

大陆深俯冲的最大深度——来自数值模拟实验的结果*

张可丰¹ 方之楚¹ 徐备^{2**} 何金有²

ZHANG KeFeng¹, FANG ZhiChu¹, XU Bei² and HE JinYou²

1. 上海交通大学工程力学系, 上海 200030

2. 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871

1. Department of Engineering Mechanics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China

2. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, MOE; School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

2005-06-06 收稿, 2005-07-13 改回.

Zhang KF, Fang ZC, Xu B and He JY. 2005. The maximum depth of the continental deep subduction: results from numerical simulation. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4) 1311 – 1315

Abstract Two-dimensional numerical simulation for continental subduction by means of a finite element model of 8 visco-elastic material blocks with a given temperature field indicates that under the combined action of three kinds of dynamic load including the negative buoyancy, the push force of the mid-ocean ridge 10 ~ 30MPa from upper to lower and the drag force connected with mantle convection 100MPa, the actual vertical displacement of the subducted continental crust can reach 117km and its final subduction depth is 147km; the corresponding data for the subducted oceanic crust are 162km and 231km, respectively. Before the continental and oceanic crusts are subducted to a certain depth, their subduction speed basically keeps from varying, it is shown that their bottom displacement-time history curve is a straight line approximately; however, after subduction time is larger than 9Ma and the subduction depths of the continental and oceanic crusts reach 96km and 167km respectively, their subduction speed becomes gradually slower.

Key words continental deep subduction, numerical simulation

摘要 采用粘弹性材料 8 块体有限元模型并设定温度场后进行的大陆深俯冲二维数值模拟表明, 在组合载荷(负浮力、洋中脊推力从上到下 10 ~ 30 MPa 和地幔对流拖曳力 100MPa)作用下, 陆壳俯冲实际垂向位移可达 117km, 最终俯冲深度达到 147km, 而洋壳实际垂向位移约 162km, 最终俯冲深度达到 231km. 在洋壳、陆壳俯冲到一定深度以前, 它们的俯冲速度基本保持不变, 表现为洋壳、陆壳底端的位移-时间曲线近似为直线, 当俯冲时间超过 9Ma, 洋壳、陆壳分别达到 167km、96km 深度后, 俯冲速度会越来越慢。

关键词 大陆深俯冲; 数值模拟

中图法分类号 P541; P542.4

1 引言

自从 Smith(1984)和 Chopin(1984)提出大陆深俯冲的概念以来, 地质学家提出了许多令人感兴趣的问题。例如大陆

深俯冲得以发生的前提和条件是什么? 影响大陆深俯冲深度的主要因素是什么? 大陆深俯冲的最大深度是多少? 解决这些问题不但需要地质学界和地球物理学界的观察和研究(Liou *et al*, 1997; Ye *et al*, 2000), 而且需要实验结果的验证。

* 国家重点基础研究发展规划项目(G1999075511)和国家自然科学基金项目(40272098)资助。

第一作者简介: 张可丰, 男, 1980 年 1 月生, 硕士, 现从事结构力学研究, E-mail zhangkf@snerdi.com.cn

** 通讯作者: 徐备, E-mail bxu@pku.edu.cn

大陆岩石圈板块究竟能够俯冲到多大深度是近年来的研究热点之一,地质学研究已经提供了几个可能的数据。例如对大别山超高压岩石的研究表明岩石圈俯冲深度可达 80~120km,部分大陆岩石圈可能达到 200km 或更深(徐树桐等,1991;Ye 等,2000)。Zhu 等(2002)研究 Kokchetav 超高压地体的白云石后认为俯冲深度可大于 250km, Dobrzhinetskaya 等(1996)在瑞士 Alpe Arami 橄榄岩地体的橄榄石中发现钛铁矿和铬铁矿的出溶体,推断橄榄岩地体至少来自于 300km 深度。金振民等(1998)根据碧溪岭石榴石橄榄岩的早期橄榄石中被发现的针状出溶体,认为大别山超高压岩石形成深度在 300km 以上。

数值模拟方法对探讨大陆深俯冲的动力学过程有重要意义,同时也可提供关于俯冲深度的信息。Beukel 等(1992)在热力学和力学模拟基础上,提出地壳的厚度、热结构和成分对俯冲深度影响很大,冷的大陆地壳和岩石圈的俯冲可能导致地壳俯冲到地幔深度。Ranalli 等(2000)讨论了大陆俯冲过程中洋壳向下的负浮力和陆壳向上的正浮力与陆壳俯冲深度的关系以及密度、俯冲角度、俯冲速度、陆块规模等对这些浮力的影响,认为陆壳向下俯冲到 100~250km 深度是可能的。Pysklywe(2000)用有限元方法探讨了大陆岩石圈在俯冲过程中受自身流变学结构、外界推力作用及板块碰撞速度的影响所产生的不同俯冲形式。王飞等(1999)用有限元数值模拟方法,分析了地幔热物质侵入和华南板块水平挤压对大别造山带构造变形的控制作用。武红岭等(2001)用数值模拟方法探讨了大别山陆—陆点碰撞时构造应力场和构造超压的作用,认为静岩压力在超高压变质岩形成过程中占主导作用。石耀林等(2001)对大陆深俯冲的尺度问题开展数值模拟研究,认为大洋岩石圈最多可以拖曳宽度为 150km 的窄条陆壳向下俯冲。Wang *et al.* (2004)应用 ANSYS 有限元软件进行的二维数值模拟结果显示地壳可以俯冲到 120km 以上的深度。

尽管前人从模拟研究角度给出了 100~250km 或大于 120km 的俯冲深度,但这是否代表大陆深俯冲的最大深度?俯冲过程如何?在俯冲过程中洋壳和陆壳分别达到多深?作者将借助于商用有限元软件 ANSYS,根据动力学和固体力学原理,运用数值模拟方法进一步探讨这些问题。

2 动力学数值模拟模型

在同类型的二维数值模拟研究中,常将大陆深俯冲动力学问题简化为二维平面应变问题(如 Wang *et al.*, 2004; 许鹤华, 2004)。据此,作者应用动力学和固体力学原理,建立了大陆深俯冲的二维动力学模型(由于篇幅所限,其详细推导过程不在本文列出,参见第一作者的硕士论文(张可丰, 2005))。

大陆深俯冲动力学过程具有温度高、载荷作用时间长和俯冲块体除表现出弹性外还具有较大流变性的特点。因此作者将俯冲带简化为多个粘弹性块体,各块体的材料物性常数在表 1 中给出。考虑到大陆深俯冲全过程有洋壳、过渡壳和陆壳参与,作者提出了 8 块体相互作用的计算模型,其俯冲角被选择为 30 度,俯冲板块最厚处为 100km,如图 1 示。

模型中 A1 和 A2 为仰冲板块,其中 A1:陆壳(厚 30km,在地表处长 400km),A2:岩石圈地幔(厚 100km);A3~A8 组成俯冲板块,其中 A3:洋壳(厚 10km,全长约 100km),A4:大洋岩石圈地幔(厚 70km),A5 和 A6:陆壳(A5 厚度由 10km 渐变到 30km),A7 和 A8:大陆岩石圈地幔,厚度均为 70km,长度为 1000km。模型有限元网格划分结果和位移边界条件见图 2。位移边界条件的设置考虑如下:由于模拟中仰冲板块相对保持不动,其左端离俯冲带较远,可将其固定。由于远离俯冲带的俯冲板块部分主要只作向俯冲带推进的水平运动,在竖直方向上基本不发生运动,故对俯冲板块的最右端、俯冲板块的陆壳和岩石圈地幔均施加了 y 方向的位移约束(模型的坐标系如图 2 所示)。考虑到除俯冲带附近的岩石圈地幔会发生俯冲而具有垂向位移外,其它较远处的岩石圈地幔只会作“漂浮”作水平运动,因此对这些大陆岩石圈地幔也施加 y 方向的位移约束。

接触摩擦滑动的力学模型中使用了库仑滑动摩擦准则,模型中俯冲板块和仰冲板块接触时的库仑摩擦系数取为 $\mu = 0.01$ 。关于初始应力场问题,由于模型中已考虑了各块体的重力因素和浮力因素,因此 ANSYS 程序能自动计算初始应力场。

表 1 计算模型中各粘弹性块体的材料物性常数(Scheidegger A E, 1982; Doin and Henry, 2001)

Table 1 material and physical constants of visco-elastic blocks in the simulation model(Scheidegger A E, 1982; Doin and Henry, 2001)

划分单元		杨氏模量 E	泊松比 ν	粘性系数 η	阻尼系数 c	密度 ρ
		Pa		Pa · s	kg/m ³ · s	kg/m ³
仰冲	地壳 A1	5E + 10	0.25	1.0E + 21	5.0E + 6	2700
板块	大陆岩石圈地幔 A2	15E + 10	0.25	1.0E + 22	5.0E + 6	3250
俯冲 板 块	洋壳 A3	5E + 10	0.25	1.0E + 21	5.0E + 6	3000
	大洋岩石圈地幔 A4	15E + 10	0.25	1.0E + 22	5.0E + 6	3400
	陆壳 A5、A6	5E + 10	0.25	1.0E + 21	5.0E + 6	2700
	大陆岩石圈地幔 A7、A8	15E + 10	0.25	1.0E + 22	5.0E + 6	3250



图1 大陆深俯冲8块体相互作用动力学模型

Fig.1 8-block numerical simulation dynamic model for continental deep subduction

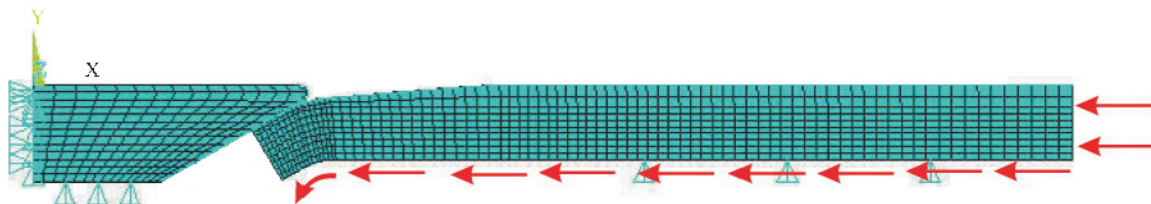


图2 划分网格、施加边界条件后的计算模型

Fig.2 The meshed numerical simulation model with boundary conditions applied

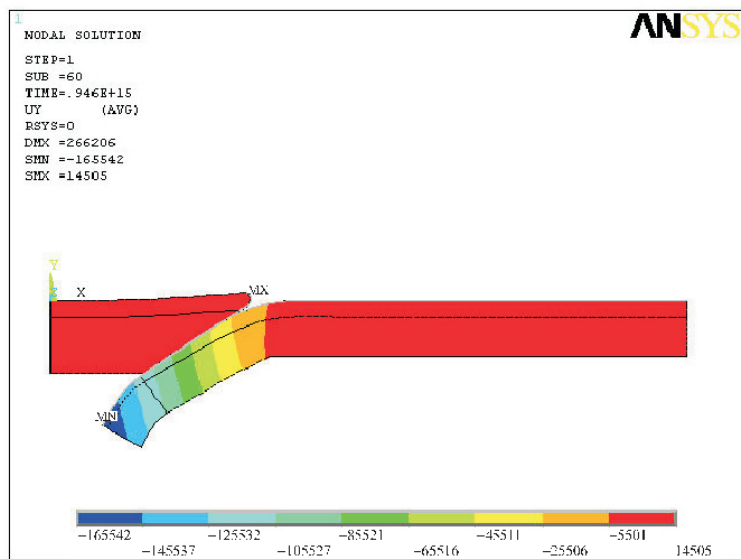


图3 组合载荷下30Ma时的y方向位移图(单位:m)

Fig.3 Contour of displacement (m) in y direction under combined forces at $t = 30\text{Ma}$

表2 洋壳和陆壳垂向位移和垂向位置与俯冲时间的关系

Table 2 The relationship between subduction time and the vertical displacement and position of oceanic and continental crusts

俯冲时间(Ma)	垂向位移(单位 m)		垂向位置(单位 m)	
	洋壳底端	陆壳底端	洋壳底端	陆壳底端
0	0	0	-68660.0	-30000.0
5	-57332.1	-37174.8	-125992.0	-67174.8
10	-107848.0	-72873.9	-176508.0	-102874.0
15	-134098.0	-92995.2	-202758.0	-122995.0
20	-146948.0	-103669.0	-215608.0	-133669.0
25	-153996.0	-110140.0	-222656.0	-140140.0
30	-161875.0	-116667.0	-230535.0	-146667.0

负号表示处于地表以下

大陆深俯冲是洋中脊推力、地幔对流拖曳力和洋壳向下拉力三种载荷的综合结果。考虑到简化的动力学模型属平面应变问题,作者将洋中脊推力简化为作用在陆壳和其下岩石圈地幔上的压应力,在图2中为右端的压应力,地幔对流拖曳力简化成作用在大陆岩石圈地幔和大洋岩石圈地幔上的剪应力,在图2中为俯冲块体下端的剪应力,它的作用方向是沿着水平切线方向向左。关于洋中脊推力和地幔对流拖曳力的取值范围,由于目前尚无可用的计算方法,故我们参考了同类研究的取值范围和设定原则。洋中脊推力取从上到下10~30 MPa的线性变化值(许鹤华等,2004;Wang *et al.*,2004)。地幔对流拖曳力的取值则以保证数值模拟收敛的前提下取最大值为限(许鹤华等,2004;Wang *et al.*,2004)据此经试算后取最大值为100MPa。关于洋壳向下拉力的取值问题比较复杂,这是因为必须考虑板块在俯冲过程中由于周围环境的变化而导致的受力大小的改变,其中变化最大的是由于块体密度和周围软流圈密度差异引起的负浮力。由于各块体密度的差异,负浮力可能成为俯冲的动力也可能成为阻力,最终取决于块体密度和软流圈密度哪个更大。因此洋壳向下的拉力取值可根据负浮力计算得出(臧绍先等,1994)。

本文将作用在各块体上的负浮力作为体力引入计算模型,各俯冲块体所受的浮力及重力的合力(向上为正)由下式计算得到(臧绍先等,1994):

$$F(t) = \iiint_V [\rho_1(x_i, t) - \rho_2(x_i, t)] g dV$$

上式中积分区间 V' 是不同俯冲深度的俯冲板块所处的空间, ρ_1 和 ρ_2 时分别是俯冲板块和它周围软流圈地幔的密度,它们是空间和时间的函数, g 为空间坐标 t 为时间 g 为重力加速度。当 ρ_1 大于 ρ_2 时俯冲块体所受浮力为正,作用效果将使块体上浮;当 ρ_1 小于 ρ_2 时块体所受浮力为负,即为负浮力,其作用效果将使块体向下俯冲。

本文的计算模型考虑了温度对大陆深俯冲过程的影响,对从地表到300km的深度范围施加了温度场。模型中各块体内部的温度分布参照Turcotte等(1986)的数据予以设定:在地表到地下100km的区间内温度由273K线性增加至1610K;在地下100km至200km的区间内,温度保持为1610K;在200km至300km的区间内由1610K渐变为1680K。

3 模拟结果及讨论

在保证数值模拟收敛的前提下,本文得到在洋壳拉力(来源于由密度差引起的负浮力,其具体数值由ANSYS软件自动计算获得)、洋中脊推力从上到下10~30 MPa和地幔对流拖曳力100MPa共同作用下,洋壳、陆壳俯冲最大深度的计算结果。模拟实验中采用0.5Ma为一个时间步长,俯冲的持续时间为30Ma。洋壳和陆壳垂向位移和垂向位置与俯冲时间的关系见表2。图3表示模型在持续时间达到30Ma时

y方向即垂直方向的位移图,位移数值在图中以颜色识别,其单位为米;此图同时也表示了该时刻块体系统的位形。图4和图5分别表示30Ma时间内洋壳、陆壳最低点的位移响应(横坐标为时间,单位为秒;纵坐标为垂直位移量,单位为米)。

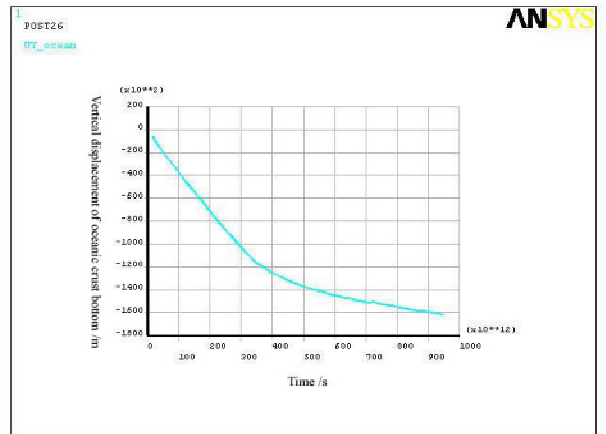


图4 组合载荷下30Ma内洋壳底端的垂向位移响应

Fig. 4 Vertical displacement (m) of oceanic crust bottom vs. time (s) under combined forces

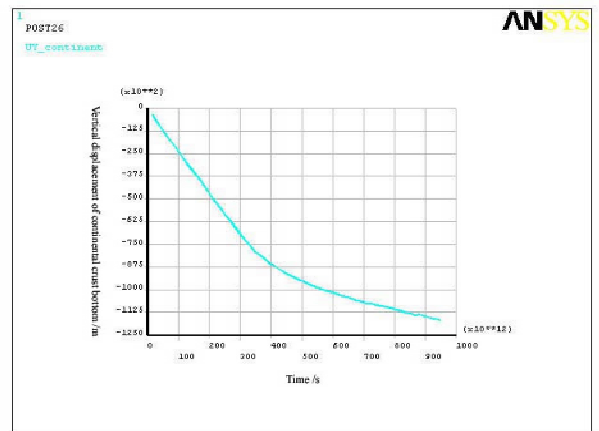


图5 组合载荷下30Ma内陆壳底端的垂向位移响应

Fig. 5 Vertical displacement (m) of continental crust bottom vs. time (s) under combined forces

图3和表2说明,组合载荷下(负浮力、洋中脊推力从上到下10~30 MPa和地幔对流拖曳力100MPa),在俯冲时间达到30Ma时,洋壳垂向位移量可达162km,深度为231km,陆壳垂向位移量可达117km,深度为147km。图4和图5显示,在洋壳、陆壳俯冲到一定深度以前,它们的俯冲速度基本保持不变,表现为洋壳、陆壳底端的位移-时间曲线近似为直线;当超过9Ma,洋壳、陆壳分别达到167km、96km深度后,俯冲速度会越来越慢。不难想象,这是因为随着俯冲深度的增加,陆壳受到的浮力越来越大所致。

4 结论和讨论

采用由粘弹性材料组成的多块体相互作用有限元模型进行的二维动力学数值模拟表明,在组合载荷(负浮力、洋中脊推力从上到下 10~30 MPa 和地幔对流拖曳力 100MPa)作用下,陆壳俯冲实际垂向位移可达 117km,最终俯冲深度达到 147km,而洋壳实际垂向位移约 162km,最终俯冲深度达到 231km,在洋壳、陆壳俯冲到一定深度以前,它们的俯冲速度基本保持不变,表现为洋壳、陆壳的位移-时间曲线近似为直线;当俯冲时间超过 9Ma,洋壳、陆壳分别达到 167km、96km 深度后,俯冲速度会越来越慢。

在同类研究中,Wang *et al.*(2004)的研究结果显示陆壳实际垂向位移约 60km,地壳最终俯冲深度为 120km。本文模拟的陆壳俯冲实际垂向位移达 117km,最终俯冲深度达到 147km,而洋壳实际垂向位移约 162km,最终俯冲深度达到 231km。这些结果不但是目前同类二维模拟研究中所达到的最大深度,而且更加符合地质学界的观察和实验。例如岩石学和矿物学研究揭示,大别-苏鲁超高压变质带作为一个完整板片曾被俯冲到 80~120km 以上深度,其中部分岩石可能俯冲到 200km 以上深度(叶凯,2001)。这与本文的模拟结果较为吻合。

本文的模拟考虑了温度场的变化和负浮力问题,使之较前人的同类研究有了进展。由于本文集中讨论在模型收敛条件下,大陆深俯冲可能达到的最大深度,故未报道在不同载荷条件或其他因素(如俯冲角度、板块厚度等)下的对比研究。对于这一问题将另文叙述。本文开展的大陆深俯冲的数值模拟研究仅仅是初步的,例如虽然考虑了温度场和负浮力,但由于缺乏精确计算的方法或观测数据,故地幔对流拖曳力和洋中脊推力的取值方法只能参考已发表的文献给出。尽管如此,本文的研究对于再现大陆深俯冲的动力学过程和最大深度、验证和限定矿物岩石学方法得到的俯冲深度仍有重要作用。

致谢 感谢蔡永恩、王志民、许鹤华诸先生对本文提出宝贵意见并提供参考文献。感谢上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院提供的正版 ANSYS 软件供作者使用。

References

Beukel J V. 1992. Some thermomechanical aspects of the subduction of continental lithosphere. *Tectonics*, 11(2): 316-329
 Chopin C. 1984. Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the western Alps: a first record and some consequences. *Contrib. Mineral. Petrol*, 86: 107-118
 Dobrzhinetskaya L, Green H W. 1996. Alpe Arami: a peridotite massif from depths of more than 300 kilometers. *Science*, 271: 1841-1845

Doin M. P., Henry P. 2001. Subduction initiation and continental crust recycling: the roles of rheology and eclogitization. *Tectonophysics*, 342: 163-191
 Liou J G, Maruyama S, and Ernst W G. 1997. Seeing a mountain in a grain of garnet. *Science*, 276(5309): 48-49
 Pysklywec R N., Beaumont C., Fullsack P. 2000. Modeling the behavior of the continental mantle lithosphere during plate convergence. *Geology*, 28(7): 655-658
 Ranalli G., Pellegrini R., D'Offizi S. 2000. Time dependence of negative buoyancy and the subduction of continental lithosphere. *Journal of Geodynamics*, 30: 539-555
 Smith D C. 1984. Coesite in clinopyroxene in the caledonides and its implications for geodynamics. *Nature*, 310: 641-644
 Wang Zhimin, Xu Bei., Zhou Yaoqi. 2004. Two-dimensional numerical modeling research on continent subduction dynamics. *Journal of the Geological Society of China*, 78(1): 313-319
 Xu S, Okay A I, Ji S. 1992. Diamonds from Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. *Science*, 256: 80-82
 Ye K, Cong B L, Ye D N. 2000. The possible subduction of continental material to depths greater than 200 km. *Nature*, 407(12): 734-736
 Zhu Yongfeng, Ogasawara Yoshihide. 2002. Carbon recycled into deep Earth: Evidence from dolomite dissociation in subduction-zone rocks. *Geology*, 30(10): 947-950

附中文参考文献

金振民,金淑燕,高山,赵文霞. 1998. 大别山超高压岩石形成深度局限于 100~150km 吗?——针状含钨铬磁铁矿的发现及动力学意义的思考. *科学通报*, 43(1): 767-771
 石耀霖,范桃源. 2001. 大洋岩石圈拖曳窄条陆壳俯冲的极限尺度分析——以新西兰南岛和大别山高压变质带为例. *地球物理学报*, 44(6): 754-760
 王飞,王椿镛,张东宁. 1999. 大别造山带构造演化的数值模拟. *地震学报*, 21(5): 478-486
 武红岭,董树文. 2001. 大别山陆—陆点碰撞和构造超压的形成. *地球科学——中国地质大学学报*, 26(5): 457-463
 徐树桐,苏文,刘贻灿,江来利,季寿元, Okey A L, Sengor AM C. 1991. 大别山东段高压变质岩中的金刚石. *科学通报*, 36(17): 1318-1321
 许鹤华. 2004. 大陆深俯冲的数值模拟. 北京大学地球与空间科学学院博士后出站报告
 叶凯. 2001. 大别山-苏鲁超高压变质带的矿物学和岩石学研究进展. *矿物岩石地球化学通报*, 20(3): 141-148
 臧绍先,宁杰远. 1994. 俯冲带的负浮力及其影响因素. *地球物理学报*, 37(2): 174-183
 张可丰. 2005. 大陆深俯冲动力学数值模拟. 上海交通大学硕士学位论文
 Scheidegger A E. 1982. Principle of geodynamics, third completely revised edition, Spring-Verlag. 王仁,黄杰藩等译. 1986. 地球动力学原理. 北京:地震出版社
 Turcotte D. L., Schubert G., Wiley J., Sons. Geodynamics: Applications of Continuum Physics to Geological Problems. 韩贝传,詹贤望等译. 1986. 北京:地震出版社

《岩石学报》投稿须知

《岩石学报》是由中国科学院主管, 中国矿物岩石地球化学学会和中国科学院地质研究所主办的学术性期刊。其办刊方针是: 坚持以创新性、综合性、前沿性、导向性为特色, 坚持“百花齐放, 百家争鸣”, 依靠和团结全国广大地质工作者, 探索自然奥秘, 开展广泛而深入的基础理论研究, 促进我国地球科学领域研究和发

展, 发表高水平科研成果, 为我国培养和造就大批地学科研人才。
《岩石学报》主要报道有关岩石学基础理论的岩石学领域各学科包括岩浆岩石学、变质岩石学、沉积岩石学、构造岩石学和有机岩石学以及边缘交叉学科包括岩石地球化学、岩石大地构造学、岩石同位素年代学和同位素地球化学、岩石成矿学、造岩矿物学等方面的重要基础理论和应用研究成果, 同时也刊载综述性文章、问题讨论、学术动态以及书评等。

本刊稿件一般以收稿和确定刊用的时间先后次序刊载, 对于具有创新性、开拓性、前沿性的研究成果, 将优先给予刊出。

文稿的著作权: 除《著作权法》另有规定之外, 属于作者, 文责由作者自负。

来稿要求及注意事项如下:

1. 来稿请寄一式三份打印稿(本刊不接收手稿), 图版、照片不要用复印件, 请作者自留底稿。作者投稿时应声明稿件专投本刊且未正式发表。如稿件曾投它刊, 作者应先向本刊说明情况并向它刊申请撤稿, 以避免“一稿多投”事件发生。一旦查出违反上述规定者, 责任由作者承担, 并负责赔偿本刊经济损失。
2. 本刊亦接受国外或国际合作研究的英文稿件。对英文稿件的要求同中文稿件, 应附有中文题目、作者及单位、中文详细摘要及关键词。
3. 编辑部在收到来稿后一般在6个月内答复作者是否录用。作者在6个月后如仍未接到本刊录用通知, 则可改投它刊。
4. 本刊除具有印刷版外, 还具有光盘版和网络版等电子版本。稿件一经录用, 所有版本的版权即由作者转让给本刊, 凡不愿将自己的文章以光盘版和网络版形式发表者, 请在来稿时声明。
5. 依照《著作权法》有关规定, 本刊可对来稿文字进行删改, 对实质性内容的修改, 应征求作者同意。
6. 来稿一经刊用, 编辑部向论文作者收取文章发表费。稿件刊出后, 按规定一次性向作者支付以上版本的稿酬, 赠送当期本刊1册及印刷版抽印本30份。
7. 要求来稿论点明确, 数据可靠, 论证合理, 层次分明, 文字精炼。
8. 研究论文(包括中英文摘要、图表和参考文献)篇幅根据内容需要而定, 本刊不做具体限制。
9. 来稿的格式要求: 本刊采用双盲审稿, 故要求稿件的中英文题目、中英文作者及中英文作者单位单独占一页; 论文另起页隔行打印, 其书写顺序: 英文题目、英文摘要、英文关键词。另起页中文题目、中文摘要、中文关键词、中图法分类号; 引言; 正文; 讨论; 结论; 致谢; 参考文献; 附图及说明; 附表及说明; 附图版及说明。凡不符合来稿格式要求者, 本刊恕不受理所投稿件。
10. 作者只列出主要参加者(同单位作者一般不超过4人, 多单位作者一般不超过6人), 第一作者须附作者简介(姓名, 性别, 出生年月, 学位, 职称, 所从事的专业, 联系电话或E-mail), 参与辅助研究者可列入致谢部分。

11. 基金资助的研究项目, 请注明省部级以上基金名称和项目编号。
12. 论文题目一般不超过20个中文字。文章标题结构层次一般分为二级或三级, 各级标题用1、2、3……; 1. 1、1. 2、1. 3……表示, 依次类推, 顶格书写。
13. 论文摘要应包括研究目的、方法、结果和结论四个主要部分内容, 尤其要突出其创新性的成果。英文摘要篇幅可适当增加为一个印刷页。关键词一般3~8个。
14. 对稿件要求使用国家法定计量单位。标点符号使用要准确。
15. 对测试数据要注明测试者、测试方法、实验仪器设备、实验条件、精度及误差范围等。与同位素地球化学和稀土元素地球化学有关的论文要附原始数据。
16. 图表: 文中只附必要的图表, 在文中相应位置以方框表示并附相应的中英文图题、表题, 附图要求线条粗细均匀, 计算机绘制的线条图可按印刷时的实际尺寸绘制, 双栏排图不宽于80mm, 通栏排图不宽于170mm, 图中文字最好用6号字。对图版照片要求清晰、层次分明, 连同中英文图版说明一起拼贴在240mm×170mm的图版版心尺寸范围内。
17. 作者应在自己的文章中, 对国内同行已发表的相关论文, 特别是近两年的研究成果给予充分反映。凡引用他人的资料须在正文内标注并在文后列出参考文献, 前后一一对应。参考文献表只列出与本文有关的文献, 应是作者直接阅读过的、最主要的、发表在公开出版物上的文献; 非公开出版物作为脚注处理。引用他人未发表过的资料或数据, 应征得有关方面的同意并加以说明。所有中文参考文献均需译成英文, 并在该文献后用括号注明(in Chinese)或(in Chinese with English abstract), 作者应对所引文献的完整性和准确性负责。
18. 本刊采用“著者-年制”标注参考文献。参考文献表中著录全部编著者, 多著者间以“,”号分隔。著者一律姓先后, 名后不加缩写点, 空1个字母的间隔。按著者姓氏拉丁字母顺序排列参考文献表, 同时保留所有中文参考文献作为附录放在全文末尾。参考文献格式示例如下:
书
著者. 出版年. 书名. 版本(第1版不著录). 出版地: 出版者, 起-止页
期刊
著者. 出版年. 文献题名. 刊名, 卷(期): 起-止页
会议录、论文集、论文汇编
著者. 出版年. 题名. 见(In): 编者名(ed./eds.). 文集名. 会议名, 会址, 开会年. 出版地: 出版者, 起-止页
19. 作者在得到录用通知及退改意见后, 及时将修改后的打印稿和软盘以及清绘好的图件寄交给本刊编辑部。
20. 稿件在排印后, 初校样寄作者校对, 除录入排版错误外, 文字一般不宜再作改动, 请在指定日期内将校样寄回。

《岩石学报》编辑部通讯地址:

邮政编码: 100029

北京 9825 信箱/北京德胜门外祁家豁子中国科学院地质研究所

《岩石学报》编辑部

电话: (010) 62008121

E-mail: ysb@china.com

http://www.periodicals.net.cn