

中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题

吴福元^{1,2}, 葛文春², 孙德有², 郭春丽²

(1. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘 要:中国东部岩石圈减薄是近 10 年来国内外研究的热门课题,但关于岩石圈减薄的具体时间、机制及其构造控制因素,多有争论。根据目前的研究资料,文中对上述问题进行了全面的讨论。初步认为该岩石圈减薄发生在晚中生代,且在 120~130 Ma 的早白垩世达到高潮。综合分析认为,岩石圈的减薄与东侧太平洋板块的俯冲有关,即大洋板块的俯冲作用导致岩石圈加厚,进而发生岩石圈拆沉。^{Os} 同位素资料显示,由地幔橄榄岩包体所反映的新生代岩石圈地幔具有年轻性质,与古生代时的岩石圈地幔截然不同。因此笔者认为,中国东部现今的岩石圈地幔并不是减薄后的残留,它表明中生代时,岩石圈地幔和部分下地壳一起通过拆沉作用而沉入软流圈地幔,由此而导致软流圈地幔与地壳的直接接触。幔源岩浆的底侵及软流圈对地壳的直接加热作用,使上覆地壳发生大规模的岩浆和成矿作用,并导致中国东部中生代时期伸展构造的广泛发育。

关键词:岩石圈减薄;中生代;中国东部

中图分类号: P542; P541 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-2321(2003)03-0051-10

自从 20 世纪 90 年代早期中外学者根据我国华北地区早期古老的巨厚富集岩石圈地幔被薄的亏损型软流圈或海洋型地幔所取代这一命题以来^[1~4],中国东部的岩石圈减薄问题得到了国内外学术界的广泛注意,发表了大量研究成果^[5~14]。尽管目前大家公认,岩石圈减薄是中国东部地质演化的基本事实,但对岩石圈减薄的具体时间、机制及其控制因素,仍存在激烈的争论。本文根据最近几年国内外发表的有关资料,对上述问题进行探讨。不妥之处,请读者指正。

1 岩石圈减薄的时间

目前对中国东部岩石圈减薄时间的约束是间接的。山东蒙阴和辽宁复县金伯利岩中的金刚石及其中的矿物包裹体资料显示,该金伯利岩在形成时具有大约 200 km 厚的岩石圈存在,其形成时代多认为在 460 Ma 左右的早古生代^[2,5~7,15~17],该年龄

是利用蒙阴金伯利岩中的钙钛矿的 U-Pb 方法获得的,并得到金云母 Rb-Sr 等时线年龄结果的支持^[17]。尽管笔者认为金云母的 Rb-Sr 年龄往往不能反映金伯利岩的形成时代,且钙钛矿较高的普通铅含量直接影响其获得年龄的准确性,但考虑到钙钛矿的岩浆结晶性质,我们暂时认同这一年龄,但希望我们能有机会看到原始的这一钙钛矿测试数据。然而由新生代玄武岩中的幔源包体研究获得的岩石圈厚度约为 80~120 km,地球物理探测资料也基本与上述结果一致,这就是中国东部显生宙期间岩石圈减薄百余 km 的由来。考虑到岩石圈减薄主要会引起下部软流圈地幔的上涌,并诱发地壳范围内的一系列岩浆、变质等地质作用,因此绝大部分学者认为中国东部的岩石圈减薄应发生在中生代。但由于中国东部中、新生代岩浆作用特点截然不同,由此导致对岩石圈减薄的具体时间存在争论。

鉴于上述情况,学者们多在寻找其它限定岩石圈减薄时间的办法。由于岩石圈减薄不是一个极为短暂的过程,因此,岩石圈减薄应有开始的时间、最大减薄的时间(峰时)和结束的时间等。由于不同学者看待问题的视角不同,对上述时间的厘定存在差异。一般说来,岩石圈最大减薄时,软流圈抬升至最高处,此时应产生大规模或者来源较浅的岩浆作

收稿日期:2003-02-18;修订日期:2003-06-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40272045,40133020);中国地质调查局基础研究项目(200113000052)

作者简介:吴福元(1962—),男,研究员(教授),岩石学与地球化学专业。E-mail: wufuyuan@mail.igcas.ac.cn

用^[18]。针对中国东部在晚白垩世—古近纪出现拉斑玄武岩,不少学者认为此应对应于岩石圈减薄的峰时^[4,12]。但考虑中国东部出现大量晚中生代壳源火成岩,以及新生代岩浆岩随时间变新而出现碱性和强碱性玄武岩的变化趋势,我们曾提出岩石圈减薄应发生在晚白垩世之前,并根据大兴安岭地区出现的以闹牛山火山为代表的约 145 Ma 的拉斑玄武岩,提出 145~120 Ma 是东部岩石圈减薄发生的主要时期的结论^[8,9]。很显然,我们现在仍需要对大兴安岭地区的拉斑玄武岩进行高精度的定年,以准确限定岩石圈减薄的最大时间。

另一种限定岩石圈减薄时间的办法是确定幔源岩浆及其源区性质的变化情况。根据目前的理论研究,岩石圈减薄时,部分岩石圈地幔被软流圈所取代,其岩浆的源区由富集型地幔转变为亏损型地幔,由此导致岩浆的地球化学性质发生变化^[19,20]。因此,徐义刚通过对华北地区中—新生代基性火山岩同位素资料的总结认为^[12],岩石圈可能在侏罗纪就已开始,最大减薄发生在晚白垩世。但实际上,在大多数情况下,区别岩石圈和软流圈地幔来源的岩浆是困难的,尽管 Nd 同位素可对此进行较为有效的约束,但地壳的混染作用可能会使这一问题复杂化。

关于上述岩石圈减薄开始的时间,目前讨论得较少^[10,12]。考虑三叠纪是中国大陆南北聚合的时期,东部的岩石圈减薄应发生在上述拼合之后,具体时间应以开始出现大面积岩浆活动来加以限定。从目前的地质研究结果来看,中国东部大约从中侏罗世开始出现较大范围的岩浆活动,具体时限集中在 180~155 Ma,特别是以 160 Ma 左右为主。因此,我们曾提出此应对应于岩石圈减薄开始的时间^[8,9],但三叠纪南北大陆拼合后可能出现的造山后演化使上述问题复杂化^[21]。因为目前的研究已经发现,中国大陆南北向的汇聚可能一直持续到晚侏罗世甚至早白垩世^[22~24]。同时,即使 180~155 Ma 左右的岩浆活动与太平洋板块对中国东部的影响有关,但我们目前还不能肯定它形成于挤压还是与拆沉作用有关的拉伸构造体制。

但是,从岩浆岩的发育情况来看,东北地区在三叠纪晚期出现大面积的造山后伸展岩石组合^[25],与此相伴随的是在华北北缘出现非造山的碱性岩^[26];山东荣成晚三叠世甲子山正长岩的出现也暗示大别—苏鲁造山带在当时已进入造山后甚至非造山演化

阶段^[27];华南地区的情况略较复杂,南北向汇聚的造山后事件可能一直持续到中侏罗世^[28]。因此,从深部地质作用的角度来说,我们初步认为,中国东部中侏罗纪以后发育的岩浆岩应是与大别—苏鲁无关的另一期构造事件的产物。从这些岩石的自身特点来看,它们具有从早到晚由正常的 I 型、S 型向高钾 I 型和 A 型过渡的特点,显示一个较为完整的造山带岩浆作用的特征。除东南沿海地区外,中国东部其它地区在早白垩纪发育大量的 A 型花岗岩,且大多已具备非造山的特点,预示该造山作用已经结束,并进入板内构造演化阶段。

从上述讨论可以看出,关于中国东部岩石圈减薄的时间问题,目前远未定论。特别是关于岩石圈减薄开始的时间,目前还缺乏应有的资料,这一问题的解决很显然需要对该区幔源镁铁质岩石进行深入的研究。但从另外一个角度来看,120~130 Ma 的早白垩世是中国东部岩浆、成矿等作用最为强烈的时期^[29~33],很可能对应岩石圈减薄的最大时期,其后进入热衰减时期,并出现以碱性玄武岩为代表的新生代岩浆活动。在新生代期间,岩石圈也可能发生过减薄^[4,10],但减薄的幅度不大,主要表现为由于热冷却而导致的新生岩石圈地幔的增生和岩石圈增厚。

2 岩石圈减薄的幅度

岩石圈减薄的幅度主要是指两个方面,其一是空间上,岩石圈减薄涉及到多大的地理范围;其二是深度上,岩石圈减薄发生在岩石圈地幔的内部还是包含有地壳的减薄。对于前者,目前倾向于认为大兴安岭—太行山重力梯度带以东地区。其主要证据是在上述梯度带以西,自南而北分布有四川盆地和鄂尔多斯盆地,它们在中新生代期间基本保持稳定。同时,在上述梯度带以西的汉诺坝和阿巴嘎地区,新生代玄武岩中的地幔橄榄岩显示古元古代的年龄^[13,34],这一年龄与根据目前地表地质研究的结果是吻合的^[35]。同时,郑建平等对鹤壁地区橄榄岩包体的研究也证明该区新生代时仍存在古老的富集岩石圈地幔^[36]。

由于东部岩石圈减薄的概念来源于华北地区的研究,致使有学者怀疑东北和华南地区是否也经历过同种过程。尽管在华北地台以外的东北和华南地区较少存在足以限定早期岩石圈厚度的金伯利岩等

岩石^[37],但从中国东部中生代岩石建造的整体特点出发,很显然,岩石圈减薄也应该同样发生在华南和东北地区^[14,38~40]。

目前最不明确的是垂向上岩石圈减薄的幅度,基本上有两种观点。绝大多数人认为岩石圈减薄只表现为岩石圈下部地幔的减薄,现今的岩石圈地幔是减薄后的残留^[2,4,6,7,12];但第二种观点认为,减薄已涉及到地壳,应是部分下地壳连同下部的岩石圈地幔一同被减薄(移离)^[5,8~10]。后一种观点的主要依据是:(1)由新生代玄武岩中幔源包体的岩石学与地球化学特点反映的该时期岩石圈地幔以亏损型的海洋型地幔为主,与由蒙阴和复县金伯利岩所反映的古生代岩石圈地幔性质截然不同,反映古生代时的岩石圈地幔在新生代已不存在;(2)目前所获得的玄武岩中幔源包体的 Os 同位素资料显示,新生代时期中国东部的东北、华北和华南地区岩石圈地幔的 Os 同位素特征基本一致^[13,14,41],显示其与上覆地壳年代解耦的特点。同时,这些地幔主要表现为年轻性质(图 1)。以华北地台为例,吉林南部龙岗和山东栖霞地区新生代玄武岩中的幔源包体所

现的中生代高镁火成岩的事实^[45],提出当时下部地壳拆沉至岩石圈地幔的认识;(4)根据目前的理论研究成果^[46,47],如果目前的岩石圈地幔是减薄后的残留,那么,它应该记录有早期升温到晚期降温的热演化过程。但目前有限的研究并没有发现这一现象^[48];(5)Os 同位素资料研究还发现^[13,14],岩石圈地幔的年龄在垂向上不存在明显的分层现象,似乎暗示只在整体年轻的岩石圈地幔之中存在少量较老的岩石圈地幔残留。

因此我们认为,中国东部岩石圈减薄不仅仅是表现为岩石圈厚度变薄,而更重要的是整个岩石圈地幔与部分下地壳的丢失,并导致软流圈地幔与上覆地壳的直接接触。考虑到晚中生代中国东部幔源岩浆源区富集和亏损型地幔共存的事实和下扬子、辽西等地区出现的高镁岩石,我们提出图 2 的解释方案,供以后检验。岩石圈拆沉导致的软流圈上涌使地壳加热,引发幔源岩浆的底侵、地壳的部分熔融、变质和大规模流体循环等,而被拆沉的岩石圈也由于受到加热而发生熔融,其中岩石圈地幔来源的岩石具富集性质,而地壳来源的岩浆在上升过程中会受到软流圈地幔的混染。在上述模型中,我们不排除在局部地区存在少量残存的岩石圈地幔,但由于软流圈的加热作用使其多已发生熔融,其残留体与其它物质一起拆沉进入软流圈地幔。在上述地质作用过程中,壳幔物质的拆沉可能并不是一次,而是多次完成的。

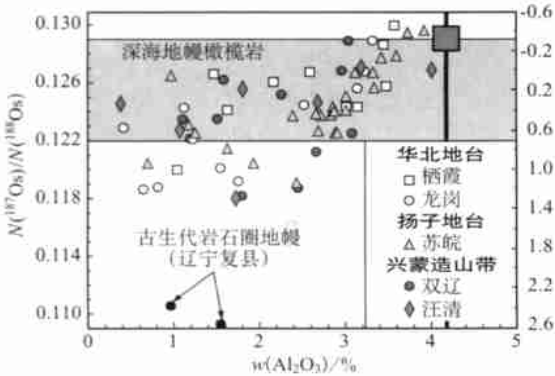


图 1 中国东部新生代玄武岩中地幔橄辉岩的 Os 同位素特征^[13,14,41]

Fig. 1 Os isotopic features of mantle peridotites in the Cenozoic basalts of eastern China^[13,14,41]

反映的岩石圈地幔的年代主要以显生宙为主,没有发现任何太古宙或早元古代地幔存在的痕迹,这一特点与复县金伯利岩中地幔橄辉岩包体的太古宙年龄截然不同^[13](图 1);(3)目前研究发现,中国东部不同地域上下地壳的成分差别不大,同时总体地壳成分明显比全球平均成分偏酸性^[42],这势必要有下地壳的移离或拆沉。而从理论上讲,下地壳是很难拆沉进入较为刚性的岩石圈地幔,最合理的解释是该下地壳连同岩石圈地幔一起沉入软流圈^[43,44]。与上述类似的是,最近许继峰等根据下扬子地区出

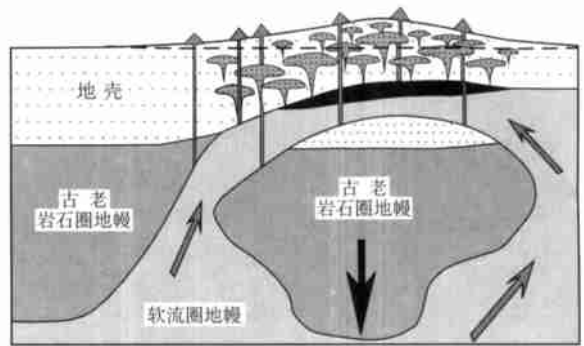


图 2 中国东部中生代岩石圈减薄过程示意图
Fig. 2 Simplified model showing the lithospheric thinning of eastern China in Mesozoic

3 岩石圈减薄机制

尽管对中国东部岩石圈减薄的事实学者们分歧不大,但对减薄的机制目前有所争论。有人采用置

换这一中性名词来回避岩石圈减薄的具体机制,但大多数人采用交代和拆沉这两个模型,分别对应岩石圈减薄的化学和物理两个不同的侧面。

所谓的交代是指原来已有的富集型岩石圈地幔物质通过交代作用而转变成亏损型岩石圈地幔,其具体的过程就是化学侵蚀^[7,48,49],并可伴有机械热侵蚀^[50]。但从地球化学的角度出发,我们无法理解富集型岩石圈地幔如何能够转变成亏损型地幔,因为交代作用的介质大多是富集大离子亲石元素的流体或熔体,它只能将亏损型地幔转变为富集型地幔,反之则难以实现。

所谓的拆沉模型是指由于重力不稳定性而导致的重力垮塌。反对这一模型的主要依据是:(1)目前尚无足够的证据证明整个中国东部在拆沉以前存在加厚的岩石圈;(2)岩石圈地幔多半具有较轻的密度,不易发生拆沉。因此,在晚中生代期间,中国东部是否存在岩石圈加厚是拆沉作用能否成立的关键。我们目前对这一问题没有足够的把握,但提出如下两条线索供下一步研究时参考。第一,有限的矿物包裹体和岩石圈地热研究结果等显示,早白垩世中国东部地壳厚度可能大于 40 km,甚至达到 60 km 左右^[51,52],甚至达到 60 km^[4,53,54],暗示当时应存在加厚的地壳。第二,中国东部晚中生代形成了大量的花岗岩,其中部分岩体具有较深的侵位深度,但它们却很快剥露至地表。如按现今的地壳厚度计算,当时的地壳厚度应大于现今地壳的平均值,即存在加厚的地壳。

此外,目前不少国内学者从埃达克岩的角度出发,提出中国东部在中生代期间存在加厚的地壳^[55,56],我们对此已经予以评论^[57]。但值得指出的另一个现象是,中国东部的中生代花岗岩不少与基本同期的火山岩直接接触,反映当时地壳的快速隆升,这应该是岩石圈减薄同时或稍后发生的现象。联系局部地区稍晚时期存在的特殊沉积建造^[58~60],中国东部在岩石圈减薄前后可能存在地形上的巨型起伏,我们称之为中国东部中生代海岸沿岸山脉。由于当时的中国西部还没有发生印度与欧亚板块的碰撞,当时中国大陆的地势是东高西低,如果当时有扬子江的话,其河水应向西流^[61]。

除上述讨论的模型外,目前还提出另外两种可供选择的减薄方式。其一,目前越来越明确中国东部强烈的中生代岩浆作用主要是通过消耗岩石圈地幔来实现的^[8,62],因此陈斌等认为这可能是岩石圈

减薄的重要机制^[62]。但从质量守恒的角度来看,如果形成岩浆后的岩石圈地幔残留不发生拆沉,其总体岩石圈厚度不可能有大的变化。其二,中国东部在早白垩世发育大量的伸展构造(包括变质核杂岩),正是这一伸展导致了岩石圈的减薄。但纯粹的伸展是一种等体积的物理学过程,它难以解释岩石圈本身的地球化学性质变化,同时目前的研究还不能证实中国东部在晚中生代存在足以使岩石圈减薄一半以上的拉伸系数。

在所有讨论的上述模型中,大家都回避或忽略了在中国东部存在的另一个重要地质现象——郯庐断裂。它的主期活动与东部岩浆发育的时代基本相同^[63],非常可能也与岩石圈减薄同时。但目前不明确的是,是减薄导致了它的发育还是它的存在诱发了减薄。实际上,地下深部的剪切作用使岩石圈的整体性发生破坏,并引发一系列化学过程是可能的,只不过对这一问题目前还缺乏应有的研究^[64]。

4 岩石圈减薄的构造控制因素

目前提出的机制有如下几种方案:(1)印度同欧亚板块的碰撞^[2];(2)扬子和华北板块的拼合^[12,13,34];(3)东侧太平洋板块的俯冲^[4,8,9];(4)地幔柱^[41,65~67]等。对于第一种机制,目前已较少有人认同,因为如果认为岩石圈减薄发生在晚中生代的话,那时,印度和欧亚板块还未发生碰撞。由于岩石圈减薄发生在东北到华南的整个中国东部,这一线状展布现象难以用地幔柱机制进行解释。同时,目前地幔柱模式依赖的基础是秦岭—华北地区的地震层析成像结果——蘑菇云^[68],但这一反映局部地区的现今深部地质情况的现象能否用于整个中国东部晚中生代是目前还不十分明确的问题。更何况,从岩石学、地球化学和地球物理学的角度出发,对我国东部是否存在新生代地幔柱仍存在争论^[69~71]。如果认为中国东部的岩石圈减薄是通过热侵蚀来实现的话,我们倒是觉得由洋脊俯冲而产生的板片窗(slab window)是一个有竞争力的构造模型。因为在这种情形下,俯冲洋脊的扩张将对上覆的岩石圈进行有效的热侵蚀,进而使岩石圈发生一定程度的减薄。

提出扬子和华北板块拼合导致岩石圈减薄的主要理由是当时扬子向华北的俯冲导致华北地台构造加厚,其地壳底部的岩石转变为榴辉岩,继而发生拆

沉^[13,35]。但最近几年的研究表明,大别—苏鲁造山带超高压变质作用或碰撞作用发生在 245~220 Ma 左右^[72,73],并紧接着开始超高压岩石的第一次快速折返,此年代应对应于当时板片的断离或岩石圈拆沉^[73]。此时,超高压岩石已折返至地壳层位^[74]。也就是说,大别—苏鲁造山带的岩石圈拆沉在三叠纪已经完成。同时,我们也很难理解为何 240 Ma 左右的加厚岩石圈到 120~130 Ma 才发生大规模拆沉。其二,从空间分布来看,大别—苏鲁呈近东西向分布,且表现的是扬子向华北的俯冲而导致华北的加厚。因此,其后的岩石圈拆沉应呈东西向分布,且应集中在华北地区东缘和南缘。而目前大家认定的岩石圈减薄区域呈 NNE 向分布在我国东部的东北、华北和华南地区,与上述讨论的方向不相吻合。

因此,我们认为中国东部东侧大洋板块的俯冲及其导致的拆沉是导致该区岩石圈减薄的首要构造控制因素。实际上,中国东部在中生代是否存在俯冲型大陆边缘早在差不多 30 a 前就有学者讨论^[75],并不断有新的成果问世^[4,76~78]。但反对这一提议的主要理由是中国东部的中生代岩浆岩分布宽度巨大(超过 1 000 km),且不存在通常所见的岩浆岩的成分极性,因而当时中国东部可能并不存在俯冲型的活动大陆边缘,甚至可能表现为被动大陆边缘。但实际上,目前可用以制约太平洋形成时代和东亚大陆边缘性质的海底磁异常资料较少^[79~84]。根据最近 10 a 的研究,日本列岛存在大量侏罗纪甚至更早的增生杂岩^[85,86],部分早白垩世的增生杂岩与我国那丹哈达和俄罗斯远东地区的同类地质体一致^[87~91];在台湾,大南澳群中蛇绿混杂岩也可能是在中生代早期就位的^[92]。在我国东北地区,太平洋型大陆边缘的增生可能在中生代早期就已开始。因此,我们应更多考虑具体的地质记录情况。

从上述情况可以看出,目前对中国东部岩石圈减薄机制的认识还相当肤浅,主要是很多地质事实认知程度有限。但在提高区域地质研究程度的同时,我们还必须注意全球地球动力学的研究成果。如,最近关于全球中白垩世超级地幔柱起因的研究^[93~96],可能对正确认识东部的岩石圈减薄具有重要启示意义。

5 结语

中国东部岩石圈减薄概念的提出对研究该区的

区域地质演化有着非常重要的意义,但更重要的是它向我们提出了一个极其重要的科学问题。如果我们以前还对大陆为什么会被保存还存在疑虑的话,那么今天,大陆,特别是克拉通,为什么会被破坏,且壳幔之间产生解耦,将是人们更需要深入研究的重要地球动力学问题。但从另外一个方面看,中国东部岩石圈减薄概念的提出是基于岩石学和地球化学研究的结果,而地球物理学家们常常对此感到不解或有疑惑;而对于岩石圈减薄这样的地球动力学现象来说,离开地球物理学家的参与是不可能的。因此,加强地质—地球物理—地球化学多学科联合攻关将在未来显得极为重要。同时,目前国外对岩石圈减薄开展了大量的模拟实验研究,而我国在此方面基本上还处于空白。因此,模拟,特别是数值模拟,将是更好理解我国东部岩石圈减薄不可缺少的一项重要工作。

References[参考文献]:

- [1] FAN W M, MENZIES M A. Destruction of aged lower lithosphere and accretion of asthenosphere mantle beneath eastern China [J]. *Geotectonic et Metallogenia*, 1992, 16 (3-4): 171-180.
- [2] MENZIES M A, FAN W M, ZHANG M. Palaeozoic and Cenozoic lithosphere and the loss of >120 km of Archean lithosphere, Sino-Korean craton, China [A]. PRICHARD H M, AL-ABASTER T, HARRIS N B W, et al. *Magmatic Processes and Plate Tectonics*[M]. Geol Soc Spec Pub, 1993, 76: 71-81.
- [3] DENG J F, MO X X, ZHAO H L, et al. Lithosphere root/derooting and activation of the east China continent [J]. *Geoscience*, 1994, 8: 349-356 (in Chinese). [邓晋福,莫宣学,赵海玲,等.中国东部岩石圈根/去根作用与大陆“活化”[J]. *现代地质*, 1994, 8: 349-356.]
- [4] DENG J F, ZHAO H L, MO X X, et al. *Continental Roots — Plume Tectonics of China: Key to the Continental Dynamics* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 110 (in Chinese). [邓晋福,赵海玲,莫宣学,等.中国大陆根—柱构造——大陆动力学的钥匙[M].北京:地质出版社, 1996. 110.]
- [5] GRIFFIN W L, ZHANG A D, O'REILLY S Y, et al. Phanerozoic evolution of the lithosphere beneath the Sino-Korean craton [A]. FLOWER M, CHUNG S L, LO C H, et al. *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia*[M]. *Am Geophys Union, (Geodyn Series)*, 1998, 100: 107-126.
- [6] MENZIES M A, XU Y G. Geodynamics of the North China craton [A]. FLOWER M, CHUNG S L, LO C H, et al. *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia*[M]. *Am Geophys Union, Geodyn Series*, 1998, 100: 155-165.

- [7] ZHENG J P. *Mesozoic - Cenozoic Mantle Replacement and Lithospheric Thinning Beneath the Eastern China*[M]. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences, 1999. 126 (in Chinese). [郑建平. 中国东部地幔置换作用与中生代岩石圈减薄[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999. 126.]
- [8] WU F Y, SUN D Y. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in eastern China [J]. *J Changchun Uni Sci Tech*, 1999, 29: 313-318 (in Chinese). [吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(4): 313-318.]
- [9] WU F Y, SUN D Y, ZHANG GL, et al. Deep geodynamics of Yanshan movement [J]. *Geol J China Uni*, 2000, 6: 379-388 (in Chinese). [吴福元, 孙德有, 张广良, 等. 论燕山运动的深部地球动力学本质[J]. 高校地质学报, 2000, 6: 379-388.]
- [10] XU W L, WANG D Y, WANG, S M. *p-T-t* model of Mesozoic and Cenozoic volcanisms and lithospheric evolution in eastern China[J]. *J Changchun Uni Sci Tech*, 2000, 30: 329-335 (in Chinese). [许文良, 王冬艳, 王嗣敏. 中国东部中生代火山作用的 *p-T-t* 模型与岩石圈演化[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30: 329-335.]
- [11] FAN W M, ZHANG H F, BAKER J, et al. On and off the North China Craton: Where is the Archean keel[J]? *J Petrol*, 2000, 41: 933-950.
- [12] XU Y G. Thermo-tectonic destruction of the Archean lithospheric keel beneath the Sino - Korean craton in China: evidence, timing and mechanism [J]. *Phys Chem Earth (A)*, 2001, 26: 747-757.
- [13] GAO S, RUDNICK R L, CARLSON R W, et al. Re-Os evidence for replacement of ancient mantle lithosphere beneath the North China Craton[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2002, 198: 307-322.
- [14] WU F Y, WALKER R J, REN X W, et al. Osmium isotopic constraints on the age of lithospheric mantle beneath northeastern China[J]. *Chem Geol*, 2003, 196: 107-129.
- [15] CHI J S, LU F X. *Kimberlites and Paleozoic Lithospheric Mantle Features of the North China Craton*[M]. Beijing: Sciences Press, 1996. 292 (in Chinese). [池际尚, 路凤香. 华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 292.]
- [16] WANG W Y, TAKAHASHI E, SUENO S. Geochemical properties of lithospheric mantle beneath the Sino - Korean Craton: Evidence from garnet xenocrysts and diamond inclusions [J]. *Phys Earth Planet Interiors*, 1998, 107: 249-260.
- [17] DOBBS P N, DUNCAN D J, HU S, et al. The geology of Mengyin kimberlites, Shandong, China [A]. MEYER O A, LEONARDOS O H. *Kimberlites, Related Rocks and Mantle Xenoliths*[M]. CPRM Spec Publ, 1994, 1A/93: 40-61.
- [18] KA Y R W, KA Y S M. Delamination and delamination magmatism[J]. *Tectonophysics*, 1993, 219: 177-189.
- [19] PERRY F V, BALDRIDGE S, DEPAOLO D J. Chemical and isotopic evidence for lithospheric thinning beneath the Rio Grande rift[J]. *Nature*, 1988, 332: 432-434.
- [20] DALEY E E, DEPAOLO D J. Isotopic evidence for lithospheric thinning during extension: Southeastern Great Basin[J]. *Geology*, 1992, 20: 104-108.
- [21] LI S G, HUANG F, LI H. Post-collisional lithospheric delamination of the Sulu - Dabie orogen[J]. *Chin Sci Bull*, 2001, 41: 259-263. [李曙光, 黄方, 李晖. 大别-苏鲁造山带碰撞后的岩石圈拆离[J]. 科学通报, 2001, 46: 1487-1491.]
- [22] DAVIS G A, ZHENG Y D, WANG C, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China [A]. HENDRIX M S, DAVIS G A. *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation*[M]. Boulder, Colorado: Geol Soc Am Memoir, 2001, 194: 171-197.
- [23] HE Z J, LI J Y, NIU B G, et al. A late Jurassic intense thrusting-uplifting event in the Yanshan - Yinshan area, northern China, and its sedimentary response[J]. *Geol Rev*, 1998, 44: 407-418 (in Chinese). [和政军, 李锦轶, 牛宝贵, 等. 燕山-阴山地区晚侏罗世强烈推覆-隆升事件及沉积响应[J]. 地质论评, 1998, 44: 407-418.]
- [24] ENKIN R J, YANG Z Y, CHEN Y, et al. Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of China from the Permian to the present[J]. *J Geophys Res*, 1992, 97: 13953-13989.
- [25] WU F Y, SUN D Y, LI H M, et al. A-type granites in Northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis[J]. *Chem Geol*, 2002, 187: 143-173.
- [26] YAN G H, MU B L, XU B L, et al. Triassic alkaline intrusives in the Yanliao-Yinshan area: Their chronology, Sr-Nd-Pb isotopic features and significance[J]. *Science in China (Series D)*, 2000, 30: 383-387 (in Chinese). [阎国翰, 牟保磊, 许保良, 等. 燕辽-阴山三叠纪碱性侵入岩年代学和 Sr-Nd-Pb 同位素特征及意义[J]. 中国科学(D), 2000, 30: 383-387.]
- [27] LIN J Q, TAN D J, CHI X G, et al. *Mesozoic Granites in Jiao - Liao Peninsula*[M]. Beijing: Science Press, 1996. 208 (in Chinese). [林景仟, 谭东娟, 迟效国, 等. 胶辽半岛中生代花岗岩[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 208.]
- [28] CHEN P R, HUA R M, ZHANG B T, et al. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region: Petrological constraints and geodynamic settings[J]. *Science in China (Series D)*, 2002, 45: 756-768. [陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景[J]. 中国科学(D), 2002, 32: 279-289.]
- [29] TAO K Y, MAO J R, XING G F, et al. Strong Yanshanian volcanic magmatic explosion in east China [J]. *Mineral Deposits*, 1999, 18: 316-322 (in Chinese). [陶奎元, 毛建仁, 邢光福, 等. 中国东部燕山期火山-岩浆大爆发[J]. 矿床地质, 1999, 18: 316-322.]
- [30] HUA R M, MAO J W. A preliminary discussion on the Mesozoic

- zoic metallogenic explosion in east China[J]. *Mineral Deposits*, 1999, 18: 300-308 (in Chinese). [华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 1999, 18: 300-308.]
- [31] MAO J W, WANG Z L. A preliminary study on time limits and geodynamics setting of large-scale metallogeny in east China[J]. *Mineral Deposits*, 2000, 19: 289-296 (in Chinese). [毛景文, 王志良. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. 矿床地质, 2000, 19: 289-296.]
- [32] ZHOU X H, YANG J H, ZHANG L C. The formation of Jiaodong super-large gold deposits and Mesozoic lithospheric processes of the North China Craton[J]. *Science in China (Series D)*, 2002, 32(Suppl): 11-20 (in Chinese). [周新华, 杨进辉, 张连昌. 胶东超大型金矿的形成与中生代华北大陆岩石圈深部过程[J]. 中国科学 (D), 2002, 32 (增刊): 11-20.]
- [33] ZHAI M G, YANG J H, FAN H R, et al. A large-scale cluster of gold deposits and metallogenesis in the eastern North China Craton[J]. *Inter Geol Rev*, 2002, 44: 458-476.
- [34] DENG F L, MacDOUGALL J D. Proterozoic depletion of the lithosphere recorded in mantle xenoliths from Inner Mongolia [J]. *Nature*, 1992, 360: 333-336.
- [35] ZHAO G C, WILDE S A, CAWOOD P A, et al. Archean blocks and their boundaries in the North China Craton: Lithological, geochemical, structural and *p-T* path constraints[J]. *Precambrian Res*, 2001, 107: 45-73.
- [36] ZHENG J P, O'REILLY S Y, GRIFFIN W L, et al. Relict refractory mantle beneath the eastern North China block: Significance for lithosphere evolution[J]. *Lithos*, 2001, 57: 43-66.
- [37] ZHANG H F, SUN M, LU F X, et al. Geochemical significance of a garnet lherzolite from the Dahongshan kimberlite, Yangtze Craton, southern China[J]. *Geochemical J*, 2001, 35: 315-331.
- [38] XU X S, O'REILLY S Y, GRIFFIN W L, et al. Genesis of young lithospheric mantle in Southeastern China: An LAM-ICPMS trace element study[J]. *J Petrol*, 2000, 41: 111-148.
- [39] ZOU H P. Continental marginal rifting along the northern South China Sea: The crustal response to the lower lithospheric delamination[J]. *Marine Geol Quaternary Geol*, 2001, 21: 39-44 (in Chinese). [邹和平. 南海北部陆缘扩张——岩石圈拆沉的地壳响应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21: 39-44.]
- [40] XU Y G, SUN M, YAN W, et al. Xenolith evidence for polybaric melting and stratification of the upper mantle beneath south China[J]. *J Asian Earth Sci*, 2002, 20: 937-954.
- [41] ZHI X C, PENG Z C, CHEN D G, et al. The longevity of subcontinental lithospheric mantle beneath Jiangsu - Anhui region [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 44: 1110-1118.
- [42] GAO S, LUO T C, ZHANG B R, et al. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1998, 62: 1959-1975.
- [43] RUDNICK R L. Making continental crust[J]. *Nature*, 1995, 378: 571-578.
- [44] JULL M, KELEMEN P B. On the conditions for lower crustal convective instability[J]. *J Geophys Res*, 2001, 106: 6423-6446.
- [45] XU J F, SHINJO R, DEFANT M J, et al. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: Partial melting of delaminated lower continental crust[J]. *Geology*, 2002, 30: 1111-1114.
- [46] LEE C T, YIN Q Z, RUDNICK R L, et al. Osmium isotopic evidence for Mesozoic removal of lithospheric mantle beneath the Sierra Nevada, California[J]. *Science*, 2000, 289: 1912-1916.
- [47] LEE C T, RUDNICK R L, BRIMHALL G H. Deep lithospheric dynamics beneath the Sierra Nevada during the Mesozoic and Cenozoic as inferred from xenolith petrology[J]. *Geochim Geophys Geosys*, 2001, 2: 2001GC000152.
- [48] XU Y G, MENZIES M A, VROON P, et al. Texture-temperature-geochemistry relationships in the upper mantle as revealed from spinel peridotite xenoliths from Wangqing, NE China[J]. *J Petrol*, 1998, 39: 469-493.
- [49] LU F X, ZHENG J P, LI W P, et al. The main evolution pattern on Phanerozoic mantle in the eastern China: The "Mushroom Cloud" model[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7: 97-107 (in Chinese). [路凤香, 郑建平, 李伍平, 等. 中国东部显生宙地幔演化的主要样式: "蘑菇云"模型[J]. 地学前缘, 2000, 7: 97-107.]
- [50] XU Y G. Roles of thermomechanic and chemical erosion in continental lithospheric thinning[J]. *Bull Mineral Petrol Geochem*, 1999, 18: 1-5 (in Chinese). [徐义刚. 岩石圈的热-机械侵蚀和化学侵蚀与岩石圈减薄[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999, 18: 1-5.]
- [51] LU F X, ZHU Q W, XIE Y H, et al. Discovery of high pressure pyroxene megacrystal in dacite and their significance[J]. *Earth Sci*, 1996, 21: 541-545 (in Chinese). [路凤香, 朱勤文, 谢意红, 等. 英安岩中高压辉石巨晶的发现及其意义[J]. 地球科学, 1996, 21: 541-545.]
- [52] ZHAO H L, DENG J F, HE H Y, et al. Petrological record of orogenic belt crust-thickening: A discussion on Jinan gabbro and its xenolith[J]. *Earth Science Frontiers*, 1998, 5: 251-256 (in Chinese). [赵海玲, 邓晋福, 贺怀宇, 等. 造山带陆壳增厚的一个岩石学记录[J]. 地学前缘, 1998, 5: 251-256.]
- [53] DENG J F, ZHAO G C, ZHAO H L, et al. Yanshanian igneous petrotectonic assemblage and orogenic-deep processes in east China[J]. *Geol Rev*, 2000, 46: 41-48 (in Chinese). [邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 等. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山-深部过程[J]. 地质论评, 2000, 46: 41-48.]
- [54] WANG Y, DENG J F. Petrochemical characteristics and geodynamic significance of the Yanshanian strongly peraluminous intrusive rocks in the Hebei-Shanxi-Liaoning area[J]. *Geol Bull China*, 2002, 21: 270-276 (in Chinese). [汪洋, 邓晋福. 冀晋辽地区燕山期强过铝质侵入岩岩石化学特征及其动力学意义[J]. 地质通报, 2002, 21: 270-276.]

- [55] ZHANG Q, QIAN Q, WANG E C, et al. Existence of east China plateau in mid - late Yanshan period: Implication from adakites[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2001, 36: 248-255 (in Chinese). [张旗, 钱青, 王二七, 等. 燕山中晚期的中国东部高原埃达克岩的启示[J]. 地质科学, 2001, 36: 248-255.]
- [56] WANG Q, ZHAO Z H, XIONG X L, et al. Melting of the underplated basaltic lower crust: Evidence from the Shaxi adakitic sodic quartz-porphyrites, Anhui Province, China[J]. *Geochimica*, 2001, 30: 353-362 (in Chinese). [王强, 赵振华, 熊小林, 等. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自沙溪埃达克质富钠石英闪长玢岩的证据[J]. 地球化学, 2001, 30: 353-362.]
- [57] WU F Y, GE W C, SUN D Y. The definition, discrimination of adakites and their geological implications[A]. XIAO Q H, DENG J F, Ma D Q. *The Ways of Investigation on Granites* [M]. Beijing: Geol Pub House, 2002. 172-191 (in Chinese). [吴福元, 葛文春, 孙德有. 埃达克岩的概念、识别标志及其地质意义[A]. 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 172-191.]
- [58] WANG D P, ZHANG L P, LIU L, et al. The discovery and significance of Cretaceous ice-rafting deposits in Songliao Basin [J]. *J Changchun Uni Earth Sci*, 1996, 26: 382-387 (in Chinese). [王东坡, 张立平, 刘立, 等. 松辽盆地白垩纪冰筏沉积的发现及其地质意义[J]. 长春地质学院学报, 1996, 26: 382-387.]
- [59] CHEN P J. Coastal mountains of SE China, desertization and saliniferous lakes of central China during the Upper Cretaceous [J]. *J Stratigraphy*, 1997, 21: 203-213 (in Chinese). [陈丕基. 晚白垩世中国东南沿岸山系与中南地区的沙漠和盐湖化[J]. 地层学杂志, 1997, 21: 203-213.]
- [60] CHEN P J. Paleoenvironmental changes during the Cretaceous in eastern China[A]. OKADA H, MATEER N J. *Cretaceous Environments of Asia*[M]. [s.l.]: Elsevier, 2000. 81-89.
- [61] DONG S W, WU X H, WU Z H, et al. On tectonic seesawing of the east Asia continent-Global implication of the Yanshanian Movement[J]. *Geol Rev*, 2000, 46: 8-13 (in Chinese). [董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 等. 论东亚大陆的构造翘变——论燕山运动的全球意义[J]. 地质评论, 2000, 46: 8-13.]
- [62] CHEN B, ZHAI M G, SHAO J A. Petrogenesis and implications of the Mesozoic batholith of the northern Taihang Mountains: Evidences from major and trace elemental geochemistry [J]. *Science in China (Series D)*, 2002, 32: 896-907 (in Chinese). [陈斌, 翟明国, 邵济安. 太行山北段中生代岩基的成因和意义: 主要和微量元素地球化学证据[J]. 中国科学(D), 2002, 32: 896-907.]
- [63] ZHU G, SONG C Z, WANG D X, et al. Studies on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of strike-slip time of the Tan - Lu fault zone and their tectonic implications [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 44: 1002-1009. [朱光, 宋传中, 王道轩, 等. 郯庐断裂带走滑时代的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其构造意义[J]. 中国科学(D), 2001, 31: 250-256.]
- [64] XU Y G, ROSS J V, MERCIER J C C. The upper mantle beneath the continental rift of Tanlu, Eastern China: Evidence for the intralithospheric shear zones [J]. *Tectonophysics*, 1993, 225: 337-360.
- [65] ZHENG J P, O'REILL Y S Y, GRIFFIN W L, et al. Nature and evolution of Cenozoic lithospheric mantle beneath Shandong Peninsula, Sino - Korean Craton, Eastern China[J]. *Inter Geol Rev*, 1998, 40: 471-499.
- [66] XU Y G. Mantle plumes, large igneous provinces and their geological consequences[J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4): 341-353 (in Chinese). [徐义刚. 地幔柱构造、大火成岩省及其地质效应[J]. 地学前缘, 2002, 9(4): 341-353.]
- [67] SENGOR A M C. Continental interiors and craton: Any relation [J]? *Tectonophysics*, 1999, 305: 1-42.
- [68] YUAN X C. Velocity structure of the Qinling lithosphere and mushroom cloud model [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 39: 235-244.
- [69] DENG J F, ZHAO H L, WU Z X, et al. A mantle plume beneath the north part of China continent and lithosphere motion [J]. *Geoscience*, 1992, 6: 267-274 (in Chinese). [邓晋福, 赵海玲, 吴宗絮, 等. 中国北方大陆下的地幔热柱与岩石圈运动[J]. 现代地质, 1992, 6: 267-274.]
- [70] ZHU J S, CAO J M, CAI X L, et al. High resolution surface wave tomography in east Asia and west Pacific marginal seas[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 2002, 45: 646-664 (in Chinese). [朱介寿, 曹家敏, 蔡学林, 等. 东亚及西太平洋边缘海高分辨率面波层析成像[J]. 地球物理学报, 2002, 45: 646-664.]
- [71] BARR Y T L, SAUNDERS A D, KEMPTON P D, et al. Petrogenesis of Cenozoic basalts from Mongolia: Evidence for the role of asthenospheric versus metasomatized lithospheric mantle sources[J]. *J Petrol*, 2003, 44: 55-91.
- [72] HACKER B R, RATSCHBACHER L, WEBB L, et al. U/ Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling - Dabie Orogen, China [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1998, 161: 215-230.
- [73] LI S G, JAGOUTZ E, CHEN Y Z, et al. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountains, central China [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 2000, 64: 1077-1093.
- [74] WANG Q C, LIN W. Geodynamics of the Dabieshan collisional orogenic belt [J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4): 257-265 (in Chinese). [王清晨, 林伟. 大别山碰撞造山带的地球动力学[J]. 地学前缘, 2002, 9(4): 257-265.]
- [75] UYEDA S, MIYASHIRO A. Plate tectonics and the Japanese islands: A synthesis [J]. *Geol Soc Am Bull*, 1974, 85: 1159-1170.
- [76] ZHOU X M, XU X S, DONG C W, et al. Mineralogical indicator of the active continental margin of southeastern China: Anorthitic plagioclase [J]. *Chin Sci Bull*, 1994, 39: 1362-1366. [周新民, 徐夕生, 董传万, 等. 中国东南活动大陆边缘的

- 矿物标志: 钙长石质斜长石[J]. 科学通报, 1994, 39: 1011-1014.]
- [77] LAPIERRE H, JAHN B M, CHARVET J, et al. Mesozoic felsic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with the tectonic activity in south-eastern China[J]. *Tectonophysics*, 1997, 274: 321-338.
- [78] ZHOU X M, LI W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas[J]. *Tectonophysics*, 2000, 326: 269-287.
- [79] HILDE T W C, UYEDA S, KROENKE L. Evolution of the western Pacific and its margin[J]. *Tectonophysics*, 1977, 38: 145-165.
- [80] ENGBRETON D C, COX A, GORDON R G. Relative motion between oceanic and continental plates in the Pacific basin [J]. *Geol Soc Am Spec Paper*, 1985, 206: 1-59.
- [81] MARUYAMA S, SENO T. Orogeny and relative plate motions: Example of the Japanese Islands [J]. *Tectonophysics*, 1986, 127: 305-329
- [82] MULLER R D, ROEST W R, ROYER J Y, et al. Digital isochrons of the world's ocean floor[J]. *J Geophys Res*, 1997, 102: 3211-3214.
- [83] MARUYAMA S, ISOZAKI Y, KIMURA G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. *The Island Arc*, 1997, 6: 121-142.
- [84] BARTOLINI A, LARSON R L. Pacific microplate and the Pangea supercontinent in the Early to Middle Jurassic[J]. *Geology*, 2001, 29: 735-738.
- [85] ISOZAKI Y. Jurassic accretion tectonics of Japan[J]. *The Island Arc*, 1997, 6: 25-51.
- [86] TAIRA A. Tectonic evolution of the Japanese island arc system [J]. *Annu Rev Earth Planet Sci*, 2001, 29: 109-134.
- [87] KOJIMA S. Mesozoic terrane accretion in northeast China, Sikhote - Alin and Japan regions [J]. *Palaeo Palaeo Palaeo*, 1987, 69: 213-232.
- [88] PARFENOV L M. Terrane analysis and accretion in northeast Asia[J]. *The Island Arc*, 1993, 2: 35-54.
- [89] POPOVA I M, BAUMGARTNER P O, FILIPPOV A V, et al. Jurassic and Early Cretaceous radiolaria of the Lower Amurian terrane: Khabarovsk region, far east of Russia[J]. *The Island Arc*, 1999, 8: 491-522.
- [90] ZYABREV S, MATSUOKA A. Late Jurassic (Tithonian) radiolarians from a clastic unit of the Khabarovsk complex (Russian Far East): Significance for subduction accretion timing and terrane correlation[J]. *The Island Arc*, 1999, 8: 30-37.
- [91] SATO K, VRUBLEVSKAYA A, RODIONOV S M, et al. Mid-Cretaceous episodic magmatism and tin mineralization in Khingan - Okhotsk volcano-plutonic belt, far east Russia[J]. *Resource Geol*, 2002, 52: 1-14.
- [92] YUI T F, JAHN B M. Geochemistry and plate-tectonic significance of the metabasites from the Tananao Schist Complex of Taiwan[J]. *J SE Asian Earth Sci*, 1990, 4: 357-368.
- [93] HUMLER E, LANGMUIR C, DAUX V. Depth versus age: New perspective from the chemical compositions of ancient crust [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1999, 173: 7-23.
- [94] TEJADA M L G, MAHONEY J J, NEAL C R, et al. Basement geochemistry and geochronology of central Malaita, Solomon Islands, with implications for the origin and evolution of the Ontang Java Palteau[J]. *J Petrol*, 2002, 43: 449-484.
- [95] MACHETEL P, HUMLER E. High temperature during Cretaceous avalanche[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2003, 208: 125-133.
- [96] PYSKLYWEC R N, MITROVICA J X, ISHII M. Mantle avalanche as a driving force for tectonic reorganization in the southwest Pacific[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2003, 209: 29-38.

DISCUSSIONS ON THE LITHOSPHERIC THINNING IN EASTERN CHINA

WU Fu-yuan^{1,2}, GE Wen-chun², SUN De-you², GUO Chun-li²

(1. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

2. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China)*

Abstract : The lithospheric thinning in eastern China is a warmly discussed topic in the last decade. It is not clear, however, about its time, mechanism and tectonic controlling factor for this kind of geodynamic phenomena. According to the up-dated data, a comprehensive review for these questions is given in this paper. It is suggested that the lithospheric thinning took place in the Late Mesozoic, and maximally thinned in Early Cretaceous (120 ~ 130 Ma). It is thought that the lithospheric thinning was related to the subduction of Pacific plate in the east, which resulted in the lithospheric thickening and subsequent delamination. The Os isotopic data from the mantle xenoliths in the Cenozoic basalts suggested that the lithospheric mantle in the Cenozoic is juvenile, much different from that in the Paleozoic, which indicated that the present lithospheric mantle is not the residue after the thinning. Therefore, it is proposed that whole lithospheric mantle with part of the lower crust was delaminated, which resulted in the direct contact between the asthenospheric mantle and crust. The heating from the asthenosphere on the crust subsequently resulted in the intensive magmatism, mineralization, and widespread development of extensional structures in eastern China.

Key words : lithospheric thinning; Mesozoic; eastern China