

辽西北票—义县地区义县 旋回火山岩的岩石化学特征

彭艳东^{1,2} 张立东^{1,2} 张长捷² 郭胜哲² 邢德和^{2,3}
贾 斌^{1,2} 陈树旺^{1,2} 丁秋红^{1,2}

(1. 东北大学, 辽宁 沈阳 110004; 2. 中国地质调查局东北地区地质调查中心, 辽宁 沈阳 110033;
3. 吉林大学, 吉林 长春 110061)

摘要: 辽西地区是中国中生代火山岩主要分布区之一。义县组分为 4 个岩性段。义县火山旋回可分为 4 个亚旋回。第一亚旋回分为 4 个小旋回。从早期至晚期, 义县旋回火山岩逐渐由基性向中基性、中性和酸性演化, 火山岩岩石组合为基性岩—中性岩—酸性岩组合, 从北票—义县, 火山活动显示了由老到新的迁移性。主要氧化物关系表明岩石的 SiO_2 与 K_2O 呈正相关, SiO_2 与 MgO 、 CaO 、 $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 呈负相关。TAS 图解反映了火山岩较高碱度的总体特征, 硅—碱关系图和 AFM 图解反映了火山岩属于亚碱性系列中的钙碱性系列岩石, 在 SiO_2 — K_2O 关系图上, 绝大部分样品落于高钾钙碱性系列区内, 少量落于钾玄岩系列区, 因此义县旋回火山岩以高钾钙碱性系列岩石为主, 部分为钾玄岩系列, 表明岩石富钾。义县旋回火山岩具有大陆板内火山岩的基本特征。

关键词: 义县旋回; 火山岩; 岩石化学; 高钾钙碱性系列

中图分类号: P588.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)04-0356-09

辽西地区是中国中生代火山岩主要分布区之一。对辽西地区中生代火山岩的研究, 在上世纪 80 年代以前基本上应用传统地层学方法。之后, 岩石学、地球化学、同位素年代学研究逐步展开。很多地质学家^[1-7]先后对区内中生代火山岩进行了较深入系统的研究。李兆鼎^①、张招崇^②等在研究阜新一义县盆地南部义县组时, 按照火山活动及其喷发产物特征, 将义县旋回划分为 4 个喷发—沉积亚旋回, 认为阜新一义县盆地义县组火山岩属弱碱性、普通型火山岩系列。史卜庆等^[7]认为义县组火山岩大部分属钙碱性系列, 少部分属碱性系列。作者通过北票、义县、上园、地藏寺等 4 幅 1:5 万区域地质调查项目, 对北票—义县地区义县组火山—沉积岩系进行了深入细致的野外调查和室内研究工作, 对义县组的地质特征、时空分布规律以及火山作用的周期性有了较清晰的认识, 重新厘定了义县组的段级岩石地层单位。在此基础上, 对义县组火山岩进行了系统的岩石化学采样测试工作, 以其确

定义县组火山岩岩石组合及岩石系列。

1 义县组的基本地质特征

根据义县组的火山活动周期性、火山岩间的沉积夹层、火山岩的时空分布规律等特征, 本次区域地质调查将义县组分为 4 个岩性段(图 1)。与此相对应, 又将义县火山旋回划分为 4 个亚旋回, 各亚旋回火山岩间呈喷发不整合接触。

一段: 底部为义县组底砾岩, 与下伏土城子组呈微角度或角度不整合接触; 其上为第一亚旋回形成的火山岩。第一亚旋回可以进一步分为 4 个小旋回, 将小旋回形成的岩石称为岩相组合。包括第一小旋回至第四小旋回的爆发沉积相、溢流相、爆发相和次火山岩相的岩相组合, 岩性主要为基性、中基性和少量偏碱性的基性岩(剖面 P2~P3)。每个小旋回火山岩以火山爆发—沉积相相隔(含砾岩屑沉凝灰岩、砂质沉凝灰岩和沉凝灰岩), 相当于火山爆发间歇期。第一小旋回火

收稿日期: 2003-11-04; 改回日期: 2004-05-20

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(0199202053)资助。

作者简介: 彭艳东, 男, 1963年生, 博士生, 副研究员, 从事区域地质调查和地球化学研究工作。E-mail: sypyandong@cgs.gov.cn。

① 李兆鼎, 等. 辽西义县中生代陆相火山岩地区金矿控矿条件及找矿靶区的研究. “七五”国家科技攻关项目研究成果报告, 1990.

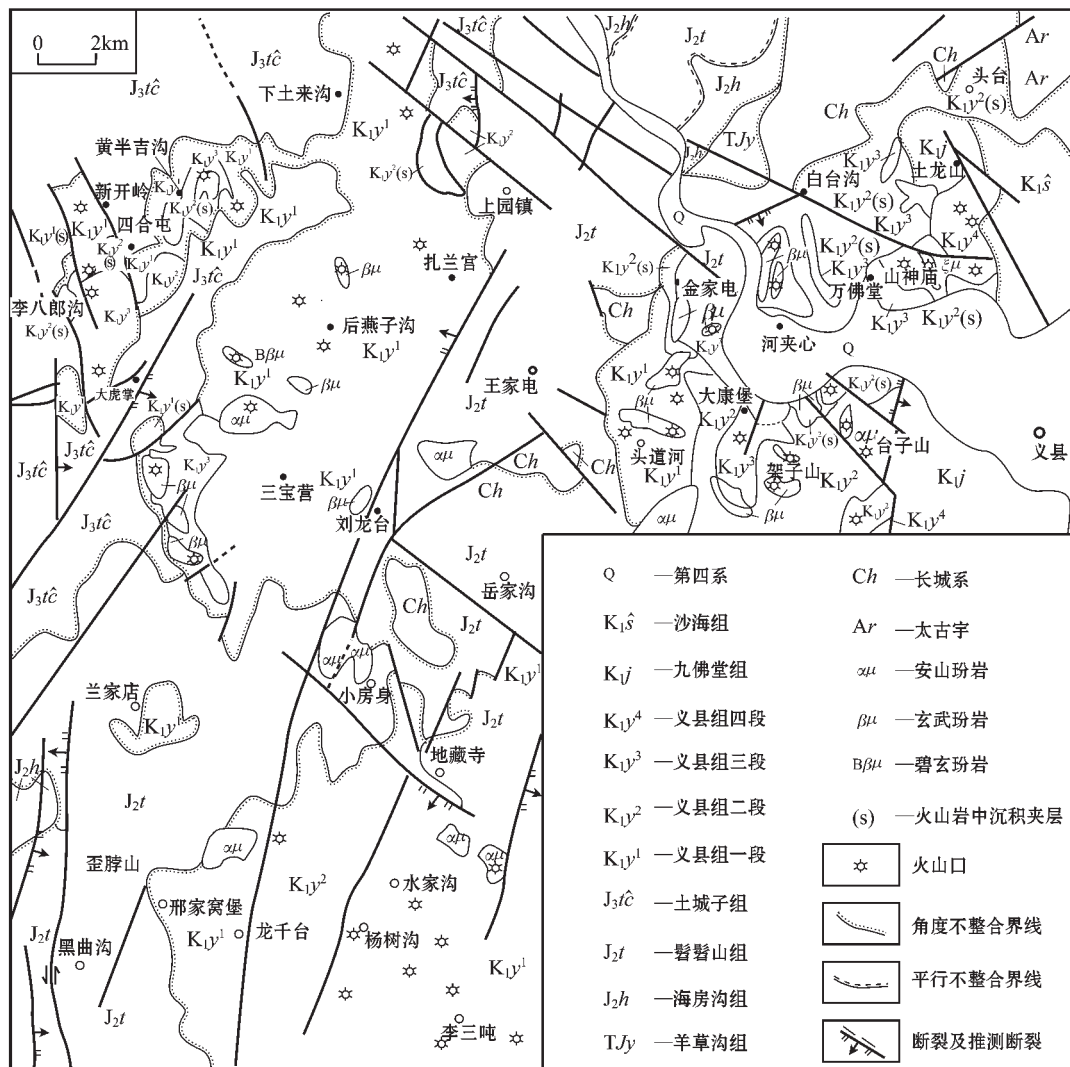


图 1 辽西北票—义县地区地质简图

Fig.1 Geological sketch map of the Beipiao-Yixian area,western Liaoning

山岩仅分布于上园幅新开岭一带,直接压盖在义县组底砾岩上。岩石类型包括下部的橄榄玄武岩和上部杏仁状玄武安山岩,局部出露灰黑色致密块状橄榄玄武玢岩。其余 3 个小旋回分布广泛。第二小旋回岩石类型包括沉凝灰岩、含杏仁橄榄玄武安山岩、含杏仁辉石玄武安山岩、玄武安山质集块岩、玄武安山质集块凝灰岩、橄榄玄武安山岩等。第三小旋回岩石类型包括晶屑岩屑凝灰岩、橄榄玄武岩、玄武安山岩、碧玄武岩、杏仁状碧玄武岩、碧玄质熔结集块岩、碧玄质含集块角砾岩、安山质熔结集块岩等。第四小旋回岩石类型包括岩屑晶屑凝灰岩、气孔—杏仁状玄武安山岩及其次火山岩、玄武安山岩、安山岩等。

二段:该段以火山—沉积作用为主,形成了一套含珍稀化石的湖相沉积层,中下部发育不稳定的中基性、中性熔岩及

火山碎屑岩,其中发育典型的湖相枕状熔岩和淬碎岩(气孔—杏仁状玄武安山岩)^[9],上部为少量分布局限的酸性火山碎屑岩(剖面 P9)。分布在四合屯、黄半吉沟、大康堡—架子山、腰马山沟、白台沟、张家湾等地。

三段:主要为第三亚旋回火山作用形成的灰色—灰黑色橄榄玄武岩、斜长橄榄玄武岩及其集块岩和角砾岩,经常伴生橄榄玄武玢岩等次火山岩;在义县盆地除了见有橄榄玄武岩及其碎屑岩外,在上部还有多斑粗安岩、粗安质凝灰角砾岩和角砾凝灰岩(剖面 P7)。喷发不整合盖在一段、二段的的不同层位上。

四段:底部为砾岩、砾质杂砂岩,分布局限;中上部主要为第四亚旋回形成的安山岩、流纹岩、英安岩等中酸性、酸性火山岩及其火山碎屑岩,少量偏碱性火山岩(如粗面岩,剖面

P7), 夹有凝灰质粉砂岩、细砂岩和钙质泥页岩(金刚山层, 仅在义县幅南侧邻区新民屯幅内出现), 顶部为流纹质沉火山角砾岩(即黄花山角砾岩), 分布于义县幅东部地区。

义县组沉积厚度 609.07~1590.52 m。与上覆九佛堂组假整合或断层接触。

第一亚旋回火山岩以中基性为特征, 从早期到晚期, 岩石的碱性显示增高趋势。第二亚旋回火山岩早期以中基性偏碱性为特征, 到晚期形成的酸性火山碎屑岩碱质含量也较高。第三亚旋回火山岩早期以基性钙碱性为特征, 到晚期形成中性火山岩及其火山碎屑岩, 碱质含量较高。第四亚旋回火山岩则以偏酸、偏碱为特征。从早期至晚期, 义县旋回火山岩逐渐由基性向中基性、中性和酸性演化。在空间分布上, 从北票市四合屯—新开岭一带, 向南东至义县幅及其南侧的宋八户—枣刺山一带, 分别发育第一至第四亚旋回火山岩, 显示了由北西向东南火山作用由老到新的火山活动迁移性。

剖面 P2: 辽宁省北票市上园镇新开岭—四合屯白垩系下统义县组实测剖面

—————未见顶—————

| | |
|--|-------------|
| 义县组三段(K ₁ ³) | 厚度 14.69 m |
| 24. 灰黑色橄榄玄武岩 | 14.69 m |
| -----喷发不整合----- | |
| 义县组二段(K ₁ ²) | 厚度 26.19 m |
| 23. 灰黄色中厚层状中粒长石石英砂岩 | 3.48 m |
| 22. 灰绿色凝灰质粉砂岩夹细粒凝灰质岩屑杂砂岩 | 12.58 m |
| 21. 灰白色薄层状沉凝灰岩夹中厚层状砂质结晶灰岩透镜体 | 2.53 m |
| 20. 灰色、灰白色页片状钙质页岩, 产拟蜉蝣和植物碎片化石 | 1.46 m |
| 19. 灰色薄板状钙泥质粉砂岩夹黄褐色铁质胶结沉凝灰岩, 局部有结晶灰岩透镜体, 产叶肢介、拟蜉蝣、介形类、虾和植物碎片化石 | 4.97 m |
| 18. 黄绿色微薄层—薄层状细粒凝灰质岩屑杂砂岩 | 1.17 m |
| 义县组一段(K ₁ ¹) | 厚度 307.79 m |
| 17. 深灰色杏仁状玄武安山岩 | 10.70 m |
| 16. 灰色橄榄玄武安山岩 | 91.40 m |
| 15. 灰色、灰紫色橄榄玄武安山岩, 局部有熔结角砾岩和集块岩 | 6.73 m |
| 14. 黄褐色微薄层—薄层状细粒凝灰质岩屑杂砂岩 | 0.72 m |
| 13. 灰黄色、灰绿色气孔杏仁状玄武安山岩 | 27.38 m |
| 12. 灰黑色橄榄玄武岩 | 18.56 m |
| 11. 上部微薄层—薄层状泥质粉砂岩, 下部黄绿色薄层状细粒岩屑长石杂砂岩 | 2.92 m |
| 10. 灰绿色、灰黄色杏仁状玄武安山岩 | 4.95 m |
| 9. 灰绿色含杏仁状玄武岩 | 1.02 m |
| 8. 黄绿色含砾粗粒岩屑杂砂岩 | 2.98 m |

| | |
|---|---------|
| 7. 灰色、灰黑色致密块状橄榄玄武岩, 底部有 1m 厚的紫色气孔状安山岩 | 8.21 m |
| 6. 黄绿色薄层状含砾中粗粒岩屑沉凝灰岩 | 3.16 m |
| 5. 灰色、灰黄色杏仁气孔状玄武安山岩 | 84.33 m |
| 4. 灰黑色橄榄玄武岩, 底部有 1m 厚的气孔杏仁状玄武岩 | 22.30 m |
| 3. 灰色、浅灰绿色薄层—中厚层状复成分细砾岩夹灰色薄层—中厚层状中粒—粗粒岩屑杂砂岩 | 19.17 m |
| 2. 灰色薄层—中厚层状含砾粗粒长石岩屑杂砂岩 | 1.63 m |
| 1. 灰色薄层—中厚层状复成分细砾岩, 局部夹含砾粗砂岩透镜体 | 1.63 m |

—————断层—————

下伏地层: 侏罗系上统土城子组三段(J₃c³)灰色薄层状泥质粉砂岩夹浅灰色、灰粉色细粒石英长石砂岩

剖面 P3: 辽宁省北票市上园镇炭窑子屯—跑达沟白垩系下统义县组一段实测剖面

—————未见顶—————

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| 义县组一段(K ₁ ¹) | 厚度 431.82 m |
| 37. 浅灰绿色杏仁状玄武安山岩 | 24.20 m |
| 36. 紫红色杏仁状玄武安山岩 | 4.35 m |
| 35. 紫红色岩屑晶屑凝灰岩 | 3.26 m |
| 34. 灰紫色杏仁状玄武安山岩 | 0.70 m |
| 33. 浅黄绿色、紫红色岩屑晶屑凝灰岩, 产鸚鵡嘴龙化石 | 8.15 m |
| 32. 灰紫色、灰绿色杏仁状玄武安山岩 | 35.11 m |
| 31. 灰紫色杏仁状玄武安山岩 | 38.90 m |
| 30. 灰紫色杏仁状碧玄武岩 | 8.92 m |
| 29. 灰紫色玄武岩质含集块角砾岩 | 29.63 m |
| 28. 灰紫色杏仁状碧玄武岩 | 12.92 m |
| 27. 灰紫色安山质熔结集块岩 | 2.86 m |
| 26. 灰色、灰紫色杏仁状碧玄武岩 | 2.86 m |
| 25. 灰紫色安山质熔结集块岩 | 14.14 m |
| 24. 灰紫色气孔杏仁状碧玄武岩 | 3.26 m |
| 23. 灰紫色安山质熔结集块岩 | 2.99 m |
| 22. 灰色、灰紫色杏仁状碧玄武岩 | 8.46 m |
| 21. 紫红色含火山弹安山质熔结集块岩 | 19.73 m |
| 20. 灰紫色杏仁状橄榄碧玄武岩 | 8.08 m |
| 19. 灰黑色含橄榄玄武岩 | 4.97 m |
| 18. 黄色晶屑凝灰岩, 产鸚鵡嘴龙化石 | 10.34 m |
| 17. 灰黑色橄榄玄武岩 | 9.67 m |
| 16. 黄褐色、灰绿色玄武安山质集块岩, 相变为紫红色凝灰岩 | 2.27 m |
| 15. 灰色气孔杏仁状橄榄玄武岩 | 5.86 m |
| 14. 黄褐色、灰绿色玄武安山质集块岩 | 0.83 m |
| 13. 灰褐色含杏仁橄榄玄武岩 | 3.51 m |
| 12. 黄褐色、灰绿色、灰紫色玄武安山质集块岩 | 2.06 m |

- 11. 灰色、灰黑色橄榄玄武岩 7.27 m
- 10. 灰色、灰绿色、灰紫色玄武安山质集块岩 2.05 m
- 9. 灰黑色橄榄玄武粗安岩 26.56 m
- 8. 黄褐色、灰紫色安山质集块岩 20.23 m
- 7. 深灰色含杏仁橄榄玄武粗安岩 43.77 m
- 6. 黄褐色、灰绿色、灰紫色玄武安山质集块岩 10.74 m
- 5. 灰色、灰紫色含杏仁安山玄武岩 10.84 m
- 4. 黄褐色、灰紫色安山玄武质集块岩 2.83 m
- 3. 灰色块状砂质凝灰岩, 产鸚鵡嘴龙化石 15.98 m
- 2. 灰色中厚层状凝灰质胶结粗粒长石石英砂岩 4.43 m
- 1. 浅灰色中厚层—厚层状复成分细砾岩 19.09 m

~~~~~角度不整合~~~~~

下伏地层: 侏罗系上统土城子组三段(J<sub>3</sub>t<sub>3</sub>)灰绿色薄层—中厚层状细粒、中粗粒凝灰质长石岩屑杂砂岩

剖面 P9: 辽宁省北票市黄半吉沟白垩系下统义县组珍稀化石层实测剖面

上覆地层: 义县组三段(K<sub>1</sub>y<sup>3</sup>)灰黑色橄榄玄武岩

~~~~~喷发不整合~~~~~

义县组二段(K₁y²) 厚度 145.88 m

- 18. 灰白色微薄层—页片状钙质页岩, 产叶肢介、双壳类、腹足类 *Viviparus* sp., 节肢类 *Liaoningogriphus quadripartitus* 和植物茎干化石 10.83 m
- 17. 黄白色薄层状中细粒长石岩屑杂砂岩, 产双壳类 *Sphaerium jeholense* 和腹足类化石 0.90 m
- 16. 浅褐色薄层状泥岩 1.89 m
- 15. 浅灰色薄层状含角砾晶屑凝灰岩, 产叶肢介、双壳类、植物茎干化石 1.70 m
- 14. 黄白色薄层—中厚层状细粒石英岩屑杂砂岩 2.36 m
- 13. 褐黄色薄层状中粒岩屑杂砂岩 2.70 m
- 12. 灰白色薄层—中厚层状流纹质凝灰角砾岩, 产植物茎干化石 60.98 m

- 11. 灰白色薄层状凝灰岩, 产叶肢介、腹足类和植物茎干化石 4.27 m
- 10. 灰白色薄层—中厚层状中细粒长石岩屑杂砂岩 3.30 m
- 9. 灰白色薄层—中厚层状泥质粉砂岩, 产叶肢介化石 6.84 m
- 8. 黄白色薄层状细粒长石岩屑杂砂岩, 产叶肢介、双壳类化石 *Arguniella lingyuanensis* 3.90 m
- 7. 灰白色、黄白色薄层—中厚层状粉砂岩, 产鱼、叶肢介、双壳类 *Arguniella lingyuanensis* 和植物化石 15.55 m
- 6. 灰黄色薄层状泥岩、粉砂质泥岩 8.80 m
- 5. 灰黄色薄层状长石细砂岩 2.70 m
- 4. 灰黄色薄层状泥质粉砂岩, 产叶肢介、辽宁古果及植物化石碎片 6.94 m
- 3. 灰黄色薄层—中厚层状粉砂质泥岩夹凝灰质灰岩, 产叶肢介、拟蜉蝣及植物化石碎片 2.16 m
- 2. 灰白色微薄层—页片状钙质页岩, 底部为灰绿色中厚层状岩屑晶屑凝灰岩, 产叶肢介、狼鳍鱼、拟蜉蝣、节肢类 *Liaoningogriphus quadripartitus*、腹足类 *Probaicalia* sp. 和植物碎片化石 9.10 m
- 1. 灰黄色凝灰质细砂岩 0.89 m

—————整合—————

下伏地层: 义县组一段(K₁y¹)灰黄色复成分集块岩

剖面 P7: 锦州市义县万佛堂白垩系下统义县组上部地层实测剖面

—————未见顶—————

义县组四段(K₁y⁴) 厚度 124.42 m

- 9. 灰色似层状粗面岩, 具斑状结构 16.65 m
- 8. 灰色似层状球粒状流纹岩 9.90 m
- 7. 黄白色杏仁状流纹岩 24.63 m
- 6. 灰黄色杏仁状英安岩 43.01 m
- 5. 灰色似层状球粒状英安岩 21.69 m
- 4. 灰黄色流纹质凝灰岩, 夹灰白色流纹岩 8.54 m

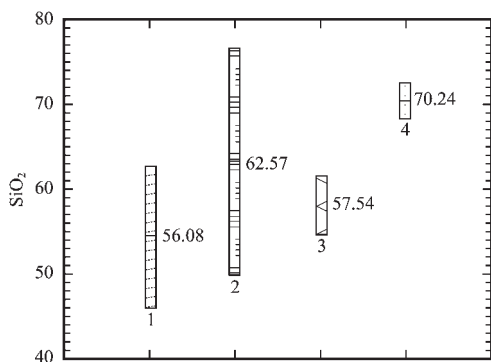


图 2 义县旋回火山岩 SiO₂ 含量统计图

1~4 分别代表第一至第四亚旋回火山岩

Fig. 2 SiO₂ content statistics of the Yixian volcanic cycle rocks
1~4 represent volcanic rocks of the first to fourth subcycles respectively

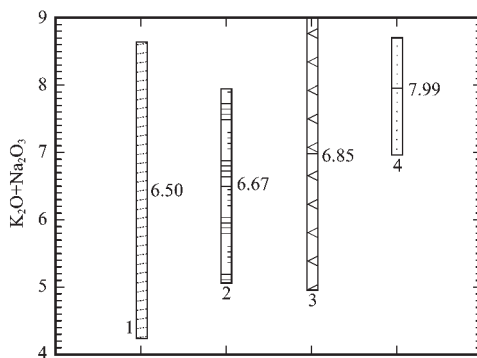


图 3 义县旋回火山岩碱度统计图

1~4 分别代表第一至第四亚旋回火山岩

Fig. 3 Alkalinity statistics of the Yixian volcanic cycle rocks
1~4 represent volcanic rocks of the first to fourth subcycles respectively


~~~~~喷发不整合~~~~~

|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| 义县组三段(K <sub>1</sub> <sup>3</sup> ) | 厚度 174.42 m |
| 3. 黄褐色块状含集块粗安质火山角砾凝灰岩               | 64.76 m     |
| 2. 灰黄色、灰绿色巨厚层状粗安质火山角砾凝灰岩            | 52.97 m     |
| 1. 黄褐色巨厚层状一块状含集块粗安质火山角砾凝灰岩          | 56.69 m     |

—————未见底—————

## 2 义县旋回火山岩岩石化学特征

在区域地质调查工作中,对义县旋回火山岩进行了系统取样并进行了主量元素测定(表 1~2)。

### 2.1 第一亚旋回

第一小旋回火山岩:SiO<sub>2</sub>含量为 53.09%~62.22%,里特曼指数(δ)为 1.47~3.06,平均值为 2.13,属钙碱质岩系。K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=5.32%~5.74%,平均值为 5.54%。

第二小旋回火山岩:岩石类型包括橄榄玄武岩和玄武安山岩类。SiO<sub>2</sub>含量为 54.8%~55.54%,四合屯地区的橄榄玄武岩里特曼指数(δ)为 2.60,属钙碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=5.71%;;上园地区的橄榄玄武岩里特曼指数(δ)为 2.41,属钙碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=5.48%;在后燕子沟火山机构附近,玄武安山岩类的里特曼指数(δ)为 2.65~4.10,平均值为 3.16,属钙碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=5.59%~7.04%,平均值为 6.12%。

第三小旋回火山岩:岩石类型包括玄武安山岩类、玄武岩、碧玄岩类。SiO<sub>2</sub>含量为 46.05%~62.95%。在四合屯地区玄武安山岩类里特曼指数(δ)为 2.15~3.86,平均值为 3.01,属钙碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=6.55%~7.59%,平均值为 7.07%;在上园地区,岩石里特曼指数(δ)为 3.42~4.08,平均值为 3.75,属碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=6.77%~7.34%,平均值为 7.06%;在后燕子沟火山机构附近发育碧玄岩类等高碱度岩类,里特曼指数(δ)为 2.08~15.70,平均值为 8.29,属碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=4.9%~7.38%,平均值为 6.47%;在义县盆地的地藏寺一带,岩性以玄武岩和玄武安山岩为主,里特曼指数(δ)为 1.89~5.18,平均值为 3.33,属钙碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=4.2%~8.32%,平均值为 6.04%。

第四小旋回火山岩:岩石类型包括玄武岩、玄武安山岩类、安山岩类。在四合屯地区,岩石里特曼指数(δ)为 1.41~4.12,平均值为 3.03,属钙碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=5.38%~8.62%,平均值为 6.83%;在上园地区,里特曼指数(δ)为 3.01~3.71,平均值为 3.26,属钙碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=6.59%~8.28%,平均值为 7.39%;在后燕子沟火山机构附近,岩石 SiO<sub>2</sub>含量为 60.01%,里特曼指数(δ)为 2.09,属钙碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=5.96%;在阜新一义县盆地的地藏寺一带,岩性以安山岩为主,里特曼指数(δ)为 3.42~4.11,平均值为 3.83,属碱质岩系,K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=6.42%~8.21%,平均值为 7.19%。

### 2.2 第二亚旋回

湖相枕状熔岩气孔—杏仁状玄武安山岩:分布在北票四

合屯、义县张家湾等地区, SiO<sub>2</sub>含量为 57.22%~61.02%,里特曼指数(δ)为 2.97~4.32,平均值为 3.65,属碱质岩系, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=7.32%~7.84%,平均值为 7.58%。

气孔—杏仁状玄武安山岩:分布在架子山等地区, SiO<sub>2</sub>含量为 54.53%,里特曼指数(δ)为 5.48,属碱质岩系, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=7.95%。

玄武岩:分布在义县白台沟地区, SiO<sub>2</sub>含量为 49.7%,里特曼指数(δ)为 4.45,属碱质岩系, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=5.46%。

流纹质凝灰岩角砾岩、流纹质凝灰岩:分布在北票上园镇黄半吉沟地区, SiO<sub>2</sub>含量为 76.1%~76.84%,里特曼指数(δ)为 0.77~1.22,平均值为 1.00,属钙质岩系, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=5.1%~6.35%,平均值为 5.73%。

### 2.3 第三亚旋回

玄武岩类: SiO<sub>2</sub>含量为 54.68%~55.48%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为 15.48%~15.2%, CaO为 6.45%~7.49%, Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O>1,里特曼指数(δ)为 1.96~2.93,平均值为 2.33,属钙碱性系列, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O含量为 4.95%~5.85%,平均值为 5.26%。

粗安岩类: SiO<sub>2</sub>含量为 57.55%~61.71%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=15.38%~19.09%, CaO为 2.03%~5.08%,里特曼指数(δ)为 3.47~4.73,平均值为 4.52,属碱质岩系, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O含量为 7.92%~9.1%,平均值为 8.08%。

### 2.4 第四亚旋回

早期酸性岩—流纹岩、英安岩的 SiO<sub>2</sub>含量为 69.05%~72.49%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=13.02%~15.46%, CaO=1.36%~1.96%, Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O<1,里特曼指数(δ)为 1.81~2.92,平均值为 2.31,属钙碱质岩系, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=6.99%~8.72%,平均值为 7.97%。晚期粗面岩 SiO<sub>2</sub>含量为 68.05%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=15.17%, CaO=2.41%, Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O<1,里特曼指数(δ)为 2.60,属钙碱质岩系, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=8.07%。

从表 2 看出,从早期至晚期,义县旋回火山岩的赖特碱度指数 AR 增大,表明岩石碱度逐渐增强;反映全铁在铁镁总量中含量(%)的铁镁指数 FM 几乎全部大于 50 且逐渐增大,表明岩石中镁相对较贫且含量逐渐降低;反映全碱占碱钙总量内的含量(%)的长英指数 FL 由早期的小于 50 逐渐增大,第四亚旋回岩石高达 85.49,表明岩石相对贫钙,碱度较高且逐渐增强。固结指数 SI 早期较高,到晚期(第四亚旋回)明显降低,表明火山岩浆由富 MgO 向相对贫 MgO 方向演化,符合正常的岩浆演化趋势。

对所采样品测试结果的统计分析表明(图 2~3),义县旋回火山岩 SiO<sub>2</sub>含量介于 46.05%~72.49%之间,4 个亚旋回火山岩的 SiO<sub>2</sub>含量平均值分别为 56.08%、62.57%、57.54%、70.24%,与此相对应的 K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 平均值为 6.50%、6.67%、6.85%、7.99%,表明义县旋回从早期至晚期,火山作用具有从基性向酸性演化、碱度逐渐增高的趋势。从主要氧化物关系图解(图 4)上可以看出, SiO<sub>2</sub>与 MgO、CaO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO 含量呈负相关, SiO<sub>2</sub>与 K<sub>2</sub>O 含量呈正相关。从基性岩→中性岩→酸性岩, SiO<sub>2</sub>与 Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量的关系由正相关转为负相

表 1 义县旋回火山岩化学成分含量/%  
Table 1 Major element contents of the Yixian volcanic cycle rocks /%

| 时代                                   | 样号                                   | 采样地点    | 岩性       | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | LOI    | TOTAL  |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------|--------|
| K <sub>1</sub> y <sup>4</sup>        | P7G5                                 | 山神庙     | 流纹质凝灰岩   | 66.85            | 0.79             | 12.60                          | 3.15                           | 0.56 | 0.04 | 2.66 | 1.62 | 0.28              | 8.16             | 0.10                          | 2.61   | 99.42  |
|                                      | P7G6                                 | 山神庙     | 英安岩      | 68.99            | 0.52             | 15.17                          | 1.69                           | 0.66 | 0.04 | 1.65 | 1.33 | 3.56              | 4.30             | 0.20                          | 1.42   | 99.53  |
|                                      | P7G8                                 | 山神庙     | 球粒状流纹岩   | 70.18            | 0.50             | 15.13                          | 0.79                           | 1.15 | 0.02 | 0.37 | 1.92 | 3.70              | 4.22             | 0.10                          | 1.23   | 99.31  |
|                                      | P7G11                                | 山神庙     | 杏仁状流纹岩   | 70.80            | 0.45             | 12.97                          | 2.48                           | 0.17 | 0.11 | 1.06 | 1.62 | 2.40              | 5.48             | 0.13                          | 1.64   | 99.31  |
|                                      | P7G17                                | 山神庙     | 粗面岩      | 66.74            | 0.54             | 14.88                          | 2.78                           | 0.83 | 0.04 | 1.81 | 2.36 | 3.80              | 4.12             | 0.18                          | 1.34   | 99.42  |
|                                      | P7G18                                | 山神庙     | 杏仁状英安岩   | 67.76            | 0.44             | 12.88                          | 2.52                           | 1.29 | 0.02 | 3.19 | 1.77 | 2.00              | 4.76             | 0.18                          | 2.72   | 99.53  |
| K <sub>1</sub> y <sup>3</sup>        | P2G47                                | 新开岭     | 橄榄玄武安山岩  | 53.28            | 0.94             | 15.77                          | 3.76                           | 4.31 | 0.12 | 6.80 | 7.16 | 3.20              | 1.64             | 0.37                          | 2.01   | 99.36  |
|                                      | P6G11                                | 金家屯     | 玄武安山岩    | 53.86            | 0.92             | 15.58                          | 1.52                           | 6.61 | 0.15 | 7.12 | 6.35 | 3.56              | 1.24             | 0.17                          | 2.28   | 99.36  |
|                                      | P21G8                                | 腰马山沟    | 玄武安山岩    | 53.04            | 1.24             | 15.02                          | 2.26                           | 5.91 | 0.14 | 6.06 | 7.27 | 3.88              | 1.79             | 0.39                          | 3.21   | 100.21 |
|                                      | P24G0                                | 土龙山     | 多斑粗安岩    | 56.24            | 1.53             | 18.65                          | 4.01                           | 2.09 | 0.06 | 1.68 | 4.96 | 4.61              | 3.50             | 0.39                          | 2.33   | 100.05 |
|                                      | P7G2                                 | 山神庙     | 粗安质角砾凝灰岩 | 58.03            | 0.90             | 15.83                          | 4.25                           | 1.53 | 0.12 | 2.92 | 3.55 | 3.72              | 3.80             | 0.36                          | 4.43   | 99.44  |
|                                      | P7G3                                 | 山神庙     | 粗安质角砾凝灰岩 | 58.31            | 0.79             | 14.53                          | 6.15                           | 0.49 | 0.06 | 3.35 | 1.92 | 0.46              | 8.14             | 0.30                          | 4.84   | 99.34  |
| K <sub>1</sub> y <sup>2</sup>        | 1274G1                               | 四合屯     | 玄武安山岩    | 58.19            | 0.64             | 14.91                          | 2.32                           | 1.53 | 0.08 | 2.34 | 7.61 | 4.14              | 2.84             | 0.76                          | 4.13   | 99.49  |
|                                      | 1274G2                               | 四合屯     | 玄武安山岩    | 53.71            | 0.75             | 15.39                          | 3.76                           | 0.38 | 0.09 | 3.66 | 8.20 | 4.20              | 3.16             | 0.57                          | 5.60   | 99.47  |
|                                      | P9G12                                | 黄半吉沟    | 流纹质凝灰岩   | 73.04            | 0.33             | 12.24                          | 1.39                           | 0.19 | 0.02 | 1.29 | 1.33 | 1.08              | 5.01             | 0.07                          | 3.89   | 99.87  |
|                                      | P9G13                                | 黄半吉沟    | 流纹质凝灰角砾岩 | 72.61            | 0.25             | 11.97                          | 1.62                           | 0.17 | 0.02 | 1.19 | 1.82 | 0.94              | 3.88             | 0.03                          | 5.56   | 100.06 |
|                                      | P21G11                               | 腰马山沟    | 玄武安山岩    | 52.42            | 1.41             | 16.01                          | 6.55                           | 1.95 | 0.06 | 4.77 | 4.65 | 4.58              | 3.07             | 0.66                          | 3.63   | 99.76  |
|                                      | P23G11                               | 白台沟     | 玄武岩      | 43.63            | 1.28             | 15.39                          | 7.71                           | 1.56 | 0.09 | 2.16 | 10.6 | 2.42              | 2.37             | 0.54                          | 12.3   | 100.16 |
| K <sub>1</sub> y <sup>1</sup><br>(4) | P2G13                                | 新开岭     | 橄榄玄武安山岩  | 57.12            | 0.75             | 14.56                          | 3.35                           | 2.85 | 0.08 | 6.48 | 5.24 | 4.00              | 2.40             | 0.44                          | 2.08   | 99.35  |
|                                      | P2G23                                | 新开岭     | 橄榄玄武安山岩  | 52.83            | 1.18             | 14.59                          | 3.61                           | 4.10 | 0.11 | 8.66 | 6.13 | 3.64              | 2.04             | 0.60                          | 1.92   | 99.41  |
|                                      | P2G24                                | 新开岭     | 玄武安山岩    | 61.68            | 0.88             | 14.78                          | 3.99                           | 0.73 | 0.07 | 3.98 | 5.39 | 3.28              | 1.94             | 0.31                          | 2.48   | 99.51  |
|                                      | P2G36                                | 新开岭     | 橄榄玄武安山岩  | 59.35            | 0.71             | 13.88                          | 5.69                           | 0.35 | 0.05 | 4.04 | 4.58 | 4.88              | 3.50             | 0.22                          | 2.07   | 99.32  |
|                                      | P2G37                                | 新开岭     | 玄武安山岩    | 56.19            | 0.75             | 16.51                          | 4.15                           | 1.81 | 0.07 | 6.05 | 5.32 | 4.00              | 2.48             | 0.41                          | 2.11   | 99.85  |
|                                      | P2G37-2                              | 新开岭     | 玄武安山岩    | 57.46            | 0.76             | 15.08                          | 3.90                           | 2.12 | 0.12 | 5.52 | 5.76 | 4.24              | 2.50             | 0.47                          | 1.94   | 99.87  |
|                                      | P2G40                                | 新开岭     | 玄武安山岩    | 57.97            | 0.89             | 17.41                          | 3.70                           | 0.70 | 0.22 | 3.40 | 5.02 | 4.34              | 3.40             | 0.75                          | 2.18   | 99.98  |
|                                      | P3G49                                | 后燕子沟    | 杏仁状玄武安山岩 | 58.83            | 0.75             | 15.18                          | 3.06                           | 4.28 | 0.10 | 4.94 | 4.80 | 3.34              | 2.50             | 0.25                          | 1.59   | 99.62  |
|                                      | P17G60                               | 地藏寺     | 橄榄玄武安山岩  | 51.43            | 1.37             | 16.06                          | 6.93                           | 1.32 | 0.20 | 5.64 | 6.88 | 3.65              | 2.58             | 0.95                          | 2.43   | 99.44  |
|                                      | P17G70                               | 地藏寺     | 辉石安山岩    | 61.48            | 0.67             | 15.93                          | 3.29                           | 1.47 | 0.08 | 2.92 | 3.72 | 4.55              | 3.50             | 0.43                          | 1.78   | 99.82  |
|                                      | P17G72                               | 地藏寺     | 安山岩      | 57.11            | 0.91             | 16.28                          | 4.73                           | 1.39 | 0.12 | 4.45 | 4.68 | 4.39              | 3.01             | 0.47                          | 2.54   | 100.08 |
|                                      | P17G79                               | 地藏寺     | 玄武安山岩    | 52.09            | 1.33             | 15.52                          | 7.97                           | 1.31 | 0.12 | 5.64 | 6.47 | 3.76              | 2.61             | 0.55                          | 2.54   | 99.91  |
|                                      | P21G0                                | 腰马山沟    | 玄武岩      | 47.22            | 2.23             | 16.50                          | 6.66                           | 1.50 | 0.04 | 6.16 | 6.15 | 3.35              | 2.80             | 1.26                          | 5.23   | 99.10  |
|                                      | P31G11                               | 下土来沟    | 玄武安山岩    | 53.63            | 1.23             | 15.37                          | 3.34                           | 4.58 | 0.08 | 6.75 | 6.20 | 4.06              | 2.40             | 0.42                          | 1.87   | 99.93  |
|                                      | P31G23                               | 下土来沟    | 玄武安山岩    | 61.20            | 0.73             | 15.23                          | 3.62                           | 1.98 | 0.09 | 3.96 | 4.13 | 4.16              | 3.30             | 0.25                          | 1.42   | 100.07 |
|                                      | P31G27                               | 下土来沟    | 安山岩      | 57.99            | 0.79             | 15.95                          | 5.08                           | 0.49 | 0.08 | 4.40 | 3.86 | 3.43              | 3.37             | 0.31                          | 3.84   | 99.59  |
|                                      | P31G28                               | 下土来沟    | 玄武安山岩    | 61.33            | 0.71             | 15.53                          | 4.21                           | 1.46 | 0.12 | 2.28 | 3.65 | 4.04              | 4.04             | 0.23                          | 2.13   | 99.73  |
|                                      | K <sub>1</sub> y <sup>1</sup><br>(3) | P2G15   | 新开岭      | 玄武安山岩            | 61.27            | 0.71                           | 14.51                          | 2.85 | 1.53 | 0.02 | 4.83 | 4.73              | 3.30             | 3.08                          | 0.50   | 2.51   |
| P2G20                                |                                      | 新开岭     | 玄武安山岩    | 56.19            | 0.68             | 15.94                          | 4.35                           | 1.11 | 0.07 | 5.89 | 5.02 | 4.76              | 2.60             | 0.39                          | 2.78   | 99.78  |
| P3G20                                |                                      | 后燕子沟    | 碧玄岩      | 43.66            | 2.22             | 10.91                          | 9.29                           | 3.13 | 0.12 | 9.72 | 6.79 | 2.96              | 3.60             | 2.42                          | 4.51   | 99.33  |
| P3G21                                |                                      | 后燕子沟    | 杏仁状碧玄岩   | 47.55            | 1.80             | 11.64                          | 10.52                          | 0.35 | 0.10 | 7.91 | 6.43 | 1.70              | 4.50             | 2.18                          | 4.39   | 99.07  |
| P3G27                                |                                      | 后燕子沟    | 杏仁状碧玄岩   | 45.09            | 2.10             | 13.42                          | 10.29                          | 2.23 | 0.36 | 6.48 | 7.39 | 3.00              | 3.32             | 2.21                          | 3.47   | 99.36  |
| P3G37                                |                                      | 后燕子沟    | 杏仁状碧玄岩   | 49.01            | 2.02             | 13.95                          | 10.89                          | 0.90 | 0.10 | 4.78 | 6.06 | 3.60              | 3.52             | 1.57                          | 3.09   | 99.49  |
| P3G44                                |                                      | 后燕子沟    | 杏仁状玄武安山岩 | 52.41            | 1.31             | 16.72                          | 7.54                           | 1.53 | 0.10 | 5.36 | 5.91 | 3.10              | 1.60             | 0.46                          | 3.27   | 99.31  |
| P17G5                                |                                      | 地藏寺     | 橄榄玄武岩    | 50.55            | 1.12             | 15.93                          | 4.59                           | 3.13 | 0.17 | 7.32 | 7.50 | 3.28              | 1.54             | 0.33                          | 4.07   | 99.53  |
| P17G12-1                             |                                      | 地藏寺     | 橄榄玄武岩    | 50.20            | 1.70             | 14.50                          | 4.46                           | 3.55 | 0.16 | 8.41 | 6.47 | 3.07              | 2.30             | 0.85                          | 3.76   | 99.43  |
| P17G13                               |                                      | 地藏寺     | 玄武安山岩    | 52.08            | 1.48             | 15.20                          | 8.28                           | 1.13 | 0.12 | 5.14 | 5.58 | 3.57              | 3.62             | 1.07                          | 2.45   | 99.72  |
| P17G14                               |                                      | 地藏寺     | 橄榄玄武岩    | 50.16            | 1.06             | 16.94                          | 5.79                           | 2.84 | 0.15 | 6.48 | 8.19 | 3.23              | 0.80             | 0.23                          | 4.38   | 100.25 |
| P17G28                               |                                      | 地藏寺     | 橄榄玄武安山岩  | 51.89            | 1.26             | 16.15                          | 4.48                           | 3.51 | 0.14 | 5.89 | 7.16 | 3.70              | 1.90             | 0.47                          | 3.55   | 100.10 |
| P17G31                               |                                      | 地藏寺     | 橄榄玄武安山岩  | 53.74            | 1.11             | 16.54                          | 6.21                           | 1.53 | 0.14 | 5.54 | 6.47 | 3.70              | 2.00             | 0.36                          | 2.95   | 100.29 |
| P17G34                               |                                      | 地藏寺     | 橄榄玄武安山岩  | 52.91            | 1.17             | 15.69                          | 4.95                           | 3.72 | 0.18 | 6.63 | 6.95 | 3.55              | 1.97             | 0.41                          | 2.10   | 100.23 |
| P17G36                               |                                      | 地藏寺     | 橄榄玄武安山岩  | 51.53            | 1.46             | 15.48                          | 4.49                           | 4.63 | 0.16 | 6.93 | 7.02 | 3.92              | 2.00             | 0.57                          | 1.23   | 99.42  |
| P17G43                               |                                      | 地藏寺     | 橄榄玄武安山岩  | 57.35            | 0.91             | 15.86                          | 5.60                           | 1.74 | 0.14 | 3.91 | 5.85 | 3.70              | 2.73             | 0.36                          | 2.14   | 100.29 |
| P17G48                               |                                      | 地藏寺     | 玄武安山岩    | 56.02            | 1.15             | 16.28                          | 7.07                           | 0.90 | 0.10 | 3.07 | 4.54 | 4.34              | 3.83             | 0.89                          | 1.79   | 99.98  |
| P31G9                                |                                      | 下土来沟    | 橄榄玄武安山岩  | 54.41            | 1.08             | 15.82                          | 6.57                           | 0.83 | 0.17 | 5.00 | 5.58 | 4.01              | 2.52             | 0.45                          | 3.21   | 99.65  |
| P31G15                               | 下土来沟                                 | 橄榄玄武安山岩 | 54.84    | 1.09             | 16.56            | 4.57                           | 1.32                           | 0.08 | 5.69 | 5.71 | 4.53 | 2.63              | 0.54             | 2.60                          | 100.16 |        |
| K <sub>1</sub> y <sup>1</sup><br>(2) | P2G11-2                              | 新开岭     | 橄榄玄武安山岩  | 53.65            | 1.14             | 15.71                          | 5.92                           | 1.18 | 0.22 | 6.64 | 6.28 | 3.44              | 2.08             | 0.34                          | 2.82   | 99.42  |
|                                      | P3G4                                 | 后燕子沟    | 辉石玄武安山岩  | 53.62            | 1.12             | 16.36                          | 6.91                           | 1.25 | 0.16 | 3.93 | 6.94 | 4.90              | 1.96             | 0.17                          | 1.94   | 99.26  |
|                                      | P3G8                                 | 后燕子沟    | 橄榄玄武安山岩  | 53.35            | 0.79             | 14.61                          | 4.28                           | 2.96 | 0.12 | 8.18 | 6.72 | 3.76              | 1.80             | 0.55                          | 2.21   | 99.33  |
|                                      | P3G10                                | 后燕子沟    | 橄榄玄武安山岩  | 53.45            | 0.85             | 14.77                          | 4.54                           | 3.06 | 0.11 | 8.02 | 6.72 | 3.70              | 1.76             | 0.56                          | 2.28   | 99.82  |
|                                      | P31G3                                | 下土来沟    | 橄榄玄武安山岩  | 53.39            | 1.92             | 14.22                          | 3.22                           | 4.49 | 0.14 | 6.04 | 6.75 | 3.28              | 1.99             | 0.83                          | 3.22   | 99.49  |
| K <sub>1</sub> y <sup>1</sup><br>(1) | P2G4                                 | 新开岭     | 橄榄玄武岩    | 51.43            | 0.87             | 13.85                          | 5.09                           | 2.87 | 0.15 | 7.95 | 8.52 | 2.96              | 2.42             | 0.77                          | 2.67   | 99.55  |
|                                      | P2G5                                 | 新开岭     | 玄武安山岩    | 58.64            | 0.92             | 15.42                          | 4.88                           | 0.70 | 0.03 | 6.40 | 3.87 | 3.14              | 2.40             | 0.08                          | 3.46   | 99.94  |
|                                      | P2G9                                 | 新开岭     | 玄武安山岩    | 60.27            | 0.84             | 14.90                          | 3.94                           | 1.16 | 0.05 | 4.95 | 5.14 | 2.77              | 2.38             | 0.46                          | 3.02   | 99.88  |

注:重量法(GR)(SiO<sub>2</sub>、LOI)、原子吸收法(AAS)(K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、MnO)、容量法(VOL)(CaO、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)和比色法(COL)(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、TiO<sub>2</sub>);均由沈阳地质矿产研究所测定。

表2 义县旋回火山岩化学成分含量(去烧失量归一)(%)及参数值  
Table 2 Major element contents (%) (normalized excluding the ignition loss)  
and parameters of the Yixian volcanic cycle rocks

| 时代                                   | 样号    | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Σ    | A    | F     | ?     | A.R   | FM    | FL    | SI    |
|--------------------------------------|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| K <sub>1</sub> J <sub>4</sub>        | P7G5  | 69.05            | 0.82             | 13.02                          | 3.25                           | 0.58 | 0.04 | 2.75  | 1.67  | 0.29              | 8.43             | 0.1                           | 100  | 8.72 | 3.50  | 2.92  | 3.92  | 58.21 | 83.93 | 18.37 |
|                                      | P7G6  | 70.32            | 0.53             | 15.46                          | 1.72                           | 0.67 | 0.04 | 1.68  | 1.36  | 3.63              | 4.38             | 0.2                           | 100  | 8.01 | 2.22  | 2.35  | 2.82  | 58.72 | 85.49 | 14.11 |
|                                      | P7G8  | 71.55            | 0.51             | 15.43                          | 0.81                           | 1.17 | 0.02 | 0.38  | 1.96  | 3.77              | 4.3              | 0.1                           | 100  | 8.07 | 1.90  | 2.28  | 2.73  | 83.90 | 80.46 | 3.67  |
|                                      | P7G1  | 72.49            | 0.46             | 13.28                          | 2.54                           | 0.17 | 0.11 | 1.09  | 1.66  | 2.46              | 5.61             | 0.13                          | 100  | 8.07 | 2.45  | 2.21  | 3.35  | 71.32 | 82.94 | 9.39  |
|                                      | P7G1  | 68.05            | 0.55             | 15.17                          | 2.83                           | 0.85 | 0.04 | 1.85  | 2.41  | 3.87              | 4.2              | 0.18                          | 100  | 8.07 | 3.39  | 2.60  | 2.70  | 66.55 | 77.00 | 13.89 |
|                                      | P7G1  | 70               | 0.45             | 13.31                          | 2.6                            | 1.33 | 0.02 | 3.3   | 1.83  | 2.07              | 4.92             | 0.19                          | 100  | 6.99 | 3.67  | 1.81  | 2.72  | 54.36 | 79.25 | 23.64 |
| K <sub>2</sub> J <sub>3</sub>        | P2G4  | 54.73            | 0.97             | 16.2                           | 3.86                           | 4.43 | 0.12 | 6.99  | 7.35  | 3.29              | 1.68             | 0.38                          | 100  | 4.97 | 7.90  | 2.11  | 1.53  | 54.25 | 40.34 | 35.20 |
|                                      | P6G1  | 55.48            | 0.95             | 16.05                          | 1.57                           | 6.81 | 0.15 | 7.33  | 6.54  | 3.67              | 1.28             | 0.18                          | 100  | 4.95 | 8.22  | 1.96  | 1.56  | 53.34 | 43.08 | 35.75 |
|                                      | P21G  | 54.68            | 1.28             | 15.48                          | 2.33                           | 6.09 | 0.14 | 6.25  | 7.49  | 4.00              | 1.85             | 0.4                           | 100  | 5.85 | 8.18  | 2.93  | 1.68  | 57.40 | 43.85 | 30.81 |
|                                      | P24G  | 57.55            | 1.57             | 19.09                          | 4.10                           | 2.14 | 0.06 | 1.72  | 5.08  | 4.72              | 3.58             | 0.40                          | 100  | 8.30 | 5.83  | 4.73  | 2.05  | 78.39 | 62.50 | 10.85 |
|                                      | P7G2  | 61.08            | 0.95             | 16.66                          | 4.47                           | 1.61 | 0.13 | 3.07  | 3.74  | 3.92              | 4.00             | 0.38                          | 100  | 7.92 | 5.63  | 3.47  | 2.27  | 66.45 | 67.92 | 18.47 |
|                                      | P7G3  | 61.71            | 0.84             | 15.38                          | 6.51                           | 0.52 | 0.06 | 3.55  | 2.03  | 0.49              | 8.61             | 0.32                          | 100  | 9.1  | 6.37  | 4.43  | 3.19  | 66.45 | 81.76 | 18.66 |
| K <sub>3</sub> J <sub>2</sub>        | 1274  | 61.02            | 0.67             | 15.64                          | 2.43                           | 1.6  | 0.08 | 2.45  | 7.98  | 4.34              | 2.98             | 0.8                           | 100  | 7.32 | 3.78  | 2.97  | 1.90  | 62.19 | 47.84 | 18.08 |
|                                      | 1274  | 57.22            | 0.8              | 16.39                          | 4.01                           | 0.4  | 0.1  | 3.9   | 8.74  | 4.47              | 3.37             | 0.61                          | 100  | 7.84 | 4.00  | 4.32  | 1.91  | 53.07 | 47.29 | 24.77 |
|                                      | P9G1  | 76.1             | 0.34             | 12.75                          | 1.45                           | 0.2  | 0.02 | 1.34  | 1.39  | 1.13              | 5.22             | 0.07                          | 100  | 6.35 | 1.50  | 1.22  | 2.63  | 55.18 | 82.04 | 14.58 |
|                                      | P9G1  | 76.84            | 0.26             | 12.67                          | 1.71                           | 0.18 | 0.02 | 1.26  | 1.93  | 0.99              | 4.11             | 0.03                          | 100  | 5.1  | 1.72  | 0.77  | 2.07  | 60.00 | 72.55 | 15.60 |
|                                      | P21G  | 54.53            | 1.47             | 16.66                          | 6.81                           | 2.03 | 0.06 | 4.96  | 4.84  | 4.76              | 3.19             | 0.69                          | 100  | 7.95 | 8.15  | 5.48  | 2.17  | 64.06 | 62.16 | 23.55 |
|                                      | P23G  | 49.7             | 1.46             | 17.53                          | 8.78                           | 1.78 | 0.1  | 2.46  | 12.11 | 2.76              | 2.7              | 0.62                          | 100  | 5.46 | 9.67  | 4.45  | 1.45  | 81.11 | 31.08 | 13.98 |
| K <sub>4</sub> J <sub>1</sub><br>(4) | P2G1  | 58.72            | 0.77             | 14.97                          | 3.44                           | 2.93 | 0.08 | 6.66  | 5.39  | 4.11              | 2.47             | 0.45                          | 100  | 6.58 | 6.02  | 2.75  | 1.96  | 48.89 | 54.97 | 34.57 |
|                                      | P2G2  | 54.19            | 1.21             | 14.97                          | 3.7                            | 4.21 | 0.11 | 8.88  | 6.29  | 3.73              | 2.09             | 0.62                          | 100  | 5.82 | 7.54  | 3.03  | 1.75  | 47.11 | 48.06 | 39.93 |
|                                      | P2G2  | 63.57            | 0.91             | 15.23                          | 4.11                           | 0.75 | 0.07 | 4.1   | 5.56  | 3.38              | 2                | 0.32                          | 100  | 5.38 | 4.44  | 1.41  | 1.70  | 54.24 | 49.18 | 29.44 |
|                                      | P2G3  | 61.03            | 0.73             | 14.27                          | 5.85                           | 0.36 | 0.05 | 4.15  | 4.71  | 5.02              | 3.6              | 0.23                          | 100  | 8.62 | 5.62  | 4.12  | 2.66  | 59.94 | 64.67 | 22.57 |
|                                      | P2G3  | 57.49            | 0.77             | 16.89                          | 4.25                           | 1.85 | 0.07 | 6.19  | 5.44  | 4.09              | 2.54             | 0.42                          | 100  | 6.63 | 5.67  | 3.03  | 1.84  | 49.63 | 54.93 | 33.48 |
|                                      | P2G3  | 58.67            | 0.78             | 15.4                           | 3.98                           | 2.16 | 0.12 | 5.64  | 5.88  | 4.33              | 2.55             | 0.48                          | 100  | 6.88 | 5.74  | 3.02  | 1.96  | 52.12 | 53.92 | 30.89 |
|                                      | P2G4  | 59.27            | 0.91             | 17.8                           | 3.78                           | 0.72 | 0.22 | 3.48  | 5.13  | 4.44              | 3.48             | 0.77                          | 100  | 7.92 | 4.12  | 3.86  | 2.06  | 56.39 | 60.69 | 22.43 |
|                                      | P3G4  | 60.01            | 0.77             | 15.49                          | 3.12                           | 4.37 | 0.1  | 5.04  | 4.9   | 3.41              | 2.55             | 0.26                          | 100  | 5.96 | 7.17  | 2.09  | 1.83  | 59.78 | 54.88 | 27.73 |
|                                      | P17G  | 53.02            | 1.41             | 16.55                          | 7.14                           | 1.36 | 0.21 | 5.81  | 7.09  | 3.76              | 2.66             | 0.98                          | 100  | 6.42 | 7.78  | 4.11  | 1.75  | 59.40 | 47.52 | 29.04 |
|                                      | P17G  | 62.71            | 0.68             | 16.25                          | 3.36                           | 1.5  | 0.08 | 2.98  | 3.79  | 4.64              | 3.57             | 0.44                          | 100  | 8.21 | 4.52  | 3.42  | 2.39  | 61.99 | 68.42 | 18.97 |
|                                      | P17G  | 58.55            | 0.93             | 16.69                          | 4.85                           | 1.43 | 0.12 | 4.56  | 4.8   | 4.5               | 3.09             | 0.48                          | 100  | 7.59 | 5.79  | 3.70  | 2.09  | 57.93 | 61.26 | 25.42 |
|                                      | P17G  | 53.5             | 1.37             | 15.94                          | 8.19                           | 1.35 | 0.12 | 5.79  | 6.64  | 3.86              | 2.68             | 0.56                          | 100  | 6.54 | 8.71  | 4.07  | 1.82  | 62.23 | 49.62 | 27.52 |
|                                      | P21G  | 50.3             | 2.38             | 17.58                          | 7.09                           | 1.6  | 0.05 | 6.56  | 6.55  | 3.57              | 2.98             | 1.34                          | 100  | 6.55 | 7.97  | 5.88  | 1.75  | 56.98 | 50.01 | 31.11 |
|                                      | P31G  | 54.69            | 1.25             | 15.67                          | 3.41                           | 4.67 | 0.08 | 6.88  | 6.32  | 4.14              | 2.45             | 0.43                          | 100  | 6.59 | 7.74  | 3.71  | 1.86  | 54.01 | 51.05 | 32.44 |
|                                      | P31G  | 62.04            | 0.74             | 15.44                          | 3.67                           | 2.01 | 0.09 | 4.01  | 4.19  | 4.22              | 3.35             | 0.25                          | 100  | 7.57 | 5.31  | 3.01  | 2.26  | 58.62 | 64.37 | 23.74 |
| P31G                                 | 60.57 | 0.83             | 16.66            | 5.31                           | 0.51                           | 0.08 | 4.6  | 4.03  | 3.58  | 3.52              | 0.32             | 100                           | 7.1  | 5.28 | 2.87  | 2.04  | 55.85 | 63.79 | 27.08 |       |
| P31G                                 | 62.84 | 0.73             | 15.91            | 4.31                           | 1.5                            | 0.12 | 2.34 | 3.74  | 4.14  | 4.14              | 0.24             | 100                           | 8.28 | 5.37 | 3.46  | 2.46  | 71.29 | 68.89 | 14.63 |       |
| K <sub>5</sub> J <sub>1</sub><br>(3) | P2G1  | 62.95            | 0.73             | 14.91                          | 2.93                           | 1.57 | 0.02 | 4.96  | 4.86  | 3.39              | 3.16             | 0.51                          | 100  | 6.55 | 4.20  | 2.15  | 1.99  | 47.57 | 57.41 | 31.56 |
|                                      | P2G2  | 57.93            | 0.7              | 16.43                          | 4.48                           | 1.14 | 0.07 | 6.07  | 5.18  | 4.91              | 2.68             | 0.4                           | 100  | 7.59 | 5.17  | 3.86  | 2.08  | 48.08 | 59.44 | 32.24 |
|                                      | P3G2  | 46.05            | 2.34             | 11.51                          | 9.8                            | 3.3  | 0.13 | 10.25 | 7.16  | 3.12              | 3.8              | 2.55                          | 100  | 6.92 | 12.11 | 15.70 | 2.18  | 56.10 | 49.15 | 35.01 |
|                                      | P3G2  | 50.22            | 1.9              | 12.29                          | 11.11                          | 0.37 | 0.11 | 8.35  | 6.79  | 1.8               | 4.75             | 2.3                           | 100  | 6.55 | 10.36 | 5.94  | 2.05  | 57.89 | 49.10 | 33.06 |
|                                      | P3G2  | 47.02            | 2.19             | 14                             | 10.73                          | 2.33 | 0.38 | 6.76  | 7.71  | 3.13              | 3.46             | 2.3                           | 100  | 6.59 | 11.98 | 10.80 | 1.87  | 65.89 | 46.08 | 26.69 |
|                                      | P3G3  | 50.84            | 2.1              | 14.47                          | 11.3                           | 0.93 | 0.1  | 4.96  | 6.29  | 3.73              | 3.65             | 1.63                          | 100  | 7.38 | 11.09 | 6.95  | 2.10  | 71.15 | 53.99 | 21.17 |
|                                      | P3G4  | 54.57            | 1.36             | 17.41                          | 7.85                           | 1.59 | 0.1  | 5.58  | 6.15  | 3.23              | 1.67             | 0.48                          | 100  | 4.9  | 8.65  | 2.08  | 1.53  | 62.85 | 44.34 | 29.17 |
|                                      | P17G  | 52.95            | 1.17             | 16.69                          | 4.81                           | 3.28 | 0.18 | 7.67  | 7.86  | 3.44              | 1.61             | 0.35                          | 100  | 5.05 | 7.60  | 2.56  | 1.52  | 51.33 | 39.12 | 37.74 |
|                                      | P17G  | 52.47            | 1.78             | 15.16                          | 4.66                           | 3.71 | 0.17 | 8.79  | 6.76  | 3.21              | 2.4              | 0.89                          | 100  | 5.61 | 7.90  | 3.32  | 1.69  | 48.78 | 45.35 | 39.42 |
|                                      | P17G  | 53.54            | 1.52             | 15.63                          | 8.51                           | 1.16 | 0.12 | 5.28  | 5.74  | 3.67              | 3.72             | 1.1                           | 100  | 7.39 | 8.81  | 5.18  | 2.06  | 64.68 | 56.28 | 24.58 |
|                                      | P17G  | 52.32            | 1.11             | 17.67                          | 6.04                           | 2.96 | 0.16 | 6.76  | 8.54  | 3.37              | 0.83             | 0.24                          | 100  | 4.2  | 8.39  | 1.89  | 1.38  | 57.11 | 32.97 | 34.94 |
|                                      | P17G  | 53.74            | 1.31             | 16.73                          | 4.64                           | 3.64 | 0.15 | 6.1   | 7.42  | 3.83              | 1.97             | 0.49                          | 100  | 5.8  | 7.81  | 3.13  | 1.63  | 57.58 | 43.87 | 30.95 |
|                                      | P17G  | 55.21            | 1.14             | 16.99                          | 6.38                           | 1.57 | 0.14 | 5.69  | 6.65  | 3.8               | 2.05             | 0.37                          | 100  | 5.85 | 7.31  | 2.80  | 1.66  | 58.28 | 46.80 | 30.19 |
|                                      | P17G  | 53.92            | 1.19             | 15.99                          | 5.04                           | 3.79 | 0.18 | 6.76  | 7.08  | 3.62              | 2.01             | 0.42                          | 100  | 5.63 | 8.32  | 2.90  | 1.65  | 56.64 | 44.30 | 32.64 |
|                                      | P17G  | 52.48            | 1.49             | 15.77                          | 4.57                           | 4.72 | 0.16 | 7.06  | 7.15  | 3.99              | 2.04             | 0.58                          | 100  | 6.03 | 8.83  | 3.84  | 1.71  | 56.82 | 45.75 | 32.21 |
| P17G                                 | 58.43 | 0.93             | 16.16            | 5.71                           | 1.77                           | 0.14 | 3.98 | 5.96  | 3.77  | 2.78              | 0.37             | 100                           | 6.55 | 6.90 | 2.78  | 1.84  | 65.27 | 52.36 | 22.83 |       |
| P17G                                 | 57.05 | 1.17             | 16.58            | 7.2                            | 0.92                           | 0.1  | 3.13 | 4.62  | 4.42  | 3.9               | 0.91             | 100                           | 8.32 | 7.39 | 4.93  | 2.29  | 72.18 | 64.30 | 16.61 |       |
| P31G                                 | 56.42 | 1.12             | 16.4             | 6.81                           | 0.86                           | 0.18 | 5.18 | 5.79  | 4.16  | 2.61              | 0.47             | 100                           | 6.77 | 6.98 | 3.42  | 1.88  | 59.69 | 53.90 | 27.36 |       |
| P31G                                 | 56.21 | 1.12             | 16.97            | 4.68                           | 1.35                           | 0.08 | 5.83 | 5.85  | 4.64  | 2.7               | 0.55             | 100                           | 7.34 | 5.56 | 4.08  | 1.95  | 50.84 | 55.65 | 31.13 |       |
| K <sub>6</sub> J <sub>1</sub><br>(2) | P2G1  | 55.54            | 1.18             | 16.26                          | 6.13                           | 1.22 | 0.23 | 6.87  | 6.5   | 3.56              | 2.15             | 0.35                          | 100  | 5.71 | 6.73  | 2.60  | 1.67  | 51.69 | 46.76 | 35.58 |
|                                      | P3G4  | 55.1             | 1.15             | 16.81                          | 7.1                            | 1.28 | 0.16 | 4.04  | 7.13  | 5.03              | 2.01             | 0.17                          | 100  | 7.04 | 7.66  | 4.10  | 1.83  | 67.47 | 49.68 | 21.55 |
|                                      | P3G8  | 54.93            | 0.81             | 15.04                          | 4.41                           | 3.05 |      |       |       |                   |                  |                               |      |      |       |       |       |       |       |       |

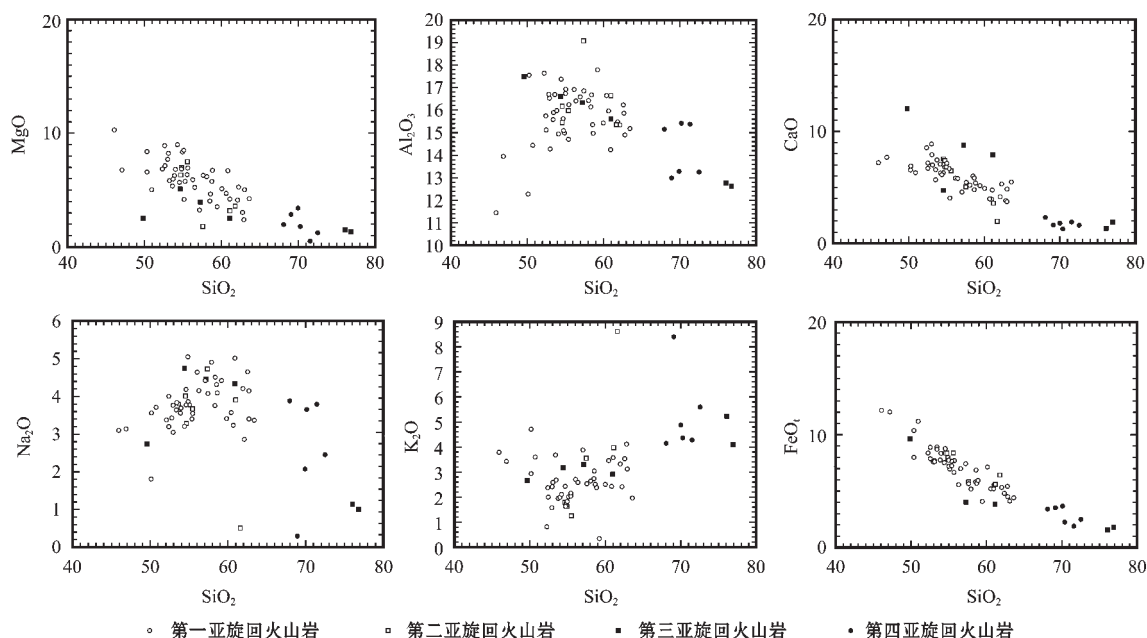


图 4 义县旋回火山岩主要氧化物与 SiO<sub>2</sub> 变异图  
1~4 分别代表第一至第四亚旋回火山岩

Fig. 4 SiO<sub>2</sub> variation diagram of the Yixian volcanic cycle rocks  
1-4 represent

关。据 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、CaO 间关系计算,义县旋回火山岩多数为正常系列,少数为铝过饱和系列。MgO 含量介于 0.38%~10.25%之间,变化较大。基性、中基性和中性火山岩与中国同类火山岩<sup>[9]</sup>对比,含量偏高。火山岩 TiO<sub>2</sub> 含量较高介于 0.26%~2.38%之间,变化较大。

去掉烧失量后,其余所有分析数据重新换算成 100%,在 TAS 图解上,玄武岩类、玄武安山岩类、安山岩类和英安岩类的绝大部分样品都投影于相应的碱度较高的碧玄岩、玄武粗安岩、粗安岩和粗面英安岩区,反映了义县旋回火山岩较高碱度的总体特征。在硅—碱关系图解上,义县旋回火山岩绝大部分样品投点落于亚碱性系列区内,只有少量样品投点落于碱性系列区内。依据火成岩系列划分方案的含义,此图上的亚碱性系列包括钙碱性系列和拉斑玄武岩系列,还需进一步用 AFM 图解(A=K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O,F=0.9Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO,M=MgO)来区别。在 AFM 图解中,义县旋回火山岩几乎所有样品投点都落于钙碱性系列区内,样品投点靠近 AF 线,显示较明显的富碱趋势。在 SiO<sub>2</sub>—K<sub>2</sub>O 关系图上,义县旋回火山岩的大部分样品投点落于高钾钙碱性岩系范围,少部分落于钾玄岩系范围,显示富钾特征。

### 3 结论

通过北票—义县地区详细的野外地质调查工作,认为义县组分为 4 个岩性段,一段底部的义县组底砾岩与下伏土城子组角度不整合接触,二段湖相沉积层中含珍稀热河生物群化石,沉积过程中伴随火山活动,形成了典型的湖相枕状熔

岩。义县火山旋回火山作用强烈,有较复杂的火山结构及多次火山活动,自下而上可分为 4 个亚旋回。各亚旋回火山岩间喷发不整合接触,每个亚旋回火山作用以河湖相粗碎屑沉积相隔。在空间分布上,从北票市四合屯—新开岭一带,向南东至义县的宋八户—枣刺山一带,分别发育第一至第四亚旋回火山岩,显示了由北西向南东火山作用由老到新的火山活动迁移性。从第一亚旋回至第四亚旋回,组成了完整的基性—中基性—中性—中酸性—酸性火山岩岩石组合。第一亚旋回火山岩以基性—中基性为特征,从早期到晚期,岩石的碱性显示增高趋势,在火山机构附近岩石较远离火山机构的岩石碱性更强。第二亚旋回火山岩早期以中基性偏碱性为特征,到晚期形成的酸性火山碎屑岩碱质含量也较高。第三亚旋回火山岩早期以基性钙碱性为特征,到晚期形成中性火山岩及其火山碎屑岩,碱质含量较高。第四亚旋回火山岩则以偏酸、偏碱为特征。义县旋回火山岩 SiO<sub>2</sub> 含量介于 46.05%~72.49%之间,火山岩系主要为 SiO<sub>2</sub> 过饱和的岩石,有少量 SiO<sub>2</sub> 不饱和及 SiO<sub>2</sub> 过饱和的岩石,有别于碱性玄武岩系列火山岩。义县旋回火山岩总体上碱度较高,岩石富钾,MgO、TiO<sub>2</sub> 含量也较高,暗示火山岩浆来源较深。义县旋回火山岩以亚碱性系列中的高钾钙碱性系列为主,少量钾玄岩系列岩石,其地球化学特征显示大陆板内火山岩的特征<sup>[7]</sup>。

### 参考文献(References):

[1] 曹丛周.辽西地区侏罗纪火山岩特征[J].中国地质科学院沈阳地质



- 矿产研究所所刊,1982,(3):47~54.
- Cao Congzhou. The Characteristics of Jurassic volcanic rocks in western Liaoning province [J]. *Memoirs of Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources*, 1982, (3):47~54. (in Chinese).
- [2] 王国桢. 辽西中生代火山岩岩石化学特征及生成构造环境的分析 [J]. *辽宁区域地质*, 1980, (2):1~12.
- Wang Guozhen. The petrochemistry Characteristics and analysis of its setting for Mesozoic volcanic rocks in western Liaoning Province [J]. *Regional Geology of Liaoning*, 1980, (2):1~12. (in Chinese).
- [3] 张招崇, 李兆鼎, 王富宝, 等. 辽西义县盆地火山岩的基本特征及其成因探讨 [J]. *现代地质*, 1994, 8(4):441~451.
- Zhang Zhaochong, Li Zhaonai, Wang Fubao, et al. Essential Characteristics and discussion on volcanic rocks within Yixian Basin in western Liaoning Province [J]. *Geoscience*, 1994, 8(4):441~451 (in Chinese with English abstract).
- [4] 郭洪中, 张招崇. 辽宁西部中生代火山岩的基本特征 [J]. *岩石矿物学杂志*, 1992, (3):193~204.
- Guo Hongzhong, Zhang Zhaochong. Essential Characteristics of Mesozoic Volcanic Rocks in Western Liaoning Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1992, (3):193~204. (in Chinese with English abstract).
- [5] 陈义贤, 陈文寄, 周新华, 等. 辽西及邻区中生代火山岩—年代学、地球化学和构造背景 [M]. 北京: 地震出版社, 1997.
- Chen Yixian, Chen Wenji, Zhou Xinhua, et al. *Mesozoic Volcanic Rocks in Western Liaoning and Its Adjacent Areas Geochronology, Geochemistry and Geotectonic Setting* [M]. Beijing: Seismic Publishing House, 1997 (in Chinese).
- [6] 李伍平, 李献华, 路凤香, 等. 辽西早白垩世义县组火山岩的地质特征及其构造背景 [J]. *岩石学报*, 2002, 18(2):193~204.
- Li Wuping, Li Xianhua, Lu Fengxiang, et al. Geological characteristics and its setting for volcanic rocks of early Cretaceous Yixian Formation in western Liaoning Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(2):193~204. (in Chinese with English abstract).
- [7] 史卜庆, 吴智平, 周瑶琦, 等. 辽西地区中生代义县组火山活动特征分析 [J]. *高校地质学报*, 1998, 4(4):413~422.
- Shi Boqing, Wu Zhiping, Zhou Yaoqi, et al. Study on volcanic activities of Mesozoic Yixian cycle, western Liaoning [J]. *Geological Journal of China University*, 1998, 4(4):413~422 (in Chinese with English abstract).
- [8] 张立东, 郭胜哲, 张长捷, 等. 辽宁西部义县组湖相枕状熔岩的发现及其意义 [J]. *地球学报*, 2002, (6):491~494.
- Zhang Lidong, Guo Shengzhe, Zhang Changjie, et al. The discovery of pillow lavas in Yixian Formation, western Liaoning [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, (6):491~494 (in Chinese with English abstract).
- [9] 鄢明才, 池清华. 中国东部地壳与岩石的化学组成 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- Yan Mingcai, Chi Qinghua. *The Chemical Compositions of Crust and Rocks in the Eastern part of China* [M]. Beijing: Science Press, 1997 (in Chinese).

## Petrochemistry of volcanic rocks of the Yixian volcanic cycle in the Beipiao–Yixian area, western Liaoning

PEND Yan-dong<sup>1,2</sup>, ZHANG Li-dong<sup>1,2</sup>, ZHANG Chang-jie<sup>2</sup>, GUO Sheng-zhe<sup>2</sup>, XING De-he<sup>2,3</sup>, JIA Bin<sup>1,2</sup>, CHEN Shu-wang<sup>1,2</sup>, DING Qiu-hong<sup>1,2</sup>

(1. Northeastern University, Shenyang 110004, Liaoning, China;

2. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Shenyang 110033, Liaoning, China;

3. Jilin University, Changchun 110061, Jilin, China)

**Abstract:** Mesozoic volcanic rocks are widely distributed in western Liaoning. The Yixian Formation may be subdivided into four members. The Early Cretaceous Yixian volcanic cycle comprises four subcycles. The first subcycle includes 4 small cycles. From early to late, the magma of the Yixian volcanic cycle evolved gradually from basic through intermediate–basic and intermediate to acidic. The rock association of the Yixian Formation is composed of basanite, trachybasalt, olivine basaltic trachyandesite, trachyandesite, trachydacite and rhyolite. From Beipiao to Yixian volcanic activities younged. The diagram of main oxides shows that SiO<sub>2</sub> content is positively correlated with K<sub>2</sub>O and negatively correlated with MgO, CaO and FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The TAS diagram reflects the volcanic rocks generally have a higher alkalinity. The SiO<sub>2</sub>–K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O and AFM diagrams show that volcanic rocks are of the calc–alkaline series in the subalkaline series. On the SiO<sub>2</sub>–K<sub>2</sub>O diagram, most samples fall in the field of the high–K calc–alkaline series and some sample plot in the field of the shoshonite series. Therefore the volcanic rocks of the Yixian volcanic cycle predominantly belong to the high–K calc–alkaline series and partly to the shoshonite series, indicating that they have the basic characteristics of continental intraplate volcanic rocks.

**Key words:** Yixian volcanic cycle; volcanic rocks; petrochemistry; high–K calc–alkaline series