

中国辽宁中华侏罗兽的发现代表早期哺乳动物演化的一个新里程碑

季 强, 袁崇喜, 王旭日

中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

摘 要: 真兽类哺乳动物是现代最为丰富多彩的哺乳动物类群, 其起源和早期演化是国际科学界高度关注的科学问题之一。中国辽宁中侏罗世髫髻山组产出的中华侏罗兽是目前世界上发现的最古老的真兽类哺乳动物, 代表了早期哺乳动物演化的一个新里程碑。研究表明, 中华侏罗兽的发现将以前国际上的白垩纪化石记录提前了 3500 万年, 填补了早期哺乳动物演化的化石记录间隔, 帮助校正了现代基于 DNA 方法研究的哺乳动物演化历史, 并与基于 DNA 方法测定的真兽类哺乳动物起源时间的研究结果相吻合, 为哺乳动物演化历史建立了以化石为标准点的新标尺。中华侏罗兽的精确年龄有助于确定真兽类哺乳动物与其它哺乳动物, 如后兽亚纲(它们的后代包括有袋类, 如袋鼠)和单孔类(如鸭嘴兽), 分异发展的时间。

关键词: 真兽类; 中侏罗世; 辽宁; 中国

中图分类号: P534.52; Q915.873 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.05.01

Discovery of *Juramaia sinensis* (Eutheria) from Western Liaoning of China Represents a New Milestone in Early Mammal Evolution

Ji Qiang, YUAN Chong-xi, WANG Xu-ri

Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: The origin of placental mammals is the most important event in the mammalian evolutionary history because placentals make up more than 90% of all living mammals. Placental mammals are the world's most diverse mammal group characterized by a placenta that provides nourishment for unborn young. From bats to whales, from elephants to rodents, placental mammals are the most important mammal group of the world, playing crucial roles in modern ecosystems. Placental mammals are considered to be very important, because human and closely related primates are placentals. The problems as to when, where, and how eutherians (including placentals) originated in the Earth's history are some of the most important aspects in understanding the evolution. Chinese and American paleontologists have now reported their discovery of a remarkably well-preserved fossil from Jianchang County, Liaoning Province of China in a paper published in the prestigious journal Nature. Named *Juramaia sinensis* or the "Jurassic mother from China," this fossil from Middle Jurassic Tiaojishan Formation represents the earliest-known fossil of the eutherian-placental lineage. It shows that a new milestone in mammal evolution that was 35 million years earlier than the previous Cretaceous record. This new discovery fills an important gap in the fossil records and helps to calibrate modern DNA-based methods of dating the mammalian evolution. The age of *Juramaia sinensis* helps to establish the date when eutherian mammals diverged from other mammals: metatherians (whose descendants include marsupials such as kangaroos) and monotremes (such as the

本文由中国科学技术部 973 项目(编号: 2012CB822004)、中国国家自然科学基金(编号: 40902012)、中国地质调查局和美国自然科学基金联合资助。与其它二项古生物研究成果共同获中国地质科学院 2011 年度十大科技进展第六名。

收稿日期: 2012-08-26; 改回日期: 2012-09-12。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 季强, 男, 1951 年生。研究员, 博士生导师。

platypus). Understanding the beginning of placental mammals is a crucial issue in the evolutionary studies of all mammals. The date of an evolutionary divergence—when an ancestor species splits into two descendant lineages—is among the most important pieces of information that evolutionary biologists and paleontologists can have. Molecular studies can estimate the timing of evolution by a “molecular clock.” But the molecular clock needs to be verified and tested by the fossil record. Prior to the discovery of Juramaia, DNA evidence suggested that eutherians should have shown up earlier in the fossil record—around 160 million years ago. Yet, the oldest known eutherian was 125 million years ago, previously represented by Eomaia from the Early Cretaceous Yixian Formation. This gap between molecular evidence and fossils was an important issue to be resolved for evolutionary biology and paleontology. The discovery of Juramaia gives a much earlier fossil evidence to corroborate the DNA findings, filling an important gap in the fossil record of early mammal evolution and helping to establish a new milestone, known as fossil calibration point, for mammalian evolutionary history. This Jurassic fossil provides new information about the earliest ancestors of today’s placental mammals. By the scientists’ analyses, Juramaia is either a great-grand-aunt or a ‘great-grandmother’ of all placental mammals that are thriving today. The fossil has an incomplete skull of about 22 mm long, part of the skeleton, and, remarkably, impressions of residual soft tissues such as hairs. It was an insectivorous mammal as indicated by its teeth. It was estimated to have a body mass of 13 grams. Most importantly, Juramaia’s complete forelimb and hand bones enable paleontologists to interpret that it is a climbing mammal. This shows that the earliest eutherian evolution is correlated with the new adaptations. Eutherian mammals were a new lineage for the Jurassic Period. The adaptive features of the eutherians may have helped the new lineage to survive in a Jurassic ecosystem dominated by dinosaurs and other vertebrates. The ability to explore the trees and to escape to the canopy might have allowed eutherians to exploit a new niche, inaccessible and untapped by the majority of the Jurassic mammals that lived exclusively on the ground.

Key words: placental mammals; Middle Jurassic; Liaoning; China

真兽类(有胎盘类)是哺乳动物中十分重要的类群,我们人类也是有胎盘类哺乳动物。现代的有胎盘类哺乳动物是定义更为广泛的真兽类哺乳动物类群中的一部分。现生的有胎盘类哺乳动物是中生代绝灭的真兽类哺乳动物的后裔。有胎盘类哺乳动物是当今世界上繁荣兴旺,数量最多,也是最为显著的哺乳动物。广为人们所熟悉的有胎盘类哺乳动物包括:猿,猴,猫猴(flying lemur 或 Dermoptera),老鼠,松鼠,兔子,大象,海牛,非洲食蚁兽(African aardvark),犰狳,树懒,蝙蝠,马,犀牛,狮,虎,熊猫,穿山甲,猪,牛,羊,骆驼,河马,海豚和鲸等。许多最重要的经济动物是有胎盘类哺乳动物;许多最为人们喜爱的动物是有胎盘类哺乳动物;包括人类在内的灵长类动物也是有胎盘类哺乳动物。正因为如此,最早的真兽类哺乳动物的化石资料对整个有胎盘类群的起源和早期演化的科学理解具有十分重要的科学意义(Ji et al., 2002)。真兽类(有胎盘类)哺乳动物的起源是哺乳动物演化历史中最重要的事件(Luo, 2007),它们在何时、何地、如何从地球历史中演化而来等,是理解演化历史的重大科

学问题。这是因为现生哺乳动物中超过 90%为有胎盘类。有胎盘类哺乳动物的主要特征是具有一个胎盘,以此给未出生的幼体提供营养,它们是世界上最具多样性的哺乳动物类群。从蝙蝠到鲸鱼,从大象到啮齿类,有胎盘类是世界上最重要的哺乳动物类群,并且在现代生态环境中起到重要作用。有胎盘类的重要性还在于我们人类及亲缘关系较近的灵长类都是有胎盘类哺乳动物。

由于真兽类哺乳动物在现今生物界占有十分重要的位置,其起源与早期演化是国际科学界十分关注的重大科学问题之一。自中国辽宁西部早白垩世地层中发现三尖齿兽类哺乳动物(Luo et al., 2001, 2003, 2007)——金氏热河兽以后(Ji et al., 1999),季强等(2008, 2009)和袁崇喜等(2008)根据国际分子生物学的研究成果,一直期待在该地区晚中生代的地层中能发现有胎盘类哺乳动物的化石,以解决真兽类哺乳动物起源与早期演化问题。

1 攀援始祖兽的发现及其意义

2001 年,季强在辽西早白垩世义县组中发现了

一枚哺乳动物化石。经研究,季强等确认该化石是有胎盘类哺乳动物化石,并将其命名为攀援始祖兽(*Eomaia scansoria*),文章发表于英国《自然》杂志上(Ji et al., 2002)。新发现的攀援始祖兽是当时世界上已知的真兽类(有胎盘类)哺乳动物中最早也是最原始的,这为有胎盘类哺乳动物的起源和最早期演化提供了重要的化石证据。

在辽宁发现攀援始祖兽之前,世界上认为最老的真兽类哺乳动物化石是 1.15 亿年左右产自西伯利亚的零散的牙齿;以前具有完整骨架的真兽类哺乳动物化石产自蒙古晚白垩世距今 0.75 亿年的地层中(Wible et al., 2009)。我国辽西发现的攀援始祖兽的地质年代,以最保守的测年研究来估计,也至少是 1.25 亿年。这把真兽类哺乳动物的起源年代向前推进了至少 1.5 千万年,把具有完整骨骼的真兽化石记录向前推进了 5 千万年。因此,我国辽西热河生物群中攀援始祖兽的发现为最早期的真兽类(有胎盘类)哺乳动物的进化历史填补了重要的空白,对最早期的真兽类哺乳动物骨骼结构(Ji et al., 1999),形态功能和习性提供了宝贵的第一手资料,也为所有的有胎盘类哺乳动物的演化和分异提供了对比研究的证据(Hu et al., 2010)。

2 系统描述

2009 年,季强在辽宁建昌中侏罗世髫髻山组中又发现了一枚哺乳动物化石。经研究,他们确认新发现的哺乳动物化石属于有胎盘类哺乳动物,正式命名为中华侏罗兽(*Juramaia sinensis*),含有“来自中国的侏罗纪母亲”之意,代表目前已知最古老的真兽类(有胎盘类)哺乳动物化石记录,研究成果发表在英国《自然》杂志上(Luo et al., 2011)。这一新

发现为哺乳动物演化历史建立了一个新的里程碑,比以前发现的白垩纪真兽类化石记录提前了 3500 万年,填补了化石记录的一个重要间隔,帮助校正了现代基于 DNA 方法测定的哺乳动物演化历史。中华侏罗兽的精确年龄有助于确定真兽类哺乳动物与其它哺乳动物,如后兽亚纲(它们的后代包括有袋类,如袋鼠)和单孔类(如鸭嘴兽),分异发展的时间(Asher et al., 2004; Rougier et al., 1998)。兹将中华侏罗兽的特征描述如下:

哺乳动物纲(Class Mammalia)

真兽下纲(Infraclass Eutheria)

目、科未定(Order and family incertae sedis)

侏罗兽属(Genus *Juramaia* Luo et al., 2011)

中华侏罗兽(*Juramaia sinensis* Luo et al., 2011)

学名词源: *Jura-*, 意为侏罗纪; *-maia*, 意为母亲; *sinensis*, 意为中国。

正型标本: PM1143。

收藏单位: 北京自然博物馆。

标本产地: 辽宁建昌玲珑塔大西沟。

时代及层位: 中侏罗世髫髻山组。

特征描述: 一件不太完整的标本,仅保存了头颅、部分头后骨架、前肢及毛发印痕。其齿式为



图 1 攀援始祖兽的正型标本
Fig.1 Holotype of *Eomaia scansoria*

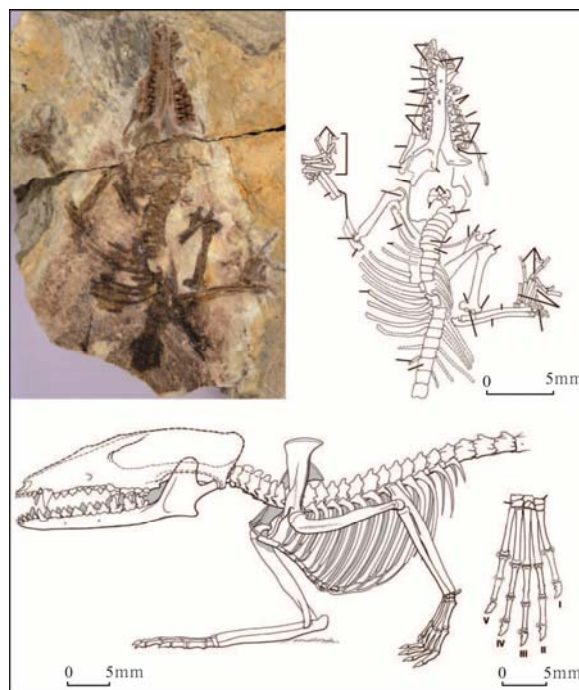


图 2 中华侏罗兽的正型标本和骨骼再造图
Fig.2 Holotype and skeletal restoration of *Juramaia sinensis*

I5.C1.P5.M3 (上齿列)/i4.c1.p5.m3(下齿列), 与所有早白垩世以及部分晚白垩世真兽类哺乳动物一样, 具有典型的 5 颗前臼齿, 3 颗臼齿(YUAN et al., 2009)。臼齿三磨楔式, 下臼齿的三角座具有 3 个齿尖, 跟座也具有 3 个齿尖; 上臼齿发育原尖、后尖和前尖, 具有一个宽的柱状架。上臼齿的原尖与相对的下臼齿的跟座底部咬合。中华侏罗兽与早白垩世真兽类 *Eomaia*、*Murtoilestes*、*Prokennalestes* 最相似, 但与它们以及所有已知的晚白垩世的真兽类的区别在于具有一个很矮的原尖, P5-M2 具有一个宽的柱状架, 发育很大的柱尖和上前副尖。它与 *Acristatherium*、*Eomaia*、*Murtoilestes*、*Prokennalestes* 的区别在于 P2-M2 具有一个很深的外曲。另外, 它与 *Prokennalestes*、*Eomaia*(不包括 *Murtoilestes*) 的区别在于后嵴上具有明显的“C”尖; 与 *Eomaia* 的区别在于上犬齿双根, P5 具有一个弱小的原尖, 不同于 *Prokennalestes* P5 发育的原尖。它与 *Prokennalestes* 的区别在于 M3 的后柱状叶更加退化; 与 *Murtoilestes* 的区别在于具有更加退化的后小尖; 与 *Montanalestes* 的区别在于下 p3-4 较大, p5 不具有下后尖; 与 *Acristatherium* 的区别在于 P1-4 较大, 上前臼齿之间不存在齿隙, M3 很大, 上下门齿数目也不同。

在晚白垩世的真兽类中, 侏罗兽与大多数 asioryctitherians 类哺乳动物的区别在于保留有 5 颗前臼齿, 而不是 4 颗。像一些晚白垩世真兽类一样, 侏罗兽前臼齿齿列中部仅有一颗前臼齿可替换(Rougier et al., 2007)。侏罗兽与一些白垩纪真兽类更相似, 发育可替换的 P3, 而与后兽类的区别在于仅最后一颗前臼齿可替换。倒数第二颗上前臼齿是犬后齿中最尖锐的, 这与真兽类相似, 而与后兽类不同。侏罗兽与后兽类的区别在于具有 3 颗而不是 4 颗臼齿, 与白垩纪的后兽类、负鼠的区别在于未发育平卧的 P1, P1-P2 之间没有齿隙, 也不发育错位后的下门齿。它与所有 deltatheroidan 类哺乳动物(大多数仅知臼齿)的区别在于后柱状叶小于前柱状叶。在 boreosphenidan 类哺乳动物中, 侏罗兽与 *Kielantherium* 的区别在于具有很大的原尖, 发育前小尖, 上臼齿(唇舌面)更宽, 具有 3 颗(而不是 4 颗)臼齿; 与 *Aegialodon* 和 *Kielantherium* 的区别在于具有更宽的跟座。在主要的侏罗纪哺乳动物类群中, 中华侏罗兽与柱齿兽(Ji et al., 2006)的区别在于不存在假跟座结构, 臼齿不存在复杂的嵴、沟模式; 与蜀兽类的区别在于不存在假跟座。其与真三尖齿兽的

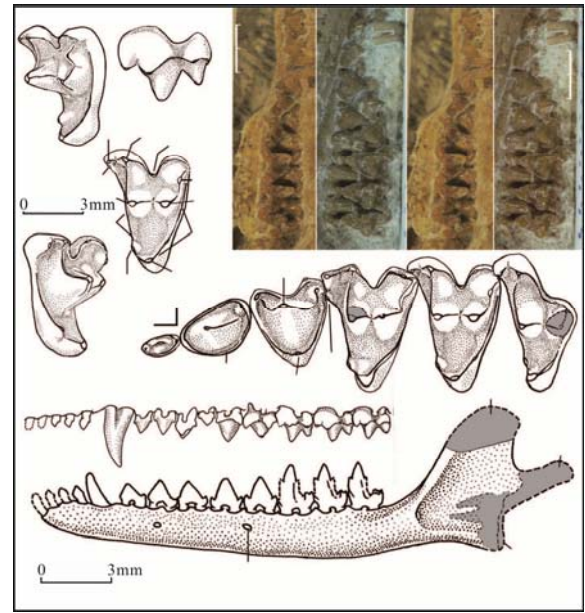


图 3 中华侏罗兽的齿式和下颌特征
Fig. 3 Dental and mandibular features of *Juramaia sinensis*



图 4 中华侏罗兽的前肢
Fig. 4 Forelimb of *Juramaia sinensis*

区别在于具有完全三角形的臼齿齿尖形状, 下颌骨存在角突; 与多瘤齿兽和其它异兽类哺乳动物的区别在于臼齿纵向的齿列不存在多个齿尖。侏罗兽与 spalacotheroids、tinodontids、dryolestoids、peramuran 类哺乳动物的区别在于具有 3 个齿尖的完全功能化的跟座, 上臼齿发育功能化的原尖。侏罗兽和真兽类与澳洲兽类(中生代南方三磨楔式哺乳动物)的区别在于不存在连续的中齿带和环绕齿带, 具有直接与跟座深部咬合的原尖, 而澳洲兽类的上原尖仅与跟座的嵴咬合。侏罗兽与大多数澳洲兽类、假三磨楔齿哺乳动物的区别还在于下颌不存在后齿槽。

3 中华侏罗兽发现的科学意义

了解有胎盘类的起源是所有哺乳动物演化研究

中的一个重大科学问题。演化分异的具体时间,某一祖先种类何时演化出两支后裔谱系,是演化生物学家和古生物学家能够获得的关键信息之一。分子生物学研究可以通过“分子钟”估计生物演化时间,但是仍然需要通过化石记录来进行检测和验证。在发现中华侏罗兽之前, DNA 证据显示真兽类的出现时间应该早于化石记录,大约在 1.6 亿年前。然而,此前已知最早的真兽类出现于 1.25 亿年前,即产自中国辽宁凌源早白垩世义县组的攀援始祖兽。分子生物学研究结果与化石记录之间的时间差异是演化生物学家和古生物学家急需解决的一个重要问题。中华侏罗兽的发现把化石记录的时间大大提前,填补了早期哺乳动物演化的化石记录间隔,并与 DNA 研究结果吻合,也为哺乳动物演化历史建立了以化石为标准点的新里程碑。

中华侏罗兽的发现为研究今天有胎盘类哺乳动物的最古老的祖先类型提供了新的信息。研究表明,中华侏罗兽是当今繁盛的所有有胎盘类哺乳动物的曾姑奶或曾祖母。该化石保存了长约 2.2 cm 的不甚完整的头骨,部分头后骨架,以及残留的软组织印痕,如毛发等。牙齿特征表明其为食虫类哺乳动物,估计体重为 13 g。

更为重要的是,中华侏罗兽保存完整的前肢和手部骨骼,表明其具有攀爬能力。这表明早期真兽类哺乳动物演化与新的适应有关。真兽类哺乳动物是侏罗纪时期的一支新谱系。它们的这些适应性特征会帮助其能够在恐龙和其它脊椎动物统治的侏罗纪生态环境中生存下来。具有爬树和逃到上部空间的能力,可能使真兽类哺乳动物开辟了一个新的生态位,因为侏罗纪大部分哺乳动物仅限于生活在陆地上,它们从未开辟也无法接近这一新的生态位。

致谢: 该项研究由美国匹茨堡卡内基自然历史博物馆罗哲西博士、中国地质科学院地质研究所季强研究员和袁崇喜副研究员,北京自然博物馆孟庆金研究员共同合作完成的,研究期间得到了中国科学技术部 973 项目,中国国家自然科学基金,中国地质调查局和美国自然科学基金联合资助,作者在此一并致以谢意。

参考文献:

- 季强, 袁崇喜. 2008. 中国中侏罗世哺乳动物研究新进展[J]. 地球学报, 29(3): 377-384.
- 袁崇喜, 季强. 2008. 粗壮假碾磨齿兽的发现及其科学意义[J]. 地质论评, 54(5): 679-682.

References:

- ASHER R J, HOROVITZ I, SÁNCHEZ-VILLAGRA M R. 2004. First combined cladistic analysis of marsupial mammal interrelationships[J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 33(1): 240-250.
- HU Y M, MENG J, LI C K, WANG Y Q. 2010. New basal eutherian mammal from the Early Cretaceous Jehol biota, Liaoning, China[J]. *Proceedings of the Royal Society*, B277(1679): 229-236.
- JI Q, LUO Z X, JI S A. 1999. A Chinese triconodont mammal and mosaic evolution of the mammalian skeleton[J]. *Nature*, 398(6725): 326-330.
- JI Q, LUO Z X, YUAN C X, TAQBRUM A R. 2006. A swimming Mammaliaform from the Middle Jurassic and ecomorphological Diversification of early Mammals[J]. *Science*, 311(5764): 1123-1127.
- JI Q, LUO Z X, YUAN C X, WIBLER J R, ZHANG J P, GEORGI J A. 2002. The Earliest Known Eutherian Mammal[J]. *Nature*, 416(6883): 816-822.
- JI Q, LUO Z X, ZHANG X L, YUAN C X, XU L. 2009. Evolutionary Development of the Middle Ear in Mesozoic Therian Mammals[J]. *Science*, 326(5950): 278-281.
- JI Qiang, YUAN Chong-xi. 2008. New Advances in the Study of Middle Jurassic Mammals in China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(3): 377-384(in Chinese with English abstract).
- LUO Z X, CIFELLI R C, KIELAN-JAWOROWSKA Z. 2001. Dual origin of tribosphenic Mammals[J]. *Nature*, 409(6816): 53-57.
- LUO Z X, JI Q, WIBLE J R, YUAN C X. 2003. An Early Cretaceous tribosphenic mammal and metatherian evolution[J]. *Science*, 302(5652): 1934-1940.
- LUO Z X, JI Q, YUAN C X. 2007. Convergent dental adaptations in pseudo-tribosphenic and tribosphenic mammals[J]. *Nature*, 450(7166): 93-97.
- LUO Z X, YUAN C X, MENG Q J, JI Q. 2011. A Jurassic eutherian mammal and divergence of marsupials and placentals[J]. *Nature*, 476(7361): 442-445.
- LUO Z X. 2007. Transformation and diversification in early mammal evolution[J]. *Nature*, 450(7172): 1011-1019.
- ROUGIER G W, MARTINELLI A G, FORASIEPI A M, NOVACEK M J. 2007. New Jurassic mammals from Patagonia, Argentina: a reappraisal of australosphenidan morphology and interrela-

- tionships[J]. American Museum Novitates, 3566(1): 1-54.
- ROUGIER G W, WIBLE J R, NOVACEK M J. 1998. Implications of Deltatheridium specimens for early marsupial history[J]. Nature, 396(6710): 459-463.
- WIBLE J R, ROUGIER G W, NOVACEK M J, ASHER R J. 2009. The eutherian mammal Maelestes gobiensis from the Late Cretaceous of Mongolia and the phylogeny of Cretaceous Eutheria[J]. Bulletin of the American Museum of Natural History, 327: 1-123.
- YUAN Cong-xi, JI Qiang. 2008. Discovery of Pseudotribos robustus and Its Scientific Significance[J]. Geological Review, 54(5): 679-682(in Chinese with English abstract).
- YUAN C X, XU L, ZHANG X L, XI Y H, WU Y H, JI Q. 2009. A New Species of Gobiconodon (Mammalia) from Western Liaoning, China and its Implication for the Dental Formula of Gobiconodon[J]. Acta Geologica Sinica, 83(2): 207-211.

中国地质科学院代表团参加第 34 届国际地质大会 取得丰硕成果

第 34 届国际地质大会于 2012 年 8 月 5 至 10 日在澳大利亚布里斯班举行。作为国际地学界影响力最大的国际会议之一,第 34 届国际地质大会吸引了来自世界各地的 6000 多位地质学家。中国约 700 余名科学家出席会议,国土资源部徐绍史部长率领中国地质代表团出席会议,应邀做主旨报告。

中国地质科学院派出了以院党委书记、副院长王小烈为团长、常务副院长朱立新、副院长董树文为常务副团长的 70 人代表团出席大会。

此次大会主题为“探求过去、揭示未来——为人类的明天提供资源”,共设立 37 个专题,221 个研讨会。大会期间中国地质科学院的科学家积极参加学术交流活动,共有 59 人在大会 22 个专题上宣讲或展讲论文,论文总数达到 66 篇。中国地质科学院还有 14 位专家作为专题召集人或共同召集人主持了 12 个专题报告会,这是中国地质科学院在历届国际地质大会上主持专题会议最多的一次。

中国地质科学院筹办中国代表团展台和深部探测专项(SinoProbe)展台,介绍了经济腾飞中的中国地质科学,展示了中国矿产资源的供需关系及勘查发现、中国城市化进程中的重大工程与地质科学、中国基础地质科学的重大进展、新一代地质技术与地质产品、国际交流与合作、中国国家地质公园和深部探测工程专题等七个方面取得的成果。中国展台外观独树一帜,富有中国传统特色,展出内容新颖全面,成为各国代表的参观热点。俄罗斯、澳大利亚和印度等国家的部长专程参观了中国展台。

大会在会前、会间、会后共组织了 52 条野外地质考察路线。考察路线涉及澳大利亚全境以及新西兰、巴布亚新几内亚、马来西亚和新喀里多尼亚等国家。中国地质科学院代表团 35 人参加了 18 条路线的地质考察,考察了澳大利亚奇特的地质现象、丰富的矿产资源、古老的地层岩石,开阔了眼界,增长了见识。

中国地质科学院负责起草了徐绍史部长在第 34 届国际地质大会上的主旨发言,制作了相关 ppt 文件;筹办了中国代表团招待会,组织安排了徐绍史部长与第 34 届国际地质大会组委会和国际地质科学联合会官员的会见以及国土资源部与国际地质科学联合会关于国际地质科学联合会常设秘书处迁址中国谅解备忘录的签字仪式;筹划安排了徐绍史部长与新任俄罗斯自然资源与环境部部长谢尔盖·东斯科伊的会面,以及互相参观中俄展台。