record of emergent continental crust~3.5 billion years ago in the Pilbara craton of Australia[J]. Nature, 1995, 375: 574–577.
- [12]Smith J, Barley M, Groves D, et al. The Sholl Shear Zone, West Pilbara: evidence for a domain boundary structure from integrated tectonostratigraphic analyses, SHRIMP U–Pb dating and isotopic and geochemical data of granitoids[J]. Precambrian Research, 1998, 88: 143–171.
- [13]Martin D M B, Li Z, Nemchin A, et al. A pre–2.2Ga age for giant hematite ores of the Hamersley Province, Australia[J]. Economic Geology, 1998, 93: 1084–1090.
- [14]Nelson D. Evolution of the Archaean granite–greenstone terranes of the Eastern Goldfields, Western Australia: SHRIMP U–Pb zircon constraints[J]. Precambrian Research, 1997, 83: 57–81.
- [15]Bateman R, Costa S, Swe T, et al. Archaean mafic magmatism in the Kalgoorlie area of the Yilgarn Craton, Western Australia: a geochemical and Nd isotopic study of the petrogenetic and tectonic evolution of a greenstone belt[J]. Precambrian Research, 2001, 108: 75–112.
- [16]Archibald N. An allochthonous model for greenstone belt evolution in the Menzies–Worseman area, Eastern Goldfields Province: implications for gold mineralisation[C]//Woods S E. Geodynamics and Gold Exploration in the Yilgarn Workshop Abstracts.Place Australian Geodynamics Cooperative Research Centre, 1998: 10–16.
- [17]Pirajno F, Jones J, Hocking R, et al. Geology and tectonic evolu-

- tion of Palaeoproterozoic basins of the eastern Capricorn Orogen, Western Australia[J]. *Precambrian Research*, 2004, 128: 315–342.
- [18] Martin D M, Thorne A. Tectonic setting and basin evolution of the Bangemall Supergroup in the northwestern Capricorn Orogen[J]. *Precambrian Research*, 2004, 128: 385–409.
- [19] Crispe A, Vandenberg L, Scrimgeour I. Geological framework of the Archean and Paleoproterozoic Tanami Region, Northern Territory[J]. *Mineralium Deposita*, 2007, 42: 3–26.
- [20] Gunn P, Meixner A. The nature of the basement to the Kimberley Block, Northwestern Australia[J]. *Exploration Geophysics*, 1998, 29: 506–511.
- [21] Blake D H, Tyler I, Page R W. Regional geology of the Halls Creek orogen[C]//Hoatson D M, Blake D H. *Geology and Economic Potential of the Palaeoproterozoic Layered Mafic – Ultramafic Intrusions in the East Kimberley, Western Australia* Place AGSO Bulletin, 2000: 35–62.
- [22] Tyler I. Australia: Proterozoic[C]//Selley R C, Cocks L R M, Plimer I R. *Encyclopedia of Geology* Place Elsevier, 2005: 208–221.
- [23] Neumann N L, Fraser G L. Geochronological synthesis and time–space plots for Proterozoic Australia[M]. *Geoscience Australia*, 2007.
- [24] Pietsch B, Edgoose C. The stratigraphy, metamorphism and tectonics of the early Proterozoic Litchfield Province and western Pine Creek Geosyncline, Northern Territory[J]. *Precambrian Research*, 1988, 40: 565–588.
- [25] Bagas L, Bierlein F P, English L, et al. An example of a Palaeoproterozoic back–arc basin: Petrology and geochemistry of the ca. 1864Ma Stubbins Formation as an aid towards an improved understanding of the Granites–Tanami Orogen, Western Australia[J]. *Precambrian Research*, 2008, 166: 168–184.
- [26] Cross A, Crispe A. SHRIMP U–Pb analyses of detrital zircon: a window to understanding the Paleoproterozoic development of the Tanami Region, northern Australia[J]. *Mineralium Deposita*, 2007, 42: 27–50.
- [27] Blake D H, Hodgson I M, Smith P A. *Geology of the Birrindudu and Tanami 1: 250000 Sheet Areas, Northern Territory*[M]. Australian Government Publishing Service, 1975.
- [28] Mendum J, Tonkin P. *Geology of Tennant Creek 1:250,000 sheet area, Northern Territory*[J]. *BMR Rec*, 1976, 68.
- [29] Claué–Long J. Event chronology in the Arunta region[C]//AG–ES Conference Abstracts Volume. Alice Springs: Northern Territory Geological Survey, 2003: 23–24.
- [30] Hoatson D, Stewart A. Field Investigations of Proterozoic Mafic–Ultramafic Intrusions in the Arunta Province, Central Australia[J]. *Geoscience Australia Record*, 2001, 39: 87.
- [31] Blake D H, Pillinger D M. *Geology of the Mount Isa inlier and environs, Queensland and Northern Territory*[M]. Australian Government Pub. Service, 1987.
- [32] Bierlein F P, Black L P, Hergt J, et al. Evolution of Pre–1.8Ga basement rocks in the western Mt Isa Inlier, northeastern Australia—Insights from SHRIMP U–Pb dating and in–situ Lu – Hf analysis of zircons[J]. *Precambrian Research*, 2008, 163: 159–173.
- [33] Black L, Gregory P, Withnall I, et al. U–Pb zircon age for the Etheridge Group, Georgetown region, north Queensland: Implications for relationship with the Broken Hill and Mt Isa sequences[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1998, 45: 925–935.
- [34] Cihan M, Evins P, Lisowiec N, et al. Time constraints on deformation and metamorphism from EPMA dating of monazite in the Proterozoic Robertson River Metamorphics, NE Australia[J]. *Precambrian Research*, 2006, 145: 1–23.
- [35] Parker A, Lemon N. Reconstruction of the early Proterozoic stratigraphy of the Gawler Craton, South Australia[J]. *Journal of the Geological Society of Australia*, 1982, 29: 221–238.
- [36] Hoek J, Schaefer B. Palaeoproterozoic Kimban mobile belt, Eyre Peninsula: timing and significance of felsic and mafic magmatism and deformation[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1998, 45: 305–313.
- [37] Schwarz M. A plate margin setting for the evolution of the southern Gawler Craton: evidence from detrital zircon and Sm–Nd isotopic data of the Hutchison Group[C]//Geological Society of Australia Abstracts, 2002, Geological Society of Australia, 1999.
- [38] Ferris G M, Schwarz M P, Heithersay P. The geological framework, distribution and controls of Fe–oxide and related alteration, and Cu–Au mineralisation in the Gawler craton, South Australia. Part I: geological and tectonic framework[J]. *Hydrothermal iron oxide copper–gold and related deposits: A global perspective*, 2002, 2: 9–31.
- [39] Swain G, Barovich K, Hand M, et al. Petrogenesis of the St Peter Suite, southern Australia: arc magmatism and Proterozoic crustal growth of the South Australian Craton[J]. *Precambrian Research*, 2008, 166: 283–296.
- [40] Fanning C, Reid A, Teale G. A geochronological framework for the Gawler Craton, South Australia[J]. *South Australia Geological Survey Bulletin*, 2007, 55: 80.
- [41] Stevens B, Barnes R, Brown R, et al. The Willyama Supergroup in the Broken Hill and Eurioiwie Blocks, New South Wales[J]. *Precambrian Research*, 1988, 40: 297–327.
- [42] Conor C H, Preiss W V. Understanding the 1720~1640Ma Palaeoproterozoic Willyama Supergroup, Curnamona Province, South-eastern Australia: Implications for tectonics, basin evolution and ore genesis[J]. *Precambrian Research*, 2008, 166: 297–317.
- [43] Gibson G, Rubenach M, Neumann N, et al. Syn–and post–extensional tectonic activity in the Palaeoproterozoic sequences of Broken Hill and Mount Isa and its bearing on reconstructions of Rodinia[J]. *Precambrian Research*, 2008, 166: 350–369.
- [44] Preiss W. The Adelaide Geosyncline of South Australia and its significance in Neoproterozoic continental reconstruction[J]. *Precambrian Research*, 2000, 100: 21–63.
- [45] Bagas L. Proterozoic evolution and tectonic setting of the north-

- west Paterson Orogen, Western Australia[J]. Precambrian Research, 2004, 128: 475–496.
- [46]Hickman A, Bagas L. Geology of the Rudall 1:100000 sheet, Western Australia[M]. Western Australia Geological Survey, 1998.
- [47]Bagas L, Smithies R. Geology of the Connaughton 1:100 000 sheet [M]. Geological Survey of Western Australia, 1998.
- [48]Edgoose C, Scrimgeour I R, Close D, et al. Geology of the Musgrave Block, Northern Territory[M]. Northern Territory Geological Survey, 2004.
- [49]Smithies R, Howard H, Evins P, et al. The west Musgrave Complex—some new geological insights from recent mapping, geochronology, and geochemical studies[M]. Geological Survey of Western Australia, 2008.
- [50]Wade B P, Kelsey D E, Hand M, et al. The Musgrave Province: stitching north, west and south Australia[J]. Precambrian Research, 2008, 166: 370–386.
- [51]Wingate M T, Pirajno F, Morris P A. Warakurna large igneous province: A new Mesoproterozoic large igneous province in west-central Australia[J]. Geology, 2004, 32: 105–108.
- [52]Nelson D R. Compilation of SHRIMP U–Pb zircon geochronology data 1994[M]. Geological Survey of Western Australia, 1995.
- [53]Fletcher I R, Myers J S, Ahmat A L. Isotopic evidence on the age and origin of the Fraser Complex, Western Australia: a sample of Mid-Proterozoic lower crust[J]. Chemical Geology: Isotope Geoscience section, 1991, 87: 197–216.
- [54]Condie K, Myers J. Mesoproterozoic Fraser Complex: geochemical evidence for multiple subduction-related sources of lower crustal rocks in the Albany–Fraser Orogen, Western Australia[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1999, 46: 875–882.
- [55]Cobb M, Cawood P, Kinny P, et al. SHRIMP U–Pb zircon ages from the Mullingarra Complex, Western Australia: Isotopic evidence for allochthonous blocks in the Pinjarra Orogen and implications for East Gondwana assembly[C]//Geological Society of Australia Abstracts, 2001, Geological Society of Australia; 1999: 21–22.
- [56]Collins A, Fitzsimons I. Structural, isotopic and geochemical constraints on the evolution of the Leeuwin Complex, southwest Australia[C]//Geological Society of Australia Abstracts, 2001, Geological Society of Australia; 1999: 16–19.
- [57]Champion D C, Australia G. Geodynamic synthesis of the Phanerozoic of Eastern Australia and implications for metallogeny[M]. Geoscience Australia, 2009.
- [58]Marshak S, Flottmann T. Structure and origin of the Fleurieu and Nackara Arcs in the Adelaide fold-thrust belt, South Australia: salient and recess development in the Delamerian Orogen[J]. Journal of structural geology, 1996, 18: 891–908.
- [59]Bierlein F P, Gray D R, Foster D A. Metallogenic relationships to tectonic evolution—the Lachlan Orogen, Australia[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 202: 1–13.
- [60]Flood P, Aitchison J. Tectonostratigraphic terranes of the southern part of the New England Orogen[J]. New England Orogen Tectonics and Metallogenesis, 1988, 7: 539–544.
- [61]Kositcin N, Huston D L, Champion D C, et al. Geodynamic synthesis of the north Queensland region and implications for metallogeny[M]. Geoscience Australia, 2009.
- [62]Mortimer N. New Zealand's geological foundations[J]. Gondwana Research, 2004, 7: 261–272.
- [63]Brathwaite R L, Pirajno F. Metallogenic map of New Zealand[M]. Institute of Geological & Nuclear Sciences Ltd, 1993.
- [64]Betts P, Giles D, Lister G S, et al. Evolution of the Australian lithosphere[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 2002, 49: 661–695.
- [65]Tomkins A G, Mavrogenes J A. Mobilization of Gold as a Polymetallic Melt during Pelite Anatexis at the Challenger Deposit, South Australia: A Metamorphosed Archean Gold Deposit[J]. Economic Geology, 2002, 97: 1249–1271.
- [66]Occhipinti S, Swager C, Pirajno F. Structural–metamorphic evolution of the Palaeoproterozoic Bryah and Padbury Groups during the Capricorn orogeny, Western Australia[J]. Precambrian Research, 1998, 90: 141–158.
- [67]Southgate P, Bradshaw B, Domagala J, et al. Chronostratigraphic basin framework for Palaeoproterozoic rocks (1730–1575Ma) in northern Australia and implications for base-metal mineralisation[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 2001, 47: 461–483.
- [68]Clarke G, Sun S, White R. Grenville-age belts and associated older terranes in Australia and Antarctica[J]. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 1995, 16: 25–40.
- [69]Powell C M A, Preiss W, Gatehouse C, et al. South Australian record of a Rodinian epicontinental basin and its mid-Neoproterozoic breakup (~700Ma) to form the Palaeo-Pacific Ocean[J]. Tectonophysics, 1994, 237: 113–140.
- [70]Champion D C. Geodynamic synthesis of the Phanerozoic of Eastern Australia and implications for metallogeny[M]. Canberra: Geoscience Australia, 2009.
- [71]Hill K, Hall R. Mesozoic–Cenozoic evolution of Australia's New Guinea margin in a west Pacific context[J]. Special papers—geological society of America, 2003, 372: 265–290.