

# “吕梁运动”新认识

李江海 钱祥麟 侯贵廷 刘树文 陈 晶

(北京大学地质学系,北京 100871)

**摘要:** 吕梁运动(1.90~1.70 Ga)长久以来被认为是华北克拉通最终稳定固结的造山运动。事实上,在古元古代末期华北克拉通以伸展-裂解构造为主,表现为拗拉谷系发育、非造山岩浆活动(环斑花岗岩、斜长岩、辉长岩、花岗岩类及伟晶岩脉等)、大规模基性岩墙群侵位以及早期变质基底隆升或退变质构造热事件等。对已有的大量同位素年代学资料分析后证明,这一时期的岩浆侵位与基底构造-热事件在时间上的分布具有多峰式特点,克拉通基底隆升退变质事件滞后于岩浆侵位,明显区别于造山带普遍记录的构造变形-变质-岩浆侵位的事件序列。古元古代末期构造格局的重新认识,为我国克拉通在元古代超大陆中的再造模式提供了最基本的制约条件。

**关键词:** 拗拉谷;基性岩墙群;构造-热事件;伸展构造;超大陆;吕梁运动;华北克拉通。

**中图分类号:** P542 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2000)01-0015-06

**作者简介:** 李江海,男,副教授,1965年生,主要从事构造地质学及前寒武纪地质学的研究工作。

自“吕梁运动”被提出60年来<sup>[1]</sup>，“吕梁运动”已成为华北区域地质研究中所涉及的最广泛的地质概念之一，普遍认为华北克拉通的主体部分是在“吕梁运动”主幕(1.85~1.80 Ga)固结的<sup>[2]</sup>。“吕梁运动”还被认为是古、中元古代分界的重要构造幕<sup>[3]</sup>。本文依据华北前寒武纪地质及同位素地质年代新资料，重新探讨“吕梁运动”的构造含义及华北古元古代末期—中元古代初期的构造体制等问题。

## 1 华北克拉通古元古代末—中元古代初(1.90~1.70 Ga)的区域地质背景

依据已有的地质资料<sup>[4~16]</sup>，可以将华北克拉通中元古代初的构造单元划分为：拗拉谷系、基性岩墙群、非造山深成岩带以及隆升高级变质岩区(图1)，此外，还有零星分布的花岗岩体、长英质岩脉、超镁铁质岩体及火山岩等。

### 1.1 拗拉谷系

中元古代拗拉谷系呈网络状遍布华北克拉通周

边地区(本文主要涉及郯庐断裂带以西部分)(图1)，在华北南缘多个拗拉谷呈楔状向克拉通内部延伸，在克拉通北部裂谷近于平行克拉通边界分布，在克拉通东北部保留了三叉状的燕辽-太行拗拉谷。目前在华北至少识别出了5个中元古代的拗拉谷(或裂谷)。

(1)燕辽-太行拗拉谷(长城系、蓟县系)，呈入字型向克拉通中部发散<sup>[4,5,17]</sup>。从厚度等值线轮廓判断，西支为NEE向展布(张宣)，东北支NE向(燕山-辽西地区)，南支NNE向展布(太行山区南段)。长城系普遍角度不整合于太古代—古元古代变质基底上，沉积盖层与变质基底之间的年龄差大于5~7亿年。燕辽-太行拗拉谷向五台-太行山区变窄，与熊耳中条裂谷关系不明。

(2)白云鄂博裂谷(白云鄂博群、化德群)和渣尔泰裂谷，近东西向展布，两者之间以太古代变质基底分隔。白云鄂博群、化德群不整合于太古代—古元古代变质基底之上<sup>[18]</sup>。白云鄂博裂谷北界被兴蒙造山带截切。渣尔泰裂谷主要由渣尔泰山群组成，不整合于太古代变质岩区。渣尔泰裂谷在蓟县期夭亡，而白云鄂博裂谷后期向被动大陆边缘发展。渣尔泰群与白云鄂博群均经历北缘古生代造山带的叠加改造，



图 1 华北克拉通古元古代末—中元古代初构造区划图(引用文献[4~16]部分资料)

Fig. 1 Late Palaeoproterozoic to early Mesoproterozoic (1.90–1.70 Ga) tectonic subdivision of the North China craton

1. 环斑花岗岩类; 2. 斜长岩类; 3. 辉长岩类; 4. 闪长岩类; 5. 花岗岩类; 6. 后期断裂; 7. 拗拉谷构造边界; 8. 与中元古代沉积相关的航磁异常; 9. 长城系展布范围; 10. 中元古代断裂带; 11. 主要拗拉谷沉降区; 12. 华北克拉通构造边界; 13. 金伯利岩; 14. 基性岩墙群

代表克拉通北部的沉积盖层<sup>[18]</sup>.

(3) 贺兰山拗拉谷(黄旗口群、王全口群), 呈楔形从南向北变窄, 向南部被祁连造山带直交并被截切, 地层厚度等值线近 N—NNE 向展布, 拗拉谷内沉积地层厚度向南部逐渐增大, 辉长岩—辉绿岩岩墙群侵入于黄旗口群底部的石英岩地层<sup>[6]</sup>. 黄旗口群不整合于太古代变质基底上. 地震勘探在乌审旗以北发现了许多 NE 和 NW 向展布的中元古代断陷小盆地, 应为拗拉谷同期产物<sup>[19]</sup>.

(4) 晋陕(临县—彬县)拗拉谷 NNE 向展布, 斜交华北克拉通的西南边缘, 向南被秦岭造山带截切, 呈分支状向克拉通内部消失. 这个拗拉谷的证据主要来自于地球物理勘探的地质解译<sup>[7,8]</sup>, 拗拉谷内的中元古代地层等厚线呈 NNE 向展布, 并明显受断裂控制, 其中的子长—宜川拗陷较发育, 地层厚度较大, 吕梁山区的汉高山群为其向北延伸部分<sup>[19]</sup>.

(5) 熊耳中条拗拉谷(西洋河群、熊耳群)出现于

华北克拉通南部, 呈近直角的三角形, 可能与晋陕(临县—彬县)拗拉谷相通, 向北呈楔形向华北克拉通内部消失, 与燕辽—太行拗拉谷关系不明. 西洋河群、熊耳群的分布受断裂控制, 它们均不整合于太古代—古元古代变质杂岩基底上, 以火山岩系发育而独具特色<sup>[7]</sup>, 经历了较强烈的伸展作用.

目前在熊耳中条拗拉谷及燕辽拗拉谷获得了较老的年龄(中条山西洋河群安山岩锆石 U—Pb 年龄  $(1\ 840 \pm 14)$  Ma、张宣地区的钾长石英脉锆石 U—Pb 年龄  $(1\ 826 \pm 31)$  Ma<sup>[9,20]</sup>, 可以认为拗拉谷最早出现于 1.84 Ga, 在克拉通南缘—西南缘保留了 3 个主要的拗拉谷(晋陕、熊耳—中条、贺兰山拗拉谷), 并向克拉通内部楔入. 它们为同一拗拉谷系, 也应发生于 1.84 Ga. 燕山地区的长城系常州沟组页岩—粉砂岩的全岩 Pb—Pb 等时线年龄为  $(1\ 848 \pm 38)$  Ma<sup>[21]</sup>, 代表拗拉谷形成的地质年代下限. 关于白云鄂博裂谷、渣尔泰裂谷最早出现的时间尚缺乏同位

素资料的制约,但至少应早于 1.73 Ga(白云鄂博群东尖山组顶部玄武岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄  $(1.728 \pm 0.005) \text{ Ma}^{[10]}$ ).

### 1.2 基性岩墙群

基性岩墙群主要分布于华北克拉通南北拗拉谷系向克拉通中部交汇的部位(图 1),围岩主要为麻粒岩相—高角闪岩相的太古代高级变质基底.至少可以识别出 3 期基性岩墙群,从野外构造切割关系判断,由早到晚依次为 NW 向、NWW 向—近 EW 向及 NE 向基性岩墙群,并以 NW 向的太行—恒山基性岩墙群规模最大<sup>[11]</sup>.类似的 NW 向基性岩墙群向东南可以追索于鲁西高级区. NW 向的岩墙群主要侵位于太古代—古元古代高级变质基底,局部侵位于长城系底部,被长城系上部不整合覆盖.在鲁西变质区,NNW 向的基性岩墙群侵位于太古代片麻岩内,并被新元古代土门组不整合覆盖<sup>[12]</sup>.此外,在嵩山—箕山地区,中元古代基性岩墙群主要呈近南北向展布,它们侵位于登封杂岩及古元古代嵩山群内,并被中新元古代五佛山群不整合覆盖<sup>[7]</sup>.在小秦岭—崮山—熊耳山地区的基性岩墙群,侵位于中元古代官道河群以下的地层内<sup>[22]</sup>.华北克拉通南缘的这些基性岩墙群应与熊耳—中条拗拉谷的发育相关.

以往这一巨大规模的基性岩墙群缺少同位素地质年代资料,笔者通过对 NW 向基性岩墙群(恒山东部)中的单颗粒锆石 U-Pb(化学法)年代学研究表明,其时代为  $(1.769 \pm 0.025) \text{ Ma}^{\text{①}}$ ,证明它们的形成与这一时期拗拉谷系的形成相关,即在上述拗拉谷系向克拉通内楔入并交汇的部位,出现了稍晚期的大规模 NW 向基性岩墙群,它们的形成受周围拗拉谷发育相关的伸展构造应力场控制.

### 1.3 非造山深成岩带

中元古代初期的深成岩的分布主要受拗拉谷相关的区域大断裂控制(图 1).沿尚义—赤峰—古北口断裂出现石英正长岩、花岗岩、辉长岩、超基性岩等,在此断裂北部出现大庙斜长岩—辉长岩体,南部为密云环斑花岗岩体,这一条深成岩带近东西向展布,与燕辽拗拉谷东支的构造演化关系密切,主要岩浆活动集中于  $(1.690 \sim 1.790) \text{ Ma}$  之间<sup>[13,23,24]</sup>.在太行拗拉谷南段,广泛发育近南北向的辉长岩—辉绿岩岩脉或岩墙、岩床,它们侵位于变质基底,并被

长城系不整合覆盖<sup>[25]</sup>.不变形不变质的非造山花岗岩、闪长岩体  $(1.758 \sim 2.144) \text{ Ma}$  还广泛见于拗拉谷之间的克拉通基底以及拗拉谷边缘地带,如太行山区、吕梁山区、五台山区、辽西、中条山区、贺兰山区、大青山区等地<sup>[9,16,26,27]</sup>.在一些地区还广泛发育长英质脉体或伟晶岩脉  $(1.800 \text{ Ma})^{[28]}$ .白云鄂博裂谷内发育碱性超基性岩.在冀西北麻粒岩相区有超基性岩体侵位  $((1.837 \pm 0.057) \text{ Ma})^{[29]}$ .

从拗拉谷的分布来看,华北克拉通在中元古代初期形成巨型的拗拉谷伸展边缘,并以西南边缘发育最好,在西南边缘广泛保留了多条(3~4)向克拉通内楔入的拗拉谷夭亡支,而北缘裂谷近于平行现今边缘,由此造成了克拉通腹地 NW 向基性岩墙群形成与侵位的构造背景.

## 2 同位素年龄资料的统计分析及其主要构造—热事件序列

综合统计分析 20 世纪 90 年代以来发表的华北克拉通古元古代末—中元古代初的 150 余件同位素年龄数据表明(图 2,图 3), $1.90 \sim 1.70 \text{ Ga}$ (或  $1.90 \sim 1.80 \text{ Ga}$ )是这一时期华北变质基底、不变质花岗岩侵入体及伟晶岩脉最主要的年龄峰值,表明这一时期内华北经历了最主要的构造—热事件.与拗拉谷相关的火山—沉积地层年龄下限为  $(1.840 + 0.020) \text{ Ma}$  左右,标志着大面积变质基底上隆至浅部地壳层次的地质时代.这种表壳的伸展—沉积事件与中部地壳岩浆—基底隆升事件时空上的耦合,有力证明  $1.90 \sim 1.80 \text{ Ga}$  华北克拉通以伸展构造体制为主.

华北变质基底记录了大量的  $1.90 \sim 1.70 \text{ Ga}$  同位素地质年龄(图 2),由于它们普遍为最晚期的构造事件记录,并有早期事件的丰富记录(太古代岩区  $> 2.5 \text{ Ga}$ ,或者古元古代岩区  $2.50 \sim 2.40 \text{ Ga}$ ),一般将晚期事件解释为基底最晚期的退变质冷却或晚期叠加的构造热事件的地质年龄,而非前进变质事件,它们明显对应于浅部地壳层次上的拗拉谷活动及其非造山岩浆侵位事件,反映抬升过程中退变质与岩浆活动的耦合关系,与伸展构造作用具有直接的成因联系.

对同位素年龄详细的统计分析(以 20 Ma 为统计间隔),揭示了变质基底及不变质侵入体同位素年

①李江海,侯贵廷,钱祥麟.恒山中元古代基性岩墙群的单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其克拉通演化意义[J].科学通报(待刊),2000.



图 2 华北克拉通变质基底及古元古代末期—中元古代初期侵入体同位素年龄统计(以 0.1 Ga 为间隔)(代表性数据来源于文献[9~16, 18~29]①)

Fig. 2 Diagram showing statistical distribution of age data for late Palaeoproterozoic to early Mesoproterozoic intrusions and thermal events recorded in the North China craton basement (at intervals of 0.1 Ga)



图 3 华北克拉通变质基底及古元古代末期—中元古代初期侵入体同位素年龄统计(以 20 Ma 为间隔)

Fig. 3 Diagram showing statistical distribution of age data for late Palaeoproterozoic to early Mesoproterozoic intrusions in the North China craton basement (at intervals of 20 Ma)

龄显示多个峰值(图 3): 基底与侵入体年龄峰值之间显示了良好的对应关系(如年龄峰值 1 700 ~ 1 720 Ma,  $(1 800 \pm 20)$  Ma, 1 880 ~ 1 900 Ma 及 1 960 ~ 1 980 Ma), 并可能指示基底退变质隆升过程与岩浆侵位之间的构造关系. 其中, 基底中最大的年龄峰值 1 780 ~ 1 800 Ma, 明显滞后于侵入体的年龄峰值 1 800 ~ 1 820 Ma, 由于  $(1 840 \pm 20)$  Ma 是拗拉谷沉积的最老下限, 可以认为在这一时期华北经历了最强烈的岩浆侵位—基底冷却退变质作用, 结合地表已经出现的拗拉谷构造环境, 这些构造事件应发生于伸展构造体制, 而  $(1 700 \pm 20)$  Ma 也是一次区域重要岩浆活动期, 但对基底影响较弱, 表明大部分基

底已完全上升至地表. 因此, 古元古代末期花岗质岩浆的侵位表现为多峰式特点, 并对基底产生明显热事件效应.

基底杂岩晚期构造事件的发生, 相对滞后于岩体侵位, 可用以下伸展构造—岩浆—退变质模式来解释, 即岩浆活动为伸展过程的直接记录, 基底杂岩在伸展体制下从深部地壳向浅部地壳上隆, 因地壳层次变浅、流体活动增强以及下盘变质基底被拆离, 上隆温度不断降低, 基底发生退变质, 即伸展持续到一定幅度发生岩浆侵位, 随后的几十 Ma 内(20 ~ 40 Ma?)深部地壳发生冷却及退变质, 并被不同地点的岩石同位素体系所记录. 这种岩浆活动早于退变质

事件的构造(伸展)–岩浆–退变质序列,明显区别于造山带的构造(挤压)–(前进)变质–岩浆的事件序列,应为“吕梁运动”发生于伸展构造体制下的重要证据,也与长城系普遍不整合于太古代变质基底上(>2.50~2.30 Ga)的基本地质事实一致。

### 3 讨论:“吕梁运动”构造含义的新认识

近年来大量的研究证明,华北克拉通的主体形成于新太古代–古元古代早期(2.70~2.30 Ga)<sup>[30]</sup>,并由此造成华北克拉通的固结稳定。以往由于强调长城系底部不整合面造山幕的构造解释,从而将1.90~1.80 Ga事件解释为克拉通的最终固结事件,事实上,华北克拉通并不存在大规模的古元古代末期造山带(1.90~1.70 Ga),所谓的“吕梁运动”实质上是华北克拉通古元古代末期(1.90~1.70 Ga)经历的伸展构造热事件的综合记录,克拉通周边发育拗拉谷及非造山岩浆活动,而克拉通内部发育大规模基性岩墙群。在此伸展构造背景下,华北变质基底广泛经历了抬升冷却,并最终出露地表。中元古代底部地层普遍不整合或超覆于太古代高级变质基底之上,与变质基底具有很大的年龄值差距(>0.6~0.7 Ga),再次证明“吕梁运动”(1.90~1.80 Ga)实质上是伸展构造–热事件的反映,变质基底所记录的1.90~1.70 Ga普遍代表更晚期冷却退变质年龄。此外,华北中元古代拗拉谷系及北西向的太行–恒山基性岩墙群均被克拉通后期边界截切,证明华北克拉通在古元古代的规模比现今更大,华北克拉通实质上是其他古陆的碎块而非原地台。中元古代初(1.80~1.70 Ga)伸展构造–热事件及其地质标志,应是华北在元古代末期 Rodinia 超大陆(1.0 Ga)恢复再造最基本的构造依据之一<sup>[31,32]</sup>。

本文完成过程中得到加拿大多伦多大学 H. C. Halls 教授、德国美因茨大学 A. Kröner 教授及澳大利亚西澳洲大学 C. M. Powell 教授、李正祥教授的帮助和指导,特此致谢。

#### 参考文献:

[1] Lee J S. The geology of China [M]. London: Thomas Murby Co, 1939. 1~70.  
[2] 马杏垣. 江苏响水至内蒙满都拉地学断面南北段的地质观察[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1989, 14

(1): 1~6.  
[3] Wang H Z, Mo X X. An outline of the tectonic evolution of China [J]. Episodes, 1995, 18(1/2): 6~16.  
[4] 陈晋镛, 张惠民, 朱士兴, 等. 蓟县震旦亚界研究[A]. 见: 王曰伦编. 中国震旦亚界[C]. 天津: 天津科学技术出版社, 1980. 55~109.  
[5] 叶连俊. 华北地台沉积建造[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 20~31.  
[6] 林畅松, 杨起, 李思田. 贺兰坳拉槽盆地充填演化分析[M]. 北京: 地质出版社, 1995. 26~31.  
[7] 孙枢, 张国伟, 陈志明. 华北断块南部前寒武纪地质演化[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985. 176~185.  
[8] 张福礼, 黄舜兴, 杨昌贵. 鄂尔多斯盆地天然气地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 33~40.  
[9] 孙大中, 胡维兴. 中条山前寒武纪年代构造格架和年代地壳结构[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 79~117.  
[10] 王辑, 李双庆, 王保良, 等. 狼山–白云鄂博裂谷系[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992. 73~89.  
[11] Qian X L, Chen Y P. Late Precambrian mafic swarms of the North China craton [J]. Geological Association of Canada Special Papers, 1987, 34: 385~391.  
[12] 曹国权. 鲁西早前寒武纪地质[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 30~41.  
[13] 郁建华, 付会芹, 张凤兰, 等. 元古代北京裂谷槽中钾质碱性火山–深成作用[J]. 中国区域地质, 1994, (2): 115~122.  
[14] 路风香, 赵磊, 邓晋福, 等. 华北地台金伯利岩岩浆活动时代探讨[J]. 岩石学报, 1995, 11(4): 365~374.  
[15] 白瑾, 黄学光, 王惠初, 等. 中国前寒武纪地壳演化[M]. 第二版. 北京: 地质出版社, 1996. 166~176.  
[16] 李惠民, 王汝铮. 单颗粒锆石 U–Pb 法判定的凤凰山花岗岩的年龄[J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(3): 56~62.  
[17] 钱祥麟. 震旦亚代山海关隆起发育史及其与冀东有关的风化淋滤型富铁矿的远景探讨[J]. 天津地质矿产研究所所刊, 1980, 1(1): 123~133.  
[18] 乔秀夫, 姚培毅, 王成述, 等. 内蒙古渣尔泰群层序地层及构造环境[J]. 地质学报, 1991, 65(1): 1~15.  
[19] 吴奇之, 王同和, 李明杰, 等. 中国油气盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 32~38.  
[20] 胡小蝶, 陈志宏, 赵彦明, 等. 河北小营盘金矿成矿时代——单颗粒锆石 U–Pb 同位素年龄新证据[J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(2): 22~28.  
[21] 于荣炳, 张学祺. 燕山地区晚前寒武纪同位素地质年代学研究[J]. 天津地质矿产研究所所刊, 1984, (11): 1~23.  
[22] 胡正国, 钱壮志, 闫广民, 等. 小秦岭拆离–变质杂岩核

- 构造与金矿[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994. 3~44.
- [23] 宋彪. 密云环斑花岗岩的同位素地质年代学. 稀土地球化学和成因讨论[J]. 中国地质科学院地质研究所刊, 1993, (25): 137~157.
- [24] 胡世玲, 王松山, 桑海清, 等. 大庙斜长岩同位素地质年龄、稀土地球化学及其地质意义[J]. 地质科学, 1990, (4): 332~343.
- [25] 牛树银, 陈路, 许传诗, 等. 太行山区地壳演化及成矿规律[M]. 北京: 地震出版社, 1994. 14~39.
- [26] 王汝铮, 颜耀阳, 李惠民, 等. 山西五台山地区早前寒武纪年代构造格架[A]. 见: 中国地质学会编. 八五地质科技重要成果学术交流会议论文选集[C]. 北京: 冶金出版社, 1996. 194~197.
- [27] 王凯怡. 山西早元古代芦芽山石英二长岩的初步研究[J]. 科学通报, 1991, 36(7): 685~687.
- [28] 梁华英, 莫测辉, 王秀璋. 张家口水泉沟碱性杂岩体单颗粒锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分析[J]. 地球化学, 1998, 27(1): 59~65.
- [29] 陈安国, 马配学, 李洪阳, 等. 河北省赤城县小张家口超基性岩体主要特征和时代[J]. 岩石学报, 1996, 12(1): 156~162.
- [30] 李江海, 钱祥麟, 谷永昌. 华北克拉通元古代区域构造格架及其板块构造演化探讨[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(3): 230~235.
- [31] 李江海, 何文渊, 钱祥麟. 基性岩墙群的成因机制及其古板块再造意义[J]. 高校地质学报, 1997, 3(3): 271~281.
- [32] 李江海. 超大陆旋回及早前寒武纪板块构造演化[J]. 地学前缘, 1998, 5(增刊): 141~151.

## LATE PALAEOPROTEROZOIC TO EARLY MESOPROTEROZOIC TECTONIC FRAMEWORK AND MAJOR TECTONO-THERMAL EPISODES OF NORTH CHINA: NEW INTERPRETATION OF “LÜLIANG OROGENY”

Li Jianghai Qian Xianglin Hou Guiting Liu Shuwen Chen Jing  
(*Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China*)

**Abstract:** The Lüliang orogeny (1.9 – 1.7 Ga) has long been thought to have been responsible for the cratonization of the North China craton (NCC). In fact, the NCC was dominated in the late Palaeoproterozoic by an extensional-tectonic regime, associated with the development of an aulacogen system, anorogenic magmatism (rapakivi granites, anorthosites, gabbros, granites and pegmatites), with the emplacement of large-scale mafic dyke swarms and with the uplift of the early metamorphic basement or the tectonothermal events of the retrogressive metamorphism. The statistical analysis of the known isotopic age data of the late Palaeoproterozoic to early Mesoproterozoic rocks suggests that several age peaks are revealed by the chronological distributions of the magmatic emplacement and basement tectonothermal events and that the uplift and retrogressive metamorphic events of the craton basement lagged behind the magmatic emplacement, distinctively different from the structural deformation-metamorphism-magmatic emplacement sequences characteristic of orogenic belts. The re-understanding of the late Palaeoproterozoic extensional tectonic framework clarifies the most basic restricting condition for the reconstruction of North China craton within Rodinia in the Mesoproterozoic.

**Key words:** aulacogen; mafic dyke swarm; tectono-thermal event; extensional tectonics; super-continent; Lüliang orogeny; North China craton.