第44卷 第3期
1998年5月

地 质 论 评
GEOLOGICAL REVIEW

Vol. 44 No. 3
May 1998

http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx

华北克拉通中元古代基性岩墙群形成机制及构造应力场

侯贵廷 张 臣 钱祥麟
（北京大学地质学系，100871）

张宝兴
（多伦多大学地球科学系，加拿大）

内容提要 本文通过研究华北克拉通中部中元古代基性岩墙群的单体形态和分布规律，分析岩墙群形成的力学机制，认为这些基性岩墙群主要是基性岩浆侵位于先存的张性或张剪性破裂中而成。晋北地区和五台—太行山地区的岩墙群主要为张剪性的，吕梁山地区和中条山地区的主要为张性。根据岩墙群的分布规律、侵位方向和力学机制及其与燕辽-中条拗拉槽系之间的关系，认为华北克拉通中部中元古代的区域构造应力场是张性和张剪性构造环境，其主压应力来自燕辽-中条拗拉槽系的扩张。未变形未变质的前寒武纪岩墙群的存在表明前寒武纪华北克拉通已经具有了刚性板块的性质。

关键词 华北克拉通 基性岩墙群 力学性质 构造应力场 燕辽-中条拗拉槽系

1 岩墙群的时空分布

中元古代基性岩墙群广泛分布在华北克拉通中部的山西省及邻区的前寒武纪岩区（图1）。围岩主要是太古代麻粒岩相—角闪岩相的各类片麻岩、麻粒岩和古元古代的石英岩或千枚岩及中元古代长城系岩石等。这些基性岩墙群绝大多数是辉绿岩墙，主要发育两组：NNW 向岩墙群和 WNW 向岩墙群，一般后组切割前组。这些岩墙群的特点是走向稳定、倾角一般在80°以上、近直立，所有的岩墙群都未变形和未变质，保持了岩墙形成时的应力状态。岩石化学结果表明，这些基性岩墙群是板内大陆裂谷拉张环境下的拉斑玄武岩系列岩石[1,2]。

这些基性岩墙群主要形成于中元古代（1600～1000Ma）。根据从山西省及邻区所获得的基性岩墙群的年龄对比，主要有两个侵位高峰期，1600～1400Ma 和 1200～1000Ma。这些年龄数据分布，显示出从晋北地区和中条山地区向山西中部（即吕梁和五台—太行地区）年龄由较老到较新的特点[1~5]①。岩墙群的侵位时期正与东侧燕辽-中条拗拉槽系内火山—沉积岩系年代一致[6]。山西中部较新岩墙群（1200～1000Ma）的形成可能与燕辽和中条两个拗拉槽在山西东南部的交汇有密切联系[1,2]。令人瞩目的是山西东侧中新元古代燕辽-中条拗拉槽系控制了该时期华北克拉通的构造格局和沉积演化。这些基性岩墙群基本上都从该拗拉槽系交汇处林县、昔阳一带向 NW 方向发散，岩浆沿着岩墙走向朝 NNW 或 WNW 方向流动，反映该拗拉槽系为岩墙群的侵位提供了必要的物质基础和动力学条件[1~4,7]。这可能表明山西省及邻区中元古代基性岩墙群与同期处于拉张状态的燕辽-中条拗拉槽系具有统一的构造应力场。

① 周宝和. 山西省基性侵入岩. 山西省地质矿产局，1983. 60～100 页.

本文 1997 年 5 月收到，10 月改回，刘淑春编辑。

2 岩墙的力学性质

华北克拉通中部中元古代基性岩墙沿先存破裂侵位。这些破裂是岩石中的裂隙，是没有明显位移的断裂，因此从宏观上看，岩墙可以作为节理来讨论。Pollard 通过弹性实验认为只要地块内部先存裂隙的长宽比足够大，那么地块受不大的垂直于裂隙的张应力作用就可以在裂隙末端处产生巨大的拉张应力，足以使地块拉张，产生长而深的大规模破裂，为岩浆侵入提供充足的空间[8]。岩墙群实际上是在一定的应力系统作用下形成的小节理群或薄弱面，后期继承扩展成为大节理群，随后基性岩浆侵位到这些先存的大节理群内形成基性岩墙群。因此探讨岩墙群的形成机制，也就是研究节理群构造力学性质的问题。也就是说，岩墙的几何形态主要由先存节理形态决定。所以研究岩墙群的力学性质必须从岩墙群的单体几何形态出发探讨其力学性质，结合岩墙群的分布规律，才能分析形成先存节理群的区域构造应力场及其动力学条件。

2.1 岩墙的单体形态分析

本区岩墙单体形态在不同区段具不同构造类型，代表了不同地区岩墙力学性质的不同。

(1)晋北地区和五台—太行山地区：该区绝大多数岩墙是 NNW 向，与燕辽拗拉槽西界近于垂直，具有以剪性为主兼张性的张剪性构造形态，其总体上近直立、走向稳定、边界平直、产状不受地形影响，显示岩墙具有剪节理的构造形态。而且许多 NNW 向岩墙还具有一系列右行转折部、菱形结环和雁列状收尾形态，因此整条岩墙可能是由许多右行羽列剪节理串联在一起而成的(如图 1 新平地区)。这些都是剪节理的典型构造形态。这充分说明了岩墙侵位前的先存节理具有显著的剪切成分，是以剪性为主的节理。NNW 向岩墙从露头的局部构造形态分析，也兼有张性特征。有的岩墙局部有追踪张式的转折，或细部具有不规则的张裂形态。另外每条岩墙为岩浆顺利贯入所提供的充足空间也说明了岩墙兼有张性特征。可见，晋北地区和五台—太行山地区的 NNW 向岩墙具有张剪性特征。这种张剪性岩墙在该区广泛发育。

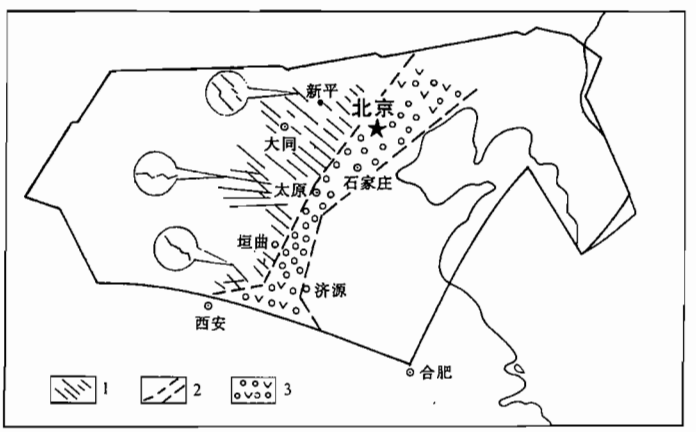


图 1 华北克拉通中部燕辽-中条拗拉槽系与基性岩墙群分布图

Fig. 1 Yanliao-Zhongtiao aulacogen system and distribution of mafic dyke swarms in the North China Craton

1—基性岩墙群；2—拗拉槽边界；3—火山—沉积岩系

1—Mafic dyke swarms; 2—boundary of aulacogen; 3—volcanic and sediment system

(2)吕梁地区：岩墙群主要以 WNW 向为主，其次为 NW 向，走向不稳定、边界不规则，呈追踪张式，分枝较多，常见捕虏体，有些岩墙具“根”状收尾形态。这种“根”状收尾是张性节理典型形态特征，从露头细部观察该“根”状形态具明显的脆性张裂特征，而且其中的角砾状捕虏体未发生转动，说明岩浆侵位几乎与张裂隙同时形成。而且岩浆冷却急剧，反映岩浆贯入时围岩处于张应力状态。该区岩墙群是同构造成因的张性岩墙群(图 1 太原以西吕梁地区)。

(3)中条山地区:该区基性岩墙群以 NW 向为主,与中条拗拉槽的西界近于垂直,其次为近 EW 向。从该区的岩墙群航片解译和露头观察分析,绝大多数为追踪张式,说明该区的岩墙群以张性为主(如图 1 西安和垣曲之间中条山地区)。

综上所述,晋北地区和五台—太行山地区岩墙群走向以 NNW 向为主,主要为张剪性。吕梁地区和中条山地区岩墙群走向为 WNW 向和 NW 向,主要为张性。

2.2　岩墙的力学机制分析

华北克拉通中部岩墙群宏观上走向较稳定、边界较平直,具有典型的构造形态。而且具有一定的分布规律,向 NW 方向发散。表明这是一个统一的破裂系统(或称节理系统),岩墙群严格受构造控制,沿先存破裂(节理)侵位。岩墙侵位必须具备:①首先要有先存节理这一空间条件;②岩浆侵入方向与围岩的张应力垂直,这样才能为岩浆顺利侵入提供力学条件[8]。

吕梁和中条山地区张性岩墙形成的力学机制为先存张节理在围岩张应力作用下先扩展成大规模的张节理,随之岩浆侵入并沿流动方向向先存的张节理进一步扩展或分枝,因此从扩展分枝方向可以推断岩浆的流向是沿岩墙走向朝 WNW 或 NW 流动的。晋北和五台—太行山地区的张剪性岩墙形成的力学机制可能是先存羽列剪节理群在围岩处于拉张应力状态时张开,形成张剪性节理,为岩浆的侵入提供了充足的空间,随之基性岩浆贯入到节理内,将先存羽列节理串联成现在所见到的张剪性岩墙。

从以上力学机制分析,华北克拉通中部基性岩墙群侵位前不全是张节理,也存在剪节理。岩墙产状近直立,故区域张应力方向垂直张性岩墙走向,区域挤压应力平行张性岩墙走向,这为进一步探讨本区的区域构造应力场奠定了基础。值得注意的是,晋北和五台—太行山地区岩墙群的先存破裂为羽列剪节理,形成先存节理的主压应力应沿岩墙走向西偏约 15°。

3　区域构造应力分析

岩墙群代表一种区域性的构造节理系统,反映了岩墙侵位时古构造应力场的脆性破裂。因此,通过山西省及邻区中晚元古代基性岩墙群古构造应力场分析,可以探讨华北克拉通中部古构造应力场和岩墙群古构造应力场与东侧燕辽-中条拗拉槽系的动力环境之间的关系。

根据山西省及邻区的 1∶20 万地质图和卫片及航片,对中晚元古代基性岩墙群进行走向玫瑰图分析(图 2),晋北地区和五台—太行山地区的岩墙群走向以 NNW 向为主;吕梁地区以 WNW 向为主,NNW 向为次;中条山地区主要是 NW 向和近 EW 向。根据区域主压应力方向平行于张性岩墙走向而与张剪性岩墙走向夹角 15°这一特点,推测出华北克拉通中部的区域挤压应力方向。岩墙群的走向玫瑰花图(图 2),表示晋北地区和五台—太行山地区的区域挤压应力方向是 NNW 向;吕梁地区根据两组岩墙的切割关系,两个拗拉槽交汇之前主压应力以 NNW 向为主,交汇之后主压应力以 WNW 向为主;中条山地区则以近 NW 向为主。

区域主压应力方向都近于垂直山西地块东侧的燕辽-中条拗拉槽中轴,而且从岩墙群分布图分析,所有的岩墙群都是从拗拉槽西或西北发散,这充分地表明华北克拉通中部中元古代基性岩墙群形成时,山西地块所受的区域挤压应力来自东侧同期的燕辽-中条拗拉槽系的扩张作用。说明本区的基性岩墙群与拗拉槽系有统一的构造动力环境。

华北克拉通中部中元古代基性岩墙群反映了该地区在中元古代已具备刚性地块弹性崩裂的伸展拉张构造环境。利用公式 $\lambda=nd/(L-nd)$,其中:λ 为拉伸率;d 为岩墙平均宽度;L 为剖面长度;n 为剖面上的岩墙总数,可以初步估计区域拉张程度,即伸展率。根据晋北地区、五台

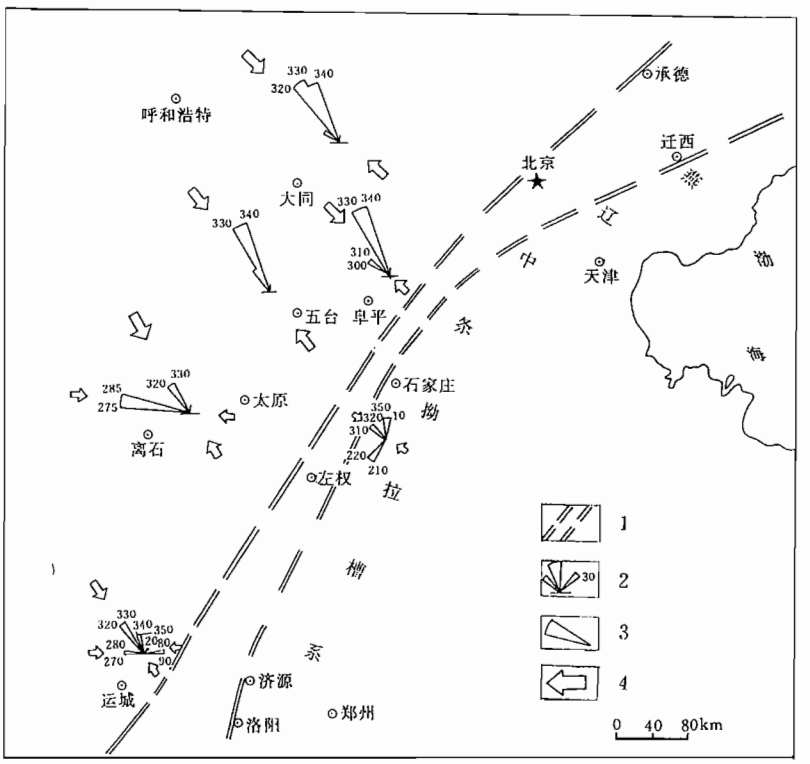


图 2 华北克拉通中部中元古代基性岩墙群指示的区域构造应力场

Fig. 2 The tectonic stress field showed by Mesoproterozoic mafic dyke swarms in the central part of North China Craton

1—拗拉槽边界;2—走向玫瑰图及方向;3—代表宽 2 m 以上岩墙 10 条;4—压应力

1—Boundary of aulacogen;2—strike rose and orientation;
3—showing 10 dykes above 2 meter wide;4—compress stress

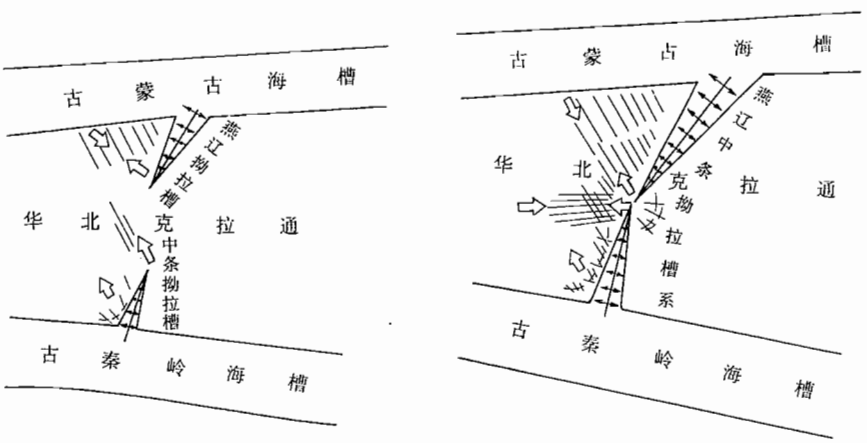
一太行山地区和吕梁地区的岩墙群统计,岩墙平均宽度为 10 m,平均伸展率为 0.3%①,表示区域内张裂作用比较均匀,拉张程度不大。说明板内构造作用强度不大,仅为板内有限的弹性崩裂,不会对地块边界产生任何显著的挤压作用,这与实际地质背景是一致的。

从以上的区域构造应力场分析,华北克拉通中部的中元古代基性岩墙群不是从克拉通边缘向内部发散,而是从克拉通中部的拗拉槽出发向西或西北发散,与世界其他各大克拉通内岩墙群的分布规律和大地构造背景有所不同[8]。

古元古代末吕梁运动宣告华北克拉通形成,并进入稳定地台时期。尤其是在华北克拉通南北缘各发育一组三联肢裂谷,且各有两枝发育成近 EW 向的古蒙古海槽和古秦岭海槽,各有一枝成为消亡肢,伸入克拉通中部发展成 NNE 向的燕辽拗拉槽和中条拗拉槽[9,10](图 3)。中元古代早期(1600～1400Ma),首先由于燕辽拗拉槽的早期扩张,对西侧的晋北地区施加了一个较强的 NW 向挤压应力,所发育的先存破裂系统为一组 NNW 向的羽列剪节理群。来自同

① 侯贵廷. 山西省及邻区晚前寒武纪基性岩墙群的分布及其形成机制研究. 北京大学硕士论文,1990. 37～38 页.

期活动的燕辽拗拉槽底部的基性岩浆贯入到张开的先存节理群内,形成晋北地区 NNW 向张剪性基性岩墙群。同样在中条山地区首先在中条拗拉槽西界形成一些 NW 向基性岩墙,并在吕梁地区同时由于中条拗拉槽向北扩展,产生一些 NNW 向张性基性岩墙群。中元古代晚期(1200～1000Ma),随着燕辽和中条拗拉槽向华北克拉通中部扩展,在五台—太行山地区形成大量 NNW 向张剪性基性岩墙群。在山西东南部两个拗拉槽交汇处,古应力场略有变化[11],在其末端的联合扩展下,吕梁地区形成一系列 WNW 向张性基性岩墙群。同样在中条山地区也形成一些 NW 向和近 EW 向张性基性岩墙群。中元古代基性岩墙群的出现,反映了华北克拉通已具备大陆板块的主要特性,标志着华北克拉通已经进入向现代板块构造转化的新时期。



(1)中元古代早期(16～14Ga)　　(2)中元古代晚期(12～10Ga)

图 3　华北克拉通中元古代基性岩墙群形成的大地构造模式

Fig. 3　The tectonic original model of Mesoproterozoic mafic dyke swarms in the North China Craton

4　结论

(1)华北克拉通中部山西省及邻区广泛发育的基性岩墙群从燕辽-中条拗拉槽系西界向西或西北方向发散,其侵位时代大致为中元古代。

(2)晋北地区和五台—太行山地区的岩墙群为张剪性的,其先存破裂为羽列剪节理;吕梁地区和中条山地区的岩墙群为张性,其先存破裂为张节理。

(3)从岩墙群的分布规律和力学性质分析,初步得出中元古代华北克拉通中部的区域构造应力场,其主压应力来自山西东侧的燕辽-中条拗拉槽系的扩张作用。

(4)这些基性岩墙群的古构造应力场反映了中元古代华北克拉通内刚性地块弹性崩裂的构造环境,其平均伸展率为 0.3%。

参　考　文　献

1　Qian Xianglin ,Chen Yaping. Late Precambrian mafic dyke swarms of the North China Craton, in mafic dyke swarms. Editors: Halls H C,Fabrig W F. Geological Association of Canada Special Paper,1987, 34: 385～392.

2　陈亚平,钱祥麟. 山西吕梁山地区晚前寒武纪镁铁质岩墙群的古地磁学研究. 北京大学学报(自然科学版),1987,2:87～97.

3　张臣,侯贵廷,钱祥麟. 吕梁—晋北地区晚前寒武纪镁铁质岩墙群侵位方式的磁组构证据. 地质论评,1994,40(3):245～

251.
4 侯贵廷. 山西基性岩墙群侵位的磁组构证据. 山西地质,1992,7(4):416～422.
5 陈孝德, 史兰斌. 五台—太行辉绿岩墙群的初步研究. 科学通讯,1983,16:1002～1005.
6 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床的远景探讨. 中国地质科学院院报天津地质矿产研究所分刊,1980,1(1):123～133.
7 Fahrig W F. The Tectonic Settings of Continental Mafic Dyke Swarms: Failed Arm and Early Passive Margin. In Mafic Dyke Swarms, Editors: Halls H C,Fahrig W F. Geological Association of Canada Special Paper,1987,34:331～348.
8 Pollard D D. Elementary Fracture Mechanism Applied to the Structural Interpretation of Dykes. in Mafic Dyke Swarms, Editors: Halls H C,Fahrig W F. Geological Association of Canada Special Paper,1987,34:5～24.
9 Qian Xianglin. Late Precambrian Aulacogens of the North China Craton. Paper Presented to the Conference on Heat and Detachment in Crustal Extension on Continents and Planets, 1986. 115～117.
10 钱祥麟. 中朝断块区. 见:张文佑主编. 中国及邻区海陆大地构造. 北京:科学出版社,1986. 162～174 页.
11 刘小汉. 脆性构造的应力扰乱分析方法. 北京:地震出版社, 1982. 3～95 页.

The Formation Mechanism and Tectonic Stress Field of the Mesoproterozoic Mafic Dike Swarms in the North China Craton

Hou Guiting, Zhang Chen, Qian Xianglin
(*Department of Geology, Peking University, Beijing*,100871, *China*)
Zhang Baoxing
(*Department of Geoscience, Toronto University, Toronto, Canada*)

Abstract

The mechanism for the formation of Mesoproterozoic mafic dike swarms in the central part of the North China Craton has been studied according to an analysis of the shapes and distribution characteristics of these dike swarms. The authors hold that they were mainly formed by emplacement of mafic magma into the earlier extensional or shear-extensional fractures. Most dike swarms in the northern Shanxi and Wutai—Taihang areas are shear-extensional, while most dike swarms in the Luliang and Zhongtiao areas are extensional. According to the distribution, emplacement, mechanism and relation with the Yanliao—Zhongtiao aulacogen system, the Mesoproterozoic tectonic stress field in the central part of the North China Craton was extensional and shear-extensional, in which the principal compress stress probably stemed from the extension of the Yanliao—Zhongtiao aulacogen system. The existence of the undeformed and unmetamorphed Precambrian dike swarms shows that the Precambrian North China Craton had been a rigid plate.

Key words: North China Craton; mafic dike swarms; mechanic character; tectonic stress field; Yanliao—Zhongtiao aulacogen system

作 者 简 介

侯贵廷,男,生于 1964 年 11 月。1990 年毕业于北京大学地质系构造地质专业研究生。现为北京大学地质学系讲师,从事构造地质学的研究。通讯地址:100871,北京大学地质学系。