中国科学: 地球科学 2024 年 第 54 卷 第 4 期: 1091 ~ 1124
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

评 述

青藏高原及其周边石炭纪综合地层、生物群与古地理演化

胡科毅, 王向东*, 王文琦, 宋英凡, 叶训焱, 李璐, 史宇坤, 杨孙容, 李莹

南京大学地球科学与工程学院, 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 关键地球物质循环前沿科学中心, 南京 210023
* 通讯作者, E-mail: xdwang@nju.edu.cn

收稿日期: 2023-02-16; 收修改稿日期: 2023-07-18; 接受日期: 2023-07-24; 网络版发表日期: 2024-01-09
第二次青藏高原综合科学考察研究项目(编号: 2019QZKK0706)和国家自然科学基金项目(批准号: 91955201、42172002)资助

摘要 石炭纪时青藏高原及其周边分处不同的古地理位置, 具有不同的沉积和生物类型. 系统梳理和总结青藏高原的石炭系及生物群, 建立综合地层对比框架, 恢复古地理, 对正确理解晚古生代冈瓦纳大陆的裂解、古特提斯洋的演变都具有重要意义. 青藏高原及其周边的石炭系可划分为三种类型: 冈瓦纳型、基默里型和特提斯型. 本文讨论的冈瓦纳型包括藏南区的北喜马拉雅分区、康马-隆子分区和札达-仲巴分区, 以及印度-巴基斯坦北部, 仅发育密西西比亚系, 生物类群为冈瓦纳型. 基默里型包括保山分区、腾冲分区、措勤-申扎分区、拉萨-察隅分区、那曲-比如分区、南羌塘分区, 以及掸泰和南阿富汗-帕米尔等地区, 也仅发育密西西比亚系, 但生物群具有欧洲、华南、澳大利亚和北美混生型特征. 特提斯型包括唐古拉山分区、可可西里-巴彦喀拉分区、昌都-横断山分区、铁克里克分区、西昆仑分区、喀喇昆仑分区、东昆仑-中秦岭分区和祁连分区, 石炭系发育完整, 生物群为暖水的特提斯型. 冈瓦纳型和基默里型石炭系生物地层对比以牙形类为主, 辅以腕足类和四射珊瑚; 特提斯型密西西比亚系的生物地层以四射珊瑚和腕足类为主, 宾夕法尼亚亚系以有孔虫(蝬)和牙形类为主, 辅以四射珊瑚和腕足类. 在石炭纪国际标准年代地层框架下, 系统建立了青藏高原及其周边的岩石地层和生物地层划分和对比框架. 将来应加强石炭纪同位素地质年代学、地球化学及古气候和古环境的研究.

关键词 青藏高原, 石炭纪, 岩石地层, 生物群, 地层对比

1 引言

石炭纪是地质历史上古地理、古构造、古气候发生剧烈变化的时期, 其中最为重要的地质事件包括海西造山运动(Hercynian orogeny)和冈瓦纳大陆冰川事件(Gondwana glaciation). 前者导致横贯于劳俄古陆(Laurussia)和冈瓦纳大陆(Gondwana)之间的瑞尼克洋(Rheic Ocean)关闭(Torsvik和Cocks, 2017), 而后者则造成了气候的大幅波动、高纬度地区的沉积大范围缺失、低纬度地区的沉积呈现很强的旋回性, 以及动植物多样性出现多次显著的变化(Heckel, 2013; Montañez和Poulsen, 2013; Ueno等, 2013; Montañez, 2016;

中文引用格式: 胡科毅, 王向东, 王文琦, 宋英凡, 叶训焱, 李璐, 史宇坤, 杨孙容, 李莹. 2024. 青藏高原及其周边石炭纪综合地层、生物群与古地理演化. 中国科学: 地球科学, 54(4): 1091–1124, doi: 10.1360/SSTe-2023-0032
英文引用格式: Hu K, Wang X, Wang W, Song Y, Ye X, Li L, Shi Y, Yang S, Li Y. 2024. Carboniferous integrative stratigraphy, biotas, and paleogeographical evolution of the Qinghai-Tibetan Plateau and its surrounding areas. Science China Earth Sciences, 67(4): 1071–1106, https://doi.org/10.1007/s11430-023-1150-0

© 2024 《中国科学》杂志社

Fan等, 2020; Shi等, 2021). 中国的石炭系分布广, 沉积类型多样, 保存了极其丰富的地质事件记录. 其中, 青藏高原由多个地块拼合而成, 其石炭系既保存有温暖特提斯型的沉积, 又保存有低温的冈瓦纳型沉积, 记录了复杂的地质变迁历史, 是研究石炭纪古地理、古构造、古气候演变的理想地区, 为正确理解中国乃至亚洲地区石炭纪的地质历史提供了丰富的资料.

受大地构造、古地理格局控制, 以及晚古生代冈瓦纳冰川形成-消融造成的海平面频繁升降的影响, 中国石炭纪地层和生物群具有明显的分区性, 可划分为四个大区, 即准噶尔-兴安、塔里木-华北、羌塘-华南, 以及西藏-滇西大区, 各大区又可分为不同的分区(金玉玕等, 2000; 王向东等, 2019). 青藏高原的主体属于西藏-滇西和羌塘-华南大区, 少量属于塔里木-华北大区. 其周边的一些区域, 在地质演化历史中与其紧密相关甚至相连, 因此在本文中一并阐述, 便于更加系统地梳理该区域在石炭纪的演化过程. 例如, 青藏高原的拉萨地块和南羌塘地块, 与位于云南西部的腾冲地块和保山地块同属于西藏-滇西大区, 在特提斯构造体系中又属于基默里大陆的一部分, 在石炭纪时均位于冈瓦纳大陆的北缘, 自早二叠世开始才从冈瓦纳大陆裂离并向北漂移(Sengör, 1984; Wang X D等, 2021), 直至与华南地块拼合. 因此, 腾冲和保山地块的地质演化历史与拉萨、南羌塘地块密不可分, 石炭纪地层及生物也非常相似, 与其来源的冈瓦纳大陆基本一致. 可见, 青藏高原及其周边聚合了来自不同古地理区域的石炭纪沉积和生物类群, 需进行系统的梳理, 才能厘清其复杂的地质演化历史.

青藏高原的石炭系有比较悠久的研究历史, 1949年之前就有个别国外学者进行过初步的报道(Davidson, 1866; Gregory和Gregory, 1925). 20世纪50年代, 中国科学院西藏工作队在西藏东部、中部和南部进行路线地质调查, 初步建立了青藏高原石炭系序列(例如, 李璞, 1955; 中国科学院西藏工作队地质组, 1959). 1966~1968年中国科学院西藏科学考察队对珠穆朗玛峰地区开展了科学考察, 建立起珠穆朗玛峰及其北坡的石炭纪地层系统(穆恩之等, 1973; 尹集祥, 1974; 章炳高, 1974a, 1974b; 梁希洛, 1976). 1973~1976年, 作为第一次青藏高原综合科学考察的重要组成部分, 考察队对整个西藏地区开展了综合地质科学考察, 获得了大量的西藏石炭纪地层和古生物的第一手资料(尹集祥和郭师曾, 1976, 1978; 中国科学青藏高原综合考察队, 1981; 施从广, 1982). 20世纪60年代以来, 针对西藏地区还广泛开展了不同比例尺的区域地质调查和填图工作(例如, 夏代祥, 1979; 西藏地质局综合普查大队, 1980; 杨式溥和范影年, 1982, 1983; 林宝玉, 1983, 1989; 梁定益等, 1983; 邱洪荣, 1984; 范影年, 1988; 刘世坤和姚宗富, 1988; 西藏自治区地质矿产局, 1993; 夏代祥和刘世坤, 1997), 并在青藏高原的其他地区, 如祁连山、横断山、喀喇昆仑山、昆仑山、可可西里等, 进行地质、油气和矿产资源的调查(俞建章和林英錫, 1961; 四川地质局区域地质调查队和中国科学院南京地质古生物研究所, 1982; 梁定益和王为平, 1983; 周光第, 1987), 获得了丰富的石炭纪地层和古生物资料. 上述考察及其后对获取的岩石、化石材料所开展的详细研究, 极大地改进了人们对青藏高原石炭系及其生物群的认识. 21世纪以来, 对青藏高原石炭系的研究更加深入, 基于地层、古生物材料针对古构造、古地理、古气候开展进一步讨论(Jin, 2002; 纪占胜等, 2007; Wang X D等, 2021). 2017年启动的第二次青藏高原综合科学考察中, 针对石炭系的研究重点有二, 一是对关键地区石炭纪地层、古生物进行综合研究, 深入挖掘其对石炭纪古地理格局及古气候变化的指示意义(宋俊俊等, 2022; Peng等, 2022); 二是对整个研究区的石炭系进行总结、梳理和深度挖掘, 全面分析青藏高原地质演化历史、石炭纪古地理格局和古气候演变过程(Zhang等, 2022). 针对青藏高原及其周边不同类型的石炭纪地层和生物特征, 本文系统梳理了名称繁多且沿革复杂的岩石地层单位和生物群, 建立一个新的综合地层对比框架, 为讨论青藏高原各地块的古地理和古气候演变提供基础的时间框架.

2 青藏高原及其周边的石炭系

依据中国石炭纪地层区划方案(金玉玕等, 2000; 王向东等, 2020; 张雄华等, 2021), 结合各省、自治区地质志和岩石地层专著中的地层区划方案(例如, 新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993; 夏代祥和刘世坤, 1997; 蔡土赐, 1999), 在四个大区的架构之下, 本文将青藏高原及其周边的石炭纪地层划分为区、分区和小区三种级别(图1). 其中, 区为大区的划分, 如华南-羌塘大区可划分为羌塘-横断山区和华南区(金玉玕等,

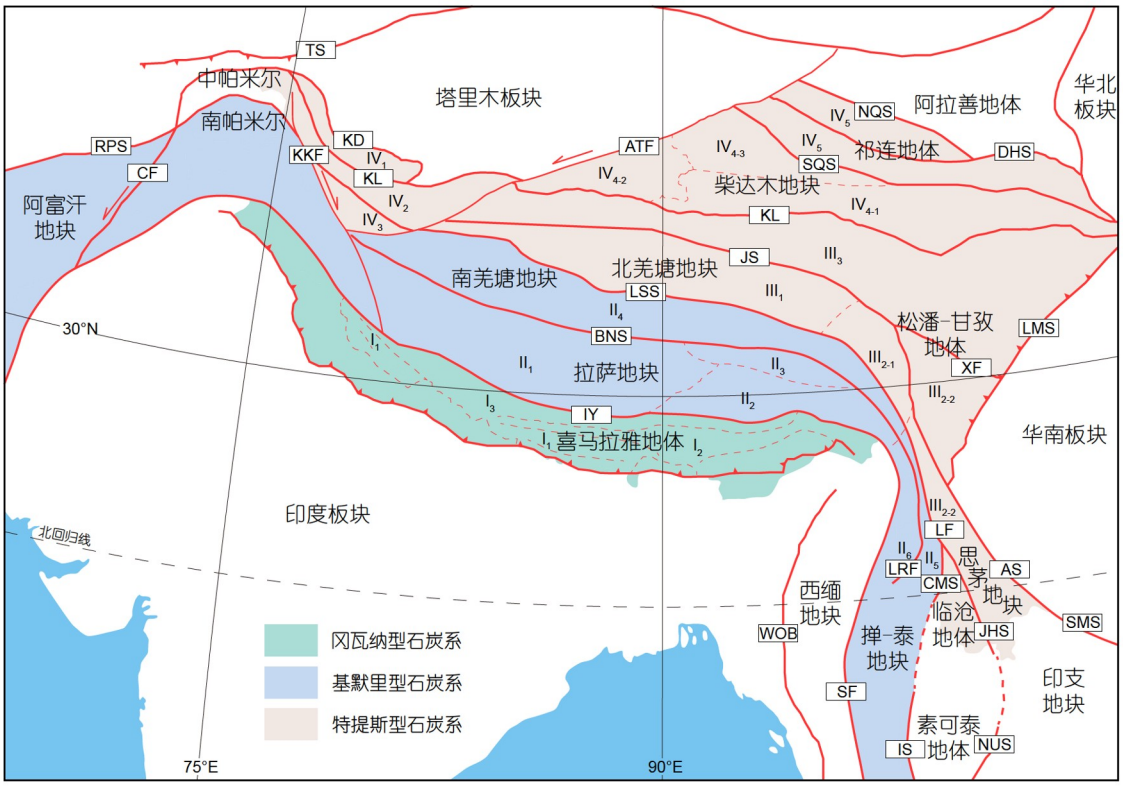

图 1　青藏高原及其周边地理位置、石炭纪地层区划和生物区系划分

I_1, 北喜马拉雅分区; I_2, 康马-隆子分区; I_3, 札达-仲巴分区; II_1, 措勤-申扎分区; II_2, 拉萨-察隅分区; II_3, 那曲-比如分区; II_4, 南羌塘分区; II_5, 保山分区; II_6, 腾冲分区; III_1, 唐古拉山分区; III_2, 昌都-横断山分区; III_{2-1}, 昌都-横断山分区昌都小区; III_{2-2}, 昌都-横断山分区横断山小区; III_3, 可可西里-巴彦喀拉分区; IV_1, 铁克里克分区; IV_2, 西昆仑分区; IV_3, 喀喇昆仑分区; IV_4, 东昆仑-中祁连分区; IV_{4-1}, 东昆仑-中秦岭分区柴达木南部小区; IV_{4-2}, 东昆仑-中秦岭分区柴达木北部小区; IV_{4-3}, 东昆仑-中秦岭分区东昆仑小区; IV_5, 祁连山分区. CF: Chaman Fault, 恰曼断裂带; RPS: Rushan-Pshart Zone; KKF: Karakoram Fault, 喀喇昆仑断裂带; TS: Tien Shan, 天山造山带; KD: Kudi Suture, 库地缝合带; KL: Kunlun, 昆仑造山带; ATF: Altyn Tagh Fault, 阿尔金断裂带; NQS: North Qilian Suture, 北祁连缝合带; SQS: South Qilian Suture, 南祁连缝合带; DHS: Danhe Nan Shan Suture, 党河-南山缝合带; JS: Jinshajiang Suture, 金沙江缝合带; LSS: Longmucuo-Shuanghu Suture, 龙木错-双湖缝合带; BNS: Bangonghu Nujiang Suture, 班公湖-怒江缝合带; IY: Indus Yarlung Suture, 印度-雅鲁藏布江缝合带; LMS: Longmenshan Thrust, 龙门山俯冲带; AS: Ailaoshan Suture, 哀牢山缝合带; LF: Lancangjiang Fault, 澜沧江断裂; SMS: Song Ma Suture, 马江缝合带; JHS: Jinghong Suture, 景洪缝合带; CMS: Changning-Menglian Suture, 昌宁-孟连缝合带; IS: Inthanon Suture; LRF: Longling-Ruili Fault, 龙陵-瑞丽断裂; NUS: Nan Uttaradit Fault, 难河断裂带; SF: Sagaing Fault, 实皆断裂; WOB: Western Ophiolite Belt, 西蛇绿岩带; XF: Xianshuihe Fault, 鲜水河断裂(Ueno, 2003, Wang等, 2003; Wang等, 2018; Wang S F等, 2021; 张雄华等, 2021; Liu等, 2020; Metcalfe, 2013; Tang等, 2023)

2000; 李莹等, 2021). 区可进一步划分为分区, 如羌塘-横断山区可划分为唐古拉山分区、可可西里-巴颜喀拉分区和昌都-横断山分区(王增吉, 1990). 分区中具独特或相似岩石地层序列和分布者, 本文通称为小区, 如昌都-横断山分区中的昌都小区和横断山小区. 小区之下则不再细分, 若小区中仍有不同的地层序列, 因其石炭系分布一般较为局限, 以其典型代表的地名称之, 如横断山小区中的四川康定、云南德钦-思茅等. 本文涉及的国外部分则以地区称之.

依据组成青藏高原及其周边各地块在石炭纪的古地理分布、地层和生物发育特征, 本文将青藏高原及其周边的石炭系划分为三种类型, 分别为冈瓦纳型、基默里型和特提斯型. 其中, 冈瓦纳型包括在石炭纪-二叠纪之间一直处于南半球中-高纬度的冈瓦纳大陆北缘的地块, 以喜马拉雅地块最为典型, 在地层区划上属于西藏-滇西大区的喜马拉雅区或藏南区, 包括中国境内的北喜马拉雅分区(I_1)、康马-隆子分区(I_2)、札达-仲巴分区(I_3)和境外的印度-巴基斯坦北部地区.

基默里型指在二叠纪早期从冈瓦纳大陆北缘裂离的系列地块, 裂离后作为基默里大陆的一部分(Wang X D等, 2021), 包括拉萨、南羌塘、保山、腾冲、掸邦等地块, 在地层区划上均属于西藏-滇西大区, 包括国内的措勤-申扎分区(II_1)、拉萨-察隅分区(II_2)、那曲-比如分区(II_3)、南羌塘分区(II_4)、保山分区(II_5)和腾冲分区(II_6), 以及国境外的掸泰和阿富汗北部-南帕米尔地区. 特提斯型则指一直位于特提斯洋周边低纬度温暖地区的地块, 包括隶属塔里木-华北大区和羌塘-华南大区的北羌塘、松潘-甘孜、柴达木、祁连、塔里木板块南部、喀喇昆仑、东昆仑等地块, 在地层区划上可划分为唐古拉山分区(III_1)、昌都-横断山分区(III_2)、可可西里-巴彦克拉分区(III_3)、铁克里克分区(IV_1)、西昆仑分区(IV_2)、喀喇昆仑分区(IV_1)、东昆仑-中秦岭分区(IV_4)和祁连山分区(IV_5)(图1).

青藏高原及其周边的冈瓦纳型石炭系的密西西比亚系(下石炭统)以碎屑岩夹碳酸盐岩为主, 偶夹灰岩沉积, 缺失海相的宾夕法尼亚亚系(上石炭统), 动物群属典型的冈瓦纳区系(金玉玕等, 2000). 基默里型石炭系的密西西比亚系为灰岩和碎屑岩共存, 同样缺失海相的宾夕法尼亚亚系, 生物群为混生型. 特提斯型石炭系发育完整, 既有碳酸盐岩序列, 也有碎屑岩沉积, 动物群主要为暖水类型, 与华南和华北面貌相似.

2.1 冈瓦纳型的石炭系

2.1.1 藏南区

藏南区亦被称为喜马拉雅地层区(例如, 夏代祥和刘世坤, 1997; 林宝玉, 1989; 赵政璋等, 2001), 分布在国境线以北、印度-雅鲁藏布江缝合带以南的区域, 石炭系仅包含密西西比亚系, 宾夕法尼亚亚系缺失(王金星等, 2005; 王向东等, 2020), 可进一步划分为3个分区(夏代祥和刘世坤, 1997): 北喜马拉雅分区(I_1)、康马-隆子分区(I_2)和札达-仲巴分区(I_3)(图1), 主要分布在聂拉木、定日、康马等地, 以聂拉木剖面为代表. 石炭系下部是以灰岩夹页岩为主的碳酸盐岩沉积, 为亚里组(穆恩之等, 1973; 夏代祥和刘世坤, 1997), 与下伏泥盆系为整合接触; 上部主要是碎屑岩, 名为纳兴组(穆恩之等, 1973), 顶与二叠系以断层接触(李莹等, 2021).

本区的石炭纪岩石地层因后期复杂的构造运动和变质作用, 分布零星、出露不全、化石稀少, 一直存在争议(图2). 如在北喜马拉雅分区的定日县曲宗一带的石炭系曾被命名为绒嘎马组和曲宗组(尹集祥和郭师曾, 1976), 应为亚里组和纳兴组的同异名(王义刚等, 1980, 1984). 康马-隆子分区的石炭系为一套浅变质的碎屑岩和灰岩、大理岩, 化石较少, 曾被称为雇孜组(例如, 梁定益和王为平, 1983), 后被归为亚里组和纳兴组(夏代祥和刘世坤, 1997). 札达-仲巴分区石炭系变质程度由东向西加深(李祥辉等, 2014), 构造复杂、区域对比困难, 目前仍被归为亚里组和纳兴组(夏代祥和刘世坤, 1997)(图2).

Ⅰ岩石地层

亚里组以黑色灰岩或白云岩、页岩为主, 夹砂岩, 分布于聂拉木、定日、康马、札达底雅等地, 区域上岩性组合和厚度变化较大, 亚里一带页岩与灰岩之比约为1:1, 向东页岩数量渐减, 至阿嘎拉山口一带全部为灰岩. 在康马-拉轨岗日一带, 灰岩常变质为大理岩, 页岩变质为板岩、片岩, 至札达底雅为结晶灰岩、泥灰岩、大理岩、细晶白云岩夹板岩, 产双壳类、腕足类、牙形类等化石, 时代为晚泥盆世-密西西比亚纪杜内期. 纳兴组为一套厚度巨大的滨浅海相陆源碎屑沉积, 为灰色、深灰色石英砂岩、砂质页岩、页岩和细砾岩, 岩性和厚度在区域上较稳定, 上部泥岩和部分砂岩中含大量潜穴类遗迹化石(张雄华等, 2003), 顶部粉砂质页岩及泥灰岩中产腕足类和双壳类化石, 时代为密西西比亚纪维宪期(杨式溥和范影年, 1983).

Ⅱ生物地层

藏南区的石炭系含有腕足类、牙形类和孢子等化石, 时代限定为密西西比亚纪杜内期-维宪期(图2). 北喜马拉雅分区的腕足类被命名为2个组合, 其中亚里组的为杜内期的*Fusella-Ovatia*组合, 纳兴组的为*Margini-rugus-Syringothyris*组合. *Syringothyris*在较多地区限于杜内阶, 但在藏南区, 其延限可达维宪阶下部, 该组合时代可能为杜内期晚期-维宪期早期(张守信和金玉玕, 1976). 在札达-仲巴分区, 纳兴组上部的腕足类被命名为*Gigantoproductus-Balakhnia*组合(杨式溥和范影年, 1983). 在北喜马拉雅分区亚里组的灰岩中, 开展了较为系统的牙形类的生物地层工作(邱洪荣, 1988), 自下而上建立了晚泥盆世法门期*Siphonodella praesulcata*带, 以及密西西比亚纪杜内期*S. sulcata*带、*S. duplicata*带、*S. isosticha*带和*Gnathodus pseudosemiglaber*

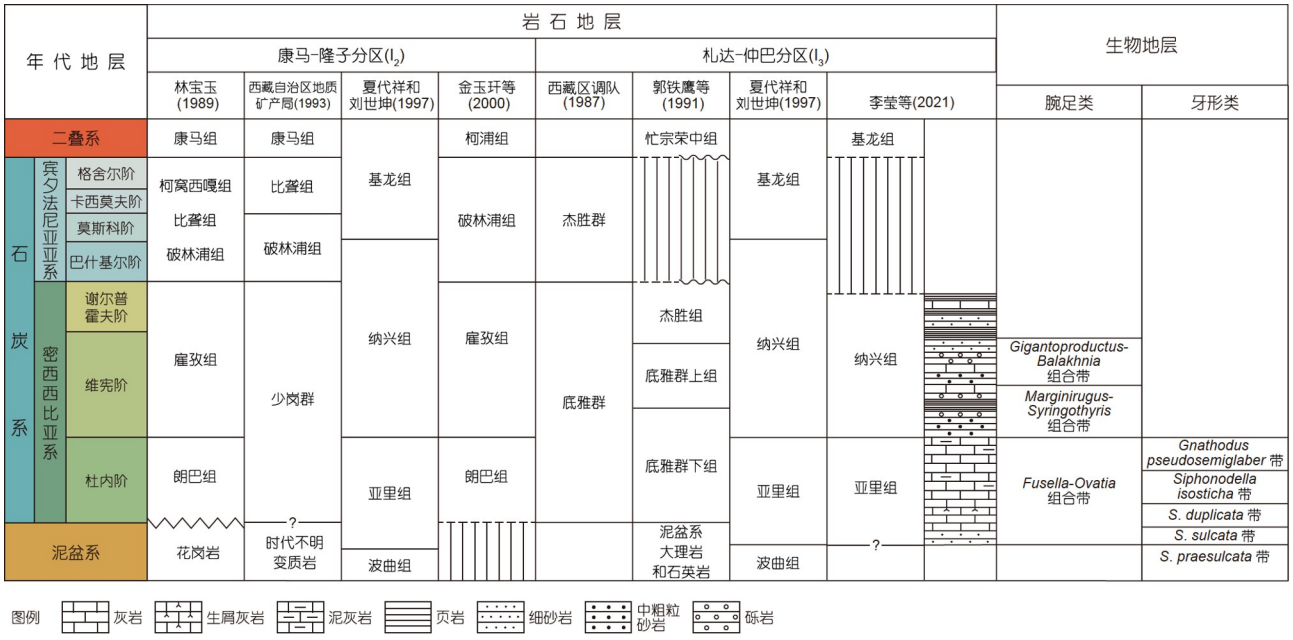

图 2　**康马-隆子分区和札达-仲巴分区石炭系岩石划分沿革和生物地层综合柱状图序列**

带(图2). 亚里组的孢子自下而上可划分为*Retispora lepidophyta-Verrucosisporites nitidus* (*LN*)组合带、*Vallatisporites vallatus-Foveosporites pellucidus* (*VP*)组合带, 以及*Rugospora polyptycha-Tricidarisporites arcuatus* (*PA*)组合带(高联达, 1988a; Liu等, 2019). 其中, *LN*组合带的孢子为泥盆纪面貌, 也被归为章东组(Liu等, 2019; Peng等, 2022); *VP*组合带的孢子是典型的石炭纪分子, 该带中还产典型杜内期早期的菊石*Gattendorfia*和牙形类*Siphonodella sulcata*, 进一步确证该带时代为杜内期(林宝玉和邱洪荣, 1985; 邱洪荣, 1988; Liu等, 2019); *PA*组合带则为杜内期-维宪期(Liu等, 2019). 此外, 藏南区也发现了一些其他门类化石, 如札达-仲巴分区仲巴县足尔玛弄相当于亚里组的康拓组中产腹足类*Porcellia* sp.等; 北喜马拉雅分区亚里组上部泥灰岩中产杜内期*Imitoceras*菊石动物群(穆恩之等, 1973)和双壳类*Parallelodon*组合(张双增等, 2015); 在亚里剖面的亚里组还产有密西西比亚纪的介形类, 如*Bairdia magna*和*Paraparchites longmenshanensis*等(宋俊俊等, 2022).

2.1.2　印度-巴基斯坦北部地区

印度北部喜马拉雅山脉的石炭系仅发育密西西比亚系, 缺失宾夕法尼亚亚系, 生物群为典型的冈瓦纳型. 藏斯卡(Zanskar)和司丕提(Spiti)地区的石炭系曾被分为两个单元, 下部的Lipark组和上部的Po群(或组)(例如, Gaetani等, 1990; Garzanti等, 1996). Lipark组下部包括部分中泥盆统, 其上部的石炭系部分主要由碳酸盐岩和石膏组成, 含碎屑岩夹层, 产杜内期牙形类, 层位可能到牙形类*Siphonodella crenulata*带下部(Draganits等, 2002). 克什米尔地区的同时代地层称*Syringothyris*灰岩(Savage, 1977; Draganits等, 2002). 在有些地区, 如在司丕提的品河谷, Lipark组与上覆的早二叠世晚期的Gechang组(相当于Kuling群)不整合接触. 因此, Po群在印度克拉通北缘喜马拉雅山脉发育不连续, 存在一系列的不整合面, 在洛瑟尔(Losar)地区厚度最大, 约800m, 划分为4个组, 自下而上依次为Thabo组、*Fenestella*页岩、Kabjima石英砂岩和Chichong组(Garzanti等, 1996). Garzanti等(1996)将Thabo组与印度北部拉胡尔(Lahul)的含腕足类*Syringothyris*的地层进行对比. *Syringothyris*大多出现在杜内阶(张守信和金玉玕, 1976), 因此Thabo组可能属于杜内阶. Garzanti等(1996)主要根据腕足类将*Fenestella*页岩归为巴什基尔期, 将Chichong组归为莫斯科期. 实际上, 根据Garzanti等(1996)的图示, 其所报道的腕足类应是密西西比亚纪的分子(Wang X D等, 2021). 根据孢粉化石和U-Pb同位素定年的最年轻的年龄(329±16)Ma, Agni-

hotri等(2018)将*Fenestella*页岩的时代归为密西西比亚纪的维宪期晚期-谢尔普霍夫期早期.

2.2 基默里型的石炭系

青藏高原及其周边含基默里型石炭系的地块主要包括保山、腾冲、拉萨、南羌塘和掸泰地块, 以及阿富汗北部与南帕米尔等. 在地层区划上, 国内部分包括保山分区和腾冲分区(二者合称滇西区), 以及措勤-申扎分区、拉萨-察隅分区和那曲-比如分区(参见图1).

2.2.1 滇西区(保山分区和腾冲分区)

滇西区的石炭系仅含有密西西比亚系, 宾夕法尼亚亚系基本缺失, 生物群反映出欧洲、华南、澳大利亚和北美混生型特征(Wang X D等, 2001, 2021; 王金星等, 2005). 保山分区东以昌宁-孟连缝合带为界与临沧地体相邻(Metcalfe, 2013; Liu等, 2020), 西以怒江-龙陵-瑞丽断裂为界与腾冲地块相邻(Wang等, 2001; Xie等, 2016)(图1). 其密西西比亚系为一套浅水碳酸盐岩地层序列, 受晚泥盆世全球海退事件的影响, 保山分区缺失泥盆系顶部及石炭系底部; 中-晚杜内期发生海侵, 以泥页岩及泥质灰岩为主; 早-中维宪期达到最大海侵, 沉积了含大量硅质结核的灰岩, 产高分异度的底栖无脊椎动物化石; 中-晚维宪期进入海退阶段, 沉积物以鲕粒灰岩为特征; 在维宪期末结束海相沉积(王向东等, 2000). 腾冲分区位于保山分区西侧, 东以怒江-龙陵-瑞丽断裂为界, 西侧的边界不明, 很可能为缅甸八莫(Bahomo)到密支那(Myitkyina)一线(Jin, 1996). 石炭系仅出露在北部, 为一套未被命名的碎屑岩系列, 推测时代为密西西比亚纪的杜内期-维宪期(Wang X D等, 2021). 距腾冲市自治乡东边5~7km的自治剖面的二叠系自治组(Jin, 1994), 主要由碎屑岩组成, 其下部未见底, 且未发现相关的化石, 因厚度较大(约700m), 并不能排除其延伸到石炭系顶部的可能(Wang X D等, 2003, 2021).

Ⅰ岩石地层

保山分区的密西西比亚系曾有两套地层序列名称, 一为香山组和铺门前组, 另一为鱼洞组、石花洞组和云瑞街组, 后者为严格的根据岩性特征建立的地层名称, 且建立时间更早(段丽兰, 1973, 1985; 王向东等, 1993). 鱼洞组为泥盆系-石炭系间断面上的一套海侵初期沉积的产物, 主要为薄层泥质灰岩、泥晶团粒灰岩及海百合茎灰岩, 普遍含海绿石, 不含任何燧石结核和团块, 底部沉积一套从几十厘米到几米的含角砾的砾屑灰岩, 生物化石丰富, 产小型单体四射珊瑚、床板珊瑚、牙形类、腕足类、菊石、三叶虫、双壳类、介形类等. 鱼洞组在标准地点出露最好, 层序清晰, 横向上厚度略有变化, 向北至保山上官、云瑞一带变薄, 向东到羊邑、西邑一带变厚(陈根保, 1984); 鱼洞组所产腕足类、牙形类和四射珊瑚指示其时代属于杜内中晚期(Shi等, 2005). 石花洞组是海侵扩大后的正常浅海陆架沉积(段丽兰, 1985), 为中厚层偶夹薄层泥晶灰岩、泥晶团粒灰岩、白云岩化微晶灰岩、泥晶生物碎屑灰岩, 普遍发育燧石结核和燧石条带, 生物化石非常丰富, 产四射珊瑚、有孔虫、牙形类、海百合以及大量的腕足类. 石花洞组相变表现在燧石结核和燧石条带以及白云质微晶灰岩的发育程度, 该组除底部属于杜内期外, 大部分属于维宪期. 云瑞街组为海退阶段碳酸岩台地边缘鲕滩、介壳滩沉积(段丽兰, 1985), 下部为灰色中厚层白云石泥晶-亮晶含团粒生物碎屑灰岩, 上部为厚层状亮晶鲕粒灰岩、亮晶团粒团块灰岩, 生物化石多被磨损破碎, 含四射珊瑚、有孔虫及少量腕足类, 时代为维宪期晚期.

Ⅱ生物地层

保山地块较系统和深入的研究始于20世纪80年代, 涉及诸多门类, 如腕足类(金玉玕和方润森, 1983; 姜建军, 1997; Shi等, 2005)、四射珊瑚(宋学良, 1982; 段丽兰, 1985)、头足类(梁希洛和朱夔玉, 1988)、海百合(陈重泰, 1984), 以及牙形类(李仁杰和段丽兰, 1993; 田树刚和科恩, 2004; Wang等, 2023)等. 在生物古地理方面, 腕足动物与欧洲和北美的较为相近(金玉玕和方润森, 1983); 四射珊瑚动物群除产典型的华南型分子*Kueichouphyllum*外, 还出现了大量的欧洲类型, 如*Cyathoclisia*、*Siphonophyllum*、*Keyserlingophyllum*等; 海百合动物群的绝大部分分子都属于是欧美类型(王向东等, 1993).

非常丰富的四射珊瑚出现在保山地块的浅水相区, 可识别出6个四射珊瑚组合(王向东等, 1993), 自下而上为: 鱼洞组的*Zaphrentites parallelus-Saleelasma hadrotheca*组合带, 石花洞组底部的1~3间隔带, 石花洞组下部的*Lophophyllum-Siphonophyllia* sp.-*Parazaphriphyllum* cf. *cylindricum*组合带, 石花洞组中部的

*Cyathoclisia arachnolasmoidea-Siphonophyllia cylindrica-Kueichouphyllum sinense*组合带, 石花洞组顶部的*Palaeosmilia murchisoni-Caninophyllum tomiense*组合带, 以及云瑞街组的*Dibunophyllum-Diphyllum carinatum*组合带等. 另外, 在保山地块较深水相区, 四射珊瑚均为小型无鳞板的单体珊瑚, 为*Commutia exoletus-Sychnoelasma affossularis*组合带(王向东等, 1993). 浅水相区的腕足类则可识别出3个组合带(金苏华, 1987; Shi等, 2005), 分别为鱼洞组的*Unispirifer* (*Atylephorus*) aff. *tornacensis-Marginatia burlingtonensis*组合带、石花洞组的*Grandispirifer dazhaimenensis-Balakhonia yunnanensis*组合带, 以及云瑞街组的*Delepinea comoides-Megachonetes papilionacea*组合带. 在较深水相区的腕足类可识别出*Crurithyris-Imbrexia*组合带(金苏华, 1985). 丰富的牙形类化石出现在鱼洞组及石花洞组下部, 已经建立了6个牙形化石带, 包括鱼洞组的*Siphonodella duplicata*带、*S. sandbergi*带、*Gnathodus typicus-G. cuneiformis*带和*G. typicus-Protognathodus cordiformis*带, 鱼洞组顶到石花洞组底部的*Scaliognathus anchoralis-Dolignathus latus*带, 以及石花洞组的*G. praebilineatus*带(李仁杰和段丽兰, 1993; 田树刚和科恩, 2004; 董致中和王伟, 2006; 胡科毅等, 2022; Wang等, 2023).

2.2.2　冈底斯区

冈底斯区分布于雅鲁藏布江和冈底斯山以北、班公错-怒江一线以南, 区内石炭系出露多不完整且被断层切割. 本区石炭系以内陆棚碎屑沉积为主, 密西西比亚系下部多为碳酸盐岩沉积, 密西西比亚系上部为碎屑岩沉积, 宾夕法尼亚亚系缺失(金玉玕等, 2000; 李莹等, 2021). 该区生物群面貌以欧亚型为主, 含少量澳大利亚类型, 有别于华南地区典型的特提斯型生物群(王向东等, 2020). 本区曾被归入冈底斯-念青唐古拉区(西藏自治区地质矿产局, 1993); 或称冈底斯-察隅地层区, 并可进一步划分为拉萨、措勤和那曲-比如三个分区(赵政璋等, 2001); 还称冈底斯-腾冲地层区, 可划分为措勤-申扎地层分区和拉萨-察隅地层分区(夏代祥和刘世坤, 1997). 根据地层分布和变质程度, 本文将冈底斯区划分为三个分区(图1), 分别为西部无变质的措勤-申扎分区(II_1), 以念青唐古拉山东缘大断裂及申措-色巴断裂为界, 岩石地层自下而上为查果罗玛组(上部)和永珠组; 东南部浅变质的拉萨-察隅分区(II_2), 以念青唐古拉山东南缘大断裂为北界, 包括拉萨、林周、波密、然乌、察隅等地, 岩石地层包括诺错组; 东北部变质程度较深的那曲-比如分区(II_3), 包括那曲、边坝、洛隆、八宿等地, 岩石地层为嘉玉桥岩群, 其时代尚存争议(夏代祥和刘世坤, 1997; 赵政璋等, 2001).

Ⅰ岩石地层

(1) 措勤-申扎分区. 申扎县永珠一带石炭系发育完整, 出露良好, 化石丰富, 是冈底斯区措勤-申扎分区的典型代表. 申扎的石炭系包括查果罗玛组(夏代祥, 1979)的上部和永珠组(夏代祥和刘世坤, 1997). 查果罗玛组为灰-灰白色白云岩、灰岩、竹叶状灰岩等, 含四射珊瑚、腕足类和牙形类等. 吉瓦张恩地区的查果罗玛组块状泥质灰岩中产晚泥盆世到密西西比亚纪早期牙形类, 申扎查果罗玛组下部厚层灰岩中产中泥盆世牙形类(夏代祥和刘世坤, 1997), 纠错的查果罗玛组产腕足类, 包括晚泥盆世法门期晚期的*Cyrtospirifer*和法拉斯-法门期的*Yunnanella* sp. 查果罗玛组顶部为一套紫红色生物碎屑灰岩, 作为一个特殊岩性段, 曾被命名为洛工组(林宝玉, 1981), 产杜内期-维宪期腕足类(林宝玉, 1981; 邱洪荣, 1984), 原洛工组的朋嘎段和多那个里段(杨式溥和范影年, 1982)中产密西西比亚纪四射珊瑚*Humboldtia*、*Siphonophyllia*等和腕足类*Unispirifer*等. 因此查果罗玛组的时代以中、晚泥盆世为主, 在申扎地区可达密西西比亚纪杜内期(夏代祥和刘世坤, 1997). 永珠组与永珠群下组(夏代祥, 1979; 林宝玉, 1981)、永珠段(杨式溥和范影年, 1982; 范影年, 1988)、永珠公社组(林宝玉, 1983, 1989)和汤莱组(西藏自治区地质矿产局, 1993)含义一致(图3). 永珠组主要为细粒石英砂岩、页岩、少量粉砂岩, 夹多层灰岩或钙质砂岩, 韵律明显. 永珠组产无鳞板的小型单体珊瑚(Wang等, 2003)和腕足类, 结合永珠组中所产其他化石如牙形类(纪占胜等, 2007)等, 永珠组的底部的沉积为维宪期, 其顶部应不超过石炭系中间界线(Wang X D等, 2021; 胡科毅等, 2022).

(2) 拉萨-察隅分区. 石炭系在本分区仅包含诺错组(尹集祥和郭师曾, 1984), 呈北西-南东向分布于东部的洛隆-八宿一带. 诺错组中下部以灰色粉砂质板岩与细砂岩互层为主, 夹中厚层灰岩; 上部为灰色、紫色泥质灰岩或瘤状灰岩. 诺错组在雅则-莱姑一带其顶部为

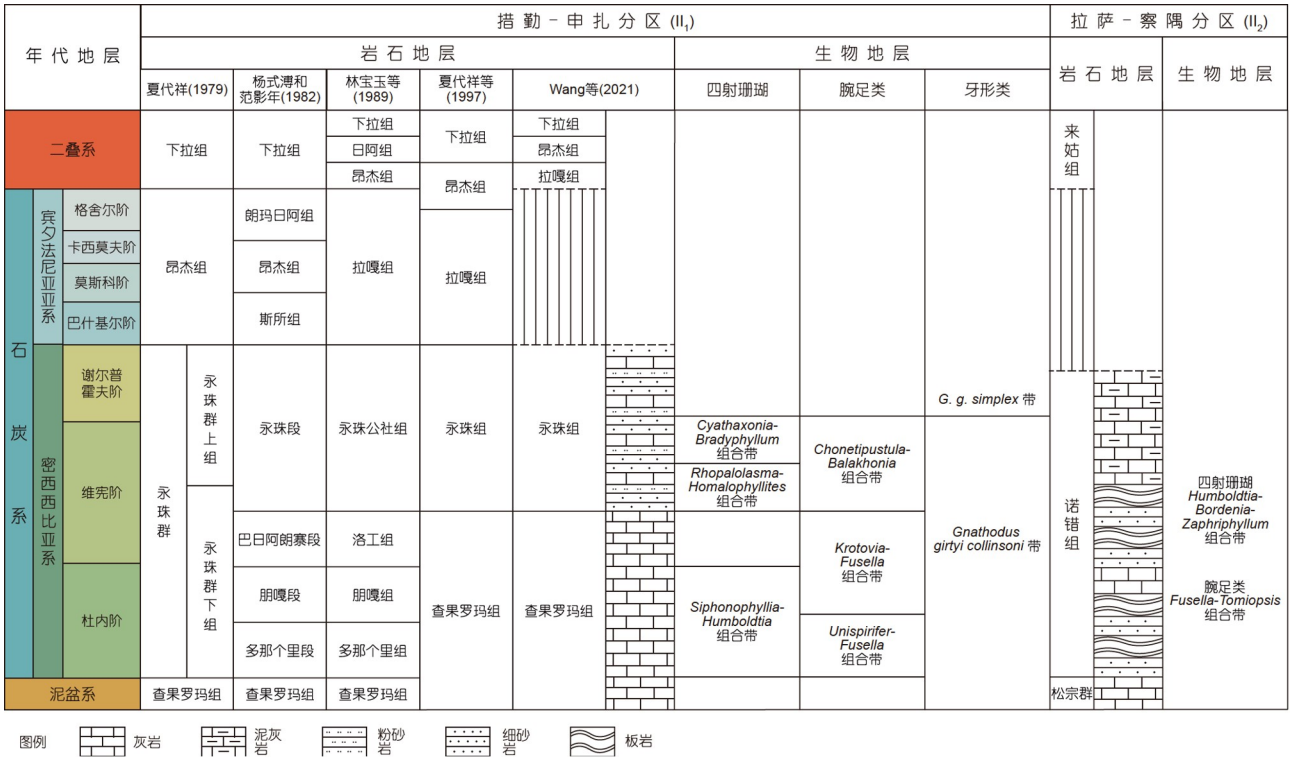

图 3　措勤-申扎分区石炭系划分沿革、措勤-申扎分区和拉萨-察隅分区岩石和生物地层综合柱状图

数米至31m的大理岩或泥质灰岩，在察隅以东一带以灰岩、白云岩为主，夹粉砂质板岩. 诺错组中下部产腕足类和少量角石、海百合茎及三叶虫化石；上部灰岩中产大量海百合茎、菊石及少量角石和四射珊瑚，属浅海相沉积. 据菊石，四射珊瑚和腕足类等化石，诺错组时代为密西西比亚纪杜内期至谢尔普霍夫期(西藏自治区地质调查院，2007；冉明佳等，2012；Xie等，2021).

(3) 那曲-比如分区. 本分区石炭系称嘉玉桥岩群(李璞, 1955), 为一套变质岩, 因化石稀少, 研究程度低. 嘉玉桥岩群由命名时的“嘉玉桥变质岩系”演变而来，具有构造混杂岩的特征，基质主要为板岩、千枚状板岩、薄层结晶灰岩，岩块主要为玄武岩、结晶灰岩和大理岩. 其大理岩中产珊瑚和腹足类化石，其时代很可能为石炭纪(饶荣标等, 1983). 嘉玉桥岩群中产早二叠世的孢子组合, 主要时代为早二叠世, 但不能排除有石炭系及更老地层存在的可能(艾长兴和陈炳蔚, 1986). 在八宿怒江桥-邦达一带的嘉玉桥岩群变质岩中产许多可靠的大化石和微体化石，主要为密西西比亚系，少量上泥盆统，以及少量疑似的下二叠统(王克勇，1998). 八宿县巴兼村一带嘉玉桥岩群上部大理岩中所含石榴子石绿片岩锆石上交点年龄为(566±27) Ma，指示其原岩形成时代为晚震旦世(何世平等，2012). 王冬兵等(2021)则认为何世平等(2012)所测的锆石不能代表其原始形成时代，并对八宿县怒江大桥-邦达地区的嘉玉桥岩群中赋存的玄武岩岩块及其围岩进行了锆石U-Pb定年，获得的年龄的加权平均值为(338±2)Ma，因此认为八宿县嘉玉桥岩群是一套俯冲增生杂岩，其基质岩石和岩块主要形成于密西西比亚纪，构造就位时间有待进一步限定.

Ⅱ生物地层

冈底斯区主要化石门类有四射珊瑚、腕足类和牙形类. 措勤-申扎分区的查果罗玛组和永珠组可识别出3个四射珊瑚组合带(赵政璋等，2001)，分别为查果罗玛组上部的*Siphonophyllia-Humboldtia*组合带，时代为杜内期晚期；永珠组中下部的*Rhopalolasma-Homalophyllites*组合带，时代为维宪期；以及永珠组上部的*Cyathaxonia-Bradyphyllum*组合带，时代为维宪期(图3). 拉萨-察隅分区的诺错组含*Humboldtia-Bordenia-Zaphriphyllum*组合带，时代为杜内期至维宪期(西藏自治区

地质调查院, 2007)(图3). 措勤-申扎分区的查果罗玛组石炭系部分可建立2个腕足动物群组合(杨式溥和范影年, 1982, 1983), 分别为上部(即多那个里段和朋嘎段)的*Unispirifer-Fusella*组合, 时代为杜内期; 以及顶部(即洛工组)的*Krotovia-Fusella*组合, 该组合中包含*Overtonia fimbriata*, 常见于英国和苏联维宪期早期地层中(Campbell, 1957; 姜建军等, 1991)(图3). 永珠组中可识别出腕足类*Chonetipustula-Balakhonia*组合(杨式溥和范影年, 1982, 1983; Qiao等, 2022), 时代为维宪期(图3). 拉萨-察隅分区的诺错组中可识别出腕足类*Fusella-Tomiopsis*组合(尹集祥和郭师曾, 1984; Qiao等, 2022), 时代为密西西比亚纪(图3). 措勤-申扎分区查果罗玛组上部产泥盆纪法门期到石炭纪杜内期牙形类(赵政璋等, 2001), 但未建带; 申扎永珠组中的牙形类可建立*Gnathodus girtyi collinsoni*带和*G. girtyi simplex*带(邱洪荣, 1984; 林宝玉, 1989)(图3), 时代可能为维宪期到谢尔普霍夫期. 另外, 申扎的永珠组还曾报道过产宾夕法尼亚亚纪的牙形类, 如*Declinognathodus*和*Neognathodus*(张树岐等, 2006; 纪占胜等, 2007), 这些分子实际上应归入*G. girtyi*类群, 因此永珠组中很可能并无宾夕法尼亚亚纪的牙形类(Wang X D等, 2021; 胡科毅等, 2022).

2.2.3　掸泰地区

掸泰地块主要包括缅甸东部的掸邦、泰国西部、泰国半岛以及马来西亚半岛(图1). 该地区密西西比亚纪岩石地层单元较为复杂, 零星分布. 缅甸掸邦的密西西比亚系为Taungnyo组, 由海相砂岩、粉砂岩、泥岩和少量灰岩组成(Brunnschweiler, 1970), 其上部钙质砂岩含腹足类、腕足类、苔藓虫、四射珊瑚和介形类. 该动物群中的苔藓虫"*Fenestella triserialis*"(即*Rectifenestella triserialis*)和原始的蝶类*Eostaffella mosquensis*表明Taungnyo组存在晚维宪期地层, 这也与印度-巴基斯坦北部地区*Fenestella*页岩的时代一致. 但是这些化石都没有被系统地描述或图示过(Aung, 2010). 多个腕足动物属也出现在本组中(Opik in Brunnschweiler, 1970). Taungnyo组中还可识别出杜内期牙形类*Gnathodus typicus-Protognathodus cordiformis*带和上*Scaliognathus anchoralis*带(Metcalfe和Aung, 2014).

泰国半岛南部的密西西比亚系称Khuan Klang组, 相当于马来西亚半岛Kubang Pasu组(或群)下部(即Chepor段, 由页岩、砂岩和燧石组成)(Raksaskulwong, 2002; Amir Hassan等, 2014; Jasin, 2015). Kubang Pasu组被细分为三个单元, 自下至上分别为燧石层、红层和碎屑岩(Jasin和Harun, 2011; Jasin, 2015). 燧石层即Telaga Jatoh组, 产杜内期放射虫, 可划分为*Stigmosphaerostylus*、*Archocyrtium*和*Albaillella*三个组合, 分别指示上陆棚、下陆棚和盆地环境(Jasin和Harun, 2011), 并可以与泰国半岛最南端的地层进行对比(Sashida等, 2002); 红层为Wang Kelian组(Meor和Lee, 2005), 产双壳类和腕足类, 包括*Posidonia*的几种双壳类和腕足类, 时代为维宪期(Roslan等, 2017). 在马来西亚半岛西北部也发现了*Posidonomya*的分子, 其出现表明Kubang Pasu组下部属于密西西比亚系, 并可指示热带-亚热带的温暖气候环境(Jasin, 2015). Kubang Pasu组上部的碎屑岩为早二叠世的冰川混杂岩成因. 此外, 马来西亚半岛还有由各种石灰岩(部分为鲕状)组成的Kuan On层, 产四射珊瑚*Siphonophyllia*, 时代为维宪期晚期(Metcalfe, 1983).

2.2.4　南阿富尔-南帕米尔地区

阿富汗南部地块包括阿富汗东南部和部分中部山脉(Vachard和Montenat, 1996), 是在石炭纪-二叠纪古地理演化阶段中起源于冈瓦纳大陆的地块(Leven, 1997; Zanchetta等, 2018). 帕米尔南部或西南部与阿富汗南部相似, 也属于基默里大陆的一部分(Wang X D等, 2021). 阿富汗南部杜内期地层下部为一套未命名硅质碎屑岩, 顶部含较为稳定的石英岩, 可用以识别石炭系底界, 该碎屑岩的砂质和鲕状碳酸盐岩条带中产杜内期腕足类; 上部为约10m厚的褐色砂质石灰岩和燧石层, 岩性横向变化较大, 可相变为块状、不均匀层状的灰色灰岩, 产杜内期晚期腕足类和有孔虫(Vachard和Montenat, 1996). 之上上覆一套深灰色到黑色、成层性良好的灰岩或生物碎屑灰岩, 不含任何陆源物质, 所含动物群时代为杜内期晚期, 包括有孔虫、藻类和腕足类. 维宪期地层为厚层鲕状灰岩, 也含维宪期动物群, 包括*Koninckopora tenuiramosa*、*Ammarchaediscus eospirillinoides*和*Eotextularia* sp. 在此之上则是中-晚维宪期地层, 为黄色至灰色的泥质灰岩, 含黑色燧石结核, 产丰富的苔藓虫、单体珊瑚、腕足类以及有孔虫(Vachard和Montenat, 1996). 谢尔普霍

夫期和宾夕法尼亚亚纪的地层缺失, 在此之上则为二叠纪的碎屑岩.

2.2.5 南羌塘分区

该分区位于班公湖-怒江缝合带以北, 龙木错-双湖缝合带以南, 确定的石炭系仅有少量报道(夏代祥和刘世坤, 1997), 为密西西比亚系的灰岩, 含四射珊瑚化石. 在北部边缘的冈玛错、日湾茶卡、查桑等地, 见有大小不等的石炭系灰岩体, 被划分为日湾茶卡组和冈玛错组, 大体沿冈玛日-查桑断裂北侧展布, 虽然在地理分布上, 这些石炭系岩体属于南羌塘分区, 但它们的沉积特征和含暖水动物群的面貌反映出劳亚大陆南缘的华夏-古特提斯亲缘性(西藏自治区地质矿产局, 1993; 彭虎等, 2014), 应属于北羌塘的范畴.

2.3 特提斯型的石炭系

本文讨论的特提斯型石炭系主要涉及羌塘-华南大区和华北-塔里木大区的部分区域. 其中羌塘-华南大区包括羌塘-横断山区, 区内石炭系主要见于改则、芒康、昌都、巴塘、康定及松潘等地区, 整体研究较少, 且多集中在藏东、川西以及滇西一带. 全区主体是厚层碳酸盐岩沉积, 与上覆及下伏地层整合或不整合接触(林宝玉, 1981; 刘世坤和姚宗富, 1988). 根据地层特征, 羌塘-横断山区大致可划分为唐古拉山分区(III_1)、昌都-横断山分区(III_2)和可可西里-巴颜喀拉分区(III_3)(王增吉, 1990; 图1). 华北-塔里木大区包括塔里木南部、昆仑山、柴达木盆地、祁连山等地区, 大致相当于张雄华等(2021)划分的秦祁昆地层大区西部, 可划分铁克里克分区(IV_1)、西昆仑分区(IV_2)、喀喇昆仑分区(IV_3), 东昆仑-中秦岭分区(IV_4)和祁连山分区(IV_5)(图1). 这些地区石炭纪生物群面貌总体属于特提斯区系, 分布于低中纬度地区, 生物分异度高, 地方性分子较多; 按中国生物地理区系(王增吉, 1990), 属西北-华北生物地理区, 生物群面貌兼具南方和天山-兴安两个生物地理区生物群混生的特点.

2.3.1 唐古拉山分区

唐古拉山分区大致范围东至昌都一带, 西至国境线, 北界昆仑山、可可西里山南麓, 南与冈底斯区为邻. 该区石炭系厚度巨大, 大多受断层切割, 完整剖面少. 唐古拉山分区的石炭系研究程度较低, 主要集中在西藏改则、日土地区以及尼玛地区(图4).

Ⅰ岩石地层

(1) 西藏改则. 改则的石炭系为一套浅海相碳酸盐岩及碎屑岩, 化石丰富, 其分布西起改则以北的日湾茶卡, 东到双湖之西的查桑地区, 近东西向延伸, 出露宽度不大, 沿走向零星分布(刘世坤和姚宗富, 1988). 自下而上可划分为日湾茶卡组(姚宗富等1981年命名, 见: 金玉玕等, 2000)与塔里来组(范影年, 1988). 该地区的石炭系与上覆二叠系呈断层接触, 与下伏泥盆系呈角度不整合接触. 日湾茶卡组为典型的暖水环境浅海碳酸盐台地相沉积, 主要为一套不等厚、互层的泥质灰岩、砂质灰岩、灰岩与砂页岩(西藏自治区地质矿产局, 1993), 分布于改则县冈玛错-查桑等地. 日湾茶卡组化石以四射珊瑚和腕足类为主, 此外还有菊石、双壳类及三叶虫等, 属于暖水动物群, 与华南十分相似, 时代为维宪期到谢尔普霍夫期(图4). 塔里来组为原日湾茶卡组上部的碎屑岩, 与冈玛错组相当, 主要为一套灰色、灰绿色、灰黄色粉砂岩、细砂岩、页岩及砂质灰岩, 分布于改则地区日湾茶卡. 在查桑以北的江爱达日那一带, 塔里来组岩性为灰色厚层状灰岩、砂岩、页岩及灰岩透镜体, 组成复理石(西藏自治区地质矿产局, 1993). 塔里来组产四射珊瑚、腕足类及蝬类化石, 属暖水生物群, 时代应为宾夕法尼亚亚纪, 也可能仅代表宾夕法尼亚亚纪早期(西藏自治区地质矿产局, 1993).

(2) 西藏日土. 日土地区石炭系出露较少, 主要见于雅协错、双陷大坂、拉竹龙南山和界山大坂以北一带, 以双陷大坂一带发育较好(图4), 属稳定型沉积(西藏自治区地质矿产局, 1993), 可划分为月牙湖组(西藏区调队, 1987)和冈玛错组(谢义木等, 1985). 月牙湖组包括原月牙湖组、双陷大坂组以及恰提尔群底部灰岩(夏代祥和刘世坤, 1997; 张雄华等, 2021); 为典型的浅海相沉积, 在双陷大坂为泥灰岩夹灰岩、生物灰岩, 至月牙湖附近为生物灰岩及泥灰岩间夹钙质页岩、页岩、钙质粉砂岩和粉砂岩(夏代祥和刘世坤, 1997); 由西向东泥、砂质增加, 厚度亦加大, 化石丰富, 时代为杜内期-莫斯科期. 冈玛错组为石英砂岩、长石石英砂岩及粉砂岩夹灰岩透镜体, 产少量腕足类化石, 时代属宾夕法尼亚亚纪晚期(张雄华等, 2021).

(3) 西藏尼玛. 尼玛石炭系仅包含瓦垄山组(程立人等, 2006). 瓦垄山组为深灰色中厚层状夹薄层状灰

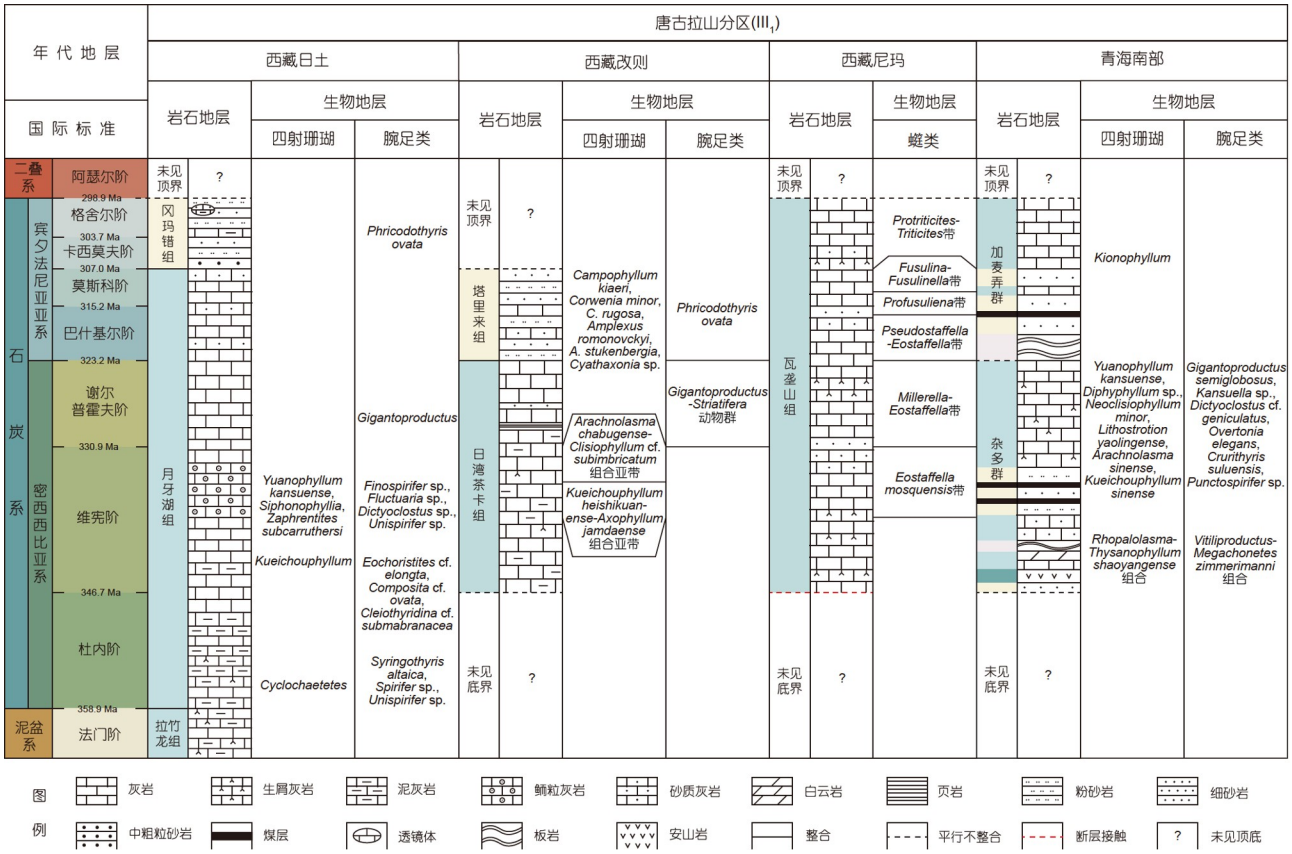

图 4　唐古拉山分区岩石和生物地层综合柱状图

岩夹黄灰色中薄层状中细粒砂岩，产丰富的蠖类和四射珊瑚化石(程立人等, 2007; 张少文等, 2021), 据这些化石，可确定其时代为密西西比亚纪谢尔普霍夫期至宾夕法尼亚亚纪末期.

(4) 青海南部. 青海省南部近唐古拉山地区石炭系下为密西西比亚系的杂多群(青海第二区调队，1982), 上为宾夕法尼亚亚系的加麦弄群(刘广才，1988)(图4). 杂多群下部以灰色碳酸盐岩为主，产四射珊瑚及腕足类，时代为维宪期早-中期(青海省地质矿产局，1991); 中部为灰、灰黑色粉砂岩夹砂岩及炭质板岩, 含煤, 时代为维宪期中-晚期; 上部以生物灰岩为主, 夹白云岩, 含丰富的四射珊瑚、腕足类, 为维宪期晚期-谢尔普霍夫期. 加麦弄群下部为灰黑色板岩、粉砂岩夹灰岩、少许火山岩及煤线; 上部为碳酸盐岩, 化石较稀少, 灰岩中可见四射珊瑚*Kionophyllum*等, 顶部产蠖*Triticites*, 时代为宾夕法尼亚亚纪.

Ⅱ生物地层

西藏改则-日乌齐地区日湾茶卡组内的四射珊瑚包括维宪期*Kueichouphyllum heishikuanense-Arachnolasma chabugense*组合带，可细分为*Kueichouphyllum heishikuanense-Axophyllum jamdaense*组合亚带与*Arachnolasma chabugense-Clisiophyllum* cf. *subimbricatum*组合亚带(任卉, 2019)(图4). 青海省南部唐古拉山北坡杂多群含维宪期四射珊瑚*Rhopalplasma-Thysanophyllum*组合(青海省地质矿产局，1991). 改则的日湾茶卡组还含大量腕足类化石，为*Gigantoproductus-Striatifera*动物群, 包括*Striatifera*、*Balakhonia*、*Productus*、*Dielasma*、*Spiriferella*、*Punctosprifer*和*Gigantoproductus*等华南常见的属(西藏自治区地质矿产局，1993)(图4). 青海南部唐古拉山的杂多群下部含腕足类*Vitiliproductus-Megachonetes zimmerimanni*组合(图4), 也主要是华南常见的密西西比亚纪的类群(青海省地质矿产局，1991). 西藏尼玛北部瓦垄山组含丰富的蠖类化石, 可划分为6个化石带(程立人等, 2007), 自下而上为*Eostaffella mosquensis*带、*Millerella-Eostaffella*带、*Pseudostaffella-Eostaffella*带、*Profusuliena*带、*Fusuli-*

*na-Fusulinella*带, 以及*Protriticites-Triticites*带, 时代为谢尔普霍夫期至格舍尔期(图4).

2.3.2 可可西里-巴颜喀拉分区

可可西里-巴颜喀拉分区的石炭系研究程度较低. 其中巴颜喀拉玛多-马尔康一带, 四川松潘、金川地区以浅海碳酸盐岩相为主夹碎屑岩相, 自下而上依次为雪宝顶群(谭锡畴和李春昱, 1935)与西沟群(四川地质局第二区测队, 1975)(图5), 分布于茂汶九顶山、宝兴东大河、康定金汤石喇嘛和南坪雪宝顶一带(四川省地质矿产局, 1991). 四川南坪与甘肃南部武都、文县等地的石炭系为一套浅海碳酸盐岩沉积, 自下而上依次为益哇组(秦锋和甘一研, 1976)、略阳组(赵亚曾和黄汲清, 1931)、岷河组(黄振辉19662年命名, 见: 金玉玕等, 2000)和尕海组(甘肃第一区测队, 1973)(图5).

Ⅰ岩石地层

(1) 四川松潘-金川. 雪宝顶群为一套富含泥砂质的浅海碳酸盐岩建造, 主要为含泥质石灰岩、千枚岩互层, 在雪宝顶一带, 本群岩性、厚度变化较大, 下部为灰至灰黑色薄至中厚层泥质白云质灰岩夹千枚岩, 上部为灰至灰白色, 风化后为土黄色的薄层泥质灰岩夹千枚岩或砂质条带; 雪宝顶群所含化石以四射珊瑚为主, 时代为密西西比亚纪晚期(金玉玕等, 2000). 西沟群为台地浅海相沉积, 下部为灰-灰白色厚层结晶灰岩及鲕状灰岩, 不含化石; 上部为灰黑色微晶灰岩、生物碎屑灰岩夹黑-灰白色白云质灰岩条带, 产蜓类; 主要分布于松潘双河、北川县小寨子和茂汶县水关子, 黑水县维古等地也有出露, 其厚度由东向西有减薄的趋势, 时代为宾夕法尼亚亚纪.

(2) 四川南坪、甘肃武都-文县. 密西西比亚系包括益哇组和略阳组. 益哇组为台型浅海-深湖相沉积, 岩性为深灰色灰岩、泥质灰岩, 顶部为燧石结核灰岩, 产四射珊瑚和腕足类, 时代为晚泥盆世-杜内期(侯鸿飞等, 2000; 金玉玕等, 2000). 略阳组为滨浅海相沉积, 以深灰色中层至厚层灰岩为主, 含硅质条带, 夹薄层泥质灰岩及含炭砂质页岩; 分布区域西自青海河南县, 经甘肃碌曲、迭部、武都、文县及康县, 东延至陕西略阳和洋县, 在西部碌曲一带夹砾状灰岩, 向东至康县一带夹钙质板岩及石英砂岩, 在文县附近偶夹铝土矿和赤铁矿透镜体; 含四射珊瑚、腕足类和蜓类, 时代为维宪期-谢尔普霍夫期(金玉玕等, 2000).

宾夕法尼亚亚系包括岷河组和尕海组. 岷河组为台地浅海相沉积, 岩性主要为灰色厚层灰岩, 夹中-薄层白云质灰岩, 偶具鲕状结构, 分布在西秦岭南部, 沿白龙江两岸东延至武都和文县一带; 岩性较稳定, 碎屑岩向东增加, 在文县以西梅家厂以白云质灰岩为主, 夹砂质灰岩和石英细砂岩; 产丰富蜓类还产四射珊瑚, 时代为宾夕法尼亚亚纪早期(金玉玕等, 2000). 尕海组为滨岸浅海相沉积, 岩性为浅灰、灰白色厚层-块状灰岩, 含少量燧石结核及鲕状灰岩, 底部为灰质砾岩, 主要分布在西秦岭南部、甘肃玛曲、迭部到武都、文县一带; 由西向东板岩和砂岩夹层增多, 厚度亦明显变薄; 富含蜓类, 时代为宾夕法尼亚亚纪晚期至早二叠世早期 (金玉玕等, 2000)(图5).

Ⅱ生物地层

可可西里-巴颜喀拉分区密西西比亚纪含丰富的四射珊瑚和腕足类, 宾夕法尼亚亚纪则以蜓类为主, 这些化石多见于该分区东南部的四川南坪与甘肃南部武都、文县等地(图5). 杜内阶可识别出*Uralinia*带, 产于益哇组(范影年, 1994; 图5). 蜓类生物地层自下而上可分为*Pseudostaffella antiqua-P. nedhami*带、*Profusulinella ovata-P. parva*带、*Fusulinella subpulchra-Fusulina samarica*/*F. schllwieni*带、*Triticites*带以及*Pesudoschwagerina*带(金玉玕等, 2000; 图5), 其中前三个带产于岷河组, 后两个带产于尕海组.

2.3.3 昌都-横断山分区

昌都-横断山分区主要指藏东昌都和芒康, 川西巴塘和松潘以及云南中西部的中甸和思茅等地区(图5、6). 该分区石炭系发育良好, 密西西比亚系局部含煤, 其余以碳酸盐岩为主, 化石丰富且面貌与华南区相近.

Ⅰ岩石地层

(1) 昌都小区. 昌都小区密西西比亚系包括乌青纳组(四川地质局第三区测队, 1974)、珊瑚河组(西藏地质大队, 1971)和东风岭组(西藏地质大队, 1971), 宾夕法尼亚亚系为骜曲组和里查组(四川地质局第三区测队, 1974)/俄巴纳组(文沛然等, 1992)(图5). 乌青纳组为灰黑色、少量灰色厚层-块状致密灰岩和泥质砂质灰岩, 上部含燧石条带, 仅出露于藏东妥坝附近, 分布极为局限, 含大量四射珊瑚及少量腕足类, 时代为晚泥盆世-密西西比亚纪杜内期. 珊瑚河组为一套滨浅海、局部潟湖相的碎屑岩沉积(金玉玕等, 2000), 可分为下、

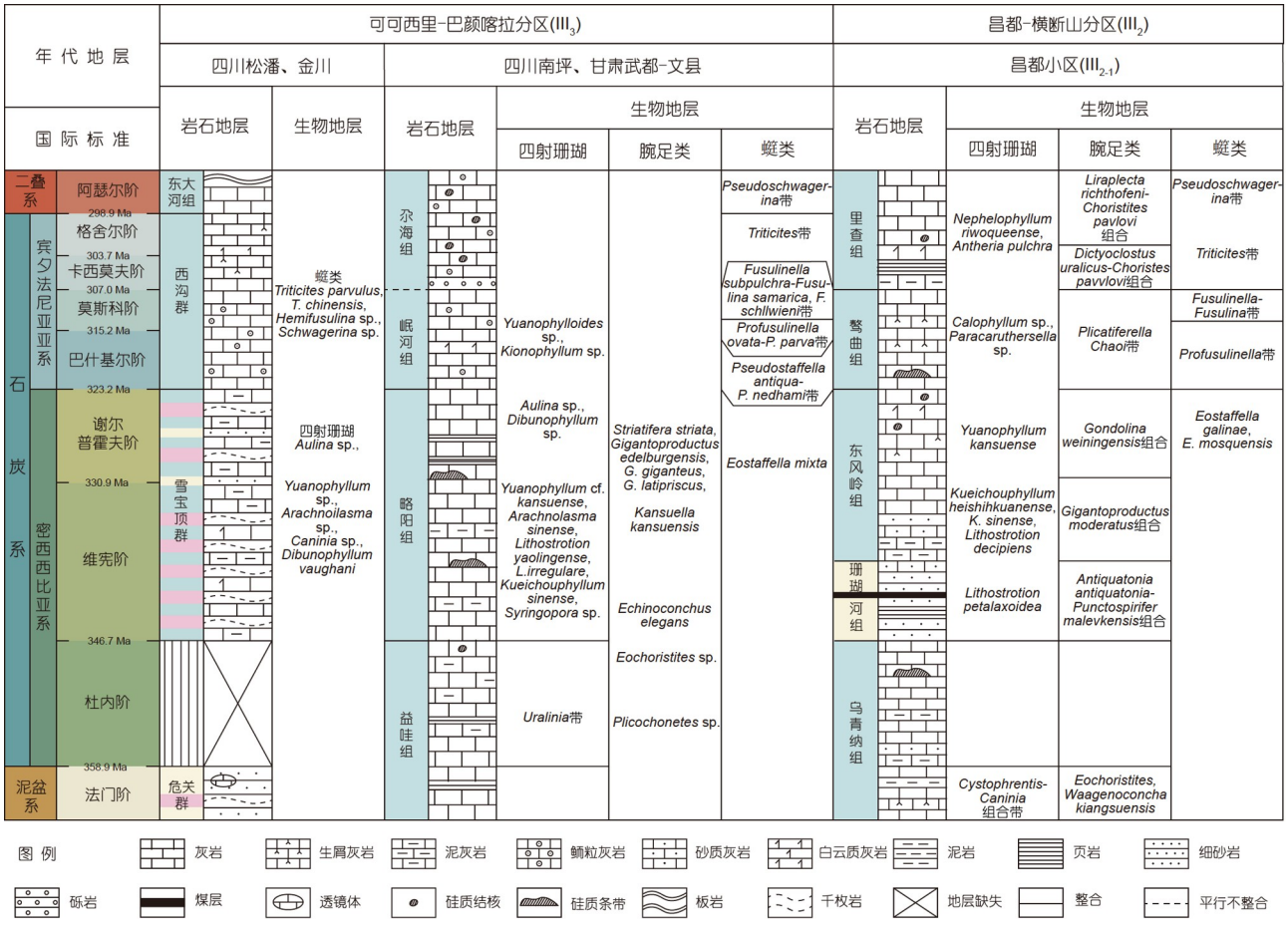

图 5　**可可西里-巴颜喀拉分区与昌都-横断山分区昌都小区岩石和生物地层综合柱状图**

中、上三部分，下部为中厚层石英砂岩夹炭质、砂质页岩、钙质砂岩及泥、砂质灰岩；中部为薄-中厚层炭质、砂质页岩和泥质、炭质砂岩与石英砂岩互层，夹多层无烟煤及炭质页岩和含菱铁矿的砂岩；上部为薄层泥质、砂质灰岩、石英砂岩、页岩及砂质页岩；化石丰富，除植物和四射珊瑚，尚有大量的腕足类、苔藓虫及少量腹足类和三叶虫等，时代为维宪期(夏代祥和刘世坤，1997)．东风岭组为一套浅海陆棚相碳酸盐岩沉积(金玉玕等，2000)，下部为中厚层-厚层致密灰岩、泥质灰岩和结晶灰岩夹炭质、砂质灰岩及砂岩；上部为中厚-厚层灰岩、结晶灰岩、生物碎屑灰岩和含燧石结核的致密灰岩夹白云质灰岩、炭质灰岩与钙质灰岩；化石丰富，除产大量四射珊瑚和腕足类外，尚有少量蜓类，时代为维宪期晚期-谢尔普霍夫期．鹦曲组为一套浅海相中-厚层致密灰岩和生物介壳灰岩，常具鲕状结构，部分含燧石结核和条带，化石主要为蜓类、四射珊瑚和腕足类，也有少量苔藓虫和有孔虫等，时代为宾夕法尼亚亚纪早期．里查组为滨海相纯碳酸盐岩沉积，下部为厚层-块状致密灰岩、结晶灰岩及生物碎屑灰岩为主，局部含燧石团块，局部夹黑色钙质页岩和粉砂岩；上部为中厚层-块状具豆状结构致密灰岩、生物碎屑灰岩及细晶质灰岩，夹少量燧石团块或条带；化石以蜓类为主，也含四射珊瑚、腕足类、苔藓虫和鹦鹉螺等，时代为宾夕法尼亚亚纪晚期至早二叠世(金玉玕等，2000)．俄巴纳组是里查组的同期异相沉积，底部有一薄层紫红色页岩夹灰岩；下部为灰黑色灰质页岩与黑色炭质泥灰岩互层；上部为浅灰色及灰黑色含燧石条带灰岩和泥质、硅质灰岩，夹页岩及中性火山角砾与岩屑；所含化石面貌与里查组基本一致，时代为宾夕法尼亚亚纪晚期至早二叠世(金玉玕等，2000)．

(2) 横断山小区．横断山小区主要包括云南西北部

及四川西南部, 石炭系横向变化较大, 沉积类型多样, 其中四川西部在石炭纪基本处于持续海侵的阶段, 发育广泛的海相沉积序列.

四川康定区域石炭系主要为含硅质灰岩、大理岩、条带状大理岩、石英千枚岩、炭质千枚岩、二云片岩和硅质岩, 为斜坡-深水盆地沉积(四川省地质矿产局, 1991), 自下而上依次为长岩窝组(地科院地质所川西地质研究队, 1969)、乱石窖组(四川地质局第二区测队, 1976)和石喇嘛组(四川地质局第二区测队, 1976)(图6). 长岩窝组为浅海相沉积, 以薄-厚层结晶灰岩、白云质灰岩和生物碎屑灰岩夹硅质岩及硅质条带灰岩为主, 底部有铁锰质黏土岩(四川省地质矿产局, 1991); 中部产丰富四射珊瑚, 上部产蝬类; 时代为维宪期晚期-谢尔普霍夫期(李莹等, 2021). 乱石窖组为滨浅海相沉积, 以灰、浅灰色中厚层-厚层结晶灰岩、生物灰岩、生物碎屑灰岩及硅质岩为主, 上部局部具砾状生物碎屑灰岩, 产蝬类和四射珊瑚, 时代为宾夕法尼亚亚纪巴什基尔期-莫斯科期. 石喇嘛组为滨浅海相沉积, 由中厚层-厚层泥质生物碎屑灰岩、结晶灰岩及角砾碎屑灰岩组成, 偶夹黑色页岩, 化石以蝬类为主, 时代为宾夕法尼亚亚纪卡西莫夫期-格舍尔期(四川省地质矿产局, 1991; 张雄华等, 2021).

四川巴塘-木里以及云南中甸-金平区域石炭系以碳酸盐岩为主, 局部夹较多的碎屑岩及中基性火山岩, 厚度大, 局部变质. 自下而上依次为巴乡岭组、许池卡组、扎普组和顶坡组(图6), 均由四川地质局第三区测队(1972)命名于四川巴塘. 巴乡岭组属正常浅海相沉积, 底部为砖红色生物碎屑灰岩, 主要为块状含鲕粒灰岩、泥质灰岩及白云质灰岩, 产四射珊瑚*Keyserlingophyllum*和牙形类*Siphonodella*等典型密西西比亚纪杜内期化石(云南省地质矿产局, 1990; 四川省地质矿产局, 1991). 许池卡组主要为中厚层-块状含鲕粒灰岩和生物碎屑灰岩夹泥质灰岩与白云质灰岩, 分布范围较广, 厚度横向变化明显, 产丰富的化石, 包括四射珊瑚、腕足类及蝬类, 时代为密西西比亚纪维宪期晚期至谢尔普霍夫期(四川省地质矿产局, 1991). 扎普组为台地滨浅海相沉积, 岩性为厚层-块状含细鲕粒灰岩为主, 横向变化大, 可相变为中厚层-块状生物碎屑灰岩、白云岩和白云质灰岩夹板岩及蚀变玄武岩; 在玉龙雪山至哈巴雪山一带, 为泥质条带大理岩(云南省地质矿产局, 1990; 四川省地质矿产局, 1991); 含丰富的蝬类及四射珊瑚, 时代为宾夕法尼亚亚纪巴什基尔期-莫斯科期(金玉玕等, 2000). 顶坡组为正常滨海相沉积, 岩性为浅灰-灰白色块状细晶灰岩, 局部含鲕粒; 分布与扎普组相似, 相变明显, 可相变为角砾状灰岩、砂质灰岩夹板岩、千枚岩和硅质岩, 夹蚀变玄武岩、玄武质凝灰岩及凝灰质板岩; 玉龙雪山至哈巴雪山一带, 为灰白色含少量泥质条带大理岩; 下部产蝬*Triticites*及四射珊瑚*Nephelophyllum*, 时代为宾夕法尼亚亚纪晚期(四川省地质矿产局, 1991); 上部含蝬*Pseudoschwagerina*, 时代为早二叠世(云南省地质矿产局, 1990; 四川省地质矿产局, 1991).

云南德钦-思茅区域石炭系岩相变化极大, 沉积类型多样, 大体上可分为稳定型和活动型两类. 稳定型分布在各深大断裂带之间的盆地内, 不含火山岩, 厚度小, 生物化石丰富, 与滇东的石炭系相似, 以灰岩为主; 活动型主要沿各深大断裂带分布, 火山岩发育, 厚度大, 生物化石少. 典型代表为景谷地区的曼丙组(云南省地质矿产局, 1990)和龙洞河组(云南省区调队, 1981; 张雄华等, 2021); 耿马地区的平掌组(云南省区调队, 1981)、石洞寺组(云南省区调队, 1981; 蓝朝华等, 1983)和鱼塘寨组(蓝朝华等, 1983)(图6). 除石洞寺组和鱼塘寨组为稳定型外, 其他均为活动型. 曼丙组下部为鲕状灰岩、生物碎屑灰岩、泥岩、粉砂质页岩和凝灰岩, 或中酸性凝灰泥岩、绢云页岩及长石岩屑砂岩; 上部以生物碎屑灰岩、含鲕粒燧石条带灰岩和泥质灰岩等为主, 夹泥页岩及泥质粉砂岩, 时代为密西西比亚纪. 龙洞河组为岛弧型火山-硅质沉积, 主要由灰岩及火山凝灰岩组成, 可分为上、下两段; 下段下部主要由砾岩、砂岩及砂砾岩组成, 砾石成分为中酸性火山岩和灰岩; 下段上部由灰岩组成, 产蝬类*Triticites*等; 上段主要为中酸性火山角砾岩、熔凝灰岩、蚀变细凝灰岩和泥质粉砂岩, 夹少量放射虫硅质岩, 在思茅县大凹子一带, 上段的岩性有变化, 下部出现中基性熔岩, 中上部以石英钠长斑岩为主, 并夹多层放射虫硅质岩; 分布较为狭窄; 时代为宾夕法尼亚亚纪至早二叠世. 平掌组为一套由中、基性喷发岩、碳酸盐岩及硅质岩组成的混杂堆积, 分上下两段. 下段为海相中、基性喷发岩(玄武岩和安山岩), 下段上部偶夹灰岩透镜体, 在命名剖面, 由5个喷发旋回组成, 第四、五旋回中夹少量硅质岩及层凝灰岩; 上段由大理岩、白云质灰岩、灰岩夹硅质岩和玄武岩所组成, 厚

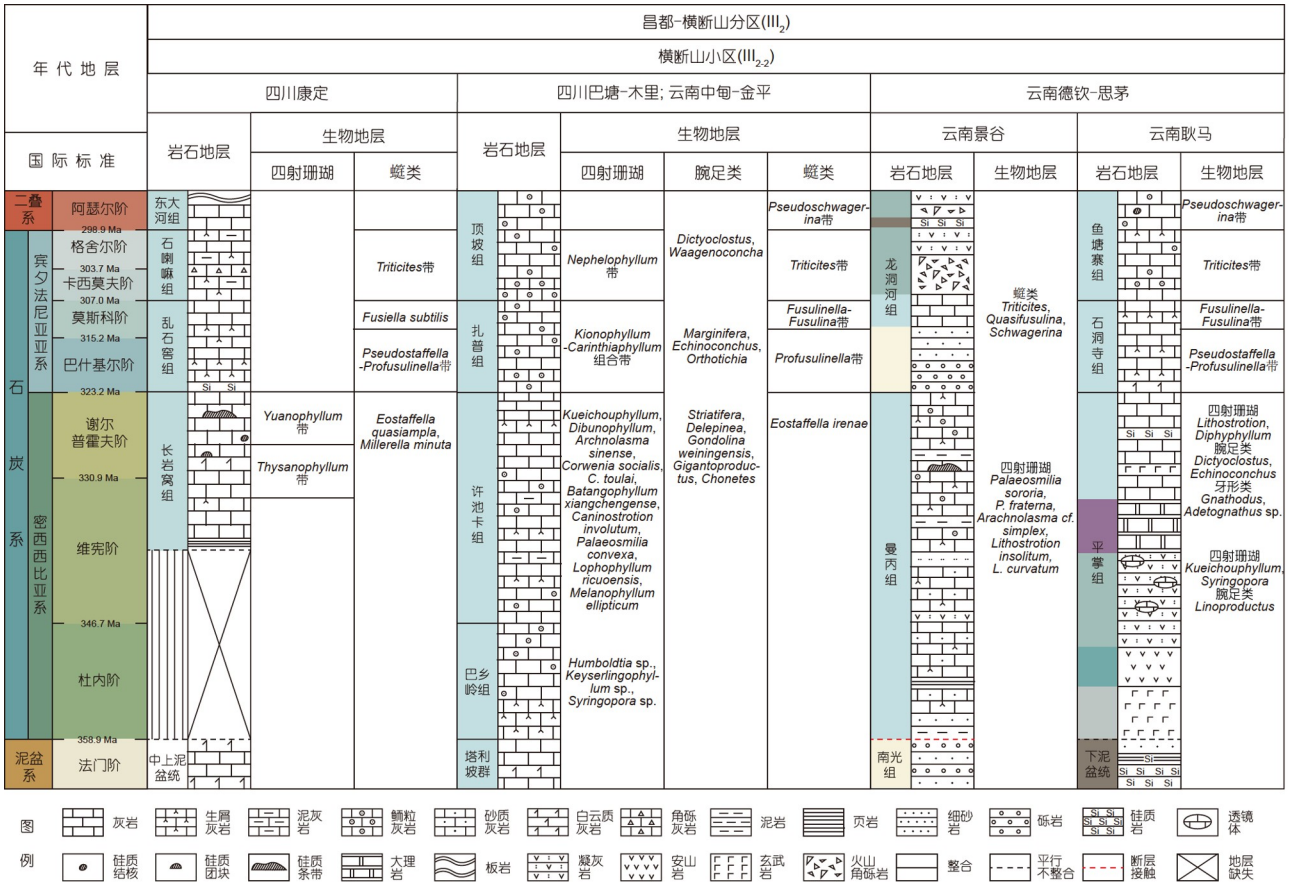

图 6　昌都-横断山分区横断山小区岩石和生物地层综合柱状图

度由北往南减薄以至消失; 灰岩中含四射珊瑚, 腕足类及牙形类化石, 时代为密西西比亚纪(郭福祥, 1985; 金玉玕等, 2000). 石洞寺组为浅海相的海山型碳酸盐岩沉积(Ueno等, 2003), 岩性以厚层-块状生物碎屑灰岩为主, 底部为一层浅紫红色白云质灰岩, 产丰富的蠖类、四射珊瑚和腕足类等化石, 时代为宾夕法尼亚亚纪早期. 鱼塘寨组为浅海相的海山型沉积, 其下部为巨厚块状斑点灰岩夹鲕状灰岩, 上部为厚层灰岩夹鲕状灰岩和生物碎屑灰岩; 在耿马勐勇香竹林与芒帕一带, 夹有玄武岩及页岩和少量硅质结核; 含蠖类及四射珊瑚, 时代为宾夕法尼亚亚纪-早二叠世.

Ⅱ生物地层

昌都-横断山分区石包含丰富的四射珊瑚、腕足类及蠖类化石(图5、6). 本分区石炭系可建立4个四射珊瑚组合: 维宪期早期的*Thysanophyllum*带, 产于四川西部康定地区长岩窝组中部; 谢尔普霍夫期的*Yuanophyllum*带, 产于长岩窝组上部; 巴什基尔期的*Kionophyllum-Carinthiaphyllum*组合带, 产于四川巴塘和云南中甸、金平等地的扎普组; 卡西莫夫期-格舍尔期的*Nephelophyllum*带, 产于四川巴塘及云南中甸、金平等地的顶坡组(四川省地质矿产局, 1991; 西藏自治区地质矿产局, 1993). 主要依据藏东昌都地区的石炭系, 可识别出6个腕足动物组合, 分别为维宪期的*Antiquatonia antiquatonia-Punctospirifer malevkensis*组合, 产于珊瑚河组; 维宪期末期的*Gigantoproductus moderatus*组合, 产于东风岭组下部; 谢尔普霍夫期早期的*Gondolina weiningensis*组合, 产于东风岭组上部; 宾夕法尼亚亚纪早期的*Plicatiferella Chaoi*带, 产于鸷曲组; 宾夕法尼亚亚纪中期的*Dictyoclostus uralicus-Choristes pavvlovi*组合, 产于里查组下部; 以及宾夕法尼亚亚纪晚期的*Liraplecta richthofeni-Choristites pavlovi*组合, 产于里查组顶部(西藏自治区地质矿产局, 1993). 然而, 这些腕足类的分类命名需要进一步修订. 本分区的灰岩地层中产丰富的蠖类化石, 可识别出4个组合

带: 密西西比亚纪晚期的*Eostaffella*带, 产于许池卡组和长岩窝组上部, 在东风岭组内也有该带分子出现; 宾夕法尼亚亚纪早期的*Pseudostaffella-Profusulinella*带, 产于乱石窖组、扎普组、骜曲组和石洞寺组的下部; 宾夕法尼亚亚纪早-中期的*Fusulinella-Fusulina*带, 产于扎普组、骜曲组和石洞寺组的上部; 宾夕法尼亚亚纪中-晚期的*Triticites*带, 产于石喇嘛组、里查组、顶坡组和鱼塘寨组的下部(西藏自治区地质矿产局, 1993)(图5、6).

2.3.4 铁克里克分区

铁克里克分区位于塔里木盆地西南缘, 北接乌恰断裂, 西接库孜勒套-库斯拉普断裂, 南接铁克里克断裂(贾承造, 2004). 该分区石炭系可划分为克里塔克组、和什拉甫组、卡拉乌依组、阿孜干组和塔哈奇组, 除克里塔克组由吕正等(1958)命名外, 其他地层单位均由新疆维吾尔自治区区域地层表编写组(1981)首次发表(图7).

Ⅰ岩石地层

克里塔克组原称克里塔克岩系, 为浅海相沉积, 主要岩性为灰-灰白色厚层鲕状灰岩、深灰色白云岩、白云质灰岩、钙质细砾岩、灰绿色砂岩及玫瑰色灰岩, 呈北西-南东向带状分布在铁克里克分区的英吉沙-皮山县以南的昆仑山前地带及山间凹地中; 本组岩性较稳定, 由南向北, 厚度增大, 在阿克陶县恰特勒克及考库亚等剖面, 产四射珊瑚、腕足类、双壳类、腹足类和有孔虫等化石(金玉玕等, 2000), 时代为杜内期至维宪期早期. 和什拉甫组为一套浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积, 主要为浅灰、黑灰色灰岩、介壳灰岩和生物灰岩夹浅灰绿色、褐红色粉砂岩、细砂岩及黑、深灰色页岩以及浅灰色石英砂岩、砾岩, 厚度由西向东略变薄; 呈北西-南东条带状分布于棋盘山区的英吉沙-叶城一线以南的昆仑山前地带及皮山以南的桑株塔格、博查特塔格一带; 产蜓类、腕足类、牙形类和有孔虫, 还产丰富的四射珊瑚和菊石, 时代为维宪期晚期至谢尔普霍夫期(金玉玕等, 2000). 卡拉乌依组为滨-浅海相沉积, 岩性为灰-深灰色灰岩和生物灰岩、灰黑、绿灰色页岩及灰、黄绿色砂岩夹各种暗色泥岩, 主要分布在棋盘小区(蔡土赐, 1993), 区域上岩性稳定, 厚度由西向东变薄; 产蜓、四射珊瑚、牙形类、有孔虫和腕足类及双壳类等; 时代为巴什基尔期至莫斯科期早期(金玉玕等, 2000). 阿孜干组是一套滨-浅海相碳酸盐岩夹少量碎屑岩建造, 命名剖面岩性主要为灰、灰黑色灰岩、黑-深灰色页岩和浅灰、浅黄绿色砂岩夹炭质泥岩及紫红色疙瘩状灰岩; 呈北西-南东向条带状展布于英吉沙-叶城-皮山以南的昆仑山前; 产蜓类、有孔虫、牙形类、四射珊瑚和腕足类等(金玉玕等, 2000); 时代为莫斯科期晚期至卡西莫夫期早期. 塔哈奇组属滨-浅海相沉积环境, 主要为一套碳酸盐岩夹少量碎屑岩沉积; 呈北西-南东向带状分布于英吉沙-叶城-皮山以南的昆仑山前, 发育完整, 从东向西, 厚度增大; 产蜓类和牙形类, 还产四射珊瑚、腕足类、双壳类及有孔虫等(金玉玕等, 2000); 时代为宾夕法尼亚亚纪晚期至早二叠世.

Ⅱ生物地层

铁克里克分区自下而上可识别出12个腕足类生物带(Chen和Shi, 1999, 2000, 2003; Chen, 2004; Tang等, 2023), 分别为克里塔克组上部杜内期晚期至维宪期早期*Chuiella aitegouensis*带(*Tc*带)、和什拉甫组下部维宪期早期*Brochocarina kunlunensis*带(*Vbr*带)、和什拉甫组中部维宪期早期*Rugosochonetes hardrensis*带(*Vr*带)、和什拉甫组中部维宪期早期至中期*Buxtonia pseudoscabricula*带(*Vbu*带)、和什拉甫组维宪期中期*Vitiliproductus groberi*带(*Vv*带)、和什拉甫组维宪期晚期*Datangia weiningensis*带(*Vd*带)、和什拉甫组谢尔普霍夫期*Gigantoproductus edelburgensis*带(*Sg*带)、卡拉乌依组巴什基尔期早期*Productus productus*带(*Bp*带)、卡拉乌依组巴什基尔期晚期*Eomarginifera lata*带(*Be*带)、卡拉乌依组莫斯科期早期*Choristites abnormalis*带(*Mc*带)、阿孜干组莫斯科期晚期*Purdonella artuxensis*带(相当于*Mp*带), 以及塔哈奇组下部卡西莫夫期晚期至格舍尔期*Linoproductus cora*带(*Gl*带)(图7). 铁克里克分区自下而上可识别出9个蜓类生物带(朱自力, 1998; Chen和Shi, 2003; Tang等, 2023), 分别为和什拉甫组维宪期*Eostaffella mosquensis*带、和什拉甫组顶部谢尔普霍夫期*Pseudoendothyra directa*带、卡拉乌依组下部巴什基尔期*Profusulinella tikhonovichi*带、卡拉乌依组中上部莫斯科期早期*Aljutovella postaljutovica*带、阿孜干组下部莫斯科期中期*Fusulinella eopulchra*带、阿孜干组中部莫斯科期中晚期*Fusulina kamensis*带、阿孜干组上部莫斯科期晚期*Fusulina quasicylindrica*带、塔哈奇组下部卡西莫夫

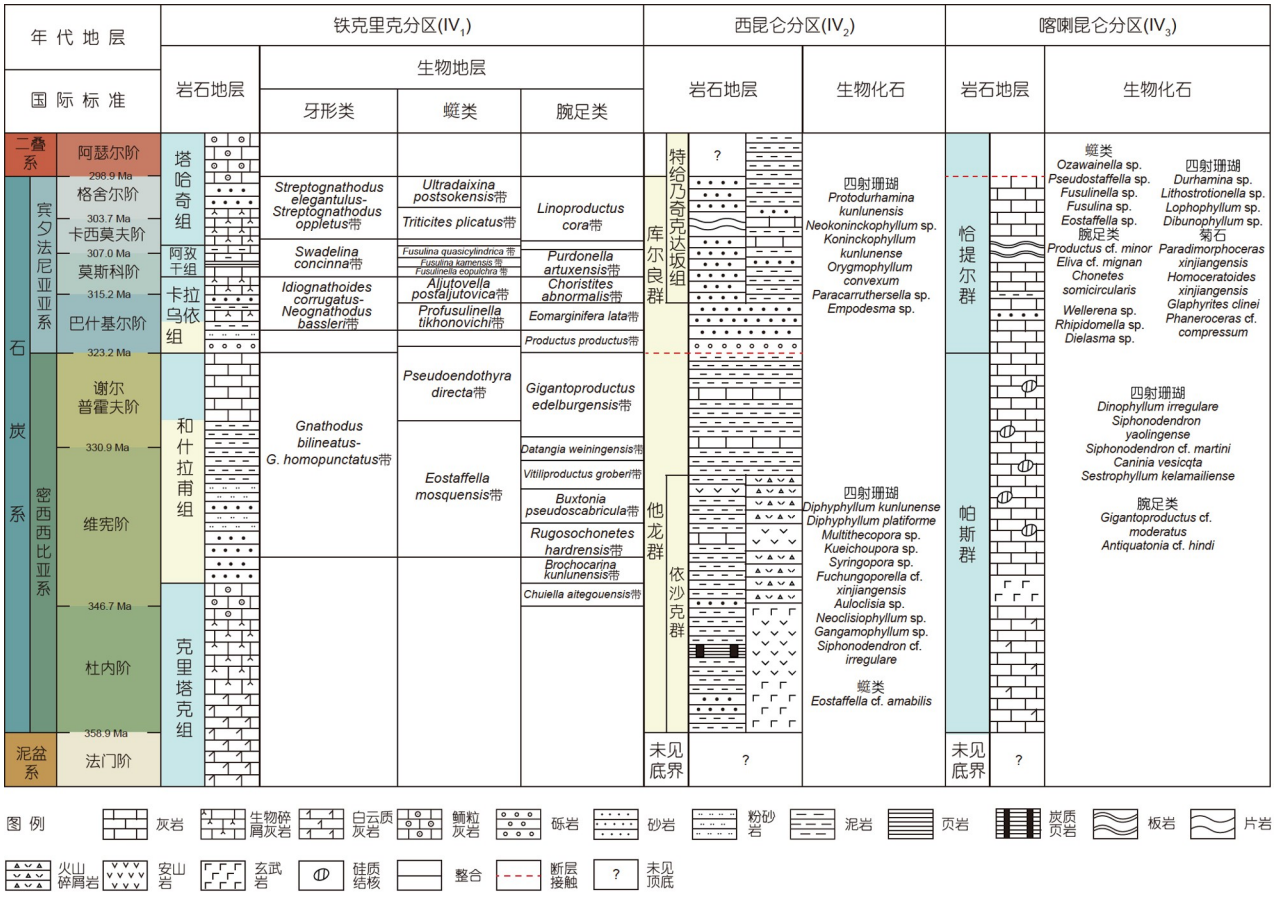

图 7　铁克里克分区、西昆仑分区和喀喇昆仑分区石炭纪岩石地层和生物地层综合剖面图(综合自Tang等, 2023)

期晚期至格舍尔期早期*Triticites plicatus*带, 以及塔哈奇组下部格舍尔期晚期*Ultradaixina postsokensis*带(图7). 铁克里克分区石炭系自下而上还可识别出5个牙形类生物带(赵治信等, 1984, 2000; 胡科毅等, 2022), 分别为和什拉甫组维宪期早期*Mestognathus* cf. *beckmanni*带、和什拉甫组维宪期中晚期至谢尔普霍夫期*Gnathodus bilineatus-Pseudognathodus homopunctatus*组合带、卡拉乌依组巴什基尔期*Idiognathoides corrugatus-Neognathodus bassleri*组合带、阿孜干组莫斯科期中期*Swadelina concinna*带, 以及塔哈奇组下部卡西莫夫期晚期至格舍尔期*Streptognathodus elegantulus-S. oppletus*带(图7).

2.3.5　西昆仑分区

西昆仑分区包括恰尔隆-库尔梁弧后裂谷和西昆仑弧盆地(张雄华等, 2021). 密西西比亚系为他龙群(白光群等, 1984)或依沙克群(地质部十三大队八中队1957年建立, 见: 汪玉珍, 1983), 宾夕法尼亚亚系为库尔良群(张志德1984年命名, 见: 新疆地矿局第1区调队, 1984; 金玉玕等, 2000)和特给乃奇克达坂组(甄保生等, 1989)(图7).

他龙群下部由黑色泥质和炭质页岩组成, 夹砂岩、灰岩、大理岩、绿色绢云母绿泥石片岩和细砂岩; 上部由黑、灰黑色炭质泥质页岩和砂岩组成; 沿东西向带状分布在西昆仑叶尔羌河上游、康西瓦-河尾滩地区及和田桑株塔克山和博查特塔克山的山间凹地中; 向东至叶尔羌河上游及康西瓦-河尾滩地区, 变为一套海相碎屑岩, 即砂岩夹炭质页岩及灰岩; 在和田一带, 主要为灰绿色凝灰质砂岩夹片岩、凝灰岩及灰岩透镜体; 产密西西比亚纪四射珊瑚和蠕类; 时代为密西西比亚纪(蔡土赐, 1992; 金玉玕等, 2000). 依沙克群为库尔良盆地他龙群的同时非均质沉积, 主要为玄武岩, 夹安山岩、英安岩、流纹岩和石灰岩(陈守建等, 2008; Zhang等, 2021), 产密西西比亚纪四射珊

瑚及泥盆纪-密西西比亚纪放射虫等(文世宣, 1998; 方爱民等, 2000). 库尔良群为浅变质的滨浅海相碎屑岩沉积, 在命名剖面岩性从下到上为: 灰黑、灰色含砂砾岩, 炭质粉砂岩, 长石石英砂岩, 灰色、灰绿色薄-中层状钙质粉砂岩, 砂质结晶灰岩, 板状含绿泥绢云微晶片岩, 石英片岩和阳起石片岩; 沿东西向分布于西奴山-色拉阿特达坂一线以北及库尔良-苏纳克一带; 向西到苏纳克为含砾粗砂岩、炭质粉砂岩及中粒砂岩, 含四射珊瑚*Syringopora* sp.; 再向西到克里雅河上游以石英砂岩为主, 夹结晶灰岩及片岩; 更向西至阿克齐乌斯塘河, 自下而上为褐灰色钙质粉砂岩、角砾状碎屑灰岩、灰黑色片岩、斜长白云片岩和灰色变质砂岩夹灰黑色炭质粉砂岩, 产宾夕法尼亚亚纪四射珊瑚(蔡土赐, 1992; 金玉玕等, 2000). 特给乃奇克达坂组属滨海-浅海相沉积, 分布于英吉沙县昔里必里一带, 为一套灰黑色为主的碎屑岩夹碳酸盐岩, 产宾夕法尼亚亚纪-二叠纪早期四射珊瑚及蜓类(金玉玕等, 2000; 陈守建等, 2008).

2.3.6 喀喇昆仑分区

喀喇昆仑分区包括喀喇昆仑山、帕米尔高原和西昆仑山南部. 由于到该地区的交通极其困难, 只进行了几次地质调查(新疆地质矿产局地质矿产研究所和新疆地质矿产局第一区调大队, 1991; 王向利等, 2011). 该分区的石炭系可划分为帕斯群和恰提尔群, 分别由别良耶夫斯基于1946和1947年命名(金玉玕等, 2000; 全国地层委员, 2017).

帕斯群原称帕斯岩系, 参考剖面在叶尔羌河上游卡帕浪沟一带, 属浅海相沉积, 主要为浅灰色白云质灰岩、灰红色厚层块状灰岩、灰黑色燧石灰岩、黄灰色角砾状灰岩、灰色生物灰岩和灰、紫色页岩, 局部夹薄层中基性火山岩; 呈北西向条带状分布于喀喇昆仑山的叶尔羌河以东; 产密西西比亚纪四射珊瑚及腕足类(金玉玕等, 2000; 崔建堂等, 2009). 恰提尔群命名时称恰提尔岩系, 在叶尔羌河上游地区为一套海相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积, 为暗灰、黄灰色块状灰岩、生物灰岩和珊瑚礁灰岩夹少量黑灰色泥质粉砂岩和板岩; 呈北西-南东向条带状分布于叶尔羌河上游、马林克下、阿克沙依湖地区及塔什库尔干西南, 在乔戈里峰至喀喇昆仑山口一带也有出露; 在塔什库尔干地区该群相变为以火山岩及火山碎屑岩为主; 产宾夕法尼亚亚纪晚期蜓类、腕足类和菊石等, 并产丰富的孢粉化石及未命名牙形类(蔡土赐, 1999; 金玉玕等, 2000; 陈思尧等, 2022).

2.3.7 东昆仑-中秦岭分区

该分区包括新疆南部东昆仑和青海北部的柴达木盆地及邻近地区的大片区域. 按地层分布和岩性, 大致可划分为3个小区: 青海中部的柴达木南部小区($\text{Ⅳ}_{4\text{-}1}$), 石炭系可划分为石拐子组(刘广才等, 1985)、大干沟组(青海省地层表编写小组, 1980)、缔敖苏组(青海省地层表编写小组, 1980)和四角羊沟组(青海省地层表编写小组, 1980); 新疆南部的东昆仑小区($\text{Ⅳ}_{4\text{-}2}$), 石炭系包括托库兹(孜)达坂群和哈(喀)拉米兰河群, 均由张玉谦1972年命名(金玉玕等, 2000); 以及青海西北的柴达木北部小区($\text{Ⅳ}_{4\text{-}3}$), 石炭系由穿山沟组(青海省地层表编写小组, 1980)、城墙沟组、怀头他拉组、克鲁克组和扎布萨尕秀组组成, 其中城墙沟组、怀头他拉组和克鲁克组由穆恩之等于1958~1963年间命名, 扎布萨尕秀组由青海省地质局六三二石油普查大队1962年命名(中国科学院地质研究所等, 1963; 尹赞勋等, 1966; 金玉玕等, 2000)(图8).

Ⅰ柴达木南部小区

(1) 岩石地层. 石拐子组下部为灰褐色-灰色细砾岩、含砾杂砂岩及钙质细砂岩; 上部为深灰色-灰黑色亮晶、粉晶生物碎屑灰岩、生物硅质灰岩及硅质白云岩, 含四射珊瑚及腕足类等化石, 分布于青海祁曼塔格地区, 时代为杜内期中晚期. 大干沟组下部为杂色砾岩、砂岩及粉砂岩; 上部为灰色泥晶、粉晶及亮晶生物碎屑灰岩, 含丰富的四射珊瑚、腕足类和蜓类, 尚有苔藓虫、非蜓有孔虫及植物等化石; 沿东昆仑山呈断续零星出露, 主要分布于祁漫塔格北坡; 哈是托的大干沟组下部碎屑岩中含植物*Triphyllopteris collombiana*, 上部灰岩中含维宪期蜓类和有孔虫(孙崇仁, 1997), 本组时代为维宪期-谢尔普霍夫期. 缔敖苏组分布于青海格尔木及新疆东南部阿尔金山一带, 多见于缔敖苏、野马泉、打柴沟、肯得可克、云居萨依和浩特洛哇等地; 在西部为碳酸盐岩沉积, 底部为碎屑岩; 在东部为灰岩与碎屑岩互层; 总体由浅灰色巨厚层鲕状灰岩、生物碎屑灰岩及生物灰岩、白云质生物碎屑灰岩、薄层细砂岩和砾石石英砂岩组成; 灰岩中富含蜓类、有孔虫、腕足类、四射珊瑚及三叶虫等化石;

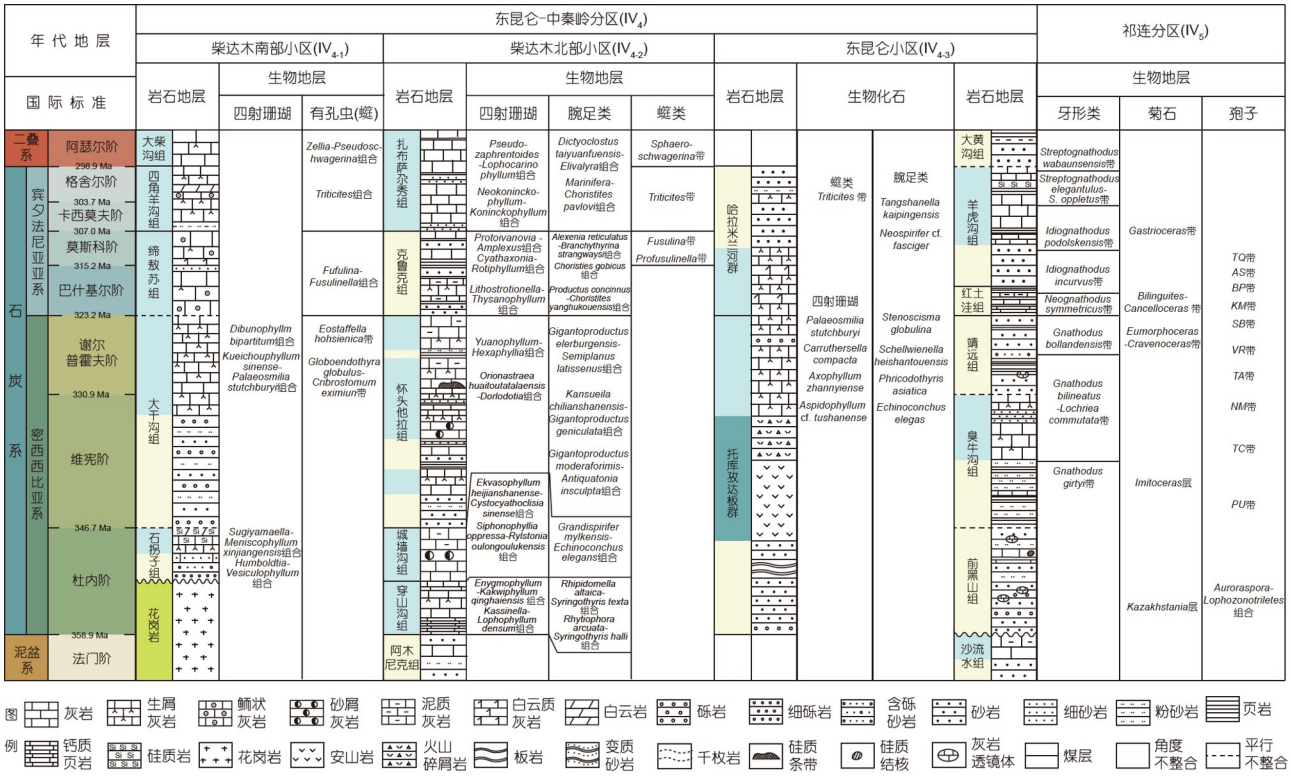

图 8　东昆仑-中秦岭分区与祁连分区石炭纪岩石地层和生物地层综合剖面图

时代为宾夕法尼亚亚纪早-中期(王增吉, 1990). 四角羊沟组为海陆交互相沉积, 以浅灰色厚层生物碎屑灰岩为主, 夹薄层鲕状灰岩及中厚层白云岩, 底部为紫色鲕状泥质粉砂岩, 主要分布于青海格尔木市缔敖苏和哈尔扎一带, 化石以蠖类为主, 还产四射珊瑚和腕足类, 时代宾夕法尼亚亚纪晚期至早二叠世早期.

(2) 生物地层. 石拐子组灰岩段可建立2个四射珊瑚组合带(图8), 分别为杜内期*Humboldtia-Vesiculophyllum*组合和*Sugiyamaella-Meniscophyllum xinjiangensis*组合(刘广才等, 1985). 在柴达木盆地西南的大干沟组可识别出四射珊瑚*Kueichouphyllum sinense-Palaeosmilia stutchburyi*组合和*Dibunophyllm bipartitum*组合(王增吉, 1983), 以及谢尔普霍夫期蠖类*Eostaffella hohsienica*带和有孔虫*Globoendothyra globulus-Cribrostomum eximium*组合(孙崇仁, 1997)(图8). 柴达木西南缘, 东昆仑西段, 缔敖苏组和四角羊沟组中自下而上可建立3个蠖组合(王增吉, 1983), 分别为*Fusulina-Fusulinella*组合、*Triticites*组合和*Zellia-Pseudoschwagerina*组合(图8).

II 东昆仑小区

托库兹达坂群包括下组、中组、上组, 均无定名; 下组以石英砂岩、含砾砂岩、板岩和千枚岩为主; 中组以流纹岩, 流纹凝灰岩, 安山岩和石灰岩为特征; 上组主要由生屑灰岩和砾岩组成, 产丰富的化石, 包括四射珊瑚和腕足类, 指示维宪期到谢尔普霍夫期; 该群火山岩的LA-ICP-MS分析得到锆石U-Pb年龄为364.1~343.8Ma, 表明其年龄为晚泥盆世至密西西比亚纪(王先辉等, 2004; 许鑫, 2020; Xu等, 2020). 哈(喀)拉米兰河群可分为上组和下组, 下组以海相碳酸盐岩为特征, 包括生物碎屑灰岩和白云岩, 局部夹火山碎屑岩, LA-ICP-MS分析其顶部火山碎屑岩中的锆石U-Pb年龄为(312.4±1.2)Ma, 表明下组为宾夕法尼亚亚纪莫斯科期(张鹏伟等, 2019); 上组由砂岩和粉砂岩组成, 中间夹有石灰岩, 可识别出*Triticites*蠖带, 产丰富的植物化石(金玉玕等, 2000; 郭利等, 2014), 时代为卡西莫夫期-格舍尔期.

III柴达木北部小区

(1) 岩石地层. 密西西比亚系包括穿山沟组、城墙

沟组和怀头他拉组. 穿山沟组在柴达木盆地北缘出露广泛, 以欧龙布鲁克山、阿木尼克山及秅牛山一带出露最好, 研究程度也高; 下部为深灰色灰岩夹灰色-灰绿色、紫色薄层钙质、砂质页岩, 产四射珊瑚和腕足类, 时代为杜内期早期; 中部为灰色生物碎屑灰岩夹紫色厚层灰岩和假鲕状灰岩, 含四射珊瑚及腕足类, 时代为杜内期中晚期; 上部为灰色、灰黑色灰岩夹生物灰岩及钙质页岩, 含四射珊瑚, 时代为杜内期晚期(王增吉, 1990; 金玉玕等, 2000). 城墙沟组岩性主要为灰岩、砂质灰岩和泥灰岩, 可分上、下两部分, 下部为生物灰岩、硅质条带灰岩夹薄层钙质页岩和粉砂岩; 上部为粉砂质灰岩; 主要分布于柴达木北缘; 产四射珊瑚、腕足类、腹足类、双壳类、介形虫、三叶虫及苔鲜虫等化石; 时代为维宪期早期(金玉玕等, 2000). 怀头他拉组为海陆交互相沉积, 由碎屑岩夹灰岩组成, 可分三段, 下段下部以灰、灰绿、灰紫色砂岩为主, 夹粉砂岩、页岩及灰岩, 产腕足类; 下段上部主要为灰、灰黑色生物灰岩和砂岩夹页岩及煤线, 产四射珊瑚, 时代为维宪期中期; 中段下部为含燧石灰岩和碎屑灰岩夹砂质页岩, 产四射珊瑚和腕足类; 中段上部为灰色薄层灰岩和生物灰岩夹砂岩及页岩, 产四射珊瑚和腕足类; 上段为灰-灰黑色含泥质生物灰岩和含生物泥质灰岩夹泥质燧石条带灰岩、粉砂岩及页岩等, 产四射珊瑚和腕足类, 时代为谢尔普霍夫期; 自西向东出露于结绿素、石灰沟、穿山沟西、欧龙布鲁克山南坡、怀头他拉煤矿、扎布萨尕秀及耗牛山等地; 向西至塞什腾山中段滩间山南山一带, 本组上部变为火山岩、火山碎屑岩夹生物灰岩, 下部为碎屑岩; 时代为维宪中期至谢尔普霍夫期(王增吉, 1990; 金玉玕等, 2000).

宾夕法尼亚亚系包括克鲁克组和扎布萨尕秀组. 克鲁克组为海陆交互相沉积的一套复杂的碳酸盐岩和碎屑岩建造, 可分为两个亚组: 下亚组下段为灰、灰黑色粉砂岩、粉砂质页岩、炭质页岩、泥灰岩及含生物灰岩, 夹叠锥灰岩及薄煤层, 底部为含砾粗砂岩和石英砂岩, 生物群以植物为主, 腕足类和蝗类次之(金玉玕等, 2000), 欧龙布鲁克山相当层位中的植物组合为纳缪尔B期(巴什基尔期早-中期)(吴秀元, 1979), 还含腕足类*Choristites*等; 下亚组上段为灰色中厚-厚层含泥质生物灰岩和粉砂质页岩, 夹含生物灰岩、生物碎屑灰岩、炭质页岩及细砂岩, 局部夹菱铁矿结核层, 薄煤层或煤线, 在欧龙布鲁克山蝗类较发育, 腕足类特别发育, 几乎包括了甘肃靖远羊虎沟组的全部属种, 时代为纳缪尔C期(巴什基尔期中期). 上亚组以灰白、灰色石英砂岩、页岩、灰岩的韵律层发育为特征, 生物群以蝗类为主, 腕足类和四射珊瑚次之, 头足类及苔藓虫少量, 时代为莫斯科期中-晚期; 在东部的扎布萨尕秀一带本组为灰黄、灰白、灰绿色砂岩、灰色页岩及炭质页岩夹煤线或煤层及灰岩; 时代为宾尼法尼亚亚纪巴什基尔期-莫斯科期. 扎布萨尕秀组原称扎布萨尕秀系, 为海陆交互相沉积, 岩性为砂页岩及灰岩夹煤层; 主要分布早阿尔金山中段的索尔库里北东的碎岩山和因格布拉克以南地区, 以及阿尔金山东段的化石沟及安南坝东南一带, 在石灰沟一带出露较好; 上部产二叠纪蝗类, 下部主要产四射珊瑚和腕足类(王增吉, 1990).

(2) 生物地层. 本地区石炭纪四射珊瑚化石丰富, 其中柴达木北缘阿木尼克山、欧龙布鲁克山、石灰沟和耗牛山等地的生物地层研究较为详细, 可划分出11个组合/带(王增吉, 1981a, 1981b, 1987; 施希德, 1983; 贺广田和朱迎棠, 1986; 王增吉和俞学光, 1995; Chen等, 2003; 图8), 分别为穿山沟组*Kassinella-Lophophyllum densum*组合(杜内期早期)和*Enygmophyllum-Kakwiphyllum qinghaiensis*组合(杜内期中期); 城墙沟组杜内期晚期的*Siphonophyllia oppressa-Rylstonia oulongoulukensis*组合和*Ekvasophyllum heijianshanense-Cystocyathoclisia sinense*组合; 怀头他拉组维宪期-谢尔普霍夫期*Orionastraea huaitoutatalaensis-Dorlodotia*组合和*Yuanophyllum-Hexaphyllia*组合, 后者可划分为*Qinghaiphyllum sinense*亚组合、*Gangamophyllum spiroidea-Corwenia minor* var. *longiseptata*亚组合和*Dibunophyllum bipasrtitum-Lithostrotion irregulare* var. *asiatica*等三个亚组合; 克鲁克组巴什基尔期*Lithostrotionella-Thysanophyllum*组合带, 莫斯科期早期*Cyathaxonia-Rotiphyllum*组合带和莫斯科期晚期*Protovania-Amplexus*组合带; 以及扎布萨尕秀组*Neokoninckophyllum-Koninckophyllum*组合带和*Pseudozaphrentoides-Lophocarinophyllum*组合带, 时代为卡西莫夫期至二叠纪早期. 柴达木北缘穿山沟组、城墙沟组以及怀头他拉组石炭系自下而上可识别出6个腕足类组合(王增吉, 1990; 图8), 分别为*Rhytiophora arcuate-Syringothyris halli*组合、*Rhipidomella altaica-Syringothyris texta*组合、*Grandispirifer mylkensis-*

*Echinoconchus elegans*组合、*Gigantoproductus moderaforimis-Antiquatonia insculpta*组合、*Kansueila chilianshanensis-Gigantoproductus geniculata*组合和*Gigantoproductus elerburgensis-Semiplanus latissenus*组合等. 柴达木盆地北缘克鲁克组和扎布萨尕秀组可识别出*Productus concinnus-Choristites yanghukouensis*组合带、*Choristies gobicus*组合带、*Alexenia reticulatus-Branchythyrina strangwaysi*组合带、*Marinifera-Choristites pavlovi*组合带和*Dictyoclostus taiyuanfuensis-Elivalyra*组合带等5个腕足类组合带(贺广田等, 1987)(图8). 在青海乌兰石灰沟, 克鲁克组还可识别出蜓类*Profusulinella*带和*Fusulina*带, 扎布萨尕秀组可建立蜓类*Triticites*带和二叠纪的*Sphaeroschwagerina*带(朱秀芳, 1985, 1987)

2.3.8　祁连分区

祁连分区(Ⅳ$_5$)包括河西走廊陆表海盆地、祁连山隆起和南祁连陆表海盆地等构造单元(张雄华等, 2021). 该分区石炭系以河西走廊陆表海盆地即北祁连的石炭系最为发育, 研究程度高, 可划分为前黑山组(钱志铮, 1976)、臭牛沟组(Yuan, 1925)、靖远组(李星学等, 1974)、红土洼组(吴秀元等, 1987)和羊虎沟组(Grabau, 1924)(图8).

Ⅰ岩石地层

密西西比亚系包括前黑山组、臭牛沟组及靖远组大部. 前黑山组为浅海潟湖相含盐沉积, 由碎屑岩和灰岩组成, 自下而上可分为两段: 下段由紫红色砾岩和灰绿色砂岩组成, 夹有灰岩透镜体和白云质瘤状灰岩; 上段由灰绿色、紫红色、黄绿色砂岩和粉砂岩组成, 夹薄层灰岩、灰岩透镜体、钙质页岩和结核; 主要分布于北祁连东段, 即甘肃永昌、武威、景泰和靖远到宁夏中宁及中卫一带; 产腕足类、苔藓虫和介形类, 上段含植物(甘肃省地质矿产局, 1989), 在靖远磁窑大水沟产孢子(高联达, 1980); 其时代为密西西比亚纪杜内期. 臭牛沟组原称臭牛沟系, 可分为上下两段: 下段为滨浅海相沉积, 以灰黑色粉砂质页岩、粉砂岩为主, 夹薄层灰岩及薄煤层, 底部为细砾岩, 产丰富植物化石, 还产腕足类、牙形类、四射珊瑚、蜓类和孢粉等; 上段为浅海相沉积, 以厚层灰岩为主, 夹生物碎屑泥灰岩和砂页岩, 产腕足类、四射珊瑚、有孔虫、牙形类和孢粉. 臭牛沟组主要分布于祁连山北坡, 北至巴彦浩特盆地, 西至武威盆地西部, 命名剖面地层出露不全, 常以甘肃靖远磁窑大水沟、景泰红水堡、内蒙古阿拉善左旗黑山和宁夏中卫校育川等地剖面为代表; 主体属于维宪期沉积. 靖远组由灰色、黑色和黄色页岩及砂岩组成, 夹有灰白色砂砾岩和煤线, 其下部夹灰岩透镜体, 含丰富菊石, 还产牙形类、植物及孢子等化石; 在祁连山北坡以及河西走廊东段广泛分布; 灰岩透镜体之下页岩中产有菊石E$_1$亚带(谢尔普霍夫期早期)的植物和孢子化石, 灰岩透镜体之上页岩植物化石时代相当于西欧E$_2$亚带(谢尔普霍夫期中晚期); 在宁夏中卫地区, 靖远组下部(中卫组)产谢尔普霍夫期菊石(杨逢清等, 1983)和牙形类(王志浩和王成源, 1983); 上部产巴什基尔期菊石(Korn等, 2021). 本组穿时性明显, 在甘肃靖远主体为密西西比亚纪谢尔普霍夫期沉积(Li等, 1987), 在宁夏中卫地区则可达宾夕法尼亚亚纪巴什基尔期(Korn等, 2021; 李莹等, 2021).

宾夕法尼亚亚系包括红土洼组和羊虎沟组. 红土洼组为滨海低地沼泽相沉积(谢小平等, 2004), 主要由杂色页岩夹灰岩组成, 下部以黑色、灰黑色页岩和钙质页岩为主, 夹有薄层灰岩和煤线; 上部为浅灰色、土黄色粉砂质页岩, 夹黑色泥质灰岩及页岩; 在北祁连东段甘肃永昌和宁夏中宁地区广泛分布; 产牙形类、有孔虫、腕足类、菊石、腹足类及孢子等化石; 时代为巴什基尔期. 羊虎沟组原称羊虎沟系, 下段为灰白色石英粗砂岩, 其顶部为灰黑色页岩、砂质页岩夹薄煤层、薄层灰岩及菱铁矿结核; 中段为土灰色钙质粉砂岩和黑色页岩与灰岩互层, 夹煤线; 上段以灰、黑色中厚层灰岩为主, 夹页岩和硅质岩; 分布在河西走廊东段, 甘肃山丹、景泰到宁夏中卫一带, 在祁连山北坡西段祁连、肃南等地亦有零星分布, 以内蒙古阿拉善左旗黑山、宁夏中卫校育川和甘肃靖远磁窑榆树梁-红土洼剖面的层序最完整; 下段含维斯发期(Westphalian)早期(相当于巴什基尔期中期)G$_2$菊石带分子(盛怀斌, 1987). 羊虎沟组还产蜓类、牙形类、植物、腕足类和四射珊瑚. 本组在西部, 灰岩夹层较多, 向东减少, 时代为巴什基尔期到格舍尔期.

Ⅱ生物地层

祁连分区的牙形类生物地层研究较多(王志浩和王成源, 1983; 史美良和赵治信, 1985; Li等, 1987; 杨式溥等, 1988; Fang等, 2014; 胡科毅等, 2022), 可总结为*Gnathodus girtyi*带、*G. bilineatus-Lochriea commutata*

带、*G. bollandensis*带、*Neognathodus symmetricus*带、*Idiognathodus incurvus*带、*I. podolskensis*带、*Streptognathodus elegantulus-S. oppletus*带和*S. wabaunsensis*带等8个带(图8). 该分区石炭纪菊石研究也较为全面(杨逢清等, 1983; 杨逢清, 1986; 阮亦萍和周祖仁, 1987; 盛怀斌, 1987; 李星学等, 1993; Korn等, 2021), 可划分为前黑山组下段*Kazakhstania*层, 臭牛沟组下段*Imitoceras*层, 靖远组*Eumorphoceras-Cravenoceras*带, 红土洼组*Bilinguites-Cancelloceras*带, 羊虎沟组*Gastrioceras*带和*Maximites sinensis*层(图8). 该分区石炭纪孢粉化石丰富, 尤以甘肃靖远研究程度最高, 可识别出11个孢粉带/组合(高联达, 1980, 1987, 1988b, 1994; Zhu, 1993), 分别为前黑山组*Auroraspora-Lophozonotriletes*组合; 臭牛沟组*Lycosporapusilla pusilla* (*PU*)带、*Perotriletes tesselatus-Schulzospora compylopter*a(*TC*)带和*Raistrickia nigra-Tricuitrites marginatus* (*NM*)带; 靖远组*Tripartites trilinguis-Simozonotriletes arcuatus*(*TA*)带、*Simozonotriletes verrucus-Stenozonotriletes rotundus*(*VR*)带和*Densosporites sphaerotriangularis-Dictyotriletes bireticulatus*(*SB*)带; 红土洼组*Crassispora kosankei-Rugospora minuta*(*KM*)带; 以及羊虎沟组*Triquitrites bransoni-Lycospora pellucida*(*BP*)带、*Apiculatisporis abditus-Radiizonates striatus*(*AS*)带和*Triquitrites tribullatus-Ahrensisporites querickei*(*TQ*)带(图8). 该分区的有孔虫可划分为臭牛沟组维宪期*Eostaffella proikensis-Koskinobigenerina*和*Climacammina simplex-Biseriella parva*组合, 靖远组巴什基尔期*Ozawainella guizhouensis*组合, 以及羊虎沟组卡西莫夫期-格舍尔期*Nodosinelloides* spp.组合(Wang, 2023).

3 青藏高原及其周边的石炭纪综合地层

3.1 青藏高原及其周边的石炭纪生物地层对比

青藏高原及其周边的石炭系产丰富的海相化石, 整体以浅水相生物类群居多, 如有孔虫(蝬)、四射珊瑚和腕足类, 较深水的类群则以牙形类为主, 这些也是中国石炭纪生物地层对比的主要化石门类(Wang和Jin, 2003; 王向东等, 2019), 其中牙形类和有孔虫(蝬)是全球石炭纪年代地层划分和对比最重要的化石类群(Aretz等, 2020; Barrick等, 2022; Ueno, 2022). 菊石在西欧的石炭系划分对比中也具有重要的作用(例如, Dean等, 2011), 但在中国的分布较为有限, 在本文涉及区域中仅北祁连可识别出菊石生物地层序列. 局部地区(如藏南区和祁连分区)的近岸或海陆交互相地层中还可识别出孢子序列. 另一些生物如双壳类和苔藓虫等, 虽在各区地层中有所发现, 但它们数量较少, 且多为生存延限较长的分子, 难以用于地层对比. 因此, 本文选取牙形类和有孔虫(蝬)作为青藏高原及其周边生物地层对比的主要生物类群, 辅以四射珊瑚和腕足类(图9).

冈瓦纳型和基默里型地区仅发育密西西比亚纪地层, 除腾冲地块外, 其他地块均含有可供对比的海相动物化石, 其中以保山和拉萨地块的生物群最为丰富. 在这些地区, 杜内期的牙形类生物地层较为完善, 以*Siphonodella*和*Gnathodus*为代表, 它们也是划分和对比全球杜内阶的标准化石(Hu等, 2020; Barrick等, 2022). 藏南和保山地块的杜内期牙形类序列较为完整, 分别可识别出4个和6个化石带; 在印度-巴基斯坦和掸-泰地区, 可分别识别出1个和2个化石带. 维宪阶生物地层划分和对比主要以四射珊瑚和腕足类为主, 在滇西保山地块可识别出4个四射珊瑚组合带, 在藏南区可识别出3个腕足类组合带, 冈底斯区的措勤-申扎分区可建立3个四射珊瑚组合带和3个腕足类组合, 拉萨-察隅分区可识别出1个四射珊瑚组合带. 在掸-泰和南阿富尔-帕米尔地区的维宪阶, 也发现了一些腕足类、四射珊瑚以及有孔虫化石, 但并未建立生物地层. 谢尔普霍夫期生物带基本缺失, 仅在措勤-申扎分区识别出了以*Gnathodus girtyi*类群为带分子的两个带, 其中的*G. girtyi simplex*带表明其时代可能为谢尔普霍夫期早期.

青藏高原及其周边的特提斯型石炭系发育较为完整的生物序列有孔虫(蝬)和牙形类. 在唐古拉山分区, 以尼玛的序列最为完整, 自维宪阶到格舍尔阶可识别出6个蝬带; 另外, 四射珊瑚、腕足类也较为丰富, 但除改则(2个四射珊瑚组合亚带和1个腕足动物群)和青海南部(1个四射珊瑚和1个腕足类组合)的维宪阶和谢尔普霍夫阶外, 基本未建立可进行有效地层对比的生物带. 在昌都-横断山分区的昌都小区, 腕足类生物地层较为完善, 建立了从维宪期到二叠纪早期的6个组合带; 该小区的宾夕法尼亚亚系的蝬类也建立了3个带. 在昌都-横断山分区的横断山小区, 密西西比亚系的生物地层序列不够完整, 仅在四川南坪、甘肃武都-文县划分出1个杜内期四射珊瑚组合, 在四川康定维宪阶上

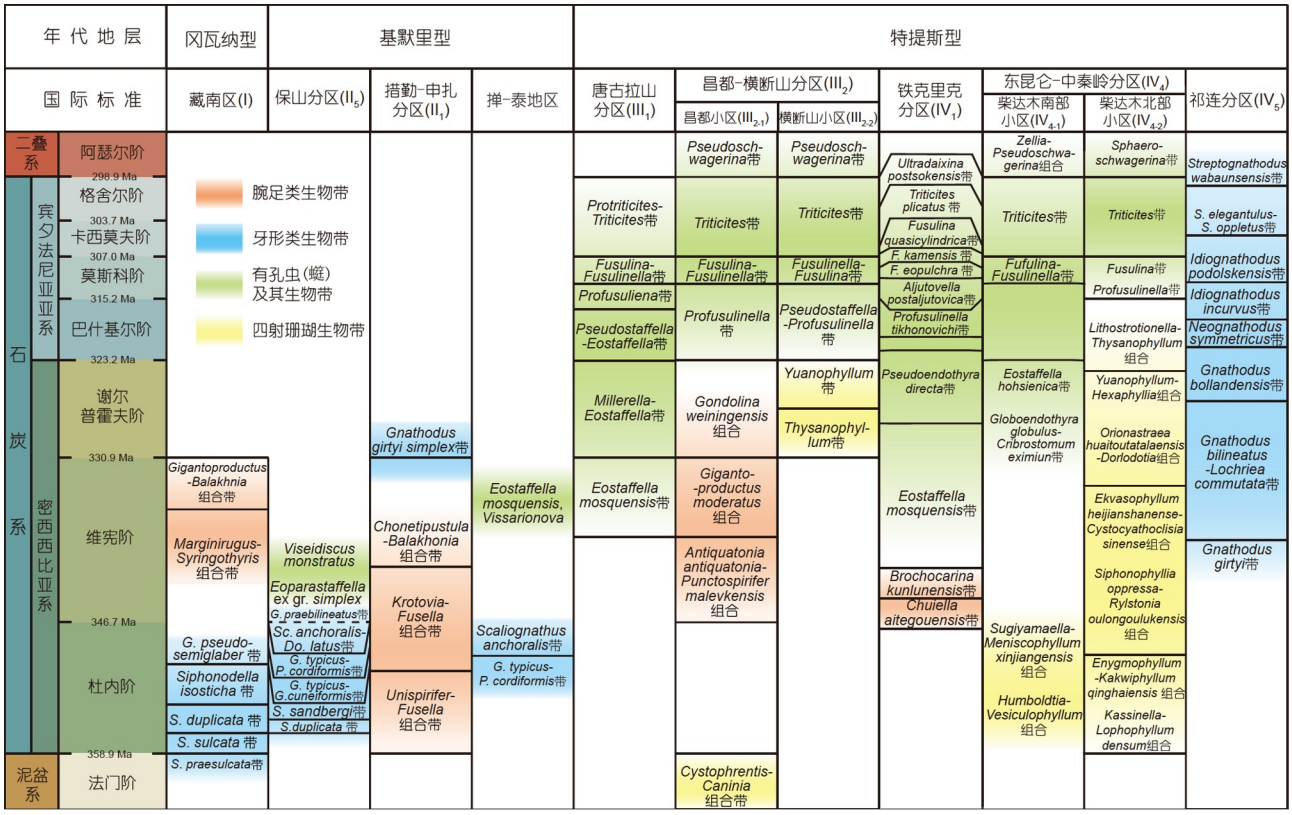

图 9　**青藏高原及其周边石炭纪生物地层划分和对比表**

部-谢尔普霍夫阶识别出2个四射珊瑚组合. 而宾夕法尼亚亚系则以蝬类生物带为代表, 可在该小区的大部分区域识别出3个蝬带, 分别代表巴什基尔期、莫斯科期和卡西莫夫期-格舍尔期; 腕足类化石也较丰富, 但未建立有效的生物地层; 牙形类化石较为稀少. 铁克里克分区有较为完整的维宪阶到格舍尔阶生物地层序列, 分别为蝬类9个带、腕足类12个带和牙形类4个带. 西昆仑分区和喀喇昆仑分区的生物化石以四射珊瑚、腕足类和有孔虫(蝬)为主, 数量较少, 不足以建立生物地层序列. 在东昆仑-中祁连分区的柴达木南部小区, 密西西比亚系的生物地层序列以四射珊瑚为主, 分别在杜内阶和谢尔普霍夫阶建立了2个组合; 宾夕法尼亚亚系则以蝬类为主, 分别在莫斯科阶和卡西莫夫阶-格舍尔阶建立了1个组合带. 在柴达木北部小区, 生物地层序列以四射珊瑚和腕足类为主, 从杜内阶到格舍尔阶均建立了11组合, 在莫斯科阶-格舍尔阶还建立了3个蝬带. 东昆仑小区则基本没有建立有效的生物地层. 在祁连分区, 自杜内阶到莫斯科阶可建立5个菊石带/层和11个孢粉带/组合, 以及8个牙形类带, 由于菊石和孢粉序列在青藏高原及其周边进行生物地层对比时较为局限, 因此牙形类可作为祁连分区的主要生物地层对比门类.

由上可见, 青藏高原及其周边石炭系的生物化石发育很有特色, 由此导致的地层对比标准也具有差异: 冈瓦纳型和基默里型的密西西比亚系生物地层划分和对比以牙形类为主, 腕足类和四射珊瑚为辅; 特提斯型密西西比亚系的生物地层以四射珊瑚和腕足类为主, 而宾夕法尼亚亚系则以有孔虫(蝬)和牙形类为主, 辅以腕足类和四射珊瑚. 由于密西西比早期瑞尼克洋尚未完全闭合, 冈瓦纳冰盖也尚未发育, 即使是冈瓦纳区起源的地块其生物面貌依然是以欧亚型为主, 此时青藏高原及其周边的石炭纪生物地理区系并不明显. 直至密西西比亚纪维宪期晚期, 青藏高原及其周边的生物群面貌才表现出一定的地方性(Qiao等, 2022). 整体上, 青藏高原及其周边仍可与邻近地区如华南进行较为准确的生物地层对比.

3.2 缺失宾夕法尼亚亚系是识别冈瓦纳大陆起源地块的标志

青藏高原及其周边石炭纪沉积分为三种类型，冈瓦纳型、基默里型和特提斯型. 其中冈瓦纳型和基默里型区域在石炭纪时一直位于冈瓦纳大陆北缘，沉积与古生物特征相似，直至早二叠世中期，可能萨克马尔期后，基默里型的地块从冈瓦纳大陆裂离，向北漂移(Wang X D等, 2021). 具有特提斯型石炭纪沉积的地区包含了一系列地块，它们一方面受大地构造控制，另一方面受区域性的沉积盆地限制，石炭纪沉积序列差别很大，包括碎屑岩系列、碳酸盐岩系列、碎屑岩和碳酸盐岩互层以及局部含火山岩等，但所含的生物类群基本上可以与华南的进行对比，能够建立起完整的岩石地层对比关系(图10).

石炭纪时仍处于冈瓦纳大陆北缘的冈瓦纳型和基默里型的块体，包括冈瓦纳型的喜马拉雅地块和基默里型的保山、腾冲、拉萨以及南羌塘地块，现今它们均位于西藏南部及云南西部，构成了青藏高原的主体

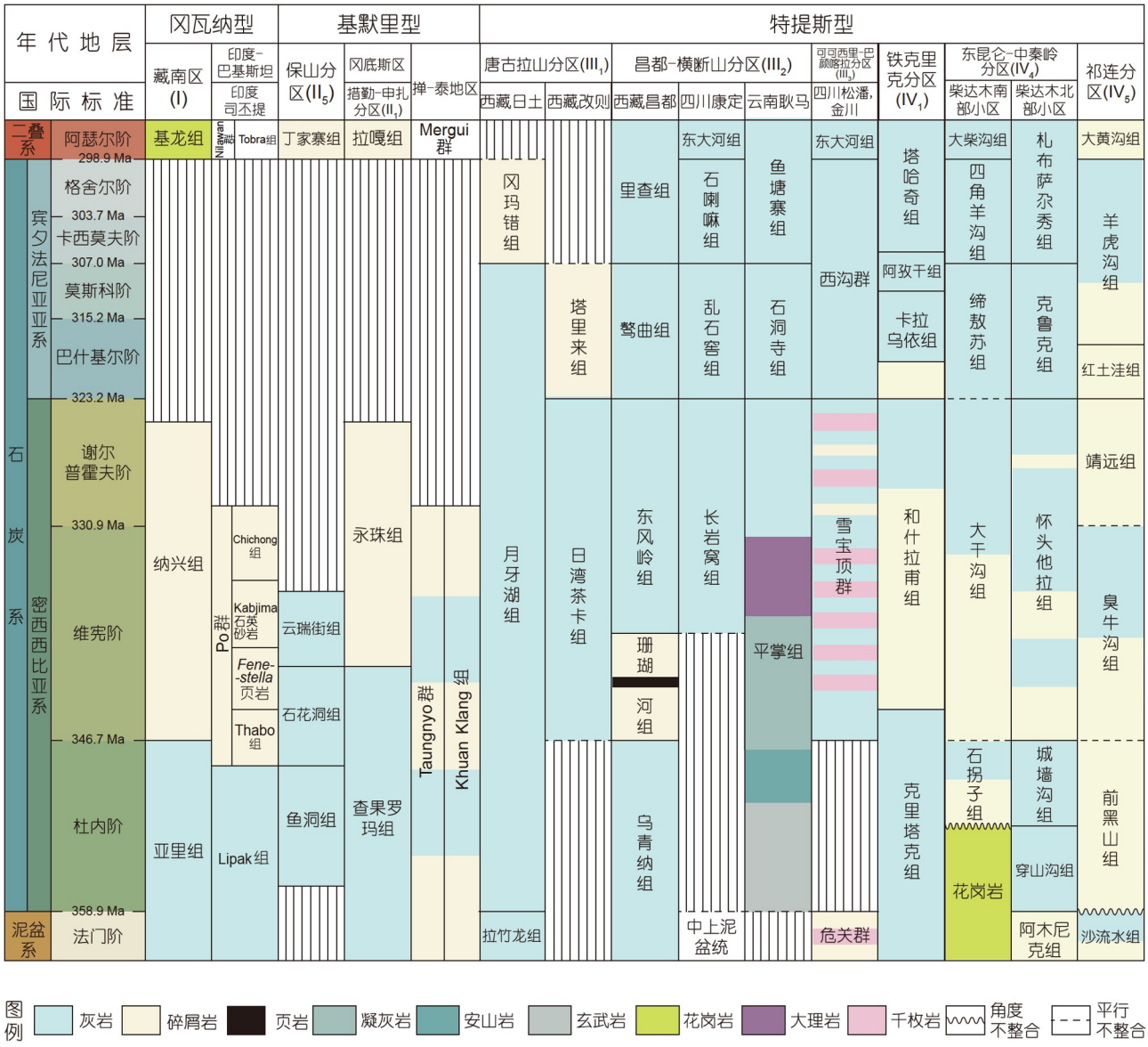

图 10　青藏高原及其周边石炭纪岩石地层对比表

部分. 它们的石炭系都不完整, 最显著特征是发育较为完整的密西西比亚纪早-中期地层, 但普遍缺失宾夕法尼亚亚系(图10). 从石炭系地层区划上, 冈瓦纳型和基默里型的石炭系属于西藏-滇西大区, 其中藏南区(或称喜马拉雅区)的密西西比亚系下部以灰岩为主, 上部以碎屑岩为主, 可与印度同期地层进行对比. 基默里型的4个地区, 石炭纪沉积则各有特点. 研究程度最高的为滇西区的保山分区, 其密西西比亚系由杜内阶和维宪阶组成, 均为灰岩地层, 含丰富的海相化石; 而腾冲分区的密西西比亚系为碎屑岩沉积, 未见确切的化石报道. 冈底斯区的拉萨-察隅分区, 密西西比亚系以碎屑岩为主, 夹灰岩地层; 南羌塘分区的密西西比亚系为灰岩地层, 零星出现且没有命名(Wang X D等, 2021).

石炭纪时, 组成冈瓦纳大陆主体的澳大利亚大部、印度及巴基斯坦、南美洲以及非洲大部等地区, 都广泛缺失维宪期末至宾夕法尼亚亚纪末期的可信的海相沉积记录, 表明这段时期可能为晚古生代大冰期的高峰(Powell和Veevers, 1987; Fielding和Frank, 2015; Soreghan等, 2019; Balseiro和Powell, 2020; Griffis等, 2023). 在同时期的低纬度地区, 包括华南、北美、欧洲的广大陆表海沉积中, 出现了旋回性沉积和海陆交互相沉积(Heckel, 1995; Eros等, 2012; Ueno等, 2013), 可能是受到冰期导致的全球性海平面变化所影响. 位于基默里大陆东缘的掸-泰、腾冲、保山、拉萨和南羌塘等地块, 以及西部的南帕米尔、阿富汗南部和伊朗南部等地区, 都出现了宾夕法尼亚亚纪海相沉积的缺失现象(Wang X D等, 2021), 这一现象广泛存在于冈瓦纳大陆主体及其周边, 因此缺失宾夕法尼亚亚系可作为石炭纪时冈瓦纳来源地块的标志. 然而, 伊朗中部和阿富汗中部等也常被作为基默里大陆的一部分(Sengör, 1979, 1984; Ueno, 2006; Sengör和Atayman, 2009; Torsvik和Cocks, 2013). 但在这些地区, 宾夕法尼亚亚纪的碳酸盐岩发育, 产蜓类、四射珊瑚和牙形类化石(Leven和Gorgij, 2011; Bahrami等, 2014; Wang等, 2019), 表现出与基默里大陆其他地区完全不同的特征, 其古地理性质需要开展更近一步的研究(Wang X D等, 2021).

3.3　青藏高原及其周边石炭纪化学地层

青藏高原及其周边石炭系的化学地层学的工作尚不完善, 仅有滇西区保山分区的密西西比亚系的碳酸盐岩地层开展了碳同位素的研究(Wang X D等, 2021). 在云南施甸县鱼洞剖面Ⅰ、鱼洞剖面Ⅱ、大寨门剖面及保山西邑等4个剖面开展的全岩碳同位素地球化学研究, 表明杜内期到维宪期碳同位素变化范围不大, $\delta^{13}C_{carb}$值从鱼洞组底部的1.5‰缓慢增加到石花洞组底部的3‰左右, 并一直保持到碳酸盐岩沉积的顶部(Wang X D等, 2021). 根据牙形类生物地层(Wang等, 2023), 保山地区上述剖面石炭系最底部的鱼洞组的底界可能位于杜内期的Lower *S. crenulata*和*S. isosticha*-Upper *S. crenulata*带中, 但碳同位素没有显示出漂移的趋势, 没有与峰值可达5‰~7‰的显著碳同位素正漂移(TICE)事件(Mii等, 1999; Saltzman, 2002; Yao等, 2015; Maharjan等, 2018)对应的信号. 青藏高原及其周边完整的石炭系碳酸盐岩地层序列较为稀少, 而且相关研究较少, 迄今未有其他的有关碳同位素研究的实例. 在西藏昌都和四川南平发育有较为完整的碳酸盐岩序列, 具有较高的同位素地球化学研究的潜力.

3.4　青藏高原及其周边石炭纪同位素地质年代研究

青藏高原是古特提斯洋演化研究的主体, 而年龄约束是恢复古地理演化的关键. 青藏高原及其周边石炭系地质年代学的工作主要集中在恢复古特提斯洋开始消亡的时间. 由于迄今尚未在青藏高原的石炭系中发现原始保存的火山灰层, 因此绝对年龄主要是采用二次离子质谱法(SIMS或SHRIMP)和激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法(LA-ICP-MS)对锆石U-Pb同位素进行微区原位测试得到, 尚缺乏运用热表面电离同位素稀释质谱法(ID-TIMS)获得的高精度年龄.

青藏高原各个地块的起源及相互关系是长期以来争论的问题. 从火山岩样品中获得的锆石年龄常被用来解释地质演化过程. 在拉萨地块南部边缘, 雅鲁藏布江北侧基性火山岩的闪长岩/角闪岩样品和角闪石辉长岩样品中获得了~355和~345Ma的LA-ICPMS锆石U-Pb年龄(Wang等, 2020). 这些侵入岩被解释为早石炭世弧后裂谷相关的岩浆作用, 认为拉萨地块从冈瓦纳大陆的初始裂解开始于密西西比亚纪(Wang等, 2020). 沿着冈瓦纳大陆北缘或者古特提斯洋沿线, 也发现了越来越多的晚泥盆世至早石炭世的岩浆岩. 如在拉萨地块东段的八宿县怒江大桥-邦达地区的嘉玉桥岩群中, 发现了338Ma的玄武岩岩块, 指示了班公

湖-怒江洋的打开时间可能早于密西西比亚纪(王冬兵等, 2021).

在南、北羌塘地块结合部的日湾茶卡地区, 密西西比亚纪的海相沉积日湾茶卡组之下有一套酸性-基性岩夹火山碎屑岩组合的望果山组, 在其英安岩和安山岩中获得的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄, 分别为(358.2±1.2)Ma和(350.5±1.4)Ma(江庆源等, 2014), 代表了该火山岩的形成年龄, 说明在早石炭世, 龙木错-双湖-澜沧江洋已经进入俯冲消减阶段(Jiang等, 2015). 同样在日湾茶卡地区的冈玛错一带, 发现了火山弧相关的花岗岩(Zhai等, 2018), 测得的花岗岩侵位时间为364~346Ma, 为晚泥盆世-早石炭世. 这些花岗岩的形成被认为与洋壳俯冲带相关, 因此获得的年龄值说明了古特提斯洋的向北俯冲可能开始于晚泥盆世, 贯穿整个晚古生代(Zhai等, 2018).

从沉积岩石中采集碎屑锆石, 开展U-Pb定年的年龄学和物源研究, 同样是揭示青藏高原各个地质体起源及相互演化关系的手段之一(Gao等, 2020). 冈瓦纳型地块的古地理重建, 多数是通过分析碎屑锆石年龄谱峰特征, 判断研究区与作为冈瓦纳大陆主体的印度和澳大利亚构造亲缘性而获得. 例如, 在拉萨地块东端, 发现了晚泥盆到早石炭世的碎屑锆石峰值, 指示拉萨地体在此时发生了主要的岩浆活动, 其微量元素组成进一步表明其岩浆主要包括基性岩和花岗岩, 说明此时古特提斯洋的俯冲已经开始(Guo等, 2016; Xie等, 2021). 在羌塘地块, 发现了大约358Ma年龄的碎屑锆石年龄峰值, 指示其在石炭纪初期与古特提斯大洋岩石圈发生了俯冲(Liu等, 2022). 而北羌塘的日湾茶卡组碎屑锆石中362Ma的年龄峰值指示了古提斯洋岛弧消减事件, 表明此碎屑岩的物源区主要来自于扬子大陆周缘(彭虎等, 2014). 另外, 在滇西的昌宁—孟连结合带内大面积出露早石炭世平掌组玄武岩, 上覆巨厚层的碳酸盐岩, 从玄武岩与碳酸盐岩之间的凝灰岩夹层中获得的锆石U-Pb年龄为(351±2.5)Ma(王恩泽等, 2021), 解释为洋岛-海山型玄武岩, 是古特提斯洋壳残片的组成部分.

4 结论及展望

(1) 石炭系广泛出露在青藏高原及其周边的各个地区, 根据地层序列及古生物类型, 可识别出三个主要的类型: 冈瓦纳型、基默里型和特提斯型. 冈瓦纳型只包含密西西比亚系, 缺失宾夕法尼亚亚系, 其生物群为冈瓦纳型. 基默里型也仅发育密西西比亚系, 其生物群为混生型, 可包括欧美、华南和澳大利亚等类型. 特提斯型的石炭系包括了多种沉积序列, 不同的沉积区各有特色, 但均包括了密西西比亚系和宾夕法尼亚亚系, 其生物群面貌为华南和欧美类型, 缺少澳大利亚分子.

(2) 冈瓦纳型和基默里型的密西西比亚系生物地层划分和对比以牙形类为主, 腕足类和四射珊瑚为辅; 特提斯型密西西比亚系的生物地层以四射珊瑚和腕足类为主, 而宾夕法尼亚亚系则以有孔虫(蝬)和牙形类为主, 辅以腕足类和四射珊瑚.

(3) 宾夕法尼亚亚系的缺失是鉴别冈瓦纳大陆起源的地块的特征性标志, 在青藏高原及其周边包括西藏南部的喜马拉雅地块、西藏中部的拉萨地块、西藏西部的南羌塘地块、云南西部的腾冲地块和保山地块, 这些地块在石炭纪时仍位于冈瓦纳大陆的北部边缘.

(4) 青藏高原及其周边石炭系的划分和对比的主要依据是岩石地层和生物地层学, 其他地层学的研究尚没有广泛开展. 为了提高石炭系对比的精度, 需要开展高精度的测年研究, 目前已经开展的是火山岩及碎屑锆石的同位素年代学工作, 主要解决构造和古地理演化的问题. 已有记录显示青藏高原及其周边在石炭纪发生了多次的火山活动, 相信能够寻找到合适的用于ID-TIMS年龄测定的火山灰样品, 以获得高精度的年龄值.

(5) 青藏高原及其周边是古特提斯洋演化的关键地区, 包含来自不同地理区系的多个陆块, 石炭纪是晚古生代大冰期发育的关键时期. 加强青藏高原及其周边石炭系的研究, 尤其是与古生物学相关的诸如化石同位素地球化学、古生物地理区系等的精细研究, 并与沉积岩石学、地球化学指标以及其他多种指标结合, 开展综合模拟研究, 恢复石炭纪时该地区的古气候与古环境, 是进一步恢复古特提斯洋演化过程的必要步骤.

致谢 衷心感谢南京大学沈树忠院士和中国科学院青藏高原研究所丁林院士约请本文, 感谢三位审稿专家提出的宝贵意见.

参考文献

艾长兴, 陈炳蔚. 1986. 对西藏东部嘉玉桥群及吉塘群地质时代问题的讨论. 西藏地质, 2: 13–16

白光群等. 1984.【新疆】西昆仑山叶尔羌河上游地区1/100万区域地质调查报告. 全国地质资料馆

蔡土赐. 1992. 新疆昆仑山、喀喇昆仑山中泥盆世及石炭纪一些四射珊瑚. 新疆地质, 10: 51–58

蔡土赐. 1993. 新疆塔里木盆地西-西南缘泥盆-石炭纪四射珊瑚. 新疆地质, 11: 147–162

蔡土赐. 1999. 新疆维吾尔自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社. 430

陈根保. 1984. 滇西保山地区的石炭系. 地层学杂志, 8: 129–136

陈守建, 李荣社, 计文化, 王超, 赵振明, 王秉章, 戴传固, 王国灿. 2008. 昆仑造山带石炭纪岩相特征及构造古地理. 地球科学与环境学报, 30: 13

陈思尧, 孙勇, 李有波, 赵波, 游水生, 侯宝平. 2022. 西昆仑甜水海地区晚石炭世孢粉及牙形刺化石的发现及意义. 地层学杂志, 46: 60–67

陈重泰. 1984. 滇西早石炭世的板海百合科. 云南地质, 3: 370–375

程立人, 陈寿铭, 张以春, 吴水忠. 2006. 西藏羌北地区石炭纪地层的发现. 地学前缘, 13: 240–243

程立人, 陈寿铭, 张以春, 吴水忠. 2007. 西藏羌北地区石炭纪蠖类动物群及其分带. 吉林大学学报(地球科学版), 37: 1–7

崔建堂, 王炬川, 边小卫, 朱海平, 王满仓, 孔文年, 毛归来, 闫磊. 2009. 康西瓦南岔路口地区早石炭世地层化石的发现. 陕西地质, 27: 37–42

地科院地质所川西地质研究队. 1969. 四川西部宝兴、丹巴、德格一带地质构造. 全国地质资料馆

董致中, 王伟. 2006. 云南牙形类动物群——相关生物地层及生物地理区研究. 昆明: 云南科技出版社. 347

段丽兰. 1973. 云南保山、施甸地区早石炭世异珊瑚类化石及其地层意义. 西南地层古生物通信, 3: 43–48

段丽兰. 1985. 云南保山、施甸地区早石炭世珊瑚化石. 见: 地矿部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(17). 北京: 地质出版社. 255–280

范影年. 1988. 西藏石炭系. 重庆: 重庆出版社. 128

范影年. 1994. 四川南坪县扎如沟早石炭世岩关期地层新资料. 岩相古地理, 3: 10–17

方爱民, 李继亮, 侯泉林, 李红生, 郝杰. 2000. 新疆西昆仑“依沙克群”中的放射虫组合及其形成时代探讨. 地质科学, 35: 212–218

甘肃第一区测队. 1973. 碌曲幅I-48-13 1/20万区域地质测量报告. 全国地质资料馆

甘肃省地质矿产局. 1989. 甘肃省区域地质志. 北京: 地质出版社. 692

高联达. 1980. 甘肃靖远下石炭统前黑山组孢子组合和它的时代. 中国地质科学院地质研究所文集, 1: 49–69, 119–123, 129

高联达. 1987. 甘肃靖远石炭纪纳缪尔阶孢子带和石炭纪内部界线. 中国地质科学院地质研究所文集, 6: 193–249, 266

高联达. 1988a. 西藏聂拉木晚泥盆世至早石炭世孢子带及泥盆-石炭系界线. 见: 中国科学院, 主编. 喜马拉雅岩石圈构造演化-西藏古生物论文集. 北京: 地质出版社. 181–233

高联达. 1988b. 甘肃靖远下石炭统臭牛沟组孢子带. 地层古生物论文集, 15: 181–190

高联达. 1994. 甘肃靖远上石炭统羊虎沟组孢粉组合. 地层古生物论文集, 21: 108–127, 206–209

郭福祥. 1985. 云南的双壳类化石. 云南科学技术出版社. 319

郭利, 肖仁文, 罗耀鸿, 薛炯, 刘荣, 俞剑, 柏辉, 苏延龙. 2014. K45E018006(半幅)、K45E018007、K45E018008、K45E018009、K45E018010、K45E019006(半幅)、K45E019007、K45E019008、K45E019009、K45E019010 1/5万铜多金属矿产远景调查报告. 全国地质资料馆

郭铁鹰, 梁定益, 张宜智, 赵崇贺. 1991. 西藏阿里地质. 武汉: 中国地质大学出版社. 464

何世平, 李荣社, 王超, 辜平阳, 于浦生, 时超, 查显锋. 2012. 青藏高原冈底斯北缘嘉玉桥群形成时代的确定. 中国地质, 39: 21–28

贺广田, 王增吉, 詹立培, 朱秀芳. 1987. 柴达木盆地北缘晚石炭世地层. 中国地质科学院院报, 9: 141–158

贺广田, 朱迎棠. 1986. 柴北缘早石炭世地层系统. 青海地质, 11: 1–10

侯鸿飞, 曹轩铎, 王士涛. 2000. 中国地层典: 泥盆系. 北京: 地质出版社. 119

胡科毅, 祁玉平, 王秋来, 王志浩, 王向东. 2022. 中国石炭纪牙形类研究进展. 古生物学报, 61: 371–396

纪占胜, 姚建新, 武桂春, 刘贵忠, 蒋忠惕, 傅渊慧. 2007. 西藏申扎地区晚石炭世牙形石*Neognathodus*动物群的特征及其意义. 地质通报, 26: 42–53

贾承造. 2004. 塔里木盆地及周边地层. 北京: 科学出版社. 547

江庆源, 李才, 解超明. 2014. 藏北羌塘冈玛错地区望果山组火山岩地球化学特征及LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄. 地质通报, 33: 1702–1714

姜建军, 杨式溥, 范影年. 1991. 西藏申扎和改则地区早石炭世地层及腕足类研究. 现代地质, 5: 227–238, 348–350

姜建军. 1997. 滇西保山地区早石炭世生物地层研究. 特提斯地质, 10: 184–199

金苏华. 1985. 云南保山清水沟早石炭世杜内期的腕足动物. 见: 地矿部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(16). 北京: 地质出版社. 75–86

金苏华. 1987. 云南保山、施甸早石炭世腕足动物. 成都地质学院学报, 14: 65–74

金玉玕, 范影年, 王向东, 王仁农. 2000. 中国地层典: 石炭系. 北京: 地质出版社. 138

金玉玕, 方润森. 1983. 云南施甸早石炭世腕足动物. 古生物学报, 22: 139–152, 233–235

蓝朝华, 孙诚, 范健才, 方润森. 1983. 滇西镇康、潞西地区的石炭二叠系. 见: “三江”专著编辑委员会, 编. 青藏高原地质文集(11). 北京: 地质出版社. 79–91

李璞. 1955. 西藏东部地质的初步认识. 科学通报, 6: 62–71, 52

李仁杰, 段丽兰. 1993. 云南保山—施甸地区早石炭世牙形刺序列及其地层意义. 微体古生物学报, 10: 37–52, 121–122

李祥辉, 王成善, 李亚林, 魏玉帅, 陈曦. 2014. 仲巴微地体之定义及构成. 地质学报, 88: 1372–1381

李星学, 吴秀元, 沈光隆, 梁希洛, 朱怀诚, 佟再三, 李兰. 1993. 北祁连山东段纳缪尔期地层和生物群. 济南: 山东科学技术出版社. 482

李星学, 姚兆奇, 蔡重阳, 吴秀元. 1974. 甘肃靖远石炭系生物地层. 中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 6号: 99–117

李莹, 王向东, 胡科毅, 黄兴, 张水昌, 张斌, 祁玉平, 陈吉涛, 要乐. 2021. 中国石炭纪岩石地层划分和对比. 地层学杂志, 45: 303–318

梁定益, 聂泽同, 郭铁鹰等. 1983. 西藏阿里喀喇昆仑南部的冈瓦纳-特提斯相石炭二叠系. 地球科学, 19: 19–23

梁定益, 王为平. 1983. 西藏康马和拉孜曲虾两地的石炭、二叠系及其生物群的初步讨论. 见: 地矿部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(2). 北京: 地质出版社. 226–236

梁希洛, 朱夔玉. 1988. 云南保山早石炭世头足类. 古生物学报, 27: 288–302, 405–408

梁希洛. 1976. 珠穆朗玛峰地区石炭纪及二叠纪菊石. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告, 古生物(第三分册). 北京: 科学出版社

林宝玉. 1981. 西藏申扎地区古生代地层的新认识. 地质论评, 27: 353–354

林宝玉. 1983. 西藏申扎地区古生代地层. 见: 地矿部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(8). 北京: 地质出版社. 1–13

林宝玉. 1989. 石炭系. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编. 西藏地层, 中国地质矿产部, 地质专报(二), 地层古生物, 第11号, 喜马拉雅岩石圈构造演化. 北京: 地质出版社. 68–101

林宝玉, 邱洪荣. 1985. 西藏古生代地层古生物研究的新进展. 中国地质, 16: 26–28

刘广才, 周天祯, 周光第, 陈煊传. 1985. 柴达木西南缘石拐子地区杜内期地层的发现. 青海地质, 10: 46–59

刘广才. 1988. 对青海南部杂多-吉多-囊谦地区石炭系划分的商榷. 青海地质, (2): 113–120

刘世坤, 姚宗富. 1988. 西藏改则地区的石炭系. 地层学杂志, 12: 142–146

刘世坤. 1997. 西藏南部一个新的岩石地层单位——拉轨岗日群. 西藏地质, 8: 1–8

吕正, 曾亚参, 贝颂章. 1958. 1957年西昆仑托赫塔卡鲁姆山脉北端J-43-23 1/20万比例尺区域地质测量及普查找矿工作. 全国地质资料馆

穆恩之, 尹集祥, 文世宣, 王义刚, 章炳高. 1973. 中国西藏南部珠穆朗玛峰地区的地层. 地质科学, 8: 13–36

彭虎, 李才, 解超明, 王明, 江庆源, 陈景文. 2014. 藏北羌塘中部日湾茶卡组物源——LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及稀土元素特征. 地质通报, 33: 1715–1727

钱志铮. 1976. 北祁连山东段杜内阶的发现及其地层意义. 西北地质, 13: 38–49, 71, 73, 2

秦锋, 甘一研. 1976. 西秦岭古生代地层. 地质学报, 1: 74–97, 118–121

青海第二区调队. 1982. 杂多县幅I-46-30 1/20万区域地质调查报告. 全国地质资料馆

青海省地层表编写小组. 1980. 西北地区区域地层表青海省分册. 北京: 地质出版社. 277

青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社. 664

邱洪荣. 1984. 西藏古生代和三叠纪的牙形石的动物群. 见: 李光岑, J.L. 麦尔西叶, 主编. 中法喜马拉雅考察成果1980. 北京: 地质出版社. 85–107

邱洪荣. 1988. 藏南晚泥盆世至早石炭世牙形石-兼论泥盆、石炭系界线. 见: 中国地质科学院, 主编. 喜马拉雅岩石圈构造演化-西藏古生物论文集. 北京: 地质出版社. 272–302

全国地层委员. 2017. 中国岩石地层名词大全. 北京: 地质出版社. 914

冉明佳, 钟康惠, 罗明非, 刘肇昌. 2012. 西藏冈底斯带东段石炭纪构造环境讨论. 地质论评, 58: 250–258

饶荣标, 陈永明, 邹定邦. 1983. 西藏东部“沙丁板岩系”的新认识. 见: 地质矿产部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(11). 北京: 地质出版社. 141–144

任卉. 2019. 西藏改则地区下石炭统日湾茶卡组四射珊瑚动物群及其地层意义. 硕士学位论文. 北京: 中国地质大学(北京). 79

阮亦萍, 周祖仁. 1987. 宁夏石炭纪头足类. 见: 宁夏地质矿产局和中国科学院南京地质古生物研究所, 编. 宁夏纳缪尔期地层和古生物. 南京: 南京大学出版社. 55–177

盛怀斌. 1987. 甘肃靖远的石炭纪菊石. 中国地质科学院地质研究所所刊, 16号: 143–192

施从广. 1982. 西藏聂拉木早石炭世介形类的发现. 古生物学报, 22: 309–314, 394

施希德. 1983. 柴达木东北缘阿木尼克山杜内阶的发现——兼对欧龙布鲁克下石炭统划分的讨论. 青藏高原地质文集, 2: 187–206

史美良, 赵治信. 1985. 北祁连山石炭系牙形石序列. 科学通报, 36: 1179–1182

四川地质局第二区测队. 1975. 松潘幅I-48-32 1/20万区域地质调查报告. 全国地质资料馆

四川地质局第三区测队. 1972. 昌都幅H-47 1/100万区域地质调查报告-绝密矿产. 全国地质资料馆

四川地质局第三区测队. 1974. 昌都幅H-47 1/100万区域地质调查报告. 全国地质资料馆
四川地质局第二区测队. 1976. 【四川省】邛崃幅H-48-14 1/20万区域地质调查报告. 全国地质资料馆
四川地质局区域地质调查队, 中国科学院南京地质古生物研究所. 1982. 川西藏东地区地层与古生物(第一册). 四川: 四川人民出版社. 341
四川省地质矿产局. 1991. 四川省区域地质志. 北京: 地质出版社. 732
宋俊俊, 郭文, 张以春, 马娟, 孙语聪, 郤文昆. 2022. 西藏南部聂拉木地区晚泥盆世-早石炭世的介形类. 微体古生物学报, 39: 40–56
宋学良. 1982. 云南西部保山、施甸地区泥盆纪、石炭纪四射珊瑚. 见: “三江”专著编辑委员会, 编. 青藏高原地质文集(10). 北京: 地质出版社. 18–37
孙崇仁. 1997. 青海省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社. 340
谭锡畴, 李春昱. 1935. 四川西康地质志. 北京: 实业部地质调查所, 国立北平研究院地质学研究所. 82
田树刚, 科恩 M. 2004. 华南石炭纪岩关——大塘界线期牙形石地层分带. 地质通报, 23: 737–749
汪玉珍. 1983. 西昆仑山依莎克群的时代及其构造意义. 新疆地质, 1:1–8
王冬兵, 王保弟, 潘桂棠, 罗亮, 唐渊. 2021. 班公湖-怒江结合带东段早石炭世洋壳残片及其古特提斯意义. 岩石学报, 37: 3048–3066
王恩泽, 罗亮, 徐争启, 谢韬, 黄晓明. 2021. 滇西昌宁-孟连结合带石炭纪火山-沉积地层时代与构造环境. 地质通报, 40: 1920–1932
王金星, 鲜思远, 侯鸿飞. 2005. 石炭系. 见: 汪啸风, 陈孝红, 主编. 中国各地质时代地层划分与对比. 北京: 地质出版社. 235–276
王克勇. 1998. 藏东八宿怒江桥-邦达一带嘉玉桥群研究的新进展. 中国区域地质, 17: 105–111
王先辉, 丁正兴, 马铁球. 2004. 东昆仑西段托库孜达坂群中组火山岩岩石地球化学特征及构造环境分析. 华南地质与矿产, 4: 9–16
王向东, Sugiyama T, Ueno K, Mizuno Y, 李一军, 王伟, 段卫先, 姚金昌. 2000. 滇西保山地区石炭纪、二叠纪古动物地理演化. 古生物学报, 39: 493–506
王向东, 胡科毅, 黄兴, 乔丽, 王秋来, 沈阳, 盛青怡, 李小铭, 林巍, 史宇坤. 2020. 中国石炭纪地层及标志化石图集. 杭州: 浙江大学出版社. 464
王向东, 胡科毅, 郤文昆, 盛青怡, 陈波, 林巍, 要乐, 王秋来, 祁玉平, 陈吉涛, 廖卓庭, 宋俊俊. 2019. 中国石炭纪综合地层和时间框架. 中国科学: 地球科学, 49: 139–159
王向东, 朱夔玉, 陈重泰. 1993. 云南保山地区的下石炭统. 地层学杂志, 17: 241–255+325–326
王向利, 周小康, 高小平, 周小康, 刘幼骐, 何立新. 2011. 新疆皮山县阿克晓地区1/5万区域矿产调查报告[吐孜艾格勒幅J44E018023、阿克硝尔幅J44E018024、布琼幅J44E018001、康克尔乡幅J44E018002(V1). 北京, 全国地质资料馆, DOI:10.35080/n01.c.116847
王义刚, 孙东立, 何国雄. 1980. 喜马拉雅地区(我国境内)地层研究的新认识. 地层学杂志, 4: 55–59
王义刚, 孙东立, 何国雄. 1984. 喜马拉雅区第一节特提斯喜马拉雅南部分区. 西藏地层. 北京: 科学出版社. 14–101
王增吉. 1981a. 柴达木盆地北缘早石炭世早期穿山沟组的皱纹珊瑚. 地质学报, 60: 170–178
王增吉. 1981b. 中国西北、北部早石炭世早期地层. 地质论评, 46: 533–538
王增吉. 1983. 东昆仑山西段石炭纪地层. 青藏高原地质文集, 2: 207–225, 355–357
王增吉. 1987. 柴达木盆地北缘阿木尼克山地区早石炭世地层及珊瑚化石序列. 中国地质科学院地质研究所所刊, 16: 51–114
王增吉. 1990. 中国地层8: 中国的石炭系. 北京: 地质出版社. 405
王增吉, 俞学光. 1995. 柴达木盆地北缘石灰沟晚石炭世的四射珊瑚. 地球学报, 17: 310–327
王志浩, 王成源. 1983. 甘肃靖远地区石炭系靖远组的牙形刺. 古生物学报, 31: 437–446, 503–504
文世宣. 1998. 喀喇昆仑山-昆仑山地区古生物. 北京: 科学出版社. 365
文沛然, 周自隆, 毛君一, 段新华, 秦德厚. 1992. 怒江-澜沧江-金沙江区域地层. 北京: 地质出版社. 148–218
吴秀元, 李星学, 沈光隆, 梁希洛, 张遴信, 王志浩, 朱怀诚, 佟再三, 武安斌, 李兰. 1987. 甘肃靖远石炭系研究新进展. 地层学杂志, 22: 163–179, 243–244
吴秀元. 1979. 古植物. 见: 西北地区古生物图册, 青海分册(三), 古生代部分. 北京: 地质出版社. 129–132, 140–142
西藏地质大队. 1971. 西藏类乌齐县马查拉煤矿区地质报告. 全国地质资料馆
西藏地质局综合普查大队. 1980. 西藏申扎地区古生代地层的新发现. 地质论评, 2: 162+151
西藏区调队. 1987. 噶大克幅H-44 1/100万区域地质调查报告: 地质部分. 全国地质资料馆
西藏自治区地质矿产局. 1993. 西藏自治区地质志. 北京: 地质出版社. 707
西藏自治区地质调查院. 2007. 中华人民共和国区域地质调查报告(八宿县幅(H47C002001)、贡觉县幅(H47C002002)、然乌县幅(H47C003001)、芒康县幅(H47C003002)比例尺1:250000). 北京: 中国地质调查局. 183–193
夏代祥, 刘世坤. 1997. 西藏自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社. 302
夏代祥. 1979. 藏北湖区申扎一带的古生代地层. 见: 地矿部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集(2). 北京: 地质出版社. 112–126
谢小平, 王永栋, 沈焕庭. 2004. 宁夏中卫晚石炭世沉积相分析与古环境重建. 沉积学报, 22: 19–28

谢义木, 林文弟, 姚宗富, 等. 1985. 改则幅I-45 1/100万区域地质调查报告. 全国地质资料馆, doi: 10.35080/n01.c.72814

新疆地矿局第1区调队. 1984.【新疆】西昆仑山康西瓦至喀喇昆仑山河尾滩地区1/100万区域地质调查报告. 全国地质资料馆

新疆地质矿产局地质矿产研究所, 新疆地质矿产局第一区调大队. 1991. 新疆古生界(新疆地层总结之二)(下). 乌鲁木齐: 新疆人民出版社. 221

新疆维吾尔自治区区域地层表编写组. 1981. 西北地区区域地层表. 新疆维吾尔自治区分册. 北京: 地质出版社. 496

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社. 843

许鑫. 2020. 东昆仑造山带西段托库孜达坂群火山岩特征及含矿性研究. 硕士学位论文. 北京: 中国地质大学(北京). 79

杨逢清, 郑昭昌, 刘志才. 1983. 宁夏卫宁地区石炭纪菊石带. 地球科学, 27: 9–23, 173

杨逢清. 1986. 宁夏中宁陈麻子井早石炭世晚期菊石群. 古生物学报, 25: 260–271, 357–358

杨式溥, 范影年. 1982. 西藏申扎地区石炭系及生物群特征. 见: “三江”专著编辑委员会, 编. 青藏高原地质文集(10). 北京: 地质出版社. 46–69

杨式溥, 范影年. 1983. 西藏石炭纪腕足动物及其古动物地理区系特征. 见: “三江”专著编辑委员会, 编. 青藏高原地质文集(11). 北京: 地质出版社. 265–289

杨式溥, 田树刚, 郑昭昌. 1988. 宁夏中卫校育川纳缪尔期牙形石. 地层古生物论文集, 16: 23–33

尹集祥, 郭师曾. 1976. 珠穆朗玛峰北坡冈瓦纳相地层的发现. 地质科学, 11: 291–322, 383–384

尹集祥, 郭师曾. 1978. 珠穆朗玛峰及其北坡的地层. 中国科学, 8: 90–102, 125–126, 126

尹集祥, 郭师曾. 1984. 波密-察隅小区. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 编. 西藏地层. 北京: 地质出版社. 163–174

尹集祥. 1974. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966~1968)(地质). 北京: 科学出版社. 4–23

尹赞勋, 陈锦石, 张守信, 骆金锭, 谢翠华. 1966. 中国地层典7石炭系. 北京: 科学出版社. 232

俞建章, 林英錫. 1961. 从珊瑚化石来討論祁連山南北坡早石炭世地层对比問題. 地质学报, 40: 154–174, 242–246

云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京: 地质出版社. 730

云南省区调队. 1981. 景谷县幅F-47-5 1/20万区域地质调查报告. 全国地质资料馆

张鹏伟, 王浪, 摆翔, 等. 2019. 新疆且末县甘泉河一带J45E017009、J45E017010、J45E018009、J45E018010 1∶5万区域地质矿产调查报告. 北京: 地质出版社. 34–76

张少文, 李涌溪, 武桂春, 纪占胜. 2021. 北羌塘地块上石炭统瓦垄山组的珊瑚化石. 地质论评, 67: 249–250

张守信, 金玉玕. 1976. 珠穆朗玛峰地区上古生界腕足动物化石. 见: 珠穆朗玛登山队科学考察队, 编. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966~1968), 第二分册. 北京: 科学出版社. 159–242

张树岐, 王永胜, 曲永贵. 2006. 西藏北部永珠地区石炭系永珠组岩石地层和古生物特征. 中国地质, 33: 980–987

张双增, 李金和, 张宏宝, 汪立军. 2015. 中华人民共和国区域地质调查报告, 日新幅(H44C001001)札达县幅(H44C001002)姜叶马幅(H44C002002)比例尺1:250000. 北京: 地质出版社. 11–51

张雄华, 黄兴, 张孟, 高璐, 张克信. 2021. 中国石炭纪构造-地层区划与地层格架. 地学前缘, 28: 362–379

张雄华, 李德威, 袁晏明, 曹树钊. 2003. 西藏定结、定日一带上石炭统纳兴组重力流沉积及其地质意义. 地球科学——中国地质大学学报, 28: 634–638

章炳高. 1974a. 珠穆朗玛峰地层-石炭系. 见: 中国科学院西藏科学考察队, 编. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966-1968). 北京: 科学出版社. 66–80

章炳高. 1974b. 石炭系、二叠系. 见: 中国科学院西藏科学考察队, 编. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966-1968). 北京: 科学出版社. 58–80

赵亚曾, 黄汲清. 1931. 秦岭山及四川之地质研究. 地质专报, 甲种(第9号): 1–228

赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 张昱文. 2001. 青藏高原地层. 北京: 科学出版社. 542

赵治信, 韩建修, 王增吉. 1984. 塔里木盆地西南缘石炭纪地层及其古生物群. 北京: 地质出版社. 1–187

赵治信, 张桂芝, 肖继南. 2000. 新疆古生代地层及牙形石. 北京: 石油工业出版社. 340

甄保生, 等. 1989. 克孜勒幅J-43-17 1/20万区域地质调查报告(地质部分). 全国地质资料馆, doi: 10.35080/n01.c.81008

中国科学青藏高原综合考察队. 1981. 西藏古生物, 第三分册. 北京: 科学出版社. 354

中国科学院地质研究所, 中国科学院地质古生物研究所, 中国科学院兰州地质研究所, 北京地质学院. 1963. 祁连山地质志(第二卷第一分册). 北京: 科学出版社. 256

中国科学院西藏工作队地质组. 1959. 西藏东部地质及矿产调查资料. 北京: 科学出版社. 148

周光第. 1987. 东昆仑山西段石炭纪和二叠纪地层的新认识. 地层学杂志, 22: 71–74

朱秀芳. 1985. 青海乌兰县晚石炭世早期的(蜓)类. 中国地质科学院地质研究所文集, 11: 6–27

朱秀芳. 1987. 青海乌兰石炭-二叠纪的(蜓)类动物群. 中国地质科学院地质研究所文集, 6: 1–49, 264

朱自力. 1998. 塔西南莎车地区石炭-二叠系蜓类分带. 古生物学报, 36: 106–117

Agnihotri D, Pandita S K, Tewari R, Ram-Awatar R, Linnemann U, Pillai S S K, Joshi A, Gautam S, Kumar K. 2018. Palynology and

detrital zircon geochronology of the Carboniferous Fenestella Shale Formation of the Tethyan realm in Kashmir Himalaya: Implications for global correlation and floristic evolution. J Asian Earth Sci, 157: 348–359

Amir Hassan M H, Aung A K, Becker R T, Abdul Rahman N A, Ng T F, Ghani A A, Shuib M K. 2014. Stratigraphy and palaeoenvironmental evolution of the mid- to upper Palaeozoic succession in Northwest Peninsular Malaysia. J Asian Earth Sci, 83: 60–79

Aretz M, Herbig H G, Wang X D. 2020. Chapter 23. The Carboniferous Period. In: Gradstein F M, Ogg J G, Schmitz M D, Ogg G M, eds. Geologic Time Scale 2020. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier, 2: 811–874

Aung A K. 2010. The Paleozoic stratigraphy of Shan Plateau, Myanmar—An up-dated version. In: Lee C P, Ng T F, Teh G H, Razak N L A, eds. Geological Anatomy of East and South Asia. Kuala Lumpur: Proceedings, 6th Symposium of the International Geological Correlation Programme Project. 516: 44–45

Bahrami A, Boncheva I, Königshof P, Yazdi M, Ebrahimi Khan-Abadi A. 2014. Conodonts of the Mississippian/Pennsylvanian boundary interval in Central Iran. J Asian Earth Sci, 92: 187–200

Balseiro D, Powell M G. 2020. Carbonate collapse and the late Paleozoic ice age marine biodiversity crisis. Geology, 48: 118–122

Barrick J E, Alekseev A S, Blanco-Ferrera S, Goreva N V, Hu K Y, Lambert L L, Nemyrovska T I, Qi Y P, Ritter S M, Sanz-López J. 2022. Carboniferous conodont biostratigraphy. Geol Soc Lond Spec Publ, 512: 695–768

Brunnschweiler R O. 1970. Contributions to the Post-Silurian geology of Burma (Northern Shan States and Karen State). J Geol Soc Aust, 17: 59–79

Campbell K S W. 1957. A Lower Carboniferous brachiopod-coral fauna from New South Wales. J Paleontol, 31: 34–98

Chen Z Q, Shi G R, Zhan L P. 2003. Early Carboniferous athyridid brachiopods from the Qaidam Basin, Northwest China. J Paleontology, 77: 844–862

Chen Z Q, Shi G R. 1999. Latest Devonian (Famennian) to earliest Carboniferous (Tournaisian) Brachiopods from the Bachu Formation of the Tarim Basin, NW China. Rivista Italiana Di Paleontologia E Stratigrafia, 105: 231–249

Chen Z Q, Shi G R. 2000. Bashkirian to Moscovian (Late Carboniferous) brachiopod faunas from the Western Kunlun Mountains, Northwest China. Geobios, 33: 543–560

Chen Z Q, Shi G R. 2003. Early Carboniferous brachiopod faunas and their biogeographical affinities from the western Kunlun Mountains, North-west China. pala, 268: 103–187

Chen Z Q. 2004. Devonian-Carboniferous brachiopod zonation in the Tarim Basin, northwest China: Implications for biostratigraphy and biogeography. Geol J, 39: 431–458

Davidson T. 1866. Notes on some Carboniferous, Jurassic, and Cretaceous (?) brachiopoda, collected by Captain Godwin-Austen in the Mustakh Hills, in Tibet. Q J G Soc Lond, 22: 35–39

Dean M T, Browne M A E, Waters C N, Powell J H. 2011. A lithostratigraphical framework for the Carboniferous successions of northern Great Britain (onshore). Brit Geol Surv Res Rep, RR/10/07: 1–174

Draganits E, Mawson R, Talent J, Krystyn L. 2002. Lithostratigraphy, conodont biostratigraphy and depositional environment of the Middle Devonian (Givetian) to Early Carboniferous (Tournaisian) Lipak Formation in the Pin Valley of Spiti (NW India). Riv Ital Paleontol Stratigr, 1: 7–35

Eros J M, Montañez I P, Osleger D A, Davydov V I, Nemyrovska T I, Poletaev V I, Zhykalyak M V. 2012. Sequence stratigraphy and onlap history of the Donets Basin, Ukraine: Insight into Carboniferous icehouse dynamics. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 313-314: 1–25

Fan J X, Shen S Z, Erwin D H, Sadler P M, MacLeod N, Cheng Q M, Hou X D, Yang J, Wang X D, Wang Y, Zhang H, Chen X, Li G X, Zhang Y C, Shi Y K, Yuan D X, Chen Q, Zhang L N, Li C, Zhao Y Y. 2020. A high-resolution summary of Cambrian to Early Triassic marine invertebrate biodiversity. Science, 367: 272–277

Fang Q, Gao J H, Wang X L, Jing X C. 2014. The Carboniferous-Permian conodont succession in the north Qilian Mountain region. Acta Palaeontol Sin, 53: 363–380

Fielding C R, Frank T D. 2015. Onset of the glacioeustatic signal recording late Palaeozoic Gondwanan ice growth: New data from palaeotropical East Fife, Scotland. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 426: 121–138

Gaetani M, Garzanti E, Tintori A. 1990. Permo-Carboniferous stratigraphy in SE Zanskar and NW Lahul (NW Himalaya, India). Eclogae Geol Helv, 83: 143–161

Gao B, Chen J T, Qie W K, Wang X D. 2020. Revisiting the paleogeographic framework of northeastern Gondwana in the late Paleozoic: Implications from detrital zircon analysis. Sediment Geol, 434: 106144

Garzanti E, Angiolini L, Sciunnach D. 1996. The mid-carboniferous to lowermost Permian succession of Spiti (Po Group and Ganmachidam Formation: Tethys Himalaya, Northern India): Gondwana glaciation and rifting of Neo-Tethys. Geodin Acta, 9: 78–100

Grabau A W. 1924. Stratigraphy of China (Pt. I). Peking: Geological Survey of China, Ministry of Agriculture and Commerce. 528

Gregory J W, Gregory C J V. 1925. The geology and physical geography of Chinese Tibet, and its relations to the mountain system of south-eastern Asia, from observations made during the Percy

Sladen expedition, 1922. Philos T R Soc London Ser B, 213: 171–298

Griffis N, Mundil R, Montañez I, Le Heron D, Dietrich P, Iannuzzi R. 2023. A Carboniferous apex for the late Paleozoic icehouse. Geol Soc Lond Spec Publ, 535: 117–129

Guo L, Zhang H F, Harris N, Xu W C, Pan F B. 2016. Late Devonian-Early Carboniferous magmatism in the Lhasa terrane and its tectonic implications: Evidences from detrital zircons in the Nyingchi Complex. Lithos, 245: 47–59

Heckel P H. 1995. Glacial-eustatic sea-level—Climatic model for late Middle to Late Pennsylvanian coal-bed formation in the Appalachian Basin. J Sediment Res, B65: 348–356

Heckel P J. 2013. Pennsylvanian stratigraphy of northern Midcontinent shelf and biostratigraphic correlation of cyclothems. Stratigraphy, 10: 3–39

Hu K Y, Qi Y P, Qie W K, Wang Q L. 2020. Carboniferous conodont zonation of China. Newsl Stratigr, 53: 141–190

Jasin B, Harun Z. 2011. Lower Carboniferous (Tournaisian) radiolarians from Peninsular Malaysia and their significance. Geol Soc Malay Bull, 57: 47–54

Jasin B. 2015. *Posidonomya* (Bivalvia) from northwest peninsular Malaysia and its significance. Sains Malays, 44: 217–223

Jiang Q, Li C, Su L, Hu P Y, Xie C M, Wu H. 2015. Carboniferous arc magmatism in the Qiangtang area, northern Tibet: Zircon U-Pb ages, geochemical and Lu-Hf isotopic characteristics, and tectonic implications. J Asian Earth Sci, 100: 132–144

Jin X C. 1994. Sedimentary and paleogeographic significance of Permo-Carboniferous sequences in western Yunnan, China. Geologisches Institut der Universität yu Köln Sonderveröffentlichungen, 99: 1–136

Jin X C. 1996. Tectono-stratigraphic units of western Yunnan, China and their counterparts in southeast Asia. Cont Dynam, 1: 123–133

Jin X C. 2002. Permo-Carboniferous sequences of Gondwana affinity in southwest China and their paleogeographic implications. J Asian Earth Sci, 20: 633–646

Korn D, Wang Q L, Hu K Y, Qi Y P. 2021. The succession of the mid-Bashkirian ammonoids Cancelloceras and Gastrioceras in North China. Palaeoworld, 30: 72–94

Leven E J, Gorgij M N. 2011. Fusulinids and stratigraphy of the Carboniferous and Permian in Iran. Stratigr Geol Correl, 19: 687–776

Leven E J. 1997. Permian stratigraphy and Fusulinida of Afghanistan with their paleogeographic and paleotectonic implications. Geol Soc Am Spec Pap, 316: 1–134

Li X X, Shen G L, Wu X Y, Tong Z S. 1987. A proposed boundary stratoboundary in Jingyuan, eastern Gansu for the Upper and Lower Carboniferous of China. In: Wang C Y, ed. Carboniferous Boundaries in China. Beijing: Science Press. 69–88

Liu Y M, Zhai Q G, Hu P Y, Tang Y, Lee H Y. 2022. Evolution of the Paleo-Tethys Ocean: Constraints from detrital zircons of the Paleozoic to Triassic clastic rocks in the Qiangtang terrane, Tibetan Plateau. J Asian Earth Sci, 232: 105226

Liu B B, Peng T P, Fan W M, Zhao G C, Gao J F, Dong X H, Peng B X. 2020. Tectonic evolution and paleoposition of the Baoshan and Lincang Blocks of west Yunnan during the Paleozoic. Tectonics, 39: e2019TC006028

Liu F, Kerp H, Peng H P, Zhu H C, Peng J G. 2019. Palynostratigraphy of the Devonian-Carboniferous transition in the Tulong section in South Tibet: A Hangenberg Event sequence analogue in the Himalaya-Tethys zone. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 531: 108704

Maharjan D, Jiang G, Peng Y, Nicholl M J. 2018. Sulfur isotope change across the Early Mississippian K-O (Kinderhookian-Osagean) $\delta^{13}C$ excursion. Earth Planet Sci Lett, 494: 202–215

Meor H H, Lee C P. 2005. The Devonian-Lower Carboniferous succession in Northwest Peninsular Malaysia. J Asian Earth Sci, 24: 719–738

Metcalfe I, Aung K P. 2014. Late Tournaisian conodonts from the Taungnyo Group near Loi Kaw, Myanmar (Burma): Implications for Shan Plateau stratigraphy and evolution of the Gondwana-derived Sibumasu Terrane. Gondwana Res, 26: 1159–1172

Metcalfe I. 1983. Southeast Asia. In: Wagner R H, Prins C F W, Granados L F, eds. The Carboniferous of the World (I). Instituto Geologico y Minero de España. 1: 143–213

Metcalfe I. 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. J Asian Earth Sci, 66: 1–33

Mii H, Grossman E L, Yancey T E. 1999. Carboniferous isotope stratigraphies of North America: Implications for Carboniferous paleoceanography and Mississippian glaciation. GSA Bull, 111: 960–973

Montañez I P, Poulsen C J. 2013. The Late Paleozoic Ice Age: An evolving paradigm. Annu Rev Earth Planet Sci, 41: 629–656

Montañez I P. 2016. A Late Paleozoic climate window of opportunity. Proc Natl Acad Sci USA, 113: 2334–2336

Peng H P, Qie W K, Marshall J E, Zhu H C, Guo W, Song J J, Liu F. 2022. Reinvestigation of Devonian-Carboniferous palynostratigraphy in Yalai village, Nyalam County, southern Tibet, China. Rev Palaeobot Palynol, 304: 104702

Powell C M A, Veevers J J. 1987. Namurian uplift in Australia and South America triggered the main Gondwanan glaciation. Nature, 326: 177–179

Qiao L, Zhang Y C, Liu C Y. 2022. Palaeobiogeographical analysis of the Mississippian (early Carboniferous) brachiopod fauna in the Tibetan Plateau. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 596: 110999

Raksaskulwong L. 2002. Upper Palaeozoic rocks of Thailand. In: Mantajit N, Potisat S, eds. Proceedings of the Symposium on Geology of Thailand. Bangkok: Department of Mineral Resources. 29–34

Roslan M H, Ali C A, Mohamed K R, Leman M S. 2017. Taburan fosil dan Penilaian Semula Usia Formasi Singa di Langkawi, Kedah Darul Aman, Malaysia. Sains Malays, 46: 2359–2365

Saltzman M R. 2002. Carbon and oxygen isotope stratigraphy of the Lower Mississippian (Kinderhookian-lower Osagean), western United States: Implications for seawater chemistry and glaciation. GSA Bull, 114: 96–108

Sashida K, Salyapongse S, Charusiri P. 2002. Lower Carboniferous radiolarian fauna from the Saba Yoi-Kabang Area, southernmost part of peninsular Thailand. Micropaleontology, 48: 129–143

Savage N M. 1977. Conodontes du debut du Caronifere inferieur des Calcaires a Syringothyris du Cachemire. In: Jest C, ed. Himalaya—Sciences de la Terre. Paris: Colloques internationaux. 268: 333–345

Sengör A M C, Atayman S. 2009. The Permian Extinction and the Tethys: An exercise in global geology. Geol Soc Am Spec Pap, 448: 1–85

Sengör A M C. 1979. Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications. Nature, 279: 590–593

Sengör A M C. 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia. Boulder Geol Soc Am Spec Pap, 195: 82

Shen S Z, Qiao L, Zhang Y, Sun Y L, Jin Y G. 2017. Carboniferous brachiopod genera on type species of China. In: Rong J Y, Jin Y G, Shen S Z, Zhan R B, eds. Phanerozoic Brachiopod Genera of China. Beijing: Science Press. 559–649

Shi G R, Chen Z Q, Zhan L P. 2005. Early Carboniferous brachiopod faunas from the Baoshan block, west Yunnan, southwest China. Alcheringa-An Australasian J Palaeontology, 29: 31–85

Shi Y K, Wang X D, Fan J X, Huang H, Xu H Q, Zhao Y Y, Shen S Z. 2021. Carboniferous-earliest Permian marine biodiversification event (CPBE) during the Late Paleozoic Ice Age. Earth-Sci Rev, 220: 103699

Soreghan G S, Soreghan M J, Heavens N G. 2019. Explosive volcanism as a key driver of the late Paleozoic ice age. Geology, 47: 600–604

Tang Y, Ye X Y, Wang X T, Huang X, Hou Z S, Hu K Y, Yang S R, Li Y, Zhang F F, Shen S Z, Wang X D. 2023. A synthesis of Carboniferous stratigraphy in Xinjiang, Northwest China with emphasis on regional and global correlations. J Asian Earth Sci, 241: 105476

Torsvik T H, Cocks L R M. 2013. Gondwana from top to base in space and time. Gondwana Res, 24: 999–1030

Torsvik T H, Cocks L R M. 2017. Earth History and Palaeogeography. Cambridge: Cambridge University Press. 317

Ueno K. 2006. The Permian antitropical fusulinoidean genus Monodiexodina: Distribution, taxonomy, paleobiogeography and paleoecology. J Asian Earth Sci, 26: 380–404

Ueno K. 2022. Carboniferous fusuline Foraminifera: Taxonomy, regional biostratigraphy, and palaeobiogeographic faunal development. Geol Soc Lond Spec Publ, 512: 327–496

Ueno K, Hayakawa N, Nakazawa T, Wang Y, Wang X. 2013. Pennsylvanian-Early Permian cyclothemic succession on the Yangtze Carbonate Platform, South China. Geol Soc Lond Spec Publ, 376: 235–267

Ueno K, Wang Y J, Wang X D. 2003. Fusulinoidean faunal succession of a Paleo-Tethyan oceanic seamount in the Changning-Menglian Belt, West Yunnan, Southwest China: An overview. Isl Arc, 12: 145–161

Ueno K. 2003. The Permian fusulinoidean faunas of the Sibumasu and Baoshan blocks: Their implications for the paleogeographic and paleoclimatologic reconstruction of the Cimmerian Continent. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 193: 1–24

Vachard D, Montenat C. 1996. The Carboniferous of Afghanistan. In: Wagner R H, Prins C F W, Granados L F, eds. The Carboniferous of the World (III). IUGS Publication. 33: 461–490

Wang S F, Fu X G, Liu Y D, Fan S Y, Wang J, Wu Z H. 2021. Bitu ophiolite in eastern Tibet: The last piece of the jigsaw puzzle in the Paleotethyan regime along the eastern Cimmerian continental margin. Lithos, 406–407: 106520

Wang W Q, Wang X D, Hu K Y. 2023. Zonation and biofacies of the Early Mississippian conodonts from Baoshan, Yunnan, Southwest China. Palaeoworld, , doi: 10.1016/j.palwor.2023.03.010

Wang X D, Gorgij M N, Yao L. 2019. A Cathaysian rugose coral fauna from the upper Carboniferous of central Iran. J Paleontol, 93: 399–415

Wang X D, Hu K Y, Shi Y K, Chen J T, Yang S R, Ye X Y, Li X M, Song Y F, Chen B, Chang X L, Yao L, Zhang Y C, Fan J X, Shen S Z. 2021. The missing upper Carboniferous in the Cimmerian continent: A critical review. Earth-Sci Rev, 217: 103627

Wang X D, Jin Y G. 2003. Carboniferous Biostratigraphy of China. In: Zhang W T, Chen P J, Palmer A R, eds. Biostratigraphy in China. Beijing: Science Press. 281–330

Wang X D, Shen S Z, Sugiyama T, West R R. 2003. Late Palaeozoic corals of Tibet (Xizang) and West Yunnan, Southwest China: Successions and palaeobiogeography. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 191: 385–397

Wang X D, Ueno K, Mizuno Y, Sugiyama T. 2001. Late Paleozoic faunal, climatic, and geographic changes in the Baoshan block as a Gondwana-derived continental fragment in southwest China. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 170: 197–218

Wang X H, Lang X H, Tang J X, Deng Y L, He Q, Xie F W, Li L, Yin Q, Li Z J, Li Z, Yang Z Y, Dong S Y, Ding F, Wang Z Z, Huang Y. 2020. Early Carboniferous back-arc rifting-related magmatism in southern Tibet: Implications for the history of the Lhasa Terrane Separation From Gondwana. Tectonics, 39, doi: 10.1029/2020TC006237

Wang Y J, Xin Q, Cawood P A, Liu H C, Feng Q L, Zhao G C, Zhang Y H, He H Y, Zhang P Z. 2018. Closure of the East Paleotethyan Ocean and amalgamation of the Eastern Cimmerian and Southeast Asia continental fragments. Earth-Sci Rev, 186: 195–230

Wang Z B. 2023. Late Visean-Early Gzhelian foraminifera in Hexi Corridor, China: Geological implications. Historical Biol, 35: 1401–1416

Xie C M, Duan M L, Song Y H, Wang B. 2021. Provenance and tectonic setting of the Sumdo Formation in the Lhasa Terrane, Tibet: Implications for early subduction evolution of the Sumdo Paleo-Tethys Ocean. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 584: 110712

Xie J C, Zhu D C, Dong G C, Zhao Z D, Wang Q, Mo X X. 2016. Linking the Tengchong Terrane in SW Yunnan with the Lhasa Terrane in southern Tibet through magmatic correlation. Gondwana Res, 39: 217–229

Xu X, Liu C F, Liu W C, Ye B Y, Zhao Z X, Ma B. 2020. Geochronology and geochemistry of the Late Devonian-Early Carboniferous volcanic rocks in Aksu River area, western end of the East Kunlun Orogen. Geol J, 55: 2881–2901

Yao L, Qi W K, Luo G M, Liu J S, Algeo T J, Bai X, Yang B, Wang X D. 2015. The TICE event: Perturbation of carbon-nitrogen cycles during the mid-Tournaisian (Early Carboniferous) greenhouse-icehouse transition. Chem Geol, 401: 1–14

Yuan P L. 1925. Carboniferous Stratigraphy of Northwestern Kansu. Bull Geol Soc China, 4: 29–37

Zanchetta S, Worthington J, Angiolini L, Leven E J, Villa I M, Zanchi A. 2018. The Bashgumbaz Complex (Tajikistan): Arc obduction in the Cimmerian orogeny of the Pamir. Gondwana Res, 57: 170–190

Zhai Q G, Wang J, Hu P Y, Lee H Y, Tang Y, Wang H T, Tang S H, Chung S L. 2018. Late Paleozoic granitoids from central Qiangtang, northern Tibetan plateau: A record of Paleo-Tethys Ocean subduction. J Asian Earth Sci, 167: 139–151

Zhang Y C, Zhai Q G, Fan J J, Song P P, Qie W K. 2022. Editorial preface to special issue: From Prototethys to Neotethys: Deep time paleobiogeographic and paleogeographic evolution of blocks in the Qinghai-Tibet Plateau. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 599: 111046

Zhang Z W, Yang X Y, Zhang L C, Wu C Q, Luo T Y, Zhu W G, Xu J H, Hu P C, Li X Y, Jin Z R. 2021. Sedimentation and mineralization of the Late Paleozoic extensional basin in the western Kunlun Mountains, China. Solid Earth Sci, 6: 142–177

Zhu H C. 1993. A revised palynological sub-division of the Namurian of Jingyuan, northwest China. Rev Palaeobot Palynol, 77: 273–300

(责任编委: 沈树忠)