

The Evolution of the Triassic Rift Basin in the Baoshan Block of Western Yunnan

Jiafeng Bao, Yunjiang Zhao, Donghu Song, Zaibo Sun, Xiong Mo, Kun Zhang

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

Received: Mar. 23rd, 2020; accepted: Apr. 3rd, 2020; published: Apr. 10th, 2020

Abstract

The rifts are typical geologic structural phenomena of the extensional tectonics during the geological period. The Triassic Rift Basin in the Baoshan Block had formed on the Permian neritic environment foundation because of tension that it had experienced the formation stage of extension and thinning (slope-basin)-the stage of mantle magma eruption (formation of the rift)-the stage of the rift aborting (slope-basin). During the evolution process of these three stages, the thickness of accumulations was about 6000 m in the rift center. The pull-apart of the rift valley had reached its peak in the late Triassic that it had formed the magma eruption of basic-acid-basic volcanic rocks of the Niuhetang Formation in the Upper Triassic series. The deposition of deep-sea turbidite plain is the main in the late period of the rift. It reflected the sedimentary base level was located below the carbonate compensation surface. In the process of formation-extinction of the rift valley, it was always accompanied by strong earthquake and it had formed large-scale seismites and slump accumulations. Although this was a die young rift valley, the auxetic calcareous turbidites in the rift generally contained a very strong smell of oil, bimodal volcanism and alkaline granite. These showed that they had the characteristics of continental intraplate rifting settings. Therefore, the study on the Yongde-Montenegro rift has significances for Sedimentology, Stratigraphy and Tectonics, and also has many aspects of significances for researching on the paleo-seism distribution, the relation between rift and Hydrocarbon, and the relationship with Changning-Menglian belt in the geological period.

Keywords

Rift, Mantle Magma Eruption, Slope-Basin, Triassic, Baoshan Block

滇西保山地块三叠纪裂谷盆地的演化

包佳凤, 赵云江, 宋冬虎, 孙载波, 莫雄, 张坤

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

摘要

裂谷是地质时期伸展构造的典型地质构造现象。保山地块三叠纪裂谷是在二叠纪浅海环境基础上拉伸发展形成的裂谷，经历了拉伸变薄(斜坡-盆地)形成阶段-地幔岩浆喷发(裂谷形成)阶段-(斜坡-盆地)裂谷夭折阶段，在这三个阶段的演化过程中，裂谷中心(永德-黑山)堆积物厚约6000 m。裂谷在三叠纪晚期拉张达到了顶峰，形成了三叠系上统牛喝塘组基性-酸性-基性火山岩浆的喷发。在裂谷的后期，以深海浊积平原沉积为主，反映出沉积基准面位于碳酸盐补偿面之下。在裂谷的形成-消亡过程中，始终伴随着强烈的地震，并形成了大规模的震积岩和滑塌堆积。尽管这是一个夭折的裂谷，但裂谷中发育的钙质浊积岩普遍含有浓烈的(煤)油气味和双峰式火山岩、碱性花岗岩，具大陆板内裂谷环境的特征。因此，研究(永德-黑山)裂谷不仅具有沉积学、地层学、大地构造学的意义，更具有研究地史时期的古地震分布、裂谷与油气的联系、及其与昌宁-孟连带的联系等多方面的意义。

关键词

裂谷，地幔岩浆喷发，斜坡-盆地，三叠纪，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

地堑与裂谷在以往的定义中都是典型的伸展构造，马杏垣概括了(E. Suess)地堑的涵义，简意是指其两侧为伸展构造所限制，中夹楔形下陷岩块的长条带状构造沉降带，槽内为碎屑岩或火山沉积物所充填[1]。对于裂谷的理解，首先摒弃了英、俄文献中有时裂谷和区域规模的地堑是同义语，进一步定义裂谷是专指那些影响深、延展长的区域伸展构造。因此地堑一词，可用于更小型的构造，可作为裂谷中的小型-微观构造。

前人研究对于保山地块三叠纪的沉积环境的认识分歧较大，一种观点认为属浅海环境，另一种观点认为属海槽环境，本文认为其为大陆板内裂谷环境。滇西保山地块三叠纪裂谷(以下称永德-黑山裂谷)是解释地堑与裂谷关系的典型实例。笔者在三叠系上统大水塘组中发现了典型的微地堑地质现象：三叠系上统大水塘组主体为一套钙质浊积岩，该组岩石普遍叠加了同期地震记录，最明显的特征是微同沉积断层非常发育，呈阶梯状分布，明显有两组以上的产状，形成了微地堑与微地垒相间的伸展构造现象，这种微地堑与微地垒相间的构造局部还是透入性的，其间隔不过 1~10 cm，乃至于在露头尺度或手标本尺度都能见到[2]。这种现象和特征表明，地堑与裂谷在成因力学性质和剖面表现形式上是相似的，都是引张作用的结果，但在规模和产出规律方面有着本质的差别。另一方面，作用于裂谷的张力可以影响于整个地壳或岩石圈[1]，因此，在裂谷中有地幔岩浆的喷发记录，裂谷由于自身的规模大，常常发育有斜坡和深海浊积平原，地堑则没有这些方面的意义，可以说这是两个完全不同的概念。马杏垣进一步将伸展构造划分为 8 种类型：地堑、裂谷、半地堑、盆岭构造、大型裂谷盆地、深断槽、滑脱断裂和韧性流动带、岩墙群[1]，宏观地描述了各自类型的特征。

2. 区域地质背景

永德 - 黑山裂谷处于保山地块(图 1), 区域上保山地块属保山微陆块, 北东以崇山断裂为界, 西以怒江断裂东支为界, 南东 - 东以柯街 - 孟定断裂为界, 南西延入缅甸境内。平面上大致呈破坏后的两个菱形块体, 其中永德 - 更戛菱形块体, 呈北东 - 南西向展布, 保山 - 六库块体呈近南北向展布。永德 - 黑山裂谷处于保山微陆块中的保山 - 永德地块(通常称保山地块)。

保山地块作为东特提斯域的重要组成部分, 长期以来, 其大地构造格局、构造环境和对全球特提斯演化的意义一直是众多学者关注的热点, 陈福坤等(2005)认为保山地块在三叠纪时期处于东部古特提斯主洋盆即昌宁 - 孟连古特提斯洋闭合时的前陆部位[3]。传统的观点认为保山地块三叠系为稳定沉积, 尽管在其中发现了钙质浊积岩[4] [5] [6] [7] (1:5 万勐永等幅区域地质调查成果认为是深水沉积^①)、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。

1:25 万临沧县幅、大理市幅及 1:20 万凤庆幅、保山幅的总结性成果中, 认为三叠系中下统喜鹊林组、上统大水塘组、南梳坝组是浅海环境, 而牛喝塘组(T_3nh)双峰式火山岩是陆相喷发环境^{②-④}, 这样的结论与本次工作中在牛喝塘组下伏地层大水塘组(T_3d)和上覆地层南梳坝组(T_3n)中发现的大量海相化石相矛盾, 并且不能解释大水塘组中发育的大规模震积岩、南梳坝组中大规模的滑塌堆积等现象。

通过 1:5 万保山市幅、金鸡村幅等 8 幅区域地质调查, 首次在保山地区三叠系上统大水塘组中发现了典型的微地堑地质现象和大规模的震积岩[2], 并结合原 1:5 万孟定街幅、1:20 万保山幅、凤庆幅和 1:25 万大理市幅、临沧县幅区域地质调查成果、云南省成矿地质背景研究课题等资料中永德地区三叠系上统牛喝塘组地幔岩浆喷发记录^{②-④}的综合分析, 将保山地块上三叠统中发现的钙质浊积岩、双峰式火山岩、碱性花岗岩等重要的地质现象作为有成因联系的现象来进行分析, 认为永德 - 黑山地区在三叠纪时期处于地壳强烈拉张下陷的大陆裂谷环境。

本文认为永德 - 黑山裂谷的物质组成包括: 1) 三叠系中下统喜鹊林组主要为一套斜坡沉积, 厚约 700 m; 2) 三叠系上统大水塘组钙质浊积岩与硅质沉积, 厚 600~1200 m, 沉积环境为斜坡 - 盆地相; 3) 三叠系上统牛喝塘组基性 + 酸性 + 基性双峰式火山岩及同期碱性花岗岩类侵入体, 火山岩厚近 1400 m; 4) 三叠系上统南梳坝组的碎屑浊积岩和湾甸坝组的碎屑沉积, 分别厚 1400~1600 m、2000 m, 累积厚度达 6100 m 以上。研究区与裂谷同期的构造现象主要有: 1) 大水塘组为斜坡 - 盆地相沉积, 发育钙质浊积岩及大规模的震积岩; 2) 南梳坝组中发育的复理石沉积表现出具有斜坡 - 盆地相的沉积特征, 其中发现了斜坡环境下的大规模的滑塌(带)堆积、等深流沉积和深海浊积平原沉积, 滑塌(带)堆积中部分反映出震积岩的特征。尽管我们不能精确计算拉张的强度, 但可以估计其沉降幅度(大于 6100 米), 南梳坝组主体为一套复理石韵律, 韵律厚一般 1~4 cm, 显示深海浊积平原沉积特点, 其沉积基准面位于碳酸盐补偿面之下。

保山地块属冈瓦纳古陆的东缘、古特提斯洋(昌宁 - 孟连洋盆)的西侧。作为古特提斯域的重要组成部分, 虽然没有古特提斯演化、发展历史的完整记录, 但是从一个侧面记录了古特提斯构造域的演化和发展。区内的地壳发展大致可划分为泥盆纪 - 石炭纪的洋盆演化阶段(泥盆纪继承性扩张阶段、石炭纪 - 二叠纪洋盆扩张阶段)、二叠纪 - 早三叠世俯冲消减阶段、中三叠世 - 晚三叠世碰撞造山阶段、晚三叠世 - 早侏罗世盆山转换阶段、内陆盆地的形成阶段、古近纪 - 新近纪陆内造山阶段以及第四纪抬升阶段, 区内岩浆活动与这几个大的地壳演化阶段有着密切的关系。

从目前所获资料分析, 保山地块在晚古生代尚属于构造稳定区, 而非活动带(巩满福, 1990) [8]。区内早泥盆世仍保持了滨海 - 浅海陆棚相沉积, 中 - 晚泥盆世, 发育台地碳酸盐岩, 生物繁盛, 具开阔碳酸盐岩台地的特征; 区域上保山地块缺失早石炭世晚期至晚石炭世早期的沉积, 说明在经历了高水位时

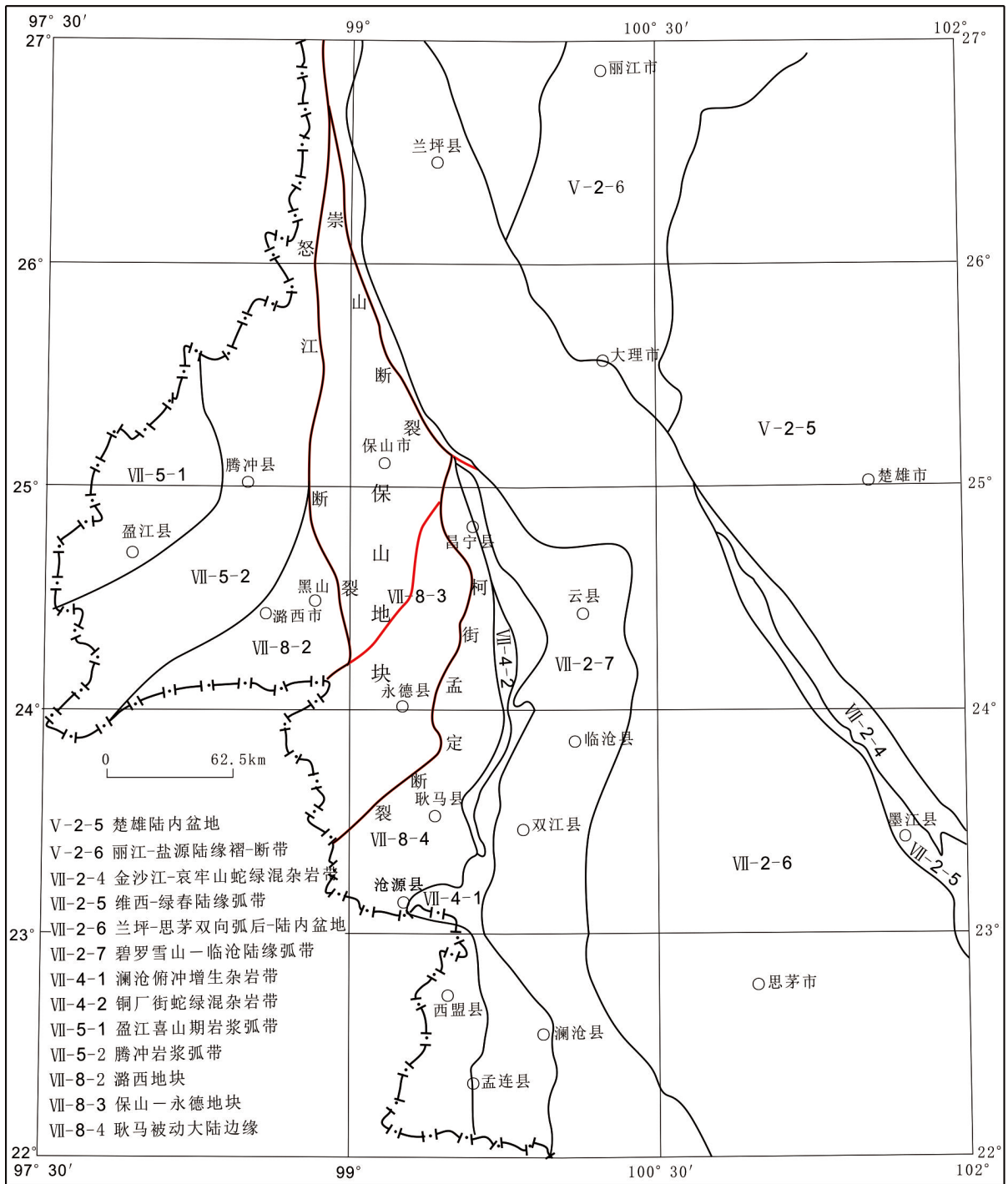


Figure 1. Division map of tectonic units in western Yunnan
 图 1. 滇西大地构造单元划分图(据云南省大地构造位置图)

期后,保山地块曾普遍遭受剥蚀[9];自晚石炭世-早二叠世的火山活动是大陆边缘继续拉张的具体表现,其岩浆源与地幔柱有关,玄武岩浆在上升过程中可能与陆源物质发生过混染,有的地方可见丁家寨组底部的砂砾岩平行不整合于早泥盆世页岩之上,砂砾岩具冲积沉积的特征;中二叠世-晚二叠世,保山地块发生海退,出现局限台地碳酸盐岩沉积;早三叠世,保山地块发生海进事件,滨海陆屑滩相-碳酸盐

岩台地相沉积,反映出水体逐渐变浅的高水位体系域的沉积特征[9],随即海水又大范围退出,使碳酸盐岩台地遭受侵蚀形成铁铝质风化壳;晚三叠世卡尼期,陆壳一度拉开,具双峰式火山岩特征的基性-酸性-基性火山岩直接喷发于中三叠世风化壳之上;卡尼-诺利期,海水又一次进来,海侵体系沉积物平行不整合覆盖于火山岩之上,或超覆于下-中三叠统喜鹊林组之上,随着海侵的继续,位置较高处的火山岩也被诺利期碎屑岩覆盖。

晚三叠世末期,造山活动进入松弛时期,曾发生伸展垮塌的剥离作用;早侏罗世晚期,持续缓和的拉张作用代替了剧烈的裂陷作用,火山活动也逐渐平息,本区进入比较稳定的沉积时期[10];中-始新世,在挤压作用的控制下,南汀河断裂以北的保山地块由西向东逆冲运动,其南侧发育由东向西运动的逆冲推覆构造,南汀河断裂表现出右行走滑特征;上新世末期,逆冲推覆构造发生对冲作用,南汀河断裂以北发生由东向西运动的逆冲推覆构造,以南发生由西向东运动的逆冲推覆构造,南汀河断裂表现为左行走滑运动;古近纪-新近纪陆内造山阶段以后,又进入了一个新的抬升时期,新构造运动表现出区域性地壳阶段性抬升、重力滑动构造和地震活动等现象。

3. 三叠纪地层及沉积建造序列

保山地块位于藏滇地层大区保山地层分区的施甸地层小区(图 2),区内晚古生代和中生代地层出露较全,仅缺失早侏罗和晚侏罗世的沉积。1:25 万大理市幅区域地质调查将 1:20 万保山幅区域地质调查所划河湾街组解体为中-上二叠统沙子坡组、下-中三叠统喜鹊林组^⑤,1:5 万保山市幅、金鸡村幅等 8 幅区域地质调查沿用 1:25 万大理市幅区域地质调查的划分方法^⑥。本文认为永德-黑山裂谷存在二叠系中-上统沙子坡组灰岩基底、三叠系下-中统喜鹊林组白云岩、三叠系上统大水塘组钙质浊积岩、三叠系上统牛喝塘组双峰式火山岩、三叠系上统南梳坝组碎屑岩和湾甸坝组岩屑砂岩、粉砂岩和泥岩。研究区内三叠纪地层与其西侧(潞西地块)和东侧(耿马被动大陆边缘)有着明显的区别(图 3)。

3.1. 三叠纪地层

1) 沙子坡组:主要分布于永德县勐弄、空送寨、武家寨、巴尾、明信坝,镇康县黑河、观音山、甘塘、山头寨、白沙水、柴马坡、马鞍山,保山市大尖山、水寨、丙麻街、新寨、老南窝等地。以灰色中厚层状泥晶灰岩整合覆于丙麻组紫色粉砂质泥岩之上,或平行不整合覆于卧牛寺组玄武岩之上,厚 277.39~787.6 m。底部为浅灰、灰色中厚层状泥晶灰岩、生物碎屑粉晶灰岩,厚 1.66 m;中上部为灰白色粉晶白云岩,厚 > 275.73 m。产蜓、有孔虫、腕足类、珊瑚、双壳类、腹足类、藻类、海百合茎等化石。底部主要由泥晶灰岩与生物碎屑灰岩构成,属退积型结构;中上部主要由白云岩构成非旋回性的基本层序,向上层理变厚,属进积型结构。

2) 喜鹊林组:分布于保山市金鸡乡大尖山、榆木箐、喜鹊林、小桥、大水井、里寨等地,岩性主要为灰、浅灰色白云岩、角砾状白云岩、白云质灰岩、角砾状白云质灰岩、硅质团块白云质灰岩夹少量薄层状硅质灰岩、硅质岩,厚约 700 m。其沉积环境为斜坡相,与下伏二叠系中-上统沙子坡组呈不整合接触。在大尖山、阿孔田剖面上获以下牙形石带(或带重要分子): *Hindeodus parvus* 带, *Isarcicella isarcica* 带和 *Neospathodus dirneri* 带。

3) 大水塘组:主要出露于 1:5 万板桥幅、金鸡村幅,多与喜鹊林组相伴出现,以中-厚层状灰岩、白云质灰岩为主,整合覆于喜鹊林组之上,与上覆南梳坝组平行不整合接触,厚 600~1200 m。岩石组合特征为灰色泥晶灰岩、砾屑灰岩、颗粒泥晶灰岩,顶底见角砾状灰岩、白云质灰岩,有些泥晶灰岩中夹有硅质条带,总体为一套钙质浊积岩,并在其中发现了大量的震积岩。该组灰岩普遍含有有机质,敲击发出油臭味,可能是较好的烃原岩,同时其顶部发育有大量的同沉积褶皱。

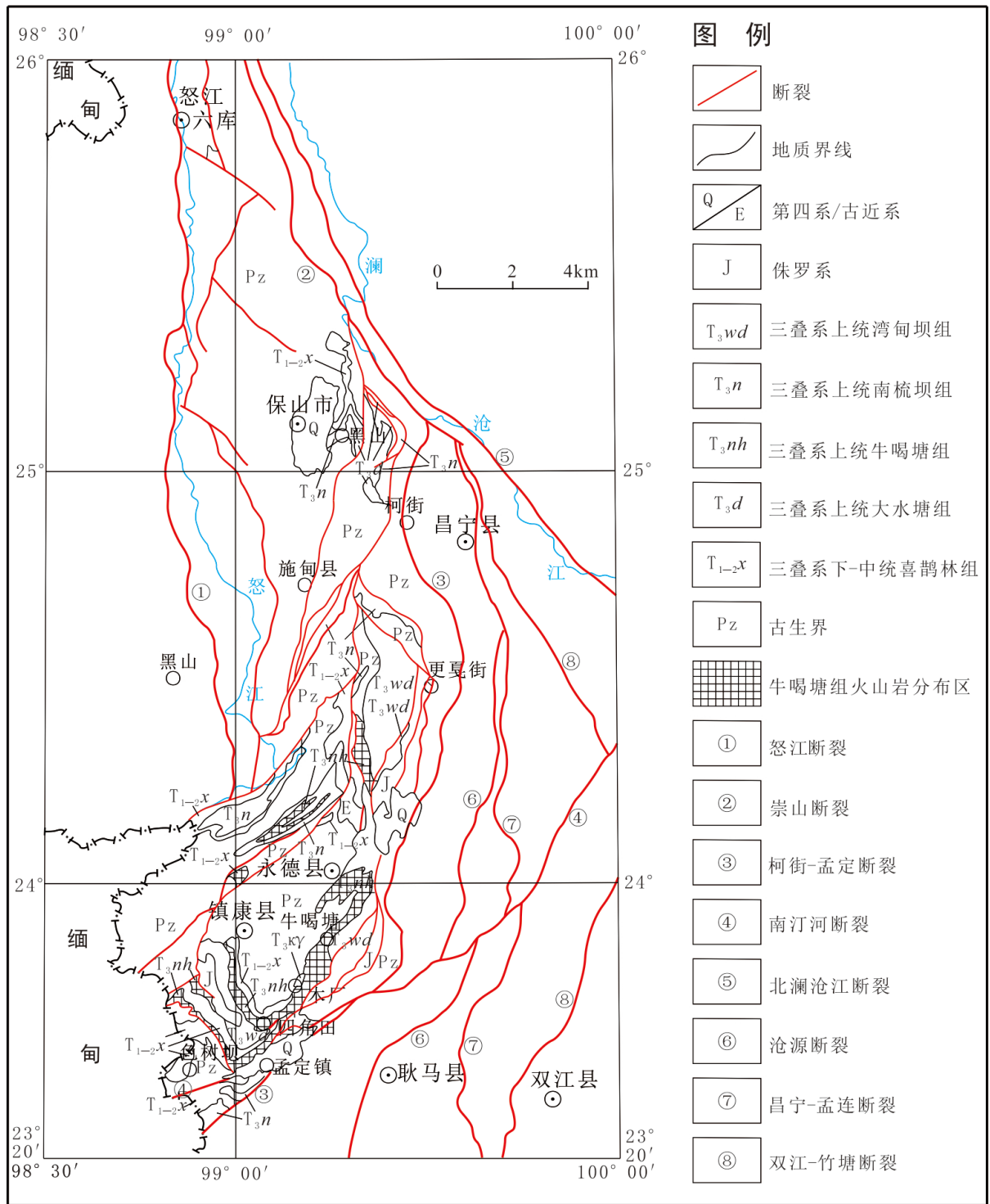
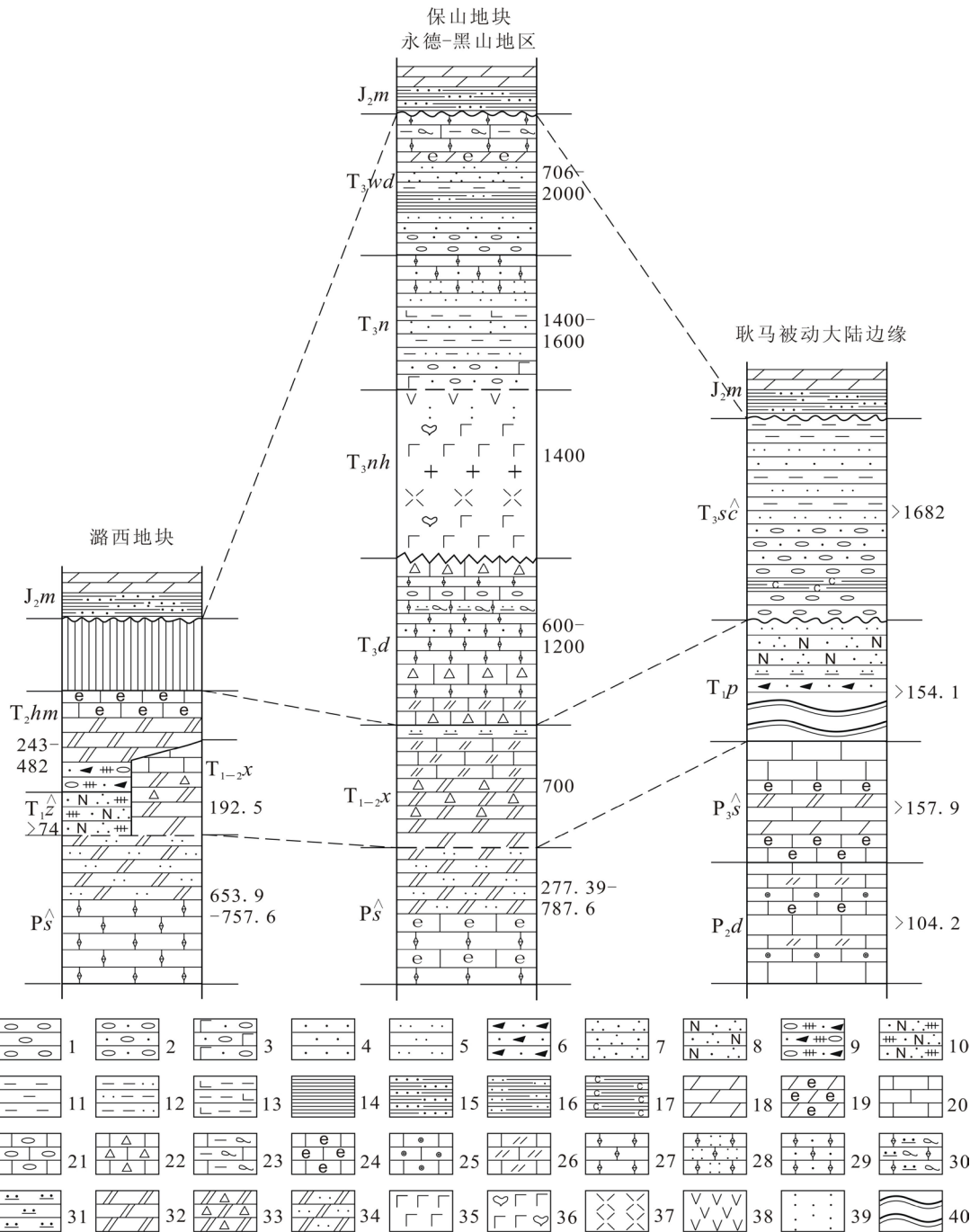


Figure 2. Geological map of Triassic in Baoshan Block
 图 2. 保山地块三叠系区域地质简图

从下至上发育有以下基本层序：1) 角砾状白云质灰岩→中层状泥晶灰岩；2) 厚层状角砾状灰岩、薄-中层状泥晶灰岩；3) 薄-中层状泥晶灰岩-中层状颗粒泥晶灰岩；4) 薄层状泥晶灰岩→含灰黑色硅质条带泥晶灰岩；5) 薄层状-中层状砾屑灰岩→薄层状泥晶灰岩。泥晶灰岩中见较多水平层理和水平纹层，

有些水平纹层呈缓坡状。该组中见较多海百合、双壳类、腕足类等化石。该组沉积较快，生物较丰富，含有较多硅质条带，应为斜坡-盆地相沉积。



1-砾岩；2-砂砾岩；3-玄武质砂砾岩；4-砂岩；5-粉砂岩；6-岩屑砂岩；7-细粒石英砂岩；8-长石石英砂岩；9-含砾岩屑杂砂岩；10-长石石英杂砂岩；11-泥岩；12-粉砂质泥岩；13-钙质泥岩；14-页岩；15-砂质页岩；16-粉砂质页岩；17-炭质页岩；18-泥灰岩；19-含生物屑泥灰岩；20-灰岩；21-砾屑灰岩；22-角砾状灰岩；23-含泥质条带灰岩；24-含生物碎屑灰岩；25-鲕粒灰岩；26-白云质灰岩；27-泥晶灰岩；28-含火山碎屑泥晶灰岩；29-颗粒泥晶灰岩；30-含硅质条带泥晶灰岩；31-硅质岩；32-白云岩；33-角砾状白云岩；34-粉晶白云岩；35-致密状玄武岩；36-杏仁状玄武岩；37-流纹岩；38-安山岩；39-凝灰岩；40-板岩

Figure 3. The triassic stratigraphic histogram of the Yongde-Heishan area and its east-west sides
图 3. 永德 - 黑山地区与其东西两侧三叠系地层柱状对比图

4) 牛喝塘组: 该组火山岩在永德地区分布较广, 在四角田一带出露较全, 在保山金鸡地区则缺失, 其下部以致密状、杏仁状玄武岩为主夹少量凝灰岩; 中部以流纹岩、酸性斑岩为主夹玄武岩、安山岩; 上部以致密状玄武岩、杏仁状玄武岩、安山岩为主夹凝灰岩。在其沉积岩夹层中也未采获任何有意义的化石, 但本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, 故其时代应为晚三叠世早期。

本期火山岩喷发顺序为基性→酸性→基性→中、基性, 与正常的岩浆喷发顺序不太相符, 而与滇西腾冲新生代火山岩的喷发顺序十分相似。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。

5) 南梳坝组: 主要出露于保山坝子、金鸡乡团山、河图镇、丙麻乡一带, 耿马芦稿坝、南捧河和镇康县老抗寨、三路坝等地。以云南省保山市河图镇黑山三叠系上统南梳坝组(T_3n)实测剖面(图略)为代表, 底部为紫色、黄绿色玄武质砂砾岩; 该套地层中基本层序不易识别; 下部以灰黄、灰绿色中-薄层状粉砂质泥岩、泥岩、凝灰质细砂岩、粉砂岩夹钙质泥岩为主, 产双壳类、腕足类、腹足类、有孔虫、海百合茎、虫管迹、珊瑚等; 上部为深灰-灰黑色薄-中厚层骨屑泥晶灰岩、含火山碎屑泥晶灰岩、砂屑泥晶灰岩。总体为一套碎屑岩, 其与下伏牛喝塘组(T_3nh)火山岩为平行不整合接触, 该组厚度变化较大, 区域上厚 1400~1600 m。

6) 湾甸坝组: 分布于永德县蛇腰山、横山、木瓜寨、大明山、忙海; 镇康县田坝寨、硝塘、南林田、南片河等地。以镇康县竹林头剖面(略)为代表, 下部由紫红色砾岩、砂砾岩、砂岩、粉砂岩、页岩组成基本层序旋回, 层序厚为 0.8~1.5 m, 其显示了一种向上粒度变细的退积型基本层序特征; 以含玄武质、凝灰质岩屑为特征; 平行不整合覆于牛喝塘组火山岩之上, 厚 231.7 m。

中部为黑、灰白、灰黄色薄层状粉砂质页岩、泥岩、细粒石英砂岩、粉砂岩及含生物碎屑泥灰岩组成基本层序旋回, 层序厚为 0.5~1 m, 发育水平层理, 显示了加积层序特征, 以含丰富的双壳类化石及少量云母片为特征。含双壳类、腹足类, 厚 331.8 m。

上部主要以褐灰、灰黄、灰黑色薄至中层状夹少量厚层状泥晶灰岩, 含泥质条带灰岩为主, 次为细粒石英砂岩、石英粉砂岩、粉砂质页岩、页岩组成基本层序旋回。自下而上整理出的基本层序有页岩→纹层状粉砂质页岩, 薄层状粉砂岩→中层状细粒石英砂岩, 薄层状-条带状含泥质条带灰岩→中(薄)层状泥晶灰岩夹薄层状粉砂质页岩, 层序厚 1~3 m。显示一种向上层理变厚、粒度变粗的进积型层序特征, 厚 > 199.2 m。

3.2. 三叠纪火山-沉积建造序列

三叠纪永德-黑山裂谷是以中-上二叠统沙子坡组灰岩为基底, 是前裂谷期的沉积, 以有孔虫灰岩、鲕粒灰岩为主, 属盐度正常的温暖的浅海环境, 此时裂谷尚未形成; 三叠系下-中统喜鹊林组主要为白云岩、白云质灰岩、灰岩、硅质岩, 显示斜坡相沉积环境的特征; 三叠系上统大水塘组主体为一套钙质浊积岩, 并在其中发现了大量的震积岩, 显示斜坡-盆地相沉积的特征, 该组岩石普遍叠加了同期地震记录, 最明显的特征是微同沉积断层非常发育, 呈阶梯状分布, 明显有两组以上的产状, 形成了微地堑与微地垒相间的伸展构造现象[2], 表明区内处于强烈拉张的构造背景下; 随着区域性拉张作用的继续, 地幔物质的上涌, 形成了三叠系上统牛喝塘组基性-酸性-基性火山岩浆的喷发, 主要为拉斑玄武岩、流纹岩。火山-沉积建造说明该期火山岩是形成于板内裂谷环境, 此时裂谷已经形成; 三叠系上统南梳坝组中的碎屑浊积岩、复理石沉积和湾甸坝组的碎屑沉积主要为碎屑岩建造, 显示斜坡-盆地相沉积的特征。

为进一步说明永德 - 黑山地区三叠纪地层形成于区域伸展构造 - 裂谷环境, 本文根据永德 - 黑山地区三叠纪地层及其与东西两侧三叠系地层柱状对比图(图 3), 将永德 - 黑山裂谷带中 - 晚二叠世、三叠纪火山 - 沉积建造序列(表 1)与永德 - 黑山裂谷带西侧(潞西地块)中 - 晚二叠世、三叠纪地层沉积建造序列(表 2)和永德 - 黑山裂谷带东侧(耿马被动大陆边缘)中 - 晚二叠世、三叠纪地层沉积建造序列(表 3)进行对比:

由此可见, 二叠纪时裂谷区两侧同时代地层发育及沉积建造相似, 尚未出现明显的构造分异, 说明二叠纪时永德 - 黑山裂谷尚未形成, 沙子坡组属前裂谷期的沉积, 是裂谷的基底构造层。至三叠纪时, 裂谷区两侧同时代地层发育及沉积建造明显差异, 出现了明显的构造分异, 说明三叠纪时永德 - 黑山地区处于区域伸展构造 - 裂谷环境。

Table 1. The sequence and geological records of the volcanos-sedimentary formation in the middle-late Permian and Triassic in the Yongde-Heishan rift belt

表 1. 永德-黑山裂谷带中-晚二叠世、三叠纪火山 - 沉积建造序列及地质记录

系 统	组	厚度(m)	火山 - 沉积建造类型	沉积相	大地构造环境	裂谷演化阶段及地质记录
三叠系	湾甸坝组	706~2000	砂砾岩、粉砂岩、泥岩建造	陆源碎屑建造 斜坡 - 盆地相	大陆克拉通盆地	裂谷消亡阶段 快速沉积
	南梳坝组	1400~1600	砂砾岩、粉砂岩、泥岩建造			
	上统 牛喝塘组	1400	拉斑玄武岩建造	基性火山岩建造	陆内裂谷	裂谷形成阶段 火山喷发活动
	中统 大水塘组	600~1200	灰岩、白云质灰岩、浊积岩建造	浊积岩 - 复理石建造		
	中统 喜鹊林组	700	白云质灰岩、硅质灰岩、硅质岩建造	碳酸盐岩建造	斜坡相	大陆克拉通盆地
二叠系 上统 沙子坡组	277.39~787.6	灰岩、白云质灰岩建造	构造基底	浅海台地相		前裂谷期

Table 2. The middle-late Permian and Triassic sedimentary sequences at the west side of the Yongde-Heishan rift belt

表 2. 永德 - 黑山裂谷带西侧(潞西地块)中 - 晚二叠世、三叠纪沉积建造序列

系 统	组	厚度(m)	沉积建造类型	沉积相	大地构造环境
三叠系	上统		缺失		
中统	伙马组	243~482	白云岩、灰岩、含砾杂砂岩建造	盆地相 台地相	浅海陆棚盆地
	喜鹊林组	192.5	白云质灰岩、白云岩建造		
下统	扎多组	>74	石英杂砂岩、粉砂质泥岩建造		
二叠系	上统 沙子坡组	653.9~757.6	灰岩、白云质灰岩建造	浅海台地相	浅海陆棚盆地

Table 3. The middle-late Permian and Triassic sedimentary sequences on the east side of the Yongde-Heishan fault belt (Gengma passive continental margin)

表 3. 永德 - 黑山裂谷带东侧(耿马被动大陆边缘)中 - 晚二叠世、三叠纪沉积建造序列

系 统	组	厚度(m)	沉积建造类型	沉积相	大地构造环境
三叠系	上统 三岔河组	>1682	泥岩、粉砂岩、砾岩、砂砾岩建造	河湖相 - 河湖沼泽相	山间磨拉石盆地沉积
	中统		缺失		
	下统 怕拍组	>154.1	粘板岩、放射虫硅质岩、长石石英砂岩建造	浅海边缘 - 盆地相	台沟沉积
二叠系	上统 石佛洞组	>157.9	灰岩、白云岩、泥灰岩建造	浅海台地相	海山碳酸岩台地
	中统 大名山组	>104.2	灰岩、鲕状灰岩、白云质灰岩建造		

4. 三叠纪永德 - 黑山裂谷的演化

滇西永德 - 黑山裂谷是在保山地块中 - 上二叠统浅海环境基础上拉伸发展形成的裂谷, 大致沿平行于边界断裂——崇山断裂、怒江断裂、柯街 - 孟定断裂发育(图 2), 东西宽约 25~60 km, 南北长约 200 km (国内部分), 平面上大致呈近南北向带状展布。大陆裂谷的主要特征为: 1) 里面充填着碱性玄武岩或双峰式火山杂岩, 这是大陆裂谷最显著的特征; 2) 火山作用频繁, 火山岩以碱性玄武岩和拉斑玄武岩为主, 且存在大量的酸性岩, 在火山喷发的过程中, 常常伴随着强烈的地震; 3) 沉积作用发育陆源碎屑盆地、斜坡相、斜坡 - 盆地相、河湖相的沉积。

火山 - 沉积建造表明, 永德 - 黑山裂谷的演化经过了中二叠世 - 晚三叠世的长期拉张, 经历了早 - 中三叠世的斜坡形成阶段、晚三叠世的盆地阶段、地幔岩浆喷发阶段 - 碎屑盆地消亡阶段。与其它的裂谷相比, 永德 - 黑山裂谷除发育双峰式火山岩之外, 还发育有大规模的震积岩和大规模的滑塌(带)堆积。保山地块的裂谷中心地区与永德地区和边缘的保山金鸡地区各阶段演化特征有一定的差别(图 4、图 5)。

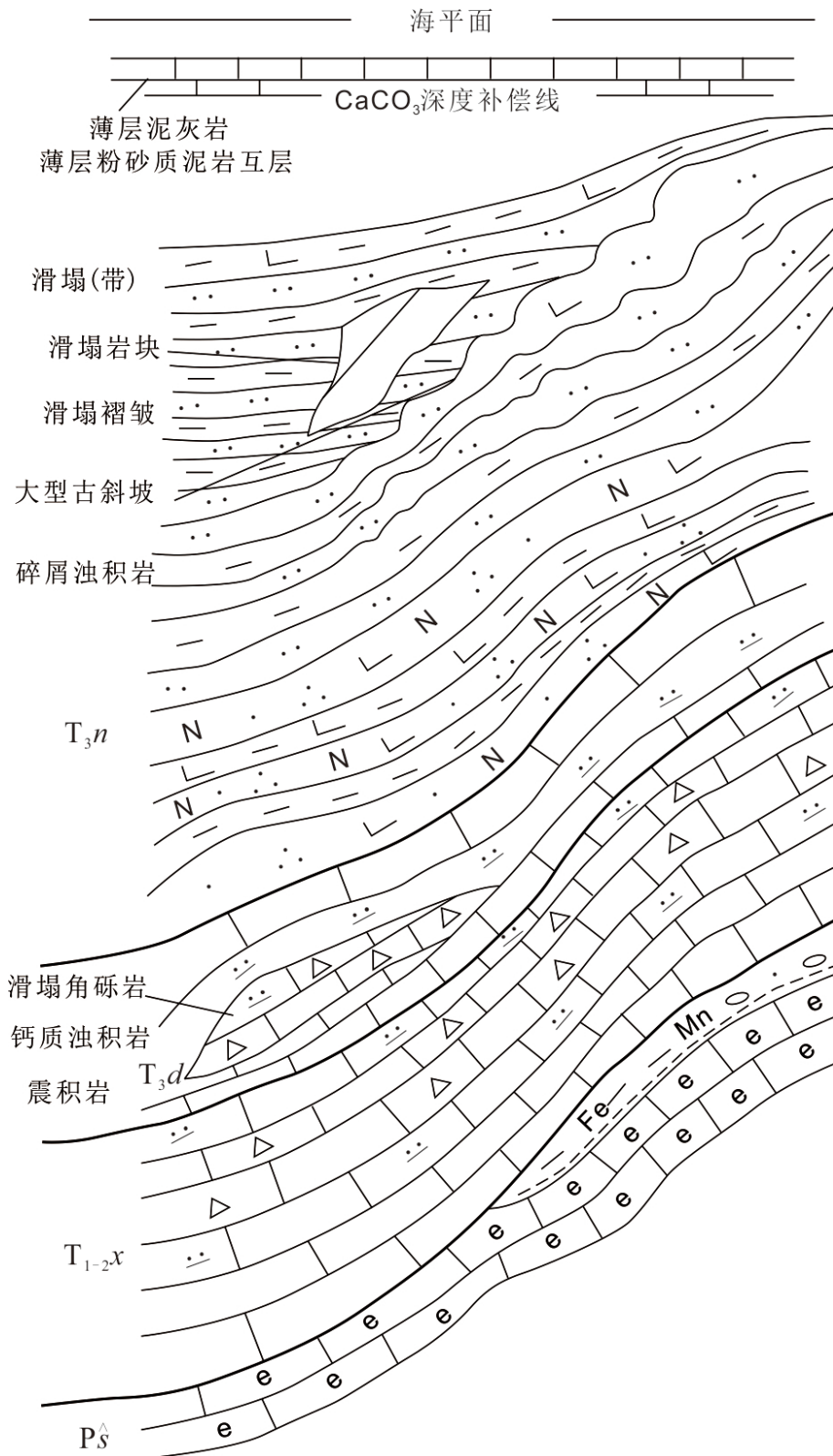
4.1. 前裂谷期

由火山 - 沉积建造可知, 二叠系中 - 上统沙子坡组主要为灰、浅灰色灰岩、泥晶灰岩、有孔虫灰岩、鲕粒灰岩、硅质灰岩, 总体以有孔虫灰岩、鲕粒灰岩为主, 有孔虫主要为个体小, 一般 2~5 mm, 部分有孔虫含量超过 50%, 属盐度正常的温暖的浅海环境。地层中出现 *Oldhamina-Leptodus*, *Sphaerulina-zisongzhengensis* 蜓组合带, *Shanita-Hemigordiopsis* 组合带、*Verbeekina* 带 *Chusenella-Yangchienia iniqua* 组合带, 表明其时限为中二叠世栖霞期 - 晚二叠世长兴期, 说明 P-T 之间的沉积是连续的。而且, 裂谷区两侧同时代地层发育及沉积建造相似, 尚未出现明显的构造分异, 说明二叠纪时永德 - 黑山裂谷尚未形成, 沙子坡组属前裂谷期的沉积, 是裂谷的基底构造层。

4.2. 裂谷发育初始(斜坡形成)时期

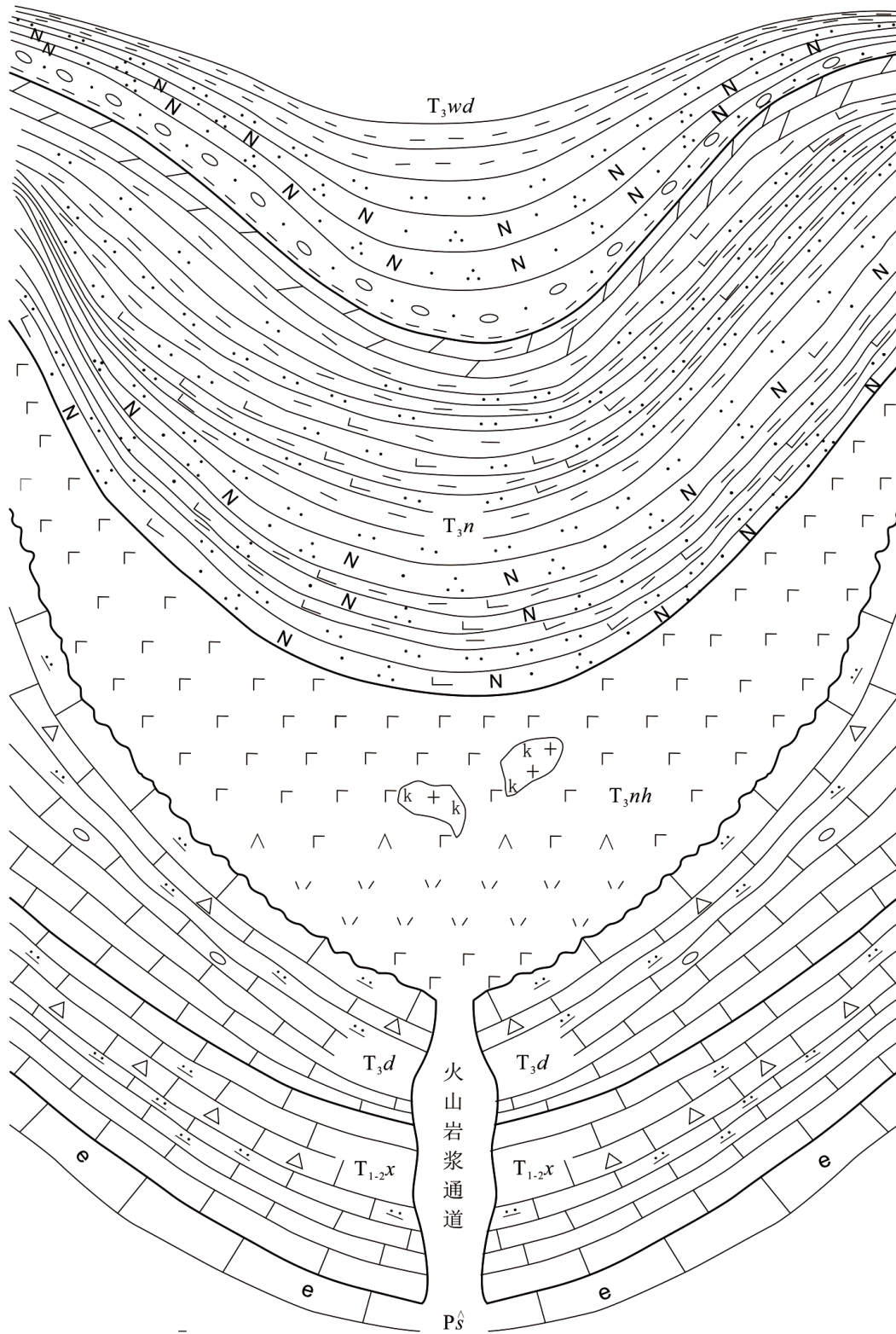
由(表 1、表 2、表 3, 图 3)可见, 早 - 中三叠世时, 裂谷区两侧同时代地层发育及沉积建造明显差异, 开始出现了明显的构造分异, 区内沉积环境由台地演变为斜坡, 同时由于 P-T 时期研究区东侧昌宁 - 孟连洋盆向东俯冲、消减的拖拽作用, 导致保山地块的地质体处于拉张环境。因此认为永德 - 黑山地区此时已处于裂谷发育初始时期的斜坡状态, 主要表现为喜鹊林组的沉积特征明显区别于裂谷区东西两侧同时代地层, 现以云南省保山市丙麻乡小桥三叠系下 - 中统喜鹊林组(T_{1-2x})实测剖面(图 6)为代表进行论述:

11) 浅灰色泥晶灰岩, 含浅灰色硅质团块、条带	41.08 m
————— 整合 —————	
上覆地层: 三叠系上统大水塘组(T _{3d})。	
10) 浅灰色厚层状角砾状白云岩	172.18 m
9) 浅灰色厚层状角砾状白云质灰岩夹灰白色含白云质细晶灰岩, 角砾状白云质灰岩单层厚	80-150 cm
	101.44 m
8) 浅灰色中厚层状角砾状白云岩夹硅质条带白云质灰岩, 角砾状白云岩单层厚 40~70 cm, 向上砾径增大, 硅质条带	74.33 m
7) 浅灰、灰白色中厚层状角砾状白云岩, 单层厚 40~90 cm, 局部砾径略有增大	117.97 m
6) 浅灰、灰白色厚层块状角砾状白云质灰岩, 单层厚 60~200 cm, 岩石类型向角砾状白云岩过渡, 向上砾径增大	109.81 m



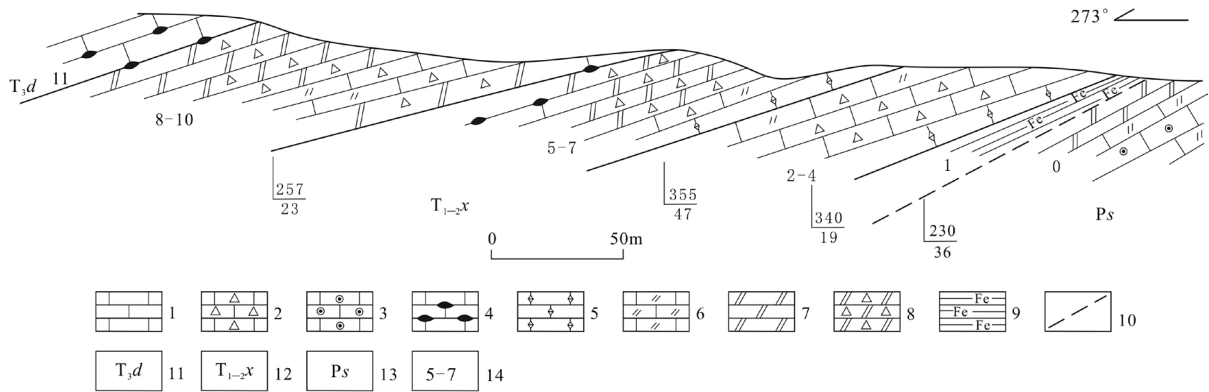
(据 1:5 万金鸡村幅区域地质调查资料)

Figure 4. The evolution of Triassic rift in Jinji district, Baoshan
图 4. 保山金鸡地区三叠纪裂谷演化示意图



(据 1:5 万色树坝幅、孟定街幅区域地质调查资料)

Figure 5. The evolution of Triassic Yongde rift in Yongde area
图 5. 永德地区三叠纪永德裂谷演化示意图



1-灰岩；2-角砾状灰岩；3-鲕状灰岩；4-含燧石结核灰岩；5-泥晶灰岩；6-白云质灰岩；7-白云岩；8-角砾状白云岩；9-铁质泥岩；10-平行不整合界线；11-三叠系上统大水塘组；12-三叠系下-中统喜鹊林组；13-二叠系中-上统沙子坡组；14-分层号

Figure 6. Field survey profile of the Lower-Middle Triassic Xiquelin Formation (T1-2x) in Bingma township of Baoshan city, Yunnan province

图 6. 云南省保山市丙麻乡小桥三叠系下-中统喜鹊林组(T1-2x)实测剖面图

- | | |
|--|---------|
| 5) 浅灰白色含白云质粉晶灰岩 | 43.04 m |
| 4) 浅灰、灰白色厚层状角砾状白云质灰岩，单层厚 60~120 cm，岩石类型向角砾状白云岩过渡 | 25.41 m |
| 3) 浅灰、灰白色厚层-块状角砾状灰岩，单层厚 90~220 cm，砾石向上变细 | 76.19 m |
| 2) 浅灰白色含白云质粉晶灰岩 | 29.15 m |
| 1) 紫红色页岩、铁质页岩、含砾铁质页岩，岩石形成厚仅 2~5 mm 纹层或薄层产出 | 32.72 m |

----- 平行不整合 -----

下伏地层：二叠系中-上统沙子坡组(Ps)。

0) 灰、浅灰色白云岩。

通过野外露头的观察及剖面的测制，确定三叠系下-中统喜鹊林组主要为灰、浅灰色白云岩、角砾状白云岩、白云质灰岩、角砾状白云质灰岩、硅质团块白云质灰岩夹少量薄层状硅质灰岩、硅质岩，厚约 700 m，其沉积环境为斜坡相，为一套碳酸盐岩沉积，与下覆二叠系中-上统沙子坡组呈不整合接触。除获少量牙形石外，未见大化石。

据 1:5 万色树坝幅、勐汞幅等幅及 1:25 万临沧县幅区域地质资料，耿马地区的三叠系下统拍拍组，从其岩性组合及沉积特征来看，沉积环境与大陆坡最为相近，底部与中二叠统大雪山组灰岩不整合接触，在浅水的碳酸盐岩之上出现大陆坡的碎屑岩叠置^{①②⑦}，说明可能在早三叠世耿马陆缘带经历了一次拉张过程。拉张开始于中-晚二叠世，在早-中三叠世时沉积环境开始向斜坡演变，最终形成发育有良好古斜坡的盆地，由于强烈的拉张下陷，导致保山金鸡地区的海水向永德方向发生“海退”，其时是永德裂谷中心地区海平面升高，可容纳沉积物的空间骤然增大，裂谷的边缘-保山金鸡地区可容纳沉积物的空间急剧减小，致使保山金鸡地区二叠系中-上统沙子坡组暴露地表，形成含铝土矿的风化壳。由于昌宁-孟连洋盆洋壳向东俯冲的拖拽作用，耿马晚古生代被动陆缘处于拉张环境，使晚古生代碳酸盐岩台地发生断陷，形成早-中三叠世具斜坡相浊流沉积特点的半深水沉积，并形成了三叠系下-中统喜鹊林组与二叠系中-上统沙子坡组之间的不整合接触，这与永德-黑山裂谷区沉积环境的演变是相称的。在裂谷区发现了 3 个牙形石带(表 4)。

Neospathodus dieneri 带见于大尖山剖面喜鹊林组一段下部，其中带分子在耿马地区巴尾剖面下三叠统相当层有见及，在以上所述及西藏珠峰地区及聂拉木县色龙西山地区的下三叠统下部也有发现。

Pachycladina 带见于大尖山剖面喜鹊林组底部，*Pachycladina* 厚齿耙刺一属的时限仅限于印度期(T₁)，

是特提斯海台地型相区 T₁ 的标准分子。该属的不同分子在云南东部华南地层区及四川、湖南相当于我国年代地层单位的巢湖阶相当地层均有见及。

Hindeodus parvus 带见于大尖山剖面喜鹊林组最底部, 这是下三叠统最底部的牙形石带。此带也在西藏珠峰地区聂拉木县的土隆村、色龙西山下三叠统最底部均有发现, *Hindeodus parvus* 的首现也是国际金钉子 P/T 界线的标准化石。

由此可见, 早 - 中三叠世为裂谷发育(斜坡形成)的初始时期。

4.3. 裂谷盆地形成(裂谷发育)时期

据 1:5 万色树坝幅、孟定街幅、岩子头幅等 7 幅区域地质资料, 在永德一带, 三叠纪晚期拉张达到了顶峰, 形成了三叠系上统牛喝塘组基性 - 酸性 - 基性火山岩浆的喷发, 裂谷发育到了鼎盛时期。该组火山岩的岩石类型主要为(本期火山岩浆喷发顺序)基性→酸性→基性→中、基性^{①⑦}, 与正常的岩浆喷发顺序不太相符, 而与滇西腾冲新生代火山岩的喷发顺序十分相似。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。

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。

三叠系上统牛喝塘组在永德地区最大厚度近 1400 m, 在保山金鸡地区(永德 - 黑山裂谷向北北东延伸的边缘部分)则缺失, 两地相距约 120 公里, 基于这种厚度的巨大变化, 我们可以得到以下认识或判断: 永德地区是拉张最强烈的地带, 同时也是最强烈下陷的地带, 并且成为拉张下陷形成的裂谷中心。

综合区域地质资料, 裂谷发育时期的地幔岩浆活动可能为: 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岩浆一道喷出地表, 形成了第一喷发旋回的玄武岩, 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。

由以上特征及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的大量海相化石, 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。

在保山金鸡一带处于裂谷边缘的地区, 未见有火山喷发活动的记录, 但见有大规模的震积岩和滑塌堆积[2]。在裂谷区发现了 5 个牙形石带(表 4)。

以上牙形石带资料说明, 裂谷发育(裂谷盆地形成)时期为三叠纪晚期。

4.4. 裂谷后期(斜坡) - 裂谷消亡时期

4.4.1. 南梳坝组斜坡 - 盆地沉积特征

牛喝塘组火山喷发停歇后, 顶部经过风化剥蚀, 晚三叠世进入南梳坝组海侵沉积的开始。赵云江等(2012)对保山地区南梳坝组进行了较为详细的研究, 认为其中发育: 1) 灰色厚层 - 块状钙质长石石英砂岩 - 灰黄色薄层状粉砂岩 - 泥(页)岩、灰黄色薄层状(钙质)粉砂岩 - 灰黄色薄层(粉砂质)泥(页)岩组成的浊积层序。钙质长石石英砂岩中发育槽模, 钙质粉砂岩中含细小炭化植物碎屑, (粉砂质)泥(页)岩中偶见水

平纹层[11]。2) 薄层状(钙质)粉砂岩 - 灰黄色薄层(粉砂质)泥(页)岩组成的韵律层理、粒序层理及同沉积向斜及滑塌面、滑塌褶皱(同斜紧闭褶皱、顶厚褶皱)、似包卷层理, 沉积环境为斜坡相。从槽模判断, 所指示的古流水方向是由南往北流, 韵律层理、粒序层理发育特点看, 主要为等深流、深海浊积的沉积特征[11]。3) 薄层状(钙质)粉砂岩 - 灰黄色薄层(粉砂质)泥(页)岩的韵律, 韵律厚 1~5 cm, 岩中见同沉积断层、同沉积向斜、滑塌面、同斜紧闭滑塌褶皱、顶厚滑塌褶皱、宽缓滑塌褶皱、翻卷滑塌褶皱、似包卷层理、尖棱状褶曲, 褶皱转折端呈圆弧状或不规则状, 沉积环境为盆地相。从沉积物粒度、韵律层理、粒序层理、滑塌褶皱发育特点看, 为深海浊积平原沉积, 其水体明显要深[11]。其中发育 3 个较大规模滑塌带, 规模一般 100 余 m, 就其空间位置, 和现代冲绳海槽的斜坡发育特点有相似性。在丙麻一带, 上部有较多薄层状泥晶灰岩夹层, 说明沉积环境位于碳酸盐深度补偿线之上[11]。

Table 4. The contrast table about the biological strata of slope formation period-rift basin formation period in rift area
表 4. 裂谷区斜坡形成(裂谷初始发育) - 裂谷盆地形成时期生物地层对比表

岩石地层	年代地层	斜坡形成时期牙形石带	裂谷盆地形成时期牙形石带
			<i>Epigondolella abneptis</i> 带
			<i>Epigondolella multidentata</i> 带
上统 大水塘组(T _{3d})	诺利阶		<i>Epigondolella postera</i> 带
			<i>Epigondolella bidentata</i> 带
三叠系	卡尼阶		<i>Budurovignathus? bieberi-Pseudo funishius</i> sp. A 动物群
中统			
	奥伦尼克阶	<i>Neospathodus dieneri</i> 带	
下统 喜鹊林组(Tx)		<i>Pachycladina</i> 带	
	印度阶	<i>Hindeodus parvus</i> 带	

4.4.2. 湾甸坝组斜坡 - 盆地沉积特征

晚三叠世卡尼期, 陆壳一度拉开, 具“双峰式火山岩”特征的基性 - 酸性 - 基性火山岩直接喷发于中三叠世风化壳之上。卡尼 - 诺利期, 海水又一次进来, 海侵体系沉积物平行不整合覆盖于火山岩之上。随着海侵的继续, 位置较高处的火山岩也被湾甸坝组大量的碎屑岩覆盖。

该组以紫红色的泥岩夹砂岩为特征, 平行不整合覆于牛喝塘组之上。湾甸坝组在研究区内沉积特征基本一致, 层理较薄, 韵律明显, 同时含有丰富的海相动物化石, 有的层位具有以水平管迹为主的生物遗迹。下部以具玄武质、凝灰质为特点的粗碎屑岩, 属海侵开始的沉积, 为海侵体系域(TST); 中部以薄层粉砂岩、粉砂质页岩及页岩为主, 为饥饿段沉积; 上部以泥质碳酸盐岩为主夹细碎屑岩, 为高水位体系域(HST)。因此, 湾甸坝组属浅海陆棚至台沟相至碳酸盐台地相及浅海陆棚相沉积。

综合上述沉积环境特征的分析, 表明至晚三叠世诺利期, 永德 - 黑山裂谷拉张结束, 即裂谷消亡。

5. 讨论及意义

永德 - 黑山裂谷是根据区域地质调查成果资料, 在综合分析研究成果的基础上提出的。本文论述了永德 - 黑山裂谷经历拉伸变薄斜坡形成 - 地幔岩浆喷发 - 斜坡 - 盆地形成三个阶段, 相当于拉张变薄 - 裂谷形成 - 裂谷消亡三个阶段。这和现今的很多大陆裂谷虽然有很多相似之处, 但是也存在一定的差异。

本区三叠纪双峰式基性火山岩 - 碱性花岗岩 - 钙质浊积岩 - 震积岩 - 古斜坡滑塌堆积 - 碳酸盐补偿线之下的深海碎屑浊积平原沉积等, 是有成因联系的地质体, 这个联系就是伸展构造。除文中提出的牛

喝塘组双峰式火山岩外, 碱性花岗岩侵入体也属永德 - 黑山裂谷的重要物质组成。

区内三叠纪火山岩(牛喝塘组)的地质、岩石组合、地球化学特征与昌宁 - 孟连洋盆东侧的南澜沧江三叠纪火山岩具有很大的相似性(板内火山岩); 昌宁 - 孟连洋盆东侧的临沧岩带中 - 晚三叠世二长花岗岩与其西侧的耿马大山岩带中 - 晚三叠世二长花岗岩在岩石类型、岩石地球化学特征等诸多方面也具有很大的相似性(火山弧——同碰撞花岗岩的特征), 同时也存在着有明显的差异。

在全球范围内, 古生代末 - 中、新生代裂谷含有重要的油气资源, 保山地块作为特提斯域的重要组成部分, 本身具有生储油气的良好环境[11], 永德 - 黑山裂谷是古生代末 - 中、新生代发育的裂谷, 并且保存完整。在大水塘组分布的区域范围内, 其深灰色的灰岩普遍具有浓烈的煤(汽)油味; 在永德地区, 其中还见有沥青脉分布, 对其进行深入的研究具有石油地质的意义。同时, 研究永德 - 黑山裂谷的演化, 对于更深入地研究保山地块与兰坪 - 思茅盆地的成因联系, 打下了一定的基础; 对于研究和讨论地史时期裂谷的成因、发育模式、裂谷的消亡也具有教学和科研的意义。

6. 结论

从二叠纪地史时期开始, 随着昌宁 - 孟连洋盆向东的俯冲、消减, 俯冲板片在地幔中不同深度产生部分熔融, 并与地幔楔形区的熔融物混合, 形成原始岩浆, 但并未产生大规模的火山喷发。至早 - 中三叠世时期, 昌宁 - 孟连洋盆基本俯冲消减殆尽, 俯冲作用也随即停止, 转入了碰撞造山的构造发展阶段[12]; 昌宁 - 孟连结合带以东地区位于俯冲带上盘, 地温梯度较高, 挤压造山作用强烈, 地壳增厚导致陆壳熔融, 形成规模宏大的崇山 - 临沧花岗岩带; 而在昌宁 - 孟连结合带以西的保山地块则处于强烈拉张的构造环境, 造成地幔物质的上涌, 上涌的地幔物质中温度较低、活动性较弱的岩浆发生侵位, 在保山陆块东缘形成耿马大山花岗岩带。但为何所形成的耿马大山花岗岩带的规模比崇山 - 临沧花岗岩带逊色得多, 有待今后作更深入的研究。在晚三叠世, 随着造山作用的结束, 山系由挤压抬升转为剥蚀削平, 地壳减压松弛[13], 导致昌宁 - 孟连构造带东、西两侧深部地幔物质的进一步熔融, 形成的岩浆经过分异、演化喷出地表, 形成规模相差较大的南澜沧江火山岩带及研究区内的牛喝塘组火山岩和永德 - 黑山大陆板内裂谷。

致 谢

对成文过程中云南省地质调查院李静教授级高级工程师、昆明理工大学李峰教授、张世涛教授提供的帮助, 对编辑老师及审稿人的辛苦付出, 在此一并表示衷心的感谢!

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)。

参考文献

- [1] 马杏垣. 论伸展构造[J]. 地球科学——武汉地质学院学报, 1982, 3(18): 15-20.
- [2] 包佳凤, 赵云江, 杨仕潘, 等. 滇西保山金鸡地区三叠系上统大水塘组震积岩的发现及意义[J]. 沉积学报, 2012, 30(3): 490-500.
- [3] 陈福坤, 李秋立, 王秀丽, 李向辉. 云南特提斯带保山-腾冲地块早古生代岩浆岩[J]. 地球学报, 2005, 26(b09): 93-93.
- [4] 宋天锐. 北京十三陵前寒武碳酸盐岩地层中的一套可能的地震-海啸序列[J]. 科学通报, 1988, 38(8): 60-611.
- [5] 吴贤涛, 尹国勋. 四川峨嵋晚侏罗世湖泊沉积中震积岩的发现及意义[J]. 沉积学报, 1992, 10(1): 133-134.
- [6] 罗冰, 谭秀成, 刘宏. 川东地区飞一段震积岩的发现及识别标志[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 1012-1017.
- [7] 袁静. 中国震积作用和震积岩研究进展[J]. 石油大学学报, 2005, 29(1): 144-147.

- [8] 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): 26-37.
- [9] 陈光艳. 滇西保山双麦地地区双麦地群地层时代的重新厘定与沉积环境分析[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学国土资源工程学院, 2011.
- [10] 张虎. 云南南澜沧江构造岩浆带早侏罗世后碰撞火山岩研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学国土资源工程学院, 2005.
- [11] 赵云江, 郑春, 黄亮, 包佳凤. 灾变事件地层斜坡滑塌(带)堆积的特征——以滇西保山地区上三叠统南梳坝组为例[J]. 地质通报, 2012, 31(5): 745-757.
- [12] 颜寻, 孙载波, 周坤, 等. 滇西永德县班尾花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及意义[J]. 云南地质, 2019, 38(1): 15-20.
- [13] 袁野. 三江地区南澜沧江岩浆岩带火山岩研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2013.

附 录

- ① 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.
- ② 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.
- ③ 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.
- ④ 云南省地质矿产局. 1:20 万凤庆幅区域地质调查报告[R]. 1980.
- ⑤ 云南省地质矿产局. 1:20 万保山幅区域地质调查报告[R]. 1980.
- ⑥ 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.
- ⑦ 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.
- ⑧ 云南省地质调查院. 云南省成矿地质背景研究报告[R]. 2013.