

文章编号 1001-8166(2001)06-0769-08

陆相二叠系—三叠系界线研究进展

彭元桥,殷鸿福,杨逢清

(中国地质大学地球科学学院,湖北 武汉 430074)

摘要 着重介绍了几个目前陆相二叠系—三叠系界线(TPTB)研究的重点剖面及其生物地层学研究进展,分析了陆相二叠系—三叠系界线综合地层学研究现状,包括生物地层学、事件地层学、同位素年代学、磁性地层学和层序地层学等,剖析了陆相二叠系—三叠系界线地层学研究中存在的问题及进一步的研究方向。生物地层方面,陆相二叠系—三叠系界线附近存在晚二叠世与早三叠世生物混生的层位,其中不同类别生物的时间界线常不一致,又由于陆相界线地层中含脊椎动物化石的层位一般较少,以脊椎动物化石(*Lystrosaurus*)为标准的精确界线常不确定,因而需重新寻找并确定陆相三叠系底界的标准化石。事件地层标志可能会成为连结海、陆相二叠系—三叠系界线地层高精度对比的纽带。

关键词 陆相二叠系—三叠系界线;生物地层;事件地层;磁性地层;层序地层
中图分类号 P534 **文献标识码** A

古、中生代之交是地史时期的一个重大转折期,生物界经历了一次重大的变革:发生了地史时期规模最大的生物绝灭事件。除此以外,这个时期的地层中还记录了其它的许多重大地质事件。因此,关于这段地史时期地质演变的内容、特点、规模及其起因,一直是地学界重视并致力探讨的重点课题之一。

海相二叠系—三叠系界线地层的研究进展顺利,其地层层序、海生生物群的变化以及地质事件的研究已相当详细,地层界线划分确切^[1]。自从殷鸿福等^[2]提出以 *Hindeodus parvus* 作为三叠系底界的标准化石以来,已获得国际上大多数二叠—三叠系界线工作者的支持。在国内外同仁的共同努力之下,全球海相二叠系—三叠系界线层型剖面 and 点(GSSP)已在中国浙江省长兴县煤山确立。

全球陆相二叠系—三叠系的分布并不亚于海相地层,然而,陆相二叠系—三叠系界线的研究并不像海相地层那么顺利,界线地层的划定也比海相地层困难且复杂得多。因此,一些界线地层工作者建议下一步要着重开展与海相地层对应的陆相二叠系—

三叠系界线地层的划分与对比工作^[3]。最近十几年,在国内外界线工作者的辛勤耕耘下,陆相二叠系—三叠系界线的研究取得了较大进展。

1 世界主要陆相二叠系—三叠系界线剖面及研究现状

1.1 中国新疆准噶尔盆地

中国地处特提斯区的东部,既是世界上海相二叠系—三叠系界线地层发育且研究深入的地区之一,同时也是世界上陆相二叠系—三叠系最发育的地区之一。陆相二叠系—三叠系广泛分布于我国昆仑山—秦岭一线以北的广大区域,其中,尤以准噶尔盆地发育齐全,沉积连续,出露良好,并含有丰富的孢子花粉、古植物、双壳类、介形虫、叶肢介、脊椎动物等化石,是研究和建立陆相二叠系—三叠系界线层型剖面的理想地区之一^[4-6]。该区吉木萨尔大龙口剖面是我国研究比较深入的陆相二叠系—三叠系界线剖面,一度成为陆相二叠系—三叠系界线层型

收稿日期:2001-01-15;修回日期:2001-04-16。

* 基金项目:国家自然科学基金重点项目“古、中生代之交的泛大陆聚散、古全球变化与生物演化”(编号:49632070)资助。

作者简介:彭元桥(1970-)男,湖北省黄陂县人,在读博士生,主要从事二叠系—三叠系界线地层研究。E-mail:diqushi@cug.edu.cn

的候选剖面之一^[7]。然而,1996 年发生的大龙口事件使该剖面争取界线层型的努力在国际上遭到强大阻力^[8]。

1.2 南非卡鲁盆地

南非卡鲁(Karoo)盆地的二叠系—三叠系博福特(Beaufort)群为克拉通内弧后前陆盆地沉积^[9]。其中古脊椎动物化石丰富,研究详细,该地的方头兽(*Cistecephalus*)带及水龙兽(*Lystrosaurus*)带分别与新疆的二齿兽动物群及水龙兽动物群相当^[4],也是陆相二叠系—三叠系界线地层研究的重要地区之一。由于大龙口事件,陆相二叠系—三叠系界线工作组现任主席决定将下一步的研究重点转移至本区^[8]。然而,该区在界线研究方面也存在许多不足,如其它方面的化石研究并不如古脊椎动物那么深入^[10],缺乏广泛的区域对比研究,仅利用古脊椎动物建立的区域生物地层年表还存在许多问题^[11]等。

1.3 俄罗斯地台

俄罗斯地台东部至乌拉尔的西坡是二叠系—三叠系发育的典型地区之一。该区鞑靼阶(Tatarian)产有丰富的以 *Palaeonodonta* 和 *Palaeomutela* 为特征的双壳类化石,与新疆仓房沟群下部有一些相同或相近的种^[4]。从卡赞阶(Kazanian)上部至鞑靼阶含有 *Darwinula parallela*, *D. Inornata*, *D. Elongata*, *Darwinuloides bugurulanica* 及 *Vymella* spp. 等介形虫化石,其上的维特鲁日阶(Vetugian)则产 *Darwinula rotundata*, *D. Triassiana* 分别是新疆泉子街组上部至锅底坑组及韭菜园组所产的同种或可以相比的化石^[4]。本区的脊椎动物化石丰富,研究详细。鞑靼阶中,既产有二齿兽科化石(如 *Dicynodon trantscholdi* 等),又产有锯齿龙科化石(如 *Pareisaurus vjatkensis* 等),前者可与新疆二齿兽动物群比较,后者则与华北的锯齿龙动物群特征一致。维特鲁日群产 *Lystrosaurus*, *Chasmosuchus* 等,同新疆的水龙兽动物群的面貌一致^[4]。该区莫斯科台洼具有完整的早三叠世地层剖面和化石记录,是建立全球陆相早三叠世地质年表最理想的候选剖面之一^[12]。

1.4 澳大利亚

澳大利亚的陆相二叠系—三叠系发育良好,连续的界线剖面主要分布在澳大利亚东部的鲍温(Bowen)盆地和悉尼(Sydney)盆地。鲍温盆地内,在孢粉化石研究的基础上,Foster^[13]划分出 4 个孢粉化石带(*Playfordiaspora crenulata*, *Protophaploxypinus microcorpus*, *Lunatisporites pellucidus*, *Protophap-*

loxypinus sam oilovichii) 根据组合特征及重要属种的比较,它们大体可同新疆仓房沟群的孢粉组合序列对比^[4],该盆地内发现的不完整的前棱蜥类和肯氏兽二齿兽类残骸与南非和南极洲的 *Lystrosaurus* 和 *Cynognathus* 动物群相似^[14]。悉尼盆地内,陆生植物化石丰富,研究详细,晚二叠世以 *Glossopteris* 植物群为主,早三叠世之以分异度低的石松类、针叶树等植物为主,具有广泛的区域对比意义^[15,16]。

2 生物地层研究进展

2.1 中国新疆吉木萨尔大龙口剖面

传统的二叠系—三叠系界线位于锅底坑组和非菜园组之间。由于水龙兽(*Lystrosaurus*)在锅底坑组顶部的发现,程政武^[17]认为锅底坑组顶部应划入下三叠统。刘淑文^[18]在该区二叠系—三叠系界线地层中建立了 3 个叶肢介化石组合带,从下往上依次为 *Polygrapta* 组合带(梧桐沟组上部与锅底坑组下部),*Falsisca-Cornia-Cyclotunguzites* 组合带(锅底坑组下、中部)和 *Falsisca-Cyclotunguzites* 组合带(锅底坑组中、上部和韭菜园组下部),通过海、陆相叶肢介化石的对比,她认为 *Polygrapta* 组合带属于晚二叠世,而 *Falsisca-Cornia-Cyclotunguzites* 组合带和 *Falsisca-Cyclotunguzites* 组合带属于早三叠世,因此,该区二叠系—三叠系界线应划在锅底坑组下、中部之间。该区孢粉化石的研究则表明二叠系—三叠系界线可能位于锅底坑组的中上部。综合生物地层学研究表明,其界线应划在锅底坑组上部^[4,6]。

2.2 俄罗斯西伯利亚地区

传统的陆相二叠系—三叠系界线被置于 *Tunguska* 阶灰白色含煤层沉积(含 *Cordaitanthales*)与 *Korvuntchanian* 阶灰绿色火山沉积(含古植代后期植物群 *Neokoretrophyllites*, *Cladophlebis*, *Acrostichides* 等)之间。然而最新的古生物证据表明,此界线位置偏低^[19],*Korvuntchanian* 阶的下部(*Tutontchanian* 阶)和中部(*Lebedevian* 层)的孢粉组合与二叠系 *Gagaryostrovia* 阶的孢粉组合十分相似,而且,在其中发现大量的叶肢介化石 *Rohdendorffium gennisi* nov., 该化石属是二叠系 *Gagaryostrovia* 阶叶肢介组合中的常见分子,*Korvuntchanian* 阶上部(*Hungtukunian* 层)的生物群组合与下面地层中的差别较大,其中的孢粉组合具有中植代的特征,但是,其中的叶肢介 *Echinolim nadia mattoxi* nov. 和 *Lealida* (为主), *Falsisca* 和 *Rohdendorffium* (少量)可与澳大利亚和俄罗斯新地岛(*Novaja Zemlya*)晚二叠世的叶肢介组合

对比;由此表明该地区的二叠系—三叠系界线应该向上挪。

2.3 陆相界线过渡层的发现及其意义

全球海相二叠系—三叠系界线地层的研究发现,二叠系—三叠系交界处存在一段化石混生的层位,二叠纪子遗分子和三叠纪新生分子混生,通常被称为过渡层、混生层或界线层。这段地层的研究为海相二叠系—三叠系界线的研究开辟了广阔的前景。同样,在越来越多的陆相二叠系—三叠系界线剖面上也发现了二叠纪、三叠纪陆生生物混生的过渡层。如我国新疆大龙口剖面:晚二叠世的二齿兽进入下三叠统底部与三叠纪标准化石水龙兽共生^[17],晚二叠世的孢粉 *Lueckisporites virkkiae*, *Protahaploxiplus samoilovichii* 与早三叠世的孢粉 *Lundbladispota watangensis*, *Taeniaesporites noviaulensis* 混生^[6],同时还发现二叠型的植物、双壳类、介形虫与三叠型的叶肢介等混生^[6]。在南非卡鲁盆地一段20 m厚的二叠系—三叠系界线过渡层中,脊椎动物 *Dicynodon* 与 *Lystrosaurus* 共生^[9]。Satpura 盆地的二叠系—三叠系界线 Almod 层中的孢粉组合反映了晚二叠世的基本面貌,尽管其中也出现了一些早三叠世的特征分子,如 *Goubinispora*, *Playfordiaspora*, *Lundbladispota* 等^[21]。在俄罗斯,传统观点认为鞑靼阶顶部与维特鲁日阶底部(含水龙兽 *Lystrosaurus* 的层)之间为不整合接触,最新研究发现,这种不整合接触并不具有全盆地一致性,在 Volga-Dvina 地区就存在二叠系—三叠系过渡性沉积特征^[20],该区维特鲁日阶底部发现的植物 *Tatarina* 为晚二叠世子遗分子,其中的大孢子 *Otonisporites eotriassicus* 则具早三叠世的特征,说明维特鲁日阶底部地层中的古生物具有晚二叠世与早三叠世混生的特征。陆相二叠系—三叠系界线过渡层的存在和发现,表明了陆相界线地层的连续性,无疑也将为陆相界线地层的研究提供充分的依据。

2.4 陆相二叠系—三叠系界线的划分

目前,公认陆相二叠系—三叠系界线划分的标准化石为脊椎动物化石水龙兽(*Lystrosaurus*)。水龙兽化石由于地质年限短、地理分布广,特别适用于远距离对比,以其首现作为早三叠世开始的标志具有广泛的对比意义。然而,由于含脊椎动物化石层位一般较少,导致精确陆相二叠系—三叠系界线不确定,一般在确切的二叠系和三叠系之间存在数十米的间隔。其中有时存在混生生物群,但由于生物群与海相 GSSP 不能对比,混生生物群中不同类别

的时代界线又常不一致^[6],界线究竟划在这几十米的哪个部位不确定。因此,需进一步开展陆相二叠系—三叠系界线综合生物地层序列的研究,并最终确定具有较高精度对比意义的划分陆相二叠系—三叠系界线的标准化石。

3 事件地层研究进展

3.1 生物事件

长期以来,二叠系—三叠系界线被看作是海洋生物历史的重要间断^[23],古、中生代之交的海生生物的大规模绝灭事件在古生物界已形成广泛的共识。目前,对于陆生生物在古、中生代之交的演化特征存在两种不同的观点:

(1) 从陆生植物和动物化石的最新统计来看,陆相二叠系—三叠系界线处并不存在重大的陆生生物绝灭事件^[16]。通过对孢子、花粉的研究,欧阳舒^[24]、Srivastava 等^[25]认为在晚二叠世—早三叠世的进程中,植物群的演变具有强烈的连续性。Vijaya^[26]也认为,二叠纪—三叠纪之交,陆生植物并没有发生大规模的绝灭事件,其中的变化只是一种高度的替代。Banerji^[27]认为二叠纪—三叠纪之交大型植物变化明显,但并不突然,是一次渐变过程,晚二叠世和早三叠世的植物在组成上有或多或少的相似性。对于陆生脊椎动物来说,它们在二叠系—三叠系界线上、下的面貌变化显著,但有混生现象^[5,17],Ochev^[28]将陆相二叠系—三叠系界线处脊椎动物的变化归咎于沉积相的变化,并认为真正脊椎动物的变化发生在早、中三叠世之间。

(2) 陆生生物在二叠系—三叠系界线附近的变化十分明显,同样存在大规模的生物灭绝事件。在中国北方,晚二叠世繁盛的安格拉植物群和南方的华夏植物群到二叠纪末期消失,早三叠世早期很少见到植物化石,到早三叠世晚期才出现一些单调的植物组合,如中国北方的 *Pleuromeia* 植物群,代表一个稀疏的旱生植物组合^[29]。在俄罗斯西伯利亚地区,晚二叠世植物化石相当丰富,早三叠世含水龙兽(*Lystrosaurus*)的层位却很少见到可靠的植物大化石记录,典型的早三叠世 *Pleuromeia* 植物群在其上部 Ryabian 段内才开始出现^[20]。在澳大利亚东南部悉尼盆地,陆生植物的变化也十分明显,在二叠系—三叠系界线处,植物群分异度和地方性种属突然减少,同时 *Glossopteris* 植物群消失,早三叠世植物的分异度仍然很低,以石松类和针叶树类为主,直到中三叠世,该区的植物群才得以重新恢复^[16]。Retallack

等^[30]认为,全球之所以普遍缺乏早三叠世的含煤地层,很大程度上与晚二叠世末造炭植物(peat forming plants)的绝灭有关。在以色列,浅海相二叠系—三叠系界线处通常可见一薄层粘土岩,其中含有大量的细菌残余物和炭化的陆生植物碎屑^[31],详细的定量孢子、花粉研究表明,晚二叠世占优势的裸子植物孢粉 *Lueckisporites virkiae* 带在界线粘土岩以下全部消失,代之以海相疑源类和大量石松类孢粉的出现为特征,是一次重大的孢粉间断^[31]。

以上两观点均认为二叠纪—三叠纪之交陆生生物界同海洋生物界一样也发生了巨大的变化,只是在演化方式上存在分歧——是替代关系还是绝灭与新生的关系。总体上,我们趋向于后一种观点,古、中生代之交的生物事件并非仅仅局限于海洋生态系统,陆生生物界也遭受了前所未有的强大打击。从此,陆生生物系也得以重组,并最终完成了从古植代向中植代的转变^[32]。

3.2 真菌事件

Visscher 等^[33]在阿尔卑斯南部、以色列以及欧洲其它许多地区、北美、亚洲、非洲和澳大利亚等地区的陆相二叠系—三叠系界线地层(通常在二叠系的顶部)中发现了一次全球性的真菌事件,这次事件以真菌 *Tympanicysta* 及其它类型真菌的广泛扩散为特征,并且跨越不同的沉积环境、不同的植物分区和气候分带,且可与陆相二叠系—三叠系界线处其它的古生物和地球化学证据对比。这次真菌事件反映了一次主要的陆地生物危机^[31],是陆相生态系统一致性陨落标志,反映了同时期发生的陆相生物大绝灭事件。Visscher 等^[33]认为这次真菌事件可能是由于西伯利亚大规模的火山爆发导致的大气严重污染造成的。而 Krassilov 等^[34]则认为真菌 *Tympanicysta* 的上升可能与晚二叠世末的全球海进事件导致地下水位的上升和河流的广泛分布有关。晚二叠世末,火山事件和全球海进事件均有发生,究竟是什么原因造成了这次真菌在地层中的高度集中事件还有待作进一步的研究。中国陆相二叠系—三叠系界线处也不例外,在华北,不少裸子植物残体中有菌类遗迹,许多种子的表面因真菌寄生而布满小瘤^[35]。因此,真菌事件可能是陆相二叠系—三叠系界线高精度区域对比的良好标志之一。

3.3 火山事件

古、中生代之交存在广泛强烈的火山活动^[36]。全球二叠系—三叠系界线处存在两种类型的火山活动的证据:基性火山岩的大规模喷溢。泛大陆形

成期间,在西伯利亚和南非两地相继爆发了规模巨大的陆内玄武岩活动^[23,37];在西伯利亚,二叠纪—三叠纪之交发育大规模的基性喷发岩——通古斯暗色岩面积达 $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ ^[38], Puchkov 报导在乌拉尔存在与西伯利亚相似的二叠系—三叠系界线处暗色岩喷溢。除了大规模的火山熔岩的发现外,全球海相二叠系—三叠系界线处普遍发育与火山事件有关的界线粘土岩。殷鸿福等^[38]报导华南海相二叠系—三叠系界线处广泛发育的火山事件粘土岩及其广泛的对比意义。在伊朗 Abadeh 剖面^[39]和东 Elburz Gheshlagh 剖面^[40]上,假定的二叠系—三叠系界线处也都存在一个粘土岩层。在巴基斯坦 Salt Range 地区的 Mammal 剖面上,杨基瑞等^[41]在 Chhidru 组白色砂岩之上发现了一层不稳定的厚约 30 cm 的粘土岩层。在西藏龙剖面二叠系—三叠系生物地层界线以下 6 ~ 17 cm 处也存在一个粘土岩层,该层粘土岩被认为是一个间断的标志。Zakharov 报导了俄罗斯远东的南滨海区上二叠统最顶部发现酸性凝灰岩及火山灰层。以上界线粘土岩存在高精度的事件地层对比意义^[41]。王尚彦^[42]发现在我国黔西滇东地区陆相二叠系—三叠系界线处也存在与火山作用有关的界线粘土岩层,且分布稳定,可能是华南海、陆相二叠系—三叠系事件地层界线对比的良好标志。

总体看来,这一时期火山活动具有全球性,经过进一步研究,界线粘土岩层可能成为海、陆相二叠系—三叠系界线对比的良好事件标志层,其等时意义可能会超过单纯海、陆相生物地层的对比。

3.4 外星体撞击事件

除火山成因说外^[38],也有人认为海相二叠系—三叠系界线粘土层的成因与外星体撞击事件有关^[42]。周瑶琪等^[43]认为界线粘土层中发现的大量微球粒具有双重成因——透长石、铬尖晶石和金红石质微球粒可能与地外撞击事件有关,磷灰石和有机质微球粒则可能与生物作用有关,而铁质微球粒则既可能与撞击事件有关,也可能与火山作用有关。王尚彦^[42]也认为滇东黔西陆相二叠系—三叠系界线粘土岩为双重成因,其中的六方双锥石英、锆石、磷灰

Program and abstracts of Pangea Conference, Carboniferous to Jurassic, Calgary, Canada, 1993.

杨基瑞,李昌舜. 盐岭地区二叠—三叠系界线剖面野外地质考察报告. 中国地质科学院, 1987. 1-4.

王尚彦. 滇东黔西陆相二叠—三叠纪界线地层研究. 中国地质大学博士学位论文[D] (文中以下引用者均同此).

石等为火山事件成因,其中发现的“透明玻璃硅质球”和“黑色非晶质球”则可能与撞击事件有关。

不管界线粘土岩层的成因如何,其全球分布的广泛性及等时意义无疑为海相、陆相及海陆相二叠系—三叠系界线的划分和对比提供了广阔的前景。

3.5 其它事件

王自强^[44]通过对华北二叠系—三叠系红尘中陆相生态系统的研究认为,陆相生态系统的演化过程分三步:二叠纪生态系统的不断退化、晚二叠世末生态系统的崩溃(集群绝灭)和三叠纪生态系统的不断恢复和发展;并且认为整个生态系统的演化过程与环境的变化——全球沙漠化(半干旱型气候向干旱型气候的转变)息息相关。

4 同位素年代学研究进展

海相二叠系—三叠系界线处广泛发育有火山成因的界线粘土层,其中大量的锆石为同位素测年工作提供了有力的保证,目前,海相二叠系—三叠系界线处已测得高精度的同位素年龄值^[45,46]。陆相二叠系—三叠系界线处还未见有直接的测年值报导,主要的测年工作多集中在上三叠统。Retallack等^[15]利用澳大利亚和新西兰陆相早三叠世地层中的火成岩夹层,依据Ar-Ar法分别获得 237.0 ± 0.4 Ma和 242.8 ± 0.6 Ma的同位素年龄值,根据地层中的化石资料分析得出安尼阶的上界大约为244 Ma,并认为二叠系—三叠系界线的年龄值可能为251 Ma。这与海相二叠系—三叠系界线的同位素年龄值较一致^[45,46]。

王尚彦报导在中国贵州威宁哲觉和云南宣威密德剖面发现具有界线粘土层的陆相二叠系—三叠系界线地层序列,并在密德剖面上的粘土层中发现有锆石。目前,该剖面上的测年工作正在进行,直接测得的陆相二叠系—三叠系界线的同位素年龄值不久也将问世。

5 磁性地层研究进展

磁性地层学的依据是岩层中迄今保存着的地史时期岩层形成时地磁场的极性信息。由于这一信息具有全球同时性,其在地层的划分和对比中应占有一定的地位,磁性反转事件是全球性的地质事件之一,应该具有十分广泛的对比意义。因此,建立二叠系—三叠系界线极性年表(polarity time scale)会对这一时期的地层划分和对比提供高精度的时间框架,特别是将为缺乏生物控制的地层提供重要的对

比依据。然而,由于不同时期的地层中可能会出现相似乃至相同的磁性地层特征,因此,有生物地层控制的磁性地层划分才有意义。目前,海相二叠系—三叠系界线高精度地层对比的框架已基本确立^[42],并且伴随有大量的磁性地层研究。陆相地层中虽然还没有建立达成一致的具有高精度对比意义的二叠系—三叠系界线生物地层单位,但已开展了大量的磁性地层工作^[47,48]。目前,海、陆相二叠系—三叠系界线附近的古地磁研究结果,各地尚不一致。据统计以两种情况为主^[49],二叠系—三叠系界线位于正向极性带的下部,非常接近于极性反转事件(由负极性向正极性转变);二叠系—三叠系界线位于正向极性带的底部,与极性反转事件一致。近期多数研究指出二叠纪—三叠纪过渡时期处于混合极性巨带内,且二叠系—三叠系界线位于该混合极性巨带的正极性带内^[50]。二叠系—三叠系界线处还须进一步开展磁性地层的工作,尤其是陆相二叠系—三叠系界线的磁性地层工作,其磁性地层数据可能比海相地层的更可靠^[47]。

6 层序地层研究进展

层序地层学是基于海平面周期性变化而提出的确定沉积地层等时界面的一种方法,尽管它的理论体系仍然存在某些争议,但无疑已成为地质学领域确定等时界面和开展高精度地层对比的前沿方法之一。虽然陆相层序地层研究仍处于发展初期,但是陆相三叠纪沉积盆地中采用层序地层方法划分沉积体序并与海相层序进行对比已显示出广阔的前景^[51]。德国是陆相三叠系研究的经典地区,已广泛开展了层序地层研究^[52]。陆相二叠系—三叠系界线附近及下三叠统共划分出5个3级层序,二叠系—三叠系界线位于早三叠世第一个海侵体系域的底部,大体与海相二叠系—三叠系界线的层序界面相当。Geluk等^[53]在荷兰河、湖相沉积的晚二叠世—早三叠世地层中开展层序地层研究,共划分出7个一级层序,通过与德国西北部高精度层序地层的对比发现,旋回沉积在盆地较大范围内均有出现,并认为这种高频旋回层序可能与气候的干湿变化有关。王尚彦以贵州威宁哲觉剖面为例,尝试把露头层序地层学理论和方法应用于研究区的陆相地层分析,根据岩性组合和垂向组成特征,将宣威组划分为2个3级层序,讨论了层序界面与地层界线、层序与植物、煤层聚集之间的关系,并认为海、陆相二叠系—三叠系界线与层序地层界面有相似的关系。

7 海、陆相界线地层对比研究进展

中国除了在北方地区有广泛发育的陆相二叠系—三叠系界线沉积外,中国南方存在条件更佳的陆相二叠系、三叠系连续沉积。黔西滇东地区海相、海陆交互相和陆相二叠、三叠系连续沉积剖面发育良好,并且含有丰富的动、植物化石,是研究海、陆相二叠系—三叠系界线及对比的理想地区^[54]。该地区的优势就在于从东到西海相、海陆过渡相和陆相二叠系—三叠系界线地层连续过渡,有利于海、陆相地层的直接对比。王尚彦在滇东黔西地区开展了陆相二叠系—三叠系界线综合地层学的初步研究,发现了具有事件地层标志的陆相二叠系—三叠系界线粘土层,并可在全区范围内连续追踪对比,与华南其它地区海相二叠系—三叠系界线粘土层在垂向结构上具有一致性^[41],存在高精度海、陆相界线地层划分与对比的潜力。该界线粘土层的发现为进一步在该区开展陆相界线地层的研究打下了一定的基础,同时,为海、陆相界线地层对比和高精度陆相二叠系—三叠系界线的确定提供了有利条件。

中国学者近年在陆相三叠系研究中的重要进展之一是对所含海相夹层的研究^[55]。中国陆相早三叠世地层中海相夹层内的海相化石的发现对陆相二叠系—三叠系界线的确定及海、陆相地层的对比均具有十分重要的意义。

参考文献(References):

- [1] Yin Hongfu ed. The Palaeozoic - Mesozoic Boundary: candidates of Global Stratotype Section and Point of the Permian-Triassic boundary [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 137.
- [2] Yin H, Sweet W C, Glenister B F, et al. Recommendation of the Meishan section as Global Stratotype Section and Point for basal boundary of Triassic System [J]. Newsl Stratigr, 1996, 34(2): 81-108.
- [3] Lozovsky V R. Proposal for a new working group on continental beds at the Permian/Triassic boundary in the continental series [J]. Permophiles, 1991, 19: 7-11.
- [4] Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Institute of Geology, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. People's Republic of China Ministry of Geology and Mineral Resources, Geological Memoirs Series 2, Number 3, Permian and Triassic Strata and Fossil assemblages in the Dalongkou Area of Jimusar, Xinjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986. [中国地质科学院地质研究所,新疆地矿局地质科学研究所著·中华人民共和国地质矿产部地质专报(二):地层古生物,第三号,新疆吉木萨尔大龙口二叠、三叠纪地层及古生

- 物群 [M]. 北京:地质出版社,1986.]
- [5] Yang Jiduan, Qu Lifan, Zhou Huiqin, et al. Continental Permian-Triassic boundary and event [J]. Geoscience, 1988, 2(3): 366-374. [杨基端,曲立范,周惠琴,等.陆相二叠系—三叠系界线划分和事件 [J]. 现代地质,1988,2(3): 366-374.]
- [6] Zhou Tongshun, Li Peixian, Yang Jiduan, et al. Stratotype section of Non-marine Permian-Triassic boundary in China [J]. Xinjiang Geology, 1997, 15(3): 211-226. [周统顺,李佩贤,杨基端,等.中国非海相二叠系—三叠系界线层型剖面研究 [J]. 新疆地质,1997,15(3): 211-226.]
- [7] Cheng Zhengwu, Lucas S G. A possible nonmarine GSSP for the Permian-Triassic boundary [J]. Albertiana, 1993, 12: 39-44.
- [8] Lucas S G, Korur H, Molina Garza R, et al. Reconsideration of Dalongkou as an auxiliary GSSP for the Permian-Triassic boundary [J]. Albertiana, 1996, 18: 10-11.
- [9] Smith R M H. Changing fluvial environments across the Permian-Triassic boundary in the Karoo Basin, South Africa and possible causes of tetrapod extinction [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1995, 117: 81-104.
- [10] D'Engelbrommer E R. New palynological data from Karoo sediments, Mana Pools basin, Northern Zimbabwe [J]. J Afr Earth Sci, 1996, 23: 17-30.
- [11] Shishkin M A. Problems of global correlation of the continental Triassic on the basis of tetrapods [A]. In: Guex J, Baud A, eds. Recent Developments on Triassic Stratigraphy [C]. Lausanne: M & de Göl, 1994, 22: 121-126.
- [12] Lozovsky V R. The most complete and fossiliferous Lower Triassic section of the Moscow Syncline: the best candidate for a nonmarine global time scale [A]. In: Lucas S G, Morales M, eds. The Nonmarine Triassic [C]. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 1993, 3: 293-295.
- [13] Foster C B. Spore-Pollen assemblages of the Bowen Basin, Queensland (Australia): their relationship to the Permian/Triassic boundary [J]. Rev Palaeobot Palynol, 1982, 36: 165-183.
- [14] Vicker-Rich P, Monaghan J M, Baird R F, et al. eds. Vertebrate Palaeontology of Australasia [M]. Melbourne: Monash University Press, 1992.
- [15] Retallack G J, Renne P R, Kimbrough D L. New Radiometric ages for Triassic floras of Southeast Gondwana [A]. In: Lucas S G, Morales M, eds. The nonmarine Triassic [C]. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 1993, 3: 415-418.
- [16] Retallack G J. Permian-Triassic life crisis on land [J]. Science, 1995, 267: 77-80.
- [17] Cheng Zhengwu. On the discovery and significance of the nonmarine Permian-Triassic transition zone at Dalongkou in Jimusar, Xinjiang, China [A]. In: Lucas S G, Morales M, eds. The Nonmarine Triassic [C]. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 1993, 3: 65-67.
- [18] Liu Shuwen. The nonmarine Permian-Triassic boundary and Triassic conchostracan fossils in China [J]. Albertiana, 1994, 13: 12-24.

- [19] Sadoonkov G N, Orlova E F. The lower boundary and biostratigraphy of the Nonmarine Triassic in Siberia [A]. In: Lucas S G, Morales M, eds. The Nonmarine Triassic [C]. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 1993, 3: 421-422.
- [20] Krassilov V A, Afonin S A, Losovsky V R. Floristic evidence of transitional Permian-Triassic deposits of the Volga-Dvina region [J]. Permophiles, 1999, 34: 12-14.
- [21] Kumar P. Almond Bed: a Permian-Triassic transition zone [J]. Palaeobotanist, 1997, 46: 107-111.
- [22] Lucas S G. A tetrapod-based Triassic timescale [J]. Albertiana, 1999, 22: 31-40.
- [23] Erwin D H. The Great Paleozoic Crisis [M]. New York: Columbia University Press, 1993.
- [24] Ouyang Shu. The Spore and Pollen Assemblages of Late Permian and Early Triassic Rocks, Fuyuan, Yunnan [M]. Palaeontologia Sinica, Whole Number 169, New Series A, Number 9. Beijing: Science Press, 1986. 122. [欧阳舒. 云南富源晚二叠世—早三叠世孢子花粉组合. 中国古生物志, 总第 169 册, 新甲种第 9 号 [M]. 北京: 科学出版社, 1986. 122.]
- [25] Srivastava S C, Jha N. Palynostratigraphy and correlation of Permian-Triassic sediments in Budharam area, Godavari Graben, India [J]. J Geol Soc India, 1995, 46: 647-653.
- [26] Vijaya D R. The Permo-Triassic boundary and Palynofloral relationship between Gondwana and Tethyan Realm [A]. In: Lucas S G, Morales M, eds. The Nonmarine Triassic [C]. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 1993, 3: 140.
- [27] Banerji J. Floral change across the Permian-Triassic boundary in Damodar and Auranga Valleys [J]. Palaeobotanist, 1997, 46: 97-100.
- [28] Ochev V G. About the character of the changes in fauna of terrestrial vertebrates at the boundary of the Permian and Triassic [J]. Bull Mus. Ser Geol, 1973, 48: 1.
- [29] Wang Ziqiang, Wang Lixin. Earlier early Triassic fossil plants in the Shiqianfeng Group in North China [J]. Shanxi Geology, 1989, 4(1): 23-37. [王自强, 王立新. 华北石千峰群早三叠世早期植物化石 [J]. 山西地质, 1989, 4(1): 23-37.]
- [30] Retallack G J, Vevers J J, Morante R. Global coal gap between Permian-Triassic extinction and Middle Triassic recovery of peat forming plants [J]. Geol Soc Amer Bull, 1996, 108: 195-207.
- [31] Eshet Y, Rampino M R, Visscher H. Fungal event and palynological record of ecological crisis and recovery across the Permian-Triassic boundary [J]. Geology, 1995, 23(11): 967-970.
- [32] Dobruskina I. Relationships in floral and faunal evolution during the transition from the Paleozoic to the Mesozoic [A]. In: Lucas S G, Morales M, eds. The Nonmarine Triassic [C]. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 1993, 3: 107-112.
- [33] Visscher H, Brinkhuis H, Dillech D L, et al. The terminal Paleozoic fungal event: evidence of terrestrial ecosystem destabilization and collapse [J]. Proc Natl Acad Sci USA, Ecology, 1996, 93: 2 155-2 158.
- [34] Krassilov V A, Afonin S A, Barinova S S. Tynpanicysta and the terminal Permian events [J]. Permophiles, 1999, 35: 16-17.
- [35] Wang Ziqiang, Zhang Zhiping. The gymnosperms before the terminal Permian mass extinction in North China and their survival countermeasures [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(20): 2 134-2 141. [王自强, 张志平. 华北二叠纪末集群绝灭前的裸子植物及其生存对策 [J]. 科学通报, 1997, 42(20): 2 134-2 141.]
- [36] Dickens J M. Permian-Triassic orogenic, paleoclimatic and eustatic events and their implications for biotic alteration [A]. In: Sweet W C, Yang Zunyi, Dickens J M, et al. eds. Permian-Triassic Events in the Eastern Tethys, Stratigraphy, Classification and relations with the western Tethys [C]. London: Cambridge University Press, 1992. 169-174.
- [37] Hallam A. Mass Extinction and their Aftermath [M]. London: Oxford Univ Press, 1997, 94-141.
- [38] Yin Hongfu, Huang Siji, Zhang Xexin, et al. Volcanism at the Permian-Triassic boundary in South China and its effects on mass extinction [J]. Acta Geologica Sinica, 1989, 2: 169-181. [殷鸿福, 黄思骥, 张克信, 等. 华南二叠纪—三叠纪之交的火山活动及其对生物绝灭的影响 [J]. 地质学报, 1989, 2: 169-181.]
- [39] Iranian-Japanese Research Group. The Permian and the Lower Triassic systems in Abadeh region, Central Iran [J]. Mem Fac Sci Kyoto Univ, Ser Geol Mineral, 1981, 47(2): 61-133.
- [40] Altmir D, Baud A, Guex J, et al. La limite Permien-Trias dans quelques localites du Moyen Orient: recherches stratigraphiques et micropaleontologiques [J]. Riv Ital Paleontol Stratigr, 1979, 85(34): 683-714.
- [41] Peng Yuanqiao, Tong Jinnan. Integrated study on Permian-Triassic boundary bed in Yangtze platform [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(1): 39-48. [彭元桥, 童金南. 扬子台地区二叠—三叠系界线层综合地层学研究 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(1): 39-48.]
- [42] Li Zishun, Zhan Lipai, Zhu Xiufang, et al. Mass extinction and geological events between Paleozoic and Mesozoic Eras. Acta Geologica Sinica, 1986, 60(1): 1-15. [李子舜, 詹立培, 朱秀芳, 等. 古生代—中生代之交的生物绝灭和地质事件 [J]. 地质学报, 1986, 60(1): 1-15.]
- [43] Zhou Yaoqi, Chai Zhifang, Mao Xueying, et al. A mixing model—the elemental geochemistry of Permian-Triassic boundaries in South China and its implications [J]. Geological Review, 1991, 37(1): 51-63. [周瑶琪, 柴之芳, 毛雪瑛, 等. 混合成因模式——中国南方二叠—三叠系界线层元素地球化学及其启示 [J]. 地质评论, 1991, 37(1): 51-63.]
- [44] Wang Ziqiang. Evolutionary ecosystem of Permian-Triassic red beds in North China: a historical record of desertification [A]. In: Lucas S G, Morales M, eds. The Nonmarine Triassic [C]. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 1993, 3: 471-476.

- [45] Clauq Long J C, Zhang Z C, Ma G G, et al. The age of the Permian-Triassic boundary [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1991, 105: 182-190.
- [46] Bowring S A, Erwin D H, Jin Y G, et al. U/Pb zircon geochronology and tempo of the end-Permian mass extinction [J]. *Science*, 1998, 280: 1 039-1 045.
- [47] Losovsky V R, Molotsky E A. Constructing the Early Triassic magnetic polarity time scale [A]. In: Lucas S G, Morales M, eds. *The Nonmarine Triassic [C]*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 1993, 3: 297-300.
- [48] Li Yong'an, Wu Shaozu, Sun Dongliang. Primary Study on Permian-Triassic boundary magnetic character of Tianshan area, China [J]. *Xinjiang Geology*, 1997, 15(3): 227-235. [李永安, 吴绍祖, 孙东江. 中国天山地区二叠系—三叠系界线磁性特征的初步研究 [J]. *新疆地质*, 1997, 15(3): 227-235.]
- [49] Yin Hongfu, Tong Jinnan. Multidisciplinary high-resolution correlation of the Permian-Triassic boundary [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1998, 143(4): 199-212.
- [50] Yin Hongfu. Advance in Permian-Triassic boundary study [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1994, 9(2): 1-9. [殷鸿福. 二叠系—三叠系研究的进展 [J]. *地球科学进展*, 1994, 9(2): 1-9.]
- [51] Visscher H. Triassic sequence stratigraphy, the new challenge [J]. *Abertiana*, 1991, 9: 1-2.
- [52] Aigner T, Bachmann G H. Sequence stratigraphy of the classic Germanic Triassic [A]. In: Lucas S G, Morales M, eds. *The Nonmarine Triassic [C]*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 1993, 3: 1-2.
- [53] Geluk M C, Rohling H G. High-resolution sequence stratigraphy of the Lower Triassic "Buntsandstein" in the Netherlands and northwestern Germany [J]. *Geologie en Mijnbouw*, 1997, 76: 227-246.
- [54] Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica. Late Permian Coal-Bearing Strata and Palaeontological Fauna in Western Guizhou and eastern Yunnan [M]. Beijing: Science Press, 1980. 277. [中国科学院南京地质古生物研究所. 黔西滇东晚二叠世含煤地层和古生物群 [M]. 北京: 科学出版社, 1980. 277.]
- [55] Zhou Zhiyan, Zhang Lujin, Chen Jinhua. The terrestrial Triassic [A]. In: Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica. *Stratigraphical Studies in China (1979-1999) [C]*. Hefei: China University of Science and Technology Press, 2000. 259-282. [周志炎, 张瑾瑜, 陈金华. 陆相三叠系 [A]. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所. *中国地层研究二十年 (1979-1999) [C]*. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000. 259-282.]

ADVANCE IN THE STUDY OF TERRESTRIAL PERMIAN-TRIASSIC BOUNDARY

PENG Yuan-qiao, YIN Hong-fu, YANG Feng-qing

(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper deals with the advance in the study of terrestrial Permian-Triassic boundary (TPTB). At first, some index TPTB sections and their research backgrounds are introduced. Then, the research status on the synthesis of the TPTB, including biostratigraphy, eventostratigraphy, isotopic dating, magnetostratigraphy and sequence stratigraphy etc., is analyzed. Finally, the existing problems and the next research directions about the TPTB study are assessed. According to TPTB biostratigraphy, more and more evidence prove that, like the mixing fauna feature in marine Permian-Triassic boundary strata, there also exist mixing fossils of Late Permian and Early Triassic in TPTB strata. Among the mixing fossils, different sort of biota has different time limit. Meanwhile, the TPTB beds with vertebrates are limited, so the definite boundary marked by vertebrate (*Lystrosaurus*) is usually uncertain. As a result, it is needed to restudy and confirm the standard fossils for defining the terrestrial basal Triassic. At the same time, the eventostratigraphic markers may become the tache for high-resolution marine and nonmarine Permian-Triassic boundary correlation.

Key words: Terrestrial Permian-Triassic boundary (TPTB); Biostratigraphy; Eventostratigraphy; Magnetostratigraphy; Sequence stratigraphy.