

贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线地层研究*

杨逢清** 殷鸿福 喻建新 张素新 黄俊华 彭元桥 黄其胜 赵全民

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

摘要 贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线剖面出露良好, 发育齐全, 对此剖面进行了综合研究. 已建立 5 个孢粉组合带, 1 个植物化石群; 二叠系与三叠系界线确定在 67b④层底; 在界线上(68 层)、下(66f 层)有火山成因的粘土岩, 在粘土岩中有锆石、双锥六方石英等特殊矿物; 68a 层的锆石测得同位素年龄为 252.6 ± 2.8 Ma. 同时还进行了有机碳同位素测定和分子地层研究. 贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线位置总体上可与浙江长兴海相二叠系-三叠系界线(金钉子)相比较.

关键词 二叠系-三叠系 界线地层 陆相 威宁岔河 贵州

二叠纪-三叠纪是地球从古生代向中生代演化发展的重要阶段. 这一时期的海相地层层序、生物群的变化及地质事件等的研究已相当详细, 经过各方面的长期努力, 中国浙江省长兴县煤山 D 剖面及 27c 层之底已成为全球二叠系-三叠系界线层型剖面和点(GSSP)^[1]. 这一界线层型剖面和点的确定, 使得全球二叠系-三叠系界线地层和各种事件及其过程的研究能够在同一时间标尺下进行.

继二叠系-三叠系的全球界线层型剖面和点确定后, 该界线的陆相辅助层型剖面和点(Accessory Section and Point, ASP)的确定已提上亟待解决的日程. 为了有利于陆相二叠系-三叠系界线层型剖面与海相二叠系-三叠系界线层型剖面的对比, 将研究区选择

在具有陆相、海陆过渡相、海相的黔西滇东地区, 贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线地层剖面(图 1)为研究重点.

贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线剖面最早由王尚彦^[2-4]进行研究, 发现了具有事件地层标志的界线粘土层, 并可在全区范围内连续追踪对比, 与华南其他地区海相二叠系-三叠系界线粘土层在垂向结构上具有一致性, 存在海、陆相二叠系-三叠系界线地层进行对比的潜力. 我们又于 2001, 2002, 2003 年进行了测制, 并进行了仔细的研究.

1 剖面描述及岩石地层

贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线剖面位于东经 103.8°, 北纬 26.7°的威宁县黑石头镇岔河乡

2004-05-04 收稿, 2004-12-11 收修改稿

*国家自然科学基金(批准号: 40172021, 40232025)、中国地质调查局基础地质综合研究项目(批准号: 200113900072)、全国地层委员会“中国主要断代地层建阶研究”项目资助

** E-mail: wyang@public.wh.hb.cn

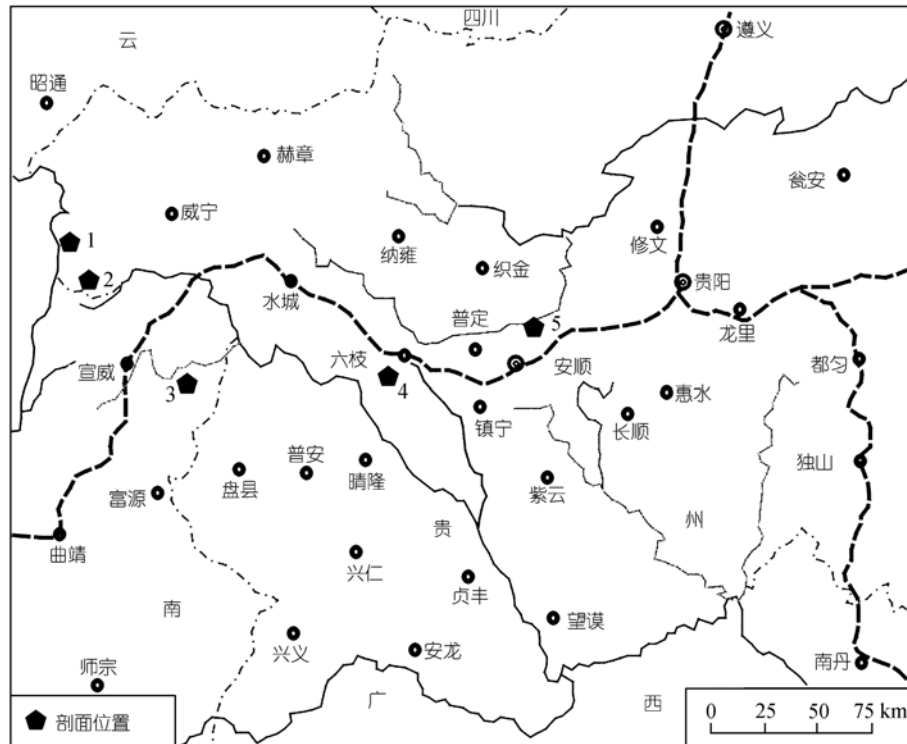


图 1 贵州威宁岔河二叠系-三叠系界线剖面位置图

1. 贵州威宁岔河陆相剖面; 2. 贵州威宁哲觉陆相剖面; 3. 云南宣威密德海陆交互剖面; 4. 贵州六枝中寨滨海相剖面;
5. 贵州普定高窝浅海相剖面

西约 6 km 处, 沿黑石头镇至海拉乡村公路展布, 在公路牌 31~32 之间. 该剖面岩石地层单位自下而上为

宣威组、卡以头组. 现将该剖面二叠系—三叠系界线附近的地质描述如下:

卡以头组

72. 土黄色厚层长石细砂岩夹粉砂岩微细条带, 顶部具紫色薄层粉砂岩. 75 cm

71. 下部土黄色厚层含岩屑长石细砂岩, 向上渐变为土黄色细砂岩与粉砂岩呈细条带状相间出现, 顶部具紫色薄层粉砂岩. 185 cm

整合

宣威组

70. 浅蓝灰色-浅土黄色薄层粉砂岩. 产孢粉化石: *Cyathidites* sp., *Cyclogranisporites* sp., *Limatulasporites* sp., *Lundbladisporea* sp., *Lunzisporites lunzensis* Bharadwaj et Singh, *Converrucosisporites* sp., *Triquitrites* sp., *Yunnanospora radiata* Ouyang, *Periplecotriletes* sp., *Polypodiidites* sp., *Aratrisporites* sp., *Verrucosisporites* sp., *Limitisporites* sp., *Minutosaccus potonie* Mädlar, *Lueckisporites* sp., *Protohaploxylinus samoilovichii* (Jansonius) Hart, *P. perfectus* (Naumova) Samoilovich, *P. sp.*, *Protopinus* sp., *Pityosporites?* sp., *Alisporites* sp., *Podocarpidites multesimus* (Bolknovitina) Pocock, *Taeniaesporites pellucidus* (Goubin) Balme, *Cycadopites* sp., *Perinopollenites* sp. 50 cm

69. 下部蓝灰色中厚层泥质粉砂岩; 上部黄灰色中厚层长石细砂岩. 大量黑色炭屑顺层分布, 在层面上可见大小不等、形态不规则的黑色片状炭屑, 占据整个层面的一半以上; 断面上可见毫米级水平纹理. 产植物化石: *Gigantonoclea* sp., *Neuropteridium* sp., *Rajahia guizhouensis*; 孢粉化石: *Punctatisporites pistilus* Ouyang, *Lophotriletes mictus* Ouyang, *Pluricellaesporites* sp. 70 cm

68c. 黄绿色粘土岩. 3 cm

- 68b. 黑色、暗棕色粘土岩. 含孢粉化石: *Triquitrites* sp., *Alisporites* sp.; 菌孢化石: *Inapertisporites rotundus*, *I.* sp., *Multicellaesporites* sp., *Reticulatasporites* sp. 5 cm
- 68a. 黄绿色粘土岩, 夹有棕红色及黄色斑块. 含菌孢化石: *Inapertisporites rotundus*, *I.* sp., *Multicellaesporites* sp. 5 cm
- 67b. 黄绿色粉砂质泥岩. 球形风化明显. 含孢粉化石: *Punctatisporites* sp., *Toroisporis* sp. 80 cm
- 67a. 下部为灰蓝色-黄绿色中厚层粉砂质泥岩, 上部为黄绿色中厚层泥质粉砂岩. 上部含孢粉化石: *Leiotriletes* sp., *Punctatisporites* sp., *Toroisporis infundibulus* Song, Li et Zhong, *Triquitrites stenosis* Tang, *T.* sp., *Thymospora* sp., *Cyclogranisporites staplin* (Pepeers) Pepeers, *Kraeuselisporites* sp., *Aratrisporites* sp., *Laevigatosporites* sp., *Samoilovitchisaccites sinensis* (Zhang) Hou et Wang, *Alisporites communis* Ouyang (MS), *Colpectopollis pseudostriatus* (Kopytova) Qu et Wang, *Protohaploxypinus* sp.; 菌孢化石: *Inapertisporites* sp., *Multicellaesporites* sp. 54 cm
- 66h. 灰蓝色粘土岩. 15 cm
- 66g. 灰黑色粘土岩. 含植物茎碎片; 孢粉化石: *Leiotriletes* sp., *Punctatisporites* sp.; 菌孢化石: *Pluricellaesporites* sp., *Reticulatasporites* sp., *Inapertisporites* sp. 8 cm
- 66f. 瓦灰色粉砂质粘土岩. 含植物碎片; 孢粉化石: *Leiotriletes pulvinulus* Ouyang, *L. concavus* (Kos.) Pot. et Kr., *L.* sp., *Gulisporites cochlearius* (Imgr.) Imgr., *Punctatisporites* sp., *Apiculatisporites variocorneus* Sullivan, *A.* sp., *Thymospora mesozoica* Ouyang et Li, *Yunnanospora radiata* Ouyang, *Converrucosisporites capitatus* Ouyang, *C. confractus* Ouyang, *C. mictus* Ouyang, *Verrucosisporites* sp., *Protohaploxypinus* sp., *Alisporites communis* Ouyang (MS), *A.* sp., *Platysaccus* sp., *Lueckesporites virkkiae* Potonie et Klaus 10 cm
- 66e. 浅绿黄色中薄层泥质粉砂岩、粉砂质泥岩, 含植物碎屑. 30 cm
- 66d. 灰绿色中层含黑色岩屑及黄色粘土细砾中-粗粒砂岩. 含孢粉化石: *Leiotriletes pulvinulus*, *Converrucosisporites* sp., *Striatopinites* sp., *Protohaploxypinus* sp., *Alisporites communis* Ouyang (MS) 22 cm
- 66c. 灰绿色中薄层岩屑细砂岩. 40 cm
- 66b. 暗灰绿色中层粉砂岩. 具水平虫管. 35 cm
- 66a. 暗灰绿色薄至中层粉砂质泥岩, 夹灰白色椭球状不规则分布的粘土岩. 产植物化石: *Lobatannularia* sp., *Fascipteris* sp., *Neuropteridium* sp., *Radicitis* sp.; 孢粉化石: *Leiotriletes pulvinulus* Ouyang, *L. concavus* (Kos.) Pot. et Kr., *L.* sp., *Gulisporites cochlearius* (Imgr.) Imgr., *Dictyophyllidites discretus* Ouyang, *D. intercrassus* Ouyang et Li, *D.* sp., *Calamospora pusilla* Peppers, *Leschikisporites* sp., *Laevigatosporites lineolatus* Ouyang, *L.* sp., *Polypodiidites fuyuanensis* Ouyang, *P. reticuloides* Ouyang, *P.* sp., *Punctatisporites* sp., *Apiculatisporites variocorneus* Sullivan, *A.* sp., *Thymospora mesozoica* Ouyang et Li, *Yunnanospora radiata* Ouyang, *Converrucosisporites capitatus* Ouyang, *C. confractus* Ouyang, *C. mictus* Ouyang, *Verrucosisporites* sp., *Convolutispora* sp., *Neoraistrickia?* spanis Ouyang, *Reticulatisporites* sp., *Dictyotriletes* sp., *Lophotriletes* sp., *Lycospora* sp., *Densosporites paranulatus* Ouyang, *Torispora securis* (Balme) A., *D.* et H., *Lundbladisporea* sp., *Aratrisporites* sp., *Protohaploxypinus* sp., *Umbilicaccites medius* Ouyang, *Striatopinites* sp., *Cycadopites eupunctatus* Ouyang, *C.* sp., *Anticapipollis tornatilis* (Chen) Ouyang, *Gardenasporites meniscatus* Ouyang, *Vittatina* cf. *cincinata* (Luber) Hart 30 cm
65. 灰绿色中厚层泥质粉砂岩, 向上渐变为粉砂质泥岩, 顶部煤线由黑色炭质条带与紫色泥质条带相间组成. 产孢粉化石: *Leiotriletes* sp., *Punctatisporites* sp., *Polypodiidites fuyuanensis* Ouyang, *Thymospora* sp., *Abietineaepollenites* sp. 30 cm
64. 黄绿色-土黄色厚层泥质粉砂岩, 顶部瓦灰色-灰黄色泥岩. 55 cm
63. 蓝灰色-土黄色中厚层长石细砂岩, 顶部深灰色和灰绿色粉砂质泥岩. 产植物化石: *Gigantopteris* cf. *dictyophylloides*; 孢粉化石: *Macrotorispora gigantea* (Ouyang) Gao 55 cm
62. 蓝灰色-浅土黄色中厚层泥质粉砂岩, 顶部灰黄色粉砂质泥岩. 产孢粉化石: *Punctatisporites* sp., *Cyclogranisporites* sp. 50 cm
61. 蓝灰色-浅土黄色厚层泥质粉砂岩, 顶部蓝灰色-灰白色泥岩. 产孢粉化石 *Leiotriletes* sp., *Laevigatosporites vulgaris* (Ibrahim) Alpern et Doubingev, *Protohaploxypinus* sp. 105 cm
60. 自下而上由4个旋回构成: ①下部灰黄色-蓝灰色厚层粉砂岩, 含黑色炭质颗粒; 上部蓝灰色薄层泥质粉砂

岩, 黑色炭质颗粒增多. ②下部灰黄色厚层岩屑长石细砂岩, 具小型楔状交错层理; 上部土黄色-灰白色粉砂质泥岩. ③下部土黄色厚层粉砂岩, 含植物化石碎屑; 上部瓦灰色粉砂质泥岩. ④下部蓝灰色薄层粉砂岩; 上部瓦灰色粉砂质泥岩. 产植物化石: *Compsopteris* sp., *Gigantonoclea* sp., *Pecopteris* sp.; 孢粉化石: *Leiotriletes* sp., *Gulispores cochlearius* (Imgr.) Imgr., *Dictyophyllidites mortoni* (de Jersey) Playtf. et Dettm., *D.* sp., *Densosporites playfordii* (Balme) Dettmann, *Punctatisporites latilus* Ouyang, *P.* sp., *Cyclogranisporites* cf. *congestus* Les., *Acanthotriletes microspinosus* (Ibr.) Pot. et Kr., *Apiculatisporis variocorneus* Sullivan, A. sp., *Apicalatasporites nanus* Ouyang, *Verrucosisorites* sp., *Converrucosisorites* sp., *Torispora* sp., *Thymospora* cf. *mesozoica* Ouyang et Li, *T.* sp., *Yunnanospora radiata* Ouyang, *Cycadopites* sp., *Lueckisporites* sp., *Ephedripites* sp., *Cordaitina uralensis* (Luber) Samoilovich, *Alisporites* sp.

190 cm

2 生物地层

2.1 孢粉化石特征

晚二叠世-早三叠世孢粉化石已有多人作过研究^[5-10]. 威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线剖面的孢粉化石为首次研究. 2001~2003 年先后三次赴岔河, 全面系统地采集了孢粉样品, 共处理孢粉样品 210 块, 其中 8 个样品中处理出较多的孢粉化石. 据统计, 这 8 个样品中每个样品的孢粉都在 50 粒以上, 并进行百分含量计算. 这些孢粉化石可分为 3 大类(蕨类植物孢子、裸子植物花粉和菌孢). 岔河剖面重要层段(孢粉化石含量丰富的层段)孢粉化石统计表 1.

表 1 威宁岔河剖面重要层段孢粉化石统计

层号	孢子总数(个)	花粉总数(个)	菌孢总数(个)	总计(个)
6	65(75)	8(9)	14(16)	87
35	8(11)	1(1)	65(88)	74
43	6(6)	1(1)	90(93)	97
66	71(78)	13(14)	7(8)	91
67a①②, 67b③ ^{a)}	74(70)	21(21)	5(5)	100
70~78 ^{a)}	4(11)	24(63)	10(26)	38
79	3(13)	14(61)	6(26)	23
平均	(37)	(17)	(46)	80/401

a) 表示同层合并后的孢粉统计结果; () 内表示孢粉化石的百分含量

根据孢粉化石属种成分及百分含量变化, 可将其划分出 5 个孢粉组合带(图 4), 各组合带特点自老而新依次叙述如下:

第 1 组合带(1~34 层): 称为 *Cyclogranisporites-Thymospora-Punctatisporites* 组合带

从孢粉组合带的植物背景来看, 本组合带以真蕨类和种子蕨类孢子占绝对优势, 一般在 70% 以上; 裸子植物花粉居次要地位, 含量一般小于 10%; 组合

带内还包括含量小于 20% 的菌类植物. 孢子中以无环三缝孢和单缝孢较多, 分别占组合带的 36.8% 和 35.6%; 具环三缝孢仅占组合带的 2.3%. 无环三缝孢的几个重要属分别为: *Cyclogranisporites*(8.0%), *Leiotriletes*(6.9%), *Punctatisporites*(6.9%) 和 *Dictyophyllidites*(4.6%); 单缝孢的几个重要属依次为: *Thymospora*(13.8%), *Punctatisporites*(6.9%), *Laevigatosporites*(4.6%), *Torispora*(4.6%) 和 *Polypodiidites*(4.6%). 花粉以具肋二囊粉为主(4.6%), 次为无肋二囊粉(4.6%) 和单沟粉(4.6%); 较常见的花粉属为 *Lueckisporites*(1.1%) 和 *Cycadopites*(1.1%). 菌孢中较多见的为无孔孢(13.8%), 其中以无孔单胞孢(*Inapertisporites*, 8.0%) 最常见.

第 2 组合带(第 35~43 层): 称为以 *Inapertisporites* 为主的菌孢繁盛带

此孢粉组合带的植物背景显示真蕨类和种子蕨类孢子以及裸子植物花粉均较稀少, 总量一般不超过 12%. 组合带内大量出现的是菌类低等植物(占 88%~93%), 是菌类植物超量繁盛的一个阶段, 可能预示环境的变化. 菌孢以无孔孢(58.7%~78.4%) 为主, 其中含无孔单胞孢(*Inapertisporites*, 49.5%~62.2%)、无孔多胞孢(*Multicellaesporites*, 7.2%~8.1%)、葡萄孢(*Staphlosporites*, 4.1%~12.4%) 和网面无缝孢(*Reticulatasporites*, 4.1%~6.2%) 较多.

各层菌孢的具体属种为: 35 层有无孔菌孢 5 属 12 种: *Inapertisporites rotundus*, *I. reniformis*, *I. granulatus*, *I. fusiformis*, *I. polygonalus*, *I.* sp., *Multicellaesporites ellipticus*, *M.* sp., *Reduviasporinites (Multicellaesporites)* sp., *Staphlosporites discitypicus*, *S. conoideus*, *Reticulatasporites* sp.; 单孔菌孢 2 属 3 种: *Pluricellaesporites* sp., *Lacrimasporites* cf. *chahensis*, *L.* sp.; 双孔菌孢 1 属 2 种: *Diporicellaesporites*

liaoningensis, *D. sp.*. 43 层有无孔菌孢 6 属 14 种: *Inapertisporites rotundus*, *I. reniformis*, *I. polygonalus*, *I. cf. polygonalus*, *I. sp.*, *Dicellaesporites sp.*, *Multicellaesporites zhejuensis*, *M. cf. zhejuensis*, *M. sp.*, *Reduviasporinites (Multicellaesporites) sp.*, *Staphlosporonites discitypicus*, *S. conoideus*, *S. sp.*, *Reticulatasporites sp.*; 单孔菌孢 1 属 3 种: *Lacrimasporonites chahensis*, *L. cf. chahensis*, *L. sp.*

第 3 组合带(第 44~67b③层): 称为 *Leiotriletes-Triquirites-Laevigatosporites* 组合带

从孢粉组合带的植物背景来看, 此组合带的真蕨类和种子蕨类孢子又占绝对优势, 再次达 70% 以上, 裸子植物花粉含量仍在 10% 左右; 组合带内菌类孢子仅占次要地位, 含量小于 10%. 孢子中以无环三缝孢和单缝孢较多, 分别占组合带的 34.1% 和 39.6%; 具环三缝孢占组合带的 4.4%. 无环三缝孢的几个重要属分别为: *Verrucosisporites*(11.0%), *Leiotriletes*(8.8%), *Dictyophyllidites*(3.3%), *Triquirites*(5.5%) 和 *Calamospora*(3.3%); 单缝孢的几个重要属依次为: *Polypodiidites*(13.2%), *Laevigatosporites*(10.0%), *Thymospora*(3.3%) 和 *Yunnanospora*(3.3%). 花粉以单沟粉为主(6.6%), 次为具肋二囊粉(5.5%) 和无肋二囊花粉(2.2%). 较常见的花粉属为 *Cycadopites*(6.6%). 菌孢中较多见的仍为无孔孢(6.6%), 且只见网面无缝孢(*Reticulatasporites*, 6.6%). 此孢粉组合带与第一孢粉组合带中的主要类别和属均存在较大的一致性, 表明了该剖面上植物化石的继承性发展.

第四组合带(第 67b④-69 层): 称为孢粉、菌孢化石贫乏带

此组合带中孢粉、菌孢化石均零星出现, 见到的菌孢化石有 *Inapertisporites rotundus*, *I. sp.*, *Multicellaesporites sp.*, *Reticulatasporites sp.*; 孢粉化石有 *Triquirites sp.*, *Punctatisporites pistilus* Ouyang, *Lophotriletes mictus* Ouyang, *Alisporites sp.*

第五组合带(第 70~81 层): 称为 *Lundbladisporea-Limatusporites-Taeniaesporites* 组合带

此组合带是裸子植物花粉繁盛的组合带. 从植物背景来看, 真蕨类和种子蕨类孢子不再占绝对优势, 含量只有 10% 左右; 裸子植物花粉首次含量超过

孢子, 达 60% 以上; 菌类植物孢子含量在 26% 左右. 孢子中以无环三缝孢为主, 占组合带的 8.7%; 单缝孢为从属地位, 占组合带的 4.3%. 无环三缝孢的几个重要属与前几个组合截然不同; 单缝孢的重要属为早三叠世的标准分子 *Aratrisporites*(4.3%). 花粉以具肋二囊粉为主(43.5%), 次为无肋二囊粉(13.0%) 和单沟粉(4.3%). 较常见的花粉属有 *Protohaploxylinus*(26.1%), *Taeniaesporites*(8.7%) 和 *Cycadopites*(4.3%). 此孢粉组合带中已发现了一些早三叠世的标准孢粉化石: *Aratrisporites*(70, 78 层)、*Taeniaesporites*(70 和 78 层)、*Limatusporites*(70 层) 和 *Lundbladisporea*(70 层), 78 层中后两属的含量分别达 4.3% 和 8.7%, 表明它们已不可能是晚二叠世晚期出现的先驱分子, 因此本组合带时代应为早三叠世.

利用孢粉资料划分陆相二叠系-三叠系的界线前人已作过许多研究^[2,5-8,10,11]. 现根据上述建立的孢粉组合资料进行生物地层界线的探讨. 孢粉化石的前 3 个组合带(67b④层以下)中, 第二组合带为一段菌孢富集、延长时间较短的组合带, 菌孢的繁盛可能与某些特殊的环境效应相关联; 第三组合带的孢粉化石反映的植物背景具有第一组合带的继承性特点, 并发育晚二叠世的标准孢粉化石 *Lueckisporites*, 因此, 该剖面 67b④层以下的地层应属上二叠统. 第五孢粉组合带与第一、二、三组合带比较, 孢粉组合面貌截然不同, 此时的裸子植物花粉在含量上首次超过蕨类孢子成为优势分子. 同时根据剖面上早三叠世重要标准化石 *Aratrisporites*(70 层, 78 层) 和 *Taeniaesporites*(70 和 78 层) 的延限, 不难认定此组合带为下三叠统. 第四组合带仅见少量的菌孢及孢粉化石, 孢粉化石无二叠纪的典型分子, 也无标准的三叠型分子, 从地层的结构特点将其时代置于早三叠世早期. 因此, 从孢粉组合特点推断, 该剖面的二叠系-三叠系界线位于 67b④层底(距 66 层顶 74 cm)处.

2.2 古植物化石特征

黔西滇东晚二叠世植物群在上世纪 80 年代赵修祜等^[12]作过仔细的研究. 王尚彦对岔河剖面的植物化石亦有所研究^[2]. 此剖面晚二叠世宣威组植物群重要分子有: *Lobatannularia multifolia*, *L. heianensis*,

Annularia shirakii, *Lepidodendron lepidophloides*, *Gigantonoclea guizhouensis*, *Gigantopteris nicoatianaefolia*, *G. guizhouensis*, *Pecopteris guizhouensis*, *Rajahia guizhouensis*, *Cladophlebis permica*, *C. fuyanensis*, *Neuropteridium coreanicum*, *Compsopteris contracta* 等。从植物化石的面貌应归于 *Lobatannularia multifolia*-*Gigantopteris nicoatianaefolia* 植物群, 为晚二叠世滨海湿热沼生植物群。本剖面尚未发现典型的早三叠世植物化石。植物化石在界线上、下的变化主要体现在分异度和丰度上, 界线之下植物的分异度和丰度都高, 而界线之上则属种单调, 且数量较少。分异度和丰度多寡的二个大阶段在界线上、下变化十分明显。

3 界线附近粘土岩研究

陆相二叠系-三叠系界线地层的研究, 发现了具有事件地层标志的界线粘土岩^[2-4,13], 它可与华南海相二叠系-三叠系界线粘土岩相对比^[1,14,15]。贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线附近粘土岩的研究, 得出了以下认识:

3.1 粘土矿物

界线上、下的 GWC66f, GWC-68a 和 GWC-68c 三个粘土样品中, 其粘土矿物以伊/蒙混层矿物为主, 另有少量蒙脱石和绿泥石。伊/蒙混层矿物的混层比为 75%, 即伊利石晶层的含量占 75%, 蒙脱石晶层的含量占 25%。

3.2 碎屑物质

在 GWC-66f 和 GWC-68a, c 的碎屑物质中, 有一些晶形完好的六方双锥石英和长条状的锆石, 无球粒; 其余大部分为硅质、钙质及铁质的不规则状颗粒。

3.3 全岩成分

对界线附近粘土岩样品进行了 X 荧光分析, TiO_2 含量在 GWC-68c 和 GWC-68a 中处于最低值, 为 0.69% 和 0.65%, 而 TFe_2O_3 含量在 WC-66f 中最高, 为 7.56%; K_2O 在 GWC-68c 和 GWC-68a 中处于最高值, 分别为 6.68% 和 6.32%; SiO_2 含量在 GWC-66f 中最高, 为 61.41%, 而 Al_2O_3 含量在 WC-66f 中最低, 为

13.58%。由此可见, 多种氧化物的含量在界线附近的粘土岩中发生了明显的变化。

3.4 结论

通过对界线附近粘土岩的研究, 可得出以下结论:

① 66f 和 68 这两层粘土岩的粘土矿物组合由伊/蒙混层矿物、蒙脱石和少量绿泥石组成, 并且在这 2 层中出现了与火山事件有关的六方双锥石英和锆石, 多种氧化物的含量也突然发生了变化。与浙江省长兴煤山全球二叠系-三叠系界线金钉子剖面相比, 66f 和 68 相当于界线粘土层, 它们相当于煤山剖面 25 层和 28 层(图 2), 岔河剖面的 67 层相当于煤山剖面的 27 层(界线层)。

② 在 66f 层中出现有与火山事件有关的六方双锥石英和锆石, 多种氧化物的含量也突然发生了变化。因而威宁岔河陆相二叠系-三叠系的事件地层界线位于 66f 层之底。

③ 界线粘土岩的成因尚有争议^[2,4,13,16,17]。本剖面的 66f 和 68 的界线粘土岩是由于火山喷发时火山灰降落伴随正常沉积物沉积形成。粘土岩中高温石英和锆石的出现就是证据。这两层粘土岩中无球粒。地内事件和地外事件均可形成球粒, 只是它们的成分不同而已。无球粒的粘土岩层肯定不会是地外事件形成, 而是由地内火山事件形成。

经粘土岩和生物化石的研究, 在初步确定的生物地层界线附近发现有 2 层具事件意义的粘土岩, 存在与海相金钉子剖面相似的岩性和事件组合的界线层序列, 即由界线下粘土岩+界线层+界线上粘土岩组成的三层式界线层序列(界线层组)。剖面的 66f 层至 68 为界线层组, 界线层组的确立, 为生物地层界线的确定缩小至很小的范围, 同时解决了陆相二叠系-三叠系界线与海相二叠系-三叠系界线对比的困难。

4 分子地层

目前在陆相二叠系-三叠系界线剖面研究中, 有关有机地球化学方面的研究尚不多见, 本文首次对威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线剖面作了分子

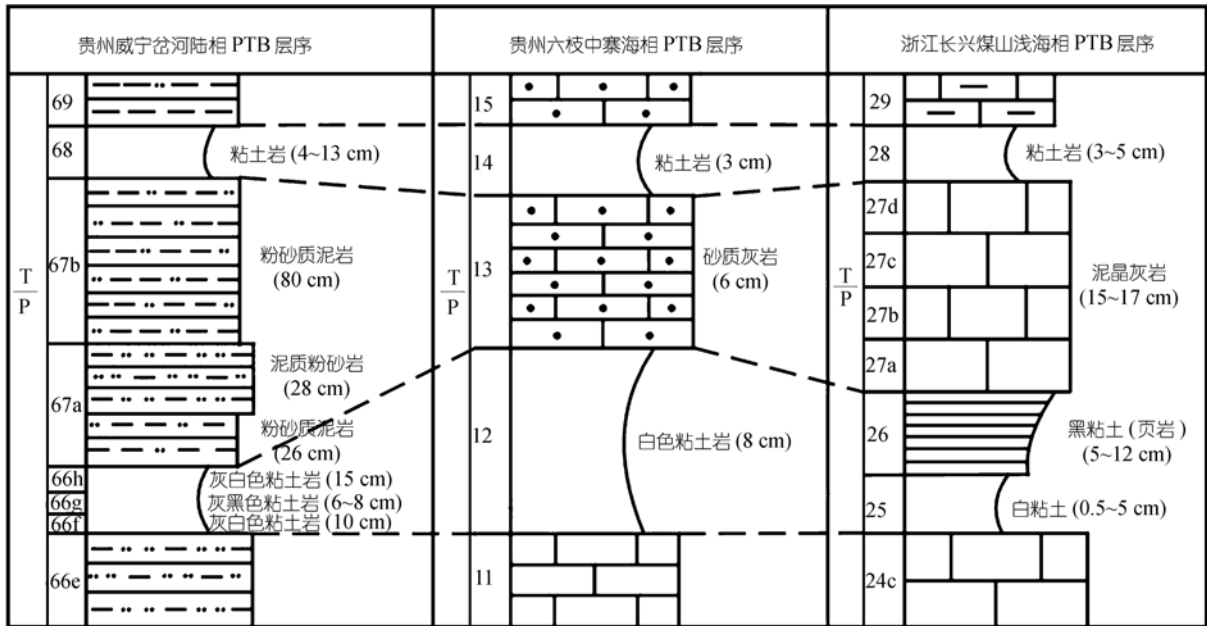


图 2 威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线层与长兴煤山海相二叠系-三叠系界线层对比图

地层的尝试性研究，其目的一方面是探讨其在地层学，特别是 P-T 系界线划分方面的意义，另一方面是根据母质类型方面的变化恢复该地质时期的生物演化。

4.1 样品采集、前处理及分析方法

对贵州岔河剖面进行了系统的分子化石采样，界线附近样品密集。室内将要分析的岩石样品磨碎至 80 目以下，并将所用试剂重蒸纯化，玻璃器皿经重铬酸钾硫酸热溶液(3%)洗涤，再用水洗并烘干，将样品(150 g)用氯仿在索氏抽提器连续抽提 72 h，抽提液经减压旋转蒸发，干燥、称重后用氧化铝/硅胶色层柱分离出烷烃、芳烃和非烃。烷烃和芳烃进行气相色谱-质谱联用仪分析。

气相色谱-质谱联用仪为 HP6890 GC /HP5973MS，色谱条件：HP-5 MS 石英毛细管柱，始温 70℃，然后以 3℃/min 的速度升至 280℃，终温恒定 20 min，进样口温度 300℃，载气为氦气。质谱条件：离子源为电子轰击源，电离能量 70eV，GC 与 MS 接口温度为 280℃，进样量 1 μL。

4.2 分子化石特征

岔河陆相二叠系-三叠系界线附近的沉积岩中可

溶有机质含量(表 2)极低，为 8.7~20.7 μg/g，平均 13.9μg/g，纵向上变化不明显。有机质中烷烃与芳烃所占比例接近，两者之和约占有机质总量的 46%，非烃和沥青质约占 54%。检测出的分子化石主要有正构烷烃、类异戊二烯烷烃、萜烷和甾烷。

(i) 正构烷烃 正构烷烃碳数分布范围为 $nC_{16} \sim nC_{33}$ ，上二叠统出现主峰碳为 nC_{18} 的单峰型分布特征，部分为双峰型。这种主峰碳为 nC_{18} 的单峰型碳数分布特征与一般典型的陆相沉积明显不同，这到底是生物绝灭的影响，还是受其他因素(如样品受后期改造作用)的影响，目前还不得而知。由于样品中的可溶有机质含量极低，并不排除受有机质保存的影响。下三叠统则主要为较典型的双峰型分布，低碳数与高碳数分子的基本相当，前主峰为 nC_{18} ，后主峰为 nC_{29} ，奇偶优势不明显，碳优势指数 $(CPI = (C_{25-33} + C_{23-31}) / 2C_{24-32})$ 平均值 1.13。

(ii) 类异戊二烯烷烃 目前在岔河剖面检测出的类异戊二烯烷烃主要是姥烷和植烷。

(iii) 萜烷 主要有长链三环萜烷和五环三萜烷。三环萜烷碳数分布范围为 $C_{19} \sim C_{29}$ ，以 C_{21} 和 C_{23} 为主， C_{22} 和 C_{27} 含量很低， C_{26} 、 C_{28} 和 C_{29} 各带两个差向

表 2 威宁岔河剖面可溶有机质含量及族组成特征

层位	样品编号	可溶有机质含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	族组成/%		
			烷烃	芳烃	非烃+沥青质
下 三 叠 统	GWC74top	13.33	25.0	20.0	55.0
	GWC74bot	16.67	20.0	16.0	64.0
	GWC73	11.33	17.7	17.7	64.6
	GWC72	12.00	22.2	5.6	72.2
	GWC71top	10.00	20.0	6.7	73.3
	GWC71bot	20.67	12.9	6.5	80.6
	GWC70top	16.67	8.0	12.0	80.0
	GWC70x	14.00	14.3	14.3	71.4
	GWC69top	13.33	25.0	10.0	65.0
	平均	14.22	18.3	12.1	69.6
异 常 层	GWC69bot	17.33	15.4	15.4	69.2
	GWC68-2	10.67	25.0	25.0	50.0
	GWC68-1	16.00	4.2	16.7	79.1
	GWC67top	10.00	13.3	26.7	60.0
	GWC67b	14.00	23.8	14.3	61.9
	GWC67a	15.33	8.7	17.4	73.9
	GWC67bot	14.67	4.6	22.7	72.7
	GWC66-4	14.67	13.6	45.5	40.9
	GWC66-3	18.00	22.2	7.4	70.4
	GWC66-2	14.67	31.8	18.2	50.0
	GWC66b/c	19.33	10.3	37.9	51.8
	GWC66-1	10.00	33.3	60.0	6.7
	GWC65top2	11.33	29.4	52.9	17.7
	GWC65top	8.67	38.5	30.8	30.7
	GWC65bot	16.67	28.0	28.0	44.0
	GWC64top	16.00	20.8	20.8	58.4
GWC63top	16.00	33.3	20.8	45.9	
平均	14.31	21.0	27.0	52.0	
上 二 叠 统	GWC63bot	9.33	28.6	42.9	28.5
	GWC47top	12.67	47.4	36.8	15.8
	GWC47bot	10.00	46.7	53.3	0.0
	平均	10.67	40.9	44.3	14.8
总平均		13.91	22.2	24.2	53.6

异构体, 五环三萜烷包括两个三降藿烷(即 Ts 和 Tm), C_{29} 降藿烷, C_{30} 藿烷, $\text{C}_{31}\sim\text{C}_{34}$ 升藿烷以及伽玛蜡烷, 以 C_{30} 藿烷占明显优势地位. 伽玛蜡烷分布较为普遍但含量不高.

(iv) 甾烷 主要为 C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷的 12 个常见异构体, 其中 C_{29} 规则甾烷含量 40.1%~55.3%, 平均 47.5%, C_{28} 含量 19.8%~33.3%, 平均 25.8%, C_{27} 含量 19.2%~32.5%, 平均 26.7%. 甾烷化合物以 C_{29} 规则甾烷占绝对优势, 反映了一种陆相沉

积环境特征.

4.3 分子化石的生物学意义

有意义的是, 在二叠系-三叠系界线附近, 一些中等碳数的正构烷烃含量明显增加, 这可以从 $\text{C}_{21\sim 24}/\text{C}_{21\sim 33}$ 的比值上反映出来(图 3). 研究显示, 一些沉水植物往往出现一些较高丰度的中等碳数($n\text{C}_{23}$, $n\text{C}_{25}$)正构烷烃^[18], 某些苔藓植物也出现 $n\text{C}_{23}$ 主峰的正构烷烃^[19~21]. 因此, 正构烷烃分子化石反映了在界

线附近可能出现一些较低级的高等植物，如苔藓植物等。这与其他地区二叠系-三叠系界线附近的孢粉分析吻合^[8]。

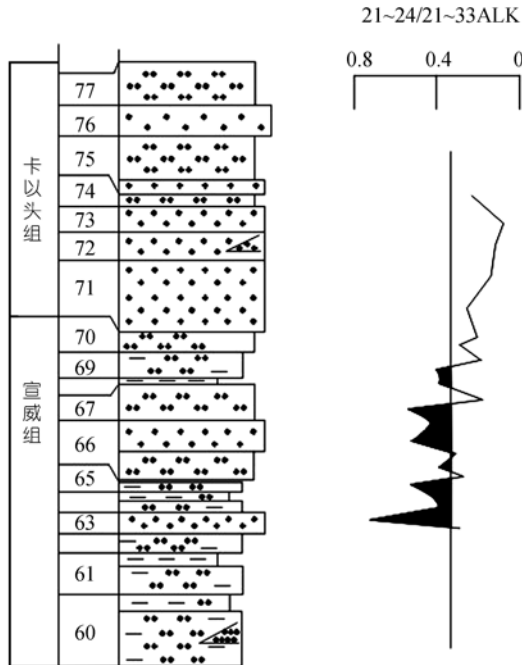


图3 威宁岔河剖面正构烷烃 C_{21-24}/C_{21-33} 比值的变化

5 有机碳同位素特征

岔河剖面二叠系-三叠系界线附近的有机碳同位素曲线见图4右栏。采样间距一般为10 cm，但在67层加大密度为2~5 cm。其样品测试是在中国地质大学同位素室完成。结果显示：不像海相剖面那样在界线附近普遍存在负偏(有机碳同位素值减少)，而是整条曲线相对平滑，仅在-25‰附近变迁。67层和68层(上粘土)有4个小的负偏，偏幅为2‰~3‰。而较大的偏幅变化发生在61层和71层底部。

冈瓦纳陆相二叠系-三叠系界线附近的有机碳同位素研究显示，分布在20 m厚的范围内有多个有机碳同位素负偏和强烈的正偏相间。而南非卡鲁盆地的有机碳同位素仅显示单一的负偏，偏幅为-16‰。岔河剖面曲线长度或厚度可能是太短而不足以展现这种峰值，它的中值是-25‰，与冈瓦纳剖面大致相同，在现代C3植物范围内，没有发生单一的有机碳同位素负偏。我们赞同de Wit等人^[22]观点：P/T纪之交的生物大绝灭不会是单一事件而引起。

6 同位素测年

对岔河剖面二叠系-三叠系界线粘土岩中锆石，进行了铅铀法测年。测试由天津地质矿产研究所李惠明研究员完成，其检测仪器为VG354型质谱计。在上粘土(68层)获得结果：68 a的5个锆石获得的铅铀同位素年龄为 $252.6 \pm 2.8\text{Ma}$ ；故68 a层粘土岩形成于早三叠世最早期。浙江长兴煤山全球二叠系-三叠系界线层型剖面上，其界线下粘土(26层)的同位素平均年龄值为 $252.6 \pm 0.2\text{Ma}$ ^[23]。岔河界线上粘土的同位素年龄值大体可与海相层型剖面的粘土年龄值相比。陆相二叠系-三叠系界线附近的同位素年龄值在其他地区尚未见有报道。

7 结束语

贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线地层研究取得了以下成果：

(1) 确立了威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线地层的界线层组。经粘土岩和生物化石的研究，存在与海相金钉子剖面相似的岩性和事件组合的界线层序列，即由界线下粘土岩+界线层+界线上粘土岩组成的三层式界线层序列(界线层组)。剖面的66f层至68层为界线层组，界线层组的确立，为生物地层界线的确定缩小至很小的范围，同时解决了陆相二叠系-三叠系界线与海相二叠系-三叠系界线对比的困难^[24]。

(2) 化石研究确定了生物地层界线位于67b④层底。

(3) 通过对界线附近粘土岩的研究，发现粘土岩具有特殊的伊蒙混层矿物组合、六方双锥石英及其锆石等特殊矿物，上述组分与海相二叠系-三叠系界线金钉子剖面的界线粘土岩具有极大的相似性，对确立界线层组具有特殊意义；无球粒的界线粘土岩的成因，认为是由地内火山事件形成；界线下粘土岩为二叠系-三叠系事件地层界线。

(4) 威宁岔河二叠系-三叠系界线附近首次进行了分子地层研究，测出了多种生物标志化合物，对某些生物标志化合物探讨了生物地层学意义，如正构烷烃分子化石反映了在界线附近可能出现一些较低级的高等植物，如苔藓植物等。

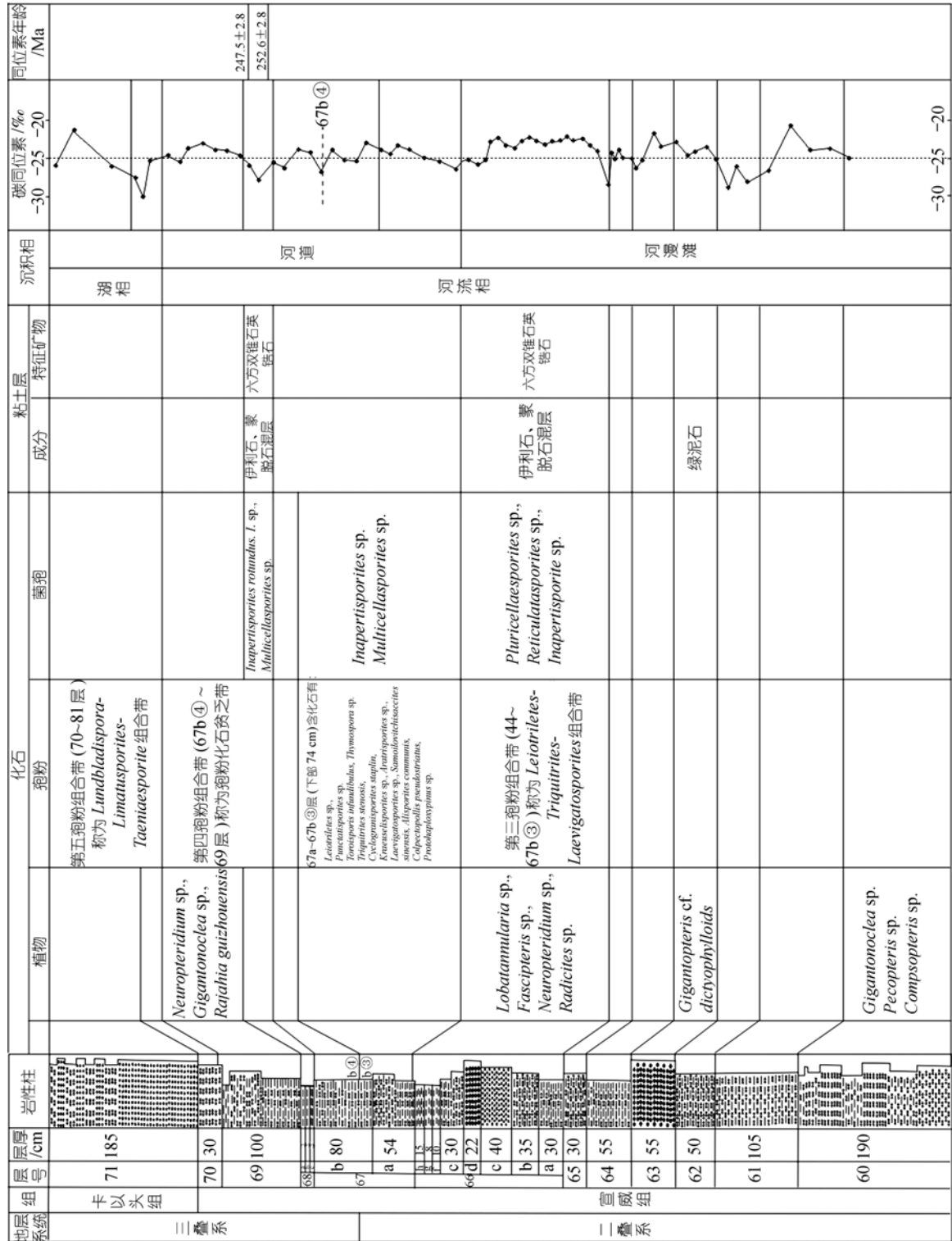


图 4 贵州威宁盆河陆相二叠系-三叠系界线地层综合柱状图

(5) 获得威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线之上的68 a层(上粘土)同位素年龄值为 252.6 ± 2.8 Ma.

(6) 初步确定了贵州威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线剖面的多重地层界线, 岩石地层界线位于71/70层间; 生物地层界线位于67b④底; 事件地层界线位于66f底.

致谢 课题进行中, 得到了中国地质调查局古生物地层中心、国家自然科学基金委员会、中国地质大学地球表层系统开放实验室的关心. 贵州地质矿产局王尚彦总工程师多次在野外指导工作; 天津地质矿产研究所李惠明研究员完成了同位素年龄的测试; 中国地质大学王治平、周修高教授在野外工作及室内化石鉴定等方面给予很大的帮助. 在此, 对支持、关心、帮助的个人和单位表示诚挚的谢意.

参 考 文 献

- 1 Yin Hongfu, Zhang Kexin, Tong Jinnan, et al. The Global Stratotype Section and Point(GSSP) of the Permian-Triassic Boundary. *Episodary*, 2001, 24(2):102~114
- 2 王尚彦, 殷鸿福. 滇东黔西陆相二叠纪-三叠纪界线地层研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001. 1~88
- 3 王尚彦, 殷鸿福. 华南陆相二叠-三叠系界线地层研究新进展. *中国地质*, 2001, 28(7): 16~21
- 4 王尚彦, 殷鸿福. 滇东黔西地区陆相二叠系-三叠系界线粘土岩特征. *中国地质*, 2002, 29(2): 155~160
- 5 欧阳舒. 云南富源晚二叠世-早三叠世孢子花粉组合. 北京: 科学出版社, 1986.1~122
- 6 Ouyang Shu, John Utting. Palynology of Upper Permian and Lower Triassic rocks, Meishan, Changxing county, Zhejiang Province, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1990, 66:1~2, 65~103[DOI]
- 7 Ouyang-Shu, Norris-Geoffrey. Earliest Triassic (Induan) spores and pollen from the Junggar Basin, Xinjiang, northwestern China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1999, 106: 1~2, 1~56[DOI]
- 8 Eshet-Yoram, Rampino-Michael-R, Visscher-Henk. Fungal event and palynological record of ecological crisis and recovery across the Permian-Triassic boundary. *Geology (Boulder)*, 1995, 23(11): 967~970
- 9 Poort R J, ClementWesterhof J A, Looy C V, et al. Aspects of Permian palaeobotany and palynology. 17. Conifer extinction in Europe at the Permian-Triassic junction: Morphology, ultrastructure and geographic/stratigraphic distribution of *Nuskoisporites dulhuntyi* (prepollen of *Ortiseia*, Walchiaceae). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1997, 97: Iss 1~2, 9~39[DOI]
- 10 Wood-Gordon-D, Elsik-William-C. Paleocologic and stratigraphic importance of the fungus *Reduviasporonites Stoschianus* from the "Early-Middle" Pennsylvanian of the Copacabana Formation. *Peru Palynology*, 1999, 23: 43~53
- 11 姚兆奇, 徐均涛, 郑灼官, 等. 黔西滇东晚二叠世生物地层和二叠系与三叠系的界线问题. 中国科学院南京地质古生物研究所编. 黔西滇东晚二叠世含煤地层和古生物群. 北京: 科学出版社, 1980. 1~69
- 12 赵修祜, 莫壮观, 张 祯, 等. 黔西滇东晚二叠世植物群. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所编. 黔西滇东晚二叠世含煤地层和古生物群. 北京: 科学出版社, 1980. 70~122
- 13 张素新, 彭元桥, 喻建新, 等. 黔西威宁岔河陆相二叠系-三叠系界线粘土岩研究. *地质科技情报*, 2004, 23(1): 21~26
- 14 杨遵仪, 吴顺宝, 殷鸿福, 等. 华南二叠-三叠纪过渡期地质事件. 北京: 地质出版社, 1991.19~63
- 15 Cowie J W, Ziegler W, Boucot A J, et al. Guidelines and statutes of the International Commission on Stratigraphy. *Cour Forsch-Inst Senckenberg*, 1986, 83: 1~14
- 16 周瑶琪, 柴之芳, 毛雪瑛, 等. 混合成因模式——中国南方二叠-三叠系界线地层元素地球化学及其启示. *地质论评*, 1991, 37(1): 51~63
- 17 Chai Chifang, Zhou Yaoqi, Mao Xueying, et al. Geochemical constraints on the Permo-Triassic boundary event in South China. In: Sweet W C, Yang Zunyi, Dickins J M, et al. eds. *Permo-Triassic events in the eastern Tethys*. Cambridge: University Press, 1992. 158~168
- 18 Ficken K J, Li B, Swain D L, et al. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 745~749[DOI]
- 19 谢树成, Evershed R P. 泥炭分子化石记录气候变迁和生物演替的信息. *科学通报*, 2001, 46: 863~866
- 20 Nott C J, Xie S, Avsejs L A, et al. n-Alkane distributions in ombrotrophic mires as indicators of vegetation change related to climatic variation. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 231~235[DOI]
- 21 Xie S, Nott C J, Avsejs L A, et al. Molecular and isotopic stratigraphy in an ombrotrophic mire for paleoclimate reconstruction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, 68: 2849~2862[DOI]
- 22 De Wit M J, Ghosh J G, de Villiers S C, et al. Multiple organic carbon isotope reversals across the Permo-Triassic Boundary of terrestrial Gondwana sequences: Clues to extinction patterns and delayed ecosystem recovery. *Journal of Geology, Univ Chicago*, 2002, 110: 227~240
- 23 Roland Mundil, Kenneth R. Ludwig, Ian Metcalfe, Paul R. Renne. Age and Timing of the Permian Mass Extinctions: U/Pb Dating of Closed-System Zircons. *Science*, 2004, 305(5691): 1760~1763[DOI]
- 24 Peng Yuanqiao, Yang Fengqing, Shi G R, et al. Correlating marine and non-marine Permian-Triassic boundary sections using high-resolution event-stratigraphy and biostratigraphy: An example from South China: Proc. XVth International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy, Utrecht, The Netherlands, 2003, 395~396