

# Metallogenic Stages and Ore Source Discussion of Greenstone Belt Type Gold Deposits in Western Shandong Province

Ruitao Qin, Tiantao Yin\*, Mingzhang Peng, Weihong Yang, Hang Yin

Shandong Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Ji'nan Shandong  
Email: qrt803@163.com, \*derek0408@163.com

Received: Aug. 6<sup>th</sup>, 2020; accepted: Aug. 19<sup>th</sup>, 2020; published: Aug. 26<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Typical greenstone belt type gold deposits are developed in western Shandong Province. From the perspective of continental crust evolution, the metallogenic stages and ore sources of greenstone belt type gold deposits in the study area are discussed by combining petrology and geochemistry with examples of gold deposits. The results show that the period of greenstone formation (2700~2600 MA) is probably rich in gold deposits. The ore-forming materials of gold deposits mainly come from the large-scale basic volcanic activities in the Neoproterozoic. The intrusion of TTG rock series intensified the migration and enrichment of Au elements. After regional metamorphism, the developed ductile shear zone provides the migration path of ore bearing fluid and forms gold bodies in the ore hosting structure.

## Keywords

Greenstone Belt, Taishan Rock Group, Neoproterozoic, Luxi Area

# 鲁西地区绿岩带型金矿成矿期次及其矿源讨论

秦瑞涛, 殷天涛\*, 彭明章, 杨伟红, 尹 行

中化地质矿山总局山东地质勘查院, 山东 济南  
Email: qrt803@163.com, \*derek0408@163.com

收稿日期: 2020年8月6日; 录用日期: 2020年8月19日; 发布日期: 2020年8月26日

## 摘 要

鲁西地区发育典型的绿岩带型金矿, 在这里, 我们以陆壳演化为视角, 通过岩石学、地球化学结合金矿床实例讨论研究区绿岩带型金矿成矿期次及其矿源。结果表明, 大约(2700~2600 Ma)为绿岩建造时期,

\*通讯作者。

可能富含金矿，金矿成矿物质主要来源于新太古代大规模的基性火山活动，TTG岩系的侵入加剧了Au元素的迁移富集，经过区域变质作用，发育的韧性剪切带提供了含矿流体的运移途径，在容矿构造部位形成金矿体。

## 关键词

绿岩带，泰山岩群，新太古代，鲁西地区

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

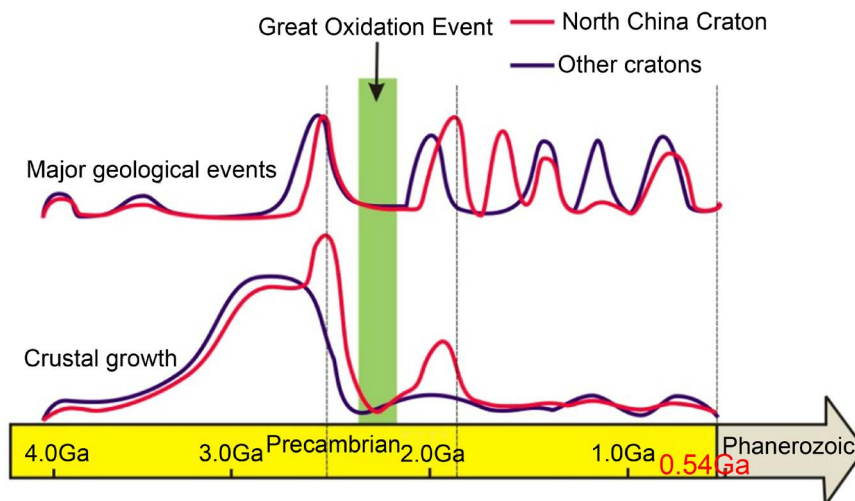
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

华北克拉通是亚洲最古老的克拉通，是我国面积最大，出露最完整的早前寒武纪稳定陆块，是研究前寒武纪陆壳演化的理想场所[1] [2]，近年来成为地质界的研究热点，对华北克拉通新太古代构造、陆壳演化、岩浆事件及构造机制等主要地质事件通过锆石测年、同位素分析、超级大陆对比等方法进行了多方面的研究[3]-[8]；研究表明华北克拉通的主要地壳演化事件在 2.7 Ga 年，主要表现为大规模的地壳生长，与全球主要地壳形成的时间一致[9]，重大事件则在 2.5 Ga (图 1)，主要表现为大规模岩浆活动[10] [11] [12] [13]。其前寒武纪陆壳生长 - 稳定化过程具有多阶段，其复杂程度超过了世界上许多克拉通地区[11]，由此形成了华北克拉通丰富的矿产资源[14]。



**Figure 1.** The main geological events and crustal growth maps of the Precambrian in North China Craton and their global correlation (from Zhai and Santosh, 2013) [11]

**图 1.** 华北克拉通前寒武纪主要地质事件和地壳生长示意图及其全球性的相关性(据 Zhai and Santosh, 2013) [11]

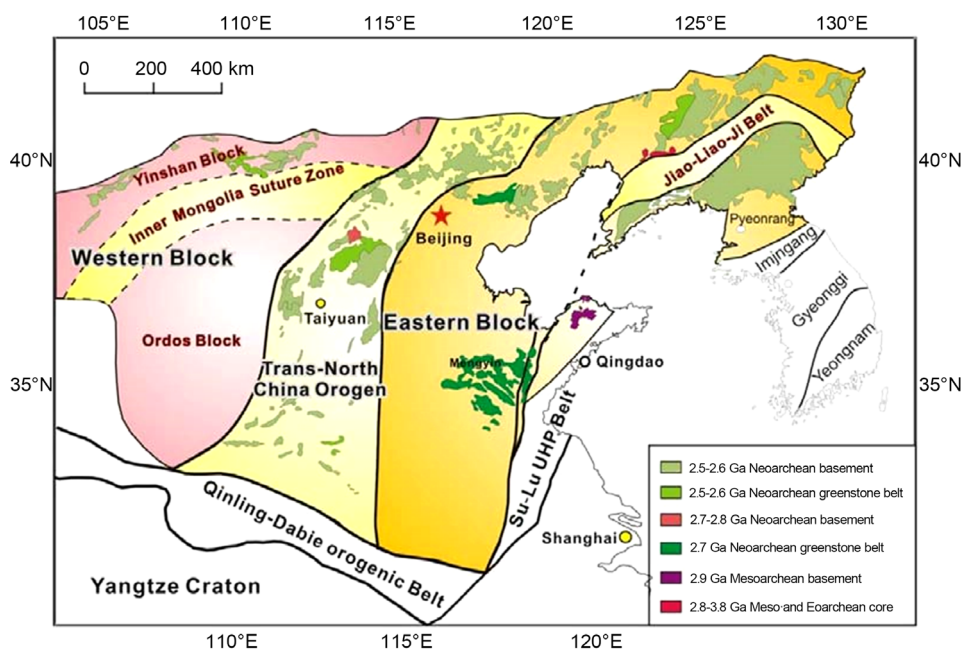
前人的工作多对华北地区绿岩带型金矿矿床类型、矿床特征等进行研究，诸如鲁西绿岩带型金矿床特征[15] [16]；鲁西金矿类型研究[17] [18]；鲁西绿岩带型金矿源层讨论[19]等，而有关鲁西地区绿岩带型金矿的控矿因素、成矿期次以及矿源的研究则较少。因此，本文以陆壳演化为视角结合鲁西地区绿岩带型金矿源层泰山岩群雁翎关组进行研究，并以矿床实例来探讨鲁西地区绿岩带型金矿成矿期次及矿

源, 以进一步指导勘探。

从全球而言, 不同学者对多地绿岩带年代学、岩石学、与金矿的关系等方面进行了研究, EG Nisbet (1987) [20]对津巴布韦来自贝林圭绿岩带的 2.7 Ga 科马提岩进行了研究; J Ayer (2002) [21]基于 U-Pb 年代学对南非阿伯特比绿岩带演化进行了研究; PHGM Dirks (2013) [22]对南非巴伯顿绿岩带的应力分析进行了研究; 对于西澳大利亚东部金矿田新太古代绿岩带的岩层也进行了研究(CP Swager, 1997) [23]。以上众多学者对不同地区绿岩带型金矿的研究为本次研究提供了良好的思路。

## 2. 鲁西绿岩带地质特征

鲁西地块泛指郯庐断裂带以西地区, 位于华北克拉通东部, 是我国发育绿岩带的典型地区(图 2)。华北克拉通是我国最古老的陆块, 经历了原始陆核发生, 克拉通基底形成, 再到中生代的克拉通化多个演化阶段, 并形成众多金成矿区[24]。近年以来, 众多学者对鲁西地区早前寒武纪地质研究以及所处的华北克拉通形成演化及其与金矿成矿作用的关系和鲁西绿岩带金矿进行了较多研究[11] [14] [15] [25]-[33]。



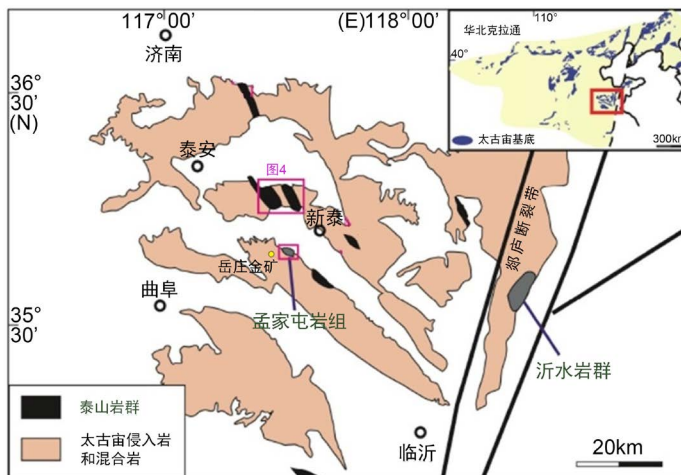
**Figure 2.** Distribution map of tectonic framework and greenstone belt in North China Craton (modified from Zhao *et al.*, 2005; Yang, 2016) [13] [34]

**图 2.** 华北克拉通构造格架、绿岩带分布图(据 Zhao *et al.*, 2005; 阳琼艳, 2016 修改) [13] [34]

绿岩带指主要形成于太古宙的表壳岩系。鲁西地区表壳岩见图(图 3), 鲁西绿岩带型金矿成矿物质的主要来源为泰山岩群[17]。泰山岩群自下而上划分为孟家屯岩组、雁翎关组、山草峪组、柳杭组, 总厚度大于 4000 m [35] [36], 主要分布于鲁西隆起区中部的泰山、新甫山、蒙山 3 个次级凸起构造单元中。

研究区位于郯庐断裂带西侧, 处于华北地台鲁西地块的鲁中隆起区, 其中泰山、新甫山、蒙山三个凸起以早前寒武纪侵入岩为主, 泰山岩群呈孤岛状残留, 这在全球克拉通表壳岩上也属于仅有的表现状态。

鲁西绿岩带发育典型的科马提岩, 并显示完整的超基性岩(U) - 基性火山岩(B) - 碎屑沉积岩(S), 三位一体旋回性组合[19]。鲁西绿岩带形成时间约在 2750~2540 Ma, 地质年代为新太古代[36] [38]。



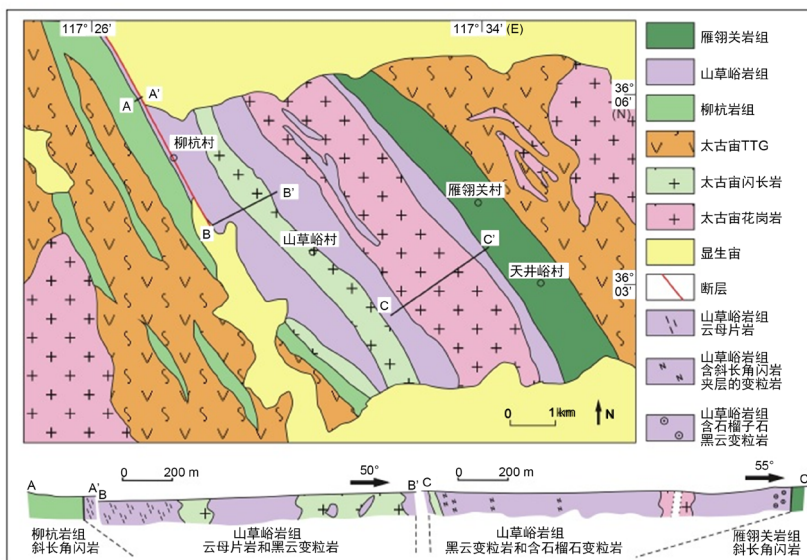
**Figure 3.** Distribution map of Archean crust rocks in western Shandong (modified from Cao *et al.*, 1996; Wang, 2016) [29] [37]  
**图 3.** 鲁西地区太古宙表壳岩分布图(据曹国权, 1996; 王伟等, 2016) [29] [37]

### 3. 表壳岩特征

以泰山岩群为代表的表壳岩系是鲁西新太古代早期-2.7 Ga 和晚期-2.5 Ga 两次火山 - 沉积作用的产物[37]。

泰山岩群中存在高金背景层位, 具有较丰富的金成矿物质来源。其中雁翎关组以斜长角闪岩为主, 次为角闪变粒岩。雁翎关组的下部为厚层超镁铁质岩和具有变余鬣刺结构的科马提岩残余, 是华北克拉通绿岩带特有的标志。旋回性在绿岩带中普遍存在, 特别是雁翎关组下部发育科马提岩, 组成由超基性火山岩-基性火山岩以及上部沉积岩系的三位一体岩石组合的旋回性, 在泰山岩群中比较典型, 作为本文的主要分析对象。

雁翎关岩组由斜长角闪岩、透闪石 - 阳起石片岩和一些变粒岩组成, 原岩为超镁铁质 - 镁铁质熔岩, 在新泰市北雁翎关村一带出露, 宽度约-1.2 km (图 4)。代表了两个基性和超基性火山岩结构的喷发旋回。

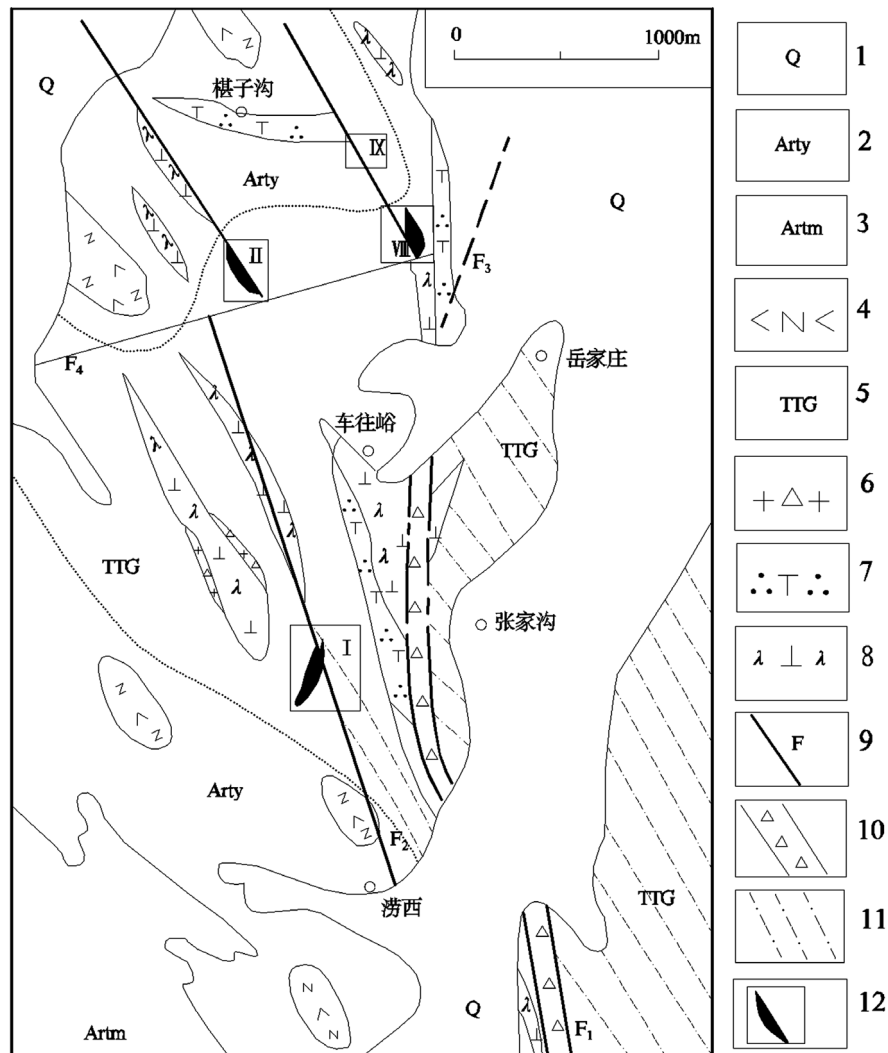


**Figure 4.** Geological map of Yanling Guan area in western Shandong Province (modified from Wan *et al.*, 2012) [39]  
**图 4.** 鲁西雁翎关地区地质简图(据 Wan 等(2012)修改) [39]

#### 4. 矿床特征

鲁西地区绿岩带泛指郯庐断裂带以西的泰山岩群，自 20 世纪 60 年代开始对其进行系统研究，绿岩带型金矿是鲁西地区主要金矿类型之一。其发育在鲁西地块的花岗-绿岩内[40]，遭到中低级变质相系角闪岩相-绿片岩相变质。

岳庄金矿区位于蒙山凸起北部，产于鲁西地区泰山岩群雁翎关组中(图 5)，岩性为斜长角闪岩为主夹变粒岩、片岩等，原岩为基性火山岩及海相沉积岩。含金背景值较高。



1.第四系；2.泰山岩群雁翎关岩组；3.泰山岩群孟家屯岩组；4.斜长角闪岩；5.英云闪长岩；6.隐爆角砾岩；7.花岗闪长斑岩；8.石英闪长玢岩；9.断层及编号；10.断裂带；11.糜棱岩；12.金矿体

**Figure 5.** Geological sketch map showing the Yuezhuang gold district in Xintai city (modified from Wang *et al.*, 2005) [16]

**图 5.** 新泰市岳庄金矿区地质图(据王虹等 2005 修改) [16]

矿化带产于蒙山韧性剪切带北段，矿体多呈脉状，走向北西-近南北，倾角  $40^{\circ}\sim 78^{\circ}$ ，最长矿体 280 m，短的数十米，矿石类型为黄铁矿化构造蚀变岩，滑石透闪片岩和石英脉。最高品位  $3.63 \times 10^{-6}$ ，最小值为  $1.00 \times 10^{-6}$ ，平均值  $1.71 \times 10^{-6}$ ，品位变化系数 44%。矿体围岩为奥长花岗岩和雁翎关组二段角闪岩、透闪片岩。

矿石结构为花岗结构、交代结构等，矿石构造有碎裂状构造、片状构造、浸染状构造等。根据宏观、微观观测，矿石矿物成分由金属矿物、非金属矿物组成，其中金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿等；非金属矿物主要有石英、绢云母、长石、透闪石、阳起石及少量黑云母等；自然金主要为粒状、少数呈树枝状、板状等。矿石交代与围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、绢云母化等。岳庄矿区岩样元素地球化学数据见表(表 1)。

**Table 1.** Statistics of geochemical parameters of each element in the rock sample

**表 1.** 岩样中各元素地球化学参数统计表

类别	岩石名称	Au $\times(10)^{-9}$			Ag $\times(10)^{-9}$			Pb $\times(10)^{-9}$			Zn $\times(10)^{-9}$			样品数
		$\bar{X}$	S	Cv	$\bar{X}$	S	Cv	$\bar{X}$	S	Cv	$\bar{X}$	S	Cv	
太古代变质岩	黑云斜长片麻岩	3.4	1.6	0.5	34.9	4.8	0.14	5.2	2.2	0.4	35.2	33.3	0.9	7
	角闪石、斜长角闪岩	17.8	16.4	0.9	54.0	22.7	0.4	4.6	3.1	0.71	84.3	107.6	0.6	6
岩浆岩	石英脉	2.8	1.1	0.4	69.8	52.1	0.8	30.5	34.7	1.1	22.6	10.4	0.6	4
燕山期侵入岩	花岗斑岩	4.9	2.1	0.4	215	314.7	1.46	4.8	3.0	0.6	10.6	7.8	0.7	4
	闪长玢岩	4.7	2.1	0.5	48.0	25.0	0.5	8.9	11.4	1.3	38.0	33.0	0.9	11
接触蚀变带	蚀变岩	21.7	11.0	0.5	94.5	103.4	1.09	10.9	13.4	1.2	50.0	23.8	0.5	6
断裂带	碎裂岩、断层角砾岩、糜棱岩	110.9	71.3	0.6	63.8	16.0	0.25	10.2	3.2	0.31	140.0	57.5	0.41	5

$\bar{X}$ : 平均值, S: 离差, Cv: 变异系数, N: 样品个数。

表 1 来源: 山东省新泰市岳家庄工区金矿物化探普查成果报告。

通过表 1 可以看出, 断裂破碎带内碎裂岩的金含量最高, 平均含量达  $110.5 \times 10^{-9}$ , 因此可以揭示断裂构造对该区金矿的富集具有重要作用。

## 5. 讨论

关于鲁西地区新太古代侵入岩的类型和时代前人做过很多工作[41] [42]。例如王新社等(1999) [43]通过研究泰山地区前寒武纪韧性剪切带, 提出晚太古代末泰山地区存在地壳增厚的论点。

新太古代早期 2.8~2.7 Ga 是鲁西地壳增生的一个主要时期, 出现了大量同时代的 TTG [26] [44], (Trondhjemite, 奥长花岗岩; Tonalite, 英云闪长岩; Granodiorite, 花岗闪长岩), 与北美, 南非等克拉通大规模绿岩带发育时间一致, 是全球性陆壳生长事件。

从鲁西长英质侵入岩的年龄分布图上看, 在钙碱性火山岩系出现之前(>2.53 Ga), 长英质侵入岩以 TTG 为主, 而后与深熔作用发生的同时出现大量壳熔二长钾质花岗岩(2.52~2.50 Ga) (图 6), 早期钠质岩浆作用(TTG)在 2.53~2.52 Ga 转变为晚期相对富集的花岗岩浆作用[37]。揭示鲁西地区新太古代经过了多期构造 - 岩浆事件(表 2)。

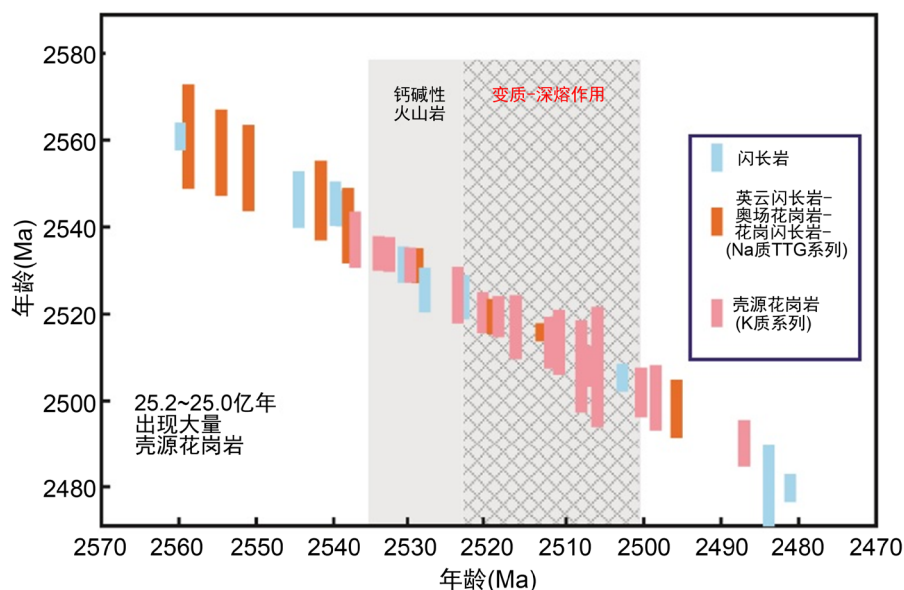


Figure 6. Age distribution of felsic intrusive rocks in late Neoproterozoic in western Shandong (Wang *et al.*, 2016) [37]

图 6. 鲁西新太古代晚期长英质侵入岩年龄分布图(王伟等 2016) [37]

Table 2. Neoproterozoic structure-magma evolution in western Shandong

表 2. 鲁西地区新太古代构造-岩浆演化(侯贵廷等 2004 修改) [40]

时代	岩浆活动期次	主要岩类	变质变形	构造层次	同位素年代/Ma
新太古代晚期	傲徕山期	片麻状二长花岗岩	变形变质, 具有明显片麻理	中地壳	锆石 U-Pb: 2560 (Jahn <i>et al.</i> , 1988), 2514, 2469 [30]
	新甫山期	TTG	条带状构造	中、下地壳	锆石 U-Pb: 2555 (Jahn <i>et al.</i> , 1988), 2542; 2534 [30]
	泰山期	绿岩	鬛刺构造	裂谷型海槽	Sm-Nd: 2684, 2684.9 [45]
新太古代早期	望府山期	灰色片麻岩	片麻理发育	中、下地壳	Sm-Nd: 2826 (庄育勋等, 1997) [30] 锆石 U-Pb: 2714, 2685 [30]

新太古代早期鲁西地区形成了表壳岩(2900~2700 Ma), 即高级角闪岩相陆壳岩石[40], 约 2800 Ma 鲁西地区裂谷盆地形成, 随着海盆的扩张与消亡到岛弧的形成于消亡, 火山喷发-沉积作用形成了绿岩带原岩。

新太古代晚期绿岩形成时期(2700~2600 Ma), 在早期表壳岩基础上, 在区域拉张的环境下。形成了北西向的裂谷型海槽[29] [37] [40], 而裂谷相绿岩带往往富含金矿[46]。揭示该时期为与岛弧背景类似的构造环境, 经过区域变质作用, 发育了绿岩建造。

约 2600~2500 Ma, 随着地幔物质上涌, 发育大量 TTG 类侵入岩, 陆壳开始增生。随着与陆壳发生重熔、改造, 陆壳更加成熟。在鲁西出现的钙碱性火山岩[37], 揭示这一阶段大陆地壳开始发生水平运动。

鲁西绿岩经历了多期次区域变质作用和构造变形、岩浆侵入作用的改造, 变质程度达低角闪岩相。本区花岗绿岩带在逐步被抬升回返大陆过程中, 遭受多期变质变形, 促使金的活化迁移, 绿片岩相变质作用(退化变质)则是金等成矿元素富集的主要因素之一。雁翎关岩带中的科马提岩含金初始丰度为  $2.37 \times 10^{-9} \sim 5.99 \times 10^{-9}$  [47], 推测火山喷发沉积物可能就是富含金的初始矿源层。

岳庄金矿新太古代泰山岩群遭受多期变质变形改造, 发育各种线状构造及韧性剪切带, 其展布方向为北西向, 韧性剪切带与后期脆性断裂叠加部位、糜棱岩发育部位, 有利于金矿化体形成。

绿岩带金矿源层[19], 中的金质来源于绿岩带旋回性建造过程中的海底火山喷发和间歇期的喷流活动, 火山喷流产生大量热液和 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HCL, SO<sub>2</sub> 等气体[48] [49]与海水混合在海底形成酸性热卤水, 受喷流作用和火山岩的加热作用, 热卤水的温度较高, 一般可达 200℃~400℃ [50] [51], 沿运输通道进一步运移, 形成富金岩系。而 TTG 岩系侵入以及多期次的区域变质作用, 特别是发育的大量韧性剪切带, 其强烈的动力变质作用有利于 Au 元素的进一步活化、富集。

## 6. 结论

1) 对鲁西地区新太古代早期、晚期表壳岩进行了分析, 加深了对绿岩建造的认识, 使我们认识到裂谷相绿岩带往往富含金矿, 特别是在约 2600~2500 Ma, 大量 TTG 类侵入岩的加入, 加剧了该时期 Au 元素的富集。

2) 结合矿床实例, 我们可以看到, 大量韧性剪切带的发育为 Au 元素的运移和富集提供了良好的可容部位, 此可作为找矿标志。

3) 鲁西地区绿岩带型金矿近年来有了不同程度的研究, 该文对于该地区下一步找矿方向会提供一些参考意义, 更为科学的成矿模式可能还需要进一步工作, 本文旨在抛砖引玉。

## 参考文献

- [1] Zhao, G.C. and Cawood, P.A. (2012) Precambrian Geology of China. *Precambrian Research*, **222**, 13-54. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.09.017>
- [2] Zhai, M.G. (2014) Multi-Stage Crustal Growth and Cratonization of the North China Craton. *Geoscience Frontiers*, **5**, 457-469. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.01.003>
- [3] 耿元生, 万裕生, 沈其韩, 等. 吕梁地区早前寒武纪主要地质事件的年代框架[J]. 地质学报, 2000, 74(3): 216-223.
- [4] Zhai, M.G. (2004) Precambrian Tectonic Evolution of the North China Craton. In: Malpas, J., Fletcher, C.J.N., Ali, J.R. and Aitchison, J.C., Eds., *Aspects of the Tectonic Evolution of China*, Special Publications, London, 57-72. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.226.01.04>
- [5] Zhai, M.G., Guo, J.H. and Liu, W.J. (2005) Neoproterozoic to Paleoproterozoic Continental Evolution and Tectonic History of the North China Craton: A Review. *Journal of Asian Earth Sciences*, **24**, 547-561. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.01.018>
- [6] Santosh, M., Sajeev, K. and Li, J.H. (2006) Extreme Crustal Metamorphism during Columbia Supercontinent Assembly: Evidence from the North China Craton. *Gondwana Research*, **10**, 256-266. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2006.06.005>
- [7] Geng, Y.S., Du, L.L. and Ren, L.D. (2012) Growth and Reworking of the Early Precambrian Continental Crust in the North China Craton: Constraints from Zircon Hf Isotopes. *Gondwana Research*, **21**, 517-529. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.07.006>
- [8] Condie, K.C. and Krner, A. (2013) The Building Blocks of Continental Crust: Evidence for a Major Change in the Tectonic Setting of Continental Growth at the End of the Archean. *Gondwana Research*, **23**, 394-402. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.09.011>
- [9] Condie, K.C. (2005) High Field Strength Element Ratios in Archean Basalts: A Window to Evolving Sources of Mantle Plumes. *Lithos*, **79**, 491-504. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.014>
- [10] Zhai, M.G. and Santosh, M. (2011) The Early Precambrian Odyssey of North China Craton: A Synoptic Overview. *Gondwana Research*, **20**, 6-25. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.02.005>
- [11] Zhai, M.G. and Santosh, M. (2013) Metallogeny of the North China Craton: Link with Secular Changes in the Evolving Earth. *Gondwana Research*, **24**, 275-297. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.02.007>
- [12] Goldfarb, R.J. and Santosh, M. (2014) The Dilemma of the Jiaodong Gold Deposits: Are They Unique? *Geoscience Frontiers*, **5**, 139-153. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.11.001>
- [13] 阳琼艳. 华北克拉通前寒武纪地壳演化[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2016: 1-50.
- [14] 翟明国. 华北克拉通的形成演化与成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 24-36.
- [15] 石玉臣, 伊丕厚. 泰山-新甫山-蒙山地区绿岩带型金矿成矿地质背景及其与金矿化的关系[J]. 山东地质, 2001,



- 17(3-4): 53-58.
- [16] 王虹, 霍光辉, 王宝君. 山东鲁西地区绿岩带型金矿床特征及成因浅析[J]. 地质力学学报, 2005, 11(4): 351-356.
- [17] 徐述平, 杨立强. 鲁西地区金矿类型与找矿方向[J]. 黄金科学技术, 2007, 15(5): 18-23.
- [18] 殷天涛, 邱光辉, 李守军, 等. 鲁西铜石杂岩体边缘物化探特征及找矿前景[J]. 地质与勘探, 2019, 55(5): 1153-1163.
- [19] 王继广. 鲁西地区绿岩带型金矿及其矿源层探讨[J]. 地质学报, 2013, 87(7): 994-1002.
- [20] Nisbet, E.G., Arndt, N.T., Bickle, M.J., Cameron, W.E. and Chauvel, C. (1987) Uniquely Fresh 2.7 Ga Komatiites from the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe. *Geology*, **15**, 1147-1150. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1987\)15<1147:UFGKFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1987)15<1147:UFGKFT>2.0.CO;2)
- [21] Ayer, J., Amelin, Y., Corfu, F., Kamo, S. and Ketchum, J. (2002) Evolution of the Southern Abitibi Greenstone Belt Based on U-Pb Geochronology: Autochthonous Volcanic Construction Followed by Plutonism, Regional Deformation and Sedimentation. *Precambrian Research*, **115**, 63-95. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(02\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(02)00006-2)
- [22] Dirks, P.H.G.M., Charlesworth, E.G., Munyai, M.R. and Wormald, R. (2013) Stress Analysis, Post-Orogenic Extension and 3.01Ga Gold Mineralisation in the Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Precambrian Research*, **226**, 157-184. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.12.007>
- [23] Swager, C.P. (1997) Tectono-Stratigraphy of late Archaean Greenstone Terranes in the Southern Eastern Goldfields, Western Australia. *Precambrian Research*, **83**, 11-42. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(97\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(97)00003-X)
- [24] 翟裕生. 华北克拉通绿岩带型金成矿系统初析[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2002, 27(5): 522-531.
- [25] 王世进. 鲁西地区前寒武纪侵入岩期次划分及基本特征[J]. 中国区域地质, 1991(4): 299-306.
- [26] 王世进, 万渝生, 张成基, 等. 鲁西地区早前寒武纪地质研究新进展[J]. 山东国土资源, 2008, 24(1): 10-20.
- [27] Taylor, S.R. (1993) Early Accretional History of the Earth and the Moon Forming Event. *Lithos*, **30**, 207-221. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(93\)90036-C](https://doi.org/10.1016/0024-4937(93)90036-C)
- [28] 张增奇, 杨恩秀, 王致本. 鲁西早前寒武纪变质岩区变质砾状岩石成因类型及其地质意义[J]. 山东地质, 1994, 10(2): 77-82.
- [29] 曹国权. 鲁西早前寒武纪地质[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 78-80.
- [30] 庄育勋. 泰山地区早前寒武纪主要地质事件与陆壳演化[J]. 岩石学报, 1997, 13(3): 313-330.
- [31] 万渝生, 刘敦一, 王世进, 等. 华北克拉通鲁西地区早前寒武纪表壳岩系重新划分和BIF形成时代[J]. 岩石学报, 2012, 28(11): 3458-3475.
- [32] 万渝生, 刘福来, 杨崇辉. 变质地质学和前寒武纪地质研究: 前言[J]. 岩石学报, 2018, 34(4): 867-872.
- [33] 于学峰, 宋明春, 李大鹏, 等. 山东金矿找矿突破进展与前景[J]. 地质学报, 2016, 90(10): 2847-2862.
- [34] Zhao, G.C., Sun, M., Wilde, S.A., et al. (2005) Late Archean to Paleoproterozoic Evolution of the North China Craton: Key Issues Revisited. *Precambrian Research*, **136**, 177-202. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.10.002>
- [35] 张增奇, 刘明渭. 山东岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 16.
- [36] 杨恩秀, 陶有兵, 张新平, 等. 鲁西地区新太古代雁翎关组中花岗质“砾石” SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 地球化学, 2008, 37(5): 481-487.
- [37] 王伟, 翟明国. 鲁西太古宙表壳岩的成因及其对地壳演化的制约[J]. 中国科学: 地球科学, 2016, 46(7): 949-962.
- [38] 王世进, 万渝生, 张成基, 等. 山东省早前寒武纪地层形成时代——同位素地质测年的证据[J]. 山东国土资源, 2011, 27(11): 1-6.
- [39] Wan, Y.S., Liu, D.Y. and Wang, S.J. (2012) Redefinition of Early Precambrian Supracrustal Rocks and Formation Age of BIF in Western Shandong, North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, **28**, 3458-3475.
- [40] 侯贵廷, 李江海, 金爱文. 鲁西地块早前寒武纪构造岩浆活动区划及演化的新认识[J]. 高校地质学报, 2004, 10(2): 240-249.
- [41] Jahn, B.M. (1988) Archean Crustal Evolution in China: The Taishan Complex, and Evidence for Juvenile Crustal Addition from Long-Term Depleted Mantle. *Precambrian*, **38**, 381-403. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(88\)90035-6](https://doi.org/10.1016/0301-9268(88)90035-6)
- [42] 徐慧芬, 董一杰, 施允亨. 鲁西花岗岩-绿岩带[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 56-67.
- [43] 王新社, 庄育勋, 徐慧芬, 等. 泰山地区太古宙末韧性剪切作用在陆壳演化中的意义[J]. 中国区域地质, 1999, 18(2): 168-174.
- [44] Wan, Y.S., Liu, D.Y., Wang, S.J., Yang, E.X., Wang, W., Dong, C.Y., Zhou, H.Y., Du, L.L., Yang, Y.H. and Diwu,

- C.R. (2011) ~2.7 Ga Juvenile Crust Formation in the North China Craton (Taishan-Xintaiarea, Western Shandong Province): Further Evidence of an Understated Event from U-Pb Dating and Hf Isotopic Composition of Zircon. *Precambrian Research*, **186**, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.01.015>
- [45] 王世进. 鲁西地区前寒武纪侵入岩[J]. 山东地质, 1990, 6(1): 59-80.
- [46] 谢荣举, 阳正熙. 绿岩带金矿及浅成热液金矿研究某些新进展[J]. 地质科技情报, 1988, 7(1): 64-70.
- [47] 高长亮, 王公运, 吕振山, 等. 新泰地区绿岩型金矿及其成因探讨[J]. 山东地质, 2000, 16(4): 33-38.
- [48] Thordarson, T., Self, S., Oskarsson, N. and Hulsebosch, T. (1996) Sulfur, Chlorine, and Fluorine Degassing and Atmospheric Loading by the 1783-1784 AD Laki (Skaftar Fires) Eruption in Iceland. *Bulletin of Volcanology*, **58**, 205-225. <https://doi.org/10.1007/s004450050136>
- [49] Signorelli, S., Vaggeli, G. and Romano, C. (1999) Pre-Eruptive Volatile (H<sub>2</sub>O, F, Cl and S) Contents of Phonolitic Magmas Feeding the 3550-Year Old Avellino Eruption from Vesuvius, Southern Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **93**, 237-256. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(99\)00117-1](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(99)00117-1)
- [50] Miroshnichenko, M.L. (2004) Thermophilic Microbial Communities of Deep-Sea Hydrothermal Vents. *Microbiology*, **73**, 1-13. <https://doi.org/10.1023/B:MICL.0000016360.21607.83>
- [51] Tarasov, V.G., Gebruk, A.V. and Mironov, A.N. (2005) Deep-Sea and Shallow-Water Hydrothermal Vent Communities: Two Different Phenomena? *Chemical Geology*, **224**, 5-39. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.021>