

Characteristics and Tectonic Environment of the Late Triassic Volcanic Rocks in the Baoshan Block of Western Yunnan

Jiafeng Bao, Yunjiang Zhao, Zaibo Sun, Bing Liu, Guixiang Xu, Renhong Deng

Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming Yunnan
Email: baojiafeng@163.com

Received: Apr. 21st, 2020; accepted: May 6th, 2020; published: May 13th, 2020

Abstract

The Late Triassic volcanic rocks (Niuhetang Formation) had bimodal characteristic in the Baoshan block of western Yunnan, which the main lithology was Basalts rich in sodium or potassium, basaltic andesite, rhyolite, a small amount of andesite, and locally accompanied by volcanic breccia lava. The characteristics of volcanic rock were a few rocks containing mineral quartz, individual rock containing olivine porphyry, most of the rocks containing pyroxene. The main elements content was characterized by rich alkali and poor phosphorus. The rare earth elements that had the characteristics of high total, were rich in light rare earth, and the fractionation of the light rare earth to heavy rare earth was significant. The strong incompatible elements of trace elements were enriching generally, the contents of Ni and Cr were low. According to the classification of Cullers and Graf (1984), we believe that the volcanic rocks of this period belonged to intracontinental tectonic environment. It was obviously different from the characteristics of ocean or island arc environment that had lower total rare earth and relatively rich heavy rare earth. At the same time, because the acidic volcanic rock was abundant, and bimodal igneous suite consisted of basic volcanic rocks that belonged to two series of alkaline and lamellar. The bimodal igneous suite had obvious characteristics of continental rift igneous rocks. It showed that the volcanic rocks of this period formed in continental rift environment.

Keywords

Late Triassic, Volcanic Rocks, Bimodal Igneous Suite, Continental Rift, Baoshan Block of Western Yunnan

滇西保山地块晚三叠世火山岩特征及其构造环境

包佳凤, 赵云江, 孙载波, 刘兵, 徐桂香, 邓仁宏

云南省地质调查院, 云南 昆明
Email: baojiafeng@163.com

收稿日期: 2020年4月21日; 录用日期: 2020年5月6日; 发布日期: 2020年5月13日

摘要

滇西保山地块晚三叠世火山岩(牛喝塘组)具双峰式特征, 主要岩性为富钠或钾的玄武岩、玄武安山岩和流纹岩, 少量安山岩, 局部伴有火山角砾熔岩。火山岩的特征是少数岩石含有矿物石英, 个别岩石含橄榄石斑晶, 多数岩石含辉石, 主元素含量以富碱贫磷为特征, 稀土元素具有总量高、轻稀土较富集, 轻重稀土分馏显著的特点; 微量元素强不相容元素普遍富集, Ni、Cr含量低。根据Cullers和Graf (1984)的分类, 该期火山岩属陆内构造环境, 明显不同于大洋或岛弧环境稀土总量较低和相对富重稀土的特征。同时, 由于酸性火山岩大量存在, 以及属于碱性和拉斑两个系列的基性火山岩组成的双峰式火成岩套, 具有明显的大陆裂谷火成岩的特征, 表明该期火山岩形成于大陆裂谷环境。

关键词

晚三叠世, 火山岩, 双峰式火成岩套, 大陆裂谷, 滇西保山地块

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

通常认为双峰式火山岩形成于大陆裂谷环境。近年来的研究发现, 双峰式火山岩还可以出现在如洋岛、大陆拉张减薄、造山后拉张、弧后拉张、洋内岛弧和成熟岛弧等不同的构造环境中, 且不同构造环境下的玄武岩具有不同的地球化学特征[1] [2] [3]。巩满福(1990)通过对保山(地块)晚石炭世火山岩地质、地球化学特征的综合分析, 初步确定其产出的构造岩浆环境为大陆板内环境, 而不是岛弧、山弧或大洋环境[4]。最新的研究资料(温利刚等, 2017)总结了云南主要的(7个阶段)双峰式火山岩: ① 滇中地区元古代双峰式火山岩; ② 扬子地台西缘早寒武世玄武岩和凝灰岩等火山喷发记录; ③ 滇西普洱大平掌铜多金属矿区中-晚志留世大四子组($S_{2,3d}$)细碧岩-石英角斑岩建造; ④ 滇西北德钦羊拉中-晚泥盆世里农组($D_{2,3l}$)碎屑岩夹双峰式火山岩+碳酸盐岩; ⑤ 金沙江造山带早三叠世攀天阁组(T_{1p})流纹岩+崔依比组(T_{1c})玄武岩(细碧岩或蚀变玄武岩)组成的双峰式火山岩, 滇西洱源岩群双峰式火山岩; ⑥ 澜沧江造山带中南段中-晚三叠世忙怀组(T_{2m})流纹岩、流纹英安岩、流纹质火山碎屑岩、少量玄武岩和小定西组(T_{3xd})玄武质火山碎屑岩以及早侏罗世芒汇河组(J_{1mh})玄武岩、流纹质火山碎屑岩组成的双峰式火山岩; ⑦ 滇西古近纪剑川组(E_2j)碱性玄武岩-粗面质火山角砾岩组合等[3]。显然, 保山地块晚三叠世火山岩的研究十分重要, 必需加强, 从而为研究三江造山带保山微陆块地质构造背景及地质演化提供重要依据。

关于滇西保山地块中生代的构造属性, 长期以来, 传统的观点认为保山地块三叠纪为稳定沉积, 尽管在其中发现了钙质浊积岩[5] [6] [7] [8] [9] (1:5万勐永等幅区域地质调查成果认为是深水沉积[7])、双峰式火山岩、碱性花岗岩, 但都把这些非常重要的地质现象作为没有成因联系的独立的、局部的、分散的现象来分析。究其原因主要是对该地区三叠纪火山岩缺乏系统的研究。本文将在详细研究保山地块镇康

火山岩带晚三叠世牛喝塘组双峰式火山岩的基础上, 进一步论证其大陆板内裂谷的构造环境特征。

2. 区域地质背景

保山地块呈近南北走向, 夹持于腾冲 - 潞西地块和耿马被动大陆边缘之间。该地区的海相沉积主要在晚三叠世, 但传统的观点认为是陆相环境[10] [11]。牛喝塘组火山岩以喷发不整合覆盖于上三叠统大水塘组钙质浊积岩、下 - 中三叠统喜鹊林组白云岩或中 - 上二叠统沙子坡组泥晶灰岩之上, 并被上三叠统南梳坝组或湾甸坝组假整合所覆盖。

保山地块晚三叠世火山岩主要是海相环境下的产物, 在牛喝塘、四角田一带火山岩出露比较完整(图 1)。以镇康火山岩带为代表的火山岩组合为: 牛喝塘组基性 + 酸性 + 基性双峰式火山岩及同期碱性花岗岩类侵入体(以木厂岩体为例), 火山岩厚近 1400 m。牛喝塘组为海相双模式火山岩建造, 杏仁状、安山质玄武岩与流纹岩互层, 夹少量的火山角砾熔岩(图 2)。火山岩浆喷发顺序为基性 → 酸性 → 基性 → 中、基性, 由下至上构成三个喷发旋回, 总体上构成两个正向的岩浆喷发序列。

云南省地质调查院 1:25 万临沧县幅、滚龙幅区域调查项目应用威特锐尔(Wetherill)提出的一次不连续丢失模型进行适当推广, 对 1:20 万耿马幅、南伞幅在木厂岩体碱性花岗岩中采集的 5 件锆石 U-Pb 测年样的分析成果进行重新处理, 得到该岩体 U-Pb 年龄值为 233.5 Ma [8]。至晚三叠世时期, 随着牛喝塘组基性火山岩的大规模喷发, 发生碱性花岗岩浆的侵入, 二者应该属同期异相的产物。

3. 火山岩岩石学特征

笔者在对 1:5 万色树坝幅、孟定街幅区域地质调查原始资料和所测地质剖面——云南省镇康县四角田上三叠统牛喝塘组(T_3nh)实测剖面图(图 2) [6]进行了认真地研究后, 获知: 该剖面的火山岩主要是玄武岩、安山玄武岩, 少量流纹岩、安山岩及类似成分的火山碎屑岩[6]。剖面列述如下:

25) 以红色泥岩为主, 偶夹粉砂 > 22.6 m。

上覆地层: 三叠系湾甸坝组(T_3wd)。

平行不整合

24) 黑灰色气孔 - 杏仁状安山岩。岩石中气孔及杏仁体发育, 气孔 - 杏仁状构造, 斑状结构, 斑晶为斜长石和辉石 22.6 m。

牛喝塘组三段(T_3nh^3) 804.2 m。

23) 灰黑色致密状安山岩。块状构造, 斑状结构。斑晶为斜长石和辉石 25.6 m。

22) 灰绿色杏仁状安山玄武岩 → 褐黑色杏仁状安山岩, 二者可能构成韵律。杏仁状安山玄武岩为块状构造, 少斑结构。斑晶约占 2%, 为斜长石。杏仁体发育, 大者可达 10 mm, 杏仁体多为石英, 约占 20%。杏仁状安山岩呈杏仁状构造, 少斑结构。斑晶约占为 2%, 为斜长石, 杏仁体大小不一 87.3 m。

21) 暗绿色杏仁状玄武岩 → 褐黑色气孔 - 杏仁状安山岩为主构成韵律层序, 单个韵律层序厚约 5 m, 可见 4 个较完整的层序。杏仁状玄武岩呈杏仁状构造, 少斑结构。斑晶以斜长石为主, 少量单斜辉石斑晶。气孔 - 杏仁状安山岩呈气孔 - 杏仁状构造, 斑状结构。斑晶以斜长石为主, 少量单斜辉石 > 70 m。

20) 安山质岩屑角砾熔岩。岩石由安山岩角砾及气孔 - 杏仁状安山质熔岩两部分组成。安山质角砾主要呈次棱角状, 大小为 $d = 2 \sim 15$ mm 不等, 杂乱分布 19.6 m。

19) 黑色致密状玄武岩。岩石为块状构造, 斑状结构。斑晶以斜长石为主, 次为单斜辉石。岩石中偶见有绿泥石充填的杏仁体 50.6 m。

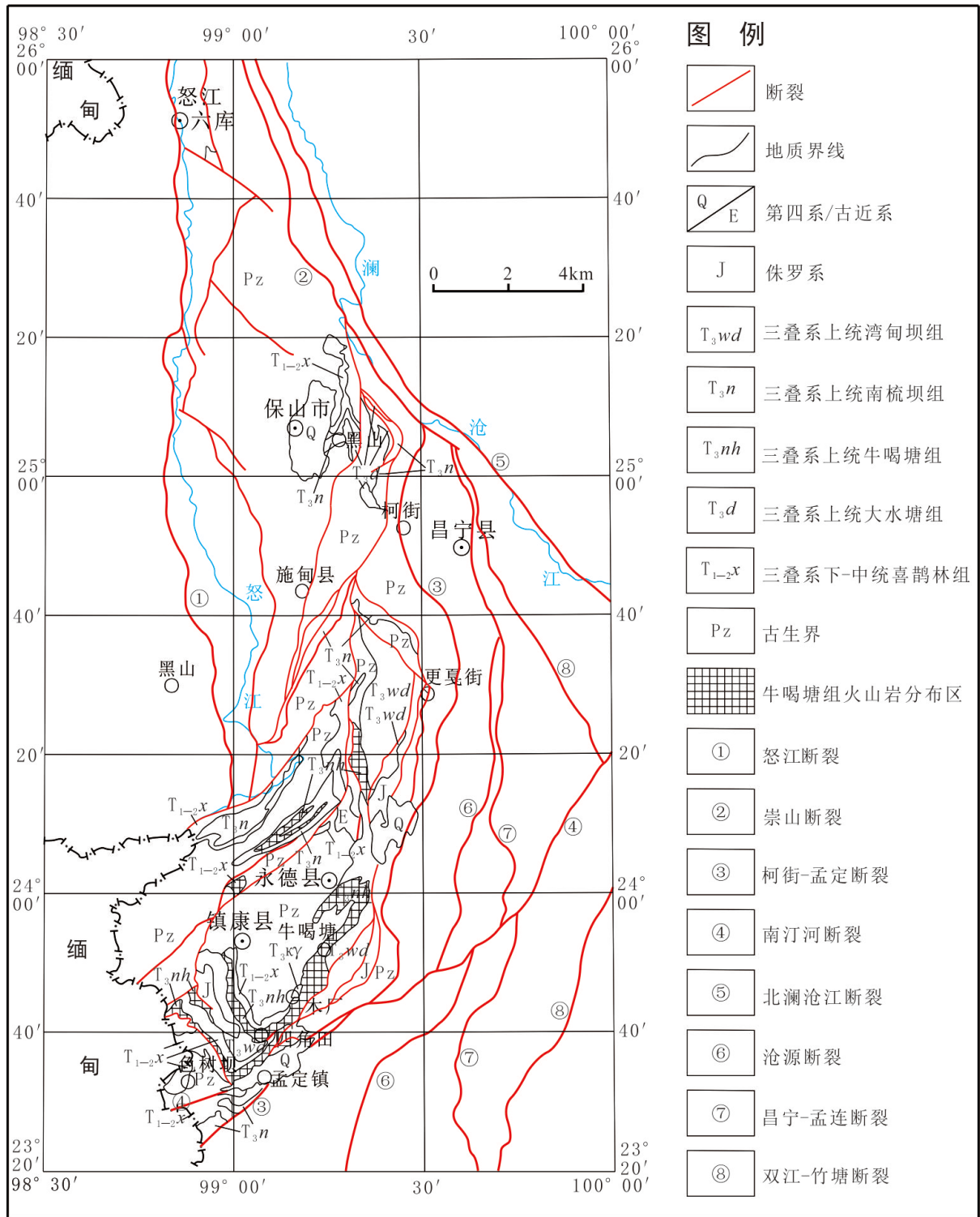
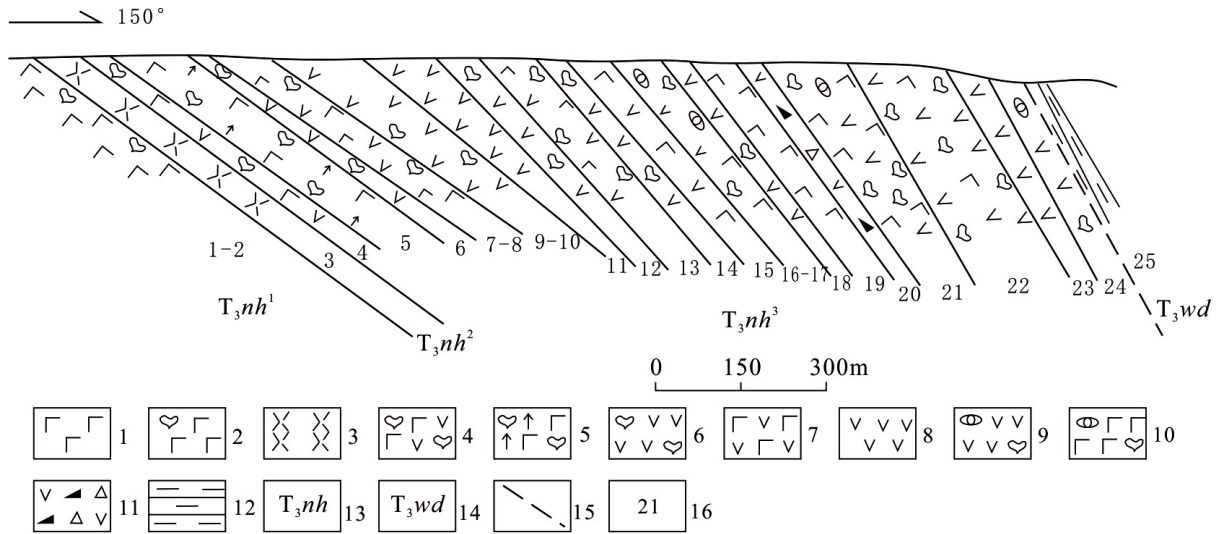


Figure 1. Distribution map of Triassic volcanic rocks in Baoshan Block

图 1. 保山地块三叠系火山岩分布图

18) 灰褐色杏仁状安山岩。岩石为杏仁状构造，少斑结构。斑晶约占 2%，为斜长石，杏仁体以长英质和硅质为主 21.9 m。



1-玄武岩；2-杏仁状玄武岩；3-多斑流纹岩；4-杏仁状安山玄武岩；5-杏仁状橄辉玄武岩；6-杏仁状安山岩；7-安山玄武岩；8-安山岩；9-气孔-杏仁状安山岩；10-气孔-杏仁状玄武岩；11-安山质岩屑角砾熔岩；12-泥岩；13-上三叠统牛喝塘组；14-上三叠统湾甸坝组；15-平行不整合界线；16-分层号。

Figure 2. Field sectional view of upper Triassic Niuhetang Formation (T_3nh) in Sijiaotian, Zhenkang county, Yunnan province

图 2. 云南省镇康县四角田上三叠统牛喝塘组(T_3nh)实测剖面图

- 17) 暗黑色气孔-杏仁状玄武岩。岩石为气孔-杏仁状构造，少斑状结构。斑晶约占 2%，为斜长石、辉石。杏仁体为葡萄石、绿泥石、钾长石充填 45.6 m。
- 16) 褐灰色气孔-杏仁状安山岩。岩石为气孔-杏仁构造，斑状结构 8.4 m。
- 15) 灰黑色致密状安山玄武岩，为块状构造，斑状结构。斑晶为斜长石 42.2 m。
- 14) 褐黑色杏仁状安山岩。杏仁状构造，岩石为斑状结构。斑晶为斜长石 32.2 m。
- 13) 暗绿色杏仁状安山玄武岩。岩石为杏仁状构造，斑状结构。斑晶为斜长石。岩石中分布有 $d \leq 1$ mm 的杏仁体，杏仁体几乎全为绿泥石，约占 8% 59.5 m。
- 12) 暗绿色杏仁状安山岩。岩石为杏仁状构造，斑状结构。斑晶以斜长石为主。岩石杏仁体主要由绿泥石充填而成，大小 $d = 1 \sim 5$ mm 均有 48.3 m。
- 11) 灰黑色安山岩。为致密块状构造，少斑结构。岩石中斑晶约占 3%，为斜长石 29.9 m。
- 10) 褐黑色杏仁状安山岩。杏仁状构造，斑状结构。岩石斑晶以斜长石为主。杏仁体呈不规则状，占 30%，以绿泥石充填为主。到顶部，杏仁体减少 47.4 m。
- 9) 褐黑色杏仁状安山岩。具杏仁体构造，斑状结构。岩石斑晶以斜长石为主，次为单斜辉石斑晶。杏仁体约占 5%，大小 $d = 0.1 \sim 0.5$ mm，成份为绿泥石 15 m。
- 8) 褐黑色杏仁状安山玄武岩。杏仁状构造，斑状结构。斑晶以斜长石为主，次为单斜辉石，少量为暗色矿物。杏仁体呈不规则状，成份为绿泥石，约占 5%。靠上部，杏仁体成份以石英和碳酸盐为主 > 40 m。
- 7) 暗绿色安山玄武岩。具块状构造，斑状结构。斑晶为斜长石及辉石 11.9 m。
- 6) 褐黑色杏仁状安山岩。杏仁状构造，斑状结构。斑晶为斜长石。杏仁体大小为 $d = 0.1 \sim 1$ mm，表面为绿泥石，中心为绿纤石，约占 15% 22.1 m。
- 5) 暗绿色杏仁状橄辉玄武岩。杏仁状构造，斑状结构。岩石斑晶以橄榄石为主，少量斜长石和暗色矿物，偶见普通辉石。绿泥石充填的杏仁体少量 73.7 m。

4) 暗绿色杏仁状安山玄武岩。杏仁状构造, 斑状结构。斑晶为斜长石。杏仁体少见, 约占 5%, 为碳酸盐及绿泥石充填 30.4 m。

牛喝塘组二段(T_3nh^2) 50.5 m。

3) 浅灰色 - 肉红色流纹岩、多斑流纹岩。块状构造, 斑状结构。斑晶以钾长石为主, 次为石英, 少量为斜长石。靠顶部, 斑晶增多 50.5 m。

牛喝塘组一段(T_3nh^1) > 29.6 m。

2) 浅褐色杏仁状玄武岩。杏仁状构造, 斑状结构。斑晶以斜长石为主, 次为普通辉石。岩石中杏仁体呈不规则状, 成份为绿泥石 11.8 m。

1) 暗绿色致密状玄武岩。岩石具块状构造, 少斑结构。斑晶约占 3%, 为普通辉石及斜长石。偶见绿泥石、绿帘石及碳酸盐矿物充填的杏仁体 > 17.8 m。

由此可见, 牛喝塘组火山岩第一喷发旋回在测区内未见底, 厚 > 29.6 m, 由致密状玄武岩、杏仁状玄武岩组成。第二喷发旋回厚 50.5 m, 由流纹岩、多斑流纹岩组成, 第一、二喷发旋回的韵律特征不明显。第三喷发旋回厚 > 804.2 m, 由基性 → 中基性 → 中性熔岩或中基性 → 中性熔岩的喷溢活动形成 7 个喷发韵律(图 3), 主要岩石类型特征如表 1。

4. 岩石地球化学特征

4.1. 主量元素特征

牛喝塘组火山岩三个喷发旋回的主量元素地球化学特征有一定差异。各旋回的主量元素岩石化学成分、C.I.P.W 标准矿物成分见表 2 和表 3。

① 第一喷发旋回: 该旋回熔岩的 $SiO_2 = 47.78\sim 52.77$, 为基性岩类, $\sigma = 1.41\sim 5.03$, 属强钙碱性岩系 - 弱碱性岩系, $A/CNK = 0.92\sim 1.51$ 、碱指数 $NK/A = 0.25\sim 0.69$, 属次铝 - 过铝类型。据 SiO_2 -alk 图(图 4), 岩石属亚碱性系列, 并接近碱性系列; 在 AFM 图解(图 5)中, 样品的投影点位于钙碱性系列与拉斑玄武岩系列的交界线上, 具过渡性质; 据 TAS 图解(图 6), 该旋回火山岩之定量化学分类命名为玄武岩、玄武安山岩, 且表现出连续演化的特点; 在 K_2O - SiO_2 图(图 7)中, 岩石显示主要为中钾、高钾类型, 仅个别为低钾类型。在 C.I.P.W 标准矿物中无霞石出现, 故岩石为亚碱性玄武岩中 - 高钾类型、亚碱性玄武安山岩中 - 高钾类型, 个别为亚碱性玄武安山岩低钾类型。

② 第二喷发旋回: 该旋回熔岩的 $SiO_2 = 67.21\sim 75.75\%$, 为中酸性 - 酸性岩类, 具有较低的 CaO、MgO, FeO 含量; $\sigma = 2.23\sim 2.65$, 属中钙碱性岩系, $A/CNK = 1.0\sim 1.08$ 、碱指数 $NK/A = 0.90\sim 0.99$, 属过铝 - 偏铝类型。据 SiO_2 -alk 图、 FeO^*/Mg - SiO_2 图及 FeO^*/Mg - FeO^* 图(略), 岩石属亚碱性岩系之拉斑玄武岩。

③ 第三喷发旋回: 该旋回熔岩的 $SiO_2 = 45.75\sim 62.89$, 为中、基性岩类, 组合指数多为 $\sigma = 1.37\sim 3.89$, 其中二个为 $\sigma = 4.37$ 、8.03, $Na_2O > K_2O$, 故岩石主要为中 - 弱钙碱性岩系, 少量为中 - 过渡型碱性岩系钠质型, $A/CNK = 0.84\sim 1.43$ 、碱指数 $NK/A = 0.35\sim 0.74$, 属过次铝 - 过铝类型, $FeO^*/Mg = 1.52\sim 3.56$, 该值随 SiO_2 的增高亦有一定的增大趋势。据 SiO_2 -alk 图(图 4), 岩石主要属亚碱性系列, 少量为碱性系列及过渡类型, 在 AFM 图(图 5)中, 各投影点皆位于拉斑玄武岩与钙碱性玄武岩区之交界线上, 说明岩石具过渡性质。据 TAS 图解(图 6), 岩石主要为玄武岩、玄武安山岩, 少量安山岩, 同时部分岩石为玄武岩、玄武安山岩与粗面玄武岩、玄武粗面安山岩之过渡类型, 在 SiO_2 含量为 51~55% 之间存在一个明显的成分间隙。在 K_2O - SiO_2 图(图 7)中, 岩石为中钾 - 高钾类型。故该旋回岩石的化学分类命名主要为玄武岩、玄武安山岩中 - 高钾类型, 少量为安山岩中 - 高钾类型。与典型的安山岩比较, 该旋回安山岩的 SiO_2 含量明显偏低, 可能与大部分岩石中较高的磁铁矿含量(15~20%)有关。

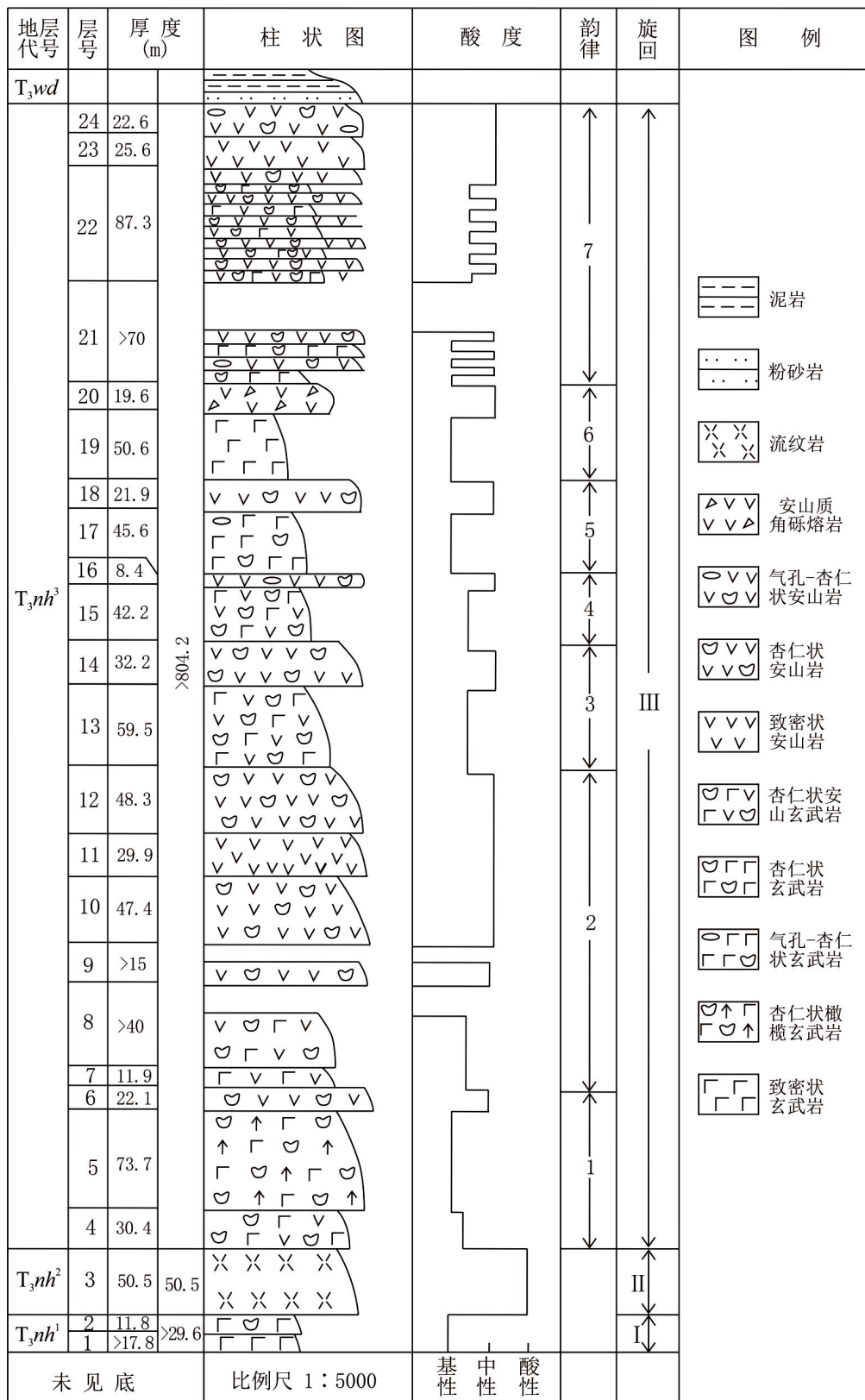


Figure 3. Eruption and gyratory rhythm of volcanic magma of Niuhetang Formation
 图 3. 牛喝塘组火山岩浆喷发旋回韵律

Table 1. Characteristics of main rock types of Niuhetang Formation in Zhenkang volcanic belt
表 1. 镇康火山岩带牛喝塘组主要岩石类型特征

岩石名称	结构	构造	基质	斑晶	矿物成分	喷发旋回
致密状玄武岩	斑状结构	块状构造	斜长石、单斜辉石	斜长石、单斜辉石	副矿物为磁铁矿	第一、第三旋回
杏仁状玄武岩	斑状结构 - 少斑结构	气孔 - 杏仁状构造	斜长石、辉石、玻璃质	斜长石、辉石	副矿物为磁铁矿	第一、第三旋回
杏仁状橄榄玄武岩	斑状结构	杏仁状构造	斜长石、辉石	橄榄石、斜长石、辉石	暗色矿物	第三旋回
杏仁状安山玄武岩	斑状结构	杏仁状构造	斜长石、隐晶质 - 玻璃质、辉石、绿泥石	斜长石、部分岩石中可出现橄榄石、辉石	副矿物为磁(褐)铁矿、钛铁矿	第三旋回
玄武安山岩	斑状结构	块状构造、杏仁状构造	斜长石、玻璃质、辉石	斜长石、辉石、角闪石	副矿物为磁铁矿	第三旋回
致密状安山岩	斑状结构	致密块状构造	斜长石、隐晶质 - 玻璃质、辉石	斜长石、辉石	副矿物为磁铁矿	第三旋回
杏仁状安山岩	斑状结构	杏仁状构造	斜长石、玻璃质、绿泥石、辉石	斜长石、辉石、角闪石	副矿物为磁(褐)铁矿	第三旋回
流纹岩	斑状结构	块状构造、流纹状构造	长英质	钾长石、斜长石、石英、角闪石、绿帘石、黑云母	副矿物为磁(褐)铁矿及微量锆石	第二旋回
多斑流纹岩	多斑结构	块状构造	长英质, 少量铁质	钾长石、斜长石、石英	副矿物为磁铁矿	第二旋回
安山质岩 屑角砾熔岩	岩屑角砾熔岩状结构	角砾斑杂构造	玻晶交织结构	斜长石		第三旋回

Table 2. Petrochemical compositions of Niuhetang Formation in Zhenkang volcanic belt
表 2. 镇康火山岩带牛喝塘组岩石化学成分

采样地点	样品编号	岩石名称	序号	氧化物含量(wt%)													主要化学特征值		
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	σ	alk	K ₂ O/FeO*/Na ₂ O	SI	
四角田	GM9-1173-1-2	致密状玄武岩	1	49.24	2.83	13.76	4.52	8.51	0.09	6.22	10.81	2.31	1.26	0.45	2.04	3.57	0.54	2.02	27.28
	GM9-1173-3-2	流纹岩	2	75.82	0.20	11.24	1.63	2.20	0.06	0.18	0.08	3.30	5.25	0.03	2.23	8.56	1.59	20.37	1.43
	GM9-1172-1	多斑流纹岩	3	73.93	0.19	12.89	1.92	1.61	0.07	0.12	0.17	3.25	5.81	0.03	2.65	9.06	1.78	27.82	0.94
	GM9-1173-6-2	杏仁状橄榄玄武岩	4	48.51	2.57	12.28	5.02	9.06	0.10	8.92	9.08	2.82	1.32	0.32	3.10	4.14	0.47	1.52	32.87
	GM9-1173-9-2	杏仁状玄武安山岩	5	47.99	3.41	14.85	5.41	9.39	0.10	7.03	6.46	4.48	0.45	0.43	4.87	4.93	0.10	2.03	26.27
大湾江	NS12-1180-1	玄武安山岩	6	52.91	3.47	12.32	5.00	7.98	0.09	4.74	8.38	3.66	0.95	0.50	2.14	4.60	0.26	2.64	21.22
臭水	GM9-2009-2	安山岩	7	56.12	2.62	14.93	4.75	6.62	0.15	3.06	5.67	3.85	1.87	0.37	2.49	5.72	0.49	3.56	15.18
牛喝塘	GM1-B19-1	安山玄武质凝灰熔岩	8	52.96	2.89	14.66	4.93	7.85	0.23	4.93	6.28	2.56	2.29	0.42	2.37	4.86	0.89	2.49	21.85
	GM1-19-1	安山玄武质凝灰熔岩	9	52.50	2.73	14.28	4.44	7.63	0.48	5.14	8.42	2.30	1.71	0.35	1.70	4.01	0.74	2.26	24.23
	GM1-19-2	安山玄武质凝灰熔岩	10	54.54	2.51	14.58	6.07	7.55	0.33	3.26	3.56	3.99	3.26	0.36	4.55	7.25	0.82	3.99	13.50

Continued

	GM1-19-4	流纹岩	11	70.02	0.87	14.19	2.47	2.57	0.25	1.00	1.89	5.20	1.25	0.28	1.54	6.45	0.24	4.77	8.03
	GM1-19-5	碱性长石流纹岩	12	70.45	0.79	12.91	2.63	2.00	0.06	0.70	0.55	0.53	9.17	0.22	3.43	9.70	17.25	6.27	4.63
	GM1-B19-6	流纹岩	13	68.70	1.22	15.26	2.83	3.05	0.08	1.44	0.62	1.42	5.11	0.28	1.66	6.52	3.60	3.88	10.40
	GM1-19-6	流纹岩	14	69.12	1.02	13.04	2.50	3.51	0.31	1.80	2.43	3.19	2.84	0.26	1.39	6.03	0.89	3.20	13.01
	GM1-19-7	流纹岩	15	71.63	0.72	12.88	2.26	3.28	0.26	1.20	1.18	3.38	2.98	0.25	1.41	6.36	0.88	4.44	9.15
	GM1-19-8	流纹岩	16	71.87	0.89	13.44	2.28	2.29	0.25	0.95	1.39	4.70	1.70	0.26	1.42	6.40	0.36	4.56	7.97
	GM1-19-9	碱性长石流纹岩	17	65.99	0.81	15.05	2.75	3.02	0.27	0.68	0.94	1.56	8.65	0.29	4.54	10.21	5.53	8.03	4.11
	GM1-19-14	安山玄武岩	18	57.23	2.25	14.61	5.35	6.78	0.49	1.65	4.11	3.07	3.64	0.83	3.17	6.71	1.18	7.01	8.07
	GM1-19-16	安山岩	19	58.99	2.36	16.01	4.63	6.52	0.35	2.58	2.50	2.13	3.60	0.34	2.06	5.74	1.69	4.15	13.23
	GM1-19-20	玄武岩	20	53.38	3.10	15.65	4.29	7.90	0.37	4.36	5.91	2.36	2.21	0.46	2.02	4.58	0.94	2.70	20.63
	GM1-19-23	玄武岩	21	47.79	3.50	14.60	4.21	8.17	0.35	6.15	11.34	2.42	1.11	0.38	2.60	3.53	0.46	1.94	27.89
	GM1-19-24	玄武岩	22	49.87	3.59	14.89	4.27	7.70	0.40	5.16	9.51	2.32	1.74	0.55	2.39	4.06	0.75	2.24	24.37
	GM1-19-25	玄武岩	23	53.71	3.03	13.11	3.99	7.28	0.34	5.15	9.51	2.20	1.35	0.33	1.18	3.55	0.61	2.11	25.76
	GM1-19-28	玄武岩	24	55.05	2.68	15.34	3.46	6.93	0.37	3.39	5.85	2.88	3.63	0.43	3.52	6.51	1.26	2.97	16.69
	GM1-19-31	玄武岩	25	52.28	3.33	13.12	4.37	7.83	0.32	4.99	9.68	2.45	1.27	0.37	1.49	3.72	0.52	2.36	23.88
	GM1-B19-33	安山玄武岩	26	57.02	2.98	15.43	4.30	6.42	0.17	3.56	4.55	1.93	3.23	0.41	1.90	5.17	1.67	2.89	18.29
	GM1-19-33	杏仁状玄武岩	27	56.56	2.46	14.73	3.57	6.17	0.34	3.72	7.39	2.20	2.37	0.51	1.54	4.57	1.08	2.52	20.67
	GM1-19-35	安山玄武岩	28	55.88	3.17	13.58	4.24	7.43	0.35	3.95	5.21	4.02	1.54	0.65	2.40	5.56	0.38	2.85	18.65
	GM1-19-40	安山玄武岩	29	56.16	2.83	14.26	4.41	6.44	0.33	3.10	6.98	2.01	3.05	0.42	1.95	5.06	1.52	3.35	16.32
	GM1-19-41	安山岩	30	65.12	2.35	12.05	4.98	5.64	0.08	1.34	1.80	2.58	3.77	0.28	1.82	6.35	1.46	7.58	7.30
	GM1-19-45	玄武岩	31	50.22	3.48	14.25	4.50	8.06	0.16	4.84	10.32	2.61	1.16	0.39	1.97	3.77	0.45	2.50	22.86
	GM1-19-46	含碱长安山岩	32	62.45	2.66	10.48	5.17	6.01	0.07	2.00	4.30	1.12	5.44	0.31	2.21	6.56	4.86	5.33	10.13
	NS4-925-1	杏仁状玄武岩	33	50.64	3.55	14.87	4.64	8.73	0.24	5.11	6.93	2.99	1.65	0.64	2.83	4.65	0.55	2.53	22.08
	NS4-925-7	杏仁状玄武岩	34	52.25	2.19	15.85	4.72	8.82	0.21	6.55	5.80	3.01	0.28	0.31	1.17	3.29	0.09	2.00	28.00
轩	NS4-926-3	流纹岩	35	73.11	0.76	12.93	1.97	2.19	0.07	2.17	1.40	1.82	3.39	0.19	0.90	5.21	1.87	1.83	18.81
莱	NS4-3520-11	杏仁状玄武岩	36	49.63	4.41	12.57	5.18	10.92	0.35	4.67	9.20	1.96	0.43	0.68	0.86	2.39	0.22	3.34	20.16
	NS4-3520-21	杏仁状玄武岩	37	49.44	3.08	13.93	4.43	8.73	0.40	5.79	10.74	2.52	0.55	0.41	1.46	3.07	0.22	2.19	26.31
	NS4-3520-30	杏仁状安山岩	38	59.62	2.91	11.89	5.67	7.60	0.15	2.32	3.85	2.89	2.50	0.58	1.75	5.39	0.86	5.47	11.07
卖盐 场	NS8-1505-6	杏仁状玄武岩	39	48.59	2.18	12.55	3.73	9.05	0.84	13.24	7.68	1.26	0.50	0.37	0.55	1.75	0.40	0.94	47.66

注：表中氧化物含量经 Le Maitre 全铁调整和百分化。资料来源：1:25 万滚龙幅(国内部分)、临沧县幅区域地质调查资料[8]。

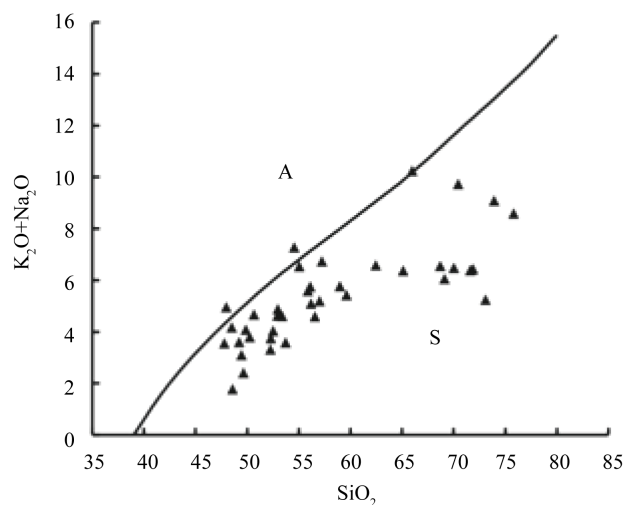
Table 3. C.I.P.W. Standard mineral content and main parameters of Niuhetang Formation in Zhenkang volcanic belt
表 3. 镇康火山岩带牛喝塘组 C.I.P.W.标准矿物含量及主要参数

采样地点	样品编号	岩石名称	序号	C.I.P.W.标准矿物含量(wt%)											主要参数		
				q	or	ab	an	hy	di	ol	ap	il	mt	c	DI	A/CNK	A/NK
四角田	GM9-1173-1-2	致密状玄武岩	1	2.33	7.45	19.55	23.46	12.23	22.02	—	0.98	5.38	6.55	—	29.33	0.55	2.67
	GM9-1173-3-2	流纹岩	2	35.05	31.02	27.93	0.20	2.92	—	—	0.07	0.38	2.36	0.06	94.00	1.00	1.01
	GM9-1172-1	多斑流纹岩	3	31.79	34.33	27.50	0.65	1.49	—	—	0.07	0.36	2.78	1.02	93.63	1.08	1.11
	GM9-1173-6-2	杏仁状橄榄玄武岩	4	—	7.80	23.86	16.95	9.99	20.90	7.99	0.70	4.88	7.28	—	31.66	0.54	2.02
	GM9-1173-9-2	杏仁状玄武安山岩	5	—	2.66	37.91	19.08	6.50	8.19	10.82	0.94	6.48	7.84	—	40.57	0.76	1.89
大湾江	NS12-1180-1	玄武安山岩	6	7.28	5.61	30.97	14.38	7.48	19.28	—	1.09	6.59	7.25	—	43.87	0.55	1.75
臭水	GM9-2009-2	安山岩	7	10.68	11.05	32.58	17.93	8.74	6.32	—	0.81	4.98	6.89	—	54.31	0.80	1.79
牛喝塘	GM1-B19-1	安山玄武质凝灰熔岩	8	8.39	13.53	21.66	21.75	15.67	5.39	—	0.92	5.49	7.15	—	43.59	0.81	2.19
	GM1-19-1	安山玄武质凝灰熔岩	9	8.23	10.11	19.46	23.59	13.28	12.89	—	0.77	5.19	6.44	—	37.80	0.68	2.53
	GM1-19-2	安山玄武质凝灰熔岩	10	5.62	19.26	33.77	12.25	12.22	2.50	—	0.79	4.77	8.80	—	58.65	0.88	1.45
	GM1-19-4	流纹岩	11	29.46	7.39	44.00	7.55	4.20	—	—	0.61	1.65	3.58	1.52	80.85	1.06	1.43
	GM1-19-5	碱性长石流纹岩	12	30.53	54.18	4.49	1.29	2.05	—	—	0.48	1.50	3.81	1.64	89.21	1.09	1.20
	GM1-B19-6	流纹岩	13	37.56	30.20	12.02	1.25	4.98	—	—	0.61	2.32	4.10	6.94	79.78	1.70	1.94
	GM1-19-6	流纹岩	14	31.05	16.78	27.00	10.36	7.76	—	—	0.57	1.94	3.63	0.92	74.83	1.02	1.57
	GM1-19-7	流纹岩	15	35.38	17.61	28.60	4.22	6.44	—	—	0.55	1.37	3.28	2.55	81.59	1.18	1.47
	GM1-19-8	流纹岩	16	33.77	10.05	39.77	5.20	3.68	—	—	0.57	1.69	3.31	1.96	83.58	1.11	1.40
	GM1-19-9	碱性长石流纹岩	17	20.49	51.11	13.20	2.77	4.13	—	—	0.63	1.54	3.99	2.11	84.81	1.10	1.26
	GM1-19-14	安山玄武岩	18	14.14	21.51	25.98	14.97	9.34	—	—	1.81	4.27	7.76	0.13	61.62	0.89	1.62
	GM1-19-16	安山岩	19	22.35	21.27	18.03	10.18	11.33	—	—	0.74	4.48	6.71	4.88	61.64	1.34	2.16
	GM1-19-20	玄武岩	20	10.51	13.06	19.97	25.58	17.10	0.60	—	1.01	5.89	6.22	—	43.54	0.92	2.49
	GM1-19-23	玄武岩	21	0.22	6.56	20.45	25.70	10.81	22.63	—	0.83	6.64	6.10	—	27.26	0.57	2.82
	GM1-19-24	玄武岩	22	4.72	10.28	19.63	25.08	11.09	14.92	—	1.20	6.82	6.19	—	34.64	0.65	2.62
	GM1-19-25	玄武岩	23	11.02	7.98	18.62	21.91	9.53	18.66	—	0.72	5.75	5.78	—	37.61	0.59	2.58
	GM1-19-28	玄武岩	24	6.97	21.45	24.37	18.21	11.36	6.56	—	0.94	5.09	5.02	—	52.79	0.79	1.77
	GM1-19-31	玄武岩	25	8.66	7.51	20.73	21.05	8.70	19.85	—	0.81	6.32	6.34	—	36.90	0.57	2.43
	GM1-B19-33	安山玄武岩	26	17.88	19.09	16.33	19.90	12.50	—	—	0.90	5.66	6.24	1.47	53.30	1.03	2.31
	GM1-19-33	杏仁状玄武岩	27	14.66	14.00	18.62	23.32	10.27	8.12	—	1.11	4.67	5.18	—	47.28	0.75	2.38

Continued

	GM1-19-35	安山玄武岩	28	10.40	9.10	34.02	14.46	12.58	5.80	—	1.42	6.02	6.15	—	53.51	0.76	1.64
	GM1-19-40	安山玄武岩	29	14.90	18.02	17.01	20.88	7.51	8.93	—	0.92	5.38	6.39	—	49.93	0.74	2.16
	GM1-19-41	安山岩	30	29.48	22.28	21.83	7.10	5.85	—	—	0.61	4.46	7.22	1.12	73.59	1.04	1.45
	GM1-19-45	玄武岩	31	5.18	6.86	22.09	23.74	7.96	20.13	—	0.85	6.61	6.53	—	34.13	0.59	2.57
	GM1-19-46	含碱长安山岩	32	25.21	32.15	9.48	7.50	2.85	9.56	—	0.68	5.05	7.50	—	66.83	0.67	1.36
	NS4-925-1	杏仁状玄武岩	33	4.89	9.75	25.30	22.28	16.39	6.43	—	1.40	6.74	6.73	—	39.95	0.77	2.21
	NS4-925-7	杏仁状玄武岩	34	8.22	1.66	25.47	26.75	25.39	—	—	0.68	4.16	6.84	0.79	35.35	1.00	3.02
轩	NS4-926-3	流纹岩	35	43.27	20.03	15.40	5.71	6.67	—	—	0.42	1.44	2.86	4.18	78.71	1.40	1.94
莱	NS4-3520-11	杏仁状玄武岩	36	11.33	2.54	16.59	24.23	13.93	13.93	—	1.49	8.38	7.51	—	30.45	0.62	3.41
	NS4-3520-21	杏仁状玄武岩	37	4.05	3.25	21.33	25.07	12.38	20.74	—	0.90	5.85	6.42	—	28.62	0.57	2.94
	NS4-3520-30	杏仁状安山岩	38	21.71	14.77	24.46	12.09	9.22	2.65	—	1.27	5.53	8.22	—	60.93	0.82	1.59
卖盐 场	NS8-1505-6	杏仁状玄武岩	39	0.81	2.96	10.66	27.11	41.18	6.88	—	0.81	4.14	5.41	—	14.43	0.76	4.82

数据经《微机地质科学程序集》(福建省地矿局, 1986)中 C.I.P.W. 计算程序处理。资料来源: 1:25 万滚龙幅(国内部分)、临沧县幅区域地质调查资料[8]。

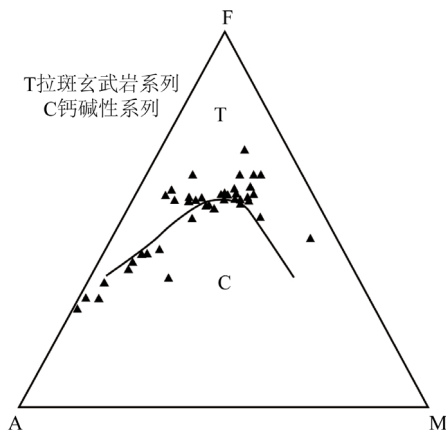


A-碱性玄武岩系列; S-亚碱性系列; (据 T. N. Irvine 等, 1971)

Figure 4. SiO₂-alk diagram of the volcanic rocks of Niuhetang Formation

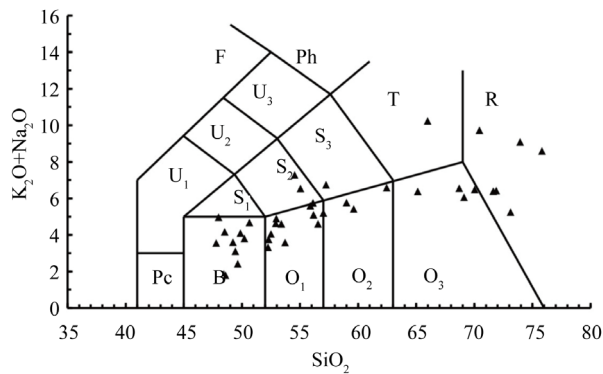
图 4. 牛喝塘组火山岩 SiO₂-alk 图

$A/CNK = 0.54 \sim 1.40$, $A/NK = 1.01 \sim 4.82$, 24 件属正常类型, 15 件属铝过饱和类型。标准矿物组合正常类型 22 件样为 $q + or + ab + an + di + hy + ap + il + mt$, 4、5 两件样为 $or + ab + an + di + hy + ol + ap + il + mt$, 铝过饱和类型均为 $q + or + ab + an + hy + c + ap + il + mt$, 除 4、5 两件 SiO_2 低度不饱和外, 其余 SiO_2 过饱和。岩石标准矿物 hy 含量为 $1.49 \sim 41.18\%$, 除 2、3、12、和 32 号 4 件样小于 3%, 其余 34 件均大于 3%, Al_2O_3 含量除 18 号样为 16.01% 外, 均小于 16%, 显示拉斑玄武岩系列的特征。



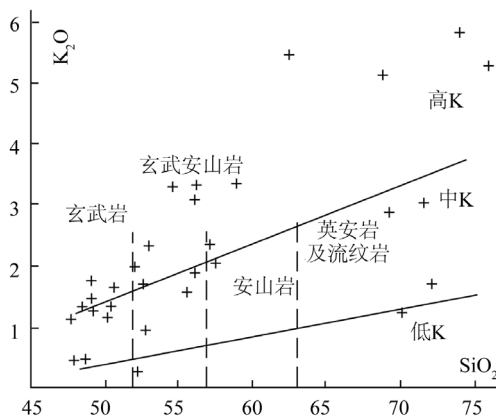
(据 T. N. Irvine 等, 1971)

Figure 5. AFM diagram of the volcanic rocks of Niuhetang Formation
图 5. 牛喝塘组火山岩 AFM 图



F 似长石岩; U₁ 碱玄武岩; U₂ 响岩质碱玄武岩; U₃ 碱玄武质响岩; Ph 响岩; S₁ 粗面玄武岩; S₂ 玄武质粗面安山岩; S₃ 粗面安山岩; T 粗面岩; 粗面英安岩; Pc 苦橄玄武岩; B 玄武岩; O₁ 玄武安山岩; O₂ 安山岩; O₃ 英安岩; R 流纹岩。(据 M. J. Le Bas 等, 1986; IUGS, 1989)

Figure 6. TAS diagram of the volcanic rocks of Niuhetang Formation
图 6. 牛喝塘组火山岩 TAS 图



(据 IUGS, 1989; 引自 1:5 万色树坝、孟定街幅区域地质调查资料[6])

Figure 7. K₂O-SiO₂ diagram of the volcanic rocks of Niuhetang Formation
图 7. 牛喝塘组火山岩 K₂O-SiO₂ 图

4.2. 稀土元素特征

火山岩的稀土元素含量及主要特征参数见表 4, 火山岩稀土总量变化较大, 丰度中等, $\Sigma\text{REE} = 95.01\sim 408.06$ ppm。稀土配分曲线(图 8), 向右倾斜, 明显分馏, $\text{Ce}_N/\text{Yb}_N = 3.50\sim 7.73$, 轻稀土相对富集。 $\text{La}_N/\text{Sm}_N = 1.60\sim 3.73$, $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N = 1.75\sim 2.75$, 轻稀土分馏较重稀土元素明显。基性岩 $\delta\text{Eu} = 0.96\sim 1.00$, 钕基本无亏损, $\delta\text{Ce} = 0.80\sim 0.82$, 铈亏损; 中性岩 $\delta\text{Eu} = 0.91\sim 0.96$, 钕轻微亏损, $\delta\text{Ce} = 0.94\sim 0.96$, 铈轻微亏损; 酸性岩 $\delta\text{Eu} = 0.18\sim 0.19$, 钕强烈亏损, $\delta\text{Ce} = 0.53\sim 0.79$, 铈亏损。基性岩和中性岩在岩浆演化过程中斜长石分离结晶不明显, 而酸性岩的斜长石分离结晶作用明显。基性岩和酸性岩形成于较高的氧逸度环境, 而中性火山岩则形成于较低的氧逸度环境。除铈和钕的亏损程度和稀土总量有差异外, 基性岩、中性岩和酸性岩具有相似的配分模式。

Table 4. The abundance and characteristic parameters of rare earth elements of Niuhetang Formation in Zhenkang volcanic belt

表 4. 镇康火山岩带牛喝塘组稀土元素丰度及特征参数

采样地点	样品编号	岩石名称	序号	稀土元素及含量(ppm)														稀土元素特征参数					
				La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	δEu	Ce_N/Yb_N	La_N/Sm_N	Gd_N/Yb_N
四角田	GM9-1173-1-2	致密状玄武岩	1	13.90	29.70	5.48	21.60	5.48	1.84	5.72	0.89	4.77	0.91	2.39	0.28	1.80	0.25	20.60	95.01	1.00	4.27	1.60	2.56
	GM9-1173-3-2	流纹岩	2	92.40	156.00	23.60	77.20	15.60	0.86	12.90	2.10	11.80	2.34	6.53	0.80	5.22	0.71	54.30	408.06	0.18	7.73	3.73	1.99
	GM9-1172-1	多斑流纹岩	3	70.00	87.50	22.10	79.50	16.00	0.96	14.00	2.34	13.20	2.46	6.85	0.97	6.47	0.91	62.30	323.26	0.19	3.50	2.75	1.75
	GM9-1173-6-2	杏仁状橄榄玄武岩	4	17.50	33.90	5.89	22.70	5.63	1.81	5.80	0.87	4.68	0.90	2.27	0.27	1.70	0.23	19.70	104.15	0.96	5.16	1.96	2.75
	GM9-1173-9-2	杏仁状玄武安山岩	5	19.30	37.20	6.49	26.20	6.77	2.19	6.92	1.05	5.97	1.09	2.88	0.34	2.08	0.29	25.50	118.77	0.97	4.63	1.79	2.68
	NS12-1180-1	玄武安山岩	6	26.80	60.00	8.28	36.30	8.26	2.65	8.53	1.29	7.18	1.26	3.28	0.46	2.62	0.36	35.50	167.27	0.96	5.92	2.04	2.63
	GM9-2009-2	安山岩	7	36.94	77.19	10.20	41.52	9.38	2.78	9.15	1.43	7.72	1.41	3.66	0.53	3.14	0.44	37.68	205.49	0.91	6.36	2.48	2.35

资料来源: 1:5 万色树坝幅、孟定街幅区域地质调查[6]。

4.3. 微量元素特征

火山岩微量元素含量及主要参数见表 5, 微量元素与原始地幔(Wood, 1979)相比, 亲石元素普遍富集, 过渡族元素普遍亏损[12]。 $\text{Rb}_N/\text{Yb}_N = 11.14\sim 19.97$, 属强不相容元素富集型, 富集程度高于早二叠世火山岩。 $\text{P}^* = 0.02\sim 0.69$ 和 $\text{Ti}^* = 0.74\sim 0.83$ 显示岩浆经过同化混染或为壳源岩浆特点, 基性岩和中性岩 $\text{Zr}^* = 1.27\sim 1.62$, 酸性岩 $\text{Zr}^* = 0.68\sim 0.73$, 表明基性岩和中性岩的岩浆有过同化混染作用, 而酸性岩岩浆则有过锆石的分离结晶。经原始地幔数据(Wood, 1979)标准化, 火山岩微量元素比值蛛网图(图 9), 基性岩和中

性岩 Rb、Th、U、La、Sr、Zr、Sm、Ti、Yb 富集，Ba、K、P、Y 亏损，与大陆拉斑玄武岩相似；酸性岩 Rb、Th、K、La、Ce、Zr、Sm、Y 富集，Ba、U、Nb、Sr、P、Ti 亏损，类似于大陆裂谷碱流岩。经洋中脊玄武岩标准化后，微量元素分布模式图(图 10)显示基性岩和中性岩 Rb、Th、Nb、Hf、Ti、Sc 富集，Ba、Ta、Y、Yb 亏损，与板内玄武岩特征相似；酸性岩 K、Rb、Th、Nb、Hf、Sm、Y、Yb、Cr 富集，Sr、Ba、P、Ti、Sc 强烈亏损。中基性岩和酸性岩明显不同，中基性岩为幔源岩浆经地壳物质的混染作用形成，而酸性岩为壳源岩浆经斜长石和锆英石的分离结晶作用或下地壳低度部分熔融形成。

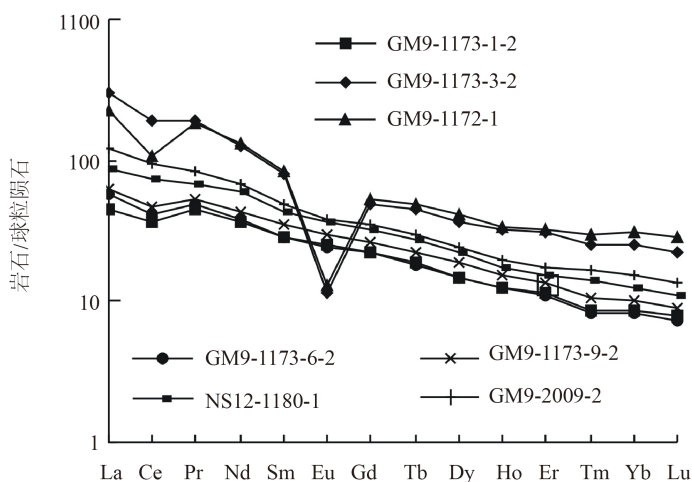
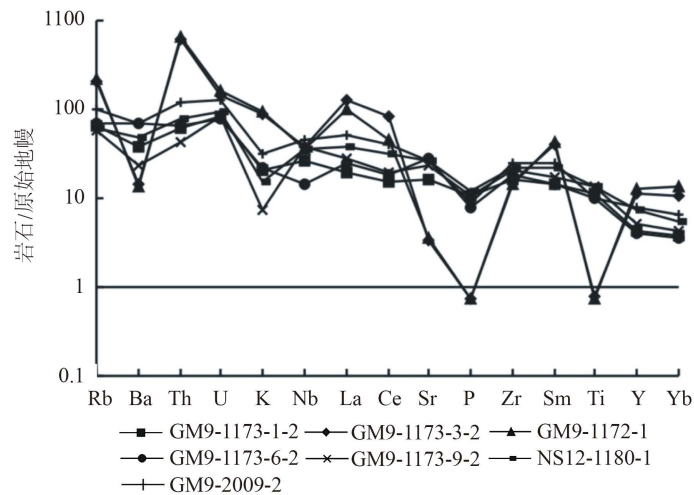


Figure 8. Rare earth distribution curve of the volcanic rocks of Niuhetang Formation
图 8. 牛喝塘组火山岩稀土配分曲线

Table 5. The abundance and characteristic parameters of trace elements in Niuhetang Formation in Zhenkang volcanic belt
表 5. 镇康火山岩带牛喝塘组微量元素丰度及特征参数

采样地点	样品编号	岩石名称	序号	微量元素及含量(ppm)																主要参数				
				Rb	Sr	Ba	U	Th	Nb	Ta	Zr	Hf	Sc	Ti	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb/Sr	Zr/Hf	Nb*
四角田	GM9-1173-1-2	致密状玄武岩	1	49.7	541	182	2.3	4.1	23.7	2.3	228	10.5	32.8	20437	335	94.2	63	68.7	65	139	17.8	0.092	21.714	2.21
	GM9-1173-3-2	流纹岩	2	61.2	636	540	2.1	6.2	9	0.8	199	5.2	29.3	15421	293	280	53.8	160	62.9	112	17	0.096	38.269	0.63
	GM9-1172-1	多斑流纹岩	3	88.5	592	510	3.5	11.5	28	2.03	272	7.2	25.3	15709	256	29.3	35.5	1	7.09	128	21	0.149	37.778	1.09
	GM9-1173-6-2	杏仁状橄辉玄武岩	4	52.6	592	355	2.6	7.6	21.6	1.8	246	7.6	28.9	20815	344	98.3	42.2	77.6	180	136	19.5	0.089	32.368	1.31
	GM9-1173-9-2	杏仁状玄武安山岩	5	194	84	101	4.4	62.7	22.6	2.4	157	12	6.1	1140	2	248	2.01	7.3	20.6	17.4	24.1	2.310	13.083	0.38
大湾江	NS12-1180-1	玄武安山岩	6	177	77.9	112	4	59.5	24	1.7	166	11.3	2.7	1200	2.8	351	4.36	13.2	20.4	70.8	17.7	2.272	14.690	0.36
臭水	GM9-2009-2	安山岩	7	56.1	376	286	2.3	5.8	16.3	0.8	176	5.2	27.6	16989	327	73.7	49.3	58.4	75.7	112	13.8	0.149	33.846	1.31

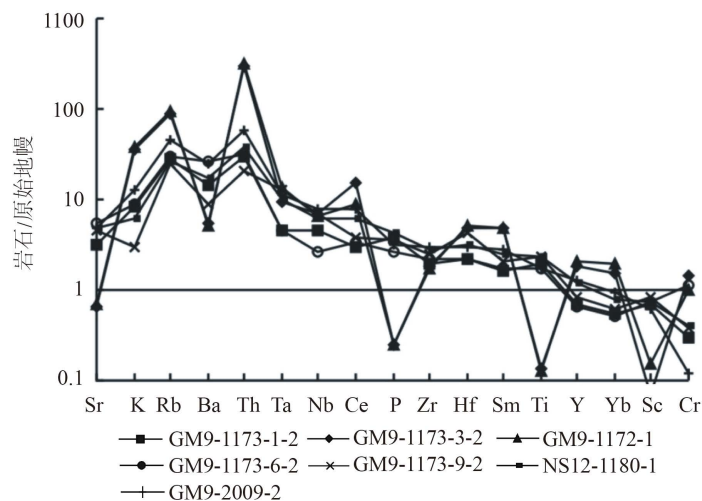
资料来源：1:5 万色树坝幅、孟定街幅区域地质调查[6]。



(据 Holm, 1985)

Figure 9. The ratio and spider webs graph of trace elements in volcanic rocks

图 9. 火山岩微量元素比值蛛网图



(据 Pearce, 1982)

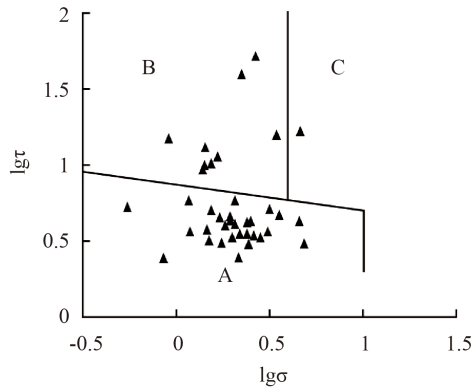
Figure 10. The distribution model graph of trace elements in volcanic rocks

图 10. 火山岩微量元素分布模式图

5. 火山岩成岩环境

该区火山岩主要为玄武岩、安山玄武岩，其次为流纹岩，少量安山岩。火山岩 SiO_2 含量高低不一，除 4、5 号样外，其余 SiO_2 过饱和，碱含量高，富钠或钾， TiO_2 含量高， P_2O_5 含量中等， FeO^*/MgO 高，平均为 4.48，具大陆拉斑玄武岩特点。在 $\lg\tau\text{-lg}\sigma$ 图(图 11)上，基性和中性火山岩投影点位于板内火山岩区，酸性火山岩位于消减带火山岩区；在 $F_1\sim F_2$ 图解上(图 12)，火山岩投影点 2/3 位于 WAP (板内玄武岩)区，1/3 位于 SHO (钾玄岩)区；在玄武岩 $\text{FeO}^*\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3$ 图(图 13)上投影点 1/2 (主要为基性岩)位于大陆板内火山岩区，1/2 (主要为酸性岩)位于扩张中心岛屿火山岩区。由第一喷发旋回与第二喷发旋回构成的第一岩浆演化序列具有明显的双峰式火山岩特征，由第三喷发旋回构成的第二岩浆演化序列被复式环状

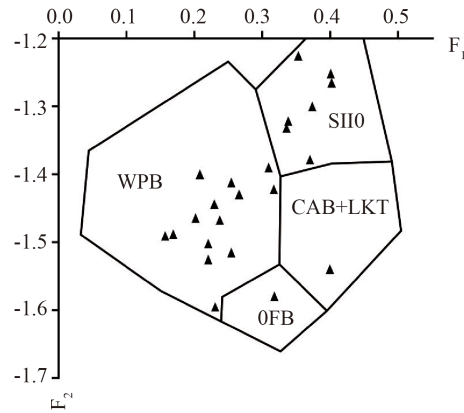
碱性花岗岩侵入，为晚三叠世保山地块陆内裂谷发育的拉斑玄武岩系列玄武岩-安山岩-流纹岩。



A-板内火山岩; B-消减带火山岩; C-A 或 B 区演化的碱性火山岩; (据 A. Rittmann, 1970)

Figure 11. $lg\sigma$ - $lg\tau$ graph

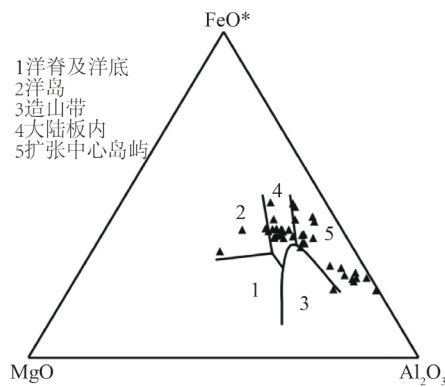
图 11. $lg\sigma$ - $lg\tau$ 图



WPB 板内玄武岩; SHO 钾玄武岩; CAB 钙碱性玄武岩; LKT 低钾拉斑玄武岩; OFB 洋底玄武岩; (据 J. A. Pearce, 1976)

Figure 12. F_1 - F_2 diagram

图 12. F_1 - F_2 图解

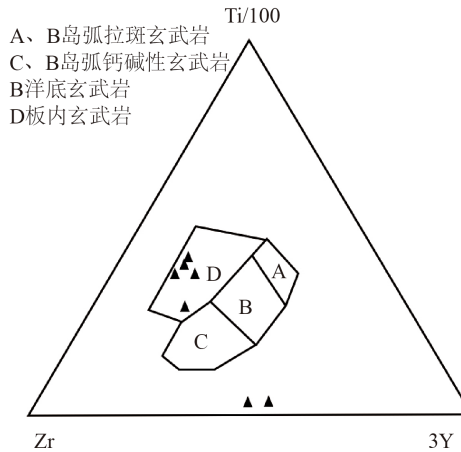


(据 T. H. Pearce, 1977)

Figure 13. FeO^* - MgO - Al_2O_3 graph

图 13. FeO^* - MgO - Al_2O_3 图

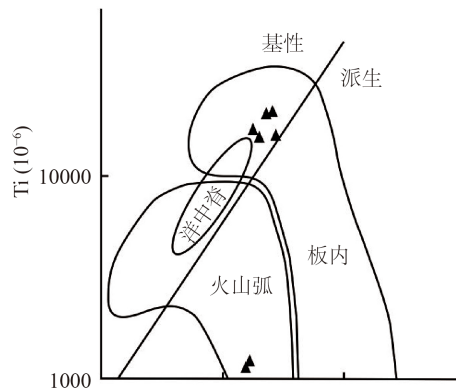
强烈的火山活动及火山岩的双模式地质特征通常被认为是裂谷作用的重要特征之一，永德 - 黑山裂谷(另文)与世界典型的大陆裂谷具有很大的相似性。永德 - 黑山裂谷火成岩由玄武岩与流纹岩、安山岩构成双模式特征；东非裂谷系东支的埃塞俄比亚裂谷和肯尼亚裂谷的火成岩由玄武岩与流纹岩、粗面岩构成双模式特征，而在非裂谷环境中双模式火成岩是非常少见的，这表明双模式火成岩与裂谷作用有着深刻的内在联系。区内火山岩高钛、富锆、贫磷，铌亏损，经少量及微量元素的构造环境判别，具大陆板内拉斑玄武岩的特征；在玄武岩 Ti/100-Zr-3Y 判别图(图 14)上，火山岩投影点位于板内玄武岩区；在火山岩 Ti-Zr 图(图 15)上，投影点位于板内火山岩区(酸性岩位于弧火山岩区)。



(据 Pearce, 1973)

Figure 14. Ti/100-Zr-3Y discriminant graph

图 14. Ti/100-Zr-3Y 判别图



(据 Pearce, 1982)

Figure 15. Ti-Zr diagram of volcanic rocks

图 15. 火山岩 Ti-Zr 图解

总体来看，本区三叠纪火山岩具有以下特点：(1) 主元素含量以富碱贫铝为特征；(2) 稀土元素具有总量高(ΣREE 为 95.01~408.06)、轻稀土较富集， $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 7.72~17.7、轻重稀土分馏显著的特点(图 8)。根据 Cullers 和 Graf (1984) 的分类，本区三叠纪裂谷火山岩属陆内构造环境(ΣREE 为 60~499, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 8.9~66)，而明显不同于大洋或岛弧环境稀土总量较低($\Sigma\text{REE} = 34\sim 131$)和相对富重稀土($(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.34\sim 1.7$)的特征[13]。同时，永德 - 黑山地区牛喝塘组酸性火山岩大量存在，以及属于碱性和拉斑两个系

列的基性火山岩组成的双峰式火成岩套，具明显的大陆裂谷火成岩的特征，以及火山岩强不相容元素富集[14]的特征，表明该期火山岩形成于大陆板内裂谷环境。

需要说明的是，牛喝塘组火山岩与裂隙式喷发有着明显的差别。

6. 讨论

就保山地块晚三叠世火山岩的地质情况而言，其可能的成因如下：晚二叠世 - 早三叠世时期，由于昌宁 - 孟连洋盆闭合过程中大洋板块的俯冲、消减的拖拽作用可能导致了耿马、镇康一带岩石圈的拉张，由于强烈的区域性的地壳拉张作用，在地表形成了发育在碳酸盐岩台上的深水沉积；在深部则造成地幔物质的上涌，这些上涌的地幔物质由于减压而发生部分熔融，形成的熔体在上侵、喷发过程中又引起了由地幔物质直接派生的下地壳的低度部分熔融，形成的流纹岩岩浆中温度较高、活动性较强的部分与玄武岩浆一道喷出地表，形成了第一喷发旋回的玄武岩浆，构成了晚三叠世牛喝塘组第一岩浆喷发序列的“异源双峰式”火成岩套。而温度偏低、活动性较弱的部分则在稍后才发生侵位，侵位过程中各岩体的原始岩浆发生了程度不一的结晶分异，最终构成了木厂岩带的碱长花岗岩 - 碱长花岗斑岩 - 碱长流纹斑岩、杏仁状英安斑岩这样一个由浅成岩 - 超浅成岩组成的岩带(木厂岩带)。

区内晚三叠世岩浆岩(火成岩)组合为：双峰式火山岩和碱性花岗岩侵入体。据邓晋福(2007)《火成岩组合与构造环境：讨论》[15]，可知该期岩浆岩组合属大陆裂谷的火成岩组合。火山岩的地质、岩石组合、地球化学特征与南澜沧江三叠纪火山岩具有很大的相似性，均形成于陆内环境[16]，同时也存在一定的差异。此外，火山岩岩石构造组合属莫宣学(2001)划分的陆内拉张型组合[17]。迄今为止，在该区尚未发现大洋和海沟沉积物、蛇绿混杂和板块俯冲的其它证据(顾连兴，2000) [18]。因此，保山地块在三叠纪不是处于岛弧环境或大洋环境，而是处于一个以陆壳为基底的大陆裂谷。

1:5 万保山市幅、金鸡村幅等 8 幅区域地质调查中，在牛喝塘组下伏地层大水塘组和上覆地层南梳坝组中发现了大量的海相化石，据此推断该期火山岩并非是形成于陆相喷发环境，而是形成于大陆板内裂谷环境，这与其上覆的斜坡 - 盆地相的背景沉积环境是完全相称的。罗应等(2020)对保山地块黑牛凹金矿区晚三叠世基性侵入岩辉绿玢岩地球化学的研究，认为其形成的构造背景与区域内金厂河辉绿岩、核桃坪辉绿岩一致，均为板内拉张环境[19]，这对于牛喝塘组火山岩形成的构造环境是很好的佐证。

7. 结论

(1) 区内晚三叠世牛喝塘组火山岩高钛、富锆、贫磷，铈亏损，经少量及微量元素的构造环境判别，具大陆板内拉斑玄武岩的特征。

(2) 微量元素与原始地幔(Wood, 1979 和 Bouganlt, 1974)相比，亲石元素普遍富集，过渡族元素普遍亏损，强不相容元素较弱不相容元素富集，微量元素分布模式与板内裂谷环境碱性岩类相似。

(3) 稀土元素具有总量高(ΣREE 为 95.01~408.06)、轻稀土较富集，轻重稀土分馏显著，具明显的大陆裂谷火成岩的特征，以及火山岩强不相容元素富集的特征，表明该期火山岩形成于大陆板内裂谷环境。

致 谢

在成文过程中，对云南省地质调查院李静教授级高级工程师、冯文杰高级工程师、云南省地矿局张志斌教授级高级工程师提供的帮助，对编辑老师及审稿人的辛苦付出，在此表示衷心的感谢！

基金项目

中国地质调查局项目(云南区域地质调查片区总结与服务产品开发，NO. 121201102000150012-02)，云南省自然资源厅地勘基金项目(云南 1:5 万曼各、小街、曼班、大勐龙、万纳兰、勐宋坝六幅区域地质

调查, NO. D2017014)。

参考文献

- [1] 王焰, 钱青, 刘良, 等. 不同构造环境中双峰式火山岩的主要特征[J]. 岩石学报, 2000, 16(2): 169-173.
- [2] 钱青, 王焰. 不同构造环境中双峰式火山岩的地球化学特征[J]. 地质地球化学, 1999, 27(4): 29-32.
- [3] 温利刚, 曾普胜, 代艳娟, 等. 云南主要双峰式火山岩及相关矿产资源[J]. 地质学报, 2017, 91(11): 2493-2520.
- [4] 巩满福. 保山地区晚石炭世火山岩及其构造环境[J]. 成都地质学院学报, 1990, 17(2): 26-36.
- [5] 云南省地质调查院. 1:5 万金鸡村、瓦窑、保山县、板桥街、杉阳、永平县、厂街、龙街幅区域地质调查报告[R]. 2011.
- [6] 云南省地质矿产局. 1:5 万色树坝幅、孟定街幅区域地质调查报告[R]. 2000.
- [7] 云南省地质矿产局. 1:5 万岩子头、勐汞幅、南伞幅、甘塘幅区域地质调查报告[R]. 1990.
- [8] 云南省地质调查院. 1:25 万滚龙幅(国内部分)、临沧县幅区域地质调查报告[R]. 2003.
- [9] 云南省地质调查院. 1:25 万大理幅、凤庆幅区域地质调查报告[R]. 2008.
- [10] 云南省地质矿产局. 1:20 万保山幅、凤庆幅区域地质调查报告[R]. 1980.
- [11] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [12] 张虎, 冯庆来, 曾文涛, 等. 滇西保山地区晚寒武世火山岩的发现及其构造意义[J]. 地质通报, 2015, 34(123): 2280-2291.
- [13] 金海龙, 张成立. 伊犁石炭纪裂谷的时空演化特征[J]. 西安工程学院学报, 1998, 20(2): 29-32.
- [14] 王银喜, 顾连兴, 张遵忠, 等. 博格达裂谷双峰式火山岩地质年代学与 Nd-Sr-Pb 同位素地球化学特征[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1215-1224.
- [15] 邓晋福, 肖庆辉, 苏尚国, 等. 火成岩组合与构造环境: 讨论[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3): 392-402.
- [16] 朱勤文. 滇西南澜沧江带云县三叠纪火山岩大地构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 1993(2): 134-143.
- [17] 莫宣学, 邓晋福, 董方浏, 等. 西南三江造山带火山岩——构造组合及其意义[J]. 高校地质学报, 2001, 7(2): 121-138.
- [18] 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 东天山博格达造山带石炭纪火山岩及其形成地质环境[J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 306-314.
- [19] 罗应, 卢映祥, 刘学龙, 等. 滇西保山地块黑牛凹金矿区辉绿玢岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 黄金科学技术, 2020, 28(1): 1-11.