中国主要块体奥陶纪达瑞威尔期(Darriwilian)晚期—凯迪期(Katian)早期海相红层及其构造意义

林宝玉[1,2],任纪舜[2],李明[1,2],武振杰[2]

1)自然资源部地层与古生物重点实验室,北京,100037;2)中国地质科学院地质研究所,北京,100037

内容提要:根据中国主要块体奥陶纪达瑞威尔期地层学、古生物学和岩石学的特点,本文主要论述了中国9个块体,其中包括5个主要块体(扬子克拉通、中朝克拉通、塔里木克拉通、拉萨地块和喜马拉雅北坡)中达瑞威尔晚期—凯迪期早期海相红层的分布、岩性特征和古动物群。它们的岩性特征:如红色灰岩;古生物群特征:如牙形石 *Pygodus serra* 动物群,*P. anserinus* 动物群和 *Hamarodus europaeus* 动物群,珊瑚 *Yohophyllum* 动物群,以及头足类 *Sinoceras chinense* 动物群均十分相似或相同。这就充分阐明,中华古陆块群(包括扬子、中朝和塔里木克拉通等)与冈瓦纳古陆北缘古陆块群(包括拉萨地块和喜马拉雅北坡等)之间的关系十分密切,可能在此之前它们同属于冈瓦纳古陆。这对于阐明中华古陆块群与冈瓦纳古陆之间的关系具有重要意义。此外,还将海相红层分为两类:陆棚红层和大洋红层。陆棚红层主要见于寒武纪至三叠纪,大洋红层主要见于白垩纪至现代。

关键词:中国主要块体;奥陶纪;达瑞威尔晚期至凯迪早期;海相红层;构造意义

中国奥陶纪达瑞威尔期晚期、桑比期(Sandbian)和凯迪期早期海相红层非常发育。除Wang Chengshan et al.(2005)和Hu Xiumian(2013)曾提及扬子克拉通和塔里木克拉通该期海相红层外,Wu Zhenjie et al.(2015)也在"鄂尔多斯周缘奥陶纪海相红层的分布与时代"一文中涉及到中朝克拉通该期海相红层。目前,中国奥陶纪海相红层,包括该期海相红层的研究尚处于起步阶段。除此之外,中国还未见有作者对奥陶纪海相红层进行专题报导,本文的发表将有助于填补中国奥陶纪海相红层研究的空白,对中国奥陶纪海相红层的研究起推动作用。

海相红层是沉积物中含铁物质在沉积过程中受到强烈的氧化作用形成三氧化二铁(Fe_2O_3),使沉积物变成红色而形成的海相红层。它指示海相沉积物在地质历史时期中曾经遭受到强烈氧化的地质事件。特别是浅水海相红层,它的形成与海平面下降事件有密切的关系。因此,根据海相红层,特别是浅水海相红层的存在,可以确定海平面升降的曲线,进行区域或全球的地层对比。另外,一个地区海相红层在地层中出现的次数,往往可以大致推断出该地区构造升降活动的幅度和频率。

本文的重点是阐述中国主要块体达瑞威尔期晚期—凯迪期早期海相红层的特征和层位,并在块体之间进行对比,以阐明中华古陆块群与冈瓦纳古陆北缘陆块群之间的关系。

1 中国主要块体达瑞威尔期(Darriwilian)晚期—凯迪期(Katian)早期海相红层的特征

根据作者的初步研究,在下列9个块体中达瑞威尔期晚期—凯迪期早期海相红层分布非常广泛。这些块体是:喜马拉雅北坡、拉萨地块、羌塘—昌都地块、中缅马苏地块、塔里木克拉通、中咱地块、扬子克拉通、柴达木地块和中朝克拉通。下面分别将上述块体中的该期海相红层的特征及时代给予详细讨论。

在讨论红层特征时,除少数较特殊的红层类型外,一般均未列出海相红层的剖面层序,以减少篇幅。读者可从引用作者及发表时代的原文中查找。

注:本文为中国地质调查局地质调查项目"中国及邻区海陆大地构造研究"(编号 12120113013700)、"全国陆相地层划分对比及海相地层阶完善"(编号 1212011120142)和"古生代若干无脊椎动物化石及地层调查"(编号 121200110200015001O-08)及青年基金"湖南益阳南坝的笔石地层序列兼论特马道克阶的再分"(编号 41402021)资助成果。

收稿日期:2018-01-15;改回日期:2018-06-01;责任编辑:黄敏。

作者简介:林宝玉,1935年生,广东博罗县人,研究员,主要从事地层学和古生物学研究工作。通讯作者:李明,1978年生,湖北浠水县人,助理研究员,主要从事地层学和古生物学研究工作。Email: liming@cags.ac.cn

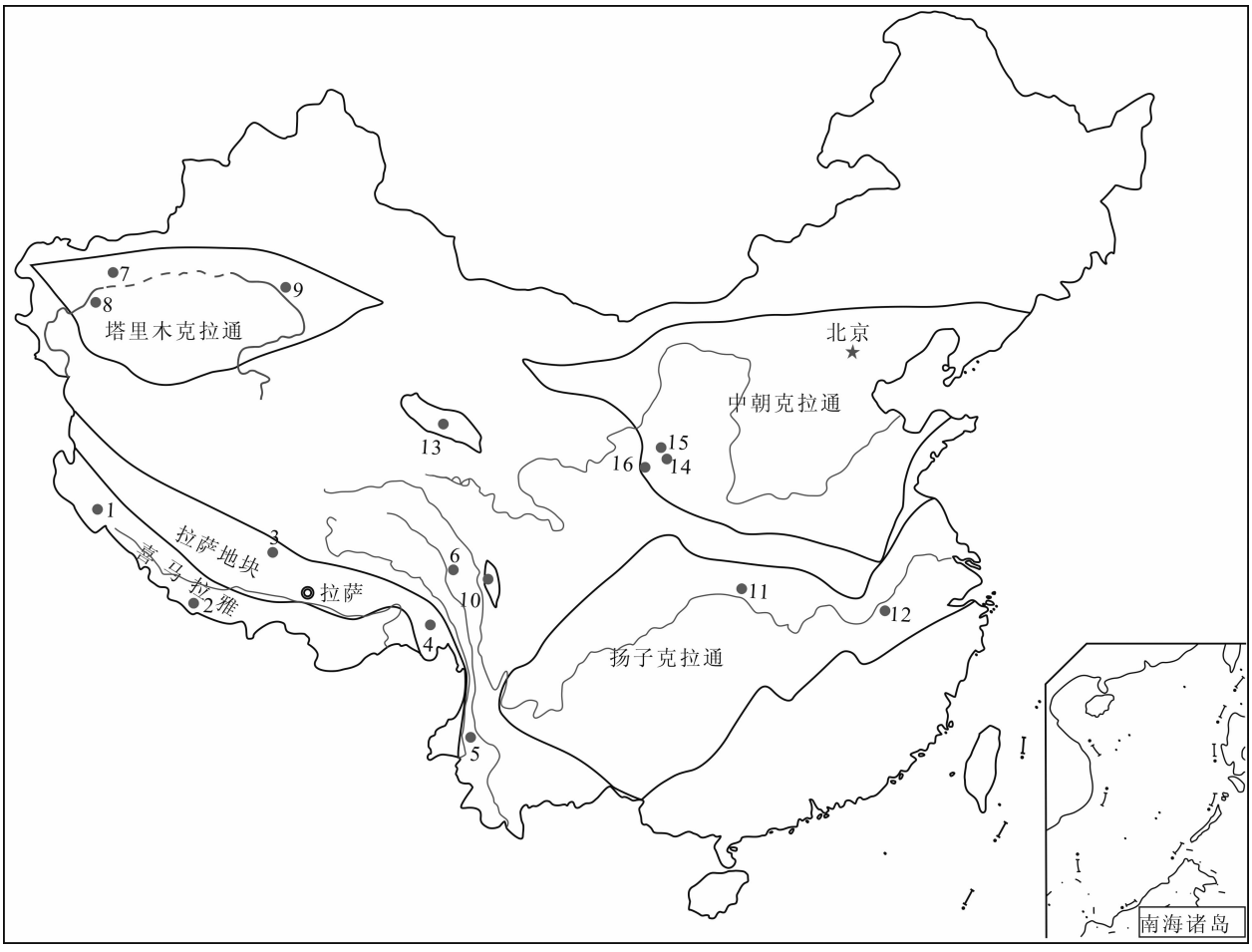

图 1　中国主要块体奥陶纪达瑞威尔期晚期—凯迪期早期海相红层剖面位置示意图

Fig. 1　Sketch map showing the localities of Late Darriwilian to Early Katian (Ordovician) Marine Red Beds from the main blocks in China

喜马拉雅北坡:1—西藏普兰一带,2—西藏聂拉木亚里;拉萨地块:3—西藏申扎,4—西藏察隅古玉;中缅马苏地块:5—云南保山蒲缥;羌塘—昌都地块:6—西藏芒康海通;塔里木克拉通:7—新疆柯坪,8—新疆巴楚,9—新疆库鲁克塔格;中咱地块:10—四川巴塘中咱;扬子克拉通:11—湖北三峡,12—安徽石台;柴达木地块:13—青海欧龙布鲁克山;中朝克拉通:14—甘肃环县车道,15—甘肃环县罗山川,16—宁夏彭阳贺家川

North slope of Himalaya: 1—Pulan County, Xizang (Tibet); 2—Nyalam County, Xizang (Tibet); Lhasa Block: 3—Xianza County, Xizang (Tibet); 4—Zayu County, Xizang (Tibet); Sibumasu Block: 5—Baoshan County, Yunnan; Qiangtang-Qamdo Block: 6—Mangkang County, Xizang (Tibet); Tarim Craton: 7—Kelpin County, Xinjiang; 8—Bachu County, Xinjiang; 9—Kuruktag Mountain, Xinjiang; Zhongzan Block: 10—Batang, Sichuan; Yangtze Craton: 11—Yangtze Gorge, Hubei; 12—Shitai County, Anhui; Qaidam Block: 13—Oulungbuluk Mountain, Qinghai; Sino-Korean Craton: 14—Chedao of Huanxian, Gansu; 15—Luoshanchuan of Huanxian, Gansu; 16—Pengyang County, Ningxia

1.1　喜马拉雅北坡

在喜马拉雅北坡,属于达瑞威尔期晚期—凯迪期早期的海相红层见于两个地点:一是东部聂拉木地区的甲曲组,二是西部普兰—扎达地区的幕霞组。

1.1.1　聂拉木地区

根据 Lin Baoyu et al. (1989), Wang Xiaofeng et al. (1996,2018)等报导,聂拉木地区奥陶系由下而上划分为肉切村群、甲村群、甲曲组和红山头组。其中甲曲组为紫红色生物碎屑灰岩、生物灰岩,厚约33m,化石丰富。据 Qiu Hongrong(1988)报导,牙形石由上而下可划分为三个带: *Hamarodus europaeus-Amorphognathus tvaerensis-Protopanderodus liripipus* 带,(主要牙形石还有 *Prioniodus gerdae* 和 *P. variabilis*),厚 24m; *Eoplacognathus Jianyeensis* 带和 *Pygodus serra* 带(主要牙形石有 *E. robustus* 和 *E. suecicus*),共厚约 9m。除上述牙形石外,尚含大量的头足类化石 *Sinoceras chinense* (Food), *S. densum* (Yü), *Michelinoceras*

paraxuanxianense Chang 等。甲曲组下带牙形石是达瑞威尔期晚期的带化石,而中带和上带牙形石则是桑比期—凯迪期早期的带化石。因此,甲曲组红层的时代应为达瑞威尔期晚期—凯迪期早期。

1.1.2 普兰—扎达地区

根据 Yang Zunyi et al.(1990)、Wang Xiaofeng et al.(1996)的报导,西藏普兰一带的奥陶系由下而上划分为丘共巴组、玛旁雍错组、让布角拉组、幕霞组、松木松组。其中札达县幕霞的幕霞组下部的岩性为灰紫色千枚状板岩,厚 20～30m。另据 He Xinyi(1991)报导,在该地幕霞组上部含珊瑚 *Yohophyllum ngariense* He,而 *Yohophyllum* 属是桑比阶的带化石。因此,札达一带幕霞组底部红层的层位应是达瑞威尔期晚期,层位可与聂拉木地区的甲曲组红层下部层位相当。

1.2 拉萨地块

拉萨地块达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层主要见于西藏申扎县。另外,在其东部的察隅县古玉一带也见有分布。

1.2.1 西藏申扎县永珠一带

根据 Lin Baoyu et al.(1989)、Wang Xiaofeng et al.(1996,2018)等的报导,申扎地区的奥陶系由下而上划分为扎江组、拉塞组、柯尔多组、刚木桑组、申扎组和德悟卡下组(下部)。其中柯尔多组岩性为紫红色、灰色灰岩,含丰富的头足类和牙形石化石,不完整厚度大于 100m。牙形石有 *Hamarodus europaeus*(Serpagli),*Pygodus anserinus* Lamont et Lindstroem 等;头足类有 *Sinoceras chinense*(Food),*Michelinoceras elongatum*(Yü),*M. huangniganense* Chang,*M. paraelongatum subcentrale* Lai et Tsi 等。根据牙形石化石,该红层的时代应为桑比期至凯迪期早期。由于命名剖面柯尔多组红层未见底,其下也可能包括达瑞威尔期晚期的海相红层。

1.2.2 西藏察隅古玉区

根据 Chen Tingen(1986)、Wang Xiaofeng et al.(1996)等的报导,察隅地区的奥陶系由下而上划分为古琴组、察隅组、古玉组和"白云质灰岩"。其中古玉组为紫红色中厚层泥质条带灰岩,具收缩纹及同生角砾状构造,厚 25m。其下与察隅组,其上与不明时代的白云岩整合接触,含鹦鹉螺 *Discoceras* sp.,*Sinoceras* sp.,*Trocholites depressus*,*Richardsonoceras asiaticum*,*Michelinoceras paraelongatum* 等,时代可能相当于达瑞威尔期晚期—凯迪期早期或其中的一部分。

1.3 中缅马苏地块

根据 Lai Caigen et al.(1982),云南省地质矿产局(1990)和 Wang Xiaofeng et al.(1996,2018)等的报导,云南保山一带的奥陶系由下而上划分为:岩箐组、漫塘组、施甸组、下蒲缥组、上蒲缥组和弯腰树组。

此地的下蒲缥组上部(2 层)和上蒲缥组下部(3 层)相当于达瑞威尔期晚期至凯迪期早期,在此时期含二层海相红层。现将云南西部保山县蒲缥街上下蒲缥组命名剖面层序列举如下:

保山县蒲缥街中、上奥陶统剖面

(据云南省区域地质志,1990,74～75 页)

上蒲缥组(>632m)

5. 黄色粉砂质泥岩,含三叶虫 *Telephina* cf. *chinensis*。 >130m
4. 紫红、黄色粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩,局部见顺层分布的泥灰岩结核,含三叶虫 *Nankinolithus nankinensis*,*Geragnostus sinensis*,*Hamatocnemis decorosus* 等。 442m
3. 紫红、灰紫色泥岩夹薄层泥灰岩,含三叶虫 *Microphoria* cf. *speciosa*,*Zbirobia sinensis*;头足类 *Sinoceras chinense*? 60m

——————整合——————

下蒲缥组(217m)

2. 上部黄色中层砂泥质灰岩;下部黄绿色粉砂质泥岩,含三叶虫 *Basiliella yunnanensis*,*Pseudosphaerexochus* cf. *granulatus*;笔石 *Climacograptus peltifer* 等。 58m
1. 中、下部黄绿色粉砂质泥岩,下部则为互层,含笔石 *Husterograptus teretiusculus*;三叶虫 *Pliomerina* sp.。 159m

——————整合——————

下伏地层:施甸组

据云南区域地质志(1990)报导(77 页),下蒲缥组为黄绿色、黄色泥岩与泥灰岩互层外,顶部常夹少量紫色砂泥质条带或薄层,也就是说亦发育桑比期上部海相红层。

从上述剖面中可以看出,该地两层海相红层主要特征如下:

下蒲缥组上部海相红层,见于下蒲缥组顶部,岩性为紫色砂泥质条带或薄层,层位不稳定,夹于剖面第 2 层(约 58m)的黄色、黄绿色泥岩与泥灰岩中,含笔石 *Climacograptus peltifer* 带等,属桑比期。

上蒲缥组底部海相红层,见于该剖面的第 3 层,岩性为紫红、灰紫色泥岩夹薄层泥灰岩,含三叶虫 *Microphoria* cf. *speciosa*,*Zbirobia sinensis*;头足类 *Sinoceras chinense* ?,厚 60m,其中第 4 层中含凯迪期中期的三叶虫带化石 *Nankinolithus nankinensis*,因此该海相红层的时代应属于凯迪期早期。

1.4　羌塘—昌都地块

根据陈挺恩等的资料(Chen Tingen et al.,1986;Lin Baoyu et al.,1989),该区奥陶系出露零星,由下而上划分为曾子顶组(下奥陶统)和上奥陶统紫红色灰岩,两者关系不明。在昌都地块的东端,芒康县海通道班房对面山崖发现确切的上奥陶统海相红层,岩性以紫红色泥质条带灰岩为主,含头足类 *Michelinoceras paraelongatum* Chang, *Sinoceras* sp., *Discoceras* sp., *Richardsonoceras* sp. 等及三叶虫,腹足类和介形虫化石,厚度仅 8m,未见顶底。头足类化石主要是扬子克拉通宝塔组、拉萨地块柯尔多组、喜马拉雅北坡甲曲组分子,其层位可与上述三组中上部层位相当,属桑比期至凯迪期早期。

1.5　塔里木克拉通

达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层在塔里木克拉通也有广泛分布,主要见于克拉通西部的柯坪、巴楚地区。在东部的库鲁克塔格山也偶见分布。作者等在该处也曾进行过实地考察,现分别叙述如下。

1.5.1　柯坪地区

根据 Zhou Zhiyi et al.(1990)、Wang Xiaofeng et al.(1996,2018)等的报导,柯坪大湾沟一带的奥陶系由下而上划分为丘里塔格群上部、大湾沟组、萨尔干组、坎岭组、其浪组、因干组和柯坪塔格组下部。海相红层主要见于坎岭组和其浪组下段上部。

坎岭组顶部海相红层(17 层),岩性为紫红色瘤状泥质泥屑灰岩及灰绿色泥质泥屑灰岩,厚 12.8m,含丰富的笔石、牙形石、头足类、三叶虫等化石。牙形石:*Protopanderodus liripipus* Kennedy, Barnes et Uyeno, *Baltoniodus variabilis* (Bergstroem), *Prioniodus alobatus* Bergström;笔石 *Pseudoclimacograptus scharenbergi stenostoma* (Bulman);头足类 *Michelinoceras xianzaense* Chen, *M. chaoi* Chang, *M. elongatum* (Yü), *M. paraelongatum* Chang, *M. paraxianzaense* Chen, *Litutes* sp. 等。Zhou Zhiyi et al.(1990)和 Zhao Zhixin et al.(2000)认为其时代应属于桑比阶的 *B. variabilis* 带和 *P. alobatus* 带。Wang Xiaofeng et al.(2018)则划分为下部 *Pygodus anserinus* 带和上部 *P. alobatus* 带。

其浪组下部上段(19,20 层)海相红层。海相红层下部(19 层)岩性为灰绿色钙质粉砂质页岩与紫灰色薄层泥质泥屑灰岩组成的韵律沉积层,厚 23.4m;含丰富的笔石化石和三叶虫等化石。笔石有:*Pseudoclimacograptus scharenbergi* (Lapworth), *Dicellograptus vagus* Hadding, *Amplexograptus maxcoelli* Decker, *Corynoides* sp. 等;该海相红层上部(20 层)岩性为紫灰色疙瘩状泥屑灰岩与黄绿色钙质粉砂质页岩组成的韵律层,厚 34.2m,含丰富的笔石、牙形石化石。笔石有 *Dicranograptus clingani resicis* William et Bruton, *Orthograptus quadrimucronatus cornutus* Ruedemann, *Climacograptus* (*Diplacanthograptus*) *spiniferus* Ruedemann, *Neurograptus margaritatus* (Lapworth) 等。Zhou Zhiyi et al.(1990)认为其浪组下部海相红层时代为 *Corynoides americanus* 带,由于其上部含 *C.* (*Diplacanthograptus*) *spiniferus*,也许有一部分应属 *C.* (*D.*) *spiniferus* 带,即凯迪期早期,也就是说其浪组海相红层时代为桑比期晚期—凯迪期早期。

1.5.2　巴楚地区

根据 Zhou Zhiyi et al.(1990),Wang Xiaofeng et al.(1996,2018),Zhao Zhixin et al.(2000)等的报导,巴楚一带的奥陶系由下而上划分为上丘里塔格群(组)、一间房组、土木休克组和良里塔格组。此地达瑞威尔期晚期—凯迪期早期海相红层可以划分为两层:下层海相红层见于土木休克组下部;上层海相红层见于良里塔格组下部和中部(下部和中部海相红层之间为 23m 厚的非海相红层),现分别叙述如下:

土木休克组下部海相红层(37 层)岩性为紫红色瘤状砂屑灰岩夹页岩,厚 10.2m,含丰富的鱼类、头足类、牙形石等化石。牙形石属于 *Pygodus serra* 带,也就是说其时代属于达瑞威尔期晚期,但该层在唐王城附近,其下部产 *Pygodus serra* (Hadding), *Prioniodus alobatus* Bergström,中部产 *Pygodus serra* (Hadding) 和 *P. anserinus* (Lamont et Lindström),上部产 *Baltoniodus variabilis* (Bergström),说明该红层在唐王城一带其层位可达桑比期。

良里塔格组下部海相红层(43 层),岩性为紫红

色块状泥质团块砂屑灰岩,厚 8.5m,含少量三叶虫及腕足类化石,中部海相红层(45 层)底部有厚 30cm 红色砾屑灰岩,往上为紫红色块状砂屑团粒灰岩及鲕粒砂屑灰岩,鲕粒大者达 1.5mm,顶部为厚约 5m 的紫红色砂屑灰岩,含牙形石 *Belodina confluens* Sweet,说明该红层属 *B. confluens* 带,时代为凯迪期早期。下部海相红层的时代可能为凯迪期早期,或桑比期的晚期。

1.5.3 库鲁克塔格地区

库鲁克塔格的乌里格孜塔格地区(露头区)的奥陶系划分意见很不一致。根据 Zhong Rui et al.(1999)、Zhao Zhixin et al.(2000)报导,该区奥陶系自下而上划分为巷古勒塔格组、赛力克达坂组、乌里格孜塔格组和哈达布拉克塔格组。达瑞威尔期至凯迪期早期海相红层仅见于赛力克达坂组下段,其岩性为灰绿色厚层—块状白云质、硅质泥岩为主,其下部的浅灰色泥晶生屑灰岩,向东南方向相变为红色疙瘩状灰岩(在第五剖面),顶部为中基性沉凝灰岩。红色疙瘩状灰岩为海相红层,含三叶虫、腕足类、头足类、牙形石等化石,厚 26～45m。头足类 *Litutes* sp.,三叶虫 *Birmanites* sp.,*Nileus* sp.,牙形石 *Pygodus anserinus* Lamont et Poplawski, *Protopanderodus gradates* Serpagli, *P. liripipus* Kennedy, *Spinodus spinatus* (Hadding)等,属牙形石 *P. anserinus* 带,也就是说该海相红层的时代为桑比期早期(Zhao Zhixin et al., 2000)。

1.6 中咱地块

根据 Lai Caigen(1982),四川省地质局区域地质调查队和中国科学院南京地质古生物所(1991)的报导,该区奥陶系由下而上划分为:邦归组、溜冉卡组和物洛吃普组。海相红层见于物洛吃普组的下部,岩性为灰—灰黑色薄层泥质灰岩,夹紫红色泥质物构成的豹皮状、条带状构造,含珊瑚 *Yohophyllum kueiyangense* (Yoh), *Calostylis* sp. 等,厚 400m。红层具体厚度不详。珊瑚化石 *Yohophyllum kueiyangense*(Yoh)广泛见于云南巧家上巧家组和贵阳乌当黄花冲组下部,时代为桑比期。因此,物洛吃普组下部海相红层时代应属于桑比期。

1.7 扬子克拉通

扬子克拉通达瑞威尔期晚期至凯迪期早期的海相红层分布非常广泛,包括川、滇、湘、鄂、皖、苏、浙等地,详情将另文叙述。现仅主要以湘、鄂地区的三峡一带和皖南为例给予介绍。三峡地区的奥陶系自下而上划分为:西陵峡组、南津关组、分乡组、红花园组、大湾组、牯牛潭组、庙坡组、宝塔组、临湘组、五峰组、观音桥组和龙马溪组下部。

该地区此期可见二层海相红层。下层见于牯牛潭组,上层见于宝塔组。

根据 Wang Xiaofeng et al.(1996,2018)报导,牯牛潭组红层主要为一套浅紫色、黄绿色或灰色薄层至中厚层水云母泥晶灰岩,常具瘤状结构,三峡地区化石带自下而上有头足类 *Dideroceras wablenbergi* 带, *Ancistroceras* 带;牙形石有 *Lenodus variabilis* 带和 *Eoplacognathus protoramusus* 带牙形石,属于达瑞威尔期晚期,厚度不大,约 2～74m。

宝塔组红层主要由浅紫色中厚层微晶"龟裂纹"灰岩组成,间夹薄层页岩,厚 12m。三峡地区化石带有:头足类 *Sinoceras chinense* 顶峰带;三叶虫 *Paraphilipsinella globosa* 延限带;牙形石 *Hamarodus* cf. *europaeus* 带,层位与笔石 *Dicranograptus clingani* 带至 *P. linearis* 带相当,也就是说相当于桑比期晚期至凯迪期早期。与宝塔组海相红层相当的海相红层也见于浙江江山一带的砚瓦山组。

另据 Lai Caigen et al.(1993)报导,在安徽石台地区的奥陶系自下而上划分为:青坑组(上部)、仑山组、红花园组、紫台组、牯牛潭组、大田坝组、宝塔组、汤头组、五峰组、高家边组(下部)。此地宝塔组红层为紫红色悬浮瘤状泥灰岩,网纹状瘤状灰岩,厚约 24m,属深陆棚环境沉积,时代为凯迪期早期;而其下的大田坝组亦为红层,岩性为紫红色、浅灰色递变瘤状灰岩、悬浮状瘤状灰岩,厚约 10m 左右,亦属深陆棚沉积,时代为桑比期。其下牯牛潭组未见海相红层。

根据上述,扬子克拉通达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层由上而下大致可划分出如下三层海相红层:

宝塔组(砚瓦山组)海相红层	主要为凯迪期早期
大田坝组海相红层	主要为桑比期
牯牛潭组海相红层	达瑞威尔期晚期

1.8 柴达木地块

柴达木地块达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层仅见于大柴旦欧龙布鲁克山一带。根据 Wang Xiaofeng et al.(1996,2018)、青海省区域地层表编写组(1980)的报导,该区的奥陶系由下而上划分为:多泉山组、石灰沟组和大头羊沟组。

该区海相红层见于石灰沟组上部和大头羊沟组上部。

石灰沟组上部红层岩性为紫红色薄层砂岩与紫红色砂质页岩互层,局部呈灰绿色,厚 13m。该组自下而上含笔石 *Undulograptus austrodentatus* 带、*Amplexograptus confertus* 带和 *Petrograptus elegans* 带,未见达瑞威尔阶顶部的 *Husterograptus teretiusculus* 带。其上与下石炭统阿木尼克组不整合接触,其下与多泉山组整合接触。Wang Xiaofeng et al.(2018)认为其时代属中奥陶世晚期,也就是说上部红层年代可能为 *H. teretisculus* 带。

大头羊沟组下部为砾状灰岩,厚 100m;上部红层为紫红色粉砂岩及泥质石灰岩,厚 61m。下部砾状灰岩中含头足类 *Armenoceras tani*,腹足类 *Lophospira* sp. 假整合于石灰沟组之上。由于其下石灰沟组含达瑞威尔期的笔石化石,因此,推测大头羊沟组上部海相红层的时代为凯迪期早期,而其下大头羊沟组下部砾状灰岩时代可能为桑比期。

1.9　中朝克拉通

中朝克拉通中的达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层主要分布于鄂尔多斯盆地西侧,在中朝克拉通东部地区也有零星分布。在西部的宁夏回族自治区彭阳县和甘肃环县一带出露最好,可以作为中朝克拉通最有代表性的剖面。

1.9.1　甘肃环县车道地区

根据 Lin Baoyu et al.(1975)、An Taiyang et Zheng Zhaochang(1990)以及 Wu Zhenjie et al.(2015)的报导,在甘肃环县车道坡一带达瑞威尔期晚期—凯迪期早期海相红层由上而下可划分为如下三层:

车道组(16.3m)　上部海相红层(4.7m) *Sinoceras chinense* 带

下部海相红层(2.6m)

南庄子组(29.4m)

下部海相红层(8.3m) *Pygodus serra* 带

南庄子组下部海相红层,见于该剖面的第 3 层,岩性为黄绿色页岩与紫红色薄层灰岩互层,厚 0.9m,含丰富的牙形石化石,主要有 *Priodon aculeatus* Hadding, *Protopanderodus robustus* (Hadding), *P. rectus* (Lindström), *Pygodus Serra* (Hidding),属于达瑞威尔期晚期 *P. serra* 带。亦即 Wu Zhenjie et al.(2015)在该地区报导的 ORB-4 海相红层。

南庄子组下部第 6 层岩性为棕灰、褐灰色块状砾屑灰岩,橘红色铁质胶结,砾屑大小不均,呈棱角状,杂乱堆积,大者 10cm,小者 5mm,一般 1.5cm。成分是亮晶褐藻灰岩、砂屑灰岩及粉晶灰岩,含腕足类及海百合茎碎片,厚 3.1m,也可能属于海相红层。其上第 7 层含牙形石 *Spinodus spinatus* 带化石 S. *spinatus* (Hadding),其下第 5 层含牙形石带化石 *Pygodus serra* 带。An Taiyang et al.(1990)认为该层可能仍属于 *P. serra* 带。

车道组下部海相红层,又可分为两层。下层见于车道组底部 9 层,岩性上部为黄灰色中薄层泥晶灰岩夹 45cm 厚的棕灰色粉—泥晶灰岩,顶部夹一层 5cm 厚的灰色亮晶灰岩;中部为黄灰、棕红、褐红色钙质粉砂质页岩、粉砂质灰岩;下部为浅灰绿色薄层钙质粉砂质泥岩。中下部含笔石 *Climacograptus* sp., *Pseudoclimacograptus* sp., 腕足类 *Obolus* sp. 等,厚 2.6m。上层见于车道组底部 11 层,岩性为浅灰色泥晶灰岩,具褐红色白云质条带(白云质具铁质环带,使岩石成豹皮状,风化后呈瘤状),含牙形石 *Protopanderodus* sp.,厚 1m,与下层海相红层仅隔 2m 非海相红层(浅灰色中层泥晶灰岩)。由于其下的南庄子组下部红层时代为达瑞威尔期晚期的 *Pygodus serra* 带,而车道组上部红层时代为凯迪期早期,因此,该红层的时代应为桑比期,亦即 Wu Zhenjie et al.(2015)在该地区报导的 ORB-5 海相红层。

车道组上部海相红层,见于车道组上部 15,16 层,下部 15 层岩性为紫红色中薄层瘤状泥晶灰岩夹薄层状浅紫红色灰岩,上部含三层生物灰岩,含极丰富的头足类、三叶虫、海百合茎及少量腹足类化石。海百合茎大都顺层排列,个别斜交或垂直层面,其它化石大都破碎,说明经过短距离搬运,应视为异地埋藏群,厚 2.5m。主要化石有:头足类 *Sinoceras chinense* (Food), *S. yanwashanense* Chang, *S. chinense fengxiangense* Chang, *Michelinoceras paraelongatum* Chang, *M. huangniganense* Chang, *Richardosonoceras* sp., *Discoceras huanxianense* (Chang);牙形石 *Protopanderodus liripipus* Kennedy et al., *Walliserodus ethingtoni* (Fähraeus),等。16 层上部灰、暗紫灰色中厚薄层鲕状灰岩含三叶虫:*Nileus* sp., *Illaenus* sp.;下部为紫红、浅紫红色中薄层鲕状灰岩;底部是紫红色粉砂质灰岩。本层含鲕粒约 90%,鲕粒多为放射鲕,圆形,直径约 0.5mm。鲕核为泥晶灰岩、藻灰岩屑及陆源石英砂岩。上部鲕粒渐少,含 30%的石英粉

砂,为粉晶陆屑灰岩,并只有针状溶孔,厚 2.2m,总厚 4.7m。由于 15 层中富含凯迪期早期的 *Sinoceras chinense* 带化石,因此该红层的时代应为凯迪期早期。亦是 Wu Zhenjie et al.(2015)在该地区报导的 ORB-6 海相红层。

1.9.2 甘肃环县罗山川地区

根据 An Taiyang et al.(1990)报导,在甘肃环县罗山川上游南湫乡涝池沟—井渠沟一带的龙门洞组下部(4 层)亦含海相红层,岩性为褐红、灰绿色粉砂质灰岩夹 20cm 的薄层灰岩。页岩中含笔石:*Climacograptus antiquus* Lapworth, *Orthograptus calcaratus* Lapworth, *Leptograptus* sp. 等,薄层灰岩中含 *Protopanderodus varicostatus* (Sweet et Bergström), *P. cooperi* (Sweet et Bergström), *Walliserodus ethingtoni* (Fäbraeus), *Drepanodus arcuatus* Pander, 厚 4.5m。该地龙门洞组共厚 287.5m,共分 14 层,其下与三道沟组为断层接触。除第 4 层为海相红层外,下部第 9 层岩性为灰紫色夹灰绿色粉砂质、泥质页岩,上部见黑色硅质岩、灰绿色页岩,厚 11m,亦可能属于海相红层。该地龙门洞组上部 14 层含牙形石 *Pygodus anserinus* Lamont et lindström 和 *P. serra* (Hadding) 的过渡类型标本。安太庠等认为第 14 层属 *P. anserinus* 带和 *P. serra* 带之间的过渡类型,相当于笔石 *Husterograptus teretiusculus* 带的顶部,也就是说属于达瑞威尔期的晚期。该红层层位与其南面相距约 60 公里的甘肃环县车道沟南庄子组下部半深水海相红层(*P. serra* 带)层位相当。此地龙门洞组下部海相红层属于深水沉积,除笔石外,其上下层位均含丰富的硅质层和放射虫化石。而南庄子组海相红层则属于半深水沉积。该红层层位相当于 Wu Zhenjie et al.(2015)报导的 ORB-4 海相红层。

1.9.3 宁夏彭阳县贺家川

在宁夏彭阳县贺家川出露一套以火山碎屑岩为主的海相红层,宁夏地质矿产局(1990)称其为平凉组,实际上它与位于其南面约 60km 的平凉地区平凉组岩性差别很大。标准剖面的平凉组以薄层灰岩和页岩为主,偶见火山碎屑沉积。本文仍暂用"平凉组"一名:

由于该海相红层的成因可能与海底火山喷发有关,因此,本文详列该剖面的层序如下:

宁夏彭阳县贺家川剖面(宁夏地质矿产局,1990,第 87～88 页)

上覆地层:下白垩统志丹群砾岩

～～～～～～～～～～ 角度不整合 ～～～～～～～～～～

中奥陶统"平凉组"(>589m)

21. 黄绿、紫红色厚层凝灰质石英细砂岩 150m
20. 上部黄绿色含砂质页岩,下部灰紫色中厚层凝灰质细砂岩夹紫红色页岩 40m
19. 第四系冲积层掩盖 88m
18. 灰紫色厚层凝灰质细砂岩与紫红色页岩互层,产笔石 *Dicellograptus* cf. *sextans*, *Dicranograptus* sp., *Climacograptus* sp., *Leptograptus* sp. 等 16m
17. 黄绿色页岩夹紫红色薄层凝灰质细砂岩 17m
16. 黄灰、黄绿色中厚层凝灰质细砂岩与黄绿色页岩互层 5m
15. 紫红色、灰绿色页岩 5m
14. 灰黄绿色页岩,风化面呈褐红色,富含笔石 *Nemagraptus* sp., *Glyptograptus* sp., *Didymograptus* sp. 等 18m
13. 冲积层掩盖 50m
12. 浅紫红色中厚层凝灰质细砂岩夹页岩,产笔石 *Didymograptus* sp.,*Diplograptus*? sp. 12m
11. 紫红色中厚层细砂岩与页岩互层,向上页岩增多,产笔石 *Didymograptus* sp. 20m
10. 紫红色中厚层凝灰质细砂岩与灰绿色薄层凝灰质粉砂岩互层,尚夹有页岩,产笔石 *Climacograptus parvus* 15m
9. 紫红色页岩与中厚层凝灰质细砂岩互层,下部产笔石 *Climacograptus parvus*, *Husterograptus teretiusculus* var. *kansuensis* 8m
8. 紫红色页岩夹中厚层凝灰质细砂岩,产笔石 *Climacograptus* sp. 15m
7. 紫红色页岩夹中厚层凝灰质细砂岩,产笔石 *Husterograptus teretiusculus*, *Climacograptus parvus*, *Dicellograptus* cf. *sextans*, *Dicranograptus* sp. 13m
6. 冲积层覆盖 13m
5. 蓝灰色页岩,风化面呈紫红色,产笔石 *Climacograptus parvus*, *Dicranograptus kansuensis*, *Leptograptus* sp. 等 5m
4. 冲积层覆盖 18m
3. 黄绿色页岩夹含云母凝灰质石英细砂岩,产笔石 *Husterograptus teretiusculus*, *Climacograptus parvus* 等 5m
2. 冲积层覆盖 71m

1. 浅紫红色中层状凝灰质细砂岩,(未见底)　>5m

从剖面中可以看出,这里的平凉组海相红层根据化石大致可划分出二个时代:1～9 层海相红层含笔石 *Husterograptus teretiusculus* 带化石(3 层),*H. teretiusculus* var. *kansuensis*(7 层)等,厚 153m,应属于达瑞威尔期晚期的 *H. teretiusculus* 带;10～21 层海相红层(厚 436m),未见标准的笔石带化石,但在 14 层中出现 *Nemagraptus* sp.,因此,10～21 层的时代属于桑比期。其顶部是否包含凯迪期早期海相红层,尚有待进一步确定。

此地 1～9 层海相红层和 10～21 层海相红层的层位相当于 Wu Zhenjie et al.(2015)在该区报导的 ORB-4 和 ORB-5 海相红层。

2　中国主要块体达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层的类型和相变

2.1　海相红层的类型

Hu Xiumian et al.(2006),曾对西藏南部上白垩统大洋红层(相当于本文的部分半深水和深水红层)的岩石类型进行分类,分为碳酸盐岩、泥质岩和硅质岩三大类,并对其沉积环境进行了详细分析。但对于浅水海相红层岩石类型涉及很少。

根据达瑞威尔期晚期—凯迪期早期海相红层岩石特征、沉积时海水的深度、三氧化二铁物质来源和红层沉积时限的长短,大致可分出如下几种类型:

2.1.1　按岩石特征分类

达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层主要为碳酸盐岩,碎屑岩类型仅见于少数地区,这可能与此时期海相红层主要形成于浅海的沉积环境有关。

2.1.1.1　碳酸盐岩类型

(1)紫红色泥质灰岩、生物灰岩、龟裂纹灰岩等,如宝塔组、甲曲组、牯牛潭组等。

(2)紫红色鲕状灰岩,如车道组上部红层的上部(16 层)。

(3)紫红色砾状灰岩,如南庄子组下部红层。

2.1.1.2　碎屑岩类型

(1)紫红色页岩,如平凉组红层(宁夏彭阳)

(2)紫红色砂岩、粉砂岩,如大头羊沟组上部红层,上蒲缥组下部红层,平凉组红层(宁夏彭阳)。

2.1.1.3　火山碎屑岩类型

紫红色、紫色凝灰质细砂岩,如平凉组(宁夏彭阳贺家川剖面)

2.1.1.4　鲕状赤铁矿类型

暗紫色、红色鲕状赤铁矿,如上巧家组底部海相红层。

2.1.2　按沉积时海水大致深度分类

关于海洋沉积环境的分类,Feng Zenzhao et al.(1986)曾作过详细的论述。他们对海洋沉积环境的分类与本文所采用的海相红层形成的深度分类的对比如下表(表 1):

表 1　海相红层形成水深分类

Table 1　Classification of the Marine Red Beds Based on the depositional depth of water

海相红层形成水深分类(本文)	陆棚红层		大洋红层
	浅水海相红层 <50m	半深水海相红层 >50~200m	深水海相红层 >200m
海洋环境分类(Feng Zengzhao, 1986)	滨海 <20m或20~50m	浅海 >50~200m	深海 >200m
	台地	斜坡	盆地
	陆棚上部	陆棚下部(或陆坡上部)	陆坡下部(或远洋)
	陆表海	陆缘海	深海

本文所采用的浅水、半深水、深水海相红层的含义大致相当于 Feng Zenzhao et al.(1986)的滨海、浅海和深海的海水深度或其对应的沉积环境,台地中的凹陷盆地暂列入盆地范围,也大致相当于 Rong Jiayu et al.(2012)的浅水、较深水和深水类型。当然,这种分类仅是大致的,它们之间的确切界线是很难确定的。根据上述划分,该期海相红层大多数属于半深水海相红层。

2.1.2.1　浅水海相红层

如上巧家组底部暗紫色、红色、鲕状赤铁矿层、车道组上部紫红色鲕状灰岩等。

2.1.2.2　半深水海相红层

如宝塔组、甲曲组、柯尔多组、紫红色生物灰岩、龟裂纹灰岩等,含漂浮或游泳头足类,牙形石为主,几乎无底栖生物。

2.1.2.3　深水海相红层

如平凉组底部海相红层,以紫红色砂页岩为主,含笔石、牙形石等,同时上下层中还含硅质层,且含丰富的放射虫等化石。柯坪地区的坎岭组、其浪组海相红层也可能属于深水海相红层。

2.1.3　按沉积时限分类

达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层大致可分出三个时期,即达瑞威尔期晚期、桑比期和凯迪期早期。根据海相红层延续的时限,可以粗略划分为:

2.1.3.1　一层式

(1)沉积时限由达瑞威尔期晚期一直延续到凯迪期早期,中间没有非海相红层间隔,如甲曲组,厚

33m,时限由达瑞威尔晚期的 *Pygodus serra* 带一直延续到凯迪期早期的 *Hamarodus euspaeus* 带。柯尔多组海相红层也可能属于这一类。

(2)沉积时限仅限于达瑞威尔期晚期的 *Pygodus serra* 带,如上巧家组底部红层,幕霞组底部红层。

2.1.3.2 二层式

(1)海相红层仅见于达瑞威尔晚期和凯迪期早期的,如湖北三峡等地的牯牛潭组海相红层和宝塔组海相红层。中间的桑比期一般为非海相红层(或桑比期的一部分)。

(2)海相红层仅见于桑比期和凯迪期早期且是连续沉积的,如安徽石台地台大田坝组和宝塔组均为海相红层等。

2.1.3.3 三层式

达瑞威尔期晚期、桑比期、凯迪期早期海相红层同时存在,其间有非海相红层分开的,如甘肃环县车道沟剖面南庄子组下部海相红层(*Pygodus serra* 带),车道组下部海相红层(可能为桑比期),车道组上部海相红层(*Sinoceras chinense* 顶峰带),说明其间有二次海平面上升。

2.1.4 根据三氧化二铁来源分类

海相红层的颜色与其所含的三氧化二铁(Fe_2O_3)有关,浅水、半深水海相红层 Fe_2O_3 来源多半与附近古陆有关,而某些深水海相红层,特别是活动地区的 Fe_2O_3 的来源可能与火山活动有关。

(1)物质来源于陆源碎屑沉积的正常海相红层,稳定地区海相红层一般属于这一类。

(2)Fe_2O_3 物质来源于海底火山喷发沉积物(如:宁夏彭阳贺家川剖面,平凉组海相红层为紫红色凝灰质粉砂岩),而且红层厚度大,厚达数百米。活动地区的海相红层有一部分应属于这一类型。

2.2 海相红层的纵向和横向变化

海相红层一般是强氧化的产物,特别是浅水海相红层的形成与海平面的下降有密切的关系。在横向方面,当海平面下降时,同一地区的不同部位可能产生不同类型的海相红层。如扬子克拉通,在达瑞威尔期晚期,在川滇地轴东侧近岸地带沉积了上巧家组底部暗紫色、红色鲕状赤铁矿海相红层,横向相变为红色灰岩,而在扬子克拉通中东部地区则沉积了浅水或半深水的牯牛潭组海相红层。在海底地形凹凸不平的地区,牯牛潭组在凸起地区可能是海相红层,而在低洼地区则不是海相红层,这是否可以说明在某些地区海相红层可以迅速递变为非海相红层之故。

海相红层不仅在横向产生变化,而且在纵向方面随着海平面的下降,半深水海相红层也会递变为浅水海相红层,如车道组上部海相红层,由下部(15层)含丰富头足类化石 *Sinoceras chinense* 紫红色泥质灰岩向上递变为紫红色鲕状灰岩,说明在该海相红层沉积时期海水向上变浅,也就是说海平面下降,由半深水海相红层递变为浅水海相红层。

3 中国主要块体达瑞威尔期晚期—凯迪期早期海相红层的对比

中国主要块体该期海相红层均具有一定的层位,含相同的化石带,可以进行较精确的对比(表2,3)。

(1)甲曲组红层底部含牙形石 *Pygodus serra* 带,可与塔里木克拉通巴楚地区含相同化石带的土木休克组下段海相红层、扬子克拉通三峡地区含相同化石带的牯牛潭组海相红层、中朝克拉通西缘含相同化石带的南庄子组下部海相红层进行对比,属于达瑞威尔期晚期。扬子克拉通西部云南巧家上巧家组底部海相红层、喜马拉雅北坡西部普兰县一带的幕霞组底部红层也属于这一时期。

(2)甲曲组红层顶部含牙形石 *Hamarodus europaeus* 带和头足类 *Sinoceras chinense* 顶峰带,可与拉萨地块柯尔多组红层顶部含相同牙形石带海相红层、中缅马苏地块云南西部上蒲缥组底部海相红层(含 *Sinoceras chinense*? 顶峰带)、塔里木克拉通巴楚地区含同期头足类带及牙形石 *Belodina confluens* 的良里塔格组海相红层、扬子克拉通的宝塔组、砚瓦山组(含牙形石 *Hamarodus europaeus* 带和头足类 *Sinoceras chinense* 顶峰带)、中朝克拉通西缘车道组上部红层(含 *Sinoceras chinense* 带)进行对比,时代为桑比期晚期—凯迪期早期。柴达木地块的大头羊沟组海相红层也可能属于这一时代。

(3)甲曲组红层中部含牙形石 *Eoplacognathus jianyeensis* 带属桑比期,可与拉萨地块柯尔多组红层下部(含牙形类 *Pygodus anserinus* 带)、中缅马苏地块下蒲缥组顶部红层(含笔石 *Climacograptus peltifer* 带)、塔里木克拉通的坎岭组上部红层、中朝克拉通车道组下部海相红层和扬子克拉通的大田坝组海相红层进行对比,时代为桑比期。

根据上述分析,喜马拉雅北坡甲曲组海相红层发育最完整,时限最长,从达瑞威尔期晚期,经桑比

期,一直延续至凯迪期早期,厚度仅 33m。

但其层位大致相当于塔里木克拉通的土木休克组下段海相红层、土木休克组上段(非红层)和良里塔格组红层(包括非红层部分);相当于扬子克拉通的牯牛潭组红层,庙坡组(非红层)和宝塔组红层;也相当于中朝克拉通西缘的南庄子组和车道组下部、上部红层(包括中部非红层),同属于达瑞威尔期晚期至凯迪期早期(详见表 2 和表 3)。

表 2　中国主要块体达瑞威尔期晚期至凯迪期早期代表性地层及化石带对比

Table 2　Correlation between the type stratigraphic sections and fossil zones of the Late Darriwilian to Early Katian (Ordovician) Marine Red Beds from the main Blocks in China

喜马拉雅北坡		拉萨地块		塔里木克拉通			
聂拉木		申扎		柯坪		巴楚	
甲曲组	*Sinoceras chinense* 带 *Hamarodus europaeus* 带 *Eoplacognathus jianyeens*带 *Pygodus anserinus*带 *Pygodus serra*带	柯尔多组	*Sinoceras chinense*带 *Hamarodus europaeus*带 *Pygodus anserinus*带	其浪组	*S. chinense*带	良基塔格组	*Belodina confluens*带
				坎岭组	*P. alobatus*带 *Baltoniodus variabilis*带 *P. anserinus*带	土木休克组	*Baltoniodus variabilis*带 *P. anserinus*带 *Pygodus serra*带

中朝克拉通		扬子克拉通		
甘肃环县		湖北三峡		
车道组	*Sinoceras chinense*带	宝塔组	*Protopanderodus insculptus*带　*Sinoceras chinense*带 *Hamarodus europaeus*带	
南庄子组	*Pygodus serra*带	庙坡组	*Prioniodus alobatus*带　*Nemagr. gracilis*带 *Pygodus anserinus*带　*Husterogr. teretiusculus*带	
		牯牛潭组	*Pygodus serra*带 *Lenodus variabilis*带　*Dideroceras wahlenbergi*带	

4　中国主要块体达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层的地层和构造意义

根据中国主要块体达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层的地质地理分布及其特征,可以得出如下若干地层和构造方面的认识:

(1)在该时期,中国主要块体海相红层非常发育,层位稳定,主要为牙形石 *Pygodus serra* 带至 *Hamarodus europaeus* 带。不同块体间可进行精确对比,说明在此时期,中国主要块体大致处于相似的古地理、古构造环境和海平面下降状态。

(2)该期海相红层的岩石类型主要为碳酸盐岩,即以灰岩为主,包括紫红色灰岩、生物灰岩、鲕状灰岩和砾状灰岩。此外,还有紫红色碎屑岩,如砂岩、页岩、火山碎屑岩和鲕状赤铁矿等。

(3)海相红层三氧化二铁(Fe_2O_3)的物质来源。根据现有资料,该期海相红层 Fe_2O_3 的物质来源可能来自两个方面:一是由附近古陆陆源碎屑携带的 Fe_2O_3;二是来自海洋的火山活动,如中朝克拉通平凉组(桑比期)海相红层为紫红色凝灰质砂岩和页岩,厚度巨大,其 Fe_2O_3 来源应主要与火山活动有关。

(4)根据海相红层形成的深度,可分为浅水、半深水和深水三种海相红层,而以浅水和半深水海相红层为主。浅水海相红层如上巧家组底部暗紫色、红色鲕状赤铁矿红层,车道组上部红层顶部的紫红色鲕状灰岩红层、幕霞组底部红层等;半深水海相红层如宝塔组、车道组、甲曲组等红层,共生化石多为游泳或漂浮的头足类、牙形石等。

另外一种类型是属于深水海相红层,如宁夏彭

表 3 中国主要块体达瑞威尔期晚期至凯迪期早期代表性地区海相红层的对比

Table 3 Correlation between the typical Late Darriwilian to Early Katian (Ordovician) Marine Red Beds from main Blocks in China

年代地层			喜马拉雅北坡聂拉木	拉萨地块申扎	塔里木克拉通		中朝克拉通甘肃环县	扬子克拉通湖北宜昌
系	统	阶			柯坪	巴楚		
奥陶系	上统	赫南特阶	红*山头组	德悟卡下组（下部） 申扎组 刚木桑组	柯坪塔格组（下部）	柯坪塔格组（下部） 桑塔木组	?	龙马溪组（下部） 五峰组 临湘组
		凯迪阶	甲曲组	柯尔多组？	因干组 其浪组 坎岭组	良里塔格组 土木休克组	车道组 ORB-6 ORB-5	宝塔组
		桑比阶			萨尔干组		南庄子组	庙坡组
	中统	达瑞威尔阶					ORB-4	牯牛潭组
		大坪阶	甲村组	拉塞组	大湾沟组	一间房组	?	大湾组*
	下统	弗洛阶		札扛组	丘里塔格群上组	丘里塔格群上组		红花园组 分乡组 南津关组 西陵峡组（上部）
		特马豆克阶	肉切村组	?				

*红山头组海相红层、大湾组中段海相红层将在另文中发表

代表海相红层及层位

阳贺家川一带的平凉组海相红层。海相红层的夹层或其上下还具硅质层，生物化石为笔石、牙形石和放射虫，属盆地或盆地边缘深水沉积。

(5)此期海相红层以达瑞威尔晚期(*Pygodus serra* 带)和凯迪期早期(*Hamarodus europaeus* 带)最为发育。前者包括喜马拉雅北坡甲曲组红层下部、幕霞组底部红层，扬子克拉通牯牛潭组红层，上巧家组底部红层；塔里木克拉通的土木休克组下段海相红层和中朝克拉通的南庄子组下部海相红层；后者包括喜马拉雅北坡的甲曲组红层上部、拉萨地块柯尔多组红层上部，扬子克拉通的宝塔组、砚瓦山组海相红层，中朝克拉通车道组上部红层，塔里木克拉通良里塔格组海相红层和柴达木地块的大头羊沟组海相红层等，说明在达瑞威尔期晚期和桑比期晚期—凯迪期早期海平面下降幅度较大，几乎影响到中国的所有主要块体，沉积了同期的海相红层。

(6)桑比期海相红层相对较不发育，它们包括喜马拉雅北坡甲曲组海相中部，拉萨地块柯尔多组红层下部，中缅马苏地块下蒲缥组上部红层，塔里木克拉通的坎岭组海相红层，扬子克拉通的大田坝组海相红层，中朝克拉通的车道组下部海相红层。但在塔里木克拉通的萨尔干组、土木休克组上部，扬子克拉通的庙坡组及其部分相当地层和中朝克拉通车道组中部等均不发育海相红层，证明在此时期海平面下降幅度小，不具备形成海相红层所必需的强氧化环境(条件)。

(7)在喜马拉雅北坡西部普兰县一带的幕霞组底部海相红层为灰紫色千枚状板岩，属近岸浅水沉积环境，而同一块体、同一时代(达瑞威尔期晚期)东部聂拉木县的甲曲组红层下部则为远岸半深水沉积的紫红色灰岩，含丰富的头足类、牙形石等化石，也就是说在同一海平面下降的条件下，同一块体不同部位形成的海相红层岩性是不一的，红层的岩性与其所处的块体位置密切关联。

(8)在扬子克拉通也有与喜马拉雅北坡相似的海相红层沉积模式，即在其西部(川滇地轴东侧)沉积了近岸浅水暗紫红色鲕状赤铁矿海相红层(上巧家组底部)，而在扬子克拉通的大多数地区则发育了远岸浅海相(浅水—半深水)紫红色灰岩的牯牛潭组海相红层。虽然牯牛潭组在许多地区均具紫红色或粉红色，但有些地区的牯牛潭组不是海相红层，说明海相红层在水平方向不仅受到离岸远近的控制，而且也受到海底地形高低的控制。

(9)海相红层岩石类型不仅在横向方面产生相变，在纵向方面也产生相变，如中朝克拉通西部车道组上部海相红层，由下部(15 层)远岸半深水含头足类的紫红色生物灰岩往上相变为滨岸浅水紫红色鲕状灰岩(16 层)，说明该海相红层在形成过程中海水向上变浅，由半深水海相红层递变为浅水

海相红层。

(10)海相红层代表强氧化条件下的产物,它的存在指示此时沉积物与强氧化有关,而这种强氧化的环境又与海平面的下降有密切的联系。为此,可以根据海相红层的存在,推测该地区海平面升降活动的频率和沉积率,如喜马拉雅北坡甲曲组海相红层在长达 11Ma(包括达瑞威尔期末期 2.5Ma,桑比期 5Ma 和凯迪期早期 3.5Ma)时间,甲曲组保持同一相似的沉积环境(海相红层),岩石类型变化不大。说明喜马拉雅东部在此时期地壳活动相对稳定,而且仅沉积了 33m 厚的紫红色灰岩,平均沉积速度为每百万年 3m 左右(33m/11Ma=3m)。

(11)塔里木克拉通、扬子克拉通与喜马拉雅北坡相似之处是同时发育达瑞威尔期晚期和凯迪期早期海相红层。不同之处在于扬子克拉通和塔里木克拉通桑比期海相红层不发育或不存在,也就是说在桑比期扬子克拉通、塔里木克拉通海平面上升,沉积了非红层的土木休克组上段(塔里木)和庙坡组(扬子)及其相当地层。

这从另一侧面也说明塔里木克拉通和扬子克拉通在桑比期具有相似的海平面上升活动(一次海平面上升),也就是说平均不到 5.5Ma 才有一次海平面下降活动,形成海相红层(两层)。

(12)与此同时,在中朝克拉通则具三层海相红层:达瑞威尔期晚期、桑比期和凯迪期早期,说明其间具有两次海平面上升现象,一是达瑞威尔期末和桑比期初,其二是桑比期末,也就是说中朝克拉通的海平面上升活动较强,比塔里木克拉通和扬子克拉通的海平面上升活动要多一次。平均不到 3.7Ma 就有一次海平面下降活动,在 11 个百万年内形成三层海相红层(11Ma/3 次海相红层=3.7Ma),平均不到 3.7Ma 形成一层海相红层(或一次海平面下降)。

(13)大多数海相红层的层位是稳定的,但也有部分海相红层的层位在横向方面有变化,如塔里木克拉通巴楚地区的土木休克组下部海相红层,在巴楚一间房剖面其层位大致是达瑞威尔期晚期的 *Pygodus serra* 带,但在其南面约 20km 的唐王城剖面除含 *Pygodus serra* 外,尚含桑比期的 *Pygodus anserinus* 带和 *Baltoniodus variabilis* 带,证明该海相红层的顶界由北而南逐渐升高。

(14)塔里木克拉通、扬子克拉通、中朝克拉通属于中华古陆块群范畴。在达瑞威尔期晚期—凯迪期早期,海平面上升活动与冈瓦纳古陆北缘块体—喜马拉雅北坡、拉萨地块相比要强烈一些,其间产生 1—2 次海平面上升活动,而后者很显然处于较稳定的状态,在 11 个百万年内一直处于海平面下降状态,形成单一的、连续的甲曲组海相红层。

(15)尽管中国 9 个块体中达瑞威尔期晚期—凯迪期早期海相红层有些差异,但总体而言,它们均连续或不连续发育了海相红层。这充分证明,达瑞威尔期晚期—凯迪期早期海相红层的形成受控于区域,甚至全球的海平面下降的影响。而它们的不同则是由于大区域或某些块体构造活动和所处海底地形不同有关。

综上所述,在达瑞威尔期晚期—凯迪期早期,中华古陆块群与冈瓦纳陆块群之间不仅有相同的牙形石动物群 *Pygodus serra* 动物群,*P. anserinus* 动物群,*Hamarodus europaeus* 动物群,珊瑚 *Yohophyllum* 动物群,头足类 *Sinoceras chinense* 动物群等,而且也发育相同的海相红层。这充分说明,中华古陆块群在奥陶纪时期,它与冈瓦纳北缘陆块群具有极其紧密的联系。无论从生物群和岩性方面都充分证明了这一认识。

5　关于"奥陶纪陆棚红层"与白垩纪大洋红层的讨论

对中国九个块体中达瑞威尔期晚期至凯迪期早期海相红层(主要是红色灰岩)的研究证明,在奥陶纪时期的古特提斯洋中,也存在与白垩纪时期"白垩纪大洋红层(CORB)"相似的"奥陶纪陆棚红层(Ordovician Shelf Red Beds, OSRB)"广布事件。之所以用"奥陶纪陆棚红层(OSRB)"这一名称,是因为奥陶纪达瑞威尔期晚期至凯迪期早期的红色灰岩等除少数见于中朝克拉通鄂尔多斯台地西侧斜坡(如南庄子组红层)或盆地(如平凉组红层)等深水环境外,大多数红色灰岩均分布于扬子克拉通(如牯牛潭组、宝塔组、砚瓦山组和大田坝组红层),塔里木克拉通(如土木休克组、良里塔格组、坎岭组和其浪组红层),拉萨地块(柯尔多组红层),喜马拉雅北坡(甲曲组红层)等陆棚浅水—半深水地域,伴生化石主要是头足类和牙形石等营游泳或漂浮生物。这是奥陶纪(或古生代)时期海域(陆表海广布)与白垩纪时期海域(陆缘海和大洋广布)不同之处。后者海域更接近于现代海域(陆缘海和大洋广布)的情况。如果采用白垩纪的"白垩纪大洋红层(CORB)"容易引起误解。建议用"奥陶纪陆棚红层(OSRB)"可能更接近于古生代,特别是早古生代时期红色灰岩形成的沉积环境。即大多数红色灰岩形成于浅水—半深水的

陆棚环境,甚至更浅,如上巧家组底部极浅水鲕状赤铁矿红层,横向可相变为浅水红色灰岩。这与白垩纪时期大洋红层"主要以大陆斜坡—深水盆地为主"(Wang Chengshan et al.,2005)有所区别,即奥陶纪时期的红色灰岩主要形成于陆棚环境。白垩纪大洋红层主要形成于深水,水深大于200m。而奥陶纪陆棚红层主要形成于浅水—半深水,水深小于200m。它们之间的具体差异,详见表4。

表4 白垩纪大洋红层与奥陶纪陆棚红层特征对比表

Table 4 Comparision of the characteristics between the Cretaceous Oceanic Red Beds (CORB) and the Ordovician Shelf Red Beds (OSRB)

类别 / 特征	白垩纪大洋红层 (CORB) (Crataceous Oceanic Red Beds) (Hu Xiumian et al., 2006)	奥陶纪陆棚红层 (OSRB) (Ordovician Shelf Red Beds) 本文
地质背景	被动大陆北缘深海 半远洋—远洋复理石相	克拉通 陆棚 滨海—浅海沉积 (扬子、塔里木、中朝克拉通等)
典型实例	床得组	牯牛潭组、宝塔组、土木休克组、良里塔格组、车道组、甲曲组及柯尔多组
岩石类型	(1)红色灰岩,包括泥晶有孔虫灰岩、生物碎屑泥晶灰岩、含微体古生物泥晶灰岩及杂色内屑砾状灰岩等 (2)红色页岩,硅质成分高 (3)红色放射虫岩 (4)红色含放射虫硅质岩 (5)红色硅质岩 (6)黄灰色火山岩屑砾状灰岩	(1)红色头足类、海百合茎灰岩、泥灰岩 (2)红色鲕状灰岩 (3)红色页岩 (4)基本上无红色硅质岩、放射虫硅质岩等
沉积环境	红色灰岩不是原地沉积,而是属于上斜坡沉积灰岩滑移—滑塌下来的。常见复理石、浊流沉积	红色灰岩为原地沉积,无复理石相和浊流沉积
构造位置	(1)上斜坡—下斜坡/盆地相沉积:红色灰岩为上斜坡环境沉积 (2)下斜坡/盆地相沉积:红色页岩	台地沉积,主要为陆棚环境
海水深度	深水红层为主,水深大于200米	浅水—半深水红层为主,水深小于200米
主要分布时代	大洋红层主要分布于: 白垩纪—现代,可能包括侏罗纪	陆棚红层主要分布于: 寒武纪—三叠纪,可能包括前寒武各界

总之,古代海相红层,特别是古生代海相红层的研究还是很初步的,有学者曾指出"地质历史中大洋红层的研究尚未开展起来,应该是大洋红层下阶段研究的一个重要方向""进入新世纪,各国科学家都在积极寻找如何开展地球系统科学的新生长点和发展方向""'大洋红层'正是这样一个符合开展地球科学研究的、穿越地球圈层的研究对象"(Wang Chengshan et al.,2005)。中国"奥陶纪陆棚红层(OSRB)"的报导,希望对地质历史时期"海相红层"研究起一定推动作用。

6 结论

(1)通过奥陶纪不同块体海相红层的研究,说明中华古陆块群与冈瓦纳古陆北缘古陆块群之间的关系十分相似,它们之前可能同属于冈瓦纳古陆。

(2)海相红层可以划分为两大类:陆棚红层和大洋红层。前者常见于寒武纪至三叠纪地层;后者常见于白垩纪至现代地层。

(3)海相红层的形成除了具有特定的沉积环境外,层位稳定,可作为区域甚至全球对比的标志层。

致谢:该文的完成参考了很多前人已发表的资料,包含了前人的辛勤劳动,中国地质科学院地质研究所肖藜薇女士协助打印文稿,硕士研究生顾鹏协助绘图,承蒙审稿学者提供诸多建设性修改意见及编辑部编辑付出的辛勤劳动,作者在此一并表示感谢!

References

An Taiyang, Zheng Zhaochang. 1990. The Conodonts of the Marginal Areas around the Ordos Basin, North China. Beijing: Science Press. 1～219. (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province. 1989. Regional Geology of Gansu Province, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 19: 1～692 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Guizhou Province. 1984. Regional Geology of Guizhou Province, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 7: 1～698 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Hebei Province. 1989. Regional Geology of Hebei Province, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 15: 1～741 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Hubei Province. 1990. Regional Geology of Hubei Province, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 20: 1～705 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongol Autonomous Region. 1991. Regional Geology of Nei Mongol (Inner Mongolia) Autonomous Region, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 25: 1～725 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Ningxia Hui Autonomous Region. 1990. Regional Geology of Ningxia Hui Autonomous Region, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 22: 1～522 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. 1991. Regional Geology of Qinghai Province, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 24: 1～662 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province. 1991. Regional Geology of Sichuan Province, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 23: 1～730 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources ofXinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 32: 1～783 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Xizang Autonomous Region, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 31: 1～707 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1990. Regional Geology of Yunnan Province, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 21: 1～728 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. 1989. Regional Geology of Zhejiang Province, series of Geological Memoirs: 1. Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 11: 1～698 (in Chinese with English abstract).

Cai Xirao, Wu Yasheng, Jiang Hongxia, Zou Jiancheng. 2008. Paleoecology of Middle Upper Ordovician Reefal Community in Bachu, Xinjiang, Northwestern China. Acta Geologica Sinica, 82(8): 1046～1057 (in Chinese with English abstract).

Chen Tingen, Geng Liangyu, Fang Zongjie, Wang Keliang. 1986. Middle Ordovician in eastern Tibet: subdivision and comparative study. Professor Le Sengxun is engaged in a summary of the 60th Anniversary Symposium on geological science and education. Beijing, Science and Technology Publishing House: 1～7 (in Chinese with English abstract).

Chen Xiaohong, Wei Kai, Zhang Miao, Zhang Baomin, Zhou Peng. 2017. Chitinozoans of the Silurian Longmaxi Formation in Yichang, Hubei Province and its Significance for Choronostratigraphy and Biorecovery. Acta Geologica Sinica, 91(12): 2595～2607 (in Chinese with English abstract).

Editorial Group of Regional Stratigraphical Chart of Qinghai Province, 1980. The volume of Qinghai Province, Regional Stratigraphical Chart of Northwest China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).

Feng Zengzhao. 1986. Early Ordovician Lithofacies and Paleogeography in East North-China Platform. Acta Sedimentologica sinica, 4(4): 28～40 (in Chinese with English abstract).

Hu Xiumian. 2013. Distribution, Types and Origins of Phanerozoic Marine Red Beds. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry. 32(3): 335～342 (in Chinese with English abstract).

Hu Xiumian, Wang Chengshan, Li Xianghui, Jansa Luba. 2006. Upper Cretaceous oceanic red beds in southern Tibet: Lithofacies, environments and colour origin. Science in China Series D: Earth Sciences, 36(9): 811～821.

Lin Baoyu. 1981. A new Recognition of the Palaeozoic Stratigraphy in Xainza county, Xizang (Tibet). Geological Review, 27(4): 353～354 (in Chinese with English abstract).

Lin Baoyu, Qiu Hongrong, Xu Changcheng. 1984. New Observations of Ordovician Strata in Shetai district of Urad Front Banner, Nei Mongol (Inner Mongolia). Geological Review, 30(2): 95～105 (in Chinese with English abstract).

Lin Baoyu, Li Ming, Wu Zhenjie. 2017. Silurian marine Red Beds in the Yangtze Platform in China and its international correlation. In: On the discussion of some Silurian problems in China. Beijing: Science Press: 102～128 (in Chinese with English abstract).

Lin Baoyu, Wang Naiwen, Wang Si'en, Liu Guifang, Qiu Hongrong, 1989. Stratigraphy of Xizang (Tibet). Peoples's Republic of China, Ministry of Geology andmineral Resourses, Geological Memoirs, series 2, stratigraphy and

Paleontolgy, No. 11. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

Li Ming, Feng Hongzhen, Ji Xinxin. Li Lixia. 2010. Late Tremadoc and Early Floian Graptolites from Central Hunan, China. Acta Geologica Sinica, 84(6): 1343～1364.

Li Ming, Feng Hongzhen, Liu Bo. 2005. Morphologic Differentiation and Taxonomy of Anisograptus from the Lower Ordovician. Acta Geologica Sinica, 79(6): 721～730 (in Chinese with English abstract).

Qiu Hongrong. 1988. Ordovician Conodonts from Xizang (Tibet). Professional papers of Xizang (Tibet) Paleontology. Tectonic Evolution of Lithosphere of the Himalayas. Beijing: Geological Publishing House: 248～271 (in Chinese with English abstract).

Rong Jiayu, Wang Yi, Zhang Xiaole. 2012. Tracking shallow marine red beds through geological time as exemplified by the lower Telychian (Silurian) in the Upper Yangtze Region, South China. Science China Earth Sciences, 55(5): 699～713 (in Chinese with English abstract).

Wang Chengshan, Hu Xiumian. 2005. Cretaceous world and oceanic red beds. Earth Science Frontiers, 12(2): 11～21(in Chinese with English abstract).

Wang Shitao, Guo Xianpu. 2017. The Systematic Biological Study on Middle—Late Ordovician Bachuiaspids (Agnatha) Fauna from Bachu County, Xinjiang, China. Geological Review, 63(6):1602～1612(in Chinese with English abstract).

Wang Xiaofeng, Chen Xu, Chen Xiaohong, Zhu Ciying. 1996. Ordovician. Beijing: Geological Publish House (in Chinese with English abstract).

Wang Zhentao, Zhou Hongrui, Wang Xunlian, Jing Xiuchun, Ma Boyong. 2018. First Report on Zircon U-Pb Geochronology of K-bentonites from the Lower Part of the Upper Ordovician Taoqupo Formation in Yaoxian, Shaanxi. Acta Geologica Sinica, 92(2): 330～340 (in Chinese with English abstract).

Wu Sujuan, Zhang Yongsheng, Xing Enyuan. 2016. Geochemistry of Ordovician Detrital Rocks and Its Constrains on Provenance in Zhuozishan Area, Northwest Ordos Basin. Acta Geologica Sinica, 90(8): 1860～1873 (in Chinese with English abstract).

Wu Zhenjie, Lin Baoyu, Yao Jianxin, Yao Xiang. 2015. Distribution and Ages of Ordovician Marine Red Beds around Ordos Basin. Acta Geoscientica Sinica, 36(5): 659～667(in Chinese with English abstract).

Yang Zunyi et Nie Zetong. 1990. Paleotology of Ngari, Tibet (Xizang). Wuhan: China University of Geoscience Press (in Chinese with English abstract).

Zhao Zhixin, Zhang Guizhi, Xiao Jinan. 2000. Paleozoic Stratigraphy and Conodonts in Xinjiang. Beijing: Petroleum Industry Press: 1～340 (in Chinese with English abstract).

Zhao Zhixin, Yong Tianshou, Jia Chengzao, Zhang Zongming. 1997. Stratigraphy of the Tarim Basin. Beijing: Petroleum Industry Press. (in Chinese with English abstract)

Zhou Zhiyi, Chen Peiji. 1990. Biostratigraphy and Geological Evolution of Tarim. Petroleum and Gas Geology (4). Beijing: Science Press (in Chinese without English abstract).

参 考 文 献

安太庠，郑昭昌. 1990. 鄂尔多斯盆地周缘的牙形石. 北京：科学出版社，1～219.

蔡习尧，吴亚生，姜红霞，邹建斌. 2008. 新疆巴楚地区中上奥陶统生物礁群落古生态学. 地质学报，82(8)：1046～1051.

陈挺恩，耿良玉，方宗杰，王克良. 1986. 西藏东部中奥陶统的发现及奥陶系的划分对比，乐森璕教授从事地质科学及教育事业60周年学术讨论会论文摘要. 北京：科学技术出版社：1～7.

陈孝红，危凯，张淼，张保民，周鹏. 2017. 湖北宜昌志留系龙马溪组几丁虫及其年代和生物复苏意义. 地质学报，91(12)：2595～2607.

冯增昭. 1986. 华北地台东部晋冀鲁京津地区早奥陶世岩相古地理. 沉积学报，4(4)：28～40.

甘肃省地质矿产局. 1989. 甘肃省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第19号. 北京：地质出版社：1～692.

贵州省地质矿产局. 1984. 贵州省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第7号. 北京：地质出版社：1～698.

河北省地质矿产局. 1989. 河北省，天津市，北京市区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第15号. 北京：地质出版社：1～741.

湖北省地质矿产局. 1990. 湖北省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第20号. 北京：地质出版社：1～705.

胡修棉. 2013. 显生宙海相红层的分布、类型与成因机制. 矿物岩石地球化学通报，32(3)：335～342.

胡修棉. 王成善，李祥辉，Luba Jansa，2006. 藏南上白垩统大洋红层：岩石类型、沉积环境与颜色成因. 中国科学，D辑，地球科学，36(9)：811～821.

李明，冯洪真，刘波. 2005. 下奥陶统反称笔石属(Anisograptus)的形态分异与分类. 地质学报，79(6)：721～730.

林宝玉. 1981. 西藏申扎地区古生代地层的新认识. 地质论评，27(4)：353～354.

林宝玉，邱洪荣，许长城. 1984. 内蒙乌拉特前旗佘太镇地区奥陶纪地层的新认识. 地质论评，30(2)：95～105.

林宝玉，李明，武振杰. 2017. 扬子地台志留纪海相红层及其国际对比. 中国志留系若干问题探讨. 北京：科学出版社：102～128.

林宝玉，王乃文，王思恩，刘桂芳，邱洪荣. 1989. 西藏地层. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，二. 地层古生物，第11号. 北京：地质出版社.

内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第25号. 北京：地质出版社：1～725.

宁夏回族自治区地质矿产局. 1990. 宁夏回族自治区区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第22号. 北京：地质出版社：1～522.

青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第24号. 北京：地质出版社：1～662.

青海省区域地层表编写组. 1980. 西北地区区域地层表，青海省分册. 北京：地质出版社：1～34.

邱洪荣. 1988. 西藏奥陶纪牙形石. 西藏古生物论文集. 喜马拉雅岩石圈构造演化. 北京：地质出版社：248～271.

戎嘉余，王怿，张小乐. 2012. 追踪地质时期的浅海红层—以上扬子区志留系下红层为例. 中国科学，D 辑，42(6)：862～878.

四川省地质矿产局. 1991. 四川省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第 23 号. 北京，地质出版社：1～730.

王成善，胡修棉. 2005. 白垩纪世界与大洋红层. 地学前缘（中国地质大学，北京.，北京大学），12(2)：11～21.

汪啸风，陈旭，陈孝红，朱慈英. 1996. 中国地层典，奥陶系. 北京：地质出版社.

王士涛，郭宪璞. 2017. 新疆巴楚地区中—晚奥陶世古脊椎动物系统生物学研究. 地质论评，63(6)：1602～1612.

汪啸风，陈孝红，王传尚. 2018. 第二章下古生界，第二节奥陶系. 见：全国地层委员会主编，中国地层表(2014)说明书. 北京：地质出版社：101～140.

王振涛，周洪瑞，王训练，景秀春，马伯永. 2018. 陕西耀县上奥陶统桃曲坡组下部钾质斑脱岩 U-Pb 年龄的首次报道. 地质学报，92(2)：330～340.

吴素娟，张永生，邢恩袁. 2016. 桌子山地区奥陶系乌拉力克组碎屑岩地球化学特征及其对物源的制约. 地质学报，90(8)：1860～1873.

武振杰，林宝玉，姚建新，姚翔. 2015. 鄂尔多斯周缘奥陶纪海相红层的分布与时代. 地球学报，36(5)：659～667.

新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区地质矿产志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质志，第 32 号. 北京：地质出版社：1～783.

西藏自治区地质矿产局. 1993. 西藏自治区地质矿产志. 中国人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第 31 号. 北京：地质出版社：1～707.

杨遵仪，聂泽同. 1990. 西藏阿里地区古生物. 武汉：中国地质大学出版社.

云南省自治区地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报，一. 区域地质，第 21 号. 北京：地质出版社：1～728.

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：1～340.

赵治信，雍天寿，贾承造，张宗命. 1997. 塔里木盆地地层. 北京：石油工业出版社.

张师本，1991. 塔里木盆地震旦纪至二叠纪地层古生物(Ⅱ)，柯坪—巴楚地区分册. 北京：石油工业出版社.

钟端，郝永祥，1990. 塔里木盆地震旦纪至二叠纪地层古生物. 北京：石油工业出版社.

浙江省地质矿产局，1989. 浙江省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地专报，一. 区域地质，第 11 号. 北京：地质出版社：1～698.

周志毅，陈丕基，1990. 塔里木生物地层和地质演化. 北京：科学出版社.

Late Darriwilian to Early Katian (Ordovician) Marine Red Beds from the Main Blocks in China and Their Tectonic Significance

LIN Baoyu[1, 2)], REN Jishun[2)], LI Ming[1, 2)], WU Zhenjie[2)]

1) *Key Laboratory of Stratigraphy and Palaeontology, Ministry of Nature and Resources, Beijing*, 100037;

2) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037

Abstract

This papermainly describes the stratigraphical distribution, lithological characteristics and palaeontological faunas of the Late Darriwilian to Early Katian (Ordovician) marine red beds from the nine blocks, including five main blocks (Yangtze Craton, Sino-Korean Craton, Tarim Craton, Lhasa Block and north slope of Himalaya). Their lithological characteristics (such as red limestones) and palaeontolgical faunas (such as conodont *Pygodus serra* faunas, *P. anserinus* faunas and *Hamarodus europaeus* faunas, Coral *Yohophyllum* faunas, and Cephalopod *Sinoceras chinense* faunas) of these marine red beds are very similar or same. The result has an important implication for understanding the relation between China oldland and Gondwanan oldland. Maybe it belonged to the same Gondwanan oldland before. It fully suggests that the China palaeoblocks including Yangtze Craton, Sino-Korean Craton and Traim Craton are closely related to the palaeoblocks including Lhasa Block and northern slope of Himalaya on the northern side of Gondwanan oldland. This result has an important significance for understanding the relation between China oldland and Gondwanan oldland. Besides, marine red beds can be subdivided into two groups: shelf red beds (SRB) and oceanic red beds (ORB). The former was deposited mainly from Cambrian to Triassic ages, and the latter was mainly from Cretaceous age to present.

Key words: Chinese main blocks; Ordovician; Late Darriwilian to Early Katian; marine red beds; tectonic significance