

内蒙古宁城道虎沟化石层的地层关系与时代讨论

汪筱林 周忠和 贺怀宇 金帆 王元青 张江永
王原 徐星 张福成

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044; 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029.
E-mail: xlinwang@263.net)

摘要 近年来详细的野外区域地质调查发现, 道虎沟化石层的分布并非仅仅局限在道虎沟村附近, 还断续出露于相邻其他几个地区。道虎沟化石层角度不整合在复杂的基底地层之上, 岩石地层层序由三部分组成, 其中下部为夹红色页岩沉积, 这一地层曾经被误认为是下伏土城子组。野外大规模化石发掘显示, 道虎沟层的化石主要富集在上部地层的湖相页岩中; 由于后期强烈的构造改造, 地层在多处发生褶皱倒转。新发现的地层接触界线清楚地证明, 一直被认为是“上覆”地层的髫髻山组中酸性火山熔岩(同位素年龄 159~164 Ma)实际上为其下伏地层, 道虎沟化石层的时代不可能早于这一年龄, 也不可能是中侏罗世“九龙山组”。目前的化石发现和研究显示, 叶肢介和昆虫组合所反映的时代要早于脊椎动物化石所代表的时代, 如辽西螈、热河翼龙和带羽毛的手盗龙类等与义县组同一类群的分子非常相似。虽然目前还没有发现可靠的热河生物群鱼类化石, 但是这一地层的脊椎动物化石组合更接近于早白垩世热河群。道虎沟层与热河群无论从沉积地层特征、火山活动和脊椎动物群面貌都很相似, 属于相同的火山-沉积旋回, 化石动物群可能代表了热河生物群最早的记录。

关键词 内蒙古宁城 道虎沟化石层 义县组 地层层序 早白垩世 热河生物群

道虎沟化石层^[1]以及该地层中发现的热河螈^[2]于 2000 年被首次报道以来, 引起了地质古生物学者的广泛关注。随后在道虎沟层中陆续发现了大量保存精美的脊椎动物^[3~8]、昆虫^[9~14]、叶肢介^[15]和植物等化石, 但对这套地层及其时代归属的争论也越来越激烈^[1,16~23]。

道虎沟层是一套以火山凝灰岩夹页岩为主的湖相含化石沉积地层。这套地层最初被发现时, 仅分布在内蒙古东南部与辽西凌源相邻的宁城山头乡道虎沟村附近很小的范围内, 相邻周边地区即为典型的热河群义县组沉积。长期以来, 道虎沟层一直被看作与义县组相同的含化石沉积夹层, 直到近年来才有了不同的认识。例如, 在历史上, 这套地层曾经被认为是“金刚山组”, 其“上覆”火山岩地层为“吐呼噜组”(这两个地层单元现在都被归入义县组), 时代为晚侏罗世¹⁾; 后来被认为是“花吉营组二段”, 而“上覆”火山岩地层属于“花吉营组三段”, 时代为早白垩世²⁾。最近几年对这套地层的归属意见还包括中侏罗世“九龙山组”, “上覆”火山熔岩为“髫髻

山组”^[16]以及上侏罗统^[17,18]、张家口组³⁾和早白垩世义县组下部^[1,19]等。

中科院古脊椎动物与古人类研究所自 1998 年以来, 在这一地区多次野外考察的基础上, 于 2003 年 6~8 月选择了道虎沟两个地点(1 号地点位于道虎沟三队东沟公路旁, 地理位置 N 41°19'13.0"; E 119°13'55.1"; 2 号地点位于道虎沟一队村旁, 地理位置 N 41°18'32.2"; E 119°13'05.1")进行了系统的化石发掘, 采集了大量的蝶螈类、昆虫、植物以及少量爬行动物化石等。同时, 对道虎沟化石层及其相邻周边地区的地层和生物群进行了深入的调查和考证, 发现道虎沟化石层还断续分布在道虎沟北面的山头乡朱家沟、五化乡姜杖子以及东北的凌源热水汤镇无白丁。通过对这些地区道虎沟层化石地点、地层剖面及其与其他地层接触关系的详细观察, 厘定了道虎沟化石层的基本岩石地层层序及其与上覆和下伏地层的接触关系, 进一步确认了道虎沟层的脊椎动物化石组成, 修正了我们以前的一些观点^[1], 同时也讨论了地层与时代归属。

1) 辽宁省地质局. 1:20 万凌源幅区域地质调查报告, 1965; 1:20 万建平幅区域地质调查报告, 1968

2) 石家庄经济学院. 1:5 万宋杖子幅区域地质调查报告, 1998

3) 辽宁省地质调查院. 1:25 万凌源幅修测区域地质调查报告, 2003

1 道虎沟层的地层层序

在山头道虎沟村1队和3队附近,道虎沟化石层出露比较完整,大致呈北东东向展布,并从3队向东一直延伸到凌源一侧的皮杖子西沟.道虎沟村附近有两条剖面相对较好,其中剖面1起点为凌源皮杖子一侧膨润土矿坑(N 41°19'04.5"; E 119°14'25.2"),道虎沟层角度不整合在下伏太古代片麻岩之上,剖面大致沿地层倾向一直延伸到小白山北侧的鞍部与髫髻山组火山熔岩接触处(N 41°19'23.4"; E 119°14'08.3").剖面2的起点位于道虎沟2号发掘点的东南侧(N 41°18'26.6"; E 119°13'18.6"),道虎沟层不整合在中晚元古代大红峪组的石英砂岩之上,剖面通过2号发掘点并止于该发掘点附近.通过剖面实例,我们发现剖面1的中上部地层倒转,并导致地层重复.在道虎沟2队和3队村子附近,可以观察到一套灰色、灰白色凝灰岩夹红色页岩和泥岩的沉积,并夹胶结松散的透镜状红色砾岩层,这套含红色层的沉积位于道虎沟化石层的底部,曾被认为是下伏晚侏罗世土城子组地层^[1],而另一些学者并不承认这套含红色沉积的存在^[16,17],也有一些学者认为是与道虎沟层相同的“九龙山组”^[23].在山头朱家沟和五化姜杖子剖面,已经发现与道虎沟剖面几乎完全一样的化石组合,而这套含红色页岩的凝灰岩层在两个剖面都有很好的出露,也位于化石层的下部.在含红色层之上的页岩中已经发现了大量与道虎沟化石地点完全相同的叶肢介、昆虫和蝶螈类化石等.这套含红色页岩的沉积与其上部的主要含化石层为正常的连续沉积,通过初步的探槽揭露也没有观察到两者之间有明显的不整合现象,因此,我们认为它们应同属道虎沟层沉积.

在凌源热水汤镇无白丁剖面,地层层序和沉积特征与道虎沟完全相同.在化石地点也发现了与道虎沟地点相似的蝶螈类^[6,7]、昆虫和叶肢介等化石组合.

通过道虎沟化石层已知的几个剖面的详细观察,发现道虎沟层的底部完整,界线清楚,而上部缺失,未见顶,没有观察到与上覆地层的直接接触界线.由于后期强烈的改造,道虎沟层发生褶皱,并导致地层重复,准确的地层厚度难以确定,估计在100~150 m左右.道虎沟化石层的岩石地层大致可以分为3部分:(1)下部为灰色、灰白色凝灰岩夹红色页岩、泥岩沉积(图1(a)~(c)),厚度不大,估计约5~20 m;页岩中含叶肢介;(2)中部主要为厚层粗粒灰白色凝灰岩(大部

分蚀变为膨润土)夹薄层灰色、灰绿色凝灰质页岩、泥页岩(图1(d), (e)),其中在凝灰岩层中夹透镜状砾岩、角砾岩层,砾石成分主要为下伏髫髻山组中酸性火山熔岩,砾石大小混杂堆积,无分选,次棱角状为主(图1(d), (e));厚度估计约60~80 m;页岩中含昆虫、叶肢介、植物等,脊椎动物相对稀少,主要化石包括有尾两栖类 *Chunerpeton tianyiensis*; (3)上部主要为灰色、灰白色凝灰岩与灰色、灰白色页岩互层,与中部相比,页岩厚度加大而凝灰岩厚度相对变薄(图1(f));厚度估计约40~60 m;页岩中富含脊椎动物化石,包括有尾两栖类 *Chunerpeton tianyiensis*、*Jeholotriton paradoxus*、*Liaoxitriton daohugouensis*,翼龙类 *Jeholopterus ningchengensis*、*Pterorhynchus wellnhoferi*,恐龙类 *Epidendrosaurus ningchengensis*、*Pedopenna daohugouensis* 和其他未记述的爬行动物化石等,昆虫、叶肢介和植物极为丰富,是主要的化石层位.

2 道虎沟层与下伏地层的接触关系

道虎沟化石层沉积在复杂的基底之上,其中下伏基底包括太古代片麻岩、中晚元古代长城系海相地层以及中侏罗世晚期至晚侏罗世早期的髫髻山组火山熔岩等.道虎沟化石层与下伏太古代片麻岩和长城系的接触界线清楚,不存在争议.其中,前一界线主要出露在道虎沟地区道虎沟村的东缘,在道虎沟剖面1底部等地点非常明显,道虎沟层的下部砾岩的砾石成分几乎全部为片麻岩;后一界线出露在道虎沟一队的东南部,道虎沟层下部的薄层红色页岩角度不整合在大红峪组的石英砂岩之上.但是道虎沟层的其他接触界线存在明显争议:

其一,道虎沟层与下伏土城子组的界线是否存在?这一接触关系最早于2000年被我们提出^[1],随后有部分学者反对^[16,17].然而,通过对曾经被认为是角度不整合界线的道虎沟三队东沟的探槽工作,新发现的其他地点如朱家沟、姜杖子剖面地层层序的详细观察,以及在这套红色页岩中发现有与道虎沟化石层相同的叶肢介等证据,我们发现,以前被认为是土城子组的含红色页岩的沉积实际上并非下伏土城子组地层,而是属于道虎沟层下部地层.事实上,在朱家沟和相邻的铜匠沟东北,出露土城子组中段的红色砾岩,可以观察到义县组底部的灰黄色砾岩角度不整合在土城子组之上.目前还没有观察到土城子组与道虎沟化石层的直接界线.



图 1 道虎沟化石层的岩石地层特征

(a)~(c) 道虎沟层下部地层: (a) 道虎沟 2 队沟口(N 41°18'41.3"; E 119°13'11.3"); (b) 道虎沟 3 队东沟(N 41°19'07.0"; E 119°13'43.6"), 显示地层强烈褶皱; (c) 朱家沟剖面(N 41°22'52.8"; E 119°08'58.2"), 显示地层褶皱变形; (d), (e) 道虎沟层中部地层: (d) 道虎沟剖面 2(N 41°18'26.5"; E 119°13'14.3"), 透镜状砾岩夹层的火山熔岩之砾石来自下伏髻髻山组; (e) 道虎沟 3 队东沟露头(N 41°19'01.1"; E 119°13'26.8"), 砾岩之砾石成分几乎全部为下伏髻髻山组火山熔岩; (f) 道虎沟层上部地层: 2 号发掘点剖面

其二, 这一地区广泛分布的一套地质时代约为 159~165 Ma^[21~23]的中酸性火山熔岩, 究竟是道虎沟化石层的上覆地层还是下伏地层? 这一问题的准确

回答对于确认道虎沟层的时代归属至关重要. 通过我们近几年的野外工作, 发现一直被前人认为是道虎沟层“上覆”地层(“吐呼噜组”或“化吉营组三

段”或“髻髻山组”等)的中酸性火山熔岩,实际上是道虎沟化石层的下伏地层,即中侏罗世晚期至晚侏罗世早期的髻髻山组(也就是相当于辽宁省的1:20万地质图上的“蓝旗组”,是一套由中性、中酸性火山熔岩、火山角砾岩和凝灰岩组成的地层)——这也是最近我们在这一地区地层考察中取得的重要进展之一。汪筱林等^[1]最初也曾经把这套火山熔岩作为道虎沟化石层的上部地层,也就是相当于辽宁西部义县组含化石湖相沉积的上覆火山岩地层。其后大部分学者^[16,22,23]虽然认为这套火山岩地层属于髻髻山组,但是同时认为它们是道虎沟化石层的上覆地层,并以此作为道虎沟层是中侏罗世“九龙山组”的最主要依据。

在道虎沟3队西沟中,我们找到了出露非常好的道虎沟化石层与髻髻山组的直接接触界线(图2(a), (b))。如果仅仅从图上看,由于风化形成的地形效应导致的视觉上的上、下关系的颠倒,似乎髻髻山组“上覆”在道虎沟层之上,但是在露头上可以清楚的观察到,道虎沟层正常沉积在凹凸不平的髻髻山组火山熔岩形成的风化面之上,只是由于后期强烈构造的影响,风化面近于直立,而道虎沟层的地层倾角也很大,两地层之间为角度不整合。道虎沟化石层底部为20~40 cm不等的以红色为主的杂色泥页岩沉积,这些沉积中没有发现任何烘烤的现象。在姜杖子剖面,可以清楚地观察到道虎沟化石层下部的含红色页岩沉积角度不整合覆盖在下伏髻髻山组中酸性火山熔岩之上(图2(c))。这一地层接触关系的发现具有非常重要的意义:(1)修正了这一地区广泛分布并长期以来被认为是化石层的“上覆”“吐噜组”火山熔岩地层,实为下伏髻髻山组;(2)主要以“上覆”髻髻山组地层的时代所限定的道虎沟层属于中侏罗世“九龙山组”的观点是不能成立的。

事实上,道虎沟化石层由于后期强烈的构造改造,在一些剖面上形成倒转褶皱并发生地层倒转(图2(d)~(f))。例如在剖面1,褶皱轴近东西向展布,在地形上大致沿着凌源皮杖子西沟到道虎沟3队东沟一线,在沟的不同位置,可以观察到至少3处倒转褶皱。在沟(褶皱轴)的南侧地层正常,而北侧地层已经倒转,地层向上逐渐变老。此外,在道虎沟3队东沟(见图1(b))和2队村南(图2(f))可以清楚地看到倒转褶皱及其倒转地层。

另外一个重要的证据是基于对化石层剖面的砾

岩之砾石成分,以及对剖面上粗粒凝灰岩沉积中的外源碎屑成分的观察与分析。道虎沟层沉积砾石的分选和磨圆都很差,显然没有经过长距离的搬运,而是近源快速沉积的产物,其成分绝大部分是中酸性火山熔岩(与片麻岩接触界线附近的底砾岩除外)。例如在道虎沟村3队的东南侧沟旁,可以观察到道虎沟层中部地层的砾岩之砾石几乎全部为中酸性火山熔岩成分,胶结物和孔隙物全部为下部地层的红色泥岩(见图1(e))。在剖面2和无白丁剖面上,道虎沟层中部凝灰岩(膨润土)沉积的巨砾几乎全部是火山熔岩的成分(见图1(d))。这些熔岩成分的砾石不可能来自上覆地层,只能来自下伏地层。因此,我们可以肯定地认为,道虎沟化石层角度不整合沉积在髻髻山组中酸性火山熔岩之上。

3 道虎沟层与相邻周边地区典型义县组的地层关系

道虎沟化石层分布局限,断续出露在宁城山头、五化、凌源热水汤等地区,在相邻周边数公里范围内,即大量分布富含热河生物群化石的典型热河群义县组地层。例如在道虎沟村北部约2 km的山头乡土门朝阳沟和西台子北沟(N 41°21'44.5"; E 119°09'30.3"),西北部的石佛乡西三家南沟等化石地点为义县组下部地层;在其东部和东南部,分别为义县组大新房子化石层^[24](N 41°19'37.2"; E 119°19'38.9")和凌源二十里铺山嘴、牛营子义县组化石层(N 41°14'37.9"; E 119°16'41.6")。这些地点的义县组地层同位素年龄约为122 Ma^[25]。

1998年,与道虎沟相邻的土门村朝阳沟、西台子北沟和西三家南沟等化石地点与道虎沟化石地点几乎同时被发现的,当地群众对这些化石地点都进行了挖掘。在这套湖相沉积地层中,发现了大量保存完整的原白鲟、燕鲟以及少量的北票鲟、狼鳍鱼、满洲鳄、鹦鹉嘴龙、蜥脚类恐龙和孔子鸟等脊椎动物化石,以及大量的东方叶肢介和三尾拟蜉蝣等热河生物群的成员,是典型的热河群义县组地层。汪筱林等^[1]曾经把这套含化石地层与道虎沟化石层进行对比,并误将它们作为同一沉积地层。

但最近几年的野外考察、化石发掘以及各化石地点的详细考证显示,虽然这两套地层相邻分布,地层层序也有相似之处,但是化石组合有一定的区别,尤其是无脊椎动物化石组合和植物的区别更明显。目



图 2 道虎沟化石层与下伏地层的接触界线与倒转褶皱

(a), (b) 道虎沟层与下伏髻髻山组中酸性火山熔岩接触界线(道虎沟 3 队西沟, 地理位置 $N 41^{\circ}19'05.6''$; $E 119^{\circ}12'56.3''$); 其中(b)是(a)的局部放大, 在(b)中可以清楚地观察到道虎沟层呈角度不整合正常沉积在髻髻山组之上; (c) 道虎沟层与下伏髻髻山组中酸性火山熔岩接触界线(五化姜杖子剖面, $N 41^{\circ}24'26.8''$; $E 119^{\circ}15'31.6''$), 显示道虎沟层呈角度不整合正常覆盖在髻髻山组之上; (d)-(f) 道虎沟层倒转褶皱: (d) 道虎沟层中部地层已经褶皱倒转, 向上地层变老, 上部组成山峰的髻髻山组是实际上是道虎沟层下伏地层; (e)是(d)中褶皱核部的局部放大, 可以清楚地观察到道虎沟层已经强烈构造变形, 形成倒转褶皱($N 41^{\circ}19'08.3''$; $E 119^{\circ}14'28.6''$); (f) 道虎沟层的倒转褶皱(道虎沟 2 队村南约 100 m 处, $N 41^{\circ}18'37.4''$; $E 119^{\circ}13'20.2''$)

前还没有直接观察到道虎沟层与上覆典型义县组的直接接触关系,但在道虎沟村相邻的土门营子附近观察到的义县组底部也角度不整合在髫髻山组火山熔岩之上.依据化石资料,我们认为道虎沟化石层应低于以西台子北沟为代表的义县组地层.道虎沟层和义县组同属于一套火山-沉积旋回.

4 道虎沟层与下伏地层的同位素年代

为了确定有争议的道虎沟化石层的地质时代,近几年对这套髫髻山组火山熔岩进行了大量的同位素测年工作^[21~23].其中钾长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 159 Ma^[21]和 164 Ma^[22];单颗粒锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 164~165 Ma^[22,23].按照最新的地质年代表^[26],髫髻山组的火山熔岩属于中侏罗世晚期-晚侏罗世早期,因此其上覆道虎沟的年龄不可能早于晚侏罗世^[21].

此外,我们还系统测定了道虎沟剖面 1 上多层凝灰岩夹层,以及 1 和 2 号发掘点之发掘剖面上火山灰的长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 和锆石 SHRIMP 年龄,除了获得大量 160 Ma 左右的年龄数据外,同时还获得了更老的

年龄数据.我们认为,这些被测试的矿物可能都来自于基底矿物的再沉积,其中 160 Ma 左右的数据正好代表了基底地层髫髻山组的年龄.这与道虎沟化石层中部大量砾石成分为髫髻山组火山熔岩的事实是一致的.

5 道虎沟层的脊椎动物组合与生物地层对比

道虎沟层的化石保存完整精美,无脊椎动物与植物种类和数量均很丰富,还发现了许多重要的脊椎动物化石(表 1).其中昆虫至少包括 14 目 50 余科 200 余属种^[18],叶肢介 1 属 4 种^[15];已记述的有尾两栖类 3 属 3 种^[2,6,7]、翼龙类 2 属 2 种^[3,5]以及带羽毛的手盗龙类 2 属 2 种^[4,8]等.在道虎沟地点,尚未发现鱼类化石,汪筱林等^[1]曾经报道的发现于该地点的鱼类化石,后经多次详细考证,证实来自相邻地区典型热河群化石地点.

道虎沟化石层非常丰富的叶肢介最近被鉴定为真叶肢介(*Euestheria*),其时代意见是中侏罗世九龙山组,相当于辽西海房沟组^[15].昆虫化石的时代意见

表 1 道虎沟化石层已记述的脊椎动物化石

两栖纲 Amphibia
滑体亚纲 Lissamphibia
有尾目 Urodela
隐鳃鲵科 Cryptobranchidae
天义初蜥 <i>Chunerpeton tianyiensis</i> Gao et Shubin, 2003
科未定 Family incertae sedis
奇异热河源 <i>Jeholotriton paradoxus</i> Wang, 2000
道虎沟辽西蜥 <i>Liaoxitriton daohugouensis</i> Wang, 2004
爬行纲 Reptilia
初龙形亚纲 Archosauromorpha
翼龙目 Pterosauria
喙嘴龙亚目 Rhamphorhynchoidea
喙嘴龙科 Rhamphorhynchidae
威氏翼手喙龙 <i>Pterorhynchus wellnhoferi</i> Czerkas et Ji, 2002
蛙嘴龙科 Anurognathidae
宁城热河翼龙 <i>Jeholopterus ningchengensis</i> Wang, Zhou, Zhang et Xu, 2002
蜥臀目 Saurischia
兽脚亚目 Theropoda
手盗龙类 Maniraptora
科未定 Family incertae sedis
宁城树息龙 <i>Epidendrosaurus ningchengensis</i> Zhang, Zhou, Xu et Wang, 2002
道虎沟足羽龙 <i>Pedopenna daohugouensis</i> Xu et Zhang, 2005

并不一致^[9-14,18,20],任东等^[9,10]认为道虎沟层的昆虫群与中侏罗世九龙山组非常相似,因此将道虎沟化石层归入九龙山组^[16];Rasnitsyn 等^[20]依据膜翅目昆虫组合,也认为道虎沟层为中侏罗世地层;而张俊峰^[11-13]认为道虎沟的昆虫化石群与哈萨克斯坦晚侏罗世卡拉巴斯套组的昆虫群非常相似,认为这套地层属于新的地层单元,称之为“道虎沟组”,而生物群则属于“前热河生物群”^[18]。同时,在这套地层中也发现了少量与义县组相似的昆虫化石组合(张俊峰,个人交流,2004)。

道虎沟化石层中最富集的脊椎动物当属有尾两栖类,其中奇异热河蜥^[2]最为丰富。热河蜥最早发现于道虎沟 1 队(2 号发掘点),而天义初蜥^[6]主要发现于道虎沟 3 队(1 号发掘点)及其相当层位,在 2 号发掘点仅有少量发现。其中在道虎沟 2 队东梁化石地点仅发现初蜥,1 号发掘点及其相当层位初蜥和热河源的数量大致相当,而在 2 号发掘点,热河源远远多于初蜥。地层对比显示,道虎沟 2 队化石地点的层位更低,相当于道虎沟层中部地层;1 号发掘点及其相当层位相当于道虎沟层上部地层的下部;2 号发掘点层位最高,相当于道虎沟层上部地层的上中部。从目前的资料来看,热河源的主要产出层位要略高于初蜥的主要产出层位。从数量上来看,道虎沟地区的热河蜥要远远多于初蜥。在热水汤无白丁,迄今为止仅发现初蜥,这可能是由于这一地点目前主要挖掘层位是富集初蜥的道虎沟层中部地层。辽西蜥最早发现于葫芦岛“九佛堂组”(可能为义县组)湖相页岩中^[27],最近在道虎沟地点也发现一新种,即道虎沟辽西蜥^[7]。此外,在朱家沟化石地点也发现了初蜥。分布在内蒙、辽西地区的这些有尾两栖类处于大致相同的演化阶段,比哈萨克斯坦晚侏罗世的卡拉蜥(*Karaurus*)特征进步^[7,28]。其中通过对道虎沟层有尾类的骨骼学分析以及与卡拉蜥的比较,认为化石层时代为晚侏罗世/早白垩世,而不会为中侏罗世^[28]。

道虎沟层的翼龙化石都属于比较原始的喙嘴龙类,其中热河翼龙属于蛙嘴龙科^[3],而翼手喙龙目前归入喙嘴龙科^[5]。这两科的分子往往共生,已知分布在哈萨克斯坦晚侏罗世早期(Oxfordian-Kimmeridgian)卡拉巴斯套组和德国晚侏罗世晚期(Tithonian)索伦霍芬灰岩^[29]。此外,同属蛙嘴龙科的树翼龙(*Dendrorhynchoides*)^[30-32]发现于北票四合屯地区的张家沟化石地点,这一地点的层位与四合屯完全相同,都属于义县组下部的尖山沟层^[33],同位素年龄为 125Ma^[34-36]。尖

山沟层是目前已知最重要的热河群翼龙化石层位之一,其他的翼龙化石还包括进步的翼手龙类的许多成员,如翼手龙科的郝氏翼龙(*Haopterus*)^[37]和东方翼龙(*Eosipterus*)^[31,38]等,该科的成员在索伦霍芬也有广泛的分布。仅从已知的翼龙化石分析,发现于尖山沟层的树翼龙与道虎沟层同科的热河翼龙非常相似,而且尖山沟层的翼龙组合明显较索伦霍芬灰岩的翼龙组合进步。我们认为,道虎沟层的时代要早于义县组下部的尖山沟层,但不应早于索伦霍芬灰岩的时代。

道虎沟层已经发现多件带羽毛的手盗龙类化石,其中树息龙个体很小,具有树栖能力^[4],相同的化石(“*Scansoriopteryx heilmanni*”^[39],与树息龙同物异名^[40])也报道发现于凌源大王杖子^[39]。我们认为这一化石的产出地点值得怀疑,很可能产自与树息龙相同地点——道虎沟。如果确实如作者所言化石来自大王杖子,那么,这一化石的发现对于解决道虎沟化石层的时代归属具有重要意义,至少道虎沟地点应该和大王杖子地点的时代相差不会很远,而大王杖子层属于义县组中部^[41],已知的同位素年龄为 122 Ma^[25]。产自道虎沟地点的足羽龙目前也被归入手盗龙类,也是一类小型的树栖性恐龙^[8]。手盗龙类与鸟类的关系很近,近几年大量发现于热河群地层,而带羽毛的兽脚类恐龙目前也仅仅发现于热河生物群^[42]。道虎沟带羽毛手盗龙类都具有树栖生态习性,它们和热河群树栖恐龙一样,都是鸟类起源和鸟类飞行起源的重要化石证据。因此,目前发现的脊椎动物化石显示,道虎沟化石层与热河群的脊椎动物化石组合最为接近。

综上所述,不论是岩石地层、生物地层,还是年代地层分析,道虎沟层都不可能是早于 165 Ma 前的中侏罗世“九龙山组”地层。道虎沟层与热河群无论从火山-沉积地层特征和脊椎动物群面貌都很相似,属于相同的火山-沉积旋回,化石动物群可能代表了热河生物群最早的记录。

6 几点结论

() 依据目前的资料,道虎沟层断续出露在宁城和凌源交界的较小范围内,已知的化石地点除了道虎沟外,在其西北的朱家沟、东北的五化姜杖子以及凌源无白丁都有分布,这些地点的岩性组合和地

层层序以及生物群面貌相同。道虎沟层的岩石地层序大致由三部分组成：下部为灰白色凝灰岩夹薄层红色页岩；中部为厚层灰白色凝灰岩夹薄层灰绿色凝灰质页岩；上部主要为灰白色凝灰岩与灰色页岩互层，为化石富集层。原来认为的下伏土城子组红色地层实为道虎沟层的下部沉积。

() 道虎沟层角度不整合沉积在不同时代复杂的基底岩层之上，下伏基底包括太古代片麻岩、中晚元古代长城系沉积岩以及中-晚侏罗世髫髻山组火山熔岩。道虎沟化石层经过后期的构造改造作用，地层发生了强烈的褶皱和地层倒转。过去大部分学者认为的道虎沟化石层的“上覆”地层髫髻山组，实为其下伏地层。

() 近年来大量的同位素年龄测定显示，道虎沟层下伏髫髻山组火山熔岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 和 SHRIMP U-Pb 年龄在 159~164 Ma，为中侏罗世晚期-晚侏罗世早期。因此，道虎沟化石层的时代不会早于这一同位素年龄，更不可能是早于这一地层的中侏罗世“九龙山组”。

() 道虎沟层的叶肢介和昆虫组合显示这一地层时代相对较早，时代范围从中侏罗世一直到晚侏罗世，但也有少量的昆虫同时出现在典型义县组地层中；脊椎动物化石显示其时代较新，可与典型义县组的生物群进行对比；其中发现于热河群的许多脊椎动物的相似分子在道虎沟化石层也被发现，如蝶螈类的辽西螈、蛙嘴龙类的热河翼龙，以及与鸟类关系密切的带羽毛恐龙-手盗龙类的树息龙、足羽龙等。在道虎沟化石地点，至今没有发现可靠的热河生物群的鱼类化石，原来被认为发现于这一地点的鱼类其实是来自于相邻的热河群地层。

() 道虎沟层与相邻周边的热河群义县组地层虽然在岩性组合上非常相似，但生物群面貌有一定的不同，道虎沟化石层要低于其周边分布的典型义县组地层。两套地层属于相同的火山-沉积旋回，只是道虎沟化石层代表了更早的沉积。我们认为道虎沟化石层可能属于早白垩世热河群最底部的沉积，代表了热河生物群最早的化石组合。

致谢 感谢中国科学院地质与地球物理研究所朱日祥、丁仲礼、王清晨、吴根耀研究员，纽约自然历史博物馆孟津博士在野外期间的有益讨论；本文的一些观点还得益于2003年9月“热河生物群野外现场研讨会”与会专家在现场讨论。还要特别感谢审稿人朱日祥院士和张俊峰研究员，

他们提出许多建设性的修改意见。本工作得到国家自然科学基金创新研究群体基金(批准号: 40121202)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(批准号: KZCX3-SW-142)和国家重点基础研究发展规划项目(批准号: TG2000077700)资助。

参 考 文 献

- 汪筱林, 王元青, 张福成, 等. 辽宁凌源及内蒙古宁城地区下白垩统义县组脊椎动物生物地层. 古脊椎动物学报, 2000, 38(2): 81~99
- 王原. 早白垩世热河生物群一新的有尾两栖类. 古脊椎动物学报, 2000, 38(2): 100~103
- 汪筱林, 周忠和, 张福成, 等. 热河生物群发现带“毛”的翼龙化石. 科学通报, 2002, 47(1): 54~58
- Zhang F C, Zhou Z H, Xu X, et al. A juvenile coelurosaurian theropod from China indicates arboreal habits. Naturwissenschaften, 2002, 89: 394~398
- Czerkas S A, Ji Q. A new rhamphorhynchoid with a headcrest and complex integumentary structures. In: Czerkas S J, ed. Feathered Dinosaurs and the Origin of Flight. Blanding: The Dinosaur Museum of Blanding Journal, 2002, 1: 15~41
- Gao K Q, Shubin N H. Earliest known crown-group salamanders. Nature, 2003, 422: 424~428
- 王原. 内蒙古中生代有尾两栖类一新种: 道虎沟辽西螈. 科学通报, 2004, 49(8): 814~815
- Xu X, Zhang F C. A new maniraptoran dinosaur from China with long feathers on the metatarsus. Naturwissenschaften, 2005, 92(4): 173~177
- Ren D, Oswald J D. A new genus of kalligrammatid lacewings from the Middle Jurassic of China (Neuroptera: Kalligrammatidae). Stuttgart Beitr Nat B, 2002, 33, 1~8
- Ren D, Yin J. A new Middle Jurassic species of *Epiomyia* from Inner Mongolia, China. Act Zootax Sin, 2002, 23(2): 212~221
- Zhang J F. The most primitive earwigs (Insecta: Dermaptera: Archidermaptera) from Upper Jurassic of Nei Monggol Autonomous Region, northern China. Act Micropalaeont Sin, 2002, 19(4): 348~362
- Zhang J F. Kalligrammatid lacewings from the Upper Jurassic Daohugou Formation in Inner Mongolia, China. Act Geol Sin, 2003, 77(2): 141~147
- Zhang J F. First description of axymyiid fossils (Insecta: Diptera: Axymyiidae). Geobios, 2004, 37: 687~694
- Rasnitsyn A P, Zhang H C. A new family, Daohugoidae fam N, of siri-comorph hymenopteran (Hymenoptera = Vespida) from the Middle Jurassic of Daohugou in Inner Mongolia (China). Proceedings of the Russian Entomological Society St. Petersburg, 2004, 75(1): 12~16
- 沈炎彬, 陈丕基, 黄迪颖. 内蒙古宁城县道虎沟叶肢介化石群的时代. 地层学杂志, 2003, 27(4): 311~313

- 16 任东, 高克勤, 郭子光, 等. 内蒙古宁城道虎沟地区侏罗纪地层划分及时代探讨. 地质通报, 2002, 21(8~9): 584~588
- 17 季强, 袁崇喜. 宁城中生代道虎沟生物群中两类具原始羽毛翼龙的发现及其地层学和生物学意义. 地质论评, 2002, 48(2): 221~224
- 18 张俊峰. 道虎沟生物群(前热河生物群)的发现及其地质时代. 地层学杂志, 2002, 26(3): 173~177
- 19 汪筱林, 周忠和. 辽西早白垩世九佛堂组一翼手龙类化石及其地层意义. 科学通报, 2002, 47(20): 1521~1527
- 20 Rasnitsyn A P, Zhang H C. Composition and age of the Daohugou Hymenopteran (Insecta, Hymenoptera=Vespida) assemblage from Inner Mongolia, China. Palaeontology, 2004, 47(6): 1507~1517
- 21 He H Y, Wang X L, Zhou Z H, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of ignimbrite from Inner Mongolia, northeastern China, indicates a post-Middle Jurassic age for the overlying Daohugou Bed. Geophysical Research Letters, 2004, 31: L20609
- 22 陈文, 季强, 刘敦一, 等. 内蒙古宁城地区道虎沟化石层同位素年代学. 地质通报, 2004, 23(12): 1165~1169
- 23 柳永清, 刘燕学, 李佩贤, 等. 内蒙古宁城盆地东南缘含道虎沟生物群岩石地层序列特征及时代归属. 地质通报, 2004, 23(12): 1180~1187
- 24 陈丕基, 文世宣, 周志炎, 等. 辽宁西部晚中生代陆相地层研究. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊, 1980, (1): 22~55
- 25 Smith P E, Evensen N M, York D, et al. Dates and rates in ancient lakes: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence for an Early Cretaceous age for the Jehol Group, northeast China. Can J Earth Sci, 1995, 32: 1426~1431
- 26 Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, et al. A New Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. Episodes, 2004, 27(2): 83~100
- 27 董枝明, 王原. 辽宁西部早白垩世一新的有尾两栖类. 古脊椎动物学报, 1998, 36(2): 159~172
- 28 Wang Y. Taxonomy and Stratigraphy of Late Mesozoic Anurans and Urodeles from China. Acta Geol Sin, 2004, 78(6): 1169~1178
- 29 Wellnhofer P. The Illustrated Encyclopedia of Pterosaurs. London: Salamander Books Limited. 1991. 1~191
- 30 姬书安, 季强. 记辽宁一新翼龙化石(喙嘴龙亚目). 江苏地质, 1998, 22(4): 199~206
- 31 Ji S A, Ji Q, Padian K. Biostratigraphy of new pterosaurs from China. Nature, 1999, 398: 573~574
- 32 Unwin D M, Lü J C, Bakhurina N N. On the systematic and stratigraphic significance of pterosaurs from the Lower Cretaceous Yixian Formation (Jehol Group) of Liaoning, China. Mitteilungen Museum für Naturkunde Berlin, Geowissenschaftlichen, 2000, Reihe 3: 181~206
- 33 汪筱林, 王元青, 金帆, 等. 辽西四合屯脊椎动物化石组合及其地质背景. Palaeoworld, 1999, (11): 310~327
- 34 Swisher III C C, Wang Y Q, Wang X L, et al. Cretaceous age for the feathered dinosaurs of Liaoning, China. Nature, 1999, 400: 58~61
- 35 Swisher III C C, 汪筱林, 周忠和, 等. 义县组同位素年代新证据及土城子组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定. 科学通报, 2001, 46(23): 2009~2012
- 36 王松山, 王元青, 胡华光, 等. 辽西四合屯脊椎动物生存时代: 锆石 U-Pb 年龄证据. 科学通报, 2001, 46(4): 330~333
- 37 汪筱林, 吕君昌. 辽宁西部义县组翼手龙科化石的发现. 科学通报, 2001, 46(3): 230~235
- 38 姬书安, 季强. 辽宁西部翼龙类化石的首次发现. 地质学报, 1997, 71(1): 1~6
- 39 Czerkas S A, Yuan C. An arboreal maniraptoran from northeast China. In: Czerkas S J, ed. Feathered Dinosaurs and the Origin of Flight. Blanding: The Dinosaur Museum of Blanding Journal, 2002, (1): 63~96
- 40 Harris J D. "Published works" in the Electronic Age: recommended amendments to Articles 8 and 9 of the Code. Bull Zool Nomenclature, 2004, 61(3): 138~148
- 41 Wang X L, Zhou Z H. Mesozoic Pompeii. In: Chang M M, Chen P J, Wang Y Q, et al. eds. The Jehol Biota. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers. 2003. 19~36
- 42 Chang M M, Chen P J, Wang Y Q, et al. The Jehol Biota. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2003. 1~208

(2005-05-16 收稿, 2005-07-25 收修改稿)