

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

通讯·资料

国际泥盆—石炭系界线研究介绍

侯鸿飞 高联达 季强

(中国地质科学院)

泥盆—石炭系界线问题的争论旷日持久,问题复杂。究其根源在于泥盆系 (Murchison & Sedgwick, 1842) 和石炭系 (Congbeare & Phillips, 1842) 最初确立在英国的不同地区。由于英国地层出露较差,结果导致在法、比海西褶皱带建立了两个系的各个阶,并且又一次将法门阶和杜内阶确定在不同的地区。从1927年第一届国际石炭系会议至今,石炭系之下界问题仍未圆满解决,下界的定义已经多次修订。本文仅择其讨论要点作一概略介绍。

一、第一、二届国际石炭系会议决定

第一届国际石炭系会议1927年召开于海尔伦 (Heerlen), 曾一致认为头足类可作为石炭系的标准化石, 石炭系的下界应划在 *Gonioclymenia* 带之上 (当时对比为法门阶最上部), 并正式将艾特隆灰岩视为石炭系底部的一个地层单位。该会议于1928年出版的刊物附图中把杜内阶一分为二, 下部为 *Protocanites*, 上部为 *Pericyclus*, 前者被对比为艾特隆层。由于当时研究程度低, 菊石带序列尚未搞清, 加之艾特隆层为一孤立的采石坑, 顶、底界不清, 因此难以了解石炭系下界的真正含义。

1935年又于海尔伦召开了第二届国际石炭系会议, 对第一届会议的决定作了修改, 将泥盆—石炭系界线置于 *Wocklumeria* 带和 *Gattendorfia* 带之间, 以 *Gattendorfia subinvoluta* 的第一次出现作为石炭系底界的标志, 同时将标准剖面改在德国的Honnétal。

Gattendorfia 层的时代问题亦曾有过很大争议。Schindewolf等曾将 *Gattendorfia* 带置于 *wocklumeria* 带之下, 归于泥盆系。Schmidt正确指出 *Gattendorfia* 带应当位于 *wocklumeria* 带之上, 归于石炭系, 但却与艾特隆层对比。

第二届石炭系会议的决定比较适用于盆地相地层发育的地区, 但在分布范围更大的台地相地层发育的地区应用价值较小。由于这一新决定在德国等以外地

区很难施行和应用, 为以后的长期争论埋下了伏笔 (表1)。

表1 第一、二届国际石炭系会议关于泥盆—石炭系界线的划分方案

系 统	Heerlen 1927		Heerlen 1935	
	<i>Pericyclus</i> (II)	Tournaisian	<i>Pericyclus</i>	Lr Viscan C ₂
CARBONIFEROUS 系 炭 石	<i>Protocanites</i> (I)		<i>Gattendorfia</i>	Tournaisian Z ₁ -C ₁
泥 盆 系	<i>Gonioclymenia</i>	Devonian	<i>Wocklumeria</i> <i>Kalloclymenia</i>	Strunian K
			<i>Clymenia</i> <i>Gonioclymenia</i>	Famennian

二、国际泥盆—石炭系界线工作组成立及界线层的新决定

由于第二次世界大战, 各国研究工作中断, 后于五十年代开始又有新的发展。这一时期主要围绕着两个问题争论: 一是究竟采用哪一次会议的决定? 二是珊瑚—腕足相如何与菊石相地层对比? 归纳起来, 当时反对艾特隆层与 *Gattendorfia* 带对比的理由主要有以下几方面: (1) *Gattendorfia* 带中的菊石在艾特隆层中从未发现过; (2) 艾特隆层中所特有的过渡性质的动物群在 (G) 带中不存在; (3) 根据 Schindewolf 的研究, G (= *Gattendorfia*) 带中的珊瑚群性质属杜内阶色彩, 并非是艾特隆层特征。

多数人认为, 艾特隆层应与菊石相的 *wocklumeria* 带进行对比。Delepine (1929) 描述了艾夫斯尼 (Avesnes) 地区艾特隆层中的海神石, 其与德国 *wocklumeria* 阶中的菊石 *Cymaclymenia camerata* Schindewolf 一样。根据这一发现, 他首次提出艾特隆层相当于 Hangenberg 层 (包括 *Wocklumeria* 阶和 *Gattendorfia* 阶), 后来证明应与 Hangenberg 页岩层对比。同时,

Schmidt和Schindewolf曾报告过德国 *Wocklumeria* 带中的腕足类亦具有泥盆—石炭纪过渡特征,如 *Spirifer verneuili*, *Spirifer tornacensis*, *Spiriferina octoplicata*, *Strophalosia productoides*等。Schindewolf还指出过 *Wocklumeria* 带中也存在艾特隆型的珊瑚。后来根据苏联南乌拉尔西坡资料,也证明 *Wocklumeria* 带中的腕足类与艾特隆层的分子相当。如泥盆纪的 *Cyrtospirifer julii*和杜内阶的 *Spirifer tornacensis*, *Syringothyris uralensis*等共生。

六十年代起,微体化石受到人们的极大重视,艾特隆层以上的Hasterie灰岩中具有典型的牙形类 *Siphonodella*属分子,可与 *Gattendorfia*带的某些牙形类对比。在灰岩相和库姆(Kulm)相之间过渡相区列日(Liège)附近,根据钻孔资料,在相当艾特隆层的灰岩中分析出牙形类化石: *Bispathodus jugosus*, *B. costatus*, *Pseudopolygnathus conili*, *Polygnathus inornatus*等,可与 *Wocklumeria*层上部的牙形类上 *costatus*带对比。根据孢子的研究,德国奥伯勒丁豪森(Oberödinghausen)的Hangenberg页岩及法、比地区的艾特隆层均相当孢子PL带即(*pusillites-lepidophyta*带),但这个带的上界是在Tn1b α 的内部,而不是Tn1a的顶部。艾特隆相区的有孔虫很发育,Conil等人根据艾夫斯尼莱(Avesnellen)附近有孔虫的研究,发现 *Quasiendothyra kobeitusana*带的底界和艾特隆灰岩的底界吻合,其下为 *Q. communis communis*带,艾特隆层以上则发育以 *Chernysheina*为主的有孔虫。这两种有孔虫的界面很明显,遍及欧、亚各地均能识别。菊石相区的有孔虫则属另外一种类型,几乎与法、比地区的有孔虫很少有相似之处。

因此,从目前看来大多数门类的研究者,在艾特隆层与 *Wocklumeria*带对比关系上认识是统一的。

接着而来的问题是,究竟选用哪条生物带作为界线标志层?系与系之间的界线问题历来是地质学中的重大争论问题。但自七十年代以来,随着志留—泥盆系界线的深入讨论和确定,无论在方法、概念和理论上都有了新的突破。归纳起来就是首先在五大洲选择一个最具有等时意义,最有利于对比,分布最普遍和最易于识别的标志层,在现阶段主要体现为生物带。第二步是在一个构造简单,地层连续,岩性单一和交通方便的地点选择一条体现这一生物标志带的界线层型。为此,七十年代后,在国际地层委员会下相继成立许多界线工作组。泥盆—石炭系界线工作组于1976年成立,主席是西德学者Paproth,副主席Reitlinger(苏联),秘书长Streel(比利时)。泥盆—石炭系界线工作组成立后,于1978年在英国召开的第一次会议

上曾做出四点结论:(1) 泥盆—石炭系界线附近的地层对比已初见成效,细节尚待努力;(2) 最好的界线是选择在一类或几类化石的连续演化系列内;

(3) 由于微体化石的丰富性和普遍性,是选择界线时的最好标志,但大化石仍具有重要作用;(4) 优先权是重要因素,但不起决定作用。

后来,工作组在美国、西北欧相继组织过两次野外考察和数次工作会议。这期间主要围绕界线层位的选择,经过反复讨论和实地考察验证,普遍认为菊石、牙形类、有孔虫、孢粉对于划分界线最有价值。现将各重要门类化石在界线层附近,地层研究的主要成果综述如下:

1. 菊石:以西德最为发育,在标准剖面泥盆系顶部为 *Wocklumeria*带(以后简称W带或阶,其上的下石炭统为 *Gattendorfia*带或阶,后者又分为 *G. subinvoluta*带和 *G. crassa*带。在这两个带或阶之间普遍发育页岩(Hangenberg页岩),含有 *Imitoceras* sp. 和 *Cymaclymenia eurycephala*但没有建带。菊石专家普遍赞成以 *Gattendorfia*带底界做为泥盆—石炭系界线。唯有苏联的Л. С. Либрович(1938)赞成 *Wocklumeria*带底界作为泥盆—石炭系界线,而且苏联现行的地层表也是这样划分的。他的主要论据是:(1) 棱菊石早在(W)带中即已出现(首次见有下石炭统特有的 *Imitoceras*和 *Gattendorfia*的亚属 *Balvia*);(2)

(W)带中的海神石与法门阶海神石动物群有着明显的突然变化,出现了具棱菊石壳形的 *Wocklumeria*, *Parawocklumeria*和 *Glatziellidae*;但是Р. Луценцев(1965)持有反对意见。他认为(W)带和其下部 *Clymenia*带以及 *Platyclymenia*带的分子具有更密切的成因联系,在23个属中有16个属于海神石类。其次,所谓的 *Balvia*一属没有很好的研究,而且也不能据此划归石炭系。Schindewolf(1958)在第四届国际石炭系会议上答辩时曾指出,(W)阶以海神石为特征,没有本质上的新分子能把它与下伏动物群明显分开。所谓的 *Balvia*不属于 *Gattendorfia*,同时 *Imitoceras*也不能证明是石炭系的,它在(W)层之下即已存在。

2. 牙形类:界线附近的牙形类大致可分为两个生物相: *Siphonodella*相和 *Protognathodus*相,前者反映了深水环境,后者则反映了相对浅水环境。根据 *Siphonodella*属的系统演化,泥盆系—石炭系界线层的牙形类可分为9个带,自下而上为:下 *praesulcata*带,中 *praesulcata*带,上 *praesulcata*带, *sulcata*带,下 *duplicata*带,上 *duplicata*带, *sandbergi*带,下 *crenulata*带和上 *crenulata-isosticha*带。

此外, 相对浅水的 *Protognathodus* 动物群可分为两部分: 下 *Protognathodus* 动物群和上 *Protognathodus* 动物群。下 *Protognathodus* 动物群以 *Pr. kockeli* 的首次出现作为底界, 上 *Protognathodus* 动物群则以 *Pr. kuehni* 的首次出现作为底界。最初, Ziegler (1969) 把整个 *Protognathodus* 动物群置于泥盆系顶部; 其后, Collinson, Rexroad & Thompson (1971) 把下 *Protognathodus* 动物群归于泥盆系, 上 *Protognathodus* 动物群归于石炭系, 但认为上 *Protognathodus* 动物群应在 *sulcata* 带稍下; Sandberg, Streel & Scott 等人则认为上 *Protognathodus* 动物群与 *sulcata* 带相当。近年内的研究表明, 下 *Protognathodus* 动物群之底界与上 *praesulcata* 带之底界一致; 上 *Protognathodus* 动物群之底界略低于 *sulcata* 带之底界。值得指出的是, 根据 *Pr. kuehni* 的首次出现来区分上、下 *Protognathodus* 动物群具有机遇性。H. Alberti 等人在分析西德 Stockum 灰岩样品时, 一个样品中含有 *Protognathodus kuehni*, *Pr. kockeli*, *Pr. collinsoni*, *Pr. meischneri* 等分子, 而另一个同一灰岩的样品含有 170 个 *Protognathodus* 的个体, 但未发现一块 *Pr. kuehni* 的标本。因此, *Protognathodus* 动物群的这种细分在应用时是比较困难的。

3. 有孔虫: 法、比盆地、苏联等地浅水相沉积中有孔虫十分发育, Conil 将泥盆-石炭系界线的有孔虫分为两个带: 下部的 *Quasiendothyra* 带和上部的 *Chernyshinella* 带。*Quasiendothyra* 带相当于上法门阶至艾特隆层 (Fa2a-c 至 Tn1a)。 *Chernyshinella* 带相当于杜内阶的中、下部 (Tn1b 至 Tn2)。根据系统发育, *Quasiendothyra* 带被分为 5 个亚带, 其中 *Q. kobeitusana* 的出现和 *Q. communis* 的顶峰相当于艾特隆层 (Tn1a)。因此, 从有孔虫的观点曾一度赞成以 *Q. kobeitusana* 的底界做为石炭系底界。而且这条界线使得阶和系的界线统一起来。但为了与牙形类带确定的界线一致, 后来选用了 *Chernyshinella* 带底界作为泥盆-石炭系界线。它代表两个有孔虫属的发展阶段, 在欧亚各地均易识别。

4. 孢子: 长期来, 由于泥盆-石炭系界线的研究, 导致利用各种微体化石对该界线进行深入工作。Kedo (1957) 首次报导了泥盆-石炭系界线研究中有重要意义的 *Hymenozonotriletes pusillites* Kedo, 1963 年又进一步研究了苏联白俄罗斯的 Pripyat Depression 盆地 Malevka 层下部与 *Hymenozonotriletes pusillites* 共生的 *Hymenozonotriletes lepidophytus* 孢子, 并确定为早石炭世早期最底部的孢子组合。

M. Streel (1966) 研究比利时泥盆-石炭纪孢子后认为上述各种在划分泥盆-石炭系界线方面有重要

作用, 并详细研究了 *Hymenozonotriletes lepidophytus* Kedo 组合在比利时狄南盆地杜内阶最早期 (Tn1a-Tn1b) 的变化, 同时在法门阶 Fa2d 中发现 *Hymenozonotriletes lepidophytus* 孢子。

M. Streel (1969, 1970), Paproth & Streel (1970) 共同发表的比利时和西德泥盆-石炭纪界线一文中建立了两个孢子组合带, 下部的 *Hymenozonotriletes pusillites*-*H. lepidophytus* (PL) 带分布于 Fa2d 至 Tn1b) 下部, 上部的 *Dictyotriletes trivialis*-*Hymenozonotriletes expanatus* (TE) 带分布于 Tn1b 至 Tn2a 的地层中。泥盆-石炭系界线置于 PL 带与 TE 带之间, 大致与 *Gattendorfia subinvoluta* 的首次出现相当。

Paproth & Streel (1970) 又把 PL 带分为三个亚带, 并将第三个亚带再分为两部分, 自下而上为:

(1) PL_i 亚带: 该亚带的底界大致相当于 Fa2d 之底界, 以 *Hystricosporites* cf. *multifurcata* (Winslow) Mortimer & Chaloner, *Knoxisporites pristinus* Sullivan, *Hymenozonotriletes famenensis* Kedo, *H. lepidophytus*, *H. pusillites*, *Lophozonotriletes lebediansis* Naumova 和 *Didolispores echinaceus* (Eis.) Richardson 的出现为特征。除 *Didolispores echinaceus* 外, 其它分子均可延入上亚带。

(2) PL_m 亚带: 该带以 *Hymenozonotriletes lepidophytus* 大于 70 微米的种消失, 代之而起的是小于 70 微米的 *Hymenozonotriletes lepidophytus* var. *tener* Kedo 和 *H. lepidophytus* var. *minor* Kedo, 这一变化正好在 Tn1a 的底部发生。该亚带的新分子有: *Retusotriletes verrucosus* Caro-Moniez, *Raistrickia ampullacea* Hacquebard, *Pustulatisporites gibberosus* (Hacquebard) Playford 和 *Knoxisporites hederatus* (Ischenko) Playford。

(3) PL_s 亚带: (1) PL_{s1} 亚带: 该亚带相当于 Tn1a, 以继续出现 *Hymenozonotriletes lepidophytus* 和 *H. pusillites* 为特征, 同时还有 *Baculatisporites fusticulus* Sullivan, *Varrucosisporites nitidus* Playford, *Raistrickia macrura* (Luber) Dobly and Neves, *Cristatisporites echinatus* Playford 和 *Grandispora echinata* Hacquebard; (2) PL_{s2} 亚带: 该亚带相当于西德的奥伯勒丁豪森剖面的 Hangenberg Schiefer 层, 其特征是 *Hymenozonotriletes lepidophytus* 和 *H. pusillites* 含量增加, 其它孢子还有 *Verrucosisporites congestus* Playford, *Schopfites claviger* Sullivan, *Corbulispora* cf. *subalveolaris* (Luber) Sullivan 和 *Knoxisporites literatus* (Waltz) Playford。

上述亚带之上为TE带,发现于赫内塔尔(Hönnetal)附近的斯托孔(Stockum)。该带之底以出现*Dictyotrilites trivialis* (Naumova) Kedo和*Hymenozonotriletes expalantus* (Luber) Kedo 为标志,位于*Gattendorfia subinvoluta*层之下几米, *Hymenozonotriletes lepidophytus*和*H. pusillites*消失于TE带最底部。

Clayton (1978) 等人在爱尔兰发现非海相泥盆—石炭纪连续剖面,在LE带之上相当于莱茵地区TE带建立了NV带,即*Verrucosiporites nitidus*-*Vallatisporites vallatus*带,该带进一步还可分为两个亚带,下亚带称*Hymenozonotriletes lepidophytus*-*Verrucosiporites nitidus* (LN),以*Hymenozonotriletes lepidophytus*大量发育为特征,常占该组合总含量30%以上。上亚带称*Vallatisporites vallatus*-*Retusotriletes incohatus* (VI) 亚带,其底界以*Hymenozonotriletes lepidophytus*, *Vallatisporites vallatus*, *Rugospora flexuosa* (Juschko) Streel 的消失和大量出现光滑无腔孢子如*Punctatisporites irrasus* Hacquebard, *Retusotriletes incohatus* Sullivan 为特征。在不同相区,在LN带上部还出现众多的*Cyrtospora cristifer* (Luber) Van der Zwan,因而Van der Zwan (1980)将*Cyrtospora cristifer*的大量出现而建立Lcr亚带。

经过长期讨论,大多数人接受了国际泥盆—石炭系界线工作组1979年于美国召开的第九届国际石炭系会议期间所作的推荐。原文如下:

“为了与现行的泥盆—石炭系界线定义,即1935年海尔伦会议所推荐的*Gattendorfia*带底界更接近一致,泥盆—石炭系界线工作组推荐一个新的切实可行的界线定义。新的定义是:在牙形类*Siphonodella praesulcata*至*S. sulcata*演化系列中*S. sulcata*的首次出现,并且在赫内塔尔剖面略早于*Gattendorfia*的加入。”

为什么要选择*S. sulcata*的首次出现作为石炭系底界呢?我们分析有以下几条主要原因:

1. 与德国、美国以及英国现在使用的石炭系底界基本或接近一致,而且与第二届国际石炭系会议的决定相近,从实际和历史上看来均易接受。

2. 该带建立在系统演化序列内,*S. sulcata*在全世界分布广泛,易于识别,时限很短具有等时面意义。

3. 与其它界线层中的重要化石(如孢子、有孔虫、菊石等)的演化界面基本吻合,从而得到广泛支持。

三、泥盆—石炭系界线工作组当前的任务

界线工作组当前的重要任务是在世界各地寻找界线层型,要求能最好地显示*S. praesulcata*至*S. sulcata*的演化序列,并且其它重要带化石有充分的代表。工作组号召所有感兴趣的人们提供界线层型资料。

1980年巴黎国际地质大会期间进行过一次讨论,捷克、英国、美国、比利时、法国、澳大利亚等均未提出候选剖面。苏联的Simakov 赞扬西伯利亚和乌拉尔的剖面,报导了北乌拉尔一些很混乱的资料,提出Clymenids, *S. sulcata* 和*Quasiendothyra*共同出现于一个单层内。因此主席Paproth要求苏联同行逐层采集,加以证明,并尽可能散发给同行们。当时,工作组成员的注意力集中于西德莱茵片岩山和北乌拉尔。现把国际上几条重要剖面介绍于后:

1. 西德莱茵片岩山多特蒙德以南是菊石相泥盆—石炭系界线层的典型剖面,其中奥伯勒丁豪森铁路剖面曾作为界线层的标准,也是1935年海尔伦会议所承认的,自上而下划分为:

(3) Hangenberg Kalk (灰岩),厚约2米,其上为Liegende Alaun页岩所覆,包括两个菊石带:下部为*Gattendorfia subinvoluta*带,上部为*G. crassa*带。牙形类可分为三个带:*sulcata-kockeli*带, *Siphonodella-Pseudopolygnathus tri. inaequalis*带,和*Siphonodella-Pseudopolygnathus tri. triangula*带。主要的三叶虫有:*Philibale dreverensis*, *P. blax*, *Lioboline submonstrans*, *L. nebulosa*。

(2) Hangenberg Schiefer (页岩),厚约6米,1979年为了取得新资料打了两个钻孔,分析出的孢子有:*Retispora lepidophyta*, *Vallatisporites pusillites*, *Dictyotrilites trivialis*, *Punctatisporites irrasus*, *Grandidispora echinata*等,相当LL带。底部20—30公分的黑色页岩含较多的*Cymaclymenia eurycephala*。

(1) Wocklumeria Kalk (灰岩),厚约4米多,包括两个菊石带:上部为*Parawocklumeria*带(*Kamptoclymenia endogona*亚带, *W. sphaeroides*亚带),下部为*Kalloclymenia subarmata*和*W. brevispina*带,相当于牙形类中、上*costatus*带。

上述剖面东南约15公里是著名的斯托孔剖面。由于在相当Hangenberg页岩的位置夹有灰岩透镜体(即所称的Stockum灰岩,厚仅0.07米,是*Protognathodus*动物群命名的层位)而引起重视。经过Alberti等(1974)的研究,在一立方米的样品中发现1000多个

幼年期菊石标本, 但从未发现 *Gattendorfia*, 主要菊石分子有: *Prionoceras* (*Imitoceras*) *substriatum*, *P. intermedium*, *P. carinatum*, *P. prorsum*, 三叶虫有: *Cyrtosymbole* (*Waribole*) *abruptirachis* 等。

Stockum灰岩中的牙形类相当上 *Protognathodus* 动物群, 含有 *Protognathodus kuehni* 等 4 个种。其下 40 公分处发现 *Siphonodella praesulcata*。

2. 比利时狄南统底部地层称为 Tn1, 包括下部艾特隆层 (Tn1a) 和上部哈斯蒂尔 (Hastier) 灰岩夹页岩 (Tn1b)。

艾特隆层的 Tn1a 分为三部分: 下部的 α 带为斯图年 (Strübian) 页岩, 中部的 β 带为斯图年砂岩, 上部的 γ 带为斯图年灰岩或称狭义的艾特隆灰岩。后者的标准化石除过渡型动物群 (珊瑚、腕足类、三叶虫) 外, 出现了有孔虫 *Quasiendothyra kobeitusana*, *Q. konensis*, *Klubovella* 等, 还具有大量的孢子 *Retispora lepidophyta minor* 等。标准剖面上没有分析出牙形类化石。

哈斯蒂尔层的岩性特征为灰岩夹页岩, 大化石出现了 *Phillipsia*, *Caninia cornucopiae*, *Gattendorfia*? 等, 微体化石划分了三个带, 自下而上为: α 带继续含有 *Q. kobeitusana*, β 带出现了 *Siphonodella*, γ 带内 *Quasiendothyra* 消失了。根据牙形类研究, 含有 *Siphonodella obsoleta*, *Pseudopolygnathus dentilineatus*, *Elictognathus costatus* 等表明最低相当石炭系上 *duplicata* 带。

3. 美国密西西比系的标准剖面在密苏里和伊里诺斯州的上密西西比峡谷。其下部为汉尼巴尔组 (Hannibal Fm.), 岩性主要为粉砂岩、页岩, 常见腕足类和痕迹化石, 含牙形类分子: *Siphonodella sulcata* (少), *S. praesulcata* (多), *Pseudopolygnathus dentilineatus*, *Polygnathus communis*, *Protognathodus kuehni*, *Pr. kockeli* 等。

其底部为 “Glen Park” 段标准地点在伊里诺斯的皮普 (Pibe) 县, 岩性特征主要为白云质灰岩和灰岩夹粉砂岩, 底部具有薄层石英砂岩。此段含有少量 *Siphonodella sulcata*, 大量的 *S. praesulcata* 以及 *Polygnathus communis* 等, 应为 *sulcata* 带。需要提及的是, 圣路易斯标准的 Glen Park 灰岩属上泥盆统, 所以 Conkin 等人 (1974) 对下石炭统底部过去被称为 “Glen Park 段” 的灰岩重新命名为 Horton Creek 段。

Louisana 灰岩假整合于 “Glen Park 段” (= Horton Creek 段) 之下, 相变为 Saverton 页岩。Louisana 灰岩中含腕足类: *Syringothyris hannibalensis*, *Rhipidomella missouriensis*, 牙形类: *Protognathodus*

kockeli, *Pr. collinsoni*, *Pr. meischneri*, *Spathognathodus culminidirectus*, *Polygnathus communis*, *P. delicatulus* 等。

“Glen Park 段” 与 Louisiana 灰岩之间呈假整合或似整合接触, 被作为美国泥盆-石炭系的分界, 大约相当于 *Siphonodella sulcata* 带的底界。

美国西部洛基山和大盆地, 于上泥盆统法门阶与下石炭统之间划分出一个岩组, 在蒙塔那称为 Three Forbs 组 Sappington 段, 是一个薄层碎屑岩透镜体, 在犹它州叫作 Leatham 组 (厚 28 米) 灰岩夹粉砂岩。前者分为 5 个小单位, 后者分为 7 个小单位。Sappington 段中 2, 3, 5 三个单位以及 Leatham 组的 5 个单位含有牙形类, 属 *Siphonodella praesulcata* 动物群, 重要属种有: *Palmatolepis gracilis sigmoidalis*, *Spathognathodus culminidirectus*, *Polygnathus delicatulus*, *Protognathodus meischneri* 等, 大化石有: *Syringothyris hannibalensis*, *Rhipidomella missouriensis*, *Tylothyris clarksvillensis*, 目前认为是泥盆系最顶部的一个化石带。该动物群之下分别为上 *Polygnathus styriatus* 带或中、下 *costatus* 带, 其上为 *crenulata* 带。这表明它们之间有一生物间断。此动物群在美国其它地区尚未发现。

4. 英国下石炭统的标准剖面是在布里斯托尔 (Bristol) 的阿翁峡谷 (Avon Gorge)。该处石炭系总厚约 690 米, 由灰岩组成, 偶夹页岩、砂岩, 以腕足-珊瑚相为特征, 缺失菊石, 与下伏的老红砂岩整合。Vaghan (1905, 1915) 建立了相当杜内阶的 K, Z, C 三个化石带。K 带含有 *Cleistopora* 动物群, 位于非海相老红砂岩之上, 与其相当的岩石地层最底部是薄层灰色粘土岩, 少量钙质页岩, 化石稀少, 常见介形虫、斧足类、藻类, 少见腕足类与双壳类。第一层灰岩 (basal limestone) 约距底界之上 4 米。K 带的上部砂质灰岩夹钙质页岩, 富含海百合、苔藓。最上部为海百合茎灰岩, 由 7 个小层组成, 为页岩分开。

Rhodes 等人 (1969) 研究了 K 带的牙形类组合带, 下部为 *Spathognathodus plumulus*-*Protognathodus variabilis* 组合带, 特征分子还有: *Pseudopolygnathus vogesi*, *Ps. expansus*, *Clydagnathus gilwernensis*。上部为 *Siphonodella*-*Polygnathus inornatus* 组合带。

Spathognathodus plumulus-*Protognathodus variabilis* 组合带本身难以与世界其它地区的牙形类带进行对比, 既不同于 *Gattendorfia* 带中的牙形类, 也不同于 *Wocklumeria* 带中的牙形类。因此, 英国阿翁剖面不能作为层型。该地所谓的泥盆-石炭系界线实际

上是老红砂岩与其上海进层的岩性界线(表2)。

由上述各国主要代表剖面可以看出,泥盆-石炭系界线附近的地层或具有明显的沉积间断,泥盆系和石炭系多为假整合接触(如美国);或缺乏连续的单一的岩性(如美国、西德);或是缺乏界线层要求的 *Siphonodella* 系列的分子(如法国、比利时、英国),或是不能显示从 *praesulcata* 至 *sulcata* 的直接演化关系。因此,界线工作组遇到了一个困境:确定了界线,但却未能找到满意的界线层型来体现。1982年,界线工作组成员在德国参观之后都感到悲观,甚至有的学者提出改变界线层位的意见。恰恰正在这个时候,中国地质工作者在贵州长顺睦化附近发现了一个比较连续的剖面,含有完整的 *Siphonodella* 系列的几个牙形类带,显示出从 *S. praesulcata* 至 *S. sulcata* 的演化关系。它的优点主要表现在如下几方面:

1. 具有极发育的石灰岩,岩石压缩不强烈, *Siphonodella* 类群特别发育,便于牙形类的系统研究。
2. 除牙形类外,剖面上还具有丰富的菊石化石(*praesulcata*带中产有丰富的 *Wocklumeria*, *Para-Wocklumeria* 等, *sulcata*带之上含有 *Gattendorfia* cf. *subinvoluta*, *Imitoceras* spp. 等),其它化石门类还有孢子、腕足类、三叶虫、介形虫、鱼鳞等;
3. 该剖面的岩性和动物群序列与德国莱茵片岩山地的剖面类似; *Siphonodella* 的产出和 *S. sulcata* 的最早出现与 *S. praesulcata* 和 *Palmatolepis* 分子共生又与美国一些剖面相象。因此,欧美的一些剖面容易与

睦化剖面对比。

4. 该剖面横向相变为浅水灰岩,局部相变为页岩,有利于研究不同相区的地层对比。

1983年初,侯鸿飞、季强、熊剑飞和吴祥和向国际泥盆-石炭系界线工作组推荐了睦化剖面作为国际界线层型。由于它的优越条件,睦化剖面立即受到国际间的重视。Sandberg和Ziegler等详细分析了中国提交的论文材料认为睦化剖面似乎是目前所知的唯一符合1979年界线工作组决议的剖面,并将它推荐为国际泥盆-石炭系界线层型的最佳候选者。

在这之前,苏联也曾提过一个候选剖面,位于南乌拉尔的基耶(Kiya)。我们没有看到苏联的原始文献。根据Sandberg的介绍,该剖面亦具有连续的泥盆-石炭系界线层,岩性为瘤状灰岩与泥灰岩互层,含有 *S. praesulcata* 带和 *S. sulcata* 带。此剖面的缺点是不含其它大化石,仅发现牙形类和介形类。同时 *praesulcata* 带究竟代表哪一部位尚未能确定。其次,该剖面的岩层凝缩太强烈,厚度太小,不利于牙形类的深入研究。Sandberg等人将其放在第二位考虑。

睦化剖面的发现和研究鼓舞了界线工作组的信心。在莫斯科召开的第27届国际地质大会期间,我国学者详细介绍了我国贵州睦化剖面泥盆-石炭系界线研究的新进展,受到了与会者的一致好评。国际泥盆-石炭系界线工作组已接受邀请,定于1985年访问、考察贵州睦化剖面。这就要求我们团结一致,深入钻研,尽快拿出高质量科研成果,为祖国争光。