

# 华北北缘早中生代岩浆底侵作用的年代学记录： 来自辽西晚中生代安山岩锆石 U-Pb 定年结果\*

邵济安<sup>1, 2\*\*</sup> 张宏福<sup>2</sup> 柳小明<sup>3</sup> 李之彤<sup>4</sup>

1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所 岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029;  
3. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069; 4. 沈阳地质矿产研究所, 沈阳 110033

**摘要** 通过对辽西晚中生代义县组顶部玻基方辉安山岩中锆石的阴极发光光谱和 LA-ICP-MS 定年, 发现这些火山岩中锆石常具有环带结构。其中心为残留锆石, 边缘部分为从寄主岩浆中结晶的锆石。边缘部分锆石的 U-Pb 年龄为 116 Ma, 与寄主火山岩的 Ar-Ar 年龄完全一致; 而中心部分锆石的 U-Pb 年龄为 254 Ma, 与该区早中生代底侵麻粒岩中锆石的 U-Pb 年龄 251 Ma 一致。玻基方辉安山岩中单斜辉石捕虏晶与底侵麻粒岩中单斜辉石的组成类似。说明早中生代新增生下地壳的麻粒岩在晚中生代软流圈底辟上涌背景下遭到了改造和破坏, 并且参与了晚中生代的玻基方辉安山岩的形成。

**关键词** 华北北缘 中生代 火山岩 锆石 U-Pb 年龄 底侵麻粒岩

中生代华北克拉通古老岩石圈大规模的减薄已经是不争的事实<sup>[1-3]</sup>。伴随岩石圈减薄过程中存在的壳-幔相互作用是人们关注的重要问题之一。目前大多数学者是采用同位素地球化学方法来论证壳-幔源区或岩浆的混合作用<sup>[4-10]</sup>。如何进一步厘定岩浆的准确来源: 如岩石圈地幔、软流圈或下地壳, 并从中反演壳-幔相互作用的方式和过程却是一件十分困难而很有意义的事情。它对于揭示华北中生代岩石圈减薄和改造的具体过程非常关键。本文将从晚中生代火山岩锆石的年代学记录入手, 捕捉早中生代由岩浆底侵作用形成的壳-幔过渡带被改造和破坏的信息。

## 1 地质背景

辽西位于华北克拉通北缘, 中生代时期曾发生过多期岩浆活动。其中晚中生代在 133—112 Ma 完成了从基性、中基性到中酸性火山岩的喷发, 之后

有 7—10 Ma 的间断, 在此期间地壳发生了强烈的运动, 阜新组来自亏损软流圈的碱性玄武岩(106 Ma) 不整合覆盖在义县组之上, 地幔源区开始了从富集岩石圈地幔向亏损的软流圈的转型过程<sup>[7-9]</sup>。通过对地幔转型之前义县组顶部中酸性火山岩年龄测定, 获得了 117—112 Ma 的一组年龄数据(表 1, 图 1)。

通过火山岩捕虏晶的研究, 发现在岩浆源区转型之前, 义县组火山岩已经出现了壳源和幔源岩浆混合的现象<sup>[13]</sup>。例如在阜新县东部的泡子发现了义县组上部存在一套玻基方辉安山岩, 主要由来自岩石圈地幔的斜方辉石捕虏晶和包裹这些捕虏晶的玻璃质的地壳熔体组成, 此外还有少量单斜辉石捕虏晶, 个别单斜辉石出现轻稀土元素亏损的现象, 不排除晚期有来自软流圈的熔体, 参与了壳-幔多元熔体的混合作用<sup>[13]</sup>。

2006-07-27 收稿, 2006-09-27 收修改稿

\* 国家自然科学基金(批准号: 40372103, 40672039)和中国科学院矿产资源研究重点实验室资助项目

\*\* E-mail: wangcc@tsinghua.edu.cn

表1 义县组顶部中性火山岩年龄一览表

地点	岩性	测试方法	测试结果/Ma	资料出处
彰武叶茂台钻井第一层	英安岩	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线	$112.0 \pm 0.9$	陈义贤等, 1997 <sup>[11]</sup>
义县李恒沟	流纹岩	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄	$113.2 \pm 1.6$	本文 <sup>a)</sup> (图1)
凌海大兴庄	角闪安山岩	U-Pb	$114.9 \pm 2.5$	本文 <sup>b)</sup> (图1)
彰武叶茂台钻井第二层	粗面安山岩	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线	$115.0 \pm 0.5$	陈义贤等, 1997 <sup>[11]</sup>
阜新碱锅	玄武质粗面安山岩	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线	$116.8 \pm 3.0$	Zhu et al., 2004 <sup>[12]</sup>

a) 李之彤采样, 中国地质科学院地质研究所张彦测试; b) 邵济安采样, 西北大学大陆动力学重点实验室柳小明测试

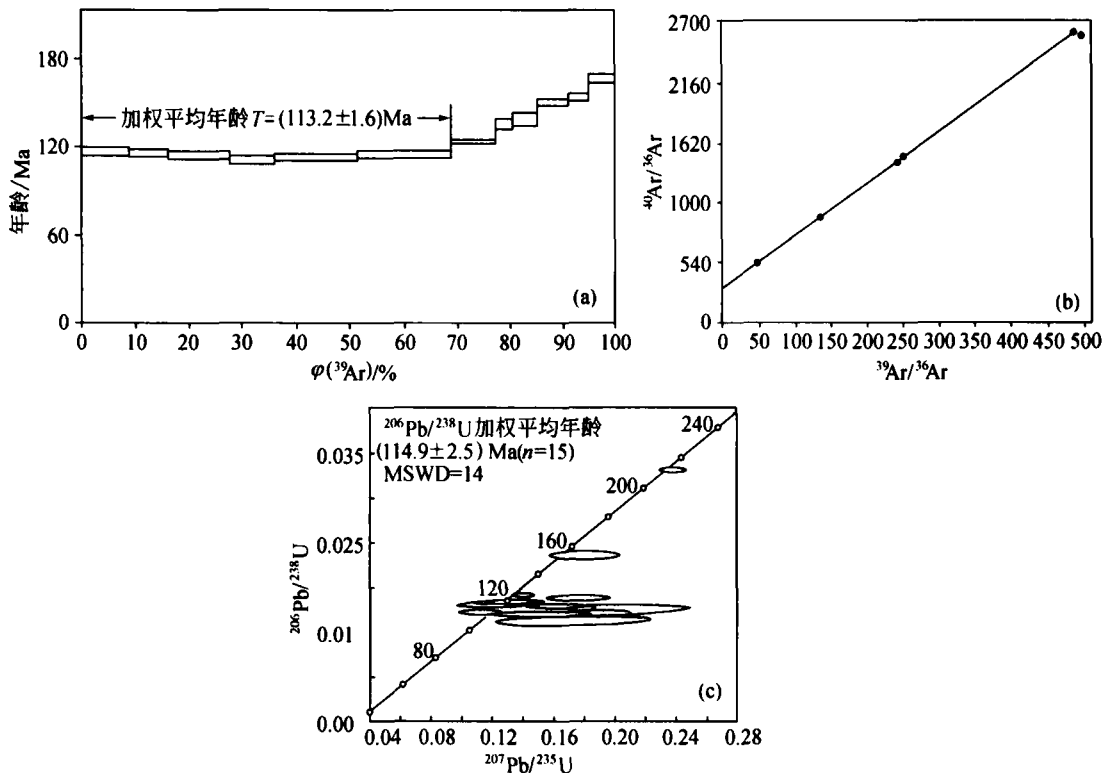


图1 义县组顶部火山岩的同位素年龄图

(a), (b) 义县李恒沟流纹岩 Ar-Ar 年龄图; (c) 凌海大兴庄角闪安山岩锆石 U-Pb 谐和图

前人将玻基方辉安山岩划为义县组上部, 笔者根据孢子周围火山岩的年龄和义县组上部火山岩岩性从中性向中酸性演变的规律(表1), 推测玻基方辉安山岩的年龄大约为 115 Ma.

## 2 锆石的形态特征

玻基方辉安山岩中的锆石含量少, 而且颗粒小, 锆石长轴一般只有 80—100  $\mu\text{m}$ . 在阴极发光照

片中可以发现这些锆石大多存在一个浑圆的内核和相对明亮并且结晶程度较好的边缘, 边缘厚 10—20  $\mu\text{m}$ (图2), 它们记录了锆石的两期生长历史. 这种复杂锆石以图2(a)为例, 核部浑圆状的不规则锆石个体小而亮, 振荡环带不发育, 是典型的变质锆石, 个别锆石核部具振荡环带. 图2(b)锆石具有明显的振荡环带, 中心不具有浑圆状核部, 是晚期从岩浆中结晶的岩浆锆石.

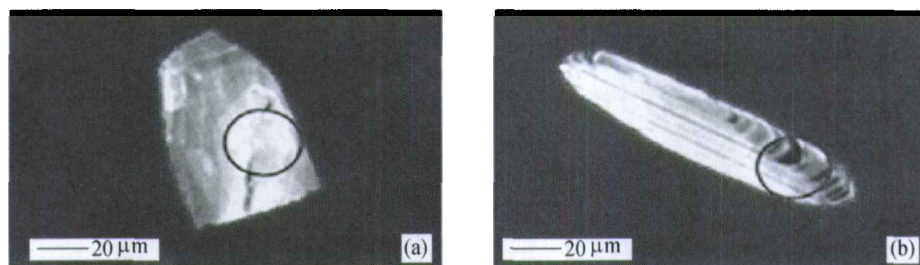


图2 锆石的阴极发光图像

### 3 锆石年龄测定和结果

锆石 U-Pb 年龄测定是在西北大学大陆动力学重点实验室进行的, 测年方法为 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 原位定年, 使用仪器为 Agilent 7500a, 激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas 200 M. 分析中采用的激光斑束直径为 30 μm, 以 <sup>29</sup>Si 作为内标, 哈佛大学标准锆石 91500 作为外标校正.

共测点 22 个, 由于外环窄窄, 大多数点都打在核心部分(如图 2(a)). 经过校正, 除去个别远离

<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U-<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 谐和线或远离加权平均值的测点数据, 大多数样点的谐和性良好(表 2, 图 3), 其加权平均年龄为 (254.6 ± 2) Ma (1σ), MSWD = 0.73. 表 2 中最后一组是未参加计算的数据, 这正是前文所说的 2(b) 岩浆型锆石, 它显示的年龄 116 Ma, Th/U > 0.3, 表明这一年龄是可靠的. 而且与火山岩层位反映的地质年龄基本一致, 反映了火山岩的冷却年龄. 本文关注的重点是核部继承性锆石 (254 Ma) 的地质意义.

表 2 泡子玻基方辉安山岩的 U-Pb 原位定年测试数据

	比值						年龄/Ma							
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	
1	0.05292	0.00174	0.28988	0.00781	0.03972	0.00041	0.347	325	42	258	6	251	3	
4	0.06731	0.00141	0.37533	0.00401	0.04043	0.00035	1.265	442	86	271	9	252	2	
5	0.06944	0.00177	0.37906	0.00669	0.03958	0.00037	0.390	403	73	261	7	246	2	
9	0.05105	0.0011	0.28166	0.00334	0.04001	0.00034	1.393	243	13	252	3	253	2	
10	0.06225	0.00147	0.34249	0.00514	0.0399	0.00036	1.289	489	92	275	10	251	3	
11	0.09112	0.00484	0.49942	0.02432	0.03975	0.00064	0.178	228	212	238	19	239	4	
15	0.05016	0.00107	0.27989	0.00326	0.04046	0.00035	0.534	202	13	251	3	256	2	
16	0.05133	0.00122	0.28671	0.00444	0.0405	0.00036	1.503	256	20	256	4	256	2	
17	0.05474	0.00126	0.29581	0.00428	0.03919	0.00035	0.584	402	17	263	3	248	2	
20	0.05146	0.00117	0.28864	0.00403	0.04068	0.00036	0.586	261	17	257	3	257	2	
23	0.06451	0.00198	0.35702	0.00878	0.04014	0.00041	0.507	351	87	260	8	250	3	
22	0.08165	0.00394	0.21173	0.00926	0.01881	0.00026	0.317	269	188	123	9	116	2	

### 4 继承性锆石的地质意义

玻基方辉安山岩锆石测定的年龄 (254 Ma) 与预期的年龄大相径庭. 在对该年龄进行研究时发现, 它们与笔者在与辽西紧邻接壤的内蒙古宁城一带发

现的下地壳紫苏辉石麻粒岩捕虏体年龄一致(文献 [14] 提到的喀喇沁旗大营子应改为宁城大营子). 紫苏麻粒岩锆石 U-Pb 年龄为 (250.6 ± 4.8) Ma, 紫苏辉石的 K-Ar 年龄为 229 Ma, 它们分别代表麻粒岩捕虏体的变质年龄和冷却年龄, 寄主岩-闪长岩的

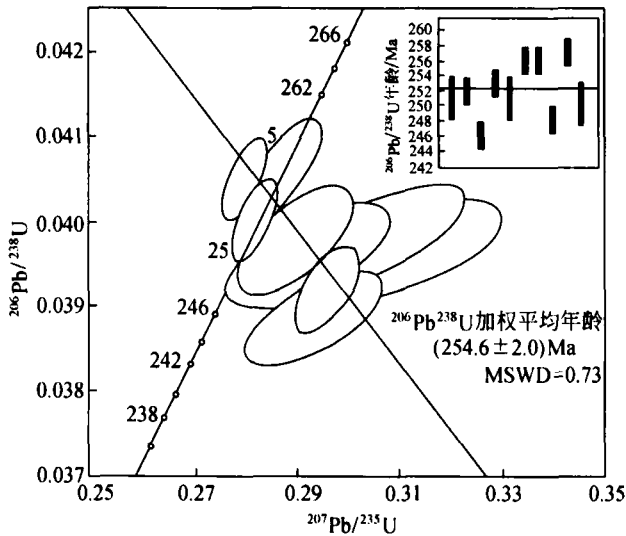


图3 阜新泡子角闪安山岩的锆石 U-Pb 谱和图

全岩 K-Ar 年龄为 219 Ma<sup>[14]</sup>. 与麻粒岩同时被捕获的还有 237—220 Ma 的堆晶岩捕虏体<sup>[15,16]</sup>. 张家口大麻坪新生代玄武岩中也发现了中生代 180—80 Ma 的麻粒岩捕虏体<sup>[17]</sup>. 这一系列事件应该看作发生在华北克拉通起始于早中生代的底侵事件. 由麻粒岩和堆晶岩组成的壳幔过渡带标志了早中生代陆壳的垂向增生<sup>[18]</sup>.

如前研究, 玻基方辉安山岩是在晚中生代底侵背景下壳幔多元熔体混合作用的产物. 本文发现的 254 Ma 的继承性锆石, 推测与早中生代下地壳和壳幔过渡带重熔形成的壳源熔体有关. 早中生代麻粒岩中的单斜辉石与玻基方辉安山岩中的五个单斜辉石捕虏晶相比, 二者的 Na<sub>2</sub>O 含量接近, Na<sub>2</sub>O 为 0.31%—0.38%, 只是后者 Mg# 值明显提高, Mg# 为 78—80, 它们分布在张宏福总结的中生代地幔辉石岩捕虏体与底侵麻粒岩辉石交界线<sup>[19]</sup> 附近 (图 4). 因此, 推测玻基方辉安山岩中单斜辉石捕虏晶有可能是原来底侵麻粒岩中的辉石, 由于与地幔富镁熔体发生了作用, 致使其 Mg# 值提高. 图 4 中黑点为义县组下部高镁玄武岩中的单斜辉石<sup>[20]</sup>, 它们也是来源于早中生代底侵麻粒岩的辉石. 晚中生代火山岩中陆续捕获了底侵麻粒岩中的单斜辉石, 反映了早中生代下地壳和壳幔过渡带的破坏与改造过程. 此外, 距离泡子不远的阜新碱锅, 在 106 Ma 的碱性玄武岩中除了含有地幔岩捕虏体之外, 还有紫苏辉石麻粒岩捕虏体, 他们是否也来源

于早中生代麻粒岩? 有待于深入研究.

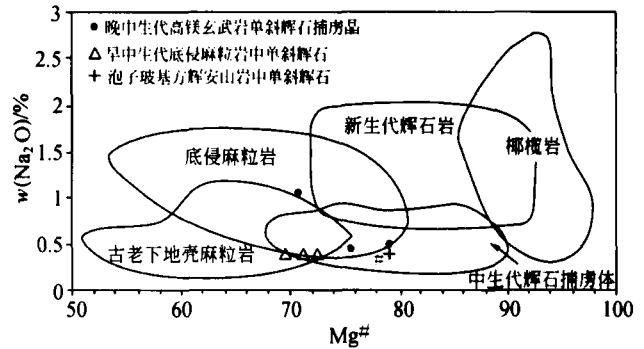


图4 华北不同构造背景下单斜辉石的 Na<sub>2</sub>O-Mg# 关系图<sup>[19]</sup>

## 5 小结

本文通过辽西晚中生代义县组安山岩中锆石年龄的测定, 反演了该区晚中生代在软流圈底辟体上涌背景下, 在壳、幔等多元熔体的相互作用过程中, 玻基方辉安山岩的形成. 同时锆石的演变过程也记录了中生代在岩石圈减薄背景下, 与壳幔过渡带形成和破坏相应的地壳增厚与减薄历程.

## 参 考 文 献

- 1 Fan WM, Menzies MA. Destruction of aged lower lithosphere and accretion of asthenosphere mantle beneath eastern China. *Geotectonic et Metallogenia*, 1992, 16(3-4): 171—180
- 2 邓晋富, 莫宜学, 赵海玲, 等. 中国东部岩石圈根/去根作用与大陆“活化”. *现代地质*, 1994, 8(3): 349—356
- 3 路凤香, 郑建平. 华北地台古生代岩石圈地幔特征及深部过程. 见: 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. 北京: 科学出版社, 1996, 215—274
- 4 翟明国, 樊祺诚, 张宏福, 等. 华北东部岩石圈减薄中的下地壳过程: 岩浆底侵、置换与拆沉作用. *岩石学报*, 2005, 21(6): 1509—1526
- 5 周新华. 中国东部中生代岩石圈转型与减薄研究的若干问题. *地质前缘*, 2006, 13(2): 50—64
- 6 路凤香, 郑建平, 邵济安, 等. 华北东部中生代晚期—新生代软流圈上涌与岩石圈减薄. *地质前缘*, 2006, 13(2): 86—92
- 7 Zhang HF, Sun M, Zhou XH, et al. Secular evolution of the lithosphere beneath the eastern North China Craton: Evidence from Mesozoic basalt and high-Mg andesites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, 67(22): 4373—4387
- 8 邵济安, 李之彤, 张履桥. 辽西及邻区中—新生代火山岩的时空对称分布及其启示. *地质科学*, 2004, 39(1): 98—106

- 9 邵济安, 路凤香, 张履桥, 等. 华北早白垩世末岩石圈局部被扰动的时空证据. 岩石学报, 2006, 22(2): 277-284
- 10 张宏, 柳小明, 李之彤, 等. 辽西阜新一义县盆地及附近地区早白垩世地壳大规模减薄及成因探讨. 地质论评, 2005, 51(4): 360-372
- 11 陈义贤, 陈文寄. 辽西及邻区中生代火山岩—年代学、地球化学和构造背景. 北京: 地震出版社, 1997, 141-201
- 12 Zhu RX, Lo CH, Shi RP, et al. Palaeointensities determined from the middle Cretaceous basalt in Liaoning Province, north-eastern China. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2004, 142: 49-59
- 13 邵济安, 路凤香, 张履桥. 辽西义县组玻基方辉安山岩成因及其构造背景. 岩石学报, 2006, 22(6): 1633-1643
- 14 韩庆军, 邵济安, 等. 华北克拉通早中生代麻粒岩捕虏体的发现. 中国科学, 2000, 30(增刊): 148-153
- 15 邵济安, 韩庆军, 张履桥, 等. 内蒙古东部早中生代堆积杂岩捕虏体的发现. 科学通报, 1999, 44(5): 478-485
- 16 邵济安, 张任祜, 韩庆军, 等. 内蒙古喀喇沁堆晶岩捕虏体和寄主闪长岩的同位素年龄. 地球化学, 2000, 29(4): 331-336
- 17 Wilde SA, Zhou X, Nemchin AA, et al. Mesozoic crust-mantle interaction beneath the North China craton: A consequence of the dispersal of Gondwanaland and accretion of Asia. Geology, 2003, 31: 817-820
- 18 邵济安, 韩庆军, 张履桥, 等. 陆壳垂向增生的两种方式: 以大兴安岭为例. 岩石学报, 1999, 15(4): 600-606
- 19 张宏福. 橄榄岩—熔体的相互作用: 岩石圈地幔组成转变的重要方式. 地学前缘, 2006, 13(2): 65-75
- 20 邵济安, 路凤香, 张履桥, 等. 辽西义县组玄武岩捕虏体的发现及其意义. 岩石学报, 2005, 21(6): 1547-1558

## 《自然科学进展》投稿须知

《自然科学进展》是国家自然科学基金委员会和中国科学院共同主办的综合性学术月刊, 刊登自然科学各学科领域的基础研究和应用基础研究方面的高水平、有创造性和重要意义的最新研究成果论文, 以促进国内外学术交流. 中文版由各地邮局公开发售, 英文版由英国 Taylor & Francis Ltd 总代理, 在世界各地发行.

本刊中文版为《中国科技期刊引证报告》的源期刊, 并被《中文核心期刊要目总览》、“生物学文摘”等数据库和检索系统收录; 英文版(*Progress in Natural Science*)被 SCI Expanded, Chemical Abstracts (CA), Engineering Index (EI), 俄罗斯《文摘杂志》, 美国《数学评论》和日本《科技文献速报》等多种国际检索系统收录.

请直接登录本刊网站(<http://pub.nsf.gov.cn>)投稿. 请使用国标(GB3100~3102-93)规定的法定计量单位. 所含曲线图、示意图和照片要尽量精选, 原则上总数不超过6幅; 图题、图注和纵横坐标参数以及图内说明文字均用中文, 参数采用国标规定符号; 彩版需额外支付制作印刷费. 表格均采用三线表, 易引起含混时, 可加辅线, 对表中所列诸项需特殊说明时, 可在表下用 a), b) 等注示. 插图和表格排在正文提及后的适当处. 资助项目需在首页脚注中说明.

投稿时请提供如下材料和信息: (i) 申明稿件无泄密之处, 未曾正式发表过, 也未同时投往他刊; 所有作者都了解文章的内容, 并同意署名; 简要介绍研究工作的背景及成果的意义; 明确所投栏目及学科分类. (ii) 作者的所有联系方式. 通讯地址, 邮政编码, 电话, 传真及 E-mail 地址. (iii) 推荐 5-7 名非本单位的具有正高级职称同行评审专家及其单位、通信地址, 也可提出要求回避的专家, 供稿件送审时参考.

稿件经同行专家评议后由编辑部做出取舍决定. 不拟刊登的来稿, 编辑部将及时通知作者; 对于录用的稿件需酌收版面费, 论文刊出的当月同时上网, 并赠送 1 本样刊.

论文撰写格式请严格遵循本刊的相关要求. 所列文献按正文中引用的先后排序. 文献的作者不多于 3 位时, 需全部列出, 文献的作者多于 3 位时, 只列前 3 位作者, 其余用“等”或“et al.”代替.

联系地址: 100085 北京海淀区双清路 83 号 国家自然科学基金委员会《自然科学进展》编辑部

联系电话: (010) 62326952, 62327202; 传真: (010) 62326921

本刊网址: <http://pub.nsf.gov.cn>; E-mail: [progress@mail.nsf.gov.cn](mailto:progress@mail.nsf.gov.cn)