

鄂尔多斯盆地中—晚三叠世陆相地层与建阶

李 亚¹⁾, 姚建新¹⁾, 王思恩^{1)*}, 庞其清²⁾

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

2) 石家庄经济学院, 河北石家庄 050031

摘 要: 中生代以来, 陆相沉积是中国地层发育特色。海相地层与陆相地层发育特征不同, 难以进行对比。三叠纪是中生代第一个纪, 在中国发育有众多陆相湖盆。对这些三叠纪湖相沉积开展研究, 有助于建立陆相年代地层序列, 完成陆相地层划分, 赋予可与海相地层对比的年代。我们选择中国北方鄂尔多斯盆地漆水河剖面 and 窟野河剖面, 开展中—上三叠统陆相地层建阶研究。我们在理顺岩石地层划分系统的基础上, 分析了各类生物发生、发展以及繁盛的演变历程, 划分出生物带及生物界线, 并建立了中三叠统印台阶和金锁关阶以及上三叠统杨家坪阶和焦坪阶。印台阶以介形类 *Tungchuania quadratiformis* 和 *Lutkevichinella ansulca* 的首现层位为底界; 金锁关阶以植物 *Danaeopsis magnifolia*, *Danaeopsis cf. marantacea* 和 *Tongchuanophyllum shensiense* 的首现层位为底界; 杨家坪阶以植物 *Asterotheca szeiana* 和 *Danaeopsis fecunda* 的首现层位为底界; 焦坪阶以植物组合 *Danaeopsis fecunda*-*Asterotheca szeiana*-*Cladophlebis kaoiana* 首现层位为底界。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 陆相地层; 中—晚三叠世; 阶

中图分类号: P534.51; P539.2 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2016.03.02

Middle–Late Triassic Terrestrial Strata and Establishment of Stages in the Ordos Basin

LI Ya¹⁾, YAO Jian-xin¹⁾, WANG Si-en^{1)*}, PANG Qi-qing²⁾

1) Key Laboratory of Stratigraphy and Paleontology, Ministry of Land and Resources; Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Hebei 050031

Abstract: Terrestrial deposits are especially well developed in the strata of China since the Mesozoic. It is difficult to directly compare terrestrial strata with marine strata because of their different developmental characteristics. In the first period of the Mesozoic period, the Triassic occurred in many terrestrial lacustrine basins of China. The study of these Triassic lacustrine deposits contributes to the establishment of terrestrial chronostratigraphic sequences, the division of the terrestrial strata and the provision of its ages that are comparable with those of marine strata. In this paper, the authors selected the Qishuihe section and Kuyehe section in the Ordos Basin to carry out the study of establishing new stages of Middle–Late Triassic terrestrial strata. The authors first summarized the lithostratigraphic classification of the Ordos Basin, then analyzed the occurrence, development and flourishing of various organisms so as to find out the biological assemblages and biological boundaries, and finally established four new stages: the Middle Triassic Yintaian stage and Jinsuoguanian stage, and the Upper Triassic Yangjiapingian stage and Jiaopingian stage. The bottoms of these stages are respectively defined by the first appearance of the Ostracods *Tungchuania quadratiformis* and *Lutkevichinella ansulca* (Yintaian stage), the plants *Danaeopsis magnifolia*, *Danaeopsis cf. marantacea* and *Tongchuanophyllum shensiense* (Jinsuoguanian stage), the plants

本文由中国地质调查局地质调查项目(编号: 1212011120142; 12120114026701; 1212011120115; 1212011120116; 1211402108021)、科技部科技基础性工作专项(编号: 2015FY310100)、国家重点基础研究发展计划(编号: 2011CB403002)和国家自然科学基金项目(编号: 41472030)联合资助。

收稿日期: 2016-03-09; 改回日期: 2016-04-20。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 李亚, 男, 1983 年生。博士后。主要从事地层与古生物研究。E-mail: liya207@163.com。

*通讯作者: 王思恩, 男, 1935 年生。研究员。主要从事地层与古生物研究。电话: 010-68999703。E-mail: sienwang@cags.ac.cn。

Asterotheca szeiana and *Danaeopsis fecunda* (Jinsuoguanian stage), and the plant assemblage *Danaeopsis fecunda*-*Asterotheca szeiana*-*Cladophlebis kaoiana* (Jiaopingian stage).

Key words: Ordos Basin; terrestrial strata; Middle–Late Triassic; stage

地层中蕴藏了地球演化过程中丰富的重要信息。近两个世纪以来,国际地层学者、古生物学者和其他地质学者在岩石地层、生物地层以及其它相关学科研究方面,投入了极大精力进行研究,已完成一张高水平的国际地质年表(International Chronostratigraphic Chart),之后逐年修改完善(Gradstein et al., 2012; Cohen et al., 2013)。在这张最新版本(v2016/04)的国际地质年表中(Cohen et al., 2013),全球已建了110个阶,其中67个阶的全球界线层型剖面和点位(GSSP)(通常所称“金钉子”)被国际地层委员会和国际地质科学联合会批准确认,有10个GSSP被建立在中国。当前国际年代地层系统主要是在海相地层中进行的,且海相阶内的生物地层均显示为生物带。目前,国际地层委员会确定了未来地层学研究的主要工作内容:①国际地质年代分辨率的标准化和继续改进,更深入地从区域对比发展到全球对比;②在理解地球演化过程中建立起地层格架和对比关系,更真实地认识地球演变的历史。为达到上述目的,强调要使国际地层学概念标准化,继续改进国际地质年表的分辨率,在应用生物地层定义界线的同时,要更多地引入其它诸如磁性地层、稳定同位素、事件地层、层序地层等非生物地层方法,以利全球对比的实现(戎嘉余, 2003; 姚建新等, 2015)。由此可以看出,随着国际地质年表分辨率的继续提高和各种方法的综合运用,一个更精确、更高水平的国际地质年表将会展现在人们面前。细察海相年代地层单位——阶的建立过程,有以下几点值得珍视:

(1)自19世纪中叶开始,在西欧即开始了海相地层的岩石地层学、古生物学与年代地层学的研究,几个学科几乎齐头并进。其中岩石地层单位的分层、描述已达到厘米级;各门类化石大量详细地采集、鉴定、描述与发表;年代地层单位有很多已划分到阶、亚阶和生物带,有的对阶的上、下界线还作了论述(卡弗利挨和罗歇, 1989)。其后,又经历了长达一个多世纪的研究、检验、修改、再研究、再修改,形成现今的国际地质年表。由此看出,现今国际地质年表是全球地层学者、古生物学者、地质学者长期精心研究的结果,是宝贵经验的总结,这对于今天研究陆相地层具有重要的启迪与参考作用。

(2)阶的关键内容应包含两项:①生物化石内容,即若干生物带,带内又有若干被选用的生物属、种,组成阶的标志性化石,例如,中生界三叠

系、侏罗系和白垩系的每个统均划分出2至5个阶,每个阶又划分出3至7个生物带,而每个生物带还有若干属种组成(卡弗利挨和罗歇, 1989; Gradstein, 2012)。这就为其它地层的划分对比与时代提供了更精确的对比标志。②阶的界线(现在只确定下界,上界由上覆阶的下界确定)。

(3)当前的国际地质年表虽然获得新进展,达到新水平,但还需要实践知识的检验与完善,表中尚有不少阶的界线有待进一步研究确定。

陆相地层要不要建立年代地层单位——阶这一问题,在我国20世纪末至本世纪初存在过争论。1999年12月,全国地层委员会开会讨论决定陆相地层也要进行建阶工作。我们认为,陆相地层建阶是完全必要的,理由如下:

(1)陆相地层是地球表层重要的组成部分,也含有地球演变历史的许多重要信息,是全面了解地球变化及其动态驱动力不可或缺的。

(2)陆相地层学,特别是陆相生物地层学也可跟据详细的化石纪录,进行精确的地层对比,为矿产资源勘查、地质环境评价、地质灾害预防等作出重要贡献,例如,在我国的中晚三叠世、早中侏罗世和早白垩世的陆相地层中,都含有丰富的煤、石油、天然气资源,这些资源的勘查都离不开地层学的支持。

(3)陆相生物界,包括植物界和动物界,各类生物的发生、发展、演化过程与海生生物不同,利用海相生物建立的年代地层单位——阶、带不能直接应用于陆相地层,只能利用某些属种进行联系对比。

中生代以来,陆相沉积是中国地层发育特色。三叠纪是中国地质历史演变的一个重大转折时期(童金南和殷鸿福, 2015),在中国发育有众多陆相湖盆。因此,对这些三叠纪湖相沉积开展研究,有助于建立中国陆相年代地层序列,完成陆相地层划分,赋予可与海相地层对比的年代。我们根据上述陆相地层建阶的必要性,探讨中国中—上三叠统陆相建阶问题。

1 中国陆相三叠纪地层概况

1.1 中国陆相三叠纪地层的分布与特征

中国陆相晚三叠世地层的分布甚广,可以大致以昆仑—秦岭—大别山系为界,分为南方区和北方区。南方区西藏南部喜马拉雅区广泛分布海相沉积,

青藏地层区北部和东部也有极少量的海相夹滨海沉积,其它地区由于自晚三叠世初期的大海退,逐渐形成了一套海、陆交互相或半咸水与陆相沉积,总体特征是以晚三叠世晚期的陆相地层最发育。北方区晚三叠世继承了早、中三叠世的沉积,全部为陆相。北方区三叠纪的沉积特征是:早三叠世至中三叠世早期是在干旱气候环境下,沉积了一套红色、紫红色岩系;自中三叠世晚期开始至晚三叠世,由于古气候逐渐演变为温暖湿润,沉积了一套灰色、灰绿色夹灰黑色等暗色岩系。在红色岩系(红层)与灰色、灰绿暗色岩系之间形成一段过渡层,其特征是红色、灰紫色、暗紫色泥岩与灰、灰绿、黄绿色泥岩交替出现。包括这段过渡层在内的暗色岩系,在鄂尔多斯盆地以往被称为延长群(中国地质科学院地质研究所,1980)。暗色岩系中含有比较丰富的植物、孢粉及介形类、叶肢介、双壳类和昆虫等化石。红层中含化石甚少,主要有脊椎动物及少量无脊椎动物,如介形类和叶肢介等化石。中国北方区三叠纪的地层沉积和生物群发育与该地区的古地理、古气候、古生态环境的演变密切相关,而中国北方各地区不同盆地间生物群有较大的变化,这给大区域地层对比造成一定困难,因此这是一个需要研究的问题。

1.2 中国陆相三叠纪地层的研究概况

迄今,中国陆相三叠纪地层的研究情况,可以概括为:①各地区(或盆地)都建立起岩石地层系统,一般都划分到组或段,各组根据所含化石,一般都为地层确定了大致的地质时代。②生物地层以植物、孢粉学的研究进展较大,将中国南、北方划分为两大植物群(或植物区系):南方为 *Dictyophyllum-Clathropteris* 植物群,代表热带、亚热带地理区;北方为 *Danaeopsis-Bernoullia* 植物群,代表温暖潮湿的地理区。与这两大植物群共同埋藏的无脊椎动物包括介形类、叶肢介、昆虫和双壳类等,其中介形类和双壳类也可区分出两大生物群。在北方区的一些含化石比较丰富的剖面上,如陕西铜川漆水河剖面,陕西神木县窟野河剖面,以及新疆吉木萨尔县大龙口剖面,人们已经划分出若干植物、孢粉和介形类的生物组合,从而为建立年代地层单位奠定了一定的基础。但仍存在不足,主要是某些层段化石较少或采集不够,难以识别出生物界面。③总观目前中国陆相三叠纪地层的研究情况,符合建立年代地层条件要求(全国地层委员会,2001)的剖面少之又少。如果要建立年代地层单位(阶),尚需做更细致的基本剖面的研究工作,即使有一定研究基础的剖面,如铜川漆水河剖面,也需要做某些层段的补充研究。④自本世纪初,全国地层委员会

确定在陆相地层进行建阶工作以来,陆相地层均将原划分的岩石地层单位改称为阶,例如中三叠统二马营阶、铜川阶以及上三叠统胡家村阶、永坪阶和瓦窑堡阶(全国地层委员会,2001),其后又将这些名称改成其它阶名。但存在的问题是:这些阶的界线延用的仍是岩石地层单位的界线,而没有按中国地层指南和国际地层指南的要求,建立在生物地层单位的基础上,这样建立的“阶”与以生物地层单位划分的阶的界线不一致,而且在阶的生物内容研究方面进展很少,这是当前和今后需要解决的问题。

2 中国陆相中、晚三叠世地层建阶尝试

如前所述,中国南方区晚三叠世地层为海、陆交互相,其陆相地层的时代可参照海相化石判定,无需另建年代地层单位——阶,因此陆相地层建阶主要应用于中国北方区。考虑到中国北方区的下三叠统和中三叠统下部都以红层为主,生物化石甚少,难以划分生物界面,不具建阶条件,目前不宜建阶,故本文只论及上三叠统和中三叠统上部建阶问题。关于陆相地层建阶,我们的思路和主要原则是:

(1)以国际地层指南和中国地层指南中的地层学原理和近年国际地层委员会的新概念、新标准为指导,结合中国陆相中、上三叠统的实际情况,先易后难,先区域(或先盆地)后大区,再推到海相(全球)。

(2)重点抓好阶的两个关键内容:阶的生物化石(生物带)和下界的生物界面(GSSP)。

(3)先试点(尝试),后检验,再研究、修改,逐步完善,不一刀切。

(4)选择具有一定厚度、连续沉积、出露良好的地层剖面,如果在同一条剖面上能够建立多个阶是最理想的;并具有丰富或较丰富、保存完好、分布较广、能够提供生物面分析的各类化石,化石进行了描述,关键属、种(包括照片),已公开发表。

(5)综合运用其它非生物方法,如磁性地层学,同位素测年等,进行界线研究与对比。

2.1 鄂尔多斯盆地的岩石地层和生物地层

根据以上思路与原则,我们选择了鄂尔多斯盆地中—晚三叠世地层作尝试,以漆水河剖面为主要剖面,以窟野河剖面为辅助剖面(图1)。鄂尔多斯盆地,又称陕甘宁盆地,是华北地台(华北板块)上的一个大型盆地,广泛发育中生代陆相地层(中国地质科学院地质研究所,1980)。前人曾对盆地内三叠纪地层时代、生物和沉积特征进行研究(潘钟祥,1954;斯行健,1956;武富礼等,2004),本文梳理20世纪70年代以来鄂尔多斯盆地地层划分与沿革情况(表1)。

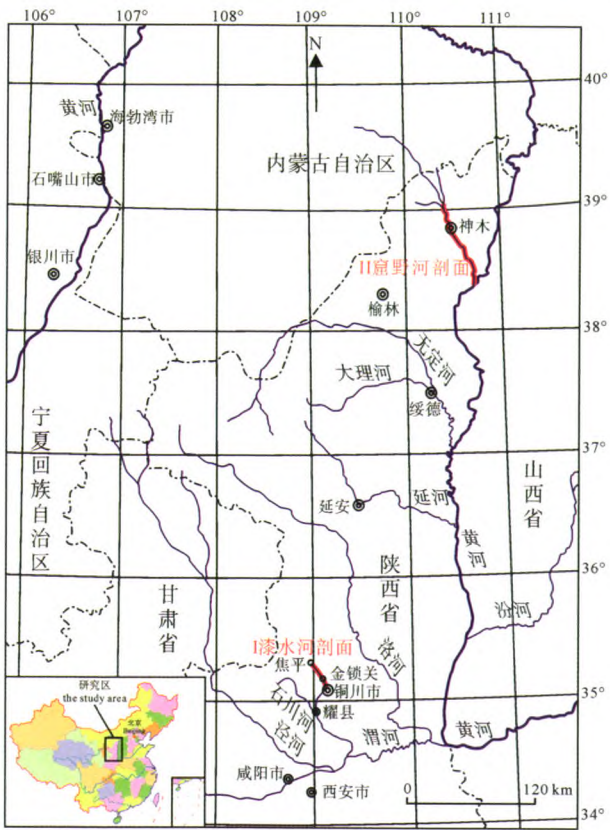


图 1 鄂尔多斯盆地漆水河剖面(I)和窟野河剖面(II)位置
(据中国地质科学院地质研究所, 1980 修改)

Fig. 1 The location of the Qishuihe section (I) and the Kuyeh section (II) in Ordos Basin (modified after Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, 1980)

岩石地层是基础, 含有丰富的地球演变历史信息, 如古生物及其演化、放射性同位素测年和地磁极性等, 为研究建阶问题, 在这里首先将盆地的岩石地层系统、划分与对比, 作一清理与统一, 以有利于问题的讨论。

鄂尔多斯盆地的三叠系主要出露于黄河东、西两岸及其支流和沟渠中。黄河东岸区归属于山西省, 而黄河西岸区归属于陕西省。由于研究单位、作者

不同, 在地层划分和命名上也有所不同, 有的组名相同, 而含义有别(山西省地质矿产局, 1989; 陕西省地质矿产局, 1989), 这是需要统一的。陕西铜川漆水河剖面位于鄂尔多斯盆地东南部, 三叠系发育比较齐全、连续, 岩石地层自下而上包括早三叠世和尚沟组(下部出露不全)以及中三叠世二马营组、铜川组和晚三叠世狭义延长组(表 2), 除下三叠统的刘家沟组、和尚沟组(这两组出露于西邻耀县石川河剖面)被覆盖外, 中、上三叠统出露于漆水河两侧, 也在公路两侧(中国地质科学院地质研究所, 1980)。按岩性特征, 漆水河剖面三叠纪地层明显地分为两大套: 下部包括刘家沟组、和尚沟组、二马营组(陕西又称纸坊组), 由灰绿、灰白色砂岩与紫红、灰紫、暗紫色泥岩、粉砂质泥岩互层组成, 代表干旱气候环境下的产物; 上部由灰绿色砂岩与灰、灰绿、黄绿、暗绿色夹灰黑色泥岩组成, 常夹煤线或煤层, 代表温湿气候环境下沉积的一套暗色岩系。陕西神木窟野河剖面位于鄂尔多斯盆地的东北部, 其三叠系的发育特征与漆水河剖面类似, 只是地层厚度较小。

根据漆水河剖面的岩石组成特征及生物群特征(中国地质科学院地质研究所, 1980), 将剖面的岩石地层单位自下而上划分为三叠系中统二马营组和铜川组以及三叠系上统永坪组和瓦窑堡组(表 2)。将各组的新定义简述如下。

二马营组: 该组命名于山西北武县东寨镇二马营, 主要由肉红色砂岩夹紫红、暗紫色泥岩、砂质泥岩组成, 厚 595.6 m, 含脊椎动物化石 *Parakannemeyeria dolichocephala* Sun, *Shansisuchus* sp.。按照这一定义, 我们将漆水河剖面的第 6 层至 69 层, 厚度 438 m, 划为新义的二马营组。它由肉红色、黄绿、灰绿色砂岩与暗紫色、暗紫红色泥岩、

表 1 鄂尔多斯盆地三叠纪地层划分沿革简表
Table 1 The stratigraphic division of the Triassic in Ordos Basin

陕西省地质局 石油普查队,1974				中国地质科学院 地质研究所,1980			杨遵仪等,2000		童金南等,2015		本文			Cohen et al., 2013		
									年代地层	岩石地层	岩石地层		年代地层	系	统	阶
三叠系上统	延长组	T ₃ y ⁵	三叠系上统(T ₃)	延长组(T ₃ y)	上三叠统	瓦窑堡组	子长阶	瓦窑堡组	延长群	瓦窑堡组		焦坪阶	三叠系	上统	瑞替阶 (Rhaetian)	
		永坪组				延长阶	永坪组	永坪组		二段	杨家坪阶	诺利阶 (Norian)				
						漆水河阶	胡家村组								一段	卡尼阶 (Carnian)
	T ₃ y ⁴	三叠系中统(T ₃)	铜川组(T ₃ h)	铜川组	金锁关阶	铜川组	铜川组	二段	金锁关阶	印台阶	中统	拉丁阶 (Ladinian)				
T ₃ y ³	二马营组				吴堡阶	二马营组							二马营组	待建	安尼阶 (Anisian)	
T ₃ y ²																上段(b)
T ₃ y ¹	上段(b)	下段(a)	二马营组	吴堡阶	二马营组	二马营组	待建	和尚沟组	待建	印度阶 (Induan)						
三叠系中统	纸坊组	上段	三叠系中统(T ₃)	和尚沟组(T ₃ h)	下三叠统	和尚沟组	府谷阶	和尚沟组	和尚沟组		和尚沟组	和尚沟组	待建	下统		
三叠系下统	刘家沟组	下段				刘家沟组	吉木萨尔阶	刘家沟组	刘家沟组	刘家沟组	刘家沟组	刘家沟组	刘家沟组			

表 2 陕西铜川三叠系漆水河剖面岩石地层
Table 2 The lithostratigraphy of the Triassic Qishuihe section in Tongchuan, Shaanxi Province

国际地层			中国地质科学院 地质研究所,1980			本文					
系	统	阶	组	段	层号	群	组	段	层号	阶	岩性特征
三 叠 系	上 统	Carnian-Rhaetian	延长组	c	373	延 长 群	瓦窑堡组		355	焦坪阶	黄绿、灰绿色泥岩、粉砂岩、细砂岩夹深灰、灰黑色泥岩和多层煤线,含植物化石
				b	339 338 315		永坪组	二段	352	杨家坪阶	灰绿、黄绿色细砂岩与粉砂质泥岩互层,下部有140 m厚的灰绿、黄绿色粉砂岩及含壳类、鱼鳞化石
				a	267			一段	249		
				b	249			二段	248		
				a	206		铜川组	二段	178	金锁关阶	黄绿、灰绿、深灰色泥岩与粉砂岩互层,夹深灰、灰黑色页岩,含大量植物及介形类化石
	中 统	Ladinian	铜川组	a	178 165		铜川组	一段	177	印台阶	中下部为黄绿、灰绿、紫灰、紫红色砂、泥岩互层,含介形类、双壳类及少量植物化石
				b	70		二马营组	802m	72 71	待建	暗紫红色泥岩、粉砂质泥岩与紫灰、灰绿色砂岩互层,未见化石
				a	37						
				6	438m			6			

山西石楼地区孟家塌中三叠统剖面
岩石地层划分对比以及同位素测年
(数据引自刘俊手稿)

组	层号	岩性特征	同位素测年
铜川组	150	肉红色砂岩为主,夹灰紫、暗紫、黄绿、灰绿色泥、页岩下部夹一层凝灰岩(114层)	—241.48Ma (MIT) (239.6±1.5)Ma (SHIMP)
	114 85		
	84		
二马营组	65	肉红、黄绿、灰绿色中/细砂岩与暗紫红色、紫红色泥岩互层,上部夹一层凝灰岩(65层)	—243.53Ma (MIT) (244.3±1.4)Ma (SHIMP)

原铜川组上段(b)上部第 249 层至 266 层, 厚 140.1 m, 未见植物化石, 仅见极少的介形类(中国地质科学院地质研究所, 1980), 将该段地层划归中三叠世的铜川组似根据不足, 而原铜川组的时代划归中三叠世的主要根据是第 248 层及其以下各层所产植物化石确定的, 因此, 本文将这段地层划为永坪组。

永坪组: 本文采用的是广义永坪组(杨遵仪等, 2000)。永坪组在铜川漆水河剖面上, 大体相当于“延长组”的 a, b 两段、c 段下部和原铜川组的上部(表 2), 包括剖面的第 249 层至 351 层, 厚 622 m, 自下而上分为一段和二段。一段自 249 层至 266 层, 厚 140.1 m, 主要由灰绿、黄绿、灰褐色粉砂岩、细砂岩与油页岩、灰黑色页岩互层组成, 在灰黑色页岩中含介形类化石 *Tungchuania aurita* Zhong 和 *T. houae* Zhong, 代表半深湖相沉积。二段自 267 层至 351 层, 厚 481.9 m, 主要岩性是黄绿、灰绿、细砂岩、粉砂岩和灰绿、黄绿、深灰色泥岩、粉砂质泥岩, 含介形类、叶肢介、双壳类化石和少量植物化石。介形类 *Tungchuania-Darwinula-Lutkevichinella* 组合, 主要分子有 *Darwinula accuminata*, *D. liulingchuanensis*, *D. opinabilis* Zhong, *D. rotundata* Lubimova, *Lutkevichinella costata* (Zhong), *L. ornatula* Su et al., *Tungchuania agrestata*, *T. aurita* Zhong, *T. houae* Zhong, *T. perelegana* 等。植物化石仅在上部的 338 层产 *Asterotheca? szeiana*, *Cladophlebis ichünensis*, *Danaeopsis fecunda*, *Glossophyllum? shensiense*, *Podozamites lanceplatus* 等。由此看来, 二段可能为浅湖环境。

在盆地东北部神木窟野河剖面上, 永坪组发育较好, 自第 16 层至 52 层, 厚 321 m, 产丰富的植物化石, 为 *Danaeopsis fecunda-Bernoullia zeilleri-Cladophlebis gigantea* 植物组合, 其组成分子还有 *Aipteris nerviconfluens*, *Asterotheca sziana*, *Cladophlebis grabauiana*, *C. gracilis*, *C. raciborskii*, *C. cf. raciborskii*, *Glossophyllum? shensiense*, *Neocalamites carcinoides*, *Thinnfeldia nordenskioldi*, *Th. rhomboidalis*, *Todites shensiensis* 等。其中 *Danaeopsis fecunda* 和 *Asterotheca sziana* 在该组近底部的第 17 层首次出现, 与下伏铜川组植物组合之间形成一个明显的生物界面, 此界面可为建阶使用, 以弥补漆水河剖面植物化石的不足。

瓦窑堡组: 该组原命名于陕西省子长县的瓦窑堡镇, 但至今未见发表有关命名地剖面的详细描述, 在这里系指漆水河剖面的第 352 层至 373 层, 厚度 160.4 m, 大致相当原“延长组”的 c 段中—上部(表 2), 主要由黄绿、灰绿、深灰色泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩和细砂岩组成, 夹深灰、灰黑色泥岩及多层

煤线; 产大量的植物化石, 属、种繁多, 是延长植物群发展的顶盛时期, 形成第二个富集带。该组植物化石有 30 余属种(中国地质科学院地质研究所, 1980), 其中有: *Aipteris shensiensis*, *Annulariopsis annularioides*, *Asterotheca? szeiana*, *Bernoullia zeilleri*, *Cladophlebis gigantea*, *C. grabauiana*, *C. gracilis*, *C. ichünensis*, *C. kaoiana*, *C. raciborskii*, *Danaeopsis fecunda*, *Equisetites acanthodon*, *E. brevidentatus*, *Glossophyllum? shensiense*, *Neocalamites carcinoides*, *N. carrerei*, *Nilssonina cf. orientalis*, *Protoblechnum hughesi*, *Sagenopteris lanceolatus*, *Sphenopteris chowkiawanensis*, *Swedenborgia cryptomerioides*, *Todites shensiensis*, *Thinnfeldia nordenskioldi* 等, 可称为 *Danaeopsis fecunda-Asterotheca szeiana-Cladophlebis kaoiana* 组合。

在盆地东北部神木窟野河剖面上, 瓦窑堡组自 53 层至 61 层, 厚 88 m, 以黄灰、浅黄、灰绿色厚层状中细粒、细粒砂岩为主, 夹灰绿色砂质页岩、砂质泥岩, 也产极为丰富的植物化石, 从而形成该剖面的富集带, 其主要分子有: *Asterotheca sziana*, *Cladophlebis gracilis*, *C. ichünensis*, *C. undata*, *Danaeopsis fecunda*, *Equisetites cf. deltodon*, *Glossophyllum? shensiense*, *Neocalamites cf. carcinoides*, *N. carrerei*, *Podozamites cf. lanceolatus*, *Sphenopters cf. chowkiawanensis*, *Todites shensiensis*。

2.2 陆相地层建阶尝试

关于陆相地层建阶, 最早 d'Orbigny (1849—50) 用 Portland 灰岩相和非海相(non-marine)的 Purbeck 作为英格兰和法国北部的两个阶: Portlandian 和 Purbeckian, 后者主要为陆相 (Gradstein et al., 2012)。但据 Cope(2008)考查, 这两个阶名其后就停用了。近年来, 国际上也在考虑陆相地层建阶问题, 例如, Gradstein 等(2012)在地质年表(The Geologic Time Scale 2012)中, 提出利用植物、孢粉、叶肢介及脊椎动物(四足动物)等作为陆相区域建阶的标志, 其中已用脊椎动物(四足动物)在德国盆地三叠系中作了建阶标志, 并以叶肢介生物带作了区域对比, 但这些目前还没得到同行们的公认, 也就是说在世界范围内陆相地层建阶工作也在刚刚起步与探索。总观目前中生代, 还没有全球公认真正的陆相阶的确立, 因此, 陆相地层建阶还是当前的一个新课题。

2.2.1 漆水河剖面和窟野河剖面生物界面分析

漆水河剖面含有较丰富的动、植物化石, 其中以植物大化石和孢粉最为丰富, 其次是介形类也较丰富, 其它还有叶肢介和双壳类等化石。这些生物群自铜川组一段(第 70 层)开始, 伴随古气候由干旱向温暖潮湿的演变, 逐渐发展起来。其中延长植物群的分子, 如 *Danaeopsis* sp., *Neocalamites carci-*

noides, *Todites* cf. *shensiensis* 等在铜川组一段底部首先出现, 向上(第70层至164层)有较广泛的分布。同时, 介形类也跟着出现, 而且以 *Darwinula-Lutkevichinella* 为代表的类群也很快地发展起来, 第70层是该剖面出现第一个生物界面。由铜川组二段的第178层开始至248层, 发展为第二个生物繁盛期, 形成以 *Danaeopsis magnifolia-Bernoullia zeilleri* 为代表的植物富集带, 在第178层底出现第二个生物界面。但从永坪组下部第249层开始, 植物和介形类的发展似乎处于低潮, 仅在个别层位发现个别属种, 如281层, 产少数植物 *Bernoullia zeilleri* 和 *Cladophlebis ichūnensis* 等, 252层仅见有介形类 *Tungchuania houae* 和 *T. aurita*。从永坪组上部第329层开始, 以 *Darwinula-Tungchuania* 为代表的介形类群又重新繁盛起来, 至瓦窑堡组下部, 形成了介形类的第二个繁盛期。在永坪组的顶层(355层), 植物中的 *Danaeopsis fecunda* 和 *Asterotheca? szeiana*, *Cladophlebis kaoiana* 等, 又迅速繁盛起来, 发展成为延长植物群的第二个繁盛期, 形成第一个顶盛带二个富集带。但考虑到永坪组下部生物化石, 尤其是植物更少, 无法识别出生物界面, 因此, 我们将该段地层建阶剖面选在窟野河剖面。

在神木县窟野河剖面上, 永坪组发育较好, 自第16层至50层, 厚305 m, 多层产丰富的植物化石, 可称为 *Danaeopsis fecunda-Bernoullia zeilleri-Cladophlebis gigantea* 植物组合, 其组成分子还有 *Aipteris nerviconfluens*, *Cladophlebis grabauiana*, *C. gracilis*, *C. raciborskii*, *C. cf. raciborskii*, *Glossophyllum? shensiense*, *Neocalamites carcinoides*, *Thinnfeldia nordenskioldi*, *Th. rhomboidalis*, *Todites shensiensis* 等。在这里, 植物组合与下伏铜川组植物组合之间存在一明显的生物界面, 而且第17层是 *Danaeopsis fecunda* 的首现层位, 此界面可为建阶使用。

2.2.2 鄂尔多斯盆地中—晚三叠世地层建阶

1) 印台阶(Yintaian)

阶名: 来源于铜川市一区名。

剖面位置: 陕西铜川纸坊镇与金锁关镇之间漆水河边(图1, 剖面I)。

阶的定义: 以介形类 *Tungchuania quadratiformis* 和 *Lutkevichinella ansulca* 的最低出现(剖面第72层, 图2)为底界。该阶包含的地层自第72层至177层, 由黄绿、灰绿色泥岩、页岩和灰紫、紫红色泥岩、粉砂质泥岩与黄绿、灰绿色粉砂岩、细砂岩组成, 大致相当新义的铜川组一段(表2), 与下伏二马营组(待建阶)整合接触。

印台阶含有一个介形类组合带 *Lutkevichinella*

ornatula-Shensinella gaoyadiensis 和一个植物组合带 *Neocalamites carcinoides-Todites* cf. *shensiensis-Danaeopsis*。介形类包括以下成员: *Darwinula accuminata* Belousova, *D. fragilis* Schneider, *D. gerdæ* Glebovskaja, *D. liulingchuanensis* Zhong, *D. subovatiformis* Su et al., *Lutkevichinella ansulca* Su et al., *L. brachycostata* Su et al., *L. longovata* Su et al., *L. minuta* Su et al., *L. ornatula* Su et al., *Shensinella gaoyadiensis* Su et al., *S. praecipua* (Zhong) Su et al., *Tungchuania quadratiformis* Su et al.等。植物化石包括 *Cladophlebis* sp., *Danaeopsis*, *Neocalamites carcinoides*, *Taeniocladopsis* cf. *rhizoimoides*, *Todites* cf. *shensiensis* 等。

2) 金锁关阶(Jinsuoguanian)

阶名: 来源于剖面中部的地名金锁关镇。此名已经由童金南和殷鸿福(2015)在中国三叠系建阶方案中提出。我们引用于此, 但是我们这里是用生物地层单位定义该阶。

剖面位置: 陕西铜川金锁关镇漆水河边(图1, 剖面I)。

阶的定义: 以植物 *Danaeopsis magnifolia*, *Danaeopsis* cf. *marantacea* 和 *Tongchuanophyllum shensiense* 的首现层位(第178层, 图3)为底界。金锁关阶包括的岩石地层范围, 自剖面的178层至248层, 主要岩性是黄绿、灰绿、深灰色泥岩、粉砂质泥岩与粉砂岩、细砂岩的互层, 夹深灰、灰黑色页岩, 厚度367.7 m, 相当新义铜川组的第二段(表2)。

金锁关阶包含两个生物组合带: 一个植物组合带 *Danaeopsis magnifolia-Tongchuanophyllum concinnum*

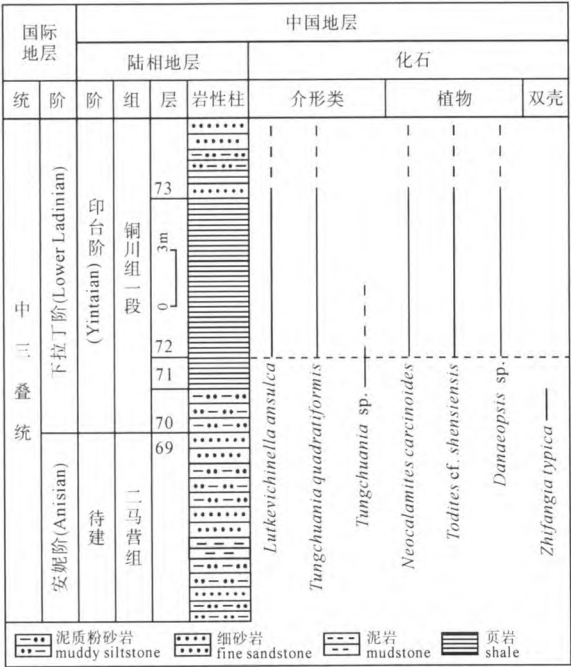


图2 陕西铜川中三叠统印台阶的底界
Fig. 2 The lower limit of the Middle Triassic Yintaian in Tongchuan, Shaanxi

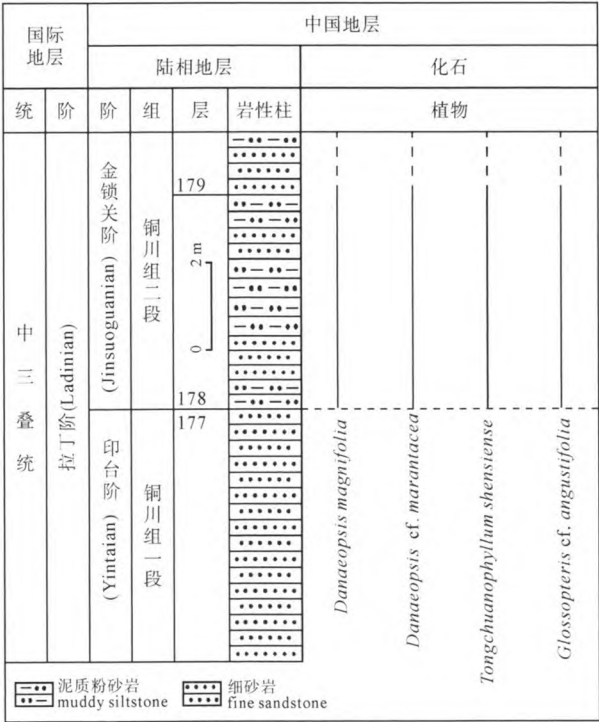


图 3 陕西铜川中三叠统金锁关阶的底界
Fig. 3 The lower limit of the Middle Triassic Jinsuoguanian in Tongchuan, Shaanxi

-*Pleuromeia labiata* 和一个介形类组合带 *Tungchuania aurita*-*Tungchuania houae*-*Darwinula accuminata*。植物化石约有 15 属 20 余种, 主要分子有: *Bernoullia zeilleri*, *Cladophlebis* cf. *roesserti*, *Danaeopsis magnifolia*, *D.* cf. *marantacea*, *D. plana*, *Equisetites brevidentatus*, *Glossophyllum?* *shensiense*, *Glossopteris* cf. *angustifolia*, *G. chinensis*, *Neocalamites carcinoides*, *N. carrerei*, *Pleuromeia labiata*, *P. tongchuanensis*, *Taeniocladopsis rhizomoides*, *Todites shensiensis*, *Tongchuanophyllum concinnum*, *T. shensiense*, *T. trigonum* 等(中国地质科学院地质研究所, 1980)。该植物组合带不仅属种多, 而且数量极为丰富, 是延长植物群发展的第一个繁盛期。介形类化石分布于阶的上部, 目前所知组成分子较少。

3) 杨家坪阶(Yangjiapingian)

阶名: 来源于陕西神木县窟野河剖面中部的村名杨家坪。

剖面位置: 陕西榆林神木县杨家坪东坡(图 1, 剖面 II)。

阶的定义: 以植物 *Asterotheca szeiana* 和 *Danaeopsis fecunda* 的首现层位, 即窟野河剖面第 17 层底为底界(图 4)。该阶的地层包括剖面的第 17 至 52 层, 主要岩性为灰白色灰绿色黄绿色黄灰色中细粒砂岩、粉砂岩与粉砂质泥岩、页岩、泥岩、砂质泥岩互层组成, 厚度 307 m, 大致相当原延长组的 a 段和 b 段。该阶包含一个植物组合带 *Danaeopsis fecunda*-*Bernoullia zeilleri*-*Cladophlebis gigantea*, 其组成分子还有 *Aipteris nerviconfluens*, *Asterotheca szeiana*, *Cladophlebis grabauiana*, *C. gracilis*, *C. raciborskii*,

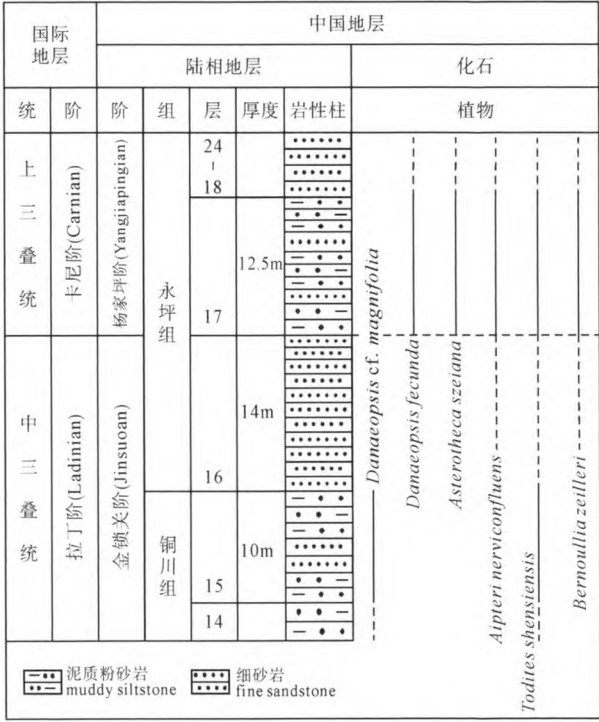


图 4 陕西神木县上三叠统杨家坪阶的底界
Fig. 4 The lower limit of the Upper Triassic Yangjiapingian in Shenmu, Shaanxi

C. cf. raciborskii, *Glossophyllum?* *shensiense*, *Neocalamites carcinoides*, *Thinnfeldia nordenskioldi*, *Th. rhomboidalis*, *Todites shensiensis* 等。这里选择 *Danaeopsis fecunda* 的首现层位为下界, 是因为该种不仅广泛分布于中国北方区, 在南方区也有广泛地分布, 并且还可与欧洲各地所产的该种进行对比。关于 *Danaeopsis* 种的鉴定, 以往延长群及与其相当地层中的 *Danaeopsis* 多被鉴定为 *Danaeopsis fecunda*, 但根据黄枝高等的研究(中国地质科学院地质研究所, 1980), 延长群下部所产为 *Danaeopsis magnifolia*, *D.* cf. *marantacea*, *D. plana* 种, 而 *Danaeopsis fecunda* 仅产于延长群上部, 在欧洲此种也都产在上三叠统。此后, *Danaeopsis fecunda* 就成为划分三叠系中统和上统的标志性化石。

4) 焦坪阶(Jiaopingian)

阶名: 来源于铜川漆水河剖面的终点地名焦坪街(现名, 原名焦坪煤矿)。

剖面位置: 陕西铜川焦坪街南侧(图 1, 剖面 I)。

阶的定义: 以植物 *Danaeopsis fecunda*-*Asterotheca szeiana*-*Cladophlebis kaoiana* 富集带定义该阶, 其底界在剖面第 355 层(图 5), 自此而上, 至剖面顶 373 层, 主要岩性为黄绿色、黄灰色、灰绿色、深灰色细砂岩、粉砂岩与泥岩、粉砂质泥岩, 夹多层灰黑色泥岩页岩及煤线, 地层厚度为 160.4 m。该富集带的组成分子主要有: *Aipteris shensiensis*, *Annullariopsis annularioides*, *Asterotheca szeiana*, *Bernoullia zeilleri*, *Cladophlebis gigantea*, *C. gracilis*, *C. grabauiana*, *C. ichünensis*, *C. kaoiana*, *C. raciborskii*,

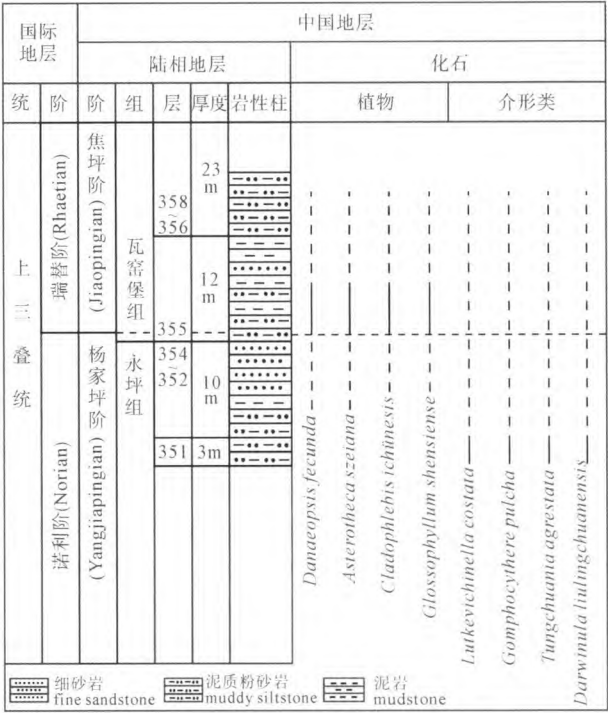


图 5 陕西铜川上三叠统焦坪阶的底界

Fig. 5 The lower limit of the Upper Triassic Jiaopingian in Tongchuan, Shaanxi

Equisetites acanthodon, *Danaeopsis fecunda*, *E. brevidentatus*, *Glossophyllum? shensiense*, *Neocalamites carcinoides*, *N. carrerei*, *Nilssonina cf. orientalis*, *Protoblechnum hughesi*, *Sagenopteris lanceolatus*, *Sphenopteris chowkiawanensis*, *Swedenborgia cryptomerioides*, *Thinnfeldia nordenskioldi*, *Todites shensiensis* 等。富集带的属、种繁多, 达 30 余属种, 是延长植物群发展的顶盛时期, 但该带的绝大多数分子都是从下伏地层中延续上来的, 在这里选择为下界点位, 只表明到第 355 层植物群开始发展到顶盛时期, 并显示出它与下伏地层中的植物群有一较明显的界线。在神木窟野河剖面上, 该阶的地层范围大致相当于原“延长组”的 c 段, 其植物组合带的组成分子也相当丰富(中国地质科学院地质研究所, 1980)。

3 鄂尔多斯盆地三叠纪地层的同位素测年与新阶的时代

中国地质科学院地质研究所(1980)对鄂尔多斯盆地三叠纪地层的划分与时代, 作了详细论述。本文虽在地层划分方面作了一些调整, 但在时代方面与前者大同小异, 在此不再论述。近年来, 中国科学院古脊椎与古人类研究所刘俊研究员赴鄂尔多斯盆地对三叠纪地层进行考查, 在盆地的东部山西永宁—石楼地区的二马营组上部 and 铜川组下部采集了同位素样品(表 2), 分别由中国地质科学院地质研究所离子探针中心离子探针实验室(SHIMP 法)和美国麻省理工学院的实验室(MIT)进行测试, 得出如

下结果(表 2): ①铜川组一段下部年龄为 241.48 Ma (MIT)(数据引自刘俊手稿)或者(239.6±1.5) Ma (SHIMP)。②二马营组上部年龄为: (243.53) Ma (MIT)(数据引自刘俊手稿)或者(244.3±1.4) Ma (SHIMP)。

二马营组上部样品的两实验室测试数据相近, 与国际地质年表对比, 相当安尼阶(Anisian)的上部(表 2)。铜川组一段下部样品的两实验室测试数据也比较相近, 与国际地质年表对比, 相当于拉丁阶下部或比较接近底部。换句话说, 新建的印台阶下部的年代约相当于拉丁期早期(Early Ladinian)。由此推断, 印台阶中上部和金锁关阶可能相当于中—晚拉丁期(Middle–Late Ladinian)。目前上三叠统尚无同位素测年数据参考, 新建焦坪阶的年代还无法确定, 但根据该阶的地层位置 and 其所含植物化石与国内、外对比, 可以认为它的时代应为瑞替期(Rhaetian)。其下伏地层杨家坪阶的时代可能为 Carnian–Norian 期。

致谢: 我们感谢中国科学院古脊椎与古人类研究所刘俊研究员提供鄂尔多斯盆地三叠纪地层同位素年龄的有关手稿。我们感谢两位匿名审稿人认真审阅文稿, 并提出很好的修改意见。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. 1212011120142, 12120114026701, 1212011120115, 1212011120116 and 1211402108021), Basic Research Project of Ministry of Science and Technology, China (No. 2015FY310100), National Program on Key Basic Research Project (No. 2011CB403002) and National Natural Science Foundation of China (No. 41472030).

参考文献:

卡弗利挨 C, 罗歇 J. 1989. 法国地层典[M]. 芮仲清, 译. 北京: 地质出版社.

潘钟祥. 1954. 陕北老中生代地层时代的讨论[J]. 地质学报, 34(2): 209-216.

全国地层委员会. 2001. 中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版)[M]. 北京: 地质出版社.

戎嘉余. 2003. 新的挑战新的使命——附记国际地层委员会 2002 年 6 月全会[J]. 地层学杂志, 27(1): 1-10, 18.

山西省地质矿产局. 1989. 山西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.

陕西省地质局石油普查队. 1974. 陕甘宁盆地三叠系侏罗系地层对比及时代归属[R]. 西安: 陕西省地质局石油普查队.

陕西省地质矿产局. 1989. 陕西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.

斯行健. 1956. 中国古生物志 总号第 139 册 新甲种第 5 号 陕

北中生代延长层植物群[M]. 北京: 科学出版社.

童金南, 殷鸿福. 2015. 三叠纪年代地层与中国建阶[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 40: 189-197.

武富礼, 李文厚, 李玉宏, 席胜利. 2004. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地理学报, 6(3): 307-315.

杨遵仪, 张舜新, 杨基端, 周惠琴, 曹洪升. 2000. 中国地层典三叠系[M]. 北京: 地质出版社.

姚建新, 李亚, 侯鸿飞, 纪占胜, 武桂春, 武振杰, 李素萍, 郭彩清, 张利伟, 孟美岑, 薄婧方. 2015. 中国地层学研究近期面临的主要问题[J]. 地球学报, 36(5): 515-522.

中国地质科学院地质研究所. 1980. 陕甘宁盆地中生代地层古生物[M]. 北京: 地质出版社.

References:

CAVELIER C, ROGER J. 1980. The Stages and stratotypes of France[M]. Translated by RUI Zhong-qing. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

COHEN K M, FINNEY S C, GIBBARD P L, FAN J X. 2013. The ICS International Chronostratigraphic Chart[J]. Episodes, 36: 199-204.

COPE J C W. 2008. Drawing the line: the history of the Jurassic—Cretaceous boundary[J]. Proceedings of the Geologists' Association, 119(1): 105-117.

GRADSTEIN F M, OGG J G, SCHMITZ M D, OGG G M. 2012. The Geologic Time Scale 2012, Volume 1[M]. Oxford: Elsevier.

Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences. 1980. Mesozoic Stratigraphy and Paleontology of ShanGan-Ning Basin, volume I & II[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

National Commission Stratigraphy of China. 2001. Stratigraphical Guide of China and its Explanation (Revised Edition)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

Oil Survey Team, Shaanxi Province Bureau of Geology. 1974. The Stratigraphy and Date of the Triassic and Jurassic Strata in

ShanGanNing Basin[R]. Xi'an: Oil Survey Team, Shaanxi Province Bureau of Geology(in Chinese).

PAN Zhong-xiang. 1954. Discussion on the age of the Early Mesozoic strata in Northern Shanxi[J]. Acta Geologica Sinica, 34(2): 209-216 (in Chinese).

RONG Jia-yu. 2003. New challenge and new mission for the ICS[J]. Journal of Stratigraphy, 27(1): 1-10, 18(in Chinese with English abstract).

Shanxi Province Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional Geology of Shanxi Province, People's Republic of China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

Shaanxi Province Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional Geology of Shaanxi Province, People's Republic of China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

SI Xing-jian. 1956. Palaeontologia Sinica, Whole Number 139, New Series A No. 5, Older Mesozoic Plants from the Yenchang Formation, Northern Shensi[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).

TONG Jin-nan, YIN Hong-fu. 2015. Triassic chronostratigraphy and Chinese stages[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 40: 189-197(in Chinese with English abstract).

WU Fu-li, LI Wen-hou, LI Yu-hong, XI Sheng-li. 2004. Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 6(3): 307-315(in Chinese with English abstract).

YANG Zun-yi, ZHANG Shun-xin, YANG Ji-duan, ZHOU Hui-qin, CAO Hong-sheng. 2000. Stratigraphical Lexicon of China, Triassic[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

YAO Jian-xin, LI Ya, HOU Hong-fei, JI Zhan-sheng, WU Gui-chun, WU Zhen-jie, LI Su-ping, GUO Cai-qing, ZHANG Li-wei, MENG Mei-cen, BO Jing-fang. 2015. Some problems in recent stratigraphic researches of China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 36(5): 515-522(in Chinese with English abstract).