

论文

禹州植物群——中、晚期华夏植物群之瑰宝

杨关秀^{①*}, 王洪山^{②†}

① 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

② Florida Museum of Natural History, University of Florida, Gainesville, FL 32611, USA

* 联系人, E-mail: zengyangjh@163.com;

† 联系人, E-mail: hwang@flmnh.ufl.edu

收稿日期: 2012-02-24; 接受日期: 2012-05-25

国家自然科学基金(批准号: 48970070, 49472075)和国家科技基础研究平台“国家岩矿化石标本资源共享平台”资助

摘要 华北地台南部的禹州植物群是二叠纪中、晚期华夏植物群中最具区域特色的植物群。由于本区长期处于低纬度滨海潮坪, 三角洲的暖湿气候环境, 发育了化石层位多而连续、数量丰富、演化序列完整、保存完好的植物群。这是研究中、晚期华夏植物群得天独厚的最佳地区。经研究该植物群共计 111 属 307 种。典型的类群有: 节蕨植物 *Lobatannularia* 的形态演变快, 垂向分布有一定规律, 是华北二叠系生物地层划分依据之一。真蕨植物门中 90% 为莲座蕨目, 在禹州植物群的早、中期很发育, 晚期突然衰退。前裸子植物瓢叶目繁盛。古相种子蕨只盛于中二叠世。进步种子蕨盾籽目极度发育于晚二叠世早期末。其中 *Shenzhouphyllum* 是晚期禹州植物群中的特色植物之一。苏铁植物在本区始现较早, 并迅速分化繁衍于中二叠世晚期至晚二叠世早期。银杏植物门种数虽少, 但数量极丰富, 大量繁盛于晚二叠世早期。前有花植物大羽羊齿目, 在禹州植物群中占有十分重要的地位, 是本植物群中最具特色的珍奇类群。根据大羽羊齿目的脉序特征和叶结构所呈现的规律性, 可划分出始现及分化, 首次繁盛, 再度繁盛及突然消失三个演化阶段, 成为华北地区二叠系生物地层划分对比的依据。本文特别指出脉序作为维管植物的输导体系在植物演化中的重要意义。同时据脉序和叶结构演变特征, 把大羽羊齿目的属级分类进行了较大调整。禹州植物群始于早二叠世中期(紫松期)到晚二叠世早期(吴家坪期)突然消失, 随之为晚二叠世晚期的欧美型镁灰岩植物群所代替。根据禹州植物群各类群发育呈现出明显的阶段性, 该植物群的发展历程可划分为早、中、晚三个时期。根据禹州植物群各类群的兴衰, 演替和各类群在不同层位中的组合特征, 禹州植物群自下而上可划分为 5 个植物化石组合带。

关键词

华北地台南部

二叠纪

中、晚期华夏植物群

禹州植物群

禹州植物群是东亚地区中、晚期华夏植物群中最具区域特色的植物群。在二叠纪, 中国华北地台南部位于古特提斯洋东北侧分支的北沿^[1]。特殊的古地理

位置决定了该区具有华北型, 华南型沉积和生物群的过渡特征。历来以具“北型南相”的含煤地层而驰名于世^[2]。华南地台在二叠纪时海域范围广, 海侵时

期多, 所含丰富的海相化石虽是区域地层对比的重要依据, 但却中断了华南地台上陆生植物的发展序列. 而同时期, 华北地台南部的豫西-皖北海湾^[3], 间隔古特提斯洋与华南地台北南相望. 长期处于低纬度陆表海, 滨海, 潮坪和三角洲暖湿气候环境^[4]. 在那里, 既发育有华北二叠系海相地层及化石, 易与华南地台滇, 黔, 闽, 赣等地相关地层对比; 同时植物化石层位多, 数量丰富, 保存完好, 重要植物类群演化序列发育完整, 是研究中、晚期华夏植物群和华北地台区域地层对比之最佳地区. 禹州植物群中发现的古老苏铁最多; 有节植物形态演化趋向明显; 真蕨植物的生殖蕨叶多样化, 最具研究价值; 大羽羊齿目形态演替多样化, 显示了该类群自发生, 发展, 极盛至突然消失的全过程. 华北地台的晚期华夏植物群中, 只有本区保存了独具特色的丰富的最高化石层位. 其组分以进化型种子蕨盾籽目, 大羽羊齿目和部分裸子植物为主. 并在晚二叠世早期末为欧美型镁灰岩植物群所替代^[5].

禹州植物群的横向分布, 西起秦岭东端的豫西,

向东沿华北地台南部延伸, 经豫东至皖北, 大体相当于徐州-郑州-西安一线以南. 由于豫东, 皖北覆盖多, 植物化石产出以河南禹州, 方山, 临汝一线及其以北之新密, 登封, 伊川等地最佳. 其岩性, 岩相, 含煤性和植物群面貌与华北中部不全相同, 具有大量地方性特有分子, 形成独具特色的中、晚期华夏植物群, 故命名为“禹州植物群”. 典型剖面在禹州城区西南约 25 km 的牛头山大风口剖面及其东北面的云盖山剖面^[6](图 1).

豫西地区的地层系统最早由孙健初^[7]建立. 他指出了与山西上古生界最大不同处在于豫西二叠系上部也含煤. 此后 70 余年中划分方案几经更改, 各家意见众说纷纭. 本文基本上沿用孙健初建立的地层单位, 并采用国际标准年代地层系统和中国区域地层表二叠系三分方案^[8]. 据此, 豫西地区晚古生代地方性地层单位名称自下而上分为: 下二叠统朱屯组, 中二叠统下部神屋组, 中二叠统上部小风口组, 上二叠统下部云盖山组, 上二叠统上部三峰山组^[9,10].

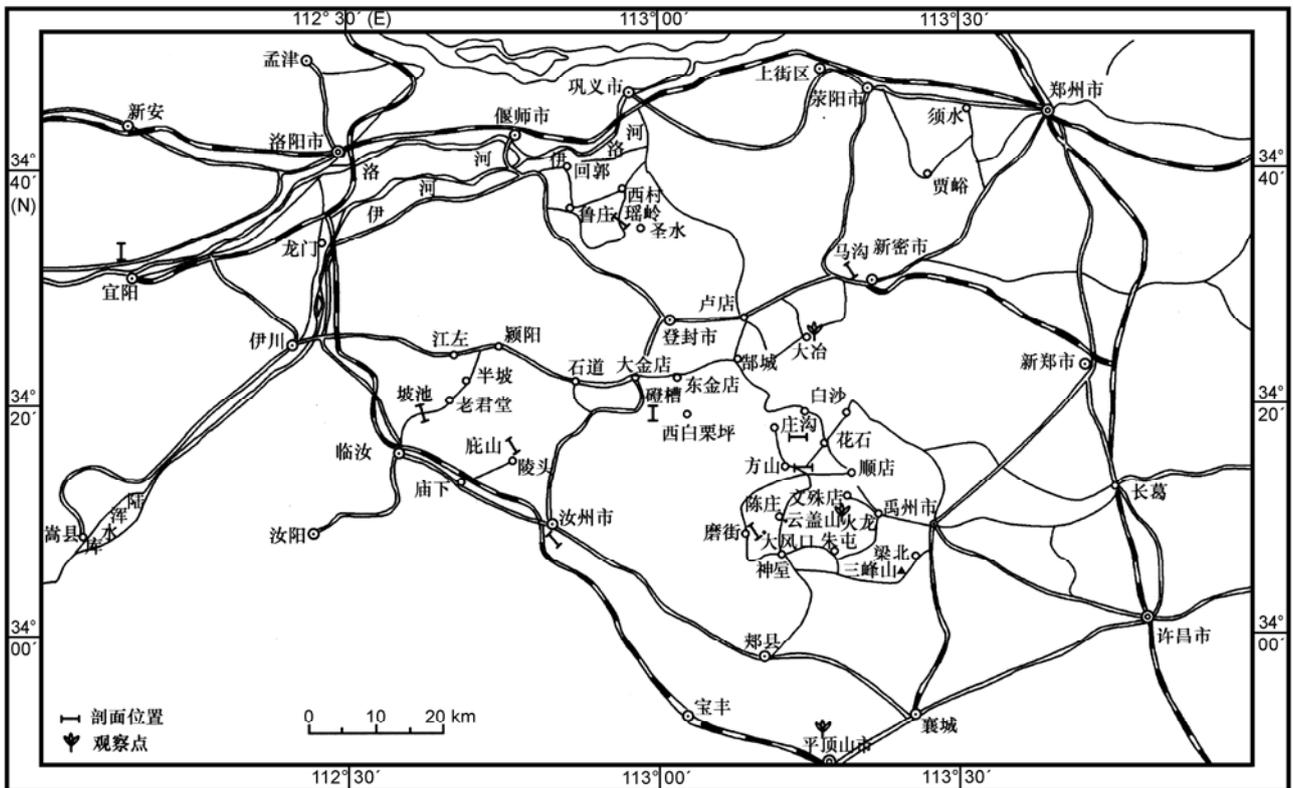


图 1 禹州植物群剖面和化石点分布图

1 禹州植物群的植物学性质

禹州植物群经研究共计 111 属 307 种, 分属于 12 个植物类别. 各类群属种总数和在植物群中所占比例, 如表 1.

禹州植物群的组成分子绝大多数是华夏植物群的特有属种, 几占总数的 2/3. 如: *Lobatannularia*, *Fascipteris*, *Tingia*, *Yuania*, *Emplectopteridium*, 和大羽羊齿目各属: *Emplectopteris*, *Progigantonoclea*, *Gigantonoclea*, *Progigantopteris*, *Pinnagigantonoclea*, *Monogigantonoclea*, *Pinnagigantopteris*, *Monogigantopteris*, *Gigantogramme*, *Neogigantopteridium*. 进步种子蕨植物盾籽目的 *Shenzhouphyllum* (包括 *Psymphyllum multipartitum* 等 3 种), 银杏植物 *Sphenobaiera*, *Rhipidopsis*, *Pseudorhipidopsis*, *Saportea*. 它们也都是只见于华夏植物区二叠纪的珍奇植物. 禹州植物群中蕨类植物 (146 种) 和种子植物 (160 种) 所占百分比分别为 47.7% 与 52.3%. 但至晚二叠世早期, 种子植物比例突然增大, 占全部植物群的 3/4. 禹州植物群各类群的基本特征分述如下(各类群属种名单可参见文献[6]中表 4-1).

1.1 石松植物门

全部属于鳞木目, 属种数不多, 但在朱屯组和神屋组中丰度较高, 是早二叠世至中二叠世早期主要聚煤植物之一, 向上渐少, 但可延续至上二叠统下部的云盖山组. 除了 *Bothrodendron* 与欧美植物区分子可能相关外, 常见的 *Lepidodendron*, *Cathaysiodendron* 等属种, 都是华夏植物区特有种, 即东方型

表 1 禹州植物群各类群属、种数及其百分比

类别	属	种	种的百分比(%)
石松门鳞木目	8	16	5.21
节蕨门楔叶目, 木贼目	11	56	18.24
真蕨门莲座蕨目及形态属	13	60	19.54
前裸子植物门瓢叶目	5	14	4.56
种子蕨门各目及形态属	15	30	9.77
苏铁门苏铁纲苏铁目及形态属	12	36	11.73
银杏门银杏目	4	7	2.28
松柏门科达纲、叉叶纲	9	12	3.91
松柏门松柏纲	1	1	0.33
裸子植物分类不明	2	6	1.95
种子	14	28	9.12
前有花植物大羽羊齿目	12	36	11.73
植物分类不明	5	5	1.63
总计	111	307	100

鳞木^[11]. 中二叠统上部小凤口组中的 *Yangzunya*, 其特征则与华南的苏, 浙, 闽地区龙潭组中发现的 *Lepidodendron polygonale* 最相近.

1.2 节蕨植物门

本门的两大类群楔叶目和木贼目都很发育, 占禹州植物群属种总数的 18.24%, 居第二位. 楔叶目在早二叠世和中二叠世早期, 欧美区和华夏区的 *Sphenophyllum* 皆有发现. 中二叠世晚期小凤口组至晚二叠世早期云盖山组中 *Sphenophyllum* 则全部是华夏区特有种. 叶的形态, 排列方式和脉序细节多样化, 并发育多种具主脉的类型. 楔叶属叶形态的多样性反映了该属在暖湿荫蔽的林下层环境中, 为达到最大限度地吸收阳光和加强输导能力的进化趋向.

木贼目的芦木科各属亦为本区聚煤植物之一. 华夏植物群中, 二叠纪叶化石特有属 *Lobatannularia* 在本区始现于中二叠世神屋组直延至晚二叠世云盖山组顶部, 产出层位多达 22 个. 该属由始现, 繁盛至突然消失, 形态演变快, 垂向^[12]分布有一定规律, 是华北地台二叠系生物地层划分的依据之一.

晚二叠世早期云盖山组中, 本区和安加拉植物区, 冈瓦那植物区一样, 草本木贼科兴起, 除了 *Schizoneura* 外, 并发育了具叶鞘的 *Szecalamitina yangia*.

1.3 真蕨植物门

真蕨植物在禹州植物群中属种数占 19.54%, 居于首位, 其中莲座蕨目及其形态属又几占 9/10. 这类树蕨植物在早、中二叠世的潮坪和三角洲平原低地中亦是重要的聚煤植物. 归于本目的自然属有 *Scoleopteris*, *Qasimia*, *Asterotheca*^[13,14]. 相关的形态属除多达 23 种的 *Pecopteris* 外, 还有 *Fascipteris* 是华夏植物区二叠纪特有的标志分子. 晚二叠世早期莲座蕨目突然衰退, 形态属种数量骤减 2/3, 代之以中生代型的形态属 *Cladophlebis*. 此外, 据生殖叶研究, 尚有薄囊蕨目的里白科, 膜蕨科及少数可能属于?紫萁科的代表.

1.4 前裸子植物瓢叶目

该目 *Tingia* 和 *Yuania* 是华夏植物区二叠纪特有的常见属. 前者在本区中、晚二叠世时很丰富, 上二叠统云盖山组的暖湿池沼低地环境中发育达到极

盛期. *Tingia polymorpha*, *T. taeniata* 枝条两侧的大叶长可达 15~20 cm. *Disinites* 也产出于同样环境. 刘照华等^[15], 王军等^[16]分别从叶表皮结构和植物生存环境的分析, 认为在华夏植物区内, 飘叶目主要发育于光照较弱, 环境湿热的低地植物群落中.

1.5 种子蕨植物门

常见于欧美区石炭纪的古相种子蕨^[17], 其形态属有多种类型. 但豫西地区下、中二叠统的朱屯组, 神垕组中除少数是欧美区分子, 如 *Autunia conferta*, *Neuropteris ovata*, *Odontopteris subcrenulata* 外, 绝大多数是华夏区的特有分子, 如 *Callipteridium tachingshanense*, *Alethopteris norinii*, *A. ascendens*, *Mariopteris hallei*, *Emplectopteridium alatum*. 小风口组和云盖山组中则以进步种子蕨的盾籽目为主, 形态属的代表属有 *Protoblechnum* 和 *Neuropteridium* 等. 上二叠统云盖山组的中上部, 盾籽目突然繁盛, *Shenzhouphyllum* (包括 *Psymgophyllum multipartitum* 等 3 种) 多达 6 种, 形态多样化, 数量丰富. 相关的雌, 雄性生殖器官化石有 *Shenzhouspermum*, *Shenzhouthea* (文献[6], 图版 29~33). 此外, 叶部着生种子的还有 *Henanopteris* 和 *Fascipteridium*. 新兴进步种子蕨植物的叶膜都覆有厚的角质层, 反映出华北地台南部在晚二叠世早期末, 古气候已转向干旱.

1.6 苏铁植物门

本区共发现苏铁植物 13 属 36 种, 占禹州植物群总数 11.73%, 居第三位. 中二叠统下部神垕组中, 除个别种外, 苏铁型叶体积小, 叶质薄. 重要分子有 *Taeniopteris* 型叶多种和连生大孢子叶的 *Procyas* 和 *Cathaysiocycas*^[18,19]. 而在小风口组和云盖山组中, 苏铁植物已是植物类群中的重要组份, 常构成地势相对较高的高地植物群落, 叶体积大而叶质厚. 除了 *Taeniopteris*, *Lesleya*, *Nilssonia* 和 *Ctenis* 等叶化石外, 还有较多的大孢子叶化石, 如: *Primocycas*, *Primozamia*, *Liella* 和 *Phasmatocycas*. 上二叠统云盖山组的苏铁植物形态已近中生代色彩. 小孢子叶球 *Pania* 的小孢子叶形态也与现代的苏铁 *Cycas revoluta* 相近. Mamay^[20]在北美中二叠世早期地层 Leonardian 阶发现苏铁植物的大孢子叶为带羊齿型, 从而使带羊齿型叶有了确切的自然分类归属. 华北地台中、南部二叠系也发现较多带羊齿与苏铁植物的大, 小孢子叶

(球)共生的实例. 从“点断平衡论”分化的渐变和突变规律分析, 苏铁植物在二叠纪应当是始现, 分化和迅速繁盛的突变阶段. 这与华北地台中、南部的古气候地理发展变化是相符的.

1.7 银杏植物门

银杏门或可能属于银杏门的植物仅占全植物群属种总数的 2.28%, 但数量却极丰富. 它们在中二叠统上部小风口组四煤段中始现, 有 *Saportea nervosa* 和 *Rhipidopsis lobata*. 该类群只在上二叠统下部云盖山组才大量繁盛. 重要属有: *Sphenobaiera tenuistriata*, *Rhipidopsis panii*, *Pseudorhipidopsis brevicaulis* 等.

1.8 松柏植物门

本门在植物类群中属种总数最少, 仅占 0.33%, 主要属于科达纲, 但产出量很大. 在朱屯组, 神垕组中都较丰盛, 叶化石 *Cordaites principalis*, *C. schenkii*, 球果穗(花序) *Cordaianthus*, 髓核 *Artisia* 和茎的硅化木都有发现. 科达类的植物体与鳞木同为朱屯组, 神垕组的聚煤植物. 小风口组中又与节蕨门之芦木目, 莲座蕨目的辉木同为聚煤植物. 松柏植物叉叶纲的 *Dicranophyllum* 仅见于小风口组底部. 上二叠统下部云盖山组的顶部, 发现有亚安加拉区的科达纲分子 *Crassinervia*, *Nephropsis* 和 *Lepeophyllum* 及松柏纲的 *Walchia* cf. *bipinnata*.

分类不明的裸子植物, 仅出现一属 *Nystroemia reniformis*^[21], 是一种具高度特化的生殖枝 *Nystroemia* 和特异形态的叶 *Chiropteris* 的联合体. 仅发现叶器官者仍暂归入 *Chiropteris*. *Nystroemia* 为湿生植物, 始现并繁盛于中二叠统上部小风口组. 上二叠统云盖山组为另一繁盛期.

1.9 前有花植物大羽羊齿目

前有花植物大羽羊齿目^[22]出现于华夏植物群中、晚期. 在禹州植物群中该类群占有十分突出的地位, 其丰盛的程度及清晰的演化序列世所罕见. 已知垂向分布至少有 23 个层位以上, 共发现 12 属 36 种 (2 个未定种), 占禹州植物群属种总数之 11.73%, 与苏铁植物门并列第三位 (文献[6], 图版 52~72). 在华北地台中、南部, 自中二叠世早期至晚二叠世早期末大约 19 Ma 年期间, 大羽羊齿目植物迅速完成了其始现-繁盛-绝灭的进化全过程. 它是华夏植物区最具特

色的珍奇植物. 根据该目在垂向上属种分布的兴衰, 脉序特征和叶结构的演变规律, 可分为始现及分化, 首次繁盛, 再度繁盛及突然消失三个演化阶段^[23]. 本目的演化阶段亦作为华北地区二叠系生物地层划分对比的重要依据. 大羽羊齿目叶的脉序渐次复杂化和叶结构逐步完善化呈现出明显的规律性.

1.9.1 脉序渐次复杂化

维管系统是维管植物赖以生存的输导体系. 叶片中的脉序是植物输导体系重要的末梢部位. 它们与外界环境直接接触, 对外部环境的变迁反映尤为灵敏. 因此, 叶片中的脉序, 特别是大型叶的脉序是植物输导体系最直接的重要表征. 它和植物体内部维管系统的解剖特征具有同等重要意义. 把大羽羊齿类叶部脉序的演变仅看成是该类植物外部形态变化的观点是片面的. 大羽羊齿类叶部脉序的垂向变化准确地反映了该类植物输导系统的演化规律. 本区大羽羊齿目在垂向演变过程中, 其叶片的脉序由简单到复杂呈现出多样而具规律性的变化:

(1) 始现分化阶段: 小羽片的侧脉二歧分叉结成简单网眼. 如: *Emplectopteris* 和 *Progigantonoclea* 的小羽片已逐步愈合成羽片, 自侧脉伸出的细脉二歧分叉结成简单网眼. *Cathaysiopteris* 自侧脉伸出的细脉成羽状, 是另一种演化趋向.

(2) 首次繁盛阶段: 中二叠世晚期, 大羽羊齿目在爆发式成种作用中, 出现较多的新属种, 脉序发展呈多样化. *Gigantonoclea* 的一至三级侧脉呈羽状, 末级细脉则多次二歧分叉结成单网眼. *Progigantopteris* 初具锥形的重网脉, 但末级细脉仍然二歧分叉. *Gigantopteris* 具重网脉序, 第二级或三级羽状侧脉结成大网眼. 第3或第4级羽状脉结成小网眼形成重网. 而细脉 (或称盲脉) 则大多数不发育.

(3) 再度繁盛及特化阶段: *Gigantopteris* 的重网脉进一步复杂化, 自2级或3级以上的侧脉开始形成的重网脉可多达3~4级依次套叠, 最后网隙内还有细脉 (盲脉), 并二歧分叉1~3次. 其复杂程度等同或甚至超过现生双子叶被子植物叶重网脉序的级次. 在晚二叠世早期末的热带干湿气候条件下, 大羽羊齿目有的属还出现叶脉增粗, 叶边缘叶脉增粗成刺状或叶体积缩小等适应干季形态特征^[23].

1.9.2 叶结构完善化

本区大羽羊齿目原始的代表 *Emplectopteris* 蕨叶多次羽状分裂, 叶架呈两次二歧分叉状, 近于种子蕨植物^[24]. 较进化的 *Gigantonoclea* 叶结构呈蕨型羽状分裂, 即蕨叶顶部有若干对未完全分裂的羽片合成顶羽片^[23]. 进一步演变成真正的羽状复叶, 其蕨叶顶部无顶羽片, 而为具柄的顶端小叶, 如: *Pinnagigantonoclea*, *Progigantopteris*. 另一类进化为单叶结构. 单叶具明显的叶柄, 叶柄腋部具芽, 如 *Monogigantonoclea*, *Monogigantopteris*. 羽状复叶和单叶的出现, 使大羽羊齿目的叶结构跨出了蕨型叶的范畴. 而与双子叶被子植物的叶结构相似, 在其进化趋向上是一个质的飞跃.

1.10 种子

禹州植物群中已发现的种子甚多, 已知14属28种, 占到植物群的9.12%. 它们的着生方式及形态大小各异.

种子个体小者 (约2~5 mm): 着生于叶或裂片顶端, 盾盘状大孢子叶背部边缘, 叶或小羽片的中脉, 各级侧脉基部或边缘, 有的聚集成果穗. 成熟后易于脱落. 种子形态各异, 但多具刺, 具翅或被毛, 利于风力散布.

种子个体巨大者, 单个保存. 绝大部分外种皮厚, 有的还具硬的内种皮, 表明已能在水体中漂浮传播.

2 禹州植物群的植物化石组合带及对比

根据本区二叠纪各类植物的兴衰, 演替和各类群在不同层位中的组合特征. 特别以大羽羊齿目, 节蕨植物的演替, 中生代型种子蕨, 苏铁类, 银杏类的始现和繁盛特征为依据, 禹州植物群自下而上可划分为5个植物化石组合带. 时代分别为: 早二叠世中、晚期, 中二叠世早期, 中二叠世晚期和晚二叠世早期.

2.1 第 I 植物化石组合带: 斯氏鳞木-斜方鳞木-卵脉羊齿组合带 (*Lepidodendron szeianum*-*L. posthumii*-*Neuropteris ovata* Assemblage Zone)

本组合带赋存于朱屯组. 植物化石发现于底部铝土岩, 中部砂泥岩段和上灰岩段近顶部. 共计10

属 13 种.

该组合带明显的特征是: 植物类群单调而贫乏, 以东方型鳞木为主体, 次为科达植物, 还有少数节蕨, 真蕨和种子蕨植物. 与广泛分布于华北地台中部太原组中所产生的植物化石面貌一致. 朱屯组的下灰岩段夹 4 层灰岩(L₁~L₄) 其中富含蕨类化石, 重要分子有: *Sphaeroschwagerina glomosa*, *Schwagerina cervicalis*, *Pseudofusulina uralica* var. *sphaerica*^[25], 可与我国广泛分布的二叠系底部紫松阶 *Sphaeroschwagerina* 带对比, 相当于国际标准阿瑟尔阶 (Asselian) 的中部. 朱屯组中部砂泥岩段中有 L₅ 灰岩, 所产蕨类有: *Schwagerina nobilis*, *Eoparafusulina bocki*, *E. contracta*, *Paraschwagerina* 等, 与华南早二叠世紫松期蕨类相当. 朱屯组上灰岩段(L₆~L₈), 产牙形石 *Sweetognathus whitei* 和蕨类 *Staffella*^[25], 其层位相当于我国南方一些地区下二叠统上部隆林阶. 综上所述, 本区第 植物化石组合带的时代应为早二叠世紫松中期-隆林期(早二叠世中晚期), 相当于国际标准阿瑟尔 (Asselian) 中期至亚丁斯克期 (Artinskian).

2.2 第 植物化石组合带: 三角织羊齿-中国瓣轮叶-翅编羊齿-华夏羊齿组合带 (*Emplectopteris triangularis*-*Lobatannularia sinensis*-*Emplectopteridium alatum*-*Cathaysiopteris whitei* Assemblage Zone)

(1) 本组合带赋存于神屋组中. 在禹州大风口剖面包含有 7 个植物化石层. 综合禹州大风口, 方山, 平顶山矿, 新密县, 登封县, 临汝县, 宜阳县等地相当层位的化石, 第 植物组合带共有植物化石 43 属 90 种. 本植物组合带总貌中, 蕨类植物和裸子植物的比例大致接近 1:1, 以真蕨和种子蕨植物为主体, 次为节蕨植物. 其中东亚型的种有 60 个, 占本组合带植物化石总数的 2/3, 居优势地位.

本组合带各重要类群的面貌为: 1) 大羽羊齿目和瓣轮叶处于始现, 分化阶段. 前者都为原始型, 有 *Emplectopteris*, *Progigantonoclea* 和 *Cathaysiopteris*, 它们只出现在第 组合带中上部中. 瓣轮叶只有刚分化出的 *Lobatannularia sinensis*, 偶有少量 *L. ensifolia* 始现. 2) 楔叶目繁盛, *Sphenophyllum* 等叶型和具三对型的种同时存在. 但后者大都为初具叶镶

嵌, 而三对叶大小差别不大的种. 3) 莲座蕨目: 栉羊齿类和古相种子蕨植物形态属的属种较多. 瓢叶目 *Tingia* 繁盛. 4) 苏铁植物始现并迅速多样化. 5) 鳞木目和科达纲属种虽不多, 但数量上可能超过其他各类群, 是滨海潮坪沼泽中的主要聚煤植物.

第 植物组合带垂向上演替较明显, 中下部有第 组合带的子遗分子: *Lepidodendron posthumii*, *Neuropteris ovata* 等. 中上部则陆续始现新兴的分子. 本组合带植物面貌在豫西各地基本一致. 各剖面产出此组合带的层位中, 都没有出现确切的 *Gigantonoclea*. 而 *Emplectopteris*, *Emplectopteridium*, *Lobatannularia sinensis* 却一直延续到本组合带最上部. 值得注意的是, 自豫西至两淮地区普遍见到 *Emplectopteris triangularis*, *Emplectopteridium alatum*, *Cathaysiopteris whitei* 三者在同一层中产出. 表明这 3 个种的分布在本区不存在上下层位关系, 而是同属一个植物带的分子.

(2) 第 植物化石组合带从总体面貌到重要代表分子与华北地台各地, 朝鲜, 印尼等地区同时期的植物群, 即李星学^[26]所建的中期华夏植物群都可对比 (表 2, 3). 比较而言, 越向华北地台的西北方向, 如: 宁夏葫芦斯台, 内蒙古准旗和甘肃龙首山等地欧美型分子增多.

与周边地区含海相层相当的植物群比较, 可佐证本区第 植物化石组合带的地质时代 (表 3). 1) 华北地台北缘镶黄旗 (翁牛特旗) 额里图组中植物化石 9 属 16 种^[30,45], 其中的大羽羊齿类植物化石的脉序和叶结构与本组合带一样属于始现, 分化阶段. 额里图组向西相变为海相的三面井组, 含 *Misellina ovalis*, *Parafusulina splendens* 和 *Monodiexodina*, 其时代应为中二叠世早期 (栖霞期). 2) 日本本洲北部米谷群 (*Maiya flora*)^[37,38]中有 *Cathaysiopteris whitei* 和大量的 *Taeniopteris*, 可与本组合带对比. 其上部产蕨类 *Misellina claudiae*, *Pseudofusulina ambigua* 和 *Parafusulina* 等, 时代亦属中二叠世早期. 3) 美国西南部得克萨斯州中二叠统 Leonardian 阶的中上部产出的大羽羊齿 *Gigantopteridium americanum*, *Zeilleropteris wattii* 和 *Cathaysiopteris yochelsonii* 等亦属于大羽羊齿类始现, 分化阶段^[39,40], 亦与本组合带相当. 根据蕨类化石归为 Kungurian^[46], 与我国中二

表 2 华北二叠纪植物化石组合(带)划分对比

		华北中部 ^[27,28]				华北南部 ^[6,9,10]						
世	期	代表地层	植物群	植物组合	植物组合带	植物群	岩石地层	地质年代				
晚二叠世	鞞鞞期-卡赞期	石千峰组 (孙家沟组)	晚 期 华 夏 植 物 群	B <i>Ullmannia bronnii</i> - <i>Yuania magnifolia</i> 组合	<i>Ullmannia bronnii</i> - <i>Yuania magnifolia</i> 组合 ^[29]	镁灰岩植物群	三峰山组 (平顶山砂岩段)	长兴期	鞞鞞期	晚二叠世		
		上石盒子组		上部	A <i>Gigantonoclea hallei</i> - <i>Lobatannularia heianensis</i> - <i>Psymophyllum multipartitum</i> 组合	V. <i>Pinnagigantopteris nicotianaefolia</i> - <i>Shenzhouphyllum multipartitum</i> - <i>Pseudorhipidopsis brevicaulis</i> 组合带	晚期禹州植物群	八煤段 七煤段 六煤段			云盖山组	吴家坪期
						IV. <i>Monogigantoclea colocasifolia</i> <i>Pinnagigantoclea mucronata</i> - <i>Lobatannularia heianensis</i> 组合带						
下部	A <i>Gigantonoclea lagrelii</i> - <i>Lobatannularia ensifolia</i> - <i>Fascipteris hallei</i> 组合	III. <i>Gigantonoclea cathaysiana</i> - <i>Monogigantopteris clathroreticulatus</i> - <i>Lobatannularia ensifolia</i> - <i>Fascipteris sinensis</i> 组合带	中期禹州植物群	五煤段 四煤段 三煤段	小风口组	茅口期	卡赞期	中二叠世				
早二叠世	空谷期-阿瑟尔期	下石盒子组	中 期 华 夏 植 物 群	B <i>Emplectopteris triangularis</i> - <i>Tingia carbonica</i> - <i>Cathaysiopteris whitei</i> 组合	II. <i>Emplectopteris triangularis</i> - <i>Lobatannularia sinensis</i> - <i>Emplectopteridium clatum</i> - <i>Cathaysiopteris whitei</i> 组合带	早期禹州植物群	二煤段	神屋组	栖霞期	罗德期-空谷期		
		山西组		A <i>Emplectopteridium alatum</i> - <i>Taeniopteris mucronata</i> - <i>Lobatannularia sinensis</i> 组合	I. <i>Lepidodendron szeianum</i> - <i>L. posthumi</i> - <i>Neuropteris ovata</i> 组合带		一煤段				朱屯组	隆林期-紫松中期
		太原组中上部		A <i>Neuropteris ovata</i> - <i>Lepidodendron posthumi</i> 组合								
晚石炭世	斯蒂芬期-纳缪尔期	太原组下部	早 期 华 夏 植 物 群	B <i>Alethopteris huiana</i> 组合 (?)	地层缺失							
		本溪组		A <i>Paripteris gigantea</i> - <i>Linopteris neuropteroides</i> 组合								

叠统下部相当。

2.3 第 植物化石组合带: 华夏单网羊齿-格网单叶大羽羊齿-剑瓣轮叶-中国束羊齿组合带 (*Gigantonoclea cathaysiana*-*Monogigantopteris clathroreticulatus*-*Lobatannularia ensifolia*-*Fascipteris sinensis* Assemblage Zone)

本组合带赋存于小风口组三、四、五煤段。禹州大风口剖面共有 16 个植物化石层。综合禹州大风口, 方山, 登封县, 临汝县, 平顶山矿, 巩县, 宜阳县各地相应层位所产化石, 归入本植物组合带的有 61 属 150 种。蕨类植物的种数稍大于种子植物。华夏植物区特有种已占组合带总数的 4/5 以上, 居绝对优势。

2.3.1 本组合带各类群突出的特征

(1) 大羽羊齿目和瓣轮叶达首次繁盛阶段。大羽

羊齿目蕨型羽状分裂的 *Gigantonoclea* 最丰盛, 多达 7 种。并始现真正羽状复叶的 *Pinnagigantoclea* 和单叶结构的 *Monogigantoclea*。其脉序也逐步复杂化, 有初具雏型重网脉的 *Progigantopteris* 和真正重网的 *Gigantopteris*。瓣轮叶多达 10 种, 半数以上的种其叶瓣的叶大部分彼此分离, 其中 *Lobatannularia ensifolia* 在整个组合带是常见的优势种。四煤段以上出现叶彼此大部分相连合的种。

(2) *Sphenophyllum* 有 14 种, 形态多样化以具三对型的种为主, 最突出的是发育了叶具主脉的类型。

(3) 真蕨植物以莲座蕨目为主。包括: *Scolecopteris*, *Qasimia*, *Asterotheca* 和形态属 *Pecopteris* 及华夏区特有属 *Fascipteris*。大多数是华北中部上石盒子组中常见的种, 部分为本区特有分子。甚至有华南中二叠世的 *Pecopteris sahnii*, *P.*

表3 豫西禹州植物群生物地层对比

地质年代	地层	豫西(本文)	大兴安岭、内蒙古 ^[24,30]	黔西、滇东 ^[31]	赣中南、闽西 ^[11,32-36]	国外	
乐平世	长兴期	三峰山组 孙家沟植物群 ^[29] : <i>Ullmania bronnii</i> - <i>Yuania magnifolia</i> 组合		宣威组上部植物: <i>Gigantopteris dictyophylloides</i> , <i>Ullmannia</i> cf. <i>bronnii</i> 动物: <i>Palaeofusulina</i> 带	(大隆组)长兴组 动物: <i>Palaeofusulina</i> , <i>Waagenites</i> , <i>Pseudotirolites</i>		
	吴家坪期	云盖山组 V. <i>Pinnagigantopteris nicotianaefolia</i> - <i>Shenzhouphyllum multipartitum</i> - <i>Pseudorhipidopsis brevicaulis</i> 组合带 IV. <i>Monogigantoclea colocasifolia</i> - <i>Pinnagigantoclea mucronata</i> - <i>Lobatannularia heianensis</i> 组合带		宣威组下部植物: <i>Gigantopteris dictyophylloides</i> , <i>Gigantoclea guizhouensis</i> , <i>Rhipidopsis panii</i> 动物: <i>Codonofusiella</i> , <i>Oldhamina</i> , <i>Edriostege poyangensis</i>	翠屏山组(雾霖山组) 植物: <i>Psygmoptyllum multipartitum</i> , <i>Rhipidopsis panii</i>		朝鲜高坊山群上部 ^[41-44] : 植物 <i>Lobatannularia heianensis</i> , <i>Gigantoclea hallei</i> , <i>Sphenobaiera tenuistriata</i> , <i>Psygmoptyllum multipartitum</i> , <i>Pseudorhipidopsis brevicaulis</i>
阳新世	茅口期	小风口组 III. <i>Gigantoclea cathaysiana</i> - <i>Monogigantopteris clathroreticulatus</i> - <i>Lobatannularia ensifolia</i> - <i>Fascipteis sinensis</i> 组合带	于家北沟组 动物: <i>Pseudodoliolina elongata</i> , <i>Parafusulina</i> , <i>Leptodus</i> 植物: <i>Gigantoclea yujiaensi</i> , <i>G. tiayinensis</i> , <i>Fascipteris kaishantunensis</i>		童子岩组(上饶组) 植物: <i>Asterophyllites longifolius</i> , <i>Gigantoclea fukienensis</i> , <i>Gigantopteris nicotianaefolia</i> 动物: <i>Neomisellina</i> , <i>Neoschwagerina</i> , <i>Altudoceras</i> , <i>Shouchangoceras</i>		朝鲜高坊山群中、下部 ^[41-44] : 植物: <i>Lobatannularia ensifolia</i> , <i>Gigantoclea yabei</i> , <i>Fascipteris chongsonensis</i>
	栖霞期	神屋组 II. <i>Emplectopteris triangularis</i> - <i>Lobatannularia sinensis</i> - <i>Emplectopteridium alatum</i> - <i>Cathaysiopteris whitei</i> 组合带	额里图组 下部植物: <i>Emplectopteris minima</i> , <i>Gigantoclea borealia</i>	三面井组 d)			b)
船山世	隆林期 紫松中晚期	朱屯组 I 植物组合带 a) 动物: <i>Staffella</i> , <i>Sweetognathus whitei</i> <i>Schwagerina nobilis</i> , <i>Eoparafusulina bocki</i> , <i>Paraschwagerina</i> <i>Sphaeroschwagerina</i>	a) <i>Lepidodendron szeianum</i> - <i>L. posthumii</i> - <i>Neuropteris ovata</i> 组合带 b) 日本本洲北部 ^[37,38] : 动物: <i>Misellina claudiae</i> , <i>Parafusulina</i> ; 米谷植物群: <i>Cathaysiopteris whitei</i> , <i>Taeniopteris</i> , <i>Tingia</i> 等 c) 美国得克萨斯州植物 ^[39,40] : Roadian: <i>Delnorthea abbotti</i> ; Leonardian: 中上部: 大羽羊齿类处于始现分化阶段 <i>Zeilleropteris wattii</i> , <i>Cathaysiopteris yochelsonii</i> , <i>Gigantopteridium americanum</i> d) 三面井组下部产动物: <i>Monodiexodina</i> , <i>Parafusulina</i> , <i>Misellina</i>				

echinata. *Scolecopteris* 叶具三次羽状分裂, 其蕨叶的一部分就长达 1 m 以上, 被覆在坑道的顶板上 (平顶山矿). 表明树蕨植物最可能也是小风口组的聚煤植物. 此外, 有少数薄囊蕨目各科分子.

(4) 苏铁植物进一步分化, 迅速繁衍. 除了 *Taeniopteris* 外, 叶化石有 *Lesleya*, *Nilssonina*, *Ctenis* 和若干具胚珠的大孢子叶 *Primocycas*, *Phasmaticycas*, *Liella* 和 *Primozamia*.

(5) 古相种子蕨形态属有 *Protoblechnum* 和 *Neuropteridium*. 分类不明的裸子植物 *Nystroemia*,

和可能的银杏植物 *Saportea nervosa* 都属始现.

本组合带发育时期, 本区仍处在滨海三角洲暖湿气候环境中(为 11°N)各类群植物全面繁荣. 组合带中虽有 4/5 以上的植物化石种与第 II 植物组合带不同, 但大类群相同, 说明本组合带植物类群是在前期基础上发展演化而来.

2.3.2 本组合带时代讨论

赋存本组合带的小风口组直覆于神屋组之上, 由植物组合面貌以及相当层位的海相化石对比, 其时

代应归中二叠世晚期(表 2, 3).

(1) 华北地台中部, 山西太原附近是我国华夏植物群研究最早的地区^[47,48]. 经比较本区第 Ⅰ植物化石组合带的植物面貌与太原东山, 西山的上石盒子组中下部(或天龙寺组中下部^[49])最相似. 两者间有相同或相似的共有分子, 但本区要丰盛得多. 本组合带中已知有多达 9 属 17 种是国内外早, 中二叠世分子. 第 Ⅰ植物组合带中还发现部分华夏植物地理大区华南区的分子. 如 *Asterotheca sahnii*, *Pecopteris echinata*, *Cladophlebis ozakii*, *Protoblechnum contracta*, *P. ellipticum* 等. *Qasimia lanceolata* 和 *Q. linearis* 与沙特阿拉伯所产的 *Qasimia schyfsmae* 相似^[50]. *Scolecopteris cathaysicus*, *S. henanensis* 与粤北的 *S. unifercata* 相似^[51]. 表明禹州植物群发展到中期时, 植物群面貌已明显兼具南, 北华夏植物地理区过度色彩.

(2) 华北地台北缘地区, 内蒙古东部克什克腾旗, 中二叠统于家北沟组的下部所含植物化石的组合面貌和重要分子与本区第 Ⅰ植物化石组合带相似. 大羽羊齿目亦属首次繁盛期, 以 *Gigantonoclea* 为主. 于家北沟组上部产蕨类, 腕足类和双壳类化石: *Pseudodoliolina elongata*, *Parafusulina hexigteaensis* 和 *Chonetes matsuchitai*, 时代属于中二叠世晚期^[52].

(3) 华南地台东部闽西龙岩地区的含煤地层童子岩组, 产菊石类 *Altudoceras*, *Paracelites* 蕨类 *Neomissellina* 等中二叠世晚期(茅口期) 动物群. 该组植物化石丰富^[32,33,53], 与本区第 Ⅰ植物化石组合带的植物面貌相似. 从类别比较, 两者都以楔叶, 瓣轮叶, 大羽羊齿类, 栉羊齿类和科达纲繁荣为特征. 但豫西地区的瓣轮叶和苏铁植物比华南发育. 闽西、粤北等地的大羽羊齿植物与豫西不同, 有 *Gigantopteridium*, *Fujianopteris* 和 *Gigantonoclea* 蕨叶呈二歧分叉的类型^[54-56].

(4) 朝鲜北部高坊山群下部的植物化石^[41-44], 与本区第 Ⅰ植物化石组合带也相当.

上述对比表明, 本区第 Ⅰ植物化石组合带具有南北二叠纪华夏植物群的过渡特点. 于家北沟组和童子岩组的动物化石佐证了本植物组合带的时代应为中二叠世晚期(茅口期). 相当于欧洲, 北亚的喀山期(Kazanian), 即国际标准的沃德期至卡匹敦期(Wordian-Capitanian).

2.4 第 IV 植物化石组合带: 芋叶单叶单网羊齿-尖头羽叶单网羊齿-平安瓣轮叶组合带 (*Monogigantonoclea colocasifolia*-*Pinnagigantonoclea mucronata*-*Lobatannularia heianensis* Assemblage Zone)

本组合带赋存于云盖山组下部六煤段的上部. 发育较好的地区有禹州大风口和云盖山李家门剖面, 包括 P. 25~P. 26 化石层; 还有方山, 新密, 登封等地相应的层位. 植物化石共计 27 属 44 种. 种子植物与蕨类植物数量近等. 除了极个别种外, 本组合带的植物化石几已全部为华夏植物大区特有的属种. 与第 Ⅰ植物化石组合带相比, 本组合带属种总数减少 3/4; 新兴分子占本组合带分子总数近 1/2. 蕨类植物总体衰退明显.

几个重要植物类群的面貌为:

(1) 节蕨植物木贼目的瓣轮叶进入另一演化阶段. 除了少数种外, 叶几乎大部分或全部相连, 叶数目相对较多. 如: *Lobatannularia obtusa*, *L. heianensis* 等. *Annularia macronata* 虽起自第 Ⅰ植物带, 却在本组合带十分繁盛. *Asterophylites* 出现枝轴粗壮的新分子. 楔叶目的 *Sphenophyllum* 总体上多样性低, 数量少.

(2) 大羽羊齿目在本组合带中为再度繁盛期, 共有 6 属 13 种. 总体上以细脉结成单网隙类型为主. 在第 Ⅰ植物组合带极盛的蕨型羽状复叶型已大为减少, 仅有 *Gigantonoclea hallei* 一种. 具顶端小叶的羽状复叶型继续发育, 有 *Pinnagigantonoclea mucronata*, *P. guizhouensis*, *P. zelkovoides* 等. 引人注目的是单叶有柄, 腋部有芽的单叶单网羊齿特别发育, 有 *Monogigantonoclea colocasifolia*, *M. rotundifolia*, *M. latiovata* 和 *M. aceroides*. 重网脉序类型的属有来自第 Ⅰ植物组合带的 *Monogigantopteris clathroreticulatus*. 重网脉序羽状复叶型 *Pinnagigantopteris lanceolatus* 和 *P. nicotianaefolia* 在本组合带始现.

(3) 栉羊齿类的 *Pecopteris* 和 *Fasciapteris* 多样性相对减少, 有第 Ⅰ植物组合带延续的分子. 如: *Pecopteris tenuicostata*, *P. andersonii*, *P. nervosa*, *Fasciapteris sinensis*, *F. stena* 等. 较发育的都是侧脉较粗曾见于闽、粤等地区的 *Pecopteris (Asterotheca) crassinervis*. 此外 *Lixotheca (Cladophlebis) permica* 在本组合带始现.

(4) 本区六煤段是下三角洲平原浅水湖泊沼泽

的湿生环境. 大叶型的齿叶 *Tingia polymorpha* 始现. *Nystroemia reniformis* 很繁盛. 在这种湿生环境下苏铁类植物相对并不丰盛, 只有 *Taeniopteris densissima* 和 *Plagiozamites oblongifolius* 等存在.

(5) 生活于高地的裸子植物银杏类 *Sphenobaiera* 在本植物组合带中出现.

2.5 第 V 植物化石组合带 烟叶羽叶大羽羊齿-多裂神州叶-短柄异叶组合带 (*Pinnagiantopteris nicotianaefolia*-*Shenzhouphyllum multipartitum*-*Pseudorhipidopsis brevicaulis* Assemblage Zone)

本组合带赋存于上二叠统下部云盖山组七煤段中上部至八煤段. 包括禹州大风口和云盖山剖面的 P. 27~P. 34, 共 8 个化石层. 还有临汝县坡池, 登封县磴槽相应的化石层. 植物化石共计 58 属 91 种. 本组合带中蕨类植物已大为衰落, 属种数仅占全部种数的 1/4, 而种子植物各类群属种数却占 3/4. 植物群的基本组分有了重大的更替.

2.5.1 各重要类群的面貌

(1) 节蕨植物由第 植物组合带延续的种有 *Sphenophyllum speciosum*, *S. sino-coreanum*, *Annularia mucronata*, *Lobatannularia cathaysiana*, *L. heianensis* 等. 本组合带还有草本木贼类植物 *Schizoneura manchuriensis* 和 *Szecalomitina yangiae*. 表明晚二叠世早期, 在华夏植物大区同样有适应气候条件变更的木贼科新兴分子出现. 鳞木目则仅有残留代表.

(2) 本区第 植物组合带中极盛的真蕨门莲座蕨目进入晚二叠世早期就极度衰落. *Pecopteris*, *Fascipteris* 等延续到本组合带更渐次减少. 而 *Cladophlebis* 蕨形叶却相应增多, 如: 膜蕨科 *Lixotheca (Cladophlebis) permica* 极盛.

(3) 瓢叶目的 *Tingia* 在本组合带发育了叶最大的两个种 *Tingia polymorpha*, *T. taeniata*. 还有 *Yuania* 及盘穗 *Discinites* 等.

(4) 进步种子蕨盾籽目的 *Shenzhouphyllum* 始现于本组合带下部, 有: *S. multipartitum*, *S. symmetricum*. 至本组合带上部达极盛, 重要分子有 *Shenzhouphyllum aliretinervium*, *S. undulatum*, *S. rotundatum*, *S. spatulatum* 等. 与之共生的生殖器官化石有 *Shenzhouspermum trichotomum*, *Shenzhoutheca aspergilliformis* 等, 从结构上它们与盾籽科 *Peltasper-*

mum 最接近. 属于种子蕨的还有小羽片中脉上着生种子的 *Henanopteris lanceolatus* 和单叶, 叶缘具种子的 *Fascipteridium ellipticum*.

(5) 大羽羊齿目除个别种自第 和 植物组合带延续至本组合带下部外, 大多数为始现的新兴分子, 其叶结构和脉序呈现多样性的适应. 蕨型羽叶的 *Gigantonoclea crassiglandula* 具大而突起的腺点很可能是吸引昆虫的蜜腺, 显示了大羽羊齿目机体组织上的进化. 羽状复叶型的单网羊齿有的小叶体积大 (长 10~30 m), 如 *Pinnagiantonoclea spatulata*, *P. rosulata*. 但在本组合带顶部却发育了小叶体积小的种 (长 4~9 m). 如: *Pinnagiantonoclea polymorpha*. 重网脉序型在本组合带最常见的种是 *Pinnagiantopteris nicotianaefolia*, 此种在临汝县坡池最高层位可至云盖山组八煤段顶部 (上距上二叠统底部平顶山砂岩仅 1 m 处). 本组合带上部另一种类型为叶膜较厚, 叶脉相对粗壮者, 以 *Gigantogramme dengfengensis* 为代表. 此外, 还有羽状脉级次达到 5 级的网脉, 盲脉多次二歧分叉的 *Monogiantopteris densireticulatus*.

(6) 裸子植物的苏铁类丰富而多样化. *Taeniopteris* 属有: *T. taiyuanensis*, *T. densissima*, *T. spatulata*, *T. hunanensis*, *T. szei* 等种, 其中前三者源自第 植物组合带. 此外尚有: *Pterophyllum*, *Nilssonina*, *Lesleya*, *Plagiozamites* 和雄性球果 *Pania*. 总计有 5 属 12 种. 银杏类植物除在第 植物化石带已始现的 *Sphenobaiera tenuistriata* 外, *Pseudorhipidopsis bravicaulis*, *P. imparis* 是本组合带特有的分子. *Rhipidopsis* 在第 至第 组合带常有出现, 但以本组合带最盛. 松柏类仅有少量的 *Walchia cf. bipinnata* 产出于本组合带. 引人注目的是本组合带的中上部有亚安加拉区的科达类分子 *Nephropsis*, *Crassinervia* 和 *Lepeophyllum* 出现. 裸子植物分类不明的 *Nystroemia reniformis* 大量产出于第 和 植物组合带中.

2.5.2 第 IV 和 V 植物化石组合带的对比及时代讨论

(1) 与山西太原地区, 长治-临汾地区和垣曲地区相关剖面中植物化石垂向分布比较(表 2, 3). 潘钟祥^[57]在禹州大风口层近顶部, 最早发现 *Gigantopteris nicotianaefolia* 和 *Psygnophyllum multipartitum*, 并认

为与山西太原上石盒子系上部相当. 豫西云盖山组第 和 植物组合带的面貌与山西各地上石盒子组上部(天龙寺组上部)的面貌较为接近. 总体上蕨类植物衰落, 以旧种为主. 而前裸子植物瓢叶目, 种子植物中先进种子蕨盾籽目, 苏铁类, 银杏类植物, 大羽羊齿目和 *Nystroemia* 比较发育. 两地共有分子为: *Sphenophyllum sino-coreanum*, *S. speciosum*, *S. koboense*, *Annularia mucronata*, *Lobatannularia heianensis*, *Pecopteris orientalis*, *P. andersonii*, *P. nervosa*, *P. tenuicostata*, *Neuropteridium polymorphum*, *Lixotheca (Cladophlebis) permica*, *Yuania gigantea*, *Taeniopteris densissima*, *T. taiyuanensis*, *Plagiozamites oblongifolius*, *Shenzhouphyllum multipartitum*, *Gigantonoclea* spp. (各地有不同的种), *Sphenobaiera tenuistriata*, *Nystroemia reniformis* 等. 但豫西第 和

植物组合带的植物化石远比山西地区上石盒子组上部丰富得多, 尤其是大羽羊齿目, 盾籽目, 瓢叶目各类群更为突出. 如豫西云盖山组第 植物组合带中大羽羊齿目共有 7 属 13 种, 神州叶的叶和生殖器官化石共有 3 属 8 种. 而华北中部山西各地上石盒子组上部(天龙寺组上部)中大羽羊齿目仅有 *Gigantonoclea*, *Jiaochengia* 2 属 5 种, 神州叶仅有 *Shenzhouphyllum multipartitum* 一种.

从上覆地层比较, 华北中部上石盒子组顶部为石千峰群下部的孙家沟组所覆; 在本区与之相当的是云盖山组顶部为三峰山组所覆. 王自强^[29]等研究确定孙家沟组植物群中相当部分是西欧晚二叠世镁灰岩植物群(*Zechstein flora*)的代表分子, 以 *Ullmannia bronni* 为优势种. 相反, 通常华夏植物群的特征分子, 如 *Tingia*, *Gigantonoclea*, *Gigantopteris*, *Lobatannularia*, *Fascipteris* 等却突然消失. 孙家沟植物组合应与西欧镁灰岩植物群相当, 时代为晚二叠世晚期, 直伏其下的上石盒子组上部和豫西云盖山组的时代应为晚二叠世早期为宜. 豫西平顶山 6309 钻孔中, 在三峰山砂岩下段(平顶山砂岩段)获得孢粉组合, 以裸子植物种子蕨和古松柏的花粉占优势, 与山西离石的石千峰组孢粉组合十分相似, 其中又以具肋纹的两囊粉为主, 代表属种 *Lueckisporites virkkiae* 为欧洲镁灰岩组标准分子^[58]. 佐证了豫西地区云盖山组第 IV, V 植物组合带时代为晚二叠世早期.

(2) 华南地台含有大羽羊齿植物群的含煤地层

始自中二叠世晚期, 延至晚二叠世晚期. 含煤层位自东向西渐次升高^[53,59]. 黔西, 滇东是华南含大羽羊齿植物群层位最高的地区. 贵州水城^[60]和滇东宣威, 富源等地^[31]的龙潭组或宣威组下部的植物组合与本区第 和 植物组合带比较接近, 共有分子或可比较的分子有: *Sphenophyllum sino-coreanum*, *Annularia pingloensis*, *Lobatannularia cathaysiana*, *Schizoneura manchuriensis*, *Fascipteris stena*, *F. (Ptychocarpus) densata*, *Lixotheca (Cladophlebis) permica*, *Neuropteridium coreanicum*, *Protoblechnum contractum*, *Gigantonoclea hallei*, *Pinnagigantonoclea guizhouensis*, *P. rosulata*, *Pinnagigantopteris nicotianaefolia*, *Pterophyllum eratum*, *Plagiozamites oblongifolius*, *Rhipidopsis panii* 等. 黔西、滇东龙潭组, 宣威组下段产晚二叠世早期吴家坪阶以 *Codonofusiella* 为代表的蕨类动物群. 上覆地层汪家寨组或宣威组上段产长兴阶的 *Palaeofusulina guizhouensis* 等蕨类动物群. 因此, 与龙潭组或宣威组下段相当的本区第 和 植物组合带的时代, 应归于晚二叠世早期为宜(表 3).

3 禹州植物群的发展阶段

禹州植物群始现于早二叠世中晚期, 是由早期华夏植物群在特定的古气候地理条件下发展而来, 到晚二叠世早期末突然消失. 而代之以晚二叠世晚期的镁灰岩植物群. 根据本项目在禹州大风口剖面进行磁性地层研究的结果^[61], 随着华北板块向东北漂移及古环境的变迁, 禹州植物群各类群发育的特点及其组分特征, 呈现出明显的阶段性. 据此, 禹州植物群的发育历程可划分为 3 个阶段(图 2).

3.1 早期禹州植物群: 早二叠世紫松中期-中二叠世栖霞期

早二叠世, 华北板块南部经过长期风化剥蚀, 处于 10.8°N 赤道热带区的滨海环境. 接受了浅水碳酸盐, 潮下潮间碎屑物和沼泽泥炭交互的沉积. 在底部风化面上, 初步衍生出种类单调以鳞木目为主的滨海潮坪湿生先锋植物. 并陆续有多次短期沼泽环境形成薄煤. 栖霞期, 本区移至 12.5°N, 发育了滨海潮坪热带沼泽植物, 形成本区主要可采煤层. 其后发育了浅水湖泊和三角洲平原环境, 并为水下分流河道沉积物覆盖^[4]. 植物组成(图 3)以鳞木目, 科达目, 树蕨型真蕨和古相种子蕨为主, 形成聚煤植物. 大羽羊

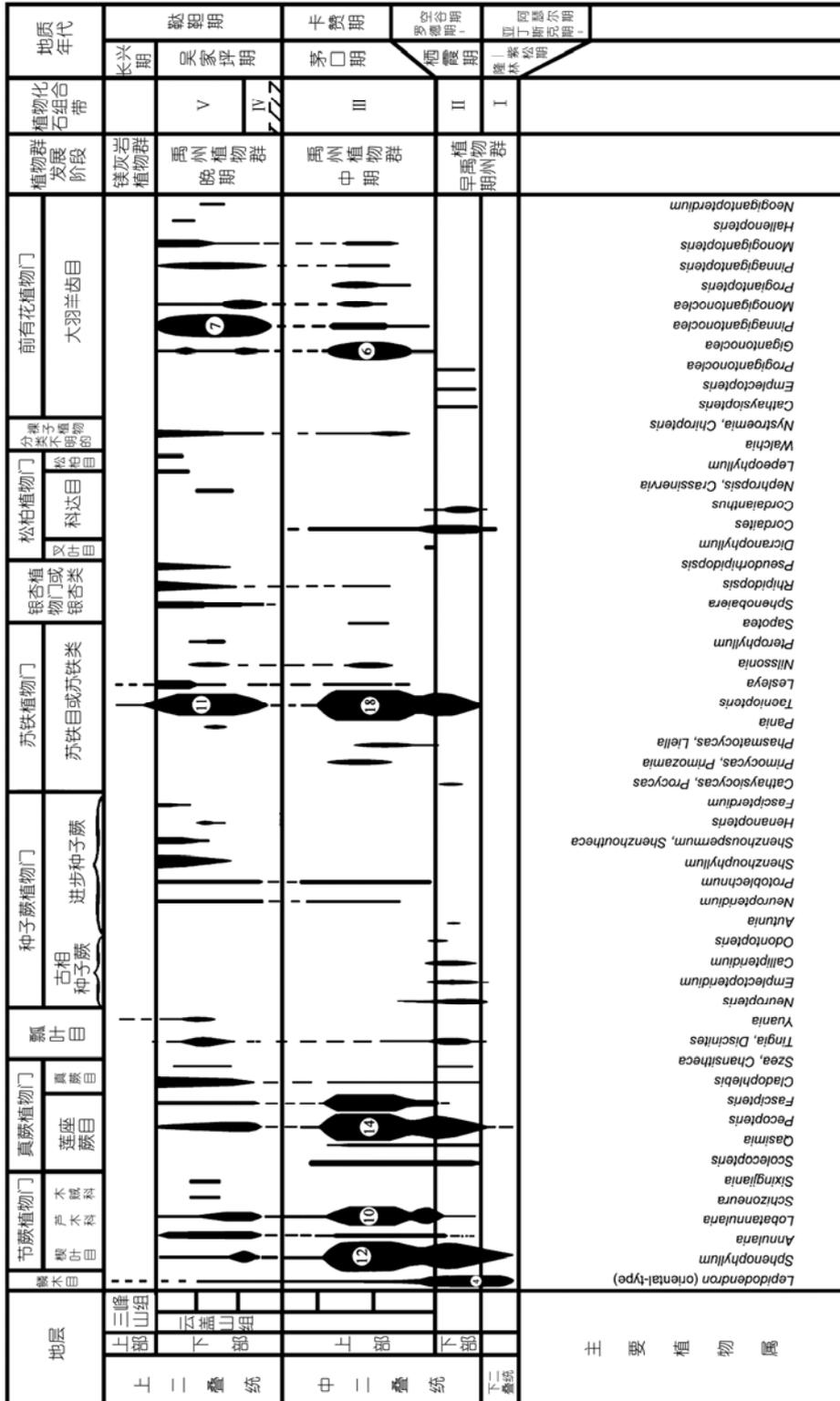


图 2 豫西禹州植物群发展阶段和主要植物属的分布
数字表示种数



图3 早期禹州植物群面貌示意图

石松植物鳞木目: 1. *Lepidodendron posthumii* Jongm. et Goth.; 2. *L. szeianum* Lee; 3. *L. oculus-felis* (Abb.) Zeill.; 4. *L. yuzhouense* Yang; 5. *Cathaysiodendron henanense* Yang. 节蕨植物: 6. *Sphenophyllum pseudocostae* Kaw.; 7. *S. rotundatum* Halle, 7a, 示叶形状, 7b, 示叶脉; 8. *S. minor* (Sternb.) Gu et Zhi; 9. *S. oblongifolium* (Germ. et Kaulf.) Ung.; 10. *S. thonii* Mahr.; 11. *Annularia orientalis* Kaw.; 12. *Lobatannularia sinensis* (Halle) Halle. 真蕨植物: 13. *Pecopteris unita* Brongn., 13a, 示羽片浅裂, 13b, 羽片深裂为小羽片; 14. *P. (Ptychocarpus) arcuata* Halle; 15. *P. flexuosa* Yang; 16. *P. flexa* Yang; 17. *Cladophlebis manchurica* (Kaw.) Gu et Zhi. 前裸子植物飘叶目: 18. *Tingia carbonica* (Schenk) Halle; 19. *T. hamaguchii* Kon'no; 20. *T. partita* Halle. 种子蕨植物: 21. *Sphenopteris tenuis* Schenk; 22. *Alethopteris norinii* Halle; 23. *Al. ascendens* Halle; 24. *Neuropteris ovata* Haffm.; 25. *Emplectopteridium alatum* Kaw.; 25a, 三次羽状复叶, 具间羽片(①)和间小羽片(②), 25b, 示脉序和伴网眼(③); 26. *Callipteridium tachangshanense* (Sze) Lee; 27. *Protoblechnum wongii* Halle; 28. *Odontopteris subcrenulata* (Rost) Zeiller. 28a, 示蕨叶, 28b, 示脉序. 苏铁植物: 29. *Procyas densinervioides* Zhang et Mo 植物复原图; 30. *Taeniopteris mucronata* Kaw. 30a, 示叶形, 30b, 示脉序; 31. *T. serrulata* Halle 31a, 示叶形, 31b, 叶边缘具小刺; 32. *Cathaysiocycas rectanervis* Yang. 32a, 植物复原图, 32b, 示脉序及腺点痕, 32c, 示种子. 松柏植物: 33. *Cordaites principalis* (Germ.) Gein. 33a, 一段带形叶, 具平行脉, 33b, 脉间纹 3~4 条; 34. *C. schenkii* Halle 34a, 一段带形叶, 具平行脉, 34b, 脉间纹 2~3 条. 前被子植物大羽羊齿目: 35. *Emplectopteris triangularis* Halle. 35a, 示蕨叶形态, 35b, 示脉序; 36. *Progigantonoclea henanensis* (Chen Z. H. et Yang) Yang 示蕨叶形态演化趋向, 36a, 羽片深裂, 羽片基部下边第一裂片三角形并下延至羽轴, 36b, 示单网脉序和伴网眼, 36c, 示羽片基部下边收缩成耳状, 边缘浅裂, 36d, 相邻侧脉联结成单网; 37. *Cathaysiopteris whitei* (Halle, Koidz.) Yang. 37a, 蕨叶形态复原图, 37b, 示脉序. 本图是早期禹州植物群各类群基本面貌的示意图. 图中编号顺序按分类系统排列. 为反映植物群总貌, 经精选后内容仍然较多类型复杂, 图中不便标出相应的比例尺 (图4和5同本图)

齿目和苏铁类处于始现分化阶段. 此阶段包括本区第 植物化石组合带, 相当于李星学等^[27]划分的华北中部中期华夏植物群.

3.2 中期禹州植物群: 中二叠世晚期 (茅口期)

中二叠世茅口期, 本区处于 11°N 赤道热带区, 仍为无季节分化的热带雨林气候. 沉积了两个大旋回的三角洲体系^[4]. 自下而上历经三次由水下三角洲平原-下三角洲平原-上三角洲平原至河口湾或海湾环境的交替. 本期植物群组成(图 4)以节蕨植物芦木科, 科达目, 树蕨型真蕨, 苏铁类和大羽羊齿目为主. 前三者组成聚煤植物群. 大羽羊齿目处于首次繁盛阶段. 此阶段包括本区第 植物化石组合带, 相当于李星学等^[27]划分华北中部的晚期华夏植物群 A 期的早期.

本阶段后期, 五煤段沉积于下三角洲平原到水下三角洲平原地带. 这种不利植物生长的环境, 一直延续到晚期禹州植物群阶段的早期. 各类植物的发育受到严重影响, 整个禹州植物群此时显得十分贫乏. 直到六煤段沉积的中期才开始在浅水湖泊沼泽等环境发育湿生植物群落, 并迅速衍生出大量新生的植物类型.

3.3 晚期禹州植物群: 晚二叠世早期 (吴家坪期)

本区在晚二叠世早期, 古地理位置移至 15.3°N 赤道热带的干湿气候带. 再度处于两个大旋回的三角洲体系环境. 早期旋回由六煤段至七煤段组成下三角洲平原-上三角洲平原-三角洲边缘海湾环境, 总体地势低, 仅局部聚煤. 晚期旋回由八煤段组成以上三角洲平原的分流河道和分流间湖泊, 沼泽泛滥盆地为主. 总体地势升高, 干湿季气候变化明显^[4]. 本时期植被主要为灌木型群丛和部分池沼植物. 植物群组分(图 5)则演替为草本的木贼科, 中生代型真蕨, 瓢叶目, 进步种子蕨盾籽目, 银杏类, 苏铁类和大羽羊齿目为主. 大羽羊齿目处于再度繁盛及随之突然消亡阶段. 蕨类植物极度衰落, 而种子植物占统治地位. 后期有亚安加拉植物区松柏类分子入侵. 此阶段包括本区第 和 植物化石组合带, 相当于李星学等^[27]划分华北中部的晚期华夏植物群 A 期的晚期. 直至临近晚二叠世早期末, 禹州植物群突然消失. 晚二叠世晚期, 豫西和华北中部地区已处于

热带干旱气候环境, 出现了以裸子植物松柏类和进步种子蕨为主的欧美区系的内陆高地植物“镁灰岩植物”.

本文是《中国豫西二叠纪华夏植物群——禹州植物群》^[6]的后继文章. 关于禹州植物群各类群的一些具体材料, 本文未予列入. 本文仅对该书中个别植物化石名称作了修改(附录). 正如杨遵仪院士在该书序言中指出的那样, “华夏植物群是一块瑰宝, 还有很多内容尚待挖掘, 很多课题还需深入探讨”. 在现今的华夏植物群研究中, 豫西禹州植物群实属极为罕见的瑰宝. 它特有的构造古地理位置, 决定其具有“北型南相”的过渡性特征. 使得该地区具有华北地区二叠系最高的海相层位, 具有华北地区晚期华夏植物群化石最丰富的最高层位. 由于长期处于热带暖湿气候条件下, 造就了该区各类群植物化石丰富, 保存完好, 化石序列发育完整. 这些得天独厚的优越条件为今后华北地区陆相地层建阶以及禹州植物群各类群自然分类和生态特征等方面的深入研究提供了绝好的资源基础. 在本文即将付印时, 收到张兴辽等^[62]著的《河南省古生物地质遗迹资源》, 该书翔实的古生物资料, 再次证实了豫西地区二叠纪禹州植物群植物化石的丰盛程度和层序的完整性.

附录

本文对《中国豫西二叠纪华夏植物群——禹州植物群》^[6]一书中个别植物化石名称修改如下:

(1) Halle^[47] 根据山西太原的标本建立 *Psygmyphyllum multipartitum* 时, 曾指出此种特征之一为“叶具背腹性, 叶边缘向内弯曲与叶柄的上表面相连成勺形”, 并认为在材料充足时应建立新属. 原苏联 Burago^[63] 也认为中国的 *P. multipartitum* 不具 *Psygmyphyllum* 的特征. 本课题在豫西发现与 Halle 所述 *P. multipartitum* 特征一致的大量标本, 且形态多样, 特征突出. 杨关秀等^[6] 同意 Halle 意见建立新属 *Shenzhouphyllum*, 但仍保留了 *Psygmyphyllum multipartitum* 一名, 并另建两个新种: *P. aliretinervium*, *P. symmetricum*. 本文将此三种改归入 *Shenzhouphyllum* 属, 上述三个种应写为: *Shenzhouphyllum multipartitum* (Halle) Yang, *S. aliretinervium* (Xie) Yang et Xie, *S. symmetricum* (Yang) Yang.



图 4 中期禹州植物群面貌示意图

石松植物鳞木目: 1. *Yangzunia henanensis* Yang. 节蕨植物: 2. *Sphenophyllum henanense* Yang; 3. *S. koboense* Kob.; 4. *S. speciosum* (Royle) McCl.; 5. *S. lobatum* (Yang) Yang, 5a, 示叶形, 5b, 叶具中脉; 6. *Asterophyllites longifolius* (Sternb.) Brongn.; 7. *Paracalamites stenocostatus* Gu et Zhi; 8. *Calamites* cf. *gigas* Brgt.; 9. *Lobatannularia ensifolia* (Halle) Halle; 10. *L. minor* Yang; 11. *L. lingulata* (Halle) Halle; 12. *L. spatulata* (He) emend. Yang; 13. *L. papiliopsis* Yang; 14. *Annularia papilioformis* (Kaw.) Yang et Zhao, 14a, 幼叶形状, 14b, 成熟叶形状. 真蕨植物: 15. *Scolecopteris cathaysicus* Yang et Wang, 营养蕨叶; 16. *Chansitheca kidstonii* Halle; 17. *Pecopteris obtusdentata* Yang; 18. *P. andersonii* Halle; 19. *P. nervosa* (Halle) Wang; 20. *P. lativenosa* Halle; 21. *Fascipteris (Ptychocarpus) densata* Gu et Zhi; 22. *F. hallei* Kaw.; 23. *F. chongsonensis* (Kaw.) Li, Yao et Deng; 24. *F. sinensis* (Stockm. et Math.) Gu et Zhi; 25. *F. recta* Gu et Zhi. 种子蕨植物: 26. *Neuropteridium polymorphum* Halle. 苏铁植物: 27. *Phasmatocycas pinnata* Yang. 27a, 末次生殖羽片, 羽状排列, 27b, 胚珠形状和漏斗状珠孔; 28. *Primocycas chinensis* Zhu et Du 掌状大孢子叶, 左下侧有一卵形胚珠; 29. *Taeniopteris nystroemii* Halle; 30. *T. norinii* Halle; 31. *T. tingii* Halle; 32. *T. henanensis* Yang et Chen. 银杏植物: 33. *Saportea nervosa* Halle. 松柏植物: 34. *Dicranophyllum tenuifolium* Yang. 分类不明裸子植物: 35. *Nystroemia reniformis* (Kaw.) Wang et al. 叶和生殖器官连生的复原图. 前开花植物大羽羊齿目: 36. *Gigantonoclea cathaysiana* Yang 36a, 蕨型羽状复叶, 36b, 单网脉序; 37. *G. tenuinervis* Yang 37a, 羽片形状, 37b, 单网脉; 38. *Monogigantonoclea grandidenia* Yang et Sheng 38a, 边缘具巨齿的单叶, 38b, 单网脉; 39. *Progigantopteris brevireticulatus* Yang 39a, 羽状复叶, 39b, 锥形重网脉; 40. *Monogigantopteris clathroreticulatus* Yang. 40a, 叶阔卵形, 40b, 两级侧脉, 40c, 重网脉



图5 晚期禹州植物群面貌示意图

石松植物鳞木目: 1. *Lepidodendron cervicium* Sze. 节蕨植物: 2. *Annularia mucronata* Schenk; 3. *Lobatannularia heianensis* (Kod.) Kaw.; 4. *L. cathaysiana* Yao; 5. *Schizoneura manchuriensis* Kon'no; 6. *Szecalmitina yangiae* Doweld. 真蕨植物: 7. *Lixotheca* (*Cladophlebis*) *permica* (Lee et Wang) Yao et Liu, 7a, 羽片基部下边小羽片呈两瓣状, 7b, 羽片基部下边小羽片呈两瓣状; 8. *Pecopteris* (*Asterotheca*) *crassinervis* Yang et Chen; 9. *Fasciapteris stena* Gu et Zhi. 前裸子植物飘叶目: 10. *Tingia taeniata* Yang et Chen Z. H. 种子蕨植物盾籽目: 11. *Shenzhoupermum trichotomum* Yang, Xie et Wu; 12. *Shenzhouthea aspergilliformis* Yang et Wu; 13. *Shenzhouphyllum undulatum* (Yang) Yang et Xie; 14. *S. spatulatum* Xie et Wu; 15. *S. multipartitum* (Halle 1927, Yao) Yang. 苏铁植物: 16. *Pania cycadina* Yang; 17. *Taeniopteris densissima* Halle; 18. *T. szei* Chow; 19. *T. spatulata* McClell; 20. *Lesleya* (al *Taeniopteris*) cf. *eckandti* Germ. 银杏植物: 21. *Sphenobaiera tenuistriata* (Halle, 1927, Flor., 1936) Yang, 成熟叶复原图; 22. *Rhipidopsis panii* Chow; 23. *Pseudorhipidopsis brevicaulis* (P'an) Yang. 松柏植物: 24. *Lepeophyllum sinense* Yang et Xie; 25. *Nephropsis* cf. *cordata* Radez.; 26. *Crassinervia kuznetskiana* (Chachlov) Neub. 分类不明裸子植物: 27. *Nystroemia reniformis* (Kaw.) Wang et al. 前有花植物大羽羊齿目: 28. *Monogigantonoclea colocasifolia* (Yang) Yang, 28a, 枝叶复原图, 具腋芽, 28b, 单网脉; 29. *M. rotundifolia* (Yang) Yang, 29a, 枝叶复原图, 具腋芽, 29b, 单网脉; 30. *M. latiovata* Yang et Wu, 30a, 叶形状, 30b, 单网脉; 31. *Pinnagigantonoclea lanceolatus* Yang et Xie, 31a, 叶形状, 31b, 重网脉; 32. *P. nicotianaefolia* (Gu et Zhi) Yang, 32a, 叶形状, 32b, 重网脉; 33. *Pinnagigantonoclea spatulata* (Yang) Yang, 33a, 羽状复叶形状, 33b, 细脉中长网眼, 伴网眼明显, 33c, 小叶变态为攀附的钩状器官; 34. *Neogigantonoclea spiniferum* Yang, 34a, 中脉和侧脉表面具瘤刺痕, 34b, 侧脉上部二歧分叉, 34c 相邻细脉成叠锥状网脉; 35. *Gigantogramme dengfengensis* (Yang et Wu) Doweld, 35a, 叶边缘具短刺, 35b, 叶脉粗, 细脉呈单网; 36. *Monogigantonoclea densireticulatus* Yang, 36a, 宽卵形单叶, 边缘重圆齿, 36b, 二级侧脉, 36c, 三级侧脉结成大网, 四、五级侧脉结成小网, 小网内有二歧分叉的细脉。① 一级侧脉; ② 二级侧脉; ③ 三级侧脉; ④ 重网脉; ⑤ 细脉; ⑥ 腋芽

(2) 据 Doweld^[64]意见, 对《中国豫西二叠纪华夏植物群—禹州植物群》^[6]中三个重名化石更改如下:

① *Siella* Yang 改为 *Szecalomitina* Doweld; *Siella leptocostata* 改为 *Szecalomitina yangiae* Doweld.

② *Hallea dengfengensis* Yang et Wu 改为 *Gigantogramme dengfengensis* (Yang et Wu) Doweld.

③ *Acanthocladus xyloides* Yang 改为 *Gigantocladus xyloides* (Yang) Doweld.

致谢 本文为国家科技基础研究平台“国家岩矿化石标本资源共享平台”1012年度项目成果。参加本项目工作的还有: 朱鸿, 曾学鲁, 谢建华, 陈瑶, 高岩, 赵继明, 吴跃辉, 盛阿兴, 孙克勤。作者感谢美国 David L. Dicher 博士, 苗德岁博士和审稿人的建设性意见。

参考文献

- 1 刘本培, 全秋琦, 主编. 地史学教程(第三版). 北京: 地质出版社, 1996. 171–173
- 2 谢家荣. 勘探中国煤田的若干地质问题. 地质学报, 1953, 33: 15–28
- 3 王军, 孙柏年, 沈光隆. 豫西-皖北地区二叠纪植物地理区系性质探讨. 高校地质学报, 1999, 5: 76–91
- 4 杨起, 主编. 河南禹县晚古生代煤系沉积环境与聚煤特征. 北京: 地质出版社, 1987. 287
- 5 王自强. 华北古-中植代交替之际植物群落演替趋势. 科学通报, 1992, 37: 532–536
- 6 杨关秀, 王洪山, 曾学鲁, 等. 中国豫西二叠纪华夏植物群—禹州植物群. 北京: 地质出版社, 2006. 361
- 7 孙健初. 河南禹县密县煤田地质. 地质汇报, 1934, 24: 4–15
- 8 全国地层委员会编. 中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版). 北京: 地质出版社, 2001. 59
- 9 杨关秀. 豫西禹县晚古生代含煤地层植物群顺序及区域地层的重新解释. 地球科学—武汉地质学院学报, 1985, 10(特刊): 145–161
- 10 Yang G X. Plant assemblage zones of late Paleozoic coal-bearing strata in the Yuxian County, west Henan and their stratigraphical significance. In: Jin Y G, Li C, eds. XIe Congres Inten de Stratig et de Geol du Carb Beijing 1987, Compte Rendu 3, 1989. 158–164
- 11 李星学. 东亚华夏植物群的鳞木类植物. 中国科学, 1980, 2: 166–171
- 12 杨关秀, 陈芬, 黄其胜. 古植物学. 北京: 地质出版社, 1994. 330
- 13 Yang G X, Wang H S, Sheng A X. Morphological and microscopical study on *Scolecopteris* from China. Palaeobotanist, 1996, 45: 238–246
- 14 Wang H S, Yang G X. Microscopic study of *Qasimia* from Permian in Western Henan Province, central China. Palaeobotanist, 1996, 45: 255–258
- 15 刘照华, 耿宝印, 崔金钟, 等. 华夏齿叶表皮构造的研究. 植物分类学报, 1998, 36: 341–345
- 16 王军, 吴秀元. 晚古生代飘叶目植物的古生态学探讨. 古生物学报, 2004, 43: 72–85
- 17 王自强. 华北二叠纪大型古植物事件. 古生物学报, 1989, 28: 314–343
- 18 Zhang S Z, Mo Z G. On the occurrence of cycadophytes with slender growth habit in the Permian of China. Geol Soc Am Spec Pap, 1981, 187: 237–246
- 19 杨关秀. 细茎苏铁植物新属 *Cathaysiocycas* 及其演化意义. 现代地质, 1990, 4: 38–43
- 20 Mamay S H. Paleozoic origin of the cycads. U. S. Geol Surv Prof Pap, 1976, 934: 1–48
- 21 王军, Pfefferkorn H W, 孙柏年, 等. 豫西早二叠世掌蕨 *Chiropteris* Kurr 和髻籽羊齿 *Nystroemia* Hall 有机连接标本的发现. 科学通报, 2003, 48: 1965–1969
- 22 张宏达. 前有花植物亚门. 见: 张宏达, 等著. 种子植物系统学. 北京: 科学出版社, 2004. 66–71
- 23 杨关秀. 豫西禹县二叠纪大羽羊齿类的演化及其地质意义. 现代地质, 1987, 1: 173–195
- 24 黄本宏. 华夏植物群特有植物——织羊齿 (*Emplectopteris*). 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1986, 14: 137–144
- 25 夏国英, 丁蕴杰, 赵松银. 河南石炭-二叠纪含煤地层划分及生物群特征. 地层古生物论文集, 1987, 17: 98–128
- 26 李星学. 中国晚古生代陆相地层. 北京: 科学出版社, 1963. 168
- 27 李星学, 沈光隆, 田宝霖, 等. 我国石炭纪-二叠纪植物群的几个论题. 见: 李星学, 主编. 中国地质时期植物群. 广州: 广东科技出版社, 1995. 190–228
- 28 李星学. 华夏植物群的起源, 演替与分布. 古生物学报, 1997, 36: 411–422
- 29 王自强, 王立新. 华北石千峰群下部晚二叠世植物化石. 中国地质科学院天津所所刊, 1986, 15: 1–80
- 30 黄本宏. 大兴安岭地区石炭二叠系及植物群. 北京: 地质出版社, 1993. 141
- 31 赵修祜, 莫壮观, 张善祯, 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, 编著. 黔西滇东晚二叠世含煤地层和生物群. 北京: 科学出版社, 1980. 70–122

- 32 姚兆奇. 华南“大羽羊齿煤系”和大羽羊齿植物群的时代. 古生物学报, 1978, 17: 81–89
- 33 朱彤. 福建二叠纪含煤地层及古生物群. 北京: 地质出版社, 1990. 127
- 34 梅美棠, 梁敦士. 江西中部二叠纪含煤地层植物化石组合. 煤炭学报, 1988, 4: 90–95
- 35 何锡麟, 梁敦士, 沈树忠. 中国江西二叠纪植物群研究. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996. 201
- 36 李富玉. 江西上饶以南的上饶组. 地层学杂志, 1986, 10: 298–303
- 37 Asama K. Permian plants from Maiya, Japan. I. *Cathaysiopteris* and *Psymophyllum*. Bull Nat Sci Mus Tokyo, 1967, 10: 139–153
- 38 Asama K. Permian Plants from Maiya, Japan. II. *Taeniopteris*. Bull Nat Sci Mus Tokyo Ser C, Geol & Paleontol, 1981, 7: 1–14
- 39 Mamay S H. New species of Gigantopteridaceae from the Lower Permian of Texas. Phytologia, 1986, 61: 311–315
- 40 Mamay S H. *Gigantonoclea* in the Lower Permian of Texas. Phytologia, 1988, 64: 330–332
- 41 Kawasaki S. The flora of the Heian System —Part 2 (Atlas). Bull Geol Surv Chosen, 1931, 6: 16–99
- 42 Kawasaki S. The flora of the Heian System —Part 2. Bull Geol Surv Chosen, 1934, 6: 47–311
- 43 Kawasaki S. Addition to the flora of the Heian System (including some specimens from NE China). Bull Geol Surv Chosen, 1939, 6: 1–37
- 44 Kawasaki S, Kon’no E. The flora of the Heian System – Part 3. Bull Geol Surv of Chosen, 1932, 6: 31–44
- 45 黄本宏. 内蒙古镶黄旗地区早二叠世植物化石. 见: 中国北方板块构造论文集编委会, 编. 中国北方板块构造论文集. 北京: 地质出版社, 1986. 115–131
- 46 Ross C A, Ross J R P. Late Paleozoic sea levels and depositional sequences. In Ross C A, Haman D, eds. Timing and Depositional History of Eustatic Sequences: Constraints on Seismic Stratigraphy. Houston: Cushman Foundation, 1987. 137–150
- 47 Halle T G. Palaeozoic plants from Central Shansi. Acta Palaeontol Sin Ser A, 1927, 2: 1–316
- 48 Halle T G. On the habit of *Gigantopteris*. Geol Foren Stock For, 1929, 51: 236–242
- 49 陈汉清, 牛映雪. 太原西山上古生界多重地层划分. 山西地质, 1993, 8: 15–20
- 50 Hill C R, Wagner R H, El-Khayal A A. *Qasimia* gen. nov. and early Marattia-like fern from the Permian of Saudi Arabia. Scr Geol, 1985, 79: 1–50
- 51 杨关秀, 陈芬. 古植物. 见: 候鸿飞, 等编著. 广东晚二叠世含煤地层和生物群. 北京: 地质出版社, 1979. 104–139
- 52 韩健修. 东北地区古生物图册 (一) 古生代分册, 蕨目. 北京地质出版社, 1980. 18–95
- 53 黄联盟, 梅美棠, 黄玉宁, 等. 闽西南早二叠世含煤地层及植物群. 北京: 煤炭工业出版社, 1989. 101
- 54 Liu L J, Yao Z Q. Comparison in leaf architecture between China and American species of *Gigantopteridium*. Acta Palaeontol Sin, 2002, 41: 322–333
- 55 刘陆军, 姚兆奇. 华南大羽羊齿植物一新属——*Fujianopteris* gen. nov. 古生物学报, 2004, 43: 472–488
- 56 姚兆奇, 刘陆军. 中国大羽羊齿植物分叉蕨叶的首次发现——兼论亚洲和北美大羽羊齿植物之异同. 古生物学报, 2002, 41: 308–321
- 57 潘钟祥. 川崎凡太郎与今野圆藏所述之 *Rhipidopsis* 河南禹县之发现. 中国地质学会志, 1937, 16: 261–280
- 58 欧阳舒, 王仁农. 豫皖地区平顶山砂岩段地质时代的探讨. 石油实验地质, 1985, 7: 141–147
- 59 李星学, 姚兆奇. 中国南部二叠纪含煤地层. 地层学杂志, 1980, 4: 241–255
- 60 田宝霖, 张连成. 贵州水城汪家寨矿区化石图册. 北京: 煤炭工业出版社, 1980. 110
- 61 朱鸿, 杨关秀, 盛阿兴. 河南禹州大风口剖面二叠纪地层古地磁研究. 地质学报, 1996, 70: 121–128
- 62 张兴辽, 席运宏, 李进化, 等. 河南省古生物地质遗迹资源. 北京: 地质出版社, 2011. 265–304
- 63 Burago V I. Contribution to the morphology of the leaf genus *Psymophyllum* (in Russian). Palaeontol J, 1982, 128–136
- 64 Doweld A B. New generic names for Permian plants of Cathaysia. Palaeoworld, 2012, 21: 137–138