

doi:10.3799/dqkx.2015.014

三叠纪年代地层与中国建阶

童金南, 殷鸿福

中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 国际地层委员会三叠系分会(Subcommission on Triassic Stratigraphy, 简称 STS)成立后的第一件工作就是建立全球统一的三叠纪年代地层划分方案。以国际地质对比规划项目 IGCP-4(特提斯地区的三叠系)所取得的研究成果为基础, 经过 STS 专家的深入研讨, 采用投票表决的方式于 1991 年确定了将三叠系划分为 3 统 7 阶的国际年代地层格架。随后的焦点集中于各阶界线层型剖面 and 点位(Global Stratotype Section and Point, 简称 GSSP)的选定工作。但时至今日只确定了 3 个阶的 GSSP, 而且只有三叠系底界, 即印度阶底界的 GSSP 获得的研究最多, 且应用广泛; 另外 2 个阶(拉丁阶和卡尼阶)底界的 GSSP 仍以传统的菊石作为首选定义标志, 其推广可应用性还待实践检验。其他 4 个阶的界线层型选定工作正在推进中, 但都存在一些困难, 其中尤以奥伦尼克阶界线层型的选定工作面临重大挑战。鉴于国际年代地层研究工作所面临的困境, 全国地层委员会组织专家于 2000 年提出了中国的年代地层划分和建阶方案, 并在全国范围开展研究和推广应用。由于三叠纪时期中国处于从海向陆的重要转折时期, 海、陆相地层在中国都有广泛发育, 因此提出了海、陆相两套中国三叠纪年代地层划分和建阶方案。经过十多年的建阶研究和应用实践, 中国三叠纪年代地层建阶方案逐步得以改进和完善, 促进了中国三叠纪地层规范化研究, 为相关科学研究和实践应用奠定了基础, 也推动了国际相关领域的科学研究。

关键词: 三叠系; 年代地层; 界线层型; 中国建阶; 研究进展; 地层学。

中图分类号: P534.63

文章编号: 1000-2383(2015)02-0189-09

收稿日期: 2014-10-11

Triassic Chronostratigraphy and Chinese Stages

Tong Jinnan, Yin Hongfu

State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Construction of a global scheme of Triassic time scale was the first key task of the Subcommission on Triassic Stratigraphy (STS) since its foundation in 1971. Based upon the scheme of Triassic time scale resulted from the research of the International Geological Correlation Programme IGCP-4 (Triassic of the Tethys Realm), the STS members made an in-depth discussion and finally voted in 1991 for the scheme that the Triassic is divided into 3 series and 7 stages. STS has been working on the selection of the Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the stage boundary. However, only 3 GSSPs have been decided in the Triassic up to the present, and among them only the base of the Triassic, i.e., the base of the Induan Stage, has been well studied and widely applied to various areas over the world, whereas the other 2 GSSPs, i.e., the bases of the Ladinian and Carnian stages, are defined through the traditional ammonoid indexes and their extension and application need to be confirmed by further investigation. The selections on the stratotypes of the remaining 4 stages have been in progress but they are challenged by some issues, especially the decision of the Induan-Olenekian boundary stratotype. Considering the difficulties in the construction of the International Chronostratigraphic Chart, the Stratigraphic Commission of China proposed a Chinese Chronostratigraphic Chart in 2000 to meet the demands of the geological survey and researches in China. Since the Triassic was the turning period from marine to terrestrial facies in the geological history and both marine and terrestrial Triassic strata are widespread in China, two schemes of Chinese Triassic chronostratigraphic division corresponding respectively to the marine and terrestrial facies and related Chinese stages have been suggested. After ten years of study and application, the schemes for the Chinese Triassic chronostratigraphic divisions and stages have been improved and refined, which promotes the standardization

基金项目: 国家自然科学基金项目(No.41272372); 国土资源大调查项目专题(No.1212011120116)。

作者简介: 童金南(1962—), 男, 教授, 主要从事二叠纪—三叠纪古生物学和地层学研究。E-mail: jntong@cug.edu.cn

引用格式: 童金南, 殷鸿福, 2015. 三叠纪年代地层与中国建阶. 地球科学——中国地质大学学报, 40(2): 189—197.

of the Triassic studies in China, and facilitates the global Triassic stratigraphic and related researches as well.

Key words: Triassic; chronostratigraphy; boundary stratotype; Chinese stage; research advance; stratigraphy.

三叠系(Triassic)名称源自于德国盆地的地层发育特征(von Alberti, 1834),因为该地区(包括德国、法国、波兰等地)这套地层呈现为明显的三分性,即下部为以陆相或海陆过渡相沉积为主的斑砂岩(Buntsandstein),中部为以海相沉积为特征的壳灰岩(Muschelkalk),上部则为陆相沉积的杂色岩(Keuper).因此,一般也将三叠系划分为 3 个统,并逐步为国际学者所接受和应用到世界其他地区.然而,即使在欧洲,只要出了德国盆地,同期地层序列就发生了很大变化.例如英伦三岛的同期地层基本上都为陆相沉积物,而阿尔卑斯地区的三叠系则主体为海相地层.在中国,南方的三叠系二分性明显,即下部海相、上部陆相地层序列;而中国北方的三叠系基本上为陆相沉积物.由此可见,三叠系的划分和国际对比是相关地质学研究中首先要解决的科学难题.因此,国际地层委员会三叠系分会(STS)于 1971 年成立后,其着手的第一项工作就是建立一套国际上统一的三叠纪年代地层划分方案.

1 三叠纪年代地层划分

虽然三叠系命名和早期研究源于德国盆地,但作为国际地层划分对比的最关键古生物化石材料主要还是来自于低纬度的海相沉积地层中.因此在随后的地层学研究中,位于当时特提斯西缘的阿尔卑

斯地区的三叠系受到了更多重视.首先是由 Zapfe 领导的国际地质对比规划(International Geological Correlation Programme, 简称 IGCP, 现更名为 International Geoscience Programme, 但仍简称为 IGCP)项目 IGCP-4(特提斯地区的三叠系 Triassic of the Tethys Realm, 1973—1982)第一次联合全球各国学者对世界各地的三叠系进行了系统比较研究.该项目于 1982 年结题时提出了一套比较完整的全球各纬度区的三叠纪地层划分对比方案(图 1)(Zapfe, 1983),该方案也成为随后 STS 进行三叠纪年代地层划分讨论的基础.

该地层划分和对比方案基本上是以菊石生物地层为基础的.经过早期 IGCP-4 的研讨,专家们对于中统的安尼阶(Anisian)、拉丁阶(Ladinian)和上统的卡尼阶(Karnian, 后更正为 Carnian)、诺利阶(Norian)争议不大,而主要的讨论焦点一是下统的分阶(分别有 1 阶、2 阶、3 阶和 4 阶的划分方案),二是上统瑞替阶(Rhaetian)的地位(即作为阶或是亚阶).在随后的近 10 年时间里,STS 专家进行了广泛的争议和讨论,最后于 1991 年 10 月在瑞士洛桑召开的三叠系国际会议上,STS 专家组采取投票表决的方式,正式确定了国际三叠纪年代地层划分方案,即将三叠系划分为 3 统 7 阶(图 2),这也成为当今国际学者共同采用的三叠纪年代地层划分方案.随后,三叠纪年代地层研究工作主要集中于各阶年代

	特提斯(热带区)			加拿大(温带区)		前苏联(北极区)	
上统	Rhaetian			Upper		Upper	
	Norian	Sevastian	Rhaetian	Norian	Middle	Norian	Middle
		Anaunian	U. Norian		Lower		Lower
	Lacian				L. Norian		Upper
	Karnian	Tuvalian		Karnian	Upper	Karnian	Lowr
Julian		Lower					
中统	Ladinian	Cordevolian		Ladinian		Ladinian	Upper
		Longobardian					Lower
	Anisian	Fassanian		Anisian	Upper	Anisian	Upper
		Illyrian			Middle		Middle
		Pelsonian					
Bithynian							
Aegean		Lower	Lower				
下统	Spathian		Spathian		Upper		Olenekian
	Skythian	Mammalian	Smithian	Mammalian	Smithian	Lower	
		Gangetian		Dieneaan	Dienerian		Upper

图 1 IGCP-4 提出的三叠系划分和对比方案

Fig.1 Scheme of the Triassic division and correlation proposed by IGCP-4
据 Zapfe(1983)简化

统	阶	年龄(Ma)	层型或候选层型剖面	界线首选和辅助化石标志
上统	瑞替阶 Rhaetian	201.3 ±0.2	候选:奥地利Steinbergkogel(其他可能剖面还有加拿大和土耳其等地)	首选: FAD of <i>Misikella posthernsteini</i> 辅助: FO of <i>Paracochloceras suessi</i>
		~208.5	候选:加拿大Black Bear Ridge和意大利Pizzo Mondello	FAD of <i>Stikinoceras kerri</i> 或FAD of <i>Metapolygnathus echinatus</i>
	诺利阶 Norian	~227		
	卡尼阶 Carnian	~237	层型:意大利Prati di Stuares	首选: FAD of <i>Daxatina canadensis</i> 辅助: FO of <i>Paragondolella polygnathiformis</i>
中统	拉丁阶 Ladinian	~242	层型:意大利Bagolino	首选: FAD of <i>Eoprotrachyceras curionii</i> 辅助: LO of <i>Budurovignathus praehungaricus</i>
	安尼阶 Anisian	247.2	候选:罗马尼亚Desli Caira(其他可能剖面还有中国贵州和俄罗斯South Primorye等地)	首选: FAD of <i>Chiosella timorensis</i> 辅助: <i>Paracrochordiceras-Japonites</i>
下统	奥伦尼克阶 Olenekian	251.2	候选:印度Mud(其他剖面还有中国巢湖平顶山西和俄罗斯远东地区等)	首选: FAD of <i>Neospathodus waageni</i> 辅助: <i>Flemingites-Euflemingites</i>
	印度阶 Induan	252.17 ±0.06	层型:中国煤山D剖面	FAD of <i>Hindeodus parvus</i>

图 2 国际三叠纪年代地层划分及界线层型研究现状

Fig.2 International Triassic stratigraphic division and stage boundary stratotypes
FAD,First Appearance Datum; FO,First Occurrence; LO,Last Occurrence
界线年龄引自 2014 年版国际年代地层表(<http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2014-02>)

地层界线层型的选定上.

2 三叠纪年代地层界线层型

虽然国际地层委员会曾要求各断代分会尽可能于 2008 年完成全部年代地层界线层型剖面 and 点(GSSP,即俗称的“金钉子”)的选定工作,但是到目前为止,在三叠系 7 个阶中,仅完成了 3 个阶的 GSSP 选定工作.究其原因,一方面是全球各地同期地层形成的环境相差显著,正如早年关于年代地层划分方案在各地存在明显的分歧一样,要在各个地区寻求一个统一的界线划分标准一直是相关科学工作者长期争议的难题.另一方面,早年关于三叠系各阶建立的方案主要是基于菊石生物地层的研究,但在进一步的 GSSP 精细刻划和国际对比中发现,菊石化石在许多方面存在明显的局限性,因此也给各 GSSP 的选定带来了难度.

三叠系底界,即印度阶底界 GSSP 是三叠系中建立的第一个“金钉子”,也是国际上各 GSSP 选择难度最大者之一.该界线的 GSSP 有两大独特之处,一是作为界线定义首选标志未采用传统的菊石化石,而是选择了对界线地层定义更精确、更具有广泛地层对比意义的牙形石(Yin *et al.*, 2001),这对后期三叠系其他各界线层型的确定提供了重要示范(当前三叠系中其他尚未最后确定 GSSP 的界线都涉及这类问题,见图 2);二是由于该界线所标定的

地质时期与显生宙历史上最大的生物灭绝事件在时间上有直接联系,因此在本界线层型确定后,以层型剖面,即浙江煤山剖面为参照标准的有关地层、古生物和重大突变期生物—环境事件的研究一直未间断,并在不断取得新的重要成果.例如煤山层型剖面二叠系—三叠系界线地层的牙形石生物地层建带不断精细化(Jiang *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2007),并成为国际地层对比中判别各沉积区地层序列完整性的客观标志(Sun *et al.*, 2012a; Jiang *et al.*, 2014);界线同位素定年分辨率和定年精度逐步提高,并达到前所未有的精度(Mundil *et al.*, 2004; Shen *et al.*, 2011; Burgess *et al.*, 2014).与此同时,由于精确的界线地层对比,使得全球不同地质环境背景下的二叠纪—三叠纪突变期各类生物环境事件得以在统一的时间尺度上进行研究,从而让人们对该重大地质事件的演变过程和作用机制有了更加深入的认识(Shen *et al.*, 2011; Song *et al.*, 2013; Yin *et al.*, 2014),真正达到了 GSSP 的科学目的.

三叠系已经建立的另外 2 个 GSSP 分别是拉丁阶和卡尼阶的底界,它们均被确定在其源产地阿尔卑斯地区,且首选标志化石也是菊石.其中,拉丁阶底界的“金钉子”也经历了一个比较漫长的选择过程,最后的选择主要集中在意大利 Bagolina 剖面的 *Eoprotrachyceras currioni* 和匈牙利 Balaton 剖面的 *Reitziites reitzi* 之间.最终投票选择的结果是意大利剖面,即以菊石 *Eoprotrachyceras currioni* 带

的底部作为安尼阶—拉丁阶的界线,同时指明在该剖面上其与牙形石 *Budurovignathus praehungaricus* 的末现位置 (Last Occurrence, 简称 LO) 基本一致 (Brack *et al.*, 2005), 从而有利于提升其地层划分精度和区域对比能力。不过, 这些作为界线定义首选和辅助标志的化石, 在中国还没有被发现。

卡尼阶底界的 GSSP 于 2008 年被最后选定, 位于意大利 Prati di Stuores/Stuores Wiesen 剖面, 以菊石 *Daxatina canadensis* 首现点 (First Appearance Datum, 简称 FAD) 作为界线标志, 同时指出牙形石 *Paragondolella polygnathiformis* 在该剖面上的首现位置 (First Occurrence, 简称 FO) 与其相当 (Mietto *et al.*, 2012)。由于作为该界线层型竞争的候选剖面最后只有一个, 因此意大利的剖面最后入选。但由于传统卡尼阶底界是置于菊石 *Trachyceras aon* 带之底, 后来在 Stuores Wiesen 剖面上发现于 *Trachyceras aon* 带之下与拉丁阶 *Frankites regoledanus* 带之间还有约 200 m 含 *Trachyceras* 的地层, 因而 Mietto *et al.* (2012) 提出以该地层中的菊石 *Daxatina canadensis* 作为界线标志, 并得到该界线委员会专家的认可。虽然目前作为界线标志的菊石化石分布有限, 但作为界线辅助标志的牙形石 *Paragondolella polygnathiformis* 却有比较广泛的分布, 包括中国在内的世界许多地区都已被发现, 因而可以作为参照物进行界线标定和对比 (孙作玉等, 2005; 王红梅等, 2005)。

在三叠系其他 4 个尚未选定界线层型的阶中, 奥伦尼克阶和安尼阶的底界所获得的研究结果比较多, 且基本上趋于成熟可以进行层型确定。相对来说, 诺利阶和瑞替阶的研究工作起步较晚, 作为层型确定还有更多工作需要做。2007 年国际印度阶—奥伦尼克阶界线工作组 (原写为 Induan-Olenekian Working Group, 简称为 IOBWG, 现国际地层委员会统一将 Working Group 改为 Task Force。故该界线工作组简称为 IOBTF) 对奥伦尼克阶界线层型进行了投票表决。投票内容主要包括两方面, 一是首选界线标志化石, 二是界线层型剖面。第一轮投票结果是大多数学者同意以牙形石 *Neospathodus waagei* 的首现点 (FAD) 作为界线标志, 但是两个层型候选剖面 (即中国的巢湖平顶山西和印度的斯匹提 Mud) 都没有达到要求的 60% 赞成票, 于是该 GSSP 未能及时确定。随后经过一段时期争议和讨论之后, IOBTF 对层型剖面进行了第二次投票。二次投票结果, Mud 剖面刚好超过 60% 赞成票, 故 Mud 剖面被

IOBTF 作为奥伦尼克阶底界层型剖面提交 STS 进行再次投票表决。然而, 由于 Mud 剖面位于青藏高原南部喜马拉雅山南侧高海拔地区, 工作条件比较艰苦, 每年适合进行野外考察和研究的时间也不多, 因此该剖面有关地层研究工作深度不够。鉴于对该剖面研究工作存在争议, 在 STS 投票委员会进行表决确定之前, STS 提请相关剖面研究者提供其进一步的工作报告, 于是有关学者对该剖面进行了再次研究。新的研究表明, 作为界线首选标志的牙形石 *Neospathodus waagei* 的实际首现位置 (FO) 较先前报道的层位要下移 1 m 左右 (Orchard, 2010), 而且该层位是夹于一大套页岩中的一个薄灰岩层。由于在页岩中进行牙形石分析比较困难, 因此在 Mud 剖面上实际不可能以牙形石来标定印度阶—奥伦尼克阶的界线。因此, 时至今日 STS 一直未能对 Mud 剖面进行再次投票表决。

安尼阶的底界研究工作进展很慢, 十多年前罗马尼亚的 Desli Caira 剖面就被作为其唯一的候选层型剖面提出。早年的主要争议是关于界线首选标志的问题, 即在菊石和牙形石标准之间选择, 后来多数学者建议以牙形石 *Chiosella timorensis* 的首现点作为该界线标志。但是, 界线工作组一直没有积极地推动该界线层型的相关工作, 因此时至今日, 该界线层型未能选定。事实上, 作为该界线标志牙形石 *Chiosella timorensis* 的分布是比较广泛的, 包括中国南方在内的世界上同期碳酸盐岩相地层中都有发现 (Orchard, 2010), 尤其在中国贵州关刀剖面上, 不仅该化石及其上下相邻地层中的牙形石化石丰富 (王红梅等, 2005), 而且还有火山黏土锆石测年数据 (Lehrmann *et al.*, 2006) 已被国际地质年表所采用, 但当前该剖面尚未被提交国际界线委员会讨论。

诺利阶和瑞替阶界线层型工作起步较晚, 均始于 21 世纪初, 当时国际地层委员会要求于 2008 年前完成所有 GSSP 的选定工作。由于这两个阶的研究基础相对比较薄弱, 且研究区域和研究队伍相对有限, 尽管在 2000 年后 STS 一直给予最大力度的推进, 但短时期很难取得满意的结果, 直到今日还未能达到 GSSP 表决的条件。不过, 在这期间, 相关地层界线工作也有前所未有的重要进展。目前诺利阶底界层型主要集中在意大利西西里和加拿大不列颠哥伦比亚两条剖面竞争上, 界线标志在菊石 *Stikinnoceras kerri* 与牙形石 *Metapolygnathus echinatus* 之间选择; 瑞替阶底界层型已于 2010 年前通过界线工作组投票确定以牙形石 *Misikella posthernsteini*

作为界线层型定义首选标志,并且基本上将奥地利 Steinbergkogel 剖面作为当前唯一候选层型剖面。根据当前 STS 动作趋势,这两个界线层型有可能会在近期进行投票表决。

根据多年来三叠系界线层型研究和选定的过程和结果,当前三叠系 GSSP 工作可以总结出一些重要现象:

(1)破则立、不破则难。如果不打破传统的以菊石作为三叠系底界定义标准的观念,二叠系—三叠系界线 GSSP 恐怕到现在也难以确定下来。因为菊石虽然具有很重要的年代地层学价值,但其古地理区域局限性显著,尤其是传统作为三叠系底界的菊石 *Otoceras* 是凉水型生态类群(殷鸿福等,1988),因此其年代地层学价值明显不如具有较广泛地理分布且年代地层意义更加突出的牙形石动物化石。事实证明,以牙形石 *Hindeodus parvus* 为标志的二叠系—三叠系界线是当前最成功的年代地层界线层型定义标志之一,至少在三叠系各年代地层界线标志中,目前还没有一个能够像其一样可以进行最大区域全球界线地层精确对比的标志物。也正因为如此,此后与二叠系—三叠系界线年代地层对比相关的科学研究工作不断取得新的重要进展和成果,例如该重大突变期生物演化事件和过程的认识(Song *et al.*, 2013),突变期环境事件的认识(Yin *et al.*, 2012),突变期微生物岩(Wang *et al.*, 2005)等等,不胜枚举。相反地,仍坚持以传统菊石作为首选标志的界线层型,其推广应用价值则受到显著影响。例如拉丁阶的底界,虽然有类似于三叠系底界一样长达近 20 年的争议和遴选过程,但其真正推广应用基本上还未超出其定义和原候选剖面研究区域;卡尼阶底界的扩展对比,当前最有用的是其辅助标志牙形石 *Paragondolella polygathiiformis* (尤其在中国,当前还没有有关菊石化石报道,而该牙形石在同期地层中基本上都能找到)。实际上早年三叠系年代地层划分中关于瑞替阶地位争议的问题也是对传统菊石生物地层价值问题的讨论,因为当时反对该阶地位的主要依据是其没有确切的菊石作为阶的划分标志(Tozer, 1984)。经过 STS 十多年的讨论后,这种思想被推翻,从而使得瑞替阶的地位被确立,但这也使得该阶界线层型研究工作大为滞后。同样地,安尼阶底界层型工作也可能是因为受到菊石标志被牙形石所取代而使得 GSSP 的工作受到一定影响。当前奥伦尼克阶底界的工作也正经历着同样的困难。虽然牙形石 *Neospathodus waageni* 已被 IOBTF 多

数学者表决选定为 GSSP 定义首选标志,但因其与一些具有传统思想的菊石工作者在思想上有矛盾,因此出现了投票偏差,而且他们当前正在努力修改该界线标志。

(2)投票表决是解决争议的“民主”办法,但其结果不一定代表科学真理。国际年代地层界线层型的确定采取的是有关委员会投票表决来“民主”决定的。虽然程序中有多级投票和最终确认的过程,但最关键的是第一级界线工作组的投票。从当前各界线工作组的运作方式和投票结果来看,这可能是几级投票中最可能产生问题的环节。首先,界线工作组的产生有时并不完全具有“民主”产生程序,其中工作组组长的作用最为重要;其次,投票成员中既包含有工作的直接参与者,也有工作利益关系者,而且有时还有“结派合作”者。因此,仅根据票决有时会出现结果偏离科学的现象。

(3)界线层型的正确选择,必须建立在深入科学研究的基础上。虽然国际地层委员会曾经为全球界线层型的确定提出了一个时间表,其大大推动了 GSSP 选定工作的进程,但是有些 GSSP 却由于选定工作进行匆忙,在确定后不久即出现问题。典型的例子如志留系底界 GSSP 的选择过程及仓促确定后产生的重要问题(戎嘉余等,2004)。在三叠系的 GSSP 选定过程中也出现了类似的情况。例如在印度阶—奥伦尼克阶界线工作组进行奥伦尼克阶底界投票表决时,印度的 Mud 剖面由于缺少深入系统的研究,仅凭为数不多的初步工作结果,就被界线工作组初选为该界线的 GSSP。但在遭到学者质疑后,仅再做一次工作就发现先前建议的界线位置是完全错误的,从而造成自 2008 年以来 STS 无法进行第二轮投票表决的尴尬局面。当前三叠系的诺利阶和瑞替阶由于其研究历史较短、参与研究人员也十分有限,如果界线工作组匆忙将其底界的 GSSP 在近期确定下来,可能也会出现类似的情况。

3 中国三叠纪年代地层建阶

鉴于国际年代地层划分和年代地层界线层型中存在的问题以及中国地质记录的特殊性,同时也为及时推进中国地层学的研究和服务于相关基础地质调查及科学研究工作,在筹备 2000 年召开的第三届全国地层大会期间,全国地层委员会组织专家提出了一套以中国地质记录为核心,着重服务于我国地层和地质研究的中国年代地层划分和建阶方案(全

国地层委员会,2002).在此之后,我国地层学工作者以此为核心,广泛开展工作,极大地推进了我国的年代地层学研究,并在此领域取得了一批前所未有的新成果和新进展.但与国际年代地层学研究工作一样,建立一套科学标准方案是需要时间和大量的科学积累及应用实践才能逐步接近科学本质的.十多年来,围绕中国年代地层建阶,全国地层工作者进行了大量科学研究和实践探索,不断完善中国年代地层建阶方案,其中最重要的工作进展体现在 2012 年向第 34 届国际地质大会提交的《中国地层表》(试用版)(中、英文版)和当前正在印刷中的《中国地层表说明书》.

三叠纪是中国地质历史演变的一个重大转折时期,印支运动导致中国南方主体地层记录发生了从海到陆的重大转变.中国的三叠纪地层序列兼有海相和陆相,而海、陆相地层对比是当前最重大的国际地层学难题.当前国际年代地层划分体系主要是在海相地层中进行的,但中国中生代以后的沉积地层主体为陆相.因此,在全国地层委员会主持完成的中国年代地层建阶方案中,中国的侏罗纪及以后均以陆相地层来建阶,而三叠纪及以前的地层均以海相地层来建阶.但三叠纪时期,中国北方大部分地区的地质记录为陆相沉积,其与海相地层记录目前还没有找到好的对比方法,因此虽然在《中国地层表》中使用的是海相地层建阶方案,专家们同时还提出了一套中国陆相地层建阶方案(图 3).经过十多年来的建阶研究和实践应用,中国的三叠系建阶方案也在不断得到改进和完善,下面就该建阶方案及其主要进展作简要介绍.

(1)中国三叠纪年代地层划分尽量与国际地层

划分方案保持对应,但确切的对比关系绝大部分需要进一步的工作.中国的建阶名称和层型地的选择主要考虑了两方面的因素,一是地层发育的代表性,二是研究工作的深入程度,尤其是对国际建阶的贡献等.中国海相三叠系主要分布于华南和青藏高原地区,因此其建阶方案中,下三叠统两个阶源自研究基础最好的下扬子地区,中三叠统源自地层发育较完整的上扬子区南缘,上三叠统依据的是稳定台地相的西藏南部印度板块北部较完整的地质记录.中国陆相三叠系分布于中国北方广大地区,除底部吉木萨尔阶(原称大龙口阶)源自于作为国际陆相二叠系—三叠系界线辅助层型候选剖面之一的新疆吉木萨尔大龙口剖面外,其余 6 个阶均选自地层序列发育较完整且研究基础相对较好的华北地台西部鄂尔多斯沉积盆地(图 3).

(2)除少数阶外,早期阶名称的选择主要依据的是层型剖面上具有代表性的岩石地层单元的名称转化而来.但在后来的实践应用中,有时会出现其与岩石地层单元混淆的情况.尤其是因为大多数阶尚未得到较好的研究和定义,在非专业从事地层研究的人员中常常出现将两者混为一体的情况.近年来,许多学者提出要对这些“重名”年代地层单位进行修改,以利于其他从业者更好地理解和应用,而且其也符合地质学中通常遵守的“优先律”原则.于是在新近出版的《中国地层表》中对这些阶的名称大部分进行了修改和重命名.在三叠系中,所有与岩石地层单位重名的阶名都被进行了修改,其中殷坑阶底界因其 GSSP 位于层型剖面上,因此直接采用了国际阶的名称.其他阶的界线因与国际 GSSP 关系目前还不清楚,故均采用中国阶名.

统	中国海相阶	层型剖面	中国陆相阶	层型剖面	对应国际阶
上统	佩枯错阶(土隆阶)	西藏聂拉木土隆	子长阶(瓦窑堡阶)	陕西铜川漆水河	瑞替阶
			延长阶(永坪阶)		诺利阶
	亚智梁阶		漆水河阶(胡家村阶)		诺利阶
中统	新铺阶(待建)	贵州罗甸关刀	金锁关阶(铜川阶)	陕西铜川金锁关	拉丁阶
	关刀阶(青岩阶)		吴堡阶(二马营阶)	陕西吴堡张家塬	安尼阶
下统	巢湖阶	安徽合肥巢湖	府谷阶(和尚沟阶)	陕西府谷高石崖	奥伦尼克阶
	印度阶(殷坑阶)	浙江长兴煤山	吉木萨尔阶(大龙口阶)	新疆吉木萨尔大龙口	印度阶

图 3 中国三叠系建阶方案

Fig.3 Scheme of the Chinese Triassic chronostratigraphy

中国海相和陆相阶名中,括号内的阶名均为早期曾使用过的名称,后因其与岩石地层单元同名而建议被废弃

(3)自提出中国年代地层建阶方案后,全国地层委员会就组织全国地层学工作者全力开展中国建阶研究和推广应用工作,并不断取得重要进展.至2013年第四届全国地层大会时,绝大部分阶都得到初步研究.然而,如同国际年代地层界线层型研究工作一样,要进行完整的年代地层单位的定义,这些工作才只是一个初步的开始,还有大量进一步的工作需要从专业研究、实践实用等角度展开.在三叠系各阶中,陆相地层除底部的吉木萨尔阶有一定的研究基础外,其他各阶基本上还没有针对性的建阶研究.海相阶都或多或少得到了一些研究,但以印度阶和巢湖阶研究较为深入.煤山剖面是印度阶底界的全球层型,近年来该剖面上的各项研究工作仍在不断深入开展,各种地层界线标志不断被揭示并得以深入研究,而且其区域甚至全球对比都得以广泛应用(童金南等,2014),成为全球界线层型研究的典范.巢湖阶是近年来三叠系各阶中获得研究最多且深入的中国阶,在争取奥伦尼克阶国际年代地层界线 GSSP 工作中,安徽巢湖剖面得以比较全面而系统的研究(童金南等,2005a,2005b; Tong and Zhao, 2011).关刀阶原称为青岩阶,原层型地选在贵州贵阳青岩,后因城镇建设使得原命名剖面难以做进一步研究工作,故需要重新选择层型剖面.贵州望谟甘河桥剖面不仅有很好的生物地层控制(姚建新等,2004),而且也有同位素测年研究(王彦斌等,2004),因此具有较好的建阶条件.但同样地贵州罗甸关刀剖面同期地层也发育完整且获得了深入研究,并有较大的国际影响(Payne *et al.*, 2004; Song *et al.*, 2011, 2012; Sun *et al.*, 2012b),而且其下、中三叠统界线处的测年数据(Lehrmann *et al.*, 2006)已被新的国际地质年表所采用,该剖面也具备竞争国际安尼阶底界 GSSP 的条件,因此后来被选为关刀阶的层型剖面.新铺阶系北京大学研究小组在全国地层委员会建阶项目支持下所建立,名称源自于贵州关岭新铺,该地区发育有著名的“关岭生物群”(汪啸风等,2003),但是没有建阶时期(对应国际拉丁期)地层研究工作报道.因此,根据同期地层的发育特点和研究工作进展,该阶的层型剖面被选定在贵州罗甸关刀剖面.该剖面牙形石研究工作相对比较深入(王红梅等,2005),也与关刀阶为同一层型剖面,便于以后进一步开展研究工作.上三叠统两个阶均来自于当时印度板块的喜马拉雅地区西藏聂拉木土隆剖面,是我国同期海相地层中发育最为完整和研究基础最好的.但由于工作条件的限制,相关建阶研究工作才刚

刚起步.陆相三叠系各阶中除吉木萨尔阶以外,其他各阶的工作均还未开展.

总体来看,中国三叠系建阶方案虽已落实,但各阶定义和推广使用工作才刚刚起步,还有大量工作急需展开.尤其当前国际三叠系多数阶的 GSSP 确定中面临很大争议,包括一些已经确定下来的 GSSP 也很难在中国采用,因此尽快完善中国的建阶方案不仅是我国相关地质研究工作的迫切要求,而且对于国际年代地层学研究也会起到重要的推动作用.当前印度阶底界 GSSP 已经落实在中国,且对国际 GSSP 研究起到了很好的示范带头作用;奥伦尼克阶(对应中国的巢湖阶)底界的 GSSP 还要从科学研究和科学观念上开展国际工作,争取更多国际学者的支持;安尼阶(关刀阶)的底界 GSSP 中国剖面也有竞争力,但急需有针对性地开展研究和与国际相关界线工作取得联系,加入国际竞争行列;拉丁阶(新铺阶)和卡尼阶(亚智梁阶)底界的 GSSP 虽然已经确定,但这两条界线的首选标志在中国很难应用,主要原因是我国同期地层研究没有加入到国际相关组织,从而没有得到国际学者的重视.同样地,诺利阶和瑞替阶(佩枯错阶)虽然在中国能够研究的区域比较有限,但藏南地区同期地层发育比较完整,作为界线标志的地质记录也十分完好,应该对这两阶界线的定义具有重要作用.而且国际上这两阶界线层型研究历史也不长,其研究成熟度也不高,如果中国相关工作能够及时跟上,也可为相关工作作出贡献.

三叠系陆相建阶工作目前在国际上还没有提出来,中国的工作可谓有开创性.不过,我们虽然提出了方案,但真正的建阶工作基本上还没有展开.当然,一方面是海相建阶工作还没有完成,甚至多数阶的工作还没有达到预想的效果;另一方面,海、陆相地层对比是当前面临的最大难题,因此如何开展陆相建阶研究还需要进一步探讨.但中国具有得天独厚的同时发育有较为完整的海、陆相三叠纪地层记录,因此中国及其三叠系可能是国际上能够突破这一难题的关键地区和关键地质记录.当前海、陆相二叠系—三叠系界线,即三叠系底界的对比研究已经有了大量探索性研究,并可望在近期就会取得重要突破.同样地可以预期,在不远的将来,其他三叠系各阶的海、陆相对比研究也将成为新的科学重点.

References

Brack, P., Rieber, H., Nicora, A., et al., 2005. The Global

- Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Ladinian Stage (Middle Triassic) at Bagolino (Southern Alps, Northern Italy) and Its Implications for the Triassic Time Scale. *Episodes*, 28(4): 233–244.
- Burgess, S. D., Bowring, S., Shen, S. Z., 2014. High-Precision Timeline for Earth's Most Severe Extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9): 3316–3321. doi: 10.1073/pnas.1317692111
- Jiang, H. S., Lai, X. L., Luo, G. M., et al., 2007. Restudy of Conodont Zonation and Evolution across the P/T Boundary at Meishan Section, Changxing, Zhejiang, China. *Global and Planetary Change*, 55(1–3): 39–55. doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.06.007
- Jiang, H. S., Lai, X. L., Sun, Y. D., et al., 2014. Permian-Triassic Conodonts from Dajiang (Guizhou, South China) and Their Implication for the Age of Microbialite Deposition in the Aftermath of the End-Permian Mass Extinction. *Journal of Earth Science*, 25(3): 413–430. doi: 10.1007/s12583-014-0444-4
- Lehrmann, D. J., Ramezani, J., Bowring, S. A., et al., 2006. Timing of Recovery from the End-Permian Extinction: Geochronologic and Biostratigraphic Constraints from South China. *Geology*, 34(12): 1053–1056. doi: 10.1130/G22827A
- Mietto, P., Manfrin, S., Preto, N., et al., 2012. The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Carnian Stage (Late Triassic) at Prati di Stuares/Stuares Wiesen Section (Southern Alps, NE Italy). *Episodes*, 35(3): 414–430.
- Mundil, R., Ludwig, K. R., Metcalfe, I., et al., 2004. Age and Timing of the Permian Mass Extinctions: U/Pb Dating of Closed-System Zircons. *Science*, 305(5691): 1760–1763. doi: 10.1126/science.1101012
- Orchard, M. J., 2010. Triassic Conodonts and Their Role in Stage Boundary Definition. *Geological Society, London, Special Publications*, 334: 139–161. doi: 10.1144/SP334.7
- Payne, J. L., Lehrmann, D. J., Wei, J. Y., et al., 2004. Large Perturbations of the Carbon Cycle during Recovery from the End-Permian Extinction. *Science*, 305(5683): 506–509. doi: 10.1126/science.1097023
- Rong, J. Y., Chen, X., Fan, J. X., et al., 2004. Restudy of Two Silurian GSSPs: The Base of the Silurian and the Base of the Wenlock Series. *Professional Papers of Stratigraphy and Paleontology*, (28): 41–60 (in Chinese with English abstract).
- Shen, S. Z., Crowley, J. L., Wang, Y., et al., 2011. Calibrating the End-Permian Mass Extinction. *Science*, 334(6061): 1367–1372. doi: 10.1126/science.1213454
- Song, H. J., Wignall, P. B., Chen, Z. Q., et al., 2011. Recovery Tempo and Pattern of Marine Ecosystems after the End-Permian Mass Extinction. *Geology*, 39(8): 739–742. doi: 10.1130/G32191.1
- Song, H. J., Wignall, P. B., Tong, J. N., et al., 2012. Geochemical Evidence from Bio-Apatite for Multiple Oceanic Anoxic Events during Permian-Triassic Transition and the Link with End-Permian Extinction and Recovery. *Earth and Planetary Science Letters*, 353–354: 12–21. doi: 10.1016/j.epsl.2012.07.005
- Song, H. J., Wignall, P. B., Tong, J. N., et al., 2013. Two Pulses of Extinction during the Permian-Triassic Crisis. *Nature Geoscience*, 6(1): 52–56. doi: 10.1038/ngeo1649
- Stratigraphic Commission of China, 2002. Instruction to the Regional Chronostratigraphic Chart (Geologic Time Scale) of China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Sun, D. Y., Tong, J. N., Xiong, Y. L., et al., 2012a. Conodont Biostratigraphy and Evolution across Permian-Triassic Boundary at Yangou Section, Leping, Jiangxi Province, South China. *Journal of Earth Science*, 23(2): 311–325. doi: 10.1007/s12583-012-0255-4
- Sun, Y. D., Joachimski, M. M., Wignall, P. B., et al., 2012b. lethally Hot Temperatures during the Early Triassic Greenhouse. *Science*, 338(6105): 366–370. doi: 10.1126/science.1224126
- Sun, Z. Y., Hao, W. C., Jiang, D. Y., 2005. Conodont Biostratigraphy near the Ladinian-Carnian Boundary Interval in Guanling of Guizhou. *Journal of Stratigraphy*, 29(3): 257–263 (in Chinese with English abstract).
- Tong, J. N., Huang, Y. F., Liang, L., 2014. Early Triassic Biological-Environmental-Chronological Stratigraphy. *Earth Science Frontiers*, 21(2): 144–156 (in Chinese with English abstract).
- Tong, J. N., Zhao, L. S., 2011. Lower Triassic and Induan-Olenekian Boundary in Chaohu, Anhui Province, South China. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 85(2): 399–407. doi: 10.1111/j.1755-6724.2011.00408.x
- Tong, J. N., Zhao, L. S., Zuo, J. X., 2005a. Study on the Lower Triassic Yinkengian and Chaohuan Stages and Their Boundary. *Journal of Stratigraphy*, 29(Suppl. 1): 548–564 (in Chinese with English abstract).
- Tong, J. N., Zhao, L. S., Zuo, J. X., et al., 2005b. An Integrated Lower Triassic Sequence in Chaohu, Anhui Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(1): 40–46 (in Chinese with English ab-

- stract).
- Tozer, E. T., 1984. The Trias and Its Ammonoids; The Evolution of a Time Scale. Geological Survey of Canada, Ontario.
- von Alberti, F., 1834. Beitrag zu einer Monographie des Bunt-
en Sandsteins, Muschelkalks und Keupers und die
Verbindung dieser Gebilde zu einer Formation. Verlag
der J. G. Cotta'schen Buchhandlung, Stuttgart und Tue-
bingen.
- Wang, H. M., Wang, X. L., Li, R. X., et al., 2005. Triassic Co-
nodont Succession and Stage Subdivision of the
Guandao Section, Bianyan, Luodian, Guizhou. *Acta
Palaeontologica Sinica*, 44(4): 611—626 (in Chinese
with English abstract).
- Wang, X. F., Chen, X. H., Chen, L. D., et al., 2003. The
Guangling Biota—A Unique “Fossilagerstätte” in the
World. *Geology in China*, 30(1): 20—35 (in Chinese
with English abstract).
- Wang, Y. B., Liu, D. Y., Yao, J. X., et al., 2004. Age Determi-
nation of the Lower-Middle Triassic Boundary at
Ganheqiao, Wangmo, Guizhou Province. *Acta Geologica
Sinica*, 78(5): 586—590 (in Chinese with English ab-
stract).
- Wang, Y. B., Tong, J. N., Wang, J. S., et al., 2005. Calcimicro-
bialite after End-Permian Mass Extinction in South
China and Its Palaeoenvironmental Significance. *Chinese
Science Bulletin*, 50(7): 665—671. doi: 10.1360/98200
4—323
- Yao, J. X., Ji, Z. S., Wang, L. T., et al., 2004. Research on Co-
nodont Biostratigraphy near the Bottom Boundary of
the Middle Triassic Qingyan Stage in the Southern
Guizhou Province. *Acta Geologica Sinica*, 78(5): 577—
587 (in Chinese with English abstract).
- Yin, H. F., Jiang, H. S., Xia, W. C., et al., 2014. The End-Per-
mian Regression in South China and Its Implication on
Mass Extinction. *Earth-Science Reviews*, 137: 19—33.
doi: 10.1016/j.earscirev.2013.06.003
- Yin, H. F., Xie, S. C., Luo, G. M., et al., 2012. Two Episodes of
Environmental Change at the Permian-Triassic Bound-
ary of the GSSP Section Meishan. *Earth-Science Re-
views*, 115(3): 163—172. doi: 10.1016/j.earscirev.2012.
08.006
- Yin, H. F., Zhang, K. X., Tong, J. N., et al., 2001. The Global
Stratotype Section and Point (GSSP) of the Permian-
Triassic Boundary. *Episodes*, 24(2): 102—114.
- Yin, H. F., Zhang, K. X., Yang, F. Q., 1988. A New Scheme of
Biostratigraphic Delimitation between Marine Permian
and Triassic. *Earth Science—Journal of China Univer-
sity of Geosciences*, 13(5): 511—519 (in Chinese with
English abstract).
- Zapfe, H., 1983. Das Forschungsprojekt “Trias of the Tethys
Realm” (I. G. C. P. Project No. 4). Abschlussbericht. In:
Zapfe, H., ed., Neue Beiträge zur Biostratigraphie der
Tethys-Trias. Springer-Verlag, Wien, 5: 7—16.
- Zhang, K. X., Tong, J. N., Shi, G. R., et al., 2007. Early Triassic
Conodont-Palynological Biostratigraphy of the Meishan
D Section in Changxing, Zhejiang Province, South
China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeo-
ecology*, 252(1—2): 4—23. doi: 10.1016/j.palaeo.2006.
11.031

附中文参考文献

- 戎嘉余, 陈旭, 樊隽轩, 等, 2004. 志留系全球界线层型的“再
研究”——志留系底界与温洛克统底界. 地层古生物论
文集, (第二十八辑): 41—60.
- 全国地层委员会, 2002. 中国区域年代地层(地质年代)表说
明书. 北京: 地质出版社.
- 孙作玉, 郝维城, 江大勇, 2005. 贵州三叠系拉丁阶—卡尼阶
界线层牙形石生物地层. 地层学杂志, 29(3): 257—263.
- 童金南, 黄云飞, 梁蕾, 2014. 早三叠世生物—环境—年代地
层研究. 地学前缘, 21(2): 144—156.
- 童金南, 赵来时, 左景勋, 2005a. 下三叠统殷坑阶和巢湖阶及
其界线研究. 地层学杂志, 29(增刊1): 548—564.
- 童金南, 赵来时, 左景勋, 等, 2005b. 安徽巢湖地区下三叠统
综合层序. 地球科学——中国地质大学学报, 30(1):
40—46.
- 王红梅, 王兴理, 李荣西, 等, 2005. 贵州罗甸边阳镇关刀剖面
三叠纪牙形石序列及阶的划分. 古生物学报, 44(4):
611—626.
- 汪啸风, 陈孝红, 陈立德, 等, 2003. 关岭生物群——世界上罕
见的化石库. 中国地质, 30(1): 20—35.
- 王彦斌, 刘敦一, 姚建新, 等, 2004. 黔西南下—中三叠统界线
年龄. 地质学报, 78(5): 586—590.
- 姚建新, 纪占胜, 王立亭, 等, 2004. 贵州南部地区中三叠统青
岩阶底界附近牙形石生物地层学研究. 地质学报, 78
(5): 577—587.
- 殷鸿福, 张克信, 杨逢清, 1988. 海相二叠系、三叠系生物地层
界线划分的新方案. 地球科学——中国地质大学学报,
13(5): 511—519.