内蒙古多伦环形影像的成因探讨

白志达　顾德林　徐德斌　赵国春

(中国地质大学地球科学与资源学院,北京　100083)

提要:多伦环形影像位于内蒙古自治区东南与河北省交界处,环形影像完整,直径约 70 km。对其成因以往主要有陨石冲击和中生代古火山机构两种认识。系统的 1:5 万区域地质调查表明,环形凹槽主要被第四系沉积物覆盖,局部有上新世玄武岩出露,其下隐伏有大量白垩纪粗安岩和上新世玄武岩。环边发育不同方向的区域断裂。环内、外由前寒武纪变质岩系、中新元古界、下二叠统和中生代火山-沉积岩系组成,不同时代的地质体完整、层序清楚。中生代火山岩是一系列中心式或裂隙-中心式火山喷发作用的产物。因此,笔者认为多伦环是早白垩世以来深部岩浆作用与区域断裂共同作用的结果。

关　键　词:多伦环;陨石冲击;火山作用;深部岩浆;区域断裂

中图分类号:P542⁺.35　　文献标识码:A　　文章编号:1000-3657(2003)03-0261-07

内蒙古自治区东南部与河北省北部交界处,卫星遥感图像上有一环形影像,其中心位于内蒙古多伦县,故简称多伦环。中心地理坐标为 116°18′,北纬 42°05′,直径约 70 km。多伦环形影像完整、清晰,十分醒目。环主要由闪电河、滦河水系围绕而成。环形河道宽一般为 4~6 km,最宽者达 8 km,总体为凹槽形地貌,仅东南侧凹槽发育较差(图 1)。环中心由低山组成,环外为山地,环边明显且轮廓分明。关于多伦环的成因,在 20 世纪 80 年代中期就引起了国内外地球科学家的关注,吴思本[1]最早报道了环形构造内、外冲击变质的证据,提出了陨石冲击成因说,并认为撞击时间大致在侏罗与白垩纪之间,引起了强烈反响。徐正聪[2]等在其外围的独石口一带做了较详细的调查工作,也报道了一些陨石撞击的证据,但更多地质工作者则根据环内发育大量火山活动的证据,认为是一个古火山机构,甚至可与日本 ASU 活火山的形状类比[3]。然而,需要指出的是以往研究者大都未对本区区域地质特征进行过系统调查。对多伦环的基本地质组成还缺乏较全面的了解。近年来笔者在本区进行了系统的 1:5 万区域地质调查,取得了一系列实际资料,本文依据这些实际资料对多伦环的成因作一讨论。

1　地质概况

1.1　地层序列

环内、外出露的地质体以往认为主要有中、新生代地层,早二叠世地层仅零星见及,本次 1:5 万区调系统地建立了岩石地层系统,现由老而新简述如下:

前寒武纪中高级变质岩系:环内分布于双敖包一带,属首次发现,环外主要分布在正蓝旗西和青石砬一带(图 1),包括变质表壳岩和变质深成岩,均遭受了区域角闪岩相变质及韧性变形作用。变质表壳岩属太古宙乌拉山岩群,岩性组合为石榴钾长浅粒岩、黑云变粒岩等,变质深成岩有二长片麻岩和花岗闪长质片麻岩。

中新元古界:主要分布在正蓝旗西部一带,下部为成熟度较高的含砾石英岩、变质长石石英砂岩。中部为变质砂岩、板岩及大理岩。上部为石英砂岩、粉

收稿日期:2002-10-30;改回日期:2003-03-30

基金项目:国土资源部地质大调查项目(199613000032)资助。

作者简介:白志达,男,1956 年生,副教授,长期从事火山岩和区域地质的教学与研究工作。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

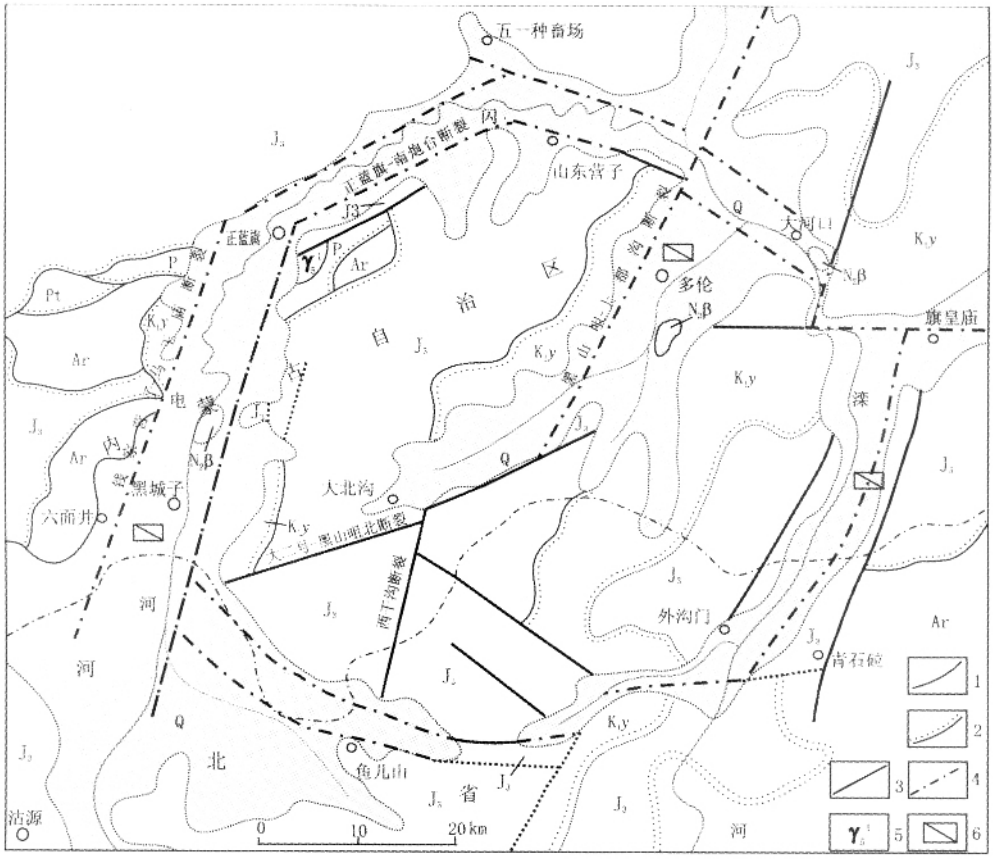


图 1 多伦环地质略图

Q—第四系；$N_2\beta$—上新统玄武岩；K_1y—早白垩统义县组；J_3—上侏罗统火山-侵入岩；P—二叠系；Pt—中新元古界；Ar—太古宇；1—地质界线；2—角度不整合地质界线；3—断层；4—航磁及钻孔综合解译断层；5—印支期花岗岩；6—煤矿位置

Fig. 1 Geologic sketch map of the Duolun ring

Q-Quaternary; $N_2\beta$- Pliocene basalt; K_1y-Lower Cretaceous Yixian Formation; J_3-Upper Jurassic volcanic and intrusive rocks; P-Permian; Pt-Meso- and Neoproterozoic; Ar-Archean; 1-Geological boundary; 2-Unconformity; 3-Fault; 4-Integrated interpretation of faults by aeromagnetic and drilling data; 5-Indosinian granite; 6-Location of coal mine

砂岩、板岩夹灰岩，局部夹条带状斜长绿帘石岩，与下伏前寒纪变质岩系呈断层或角度不整合接触。

下二叠统：分布于小河一带，由下而上可分为三面井组和额里图组，三面井组为一套地槽型建造，岩性组合下部为锈黄色砂砾岩、含砾粗砂岩，中上部为深灰色砂岩、粉砂岩夹生物碎屑灰岩，上部为深灰色粉砂质泥岩、凝灰质砂岩等。含丰富的 、有孔虫、海百合茎等化石。厚度大于 550 m，构成 3 个完整的三级旋回层序，角度不整合于前寒武纪变质岩之上。额里图组主要为一套海陆交互相—陆相英安质火山碎屑岩，底部有少量英安岩，中下部夹有沉凝灰岩、泥岩及白云质泥灰岩，含腕足类化石碎片，锆石 U-Pb 一致线年龄为 271 Ma❶，厚约 360 m，与下伏三面井组呈角度不整合接触。

中生界：环内、外中生界地层广布，堆积厚度巨大，层序完整，包括上侏罗统和下白垩统。上侏罗统，由下而上可分为满克图鄂博组、马尼吐组和白音高老组。 满克图鄂博组岩性组合： 下部为流纹岩、石英粗面岩夹流纹质火山碎屑岩， 中部为流纹质含角砾熔结凝灰岩，上部为薄板状流纹岩，厚 1450 m，角

❶ 中国地质大学(北京).多伦县等 5 幅 1:5 万区调报告，2000.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

度不整合于早下二叠统和前寒武纪变质岩之上。Rb-Sr 等时线年龄为(144±3)Ma❶,U-Pb 一致线年龄为 146.21 Ma❶,K-Ar 年龄为 142.0 Ma❶。马尼吐组:分布局限,岩性为灰紫色粗面岩、粗面英安岩,与下伏满克图鄂博组呈喷发不整合接触,厚 166 m。白音高老组:分布广,堆积厚度大,约 1 720 m。岩性组合下部为石英粗面质熔结凝灰岩、中上部为流纹质熔结凝灰岩、流纹岩、沸石化凝灰岩夹凝灰质砂岩、泥灰岩,含丰富的叶肢介(*Nestoria*)化石。顶部为流纹质角砾凝灰岩,Ar-Ar 坪年龄 141.4 Ma❶。下白垩统,包括义县组和阜新组。义县组:主要呈 NNE 向分布于环的东部,底部发育底砾岩,下部为凝灰质砂岩夹流纹质凝灰岩;上部为辉石粗面岩、安粗岩等,厚约 850 m,微角度不整合于上侏罗统之上。Ar-Ar 坪年龄为(130±2)Ma❶,Rb-Sr 等时线年龄(119±7) Ma❶。阜新组:为隐伏地层,分布于黑城子和多伦等断陷盆地中,为一套含煤地层,岩性组合为灰黑色砂砾岩、砂岩、粉砂岩、页岩夹煤层。厚度大于 600 m,平行不整合于义县组之上。

新生界:新生界地层主要分布于环形凹槽内及山间洼地中,上新世主要为砖红色粘土,顶部有少量玄武岩(厚 20~60 m)。第四系在环形凹槽内及多伦河谷中堆积,厚度一般为 60~120 m,最厚可达 180 m。

1.2 岩浆岩

环内、外岩浆岩活动强烈,主要表现为多期次大规模的火山喷发,侵入作用微弱。

火山岩:环内火山活动大致可分为 4 个阶段,即早二叠世、晚侏罗世、早白垩世和新生代,不同阶段具有不同的岩石组合。早二叠世为一套钙碱性岩系,岩性为英安质火山碎屑岩、英安岩。晚侏罗世火山岩主体为偏碱性的高钾钙碱性系列,岩石组合为流纹岩、粗面英安岩和粗面岩。早白垩世火山岩总体具双峰式特征,早期酸性端员为高钾钙碱性系列流纹岩,晚期粗面岩、安粗岩属钾玄岩系列。新生代为碱性玄武岩。

侵入岩:环内侵入岩不甚发育,仅有双敖包和小河两个岩体,前者为中细粒二长花岗岩,出露面积约 6 km^2,侵入于早二叠世地层中,Pb-Pb 等时线年龄为 230 Ma❶,属印支期岩体。后者由细粒闪长岩、二长闪长岩和二长花岗岩组成,构成一个完整的岩浆演化序列,出露面积约 2 km^2,K-Ar 年龄为 102.8 Ma❶。

1.3 火山构造

火山活动的不同阶段具有不同的火山构造面貌,早二叠世火山岩由于剥蚀较深,火山机构面貌不清。中生代,火山活动总体在 NE、NNE 向基底断裂构造控制下,形成了一系列不同级别的火山构造单元。环内晚侏罗世 4 级火山构造由北西向南东依次为正蓝旗火山喷发盆地、双敖包火山构造隆起和多伦火山喷发盆地。其中包含 12 个火山机构,火山机构类型以破火山为主,面貌清晰,火山要素齐全。可分为两个火山活动旋回,不同旋回的火山机构叠置分布。早白垩世形成 NNE 向火山洼地,火山机构类型为裂隙—中心式。新生代火山机构由玄武质熔岩盾和渣堆组成,火山地貌形态仍保存完好。

1.4 区域构造

多伦环处于华北克拉通与内蒙海西褶皱带的交接部位,中生代以来属大兴安岭—太行山岩浆岩带的组成部分。克拉通基底以多期褶皱和韧性变形为特征,构造线近东西向。早二叠世地槽型地层角度不整合覆于克拉通基底之上,即槽、台界限在环内表现为被动边界。早二叠世褶皱变形较强,且具多期变形,褶皱轴总体近东西向。中生代以来构造格局发生了根本性变化,构造变形以断裂为主,褶皱作用微弱。晚侏罗世以 NE 向火山喷发盆地、火山隆起和断裂相间展布为特征,构成清晰的 NE 向构造线。早白垩世以发育 NNE 向的火山洼地和断裂为主要特征。区内断裂有 NNE、NE、NEE 和 NWW 向 4 组,断裂性质曾发生过多次变化。新生代以来主要表现为差异性升降运动,造成今日之构造地貌景观。

2 主要成因观点剖析

2.1 宇宙成因——冲击构造

陨击作用成因的见解,为深入认识多伦环乃至华北北部中生代地质作用过程开拓了新思路,但纵观十多年来的研究成果[4~6],其主要依据仍是地貌形态标志,而可靠的冲击变质作用证据和地球化学标志几乎没有。例如:①所谓"冲击熔融岩岩体"[5,6],实为谷塘型(Valley pond ignimbrite)或近火山根部的

❶ 中国地质大学(北京).多伦县等 5 幅 1:5 万区调报告,2000.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

流纹质熔结凝灰岩。谷塘型熔结凝灰岩是火山碎屑流运移堆积在相对低洼地区,整体冷却而形成的熔结凝灰岩体,岩体产状平缓,堆积厚度大,但分布局限。岩石主要由塑变玻屑、岩屑及晶屑组成,熔结凝灰结构,块状构造,普遍脱玻重结晶,结晶程度空间上变化明显,边部结晶较低,中心结晶程度较高,但塑变玻屑的外形仍清晰可辨。熔结凝灰岩内部可分性差,不具冷却单元的熔结分带性,是主要通过结晶作用耗热冷却的结果。熔结凝灰岩大型柱状节理十分发育,并呈多层柱列堆垛产出,各层柱列之间发育凿痕构造 (chisell mark), 凿痕构造之间的块体,构成一个相对均一的流动单元,在单元内部,局部可见晶屑矿物定向分布,呈半环状、环状排列,反映单元内部有对流过程发生。特征的多单元柱列,反映了火山碎屑流多次快速堆积的过程。深剥蚀的破火山根部熔结凝灰岩:岩石特征与谷塘型熔结凝灰岩相似,但含刚性角砾较多,空间上分布在破火山根部中心侵入体周围。所谓"冲击熔融岩岩席[7]"均呈等轴状或环形产出, 岩性为流纹质熔结凝灰岩,空间上在多伦环的中心、边缘及环外均有分布,但仅与破火山密切相关。区域上在内蒙古东南部和冀北约 8 万 km^2 晚侏罗世火山岩区广泛分布,从空间分布上的广泛性及与破火山密切相关性也难理解与冲击作用有关。②关于"冲击角砾岩(suevite)"

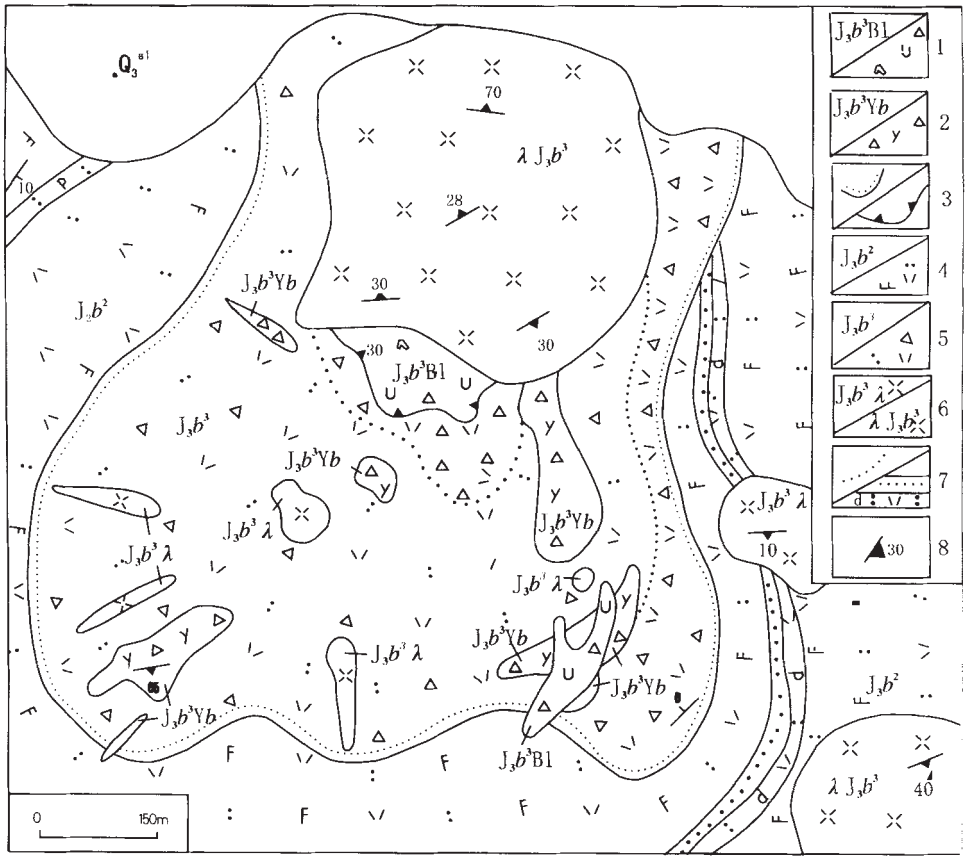


图 2 多伦白家营子破火山复活期火山地质图

1—晚侏罗世白音高老组三段流纹质角砾(集块)熔岩;2—玻璃质隐爆角砾岩;3—喷发不整合/火山管道;4—白音高老组二段沸石化凝灰岩;5—白音高老组三段角砾凝灰岩; 6—潜流纹/侵出相流纹岩;7—岩性界线/砂岩及沉凝灰岩;8—流面产状;Q_3^{al}—晚更新统冲积物

Fig. 2 Volcanic geological map of the revival stage of the Baijiayingzi caldera in the Duolun area

1—Rhyolitic breccia and agglomerate of the Third Member of the Upper Jurassic Baiyingaolao Formation; 2—Vitreous cryptoexplosion breccia; 3—Eruptive unconformity and volcanic pipe; 4—Zeolitized tuff of the Second Member of the Upper Jurassic Baiyingaolao Formation; 5—Breccia tuff of the Third Member of the Upper Jurassic Baiyingaolao Formation; 6—Subrhyolite and rhyolite of viscous lava extrusion facies; 7—Lithological boundary and sandstone and sedimentary tuff; 8—Attidude of flow plane; Q_3^{al}—Upper Pleistocene alluvium

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

和玻璃质岩石[6]:多伦环内中生代玻璃质岩石发育,类型复杂,计有黑曜岩、珍珠岩、松脂岩、玻璃质熔结凝灰岩、玻璃质角砾岩等。产状多样,既有层状熔岩流、火山碎屑流堆积,又有侵出岩穹和侵入岩墙等,黑曜岩、珍珠岩和松脂岩等虽也有人认为是冲击玻璃岩[6],但众多的野外证据及红外光谱研究表明[8],是火山岩浆喷出地表骤冷形成的火山玻璃。玻璃质角砾岩被认为属典型冲击角砾岩[6,7]。该岩石在环中心白家营子破火山复活期火山通道周围分布(图 2),呈灰黑色,角砾状构造,角砾主要为灰褐色玻璃岩,棱角状,部分为透镜状,并具塑变特征,砾径一般为 0.5~3 cm,大者可达 5 cm,含量约 30%,流纹岩角砾少量。另含有特征的霏细岩球,球体直径一般为 3~6 cm,大者 10~12 cm,球体很圆,其外层为红色,内部为深棕色,致密,霏细结构,含量约 10%。胶结物为黑色玻璃质熔岩。这种玻璃质角砾岩在环外太仆寺旗和河北沽源的独石口、崇礼的大马群山等地均可见及,这些地段因客观条件限制,产状不清,但在多伦环内白家营子一带具清晰的侵入产状,呈岩墙或不规则状侵入于流纹质角砾凝灰岩中,又被灰黄色流纹质角砾熔岩所侵入(图 2)。角砾凝灰岩围岩发育清晰的灰白色烘烤褪色边。部分地段玻璃质角砾岩边部角砾含量很少,玻璃质胶结物呈不规则小岩枝穿插在围岩中,岩枝宽一般 2~6 cm。这种玻璃质角砾岩岩墙围绕破火山复活期的小火山锥呈放射状展布。特征的侵入产状以及空间分布上与火山通道的密切关系表明,这种由熔浆胶结的玻璃质角砾岩是相对深部隐爆后,再上升侵位的隐爆火山碎屑岩,而不是陨击回落的角砾岩。③冲击变质作用:冲击变质作用是瞬时高压冲击过程中,岩石矿物产生变化的一种特殊变质作用[9],冲击变质效应也导致矿物晶体结构的破坏[10],产生高压同质多象体矿物或矿物成分的分解,甚至岩石、矿物的熔融。环内出露的岩石,无论是克拉通基底变质岩、早二叠世海相沉积岩、火山岩,还是中生代火山-沉积岩(包括"冲击熔融岩和冲击角砾岩")及侵入岩,在千余块岩石薄片和近百件人工重砂样的研究中,均未见及冲击变质的特征矿物,如柯石英、斯石英、斜锆石及石英、长石的击变玻璃等。矿物晶体结构也无损伤,石英、长石中未见与陨石撞击相类似的微裂隙、滑动面及微页理等。阴极发光可以区别石英的成因[11],但区内熔结凝灰岩和流纹岩中含量很高的高温双锥状石英的阴极发光具火山岩石英的特征。④地球化学特征:Ir、Pd、Os、Pr 等元素是鉴别地外物质的指示剂,陨石中铂族元素的含量比地壳平均值高出几个数量级,而多伦环内岩石("冲击角砾岩"及相关岩石)铂族元素丰度与地壳含量一致(表 1),不具异常特征,Cr、Co、Ni 丰度也与地壳相同。这与地球上许多冲击构造中 Ir 含量较高以及亲铁元素的富集而不同。⑤地质体特征:无论是环内还是环外,从前寒武纪变质岩系、中新元古界及早二叠世地层,到中生代火山-沉积岩系,地层序列完整,各时代地层接触关系清楚,不同构造层的地层序列、岩石建造、构造变形及成矿作用等各具特色。尤其是中生代火山-沉积岩系的堆积序列、物质组成及其相互关系与内蒙古东南和冀北地区一致,甚至层序更齐全,火山机构更完整,不同时代侵入岩侵入序列清晰。就是环中心的基底岩石也很完整,不具陨击作用而成的角砾岩透镜体或地层紊乱特征,因此就目前所获资料来看,还不能说明多伦环属陨石撞击成因。

表 1　微量元素分析结果(10^{-6})

Table 1　Analytical results of trace elements (10^{-6})

岩石名称	Ir	Pd	Au	Co	Cr	Ni
玻璃质角砾岩("冲击角砾岩")	<0.001	<0.001	0.0124	16	11	12
流纹质熔结凝灰岩("冲击熔融岩")	<0.001	<0.001	0.0234	19	9	8

注:由国家地质实验测试中心分析,Au 原子吸收,Ir、Pd 等离子质谱,Co、Cr、Ni 等离子光谱

2.2　火山作用成因

中生代火山活动对多伦环的形成有一定作用,但认为是一个巨大的古火山机构显然与事实不符。多伦环内具有复杂的火山构造面貌,就中生代以来,共发育晚侏罗世满克图鄂博、白音高老、早白垩世义县期和新生代 4 个火山活动旋回。相应形成不同时期、不同规模、不同类型的火山构造单元。同一旋回火山机构镶嵌分布,不同旋回火山机构相互叠置,构成多伦环内组合复杂但活动序列清晰的火山构造景观,并非为一个火山机构。因此,多伦环完全由中生代晚侏罗世巨大的破火山塌陷而形成也难于解释。

3　成因讨论及结论

综上所述,多伦环就目前所获资料来看,还不能说明为陨石撞击形成,也不是晚侏罗世的一个古火

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

山机构，但有资料显示早白垩世以来的区域断裂和岩浆活动起着重要作用，亦即多伦环的形成应是区域构造和岩浆活动共同作用的结果。

多伦环总体环形影像清晰，但凹槽不连续也不完整，西部和北部发育完好的凹槽，东部凹槽不连续，而南部不发育凹槽，仅表现为环形水系，这与陨石撞击作用形成的完整环形槽不尽一致[9]。多伦环的边界并非圆滑，而是由折线构成，实际上是利用追踪了 NNE、NE 和 NW 向等几组断裂而形成（图1）。如西部凹槽主要利用了马王庙—钱家营子和黑城子—正蓝旗两条 NNE 向断裂。北部则利用了 NE 向的正蓝旗—五一种畜厂断裂和山东营子—二道洼 NWW 向断裂。东侧利用了外沟门—旗黄庙 NNE 向断裂带。而南部大三号—榆树沟一带，因断裂规模小，NWW 向裂隙发育，故只形成环形水系，而未形成凹槽。这几组断裂部分在地表基岩中出露，大部分被第四系覆盖，但高强度线状航磁异常反映和勘探资料证实❶，断裂是连续展布的，而且地表线状排列的断层三角面和地貌水系特征显示，第四纪以来仍有较强的活动。如多伦西侧 NNE 向隐伏断层两盘阜新组地层厚度相差 500 余米，有些钻孔穿过断层面并见断层角砾岩。这些断裂控制了早白垩世火山岩的分布和阜新期断陷盆地的形成，故应形成于早白垩世，其后又经历了多期活动。勘探资料证实❶❷，凹槽中堆积物为早白垩世义县组玄武粗安岩及粗面岩，其上堆积了分布局限的下白垩统阜新组煤系地层和厚度较大的上新统及第四纪地层。阜新组煤系地层堆积在以早白垩世义县组玄武粗安岩及粗面岩为基底的断陷盆地中，这期断陷盆地的煤系地层在环外围太仆寺旗、河北沽源等地广泛发育，在环中心多伦一带也有分布，并不仅限定在半环形凹槽中，在凹槽中的分布也仅受局部孤立的小断陷盆地控制，厚度变化大，而不是整个凹槽中都有分布，亦即早白垩世晚期并未形成完整的半环形凹槽。

晚侏罗世时期火山活动为强烈的面式喷发，形成了一系列大型破火山。早白垩世义县组广泛不整合于晚侏罗世火山岩之上，反映晚侏罗世晚期本区总体处于剥蚀状态。早白垩世时期，火山岩的构造属性及变形特征表明，本区处于燕山造山后期相对松弛的拉张应力状态，NNE 向断裂及与其伴生的 NWW 向断裂控制了早白垩世义县期裂隙-中心式火山喷发，喷出大量玄武粗安岩及粗面质岩浆，喷发后，由于深部岩浆房被抽空，在重力和区域拉张应力联合作用下，导致了火山喷发中心沉陷，形成相互独立的小型断陷盆地，堆积了阜新组含煤岩系，如黑城子、正蓝旗、多伦等盆地。盆地范围大致与裂隙-中心式火山机构的喷发中心相一致。这些小盆地断续分布，构成了半环状凹槽的雏形。早白垩世后，区内曾一度隆起，遭受剥蚀，缺失晚白垩世—中新世地层。直到上新世，随着地壳的总体沉降，不同方向的断裂再次活动，使凹槽进一步发展，首先堆积了上新世厚达 110 m 的沉积岩系。上新世晚期，随着拉伸作用的加强，发生了玄武质岩浆喷发，碱性玄武岩基本沿半环状凹槽分布，部分较高的火山锥体仍保存完好，如大河口东、西红花梁、多伦南、大陶尔其北等火山渣锥。上新世末期，随火山喷发停息，在深部岩浆房收缩与区域拉伸应力及重力联合作用下，发生进一步沉陷，半环状凹槽基本形成。第四纪以来，凹槽继续沉陷，更新世最大堆积厚度约 180 m，其间虽经历几次抬升，但总体以下沉为主。全新世以来，曲流河谷及沼泽地的发育反映凹槽还在沉陷，形成现今多伦环地貌景观。因此，多伦环不是某一短暂时期形成，而是经历了早白垩世、上新世和第四纪等不同阶段的活动逐渐发育而成，其形成的主期应是新生代，而并非侏罗与白垩纪之间，是深部岩浆作用和区域构造共同作用的结果。

综上讨论可以得出如下结论：

1）多伦环的形成并非陨石冲击的结果，也非一个古火山机构，而是在深部岩浆和区域构造共同作用下形成的环形凹槽和水系；

2）多伦环的形成经历了早白垩世、上新世和第四纪等不同的阶段，形成主期在新生代，而非侏罗与白垩纪之间。

参考文献(References)：

[1] 吴思本. 多伦陨石坑的发现及其地质特征[N]. 中国地质矿产报，1986-10-10(3).
Wu Siben. Discovery of Duolun impact crater and its geological fea-

❶ 内蒙古地堪局 111 地质队. 多伦西大仓煤矿勘探报告, 1978.

❷ 中国地质大学(北京).多伦县等 5 幅 1:5 万区调报告,2000.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

tures[N]. China Geology and Mineral Resources News . 1986-10-10(3) (in Chinese).

[2] 徐正聪. 宇宙成因的环形构造——冲击构造[A]. 见:航空航天遥感技术地学应用研究[C]. 北京:地质出版社,1993. 178~193.
Xu Zhengcong. Ring of universe origin—The impact structure[A]. In: Applied Study of Aviation Remote Sensing to Geology [C]. Beijing:Geological Publishing House, 1993. 178~189 (in Chinese with English abstract).

[3] 刘本培,崔新省. 地球历史节律的天文因素探讨[A]. 见:岩石圈构造与动力学开放实验室 1996 年年报 [C]. 北京: 地质出版社, 1997. 113~116.
Liu Benpei, Cui Xinsheng. An approach to rhythms in earth's history and their astronomic factors[A]. In:The Laboratory of Lithosphere Tectonics and Its Dynamics Annual Report 1996 [C]. Beijing:Geological Publishing House, 1997. 113~116(in Chinese with English abstract).

[4] Wu Siben. The Duolun impact crater, China[A]. In:Abstracts of Papers Submitted to the Lunar and Planetary Science Conference [C]. Houston, TX, United States 1987.18(3):920~921.

[5] Wu Siben. Impact-produced fluidization of Duolun Crater, China. In: Meteoritical Society, 52nd Meeting; abstracts[C]. Arizona State University, Center for Meteorite Studies. Tempe, AZ, United States. 1989, 24(4):342~343.

[6] Wu Siben ,Zhang Jiayun. Self-organized rock textures and multiring structures in the Duolun Crater[A]. In:Papers Presented to the International Conference on Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution[C]. Lunar and Planetary Institute, Houston, TX, United States. 1992, 790:81~82.

[7] 吴思本. 多伦陨石坑的研究进展[J]. 中国地质, 1996.,(8):14~16.
Wen Siben. Recent progress in the research on the Duolun meteoric crater[J]. Geology in China, 1996,(8):14~16(in Chinese with English).

[8] 林文祝,刘高魁. 冲击玻璃和玻璃质岩石的红外光谱研究[J]. 科学通报,1993. 38(3):250~253.
Lin Wenzhu, Liu Gaokui. Study of infrared spectrum to impact glass and vitreous rock. Chinese Science Bulletin, 1993. 38(3):250~253(in Chinese).

[9] Grieve R A F. 地球受撞击的岩石记录[A]. 见:岩石圈构造与动力学开放实验室 1996 年年报[C]. 北京:地质出版社,1997. 78~92.
Richard A F Grieve. Rock record of impact to the earth [A]. In: The Laboratory of Lithosphere Tectonics and Its Dynamics Annual Report 1996[C]. Beijing:Geological Publishing House, 1997. 78~92 (in Chinese with English abstract).

[10] 毕延,龚自正. 冲击波物理在地球和行星科学研究中的应用[J]. 地球科学进展, 1997. 12(5):399~410.
Bi yan, Gong zizheng. Application of shock wave physics to earth and planetary sciences[J]. Advance in Earth Sciences, 1997,12(5):399~410(in Chinese with English abstract).

[11] Owen M R, Anders M H. Evidence from Cathodoluminescence for non—Volcanic origin of shocked quartz at the Cretaceous/Tertiary boundary[J]. Nature, 1988, 334(3):145~147.

Origin of the Duolun ring image, Inner Mongolia

BAI Zhi-da, GU De-lin, XU De-bin, ZHAO Guo-chun

(*School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The Duolun ring image is found on the border of southeastern Inner Mongolia and Hebei Province. The image is complete, with a diameter of ca. 70 km. There are mainly two views about the genesis of the ring, meteorite impact and Mesozoic paleovolcanic edifice. Through a systematical 1:50000 regional geological survey, the authors found that the trough of the ring is mainly covered by Quaternary deposits, with Pliocene basalts exposed locally. Data of drilling and abnormal magnetic variation show that large amounts of Cretaceous trachyandesite and Pliocene basalt are hidden in the subsurface. Regional faults of all directions are developed at the edges of the ring. Both inside and outside the ring there occur Precambrian metamorphic rocks, Meso- and Neoproterozoic and Lower Permian strata and Mesozoic volcanic-sedimentary rocks. Geologic bodies of different ages are intact with a clear stratigraphic succession. Mesozoic volcanic rocks are the product of a number of eruptions of central or fissure-central types. Therefore, the authors conclude that the Duolun ring may be the result of combined deep-seated magmatism and regional faulting.

Key words: Duolun ring; impact of meteorite; volcanism; deep-seated magma; regional fault

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net