

松辽盆地东南隆起区 营城组柱状节理流纹岩特征和成因

李金龙^{1,2}, 王璞珺¹, 郑常青¹, 唐华凤¹, 吴颜雄¹, 边伟华¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

2. 吉林油田公司, 吉林 松原 138000

摘要: 松辽盆地东南隆起区下白垩统营城组出露柱状节理流纹岩。柱状节理属于原生构造节理, 岩相为火山通道相次火山岩亚相—侵入相, 柱体排列方式为近水平式、倾斜式、近直立式, 截面为不规则的四方柱、五方柱、六方柱, 柱体规模属于中小型, 流纹岩中常发育隐爆角砾结构。通过对柱状节理流纹岩成分及结构构造的研究, 表明本区的流纹岩柱体直径与其对应的显微组构斑晶大小成正比例相关。柱状节理的成因是熔岩冷却收缩形成的, 由于受到种种内外因素制约, 形成的柱状节理形态各异。

关键词: 松辽盆地东南隆起区; 营城组; 柱状节理; 流纹岩

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1671-5888(2007)06-1131-08

Characteristics and Genesis of Rhyolite with Columnar Joints from the Yingcheng Formation in Southeastern Uplift of the Songliao Basin

LI Jin-long^{1,2}, WANG Pu-jun¹, ZHENG Chang-qing¹,

TANG Hua-feng¹, WU Yan-xiong¹, BIAN Wei-hua¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2. Jilin Oil Field, Songyuan, Jilin 138000, China

Abstract: Rhyolite with columnar joints has been found in the lower Cretaceous Yingcheng Formation, in an uplift area of the southeastern Songliao Basin. The columnar joints in rhyolite are primary structural joint developed in a sub-volcanic sub-facies of volcanic conduit (extrusive) facies. The joints seen include horizontal, inclined and vertical ones. Their cross sections developed are anomalous tetragonal, pentagonal or hexagonal and are of medium to small size. Crypto-explosive breccia structures were well developed. The diameter of prisms is in proportion to the size of micro-fabric phenocryst. The primary genetic mechanism for the joints is the condensing shrinkage. Controlled by different factors, the eventual shapes of columnar joints are quite varied.

Key words: southeastern uplift of the Songliao Basin; Yingcheng Formation; columnar joint; rhyolite

收稿日期: 2007-06-20

基金项目: 国家“973”项目(2006CB701403)

作者简介: 李金龙(1979-), 男, 黑龙江同江人, 硕士, 主要从事石油与天然气勘探研究, E-mail: lj2004612@163.com

通讯联系人: 王璞珺(1959-), 男, 黑龙江绥滨人, 教授, 博士生导师, 主要从事油气地质勘查、火山岩储层和沉积学研究, Tel: 0431-88502620 E-mail: wangpj@jlu.edu.cn.

0 引言

柱状节理,通常是指发育在火山岩中呈规则的四方、五方、六方棱柱体形态的原生节理构造^[1]。这种构造多发育在产状平缓的玄武岩内,也见于安山岩、流纹岩、熔结凝灰岩中。另外,在超浅成岩、次火山岩脉、火山通道内及熔岩湖中也可见到^[2]。英文地学辞海把柱状节理定义为平行的、棱柱状柱体,断面多边形,见于玄武熔岩,有时亦见于其它喷出和侵入岩中,它们形成于冷凝过程的收缩作用^[3]。

柱状节理构造通常被众多学者认为只能发育在粘度小、流动性大的基性熔岩中^[4]。长期以来,各国学者均认为这种构造只能发育在 SiO_2 质量分数在 45%~52%、粘度小、流动性大的基性喷出岩体中,而在 SiO_2 质量分数大于 65%、粘度大、流动性小的酸性喷出岩体中则不可能发育^[5,6]。

随着国内外野外地质调查的广泛开展,人们逐渐发现柱状节理构造非为玄武岩所特有,它也可以发育于酸性火山岩中。在国外地质人员对俄罗斯南乌拉尔、阿拉维尔金地区、哈萨克斯坦等地的酸性火山岩体中的柱状节理做过简要描述^[7]。在我国浙江等地^[8]、吉林四平山门一带^[9,10]、内蒙古多伦县^[11]多处酸性火山岩中,发现了十分典型、甚具规模的柱状节理构造。总的来说柱状节理构造以发育在基性岩中为主,但在松辽盆地下白垩统营城组常见酸性岩中的柱状节理,具有一定的特殊性。笔者通过对松辽盆地东南隆起区九台市城子街镇八棵树村一带、卢家镇附近和四平市山门镇柱状节理流纹岩露头进行剖面实测,从柱状节理流纹岩的序列和分布出发,结合其成分和结构特征,探讨本区流纹岩柱状节理构造的成因。

1 营城组柱状节理流纹岩的产状、序列和分布

研究区位于松辽盆地东南隆起区,区内中生代火山活动强烈,主要为下白垩统营城组的活动大陆边缘火山沉积建造^①。出露的地层主要有寒武—志留系呼兰群下段(C_1S),下二叠统一拉溪组(P_2Y),下三叠统卢家屯组(T_1L),下白垩统营城组(K_1Y),下白垩统泉头组(K_1Q),第四系(Q)(图 1)。

实测剖面 A 出露较好的柱状节理流纹岩。实测剖面分为 2 层:第 1 层为下三叠统卢家屯组的灰黑色、黑色钙质粉砂岩和细砂岩^②;第 2 层为下白垩

统营城组的灰黄色柱状节理流纹岩。根据王璞珺对松辽盆地的火山岩岩相分类^[12],该套柱状节理流纹岩属于火山通道相次火山亚相—侵入相,与下三叠统卢家屯组灰黑色粉砂岩呈角度不整合接触关系(图 2),不整合面平均产状为 $30^\circ \angle 70^\circ$ 。在图 1A 岩性岩相平面图上可以看出,柱状节理流纹岩平面上呈近椭圆状分布,长轴走向近南北,长约 300 m,短轴约 200 m。柱状节理构造常常发育于火山机构的中心部位,柱状节理流纹岩的存在可以研究火山机构中心或火山口位置。

实测剖面 B 共分为 3 层:第 1 层为紫红色含火山弹流纹质角砾熔岩,对应的岩相为爆发相空落亚相;第 2 层为紫红色流纹质隐爆角砾岩,对应的岩相为火山通道相隐爆角砾岩亚相;第 3 层为灰黄色、紫红色柱状节理流纹岩,对应的岩相为火山通道相次火山亚相—侵入相(图 3)。这套流纹岩层位为下白垩统营城组三段的顶部,位于基性玄武岩之上,其上为下白垩统泉头组^[13]。在图 1B 岩性岩相平面图上,柱状节理流纹岩平面上近椭圆状分布,长轴约 800 m,短轴约 200 m,位于火山机构的中心。

四平市山门镇实测剖面分为 2 层:第 1 层为土黄色流纹岩,对应的岩相为喷溢相下部亚相;第 2 层为土黄色柱状节理流纹岩,对应的岩相为火山通道相次火山亚相—侵入相(图 4)。柱状节理流纹岩层位为下白垩统营城组,平面上近椭圆状分布,长轴走向 300° ,约 3 km,短轴约 1.5 km,位于火山机构的中心,规模比较大。

2 营城组柱状节理流纹岩的成分和结构构造特征

在剖面 A 出露的柱状节理流纹岩风化面为灰黄色、紫红色,新鲜面为灰白色,致密坚硬,柱状节理极其发育。下部柱体的倾伏向为 205° ,倾角为 35° (图版 A),截面多呈不规则的四边形、五边形和六边形,以五边形和六边形为主,边长一般为 15~30 cm,柱体直径以 20~30 cm 居多(图版 B)。上部柱体倾伏方向为 175° ,倾角为 50° ,柱状节理发育程度有所减弱。

① 王璞珺,郑常青,刘万洙,等.营城组火山岩野外露头岩石分析及地质大剖面建立(科研报告).大庆油田勘探研究院,2007.

② 吉林省区域地质调查大队.区域地质调查报告(舒兰县幅).吉林省地质局,1980.

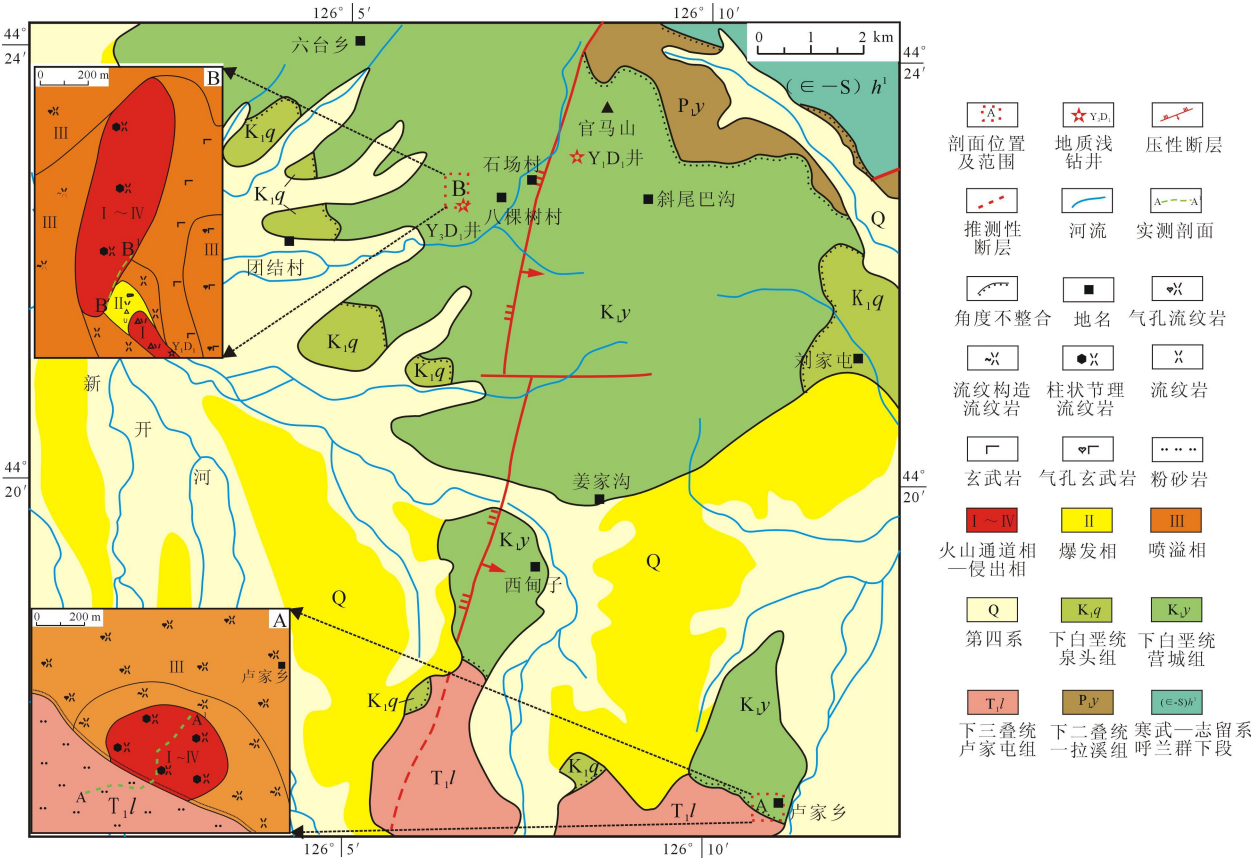


图 1 研究区地质图^①和岩性岩相特征

Fig. 1 Geological map and characteristics of lithology and facies in study area

A 和 B 为柱状节理流纹岩露头岩性岩相图

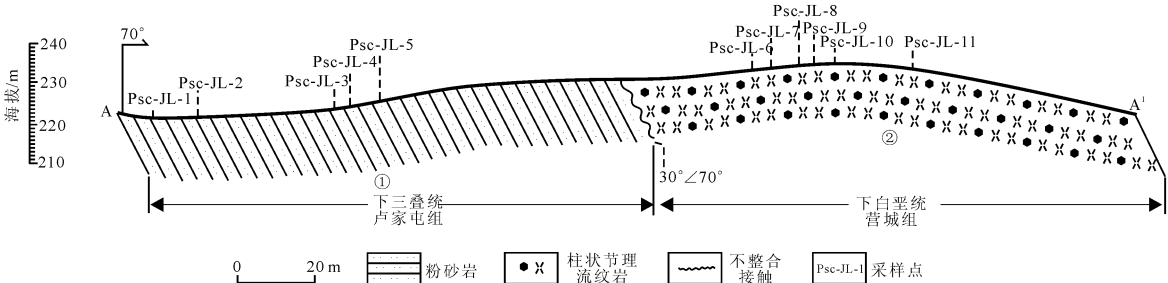


图 2 九台市卢家镇下白垩统营城组柱状节理流纹岩和不整合其下的下三叠统实测地质剖面图(与图 1A 对应)

Fig. 2 Measured section of rhyolites with columnar joints from lower Cretaceous Yingcheng Formation which are unconformable with the lower Triassic, Lujia town Jiutai City

图版 C 对应图 2 中的采样点为 Psc-JL-8, 显微特征为斑状结构, 基质具霏细-细晶结构, 流纹构造不发育, 斑晶主要为石英、碱性长石, 少量黑云母, 斑晶体积分数为 30%, 其中石英呈半自形粒状, 粒径 0.05~0.2 mm, 占斑晶的体积分数为 30%。碱性长石呈自形长柱状或短柱状, 可见卡式双晶, 柱长

0.3~0.8 mm, 占斑晶的体积分数为 65%, 黑云母体积分数为 5%。图版 D 中对应图 2 中的采样点为 Psc-JL-6, 可见后期岩浆呈裂隙充填、树枝状。

① 吉林省区域地质调查大队. 区域地质调查报告(舒兰县幅). 吉林省地质局, 1980.

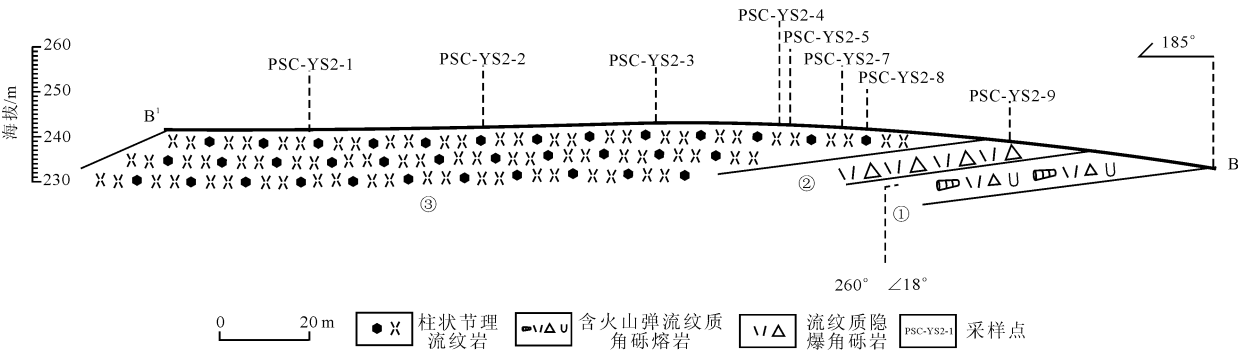


图 3 九台市八棵树村下白垩统营城组三段柱状节理流纹岩实测地质剖面图(与图 1B 对应)

Fig. 3 Measured section of rhyolites with columnar joints from lower Cretaceous Yingcheng Formation, in Bakeshu Jiutai City

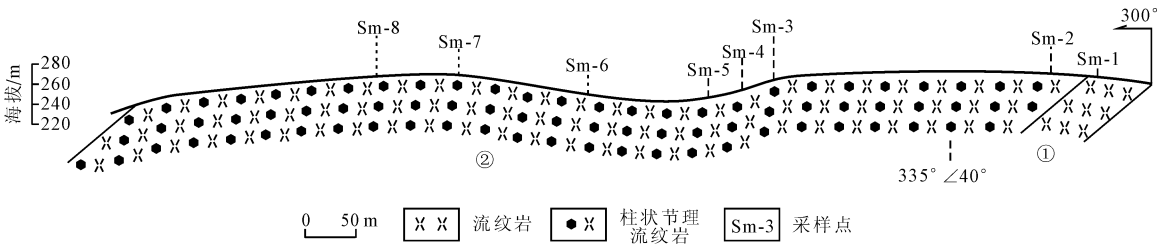


图 4 四平市山门镇下白垩统营城组柱状节理流纹岩实测地质剖面图

Fig. 4 Measured section of rhyolites with columnar joints from lower Cretaceous Yingcheng Formation, in Shanmen town Siping City

在剖面 B 点出露的柱状节理流纹岩风化面颜色为灰黄色、紫红色,新鲜面灰白色,柱体延伸方向为 270°,倾角为 15°,垂直柱体方向节理发育,节理面光滑,水平节理间距一般为 10~20 cm(图版 E),流纹构造不明显。截面多呈不规则的四边形、五边形和六边形,以五边形为主,边长一般为 8~20 cm,柱体直径在 15 cm 左右居多,在剖面第二层可见柱状节理流纹岩的隐爆角砾结构,为后期热液充填的结果(图版 F)。

图版 G 对应图 3 中的采样点为 PSC-YS2-1。显微特征为霏细结构,局部细晶结构,基质为长英质,流纹构造发育,不含斑晶,结晶程度比剖面 A 处的差一些。

图版 H 对应图 3 中的采样点为 PSC-YS2-9。显微特征中见隐爆角砾结构,呈裂隙充填状,为后期热液侵入炸裂原岩的结果。

四平山门出露的柱状节理流纹岩风化面为土黄色,新鲜面为灰白色,致密坚硬,柱状节理极其发育(图版 I)。柱体延伸方向约 220°,倾角为 76°~80°,柱体向上延伸有弯曲现象,局部倾角变化较大。流

纹构造发育,绝大多数流纹方向垂直柱体延伸方向。柱体截面多呈不规则四边形、五边形、六边形,偶见七边形(图版 J),以五边形为主,柱体直径以 30~40 cm 居多,最大可达 2 m。

图版 K 对应图 4 中的采样点为 Sm-3。显微特征为霏细结构,基质为玻璃质或长英质,斑晶主要为石英,少量斜长石、正长石。斑晶体积分数为 20%。石英呈他形粒状,粒径 0.3~3.0 mm,占斑晶的体积分数为 70%。长石呈柱状,长约 1 mm,占斑晶的体积分数为 30%。

图版 L 对应图 4 中的采样点为 Sm-4,可见流纹构造非常发育。

3 营城组柱状节理流纹岩宏观特征与微观组构的关系

在本区下白垩统营城组流纹岩柱状节理宏观特征与微观特征研究的基础上,与吉林四平山门营城组产出的柱状节理流纹岩的成分和结构构造特征进行对比(表 1)。从表 1 可以看出,在酸性岩中形成的柱状节理的截面形状多为不规则的,排列方式为

倾斜式和直立式。在吉林四平山门的流纹岩柱直径最大, 为 30~40 cm, 对应显微组构中的斑晶最大可达 3 mm; 在九台卢家产出的流纹岩柱体直径次之, 为 20~30 cm, 对应显微组构中斑晶最大可达 0.8 mm; 在吉林九台八棵树立产出的流纹岩柱体直径最小, 以 15 cm 左右为主, 对应显微组构中不含斑晶。通过对比分析得出流纹岩柱体直径与之对应的显微组斑晶大小成正比例相关, 即随着流纹岩显微组构中斑晶越大, 结晶程度越好, 对应的柱径也越大。

4 成因探讨

本区出露的流纹岩柱状节理, 参照徐松年柱列断面与直径分类^[4], 柱体规模属于中小型(柱体截面边长<1 m)。在柱状节理流纹岩分布序列及成分、结构构造特征研究的基础上, 综合国内外研究的成果, 分析本区流纹岩中柱状节理的成因。

柱状节理的成因目前国内外认识还不统一, 但传统的岩浆冷却收缩学说占主导地位^[2~4, 8, 14]; 还有 R. B. Sosman 曾提出过“对流作用”假说^[14]; L. H. Kantha 还提出了玄武岩柱状节理形成的“双扩散作用”假说^[15]。笔者赞同传统的冷凝收缩成因观点,

以王江海^[4]将柱状节理的形成过程划分为两阶段为出发点, 来讨论表 1 中柱状节理的成分及结构构造特征的区别。由图 5 所示, 两阶段为: ①热耗散一对

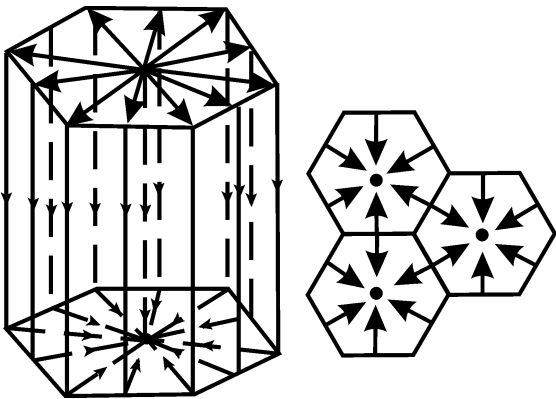


图 5 柱状节理形成过程中的热耗散一对流阶段(左)和柱状节理形成过程的冷却一收缩阶段(右)^[4]

Fig. 5 Illustrating the formation process of columnar joints thermodissipative convection stage(left) and cooling contraction stage(right)^[4]

左图中箭头方向代表对流方向, 且图中所示仅为一个 Benard 对流元包的情形; 右图中箭头方向表示密度均衡作用时的应力引张方向, 图中所示是 3 个 Benard 对流元包的截面图

表 1 营城组 3 个露头柱状节理流纹岩的成分和结构构造特征综合统计对比
Table 1 Contrast of composition and structure of rhyolites with columnar joints from three outcrops of Yingcheng Formation

产地	岩性	成分和显微组构	柱体直径	截面形状	柱体排列方式	发育规模
吉林九台八棵树立	流纹岩	霏细结构, 局部细晶结构, 基质为长英质, 流纹构造发育, 不含斑晶	15 cm 左右为主	不规则四、五边形为主, 六边形次之	倾斜式, 倾角 15°	为近椭圆状分布, 长轴方向的跨度为 800 余 m, 短轴方向为 200 余 m
吉林九台卢家	流纹岩	斑状结构, 基质为霏细—细晶结构, 流纹构造不发育, 斑晶主要为石英、碱长石, 少量黑云母, 斑晶占岩石体积分数为 30%, 其中石英呈半自形粒状, 粒径 0.05~0.2 mm, 占斑晶的体积分数为 30%; 碱性长石呈自形长柱状和短柱状, 可见卡式双晶, 柱长 0.3~0.8 mm, 占斑晶体积分数为 65%, 黑云母体积分数为 5%	20~30 cm 为主	不规则五、六边形为主, 四边形次之	倾斜式, 倾角 35°~50°	近椭圆状分布, 长轴方向跨度近 300 m, 短轴为 200 余 m
吉林四平山门	流纹岩	霏细结构, 流纹构造发育, 基质为玻璃质或长英质, 斑晶主要为石英, 少量斜长石、正长石, 斑晶体积分数为 20%, 石英呈他形粒状, 粒径 0.3~3.0 mm, 占斑晶的体积分数为 70%; 长石呈柱状, 长约 1 mm, 占斑晶的体积分数为 30%	30~40 cm 居多, 最大可达 2 m	多呈不规则四边形、五边形、六边形, 偶见七边形	近直立式	近椭圆状分布, 长轴走向 300°, 长约 3 km, 短轴约 1.5 km

流阶段,以形成六方网格型的 Benard 对流花样为前提;②冷却—收缩阶段,随着温度的降低其本身的能量不足以克服岩浆的粘滞力, Benard 对流停止。由于对流环中密度里低外高(温度里高外低),则岩浆进行密度均衡,就会产生许多规则的收缩中心。体积收缩引起岩石物质向固定的内部中心聚集,从而垂直于等温面方向上产生张力纵裂隙,且相互间呈等腰三角形排列,于是各向相等的张应力就通过 3 组彼此以 120° 相交的张节理的形成而解除。这些张节理切割岩体,就形成规则的六面柱体。流纹岩柱体直径与之对应的显微组构斑晶具有相关性,是由 Benard 对流停止的快慢造成的。如果停止得快,冷凝速度就快,显微组构的斑晶就小,相对的结晶程度就差,而本身能量克服岩浆的力小,产生的收缩中心的范围也要小一些,最终形成的柱体直径相对要小一些,这与柱体直径和对应的显微组构斑晶大小成正比例相关是一致的。

本区出露的流纹岩柱状节理的截面多为不规则的多边形(表 1)。由于柱体形成时,特别是岩体表层局部非均质结构,使聚集中心的距离加长或缩短,因而在柱体断面上就会形成不规则的形状。表 1 中柱状节理柱体的排列方式从近水平到近直立。徐松年综合国内外的玄武岩双层柱列式成因并将其分成 3 类^[15],四平山门出露的流纹岩柱状节理属于其特殊型双层柱列式,而其它两处从出露情况及其分布序列上来看,不属于玄武岩双层柱列式的分类成因。综合分析认为成因可能有两点:①与火山通道的形状有关,火山通道中岩浆产生的对流方向随着火山通道形态的改变而不一致,形成柱体的排列方式也会有差异;②后期构造运动对柱体产状的影响。

火山岩柱状节理构造的形成是一个十分复杂的过程。熔岩在冷却收缩过程中,受到种种内外因素的制约,诸如熔岩物质的均质性、喷发的规模、近地表或一部分出露地表、必须为一次性喷发的产物,岩石的结构与构造、岩浆的粘度、岩浆的冷却温度及其变化、岩浆的冷却速度及冷却的均匀性、火山通道的形状等条件制约,所以形成的柱状节理可能形态各异。

5 结 论

(1)九台市卢家镇下白垩统营城组出露的柱状节理流纹岩,与下三叠统卢家屯组成角度不整合接

触,平面上近椭圆分布,长轴约 300 m;九台市城子街镇八棵村村在下白垩统营城组三段顶部出露柱状节理流纹岩,平面上近椭圆分布,长轴约 800 m;四平山门下白垩统营城组出露的柱状节理流纹岩,平面上近椭圆分布,长轴约 3 km。

(2)流纹岩柱体直径与之对应的显微组构斑晶大小成正比例相关,即随着流纹岩显微组构中斑晶越大,结晶程度越好,对应的柱径也越大。

(3)流纹岩柱状节理是熔岩冷却收缩过程形成的。由于受到种种内外因素制约,形成的柱状节理可能形态各异。

参考文献(References):

- [1] 吕惠进. 我国酸性火山岩中的柱状节理构造景观[J]. 自然杂志, 2005, 27(1): 33—36.
Lǚ Hui-jin. The columnar joint landscape of Mesozoic acidic volcanic rocks in China[J]. Chinese Journal of Nature, 2005, 27(1): 33—36.
- [2] 《地球科学大辞典》编辑委员会. 地球科学大辞典: 基础科学卷[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
Editorial Board of Geoscience Dictionary. Geoscience dictionary: basic sciences [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [3] Julia A Jackson. Glossary of geology[C] // Alexandria: American Geological Institute, 1997.
- [4] 王江海, 吴金平, 王人镜. 福建镇海一带玄武岩柱状节理的动力学研究兼论柱状节理的成因[J]. 岩石学报, 1991, 2(1): 16—25.
WANG Jiang-hai, WU Jin-ping, WANG Ren-jing. Dynamics of columnar joints in basalt, Zhenhai area, Fujian Province, with special reference to its genesis [J]. Acta Petrologica Sinica, 1991, 2(1): 16—25.
- [5] Iddings J P. The columnar structure in the igneous rock on Orange Mountain, New Jersey[J]. Amer Jour Sci, 1886, 31(3): 321—331.
- [6] James A V G. Factors producing columnar structure in lavas and its occurrence near Melbourne, Australia [J]. Jour Geology, 1920, 28: 458—469.
- [7] 周济群, 黄光昭. 火山岩石及其研究法[M]. 北京: 地质出版社, 1978.
ZHOU Ji-qun, HUANG Guang-zhao. Volcanic rock and its research method [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978.
- [8] 徐松年. 浙江中生代酸性火山岩柱状节理构造的发现及其地质意义[J]. 岩石学报, 1995, 11(3): 325—332.
XU Song-nian. Discovery of columnar joint structure

- of Mesozoic acidic volcanic rocks in Zhejiang Province and its geological significance[J] . Acta Petrologica Sinica, 1995, **11**(3): 325—332.
- [9] 张星. 吉林省四平山门早白垩世流纹岩地质特征[J] . 吉林地质, 2001, **20**(3): 30—34.
- ZHANG Xing. The geologic features of the early Cretaceous rhyolite in the Shanmen area, Siping, Jilin Province[J] . Jilin Geology, 2001, **20**(3): 30—34.
- [10] 赵明, 刘福臣. 吉林省四平市山门中生代流纹岩柱状节理特征及成因意义[J] . 吉林地质, 2003, **22**(3): 57—61.
- ZHAO Ming, LIU Fu-chen. The prismatic joint characteristics of the Mesozoic rhyolite of the Shanmen, Siping, Jilin Province and its origin significance [J] . Jilin Geology, 2003, **22**(3): 57—61.
- [11] 路凤香, 桑隆康. 岩石学[M] . 北京: 地质出版社, 2002: 36—37.
- LU Feng-xiang, SANG Long-kang. Petrology[M] . Beijing: Geological Publishing House, 2002: 36—37.
- [12] 王璞珺, 迟元林, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相: 类型、特征和储层意义[J] . 吉林大学学报(地球科学版), 2003, **33**(4): 449—456.
- WANG Pu-jun, CHI Yuan-lin, LIU Wan-zhu, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance[J] . Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, **33**(4): 449—456.
- [13] 贾军涛, 王璞珺, 邵锐, 等. 松辽盆地东南缘营城组地层序列的划分及区域对比[J] . 吉林大学学报(地球科学版), 2007, **37**(6): 1110—1123.
- JIA Jun-tao, WANG Pu-jun, SHAO Rui, et al. Stratigraphical sequence and regional correlation of Yingcheng Formation in the southeast of Songliao Basin[J] . Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, **37**(6): 1110—1123.
- [14] 徐松年. 试论玄武岩柱状节理的形态分类与成因分类[J] . 杭州大学学报, 1982, **9**(4): 487—498.
- XU Song-nian. Discussion on morphological and genetical classification of columnar joints in basalt[J] . Journal of Hangzhou University, 1982, **9**(4): 487—498.
- [15] Kantha L H. Basalt fingers—origin of columnar joints [J] . Geological Magazine, 1981, **118**(3): 251—264.

图版说明

九台市卢家镇出露的柱状节理流纹岩: A、B 为野外照片, C、D 为显微照片。其中, C 为正交偏光, D 为正交偏光。

九台市城子街镇八棵树村出露的柱状节理流纹岩: E、F 为野外照片, G、H 为显微照片。其中, G 为正交偏光, H 为正交偏光。

四平市山门镇出露的柱状节理流纹岩: I、J 为野外照片, K、L 为显微照片。其中, K 为正偏光, L 为单偏光。

图版

