

甘肃酒泉盆地早白垩世植物化石及其古气候意义

邓胜徽¹⁾, 卢远征^{1,2)}

1) 中国石油勘探开发科学研究院, 北京, 100083; 2) 中国地质大学, 北京, 100083

内容提要:首次较系统地报道产于甘肃酒泉盆地下白垩统的植物化石, 分为两个植物组合。 *Athrotaxites-Solenites* 组合产于赤金堡组上段, 有 *Solenites luanpingensis* Wang, *Pityocladus* cf. *iwaianus* (Ôishi) Chow, *Pityocladus* sp., *Athrotaxites berryi* Bell 等, 时代大致为早白垩世早期, 反映潮湿或半干旱半潮湿气候。 *Brachyphyllum-Pseudofrenelopsis* 组合见于中沟组上部, 包括 *Sphenopteris* sp., *Pseudofrenelopsis dalatzensis* (Chow et Tsao) Cao ex Zhou, *Cupressinocladus elegans* (Chow) Chow, *Cupressinocladus* sp., *Pagiophyllum yumenense* sp. nov., *Pagiophyllum compressum* sp. nov., *Pagiophyllum* sp., *Brachyphyllum ningshiaense* Chow et Tsao, *Brachyphyllum obtusum* Chow et Tsao, *Elatocladus* sp., *Podozamites* sp., *Carpolithus* sp. 等 12 种, 时代 Aptian-Albian 期, 反映干旱型气候。

关键词: 早白垩世; 植物化石; 时代; 古气候; 中国甘肃

我国是世界早白垩世植物化石最丰富的国家之一, 尤其以东北地区含煤地层为最, 已经发现 300 种以上(陈芬和杨关秀, 1982; 陈芬等, 1988; 邓胜徽, 1992, 1995; 1998; 邓胜徽等, 1997; 郑少林和张武, 1982, 1983; 张志诚和熊宪政, 1983; 杨学林和孙礼文, 1982; 邓胜徽和陈芬, 2001; 吴舜卿, 1999; 孙革等, 2001); 东南地区植物化石较为丰富, 有 150 种以上(曹正尧, 1989, 1991, 1999; 曹正尧等, 1995); 西南的西藏地区也发现较丰富的植物化石(段淑英等, 1977; 陈芬和杨关秀, 1983; 李佩娟, 1982; 李佩娟和吴一民, 1991)。然而, 相比之下, 中国西北地区已经发现的植物化石则很少, 除了陕西与甘肃交界的徽城盆地植物化石较多外(刘子进, 1982), 其余地区均仅有零星的以松柏类为主的化石记录(周志炎和曹正尧, 1977; Zhou, 1995)。

甘肃酒泉盆地地层古生物研究历史较长, 但发现的化石以湖相生物为主, 早白垩世植物大化石仅有零星记载(叶得泉等, 1990), 未曾有过专门的报道。近年, 笔者对酒泉盆地的下沟、红柳峡和早峡等重要剖面进行了系统的测制, 采集到了一批植物化石。邓胜徽等(Deng et al., 2005)发表了其中两种松柏类植物 *Pseudofrenelopsis* 的研究结果, 现对这一植物群的总体面貌及其古环境意义作简要报道。

1 地层简述

酒泉盆地中生代地层为重要的含油层系, 最早由玉门油田的发现者—孙健初教授在上世纪四十年代初开始调查, 采用“宁远堡系”一名, 认为其时代为“下白垩纪”。其后, 王尚文(1948~1949)创立了赤金堡系和惠回堡系。前者时代定为“上侏罗纪”; 后者分为上下两部分, 分别定为“下白垩纪”和“上白垩纪”。甘肃省区测二队 1969 年采用赤金堡群和新民堡群, 后者与王尚文的“惠回堡系”相当。在上世纪 60 年代到 80 年代期间, 玉门油田和中国科学院等单位开展了比较详细的地层调查工作。玉门油田将这一中生代含油层序划分为自下而上的赤金堡组、下沟组和中沟组(叶得泉等, 1990), 并沿用至今。本文作者近年对酒泉盆地早峡、红柳峡和下沟等主要白垩世剖面进行了测制和系统的孢粉分析。三个岩组的主要岩性自下而上简述如下:

赤金堡组: 底部出露不全; 进一步分为三个岩性段。下段以灰白色、杂色砾岩为主夹砂岩及少量泥岩为特点, 保存厚 50~100m; 中段以黄绿色砂岩、泥质粉砂岩与灰黑色砂质泥岩互层, 夹砾岩, 厚 250~700m; 上段以黑色泥岩、页岩为主夹薄层泥灰岩, 局部有砾岩, 厚 150~200m。本组中、上段产大量双壳

注: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(编号 2006CB701400)和国家自然科学基金项目(编号 49872008)资助的成果。

收稿日期: 2007-08-28; 改回日期: 2007-11-02; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介:

类、腹足类、昆虫、叶肢介、介形类及轮藻等化石,包括有三尾类蜉蝣(*Ephemeropsis trisetalis*)等热河生物群的代表分子。植物化石主要见于早峡剖面赤金堡组上段,在红柳峡剖面还见到一些保存不太好的植物种子。此外,在本组各段中均还见到硅化木。

下沟组:总厚度约 470~600m,底部以一套磨圆度好的砾岩或紫红色砂砾岩为界,分为两个岩性段。下段黄绿色砂岩、砾岩与灰黑色页岩不等厚互层,夹薄层泥灰岩。厚约 180~250m;上段为大套黄绿色、灰黄色、灰色泥岩与泥灰岩互层,局部夹砂、砾岩层,厚约 290~350m。本组所含化石类型与赤金堡组相似,但未见热河生物群的典型分子三尾类蜉蝣;硅化木较常见,叶化石稀少,井下见到 *Pseudofrenelopsis gansuensis* 一种(Deng et al., 2005)。

中沟组:顶部有缺失,直接为古近系柳沟庄组所覆盖。在露头剖面上保存厚度最大约 200m 左右,分为两个岩性段;在井下保存较全,可达 300m,分为三个岩性段。在露头剖面,下段底部以一套紫红或棕红色砾岩、砂岩为特征,中上部为黄绿、灰绿色砾岩、砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩等,厚 150m。上段为灰黑色、灰绿色、灰色泥岩,具水平层理,风化后为纸片状。本组上段泥岩中产丰富的生物化石,还包括有鸟类羽毛、双壳类、昆虫、叶肢介以及植物等。

本文研究的植物化石主要产于早峡剖面赤金堡组上段和中沟组上段。

2 植物化石描述

真蕨植物纲 Filicopsida

分类不明蕨类 Filice incertae sedis

楔羊齿属 *Sphenopteris* (Brongniart) Sternberg.
1825

楔羊齿属(未定种) *Sphenopteris* sp.

图版 2, 图 15

描述:蕨叶只保存了羽片的一部分,保存长 1.2cm。末次羽轴细,约 0.3mm 宽,小羽片披针形,长 7mm,宽 2mm 左右,边缘深裂为 2~3 对裂片,下部的裂片为披针形,长约 3.5,最宽 1mm 左右,在中上部,顶钝尖,上部的裂片基部相联。叶脉楔羊齿型,弱,每一裂片中有一条叶脉。

讨论:当前标本保存差,小羽片及裂片的形态与 *Onychiopsis* 和 *Ruffordia* 相似。在已知的 *Onychiopsis* 种中,最常见的是 *O. psilotoides* (Stockes et Webb) Ward 和 *O. elongata* (Geyler)

Yokoyama。我国浙江下白垩统发现有很好的标本(曹正尧,1999),这两种小羽片均较细长,顶尖,与当前标本差别较大。*Ruffordia* 属建立于英国早白垩世威尔登植物群,其模式种 *Ruffordia goeppertii* (Dunk.) Seward 的小羽片变化较大,典型的标本见于英国的威尔登(Seward, 1894)和中国的东北地区(邓胜徽,1992;邓胜徽和陈芬,2001)。这些典型标本的小羽片顶尖,与当前标本不同。但在威尔登,还有另一些标本小羽片较为宽,顶部并不尖,也被归入了或 *Ruffordia* var. *goeppertii* (Seward, 1894),当前标本更近似于这一类型。产于我国浙江的类似标本也被直接归入了 *Ruffordia goeppertii* (曹正尧,1999)。然而,当前标本十分破碎,仅是小羽片形态的对比,因此,尽管其与 *Ruffordia* 属有一定的可比性,但尚不足以据此归入该属,而暂归入形态属 *Sphenopteris*。

产地层位:早峡剖面中沟组上部。

银杏纲 Ginkgopsida

茨康叶目 Czekanowskiales

似管状叶属 *Solenites* (L. et H.) Harris, 1951

滦平似管状叶 *Solenites luanpingensis* Wang

图版 2, 图 14, 18~19

描述:标本较多,保存为短枝和叶。短枝宽约 3mm,长度不详。叶簇生于短枝上,每一短枝上有 15 枚叶左右。叶线形,直,未见分叉;宽约 0.8~1mm,长 5~6cm;两侧平行,近基部收缩,顶部 5~10mm 收缩,顶渐尖。每一叶有一条叶脉。

讨论:短枝上着生线形叶的中生代银杏类化石一般被归入 *Solenites*, *Hartzia*, *Czekanowskia* 和 *Sphenarion* 等属。其中,后两者叶分叉,而前两者叶一般不分。显然,当前标本属于 *Solenites* 或 *Hartzia* 属。但是,建立于格陵兰的上三叠统瑞替克阶的 *Hartzia* 属叶片一般有 2 条,甚至 4 条叶脉(Harris, 1935),因此,当前标本应归入 *Solenites* 属。

Solenites 属很长时间是一个单型属,其模式种 *Solenites murrayana* (L. H.) Harris 在侏罗系十分常见(Harris and Millington, 1974)。在我国,产于侏罗系的类似标本被归入 *Solenites* cf. *murrayana* 名下(斯行健等,1963),但其叶一般较宽。最近,阎德飞和孙柏年(2004)检查了一些 *S. cf. murrayana* 名下的标本,发现此类较宽的叶也有分叉现象,可能与 *Solenites* 属无关。*Solenites murrayana* 的特点是叶较窄长且不分叉,叶片宽一

般不超过 1mm,长度多在 15cm 以上,易弯曲。当前标本叶刚直,长度也较小。王自强(1984)描述于河北滦平下白垩统九佛堂组的一个新种 *Solenites luanpingensis* Wang 的叶较宽,1~1.3mm,长约 6cm。当前标本与之可以对比,应归于该种名下。

最近在辽西地区热河群中发现大量的类似标本。其中,一些较窄长的细线形标本被直接划入 *Solenites murrayana* (吴舜卿,1999,图版 9,图 3,3a,4)。孙革等(2001)也将辽西的一些材料定为 *Solenites murrayana*,但这些标本叶较宽,为 1.5~1.8mm,而每枚叶具 2~3 条叶脉,似不应归入 *Solenites* 属。孙革等还建立了新种 *S. orientalis* Sun, Zheng et Mei,其叶宽约 1mm 左右,长 10~13cm,往往弓形弯曲,与当前叶刚直为特点的标本有差别。

产地和层位:产于早峡剖面赤金堡组上段。

松柏纲 Coniferopsida

杉科 Taxodiaceae

似密叶杉属 *Athrotaxites* Unger, 1849

贝里似密叶杉 *Athrotaxites berryi* Bell

图版 1,图 24~27

描述:标本保存为三级枝。末三级枝宽约 2mm,较直,覆有叶。叶菱形,长 2mm,宽约 1mm,顶尖;背面凸起,龙骨状;螺旋状排列,紧贴于小枝上。末二级枝以 20°~40°角分叉,宽 1.5~2.0mm,叶的形态与末三级枝上的相似,仅略小一些。末级枝宽约 1mm,长 1mm 以上,与其他枝上的叶形态相似,只是更小一些,顶更尖。

讨论:当前标本与产于北美下白垩统(Miller and Lapasha, 1983; Lapasha and Miller, 1984)和我国辽宁阜新盆地阜新组和铁法盆地小明安碑组(陈芬等, 1988; 陈芬和邓胜徽, 1990)的 *Athrotaxites berryi* Bell 小枝及叶的形态一致,应归于同种。当前标本角质层很薄,虽经努力但未能获得有价值的结果,有待于发现更好的角质层材料以作进一步对比。

产地层位:早峡剖面赤金堡组上段中部。

掌鳞杉科 Cephalotaxaceae

假拟节柏属 *Pseudofrenelopsis* (Nathorst) emend Watson, 1977

大稃子假拟节柏 *Pseudofrenelopsis dalatzensis* (Chow et Tsao, 1977) Cao ex Zhou, 1995

(图版 2,图 1~3, 22)

描述:小枝长 30mm,宽 4mm 左右,未见分叉;节间长 4~5mm,较规则(图版 1,图 29~31),节部

平,略收缩;节间有极细的纵纹。叶的自由部分很短,不到 1mm,三角形,顶尖。

叶部角质层较薄,外面观光滑,未见到表皮毛(图版 2,图 22)。表皮细胞以方形为主,有时形态不甚规则,成行排列。每一个表皮细胞具一个乳突,乳突圆形,直径约 15 μ m。节间角质层厚。气孔器明显排成列,气孔列之间宽约 120 μ m。气孔器近圆形或椭圆形,直径 40~55 μ m。气孔列内相邻气孔器之间距 50~150 μ m,间隔有 2~6 个细胞。气孔器孔缝多为关闭或略开放。副卫细胞 5~6 个,均具乳突。节间表皮的内面观可清楚地分出表皮细胞带和气孔列,排列规整。气孔器椭圆形,横向或略斜,长约 50 μ m,宽 40 μ m,口孔椭圆形。副卫细胞 5~6 个左右,保卫细胞未见。气孔列之间的表皮细胞长条状,纵向壁角质加厚明显,横壁不清,表面光滑。在节的下部气孔器较少,越接近基部气孔器越少,直到没有,但其基部的表皮细胞较规则,方形或长方形,排列较整齐。

讨论:笔者对本种材料有过详细的英文描述和讨论(Deng et al., 2005),这里仅作上述简要中文描述。

产地层位:早峡剖面中沟组上部。

甘肃假拟节柏 *Pseudofrenelopsis gansuensis* Deng, Yang et Lu

图版 2,图 4, 20~21

描述:小枝较粗,宽 8~9mm,保存长 56 mm,未见分叉。节间长 7~11mm,节部收缩,表面具纵向条纹。叶只保存为残片,整体叶形不清楚,似每一个节只有一片叶。

节间角质层厚(图版 2,图 21),外面观无乳突和表皮毛,在节间的基部表皮细胞以矩形或方形为主,成排排列,气孔器稀疏。气孔器成行排列,行与行间有 2~4 排表皮细胞,每一气孔列里有 7~8 排气孔器。气孔器圆形或椭圆形,直径 90~100 μ m。气孔口孔椭圆形,副卫细胞 8~9 个,一般 6~7 个,无乳突。表皮细胞通常为方形,等轴状,在角质层外面细胞成排排列,但在角质层内面,气孔带之间的表皮细胞形态通常不清。表面光滑。

讨论:笔者对本种有过详细的英文描述和讨论(Deng et al., 2005),本文仅作上述简要中文描述。

产地层位:酒东长 101 井,下沟组。

苏铁杉科 Podozamitaceae

苏铁杉属 *Podozamites* Braun, 1843

铁杉(未定种) *Podozamites* sp.

图版 1, 图 15

描述: 标本保存为单个叶片。叶宽披针形, 长 2.8cm, 宽 0.5cm。最宽在中部, 下部约 1/4 渐收缩, 基部有一叶柄, 柄长约 2mm 左右, 宽 0.8mm; 上部 1/4 收缩, 顶部未保存。叶脉平行。

讨论: 当前标本与产于山东下白垩统莱阳组定为? *Podozamites lanceolatus* 的标本形态一致(刘明渭, 1990), 但与 *P. lanceolatus* 的典型标本相去甚远, 因此, 不能归入该种, 而且当前材料少, 保存又不完整, 叶脉也不清楚, 故不定种。

产地层位: 早峡剖面中沟组上部。

柏科 Cupressaceae

柏型枝属 *Cupressinocladus* Seward, 1919

雅致柏型枝 *Cupressinocladus elegans* (Chow) Chow

图版 1, 图 13~14, 20; 图版 2, 图 5

描述: 标本保存为二级营养枝。各级枝在同一平面上。末二级枝宽 1.2~2mm, 末级枝宽 1~1.2mm。末级枝互生, 着生角 30°~60°, 越接近二级枝的顶部末级枝的分出角度越小, 末级枝长 8~10mm。末二级枝上叶较大, 六边形, 顶端部分为三角形。三角形部分高 0.8mm 左右, 顶尖, 有时游离, 而中下部紧裹小枝, 可以观察到的部分长 2.0~2.5mm, 因此, 叶的长度可能在 5mm 以上, 二级枝上叶的数目少。末级枝上叶两列状排列, 交互对生, 紧贴于小枝上, 顶部基本不离开小枝。

讨论: 当前标本与我国早白垩世常见的 *Cupressinocladus elegans* (Chow) Chow 在小枝粗细, 叶的大小和形态以及紧贴小枝等方面可以对比。图版 1 图 13 标本与产于山东莱阳的标本(见斯行健等, 1963, 图版 94, 图 13)十分相似, 可能相当于末三级上靠下部的二级营养枝。

图版 1 图 20 和图版 2 图 5 标本可能为生长季节的幼枝。在图版 2 图 5 标本的末二级枝上部见到若干末级枝的幼芽, 下部有已经发育的末级小枝, 各小枝的顶部均有密集的幼叶。标本强烈压偏, 末二级枝和末级枝上叶片非常薄, 紧贴于小枝上; 叶形保存不太完整, 但大致可见为二列状排列。

产地层位: 早峡剖面中沟组上部。

柏型枝(未定种) *Cupressinocladus* sp.

图版 1, 图 7, 11

描述: 标本为一个末级小枝, 粗 2.2mm, 长 2cm, 略弯。叶鳞片状排列, 两列互生。叶出露部分长 1.5mm, 宽 1.2mm。

讨论: 当前标本叶为两列交互对生, 指示应归

Cupressinocladus 属, 但其小枝较粗, 叶紧密排列的特点和已知种不能对比, 但当前材料较少, 而角质层构造不清楚, 故暂不定种。

产地层位: 早峡剖面中沟组上部。

松科 Pinaceae

松型枝属 *Pityocladus* Nathorst, 1899

岩井松型枝(相似种) *Pityocladus* cf. *iwaianus* (Ôishi) Chow

图版 2, 图 10~11

描述: 标本保存为小枝。小枝宽 1.5mm, 保存长 3cm, 表面上有纵纹。叶以锐角着生于小枝。叶单枚着生, 在小枝的下部, 较稀疏排列, 间距 1~2mm; 但在小枝的顶端, 密集着生。叶线形或长披针形, 长 2~3cm, 宽 0.5~1mm, 两侧平行, 基部收缩, 顶部急尖。一条叶脉, 直达叶顶尖。

讨论: 当前标本保存为小枝, 叶线形或披针形, 属于松型叶, 归入松型枝属无疑。和以往发现的种相对比, 最相似的是产于我国吉林汪清的 *Pityocladus iwaianus* (Ôishi) Chow (斯行健等, 1963)。后者叶的大小和形态均与当前标本相近, 但叶在小枝上的排列略为紧密, 而且该种原产出层位比当前标本要高, 为大砬子组顶部。因此, 为慎重暂定为相似种。

产地层位: 早峡剖面赤金堡组上段。

松型枝属(未定种) *Pityocladus* sp.

图版 2, 图 12~13

描述: 标本只有一块, 保存为短枝和叶。短枝弯曲, 粗约 0.8~1.2mm, 分叉, 两次分叉之间距离约 1~1.5cm。小枝下部螺旋状紧排列着叶痕, 叶痕似为鳞形; 小枝顶端着生有叶。叶很小, 披针形, 长 2mm 左右, 宽 0.3~0.5mm, 一条叶脉。

讨论: 当前标本具短枝的特点, 说明应归入松型枝属, 其叶很小, 在以往发现的松型叶 *Pityophyllum* 属中也很少见, 但由于标本少, 且保存全, 故暂不定种。

产地层位: 早峡剖面赤金堡组上段。

分类不明的松柏类植物 *Conifers incertae sedis*

枞型枝属 *Elatocladus* Halle, 1913

枞型枝属(未定种) *Elatocladus* sp.

图版 2, 图 6~8

描述: 标本保存为带球果的小枝。小枝粗 2.5mm, 叶螺旋状密集着生, 披针形, 长 8~10mm, 基部下延, 下延部分 1~1.5mm, 包裹小枝。中上部自由部分为锥状, 与小枝成 50°~60° 角, 叶最宽在自由部分的最基部, 向上叶渐窄, 顶渐尖。小枝下部的

叶似乎比上面者为短,锥状,长 3~5mm,越靠近下部的叶越短,但宽度与其他正常叶相当,1~1.5mm。

球果长椭圆形,长 18mm,宽约 6mm,着生于小枝的顶端,构造细节不清。

讨论:当前标本的主要特点是叶具有不同的形态,在小枝的下部叶较短,而上部的较长,靠近顶部的叶复又为短锥形。较短的锥形叶为 *Pagiophyllum* 型;较长者为 *Elatocladus* 型,与我国早白垩世常见的 *Elatocladus manchurica* 相似,但叶不如后者的长。

当前材料较少,暂不定种。

产地层位:早峡剖面赤金堡组上段。

坚叶杉属 *Pagiophyllum* Heer, 1881

玉门坚叶杉(新种) *Pagiophyllum yumenense* sp. nov.

图版 1,图 12,28~30

描述:标本为带叶四级枝,各级枝宽度大致相同,约 3mm 左右,下部以约 30°角分叉,向上分叉角度渐大,末级枝以 60°左右角度分出,分枝点间距离约 0.6~1cm,末级小枝长 8~10mm。叶锥形,螺旋状紧密排列,叶较短胖,一般长约 1~1.5mm,宽 0.8~1.0mm,顶钝尖,紧贴小枝;而在末一、二级上的叶较长,长约 2~2.5mm,宽 1mm 左右,顶渐尖,排列较稀松。

讨论:当前材料虽然叶较短,但其长大于宽,顶部游离,与形态属 *Pagiophyllum* 的特点一致,应归于该属。与当前标本最接近的是产于浙江临海的 *Pagiophyllum linhaiensis* Cao(曹正尧,1999)。但后者小枝比当前标本要小得多。图版 1 图 12 标本叶也为短胖状,顶钝尖,与模式标本上的叶相似,可能为同种。

模式标本:模式标本 HX-95-2001-11(图版 1,图 30);

种名:来源于模式标本的产地,甘肃玉门的汉语拼音“yumen”;

模式标本产地:甘肃酒泉盆地;

层位:下白垩统中沟组上部。

紧贴坚叶杉(新种) *Pagiophyllum compressum* sp. nov.

图版 1,图 16~19

描述:标本保存为带叶三级枝。末三级枝宽约 4mm,末二级枝宽约 3mm,末级小枝宽约 2mm。各级小枝以 30°左右的角度分出。末级枝长 5~10mm,间距 5~8mm。叶长棱形,出露部分长约

3mm,宽 1mm,顶渐尖,螺旋状紧密排列,叶膜薄,紧贴于小枝上。

讨论:当前标本叶为长棱形,应归形态属 *Pagiophyllum*,以紧贴于小枝之上为特点,各级小枝分叉角度小。我国早白垩世 *Pagiophyllum* 主要见于南方,据曹正尧(1991,1999)的研究,约有 10 种。这些种与当前标本对比,除了 *P. laocunensis* 一种外,其余种的小枝均比当前的要小得多,且所有这些已知种叶的中上部也大多游离于小枝,与小枝形成一定的角度,不似当前标本的紧贴于枝轴上。当前标本与保存于同一层位的新种 *Pagiophyllum yumenense* 也有一定的相似之处,如小枝的粗细相似,曾考虑可能为同种。但后者的高级枝上的叶形明显较短,末级枝上的叶的自由部分也是游离于枝轴,与枝轴有一定的角度的,而且该种末级小枝的分出角度要大得多。鉴于上述特点,本文另建新种。

模式标本:模式标本 HX-95-2001-26(图版 1,图 16);

种名:来源于拉丁语词“compressus”,表示本种叶的紧压于枝轴的特点;

模式标本产地:甘肃酒泉盆地;

层位:下白垩统中沟组上部。

坚叶杉(未定种) *Pagiophyllum* sp.

图版 1,图 21

描述:标本保存为分叉的带叶小枝,长 2cm,宽 2mm 左右。叶锥状,长约 1.5~2mm,宽约 1mm,螺旋状排列于小枝上,下部紧包于小枝,上部离开小枝,与小枝成 45°角。

讨论:描述的标本与产于浙江下白垩统馆头组的 *Pagiophyllum* sp. (曹正尧,1999,图版出-3)小枝大小和叶的形态相似,但当前材料太少,保存差,不能定种。

产地层位:早峡剖面中沟组上部。

短叶杉属 *Brachyphyllum* Brongniart, 1823

宁夏短叶杉(新种) *Brachyphyllum ningshiaense* Chow et Tsao

图版 1,图 1~3,6,8~9;图版 2,图 23~24

描述:压扁的带叶小枝,宽 4~6mm,保存最长者 3cm,分叉。末二级枝较粗,约 6mm,分枝略细,末级枝粗约 5mm 左右。叶鳞形,螺旋状排列。在较粗的二级枝上,叶宽 4~6mm,高 3~5mm,顶急尖,叶表面布满纵向的气孔器沟(图版 1,图 8~9)。

角质层相当厚,小枝顶部叶的角质层厚 60~70μm,下部叶的角质层厚度达 200μm 以上;表皮细

胞也常角质化。下表皮角质层外面光滑或有低乳突,分布大量的气孔器,气孔器纵向排列成较规则的气孔列。两列气孔器之间宽约 150 μ m。气孔器口孔椭圆形,约为 40 μ m $\times$ 50 μ m,副细胞强烈加厚联成突出于角质层表面的加厚环,由于各副卫细胞加厚不均匀,环的边缘成花朵状(图版 2,图 24)。下表皮角质层内面观皮细胞为方形或不规则多边形,直径一般为 10~20 μ m,垂周壁强烈加厚,厚约 5~10 μ m,但不成乳突。大多细胞排列不规则,但气孔器间的细胞有时成排排列。气孔器圆形或近圆形,直径 70~80 μ m,保卫细胞下陷而形态不清。副卫细胞 8~9 个,方形或长方形,但因细胞壁加厚而成圆形或椭圆形。上表皮外面观光滑,表皮细胞形态不太清楚,只见到不连续的细胞壁加厚条纹。

讨论:本种标本较多,小枝、叶的形态和角质层特点与周志炎和曹正尧(1977)发现于宁夏下白垩统的 *Brachyphyllum ningshiaense* Chow et Tsao 相似,应为同种。但模式产地的标本仅为未级小枝,而且没有作后期扫描电镜观察,这里进行了补充。

产地层位:早峡剖面中沟组上部。

钝短叶杉(新种)*Brachyphyllum obtusum* Chow et Tsao

图版 1,图 4~5,10

描述:标本保存为一段压扁的带叶小枝,长 3cm,宽 5~6mm。叶较稀松地螺旋状排列于小枝上,宽鳞片状,紧贴于小枝上,顶部钝圆状,有一叶尖。表面密集分布了纵向气孔沟。角质层厚,但未能分离开,没能作进一步观察结果。

讨论:当前标本与周志炎和曹正尧(1977)建立于安徽灵璧县下白垩统(?)的 *Brachyphyllum obtusum* Chow et Tsao 一种叶形相似,归于同种。本种与 *B. ningshiaense* 叶形相近。但 *B. ningshiaense* 的叶顶部为三角形,边较直;叶排列也更为紧密,叠覆部分更多,而出露部分为宽菱形或近于三角形,而 *B. obtusum* 的叶的顶部两侧或多或少地为弧形,边略弯;叶排列较稀松,出露部分为菱形。周志炎和曹正尧(1977)指出的本种气孔器副卫细胞数较多,7~11 个。这有待于进一步进行角质层的分析来证实。

产地层位:早峡剖面中沟组上部。

裸子植物种子 Seed of Gymnospermae

石仔属 *Carpolithus* Wallerius, 1747

石仔属(未定种)*Carpolithus* sp. Wallerius, 1747

图版 1,图 21-22

描述:种子短卵形,长 4mm,宽 3.2mm,最宽处

在 1/3 处。中央有一瓜籽形内核,两侧为宽 0.6mm 左右的弧形边。

产地层位:早峡剖面中沟组上部。

3 植物组合的特点及时代

酒泉盆地早白垩世植物化石主要发现于赤金堡组上段和中沟组上部。在红柳峡剖面赤金堡组和下沟组均产硅化木,赤金堡组上段还见到一些分散的种子化石,但尚未进行研究,本文不作讨论。此外,钻井下沟组岩心中发现的 *Pseudofrenelopsis gansuensis* Deng, Yang et Lu 已经有专文述及(Deng et al., 2005),这里不作进一步讨论。根据赤金堡组上段和中沟组植物化石的组成特点分别建立相应的植物组合。

3.1 *Athrotaxites-Solenites* 组合

产自早峡剖面赤金堡组上段,主要分子有 *Solenites luanpingensis* Wang, *Pityocladus* cf. *iwaianus* (Ôishi) Chow, *Pityocladus* sp. 和 *Athrotaxites berryi* Bell 等。本组合的属种相当单调,包括杉科的 *Athrotaxites* 和松科的 *Pityocladus* 和银杏纲茨康叶目的 *Solenites*;未发现蕨类、苏铁等其他类别化石,这一定程度上可能与采集程度有关。

杉科的 *Athrotaxites* 属是早白垩世松柏类,在我国东北地区下白垩统含煤地层中常见。*Athrotaxites berryi* 一种最早发现于北美蒙大拿早白垩世植物群中(Miller and Lapasha, 1983; Lapasha and Miller 1984),后来在我国辽宁阜新阜新组和铁法盆地小明安碑组(陈芬等,1988;陈芬和邓胜徽,1990)和黑龙江东部的城子河组(郑少林和张武,1982)发现。阜新组和小明安碑组的时代大致为早白垩世巴雷姆期(邓胜徽等,1997),城子河组与阜新组时代可以对比。松科的 *Pityocladus* cf. *iwaianus*,其原种发现于吉林早白垩世晚期的大砬子组(张武等,1980)。当前标本与原种相近。茨康叶目的 *Solenites* 属以往只记录于侏罗系,主要是发现于中侏罗统(Harris, 1951;斯行健等,1963),但近年在我国东北地区热河群中不断发现(吴舜卿,1999;孙革等,2001),*S. luanpingensis* 一种建立于冀北地区九佛堂组(王自强,1984)。

除了 *S. luanpingensis* 一种曾见于我国辽西地区热河群的九佛堂组外,赤金堡组中还产热河生物群的代表分子 *Ephemeropsis trisetalis*,而其上覆的下沟组中并没有热河生物群代表分子的发现。以上化石说明赤金堡组上段可能与辽西九佛堂组层位相

当。众所周知,辽西热河生物群的时代研究近年已经取得了重大进展,但争议依然存在。然而,认为属于早白垩世已经基本取得共识,只是属于早、中、晚期各还有不同看法(邓胜徽等,2003;孙革等,2001; Swisher et al., 1999; 罗清华等,1999)。经过近十余年的研究,热河植物群的大致面貌已经基本清楚(吴舜卿,1999;孙革等,2001),与辽西地区晚侏罗世干旱气候下和早白垩世成煤的潮湿环境下的植物群均有很大的差别,代表了一种半干旱一半潮湿气候环境下的植物群。从气候演变序列推断,这一植物群的时代应界于晚侏罗世和早白垩世中期(相当于巴雷姆期)之间。因此将热河植物群归于早白垩世早期是比较合理的(邓胜徽等,2003)。

产植物化石的早峡沟口剖面赤金堡组上段的孢粉化石已发现 40 余种,以裸子植物花粉(99.8%)占绝对优势,其中松科花粉占 57.7%,并有 19% 的古老型松柏花粉。孢粉组合反映的时代为早白垩世早期(卢远征等,2002)。

综上所述,*Athrotaxites-Solenites* 组合的时代目前虽还不能说得十分确切,但最大的可能性是早白垩世早期。

3.2 *Brachyphyllum-Pseudofrenelopsis* 组合

本组合产于中沟组上部,主要有 *Sphenopteris* sp., *Cupressinocladus elegans* (Chow) Chow, *Cupressinocladus* sp., *Pseudofrenelopsis dalatzensis* (Chow et Tsao) Cao ex Zhou, *Pagiophyllum yumenense* sp. nov., *P. compressum* sp. nov., *Pagiophyllum* sp., *Brachyphyllum ningshiaense* Chow et Tsao, *B. obtusum* Chow et Tsao, *Elatocladus* sp., *Podozamites* sp., *Carpolithus* sp. 等 12 种。本组合的组成特点十分显著,几乎全部由松柏类组成,而这些松柏类又以鳞叶、锥类型松柏占绝对优势,包括掌鳞杉科的 *Pseudofrenelopsis*, 柏科的 *Cupressinocladus* 和形态属 *Brachyphyllum* 和 *Pagiophyllum*。研究表明上述归入这些形态属的化石也可能属掌鳞杉科(Van der Ham et al., 2003)。除了个别蕨类外,几未发现其他类别,特别是未见到银杏类的踪迹。这一植物组合的总体特征与中国北方(东北地区为代表)的植物群完全不同,而与南方浙江一带早白垩世植物群(曹正尧,1999)的基本面貌更相似。

本组合已知属种中,*Cupressinocladus elegans* 一种最早发现我国山东莱阳下白垩统莱阳组三段

(周赞衡,1923;刘明谓,1990),后在吉林大砬子组(陶君容,2000)和浙江的寿昌组和馆头组(曹正尧,1999),福建坂头(斯行键,1945),南园组(曹正尧等,1995),四川汉宣(冯少南和马洁,1994)等下白垩统中广泛报道,其时代延续较长,从早白垩世早期到中晚期均存在。

Pseudofrenelopsis dalatzensis 以往只在吉林延吉盆地大砬子组中被大量发现(周志炎和曹正尧,1977),与之共生的其他植物化石还包括大量的被子植物 *Saliciphyllum longifolium*, *Sterculophyllum elegans* 等十余个属种(周志炎等,1980;张川波,1986;张志成,1986;陶君容和张川波,1990)。多种多样的被子植物的存在指标了较新的时代,为早白垩世 Aptian 期(陶君蓉,2000)或 Albian 中晚期(张光富,2005),一般认为是 Aptian-Albian 期。*Pseudofrenelopsis dalatzensis* 在延吉周边早于 Aptian 期的地层中没有发现。因此,*Pseudofrenelopsis dalatzensis* 在当前植物组合中的存在表明其时代为 Aptian-Albian 期。

Brachyphyllum ningshiaense 为周志炎和曹正尧(1977)发现于宁夏六盘山群的第五段,可能相当于现在的马东山组或乃家河组,时代为早白垩世 Aptian-Albian 期(郝诒纯等,2000)。*Brachyphyllum obtusum* 以往只发现于安徽灵璧,而地层层位存疑,推测为下白垩统(周志炎和曹正尧,1977)。

早峡剖面中沟组上部的孢粉组合中蕨类孢子含量最高达到 43.4%,海金沙科的 *Cicatricosisporites* 占绝对优势,平均含量达 14.0%,有多达 10 种,另有 *Pilosporites*, *Schizaeosporites*, *Rotverrusporites*, *Radorugosporites*, *Retusotriletes*, *Appendicisporites*, *Polycingulatisporites* 等新出现和分子;另一个引人注目的是出现了被子植物花粉 *Magnoliipollis grandus* 和 *Tricolpopollenites* sp., 指示的时代应为早白垩世阿普特期(卢远征等,2002)。

因此,*Brachyphyllum-Pseudofrenelopsis* 组合的时代定为 Aptian-Albian 期是比较合适的。

4 古气候特征

植物大化石、孢粉以及其他水生生物化石以及沉积岩特征等反映出酒泉盆地早白垩世时期属于较为干旱的气候类型,但出现过短期的潮湿化和较为频繁的短暂波动。

4.1 *Athrotaxites-Solenites* 组合反映的气候特点

赤金堡组上段岩性以黑色泥岩夹泥灰岩为特点,局部还出现煤线,表明环境比较潮湿,并出现过局部的短期的沼泽化。除了早峡剖面上发现较多的植物化石外,在红柳峡剖面上还发现大量的种子化石,表明植物比较繁盛,气候适宜植物生长。

植物组合中有大量的银杏类的 *Solenites* 以及属于杉科的贝氏密叶杉 *Athrotaxites berryii*。*Solenites* 以往记录于侏罗纪含煤地层中,与其他银杏植物具有类似的生态特点,为反映温湿气候的植物。该属在早白垩世热河植物群中也有分布(王自强,1984;吴舜卿,1999;孙革等,2001)。热河群的岩性及生物群面貌反映出气候半干半湿的频繁波动的特点,较晚侏罗世的干旱型气候要潮湿得多,但没有早白垩世中期主要成煤期那样温暖而湿润。

Athrotaxites berryii 一种是北美早白垩世蒙大拿植物群的重要松柏类植物,被认为是乔木或大型灌木,具有季节性短枝脱落的特点,是沼泽型植物类(Miller and Lapsha, 1983, Lapsha and Miller, 1984),在我国东北地区早白垩世含煤地层中广泛出现(陈芬等,1988;陈芬和邓胜徽,1990)。因此,该种在赤金堡组上段的存在也指示其气候较为潮湿,并有季节性。

现生松科要求气温较低,属于适应温带气候为主的植物。中生代松科植物也主要存在于温带地区,与现生松科具有相似的习性。当前植物组合中属于松科的 *Pityocladus* cf. *iwaianus* 和 *Pityocladus* sp. 的存在指示了较为温带型的气候。

上述喜湿喜温凉气候植物化石的存在,以及碳质泥岩层和煤线的出现,证明气候环境较为潮湿,而不炎热。然而这种潮湿气候持续的时间不长,只是短期存在,因为这一化石组合只赋存于赤金堡组上部的不厚的一段黑色地层中。

4.2 *Brachyphyllum-Pseudofrenelopsis* 组合反映的气候特点

中沟组的植物化石以鳞叶型松柏类为主,包括掌鳞杉科及可能属于该科的 *Pseudofrenelopsis*, *Brachyphyllum* 和 *Pagiophyllum* 以及柏科的 *Cupressocladus* 等,标本不但叶片小,而且角质层相当的厚,特别是的 *Brachyphyllum ningshiaense* 的角质层可达上百微米,为早白垩世其他地区植物群中未见。*Pseudofrenelopsis* 是干旱或高盐缺水环境的指示植物(Watson, 1977; Upchurch and Doyle, 1981; Watson and Fisher, 1984)。

Pseudofrenelopsis dalatzensis 具有角质层较厚,气孔器及保卫细胞下陷等旱生结构,表明当时气候相当炎热,或至少短期会很相当干旱。

中沟组的岩性以白云质泥岩、泥灰岩为特点,在底部出现红色层,所产大量的女星介,反映水体的矿化度较大。中沟组的植物化石保存虽好,但植物体相当破碎,表明并不是原地保存,而是经过了较长距离的搬运,围岩颜色浅,有机质少,说明植物不繁盛,发现的化石可生活于较高地带。

中沟组的孢粉分析结果显示,裸子植物花粉中指示干旱性气候 *Classopollis* 的含量较高,约为 10%~30%,最高达 50% 以上,表明气候类型干旱或半干旱(卢远征等,2002)。

因此,综上所述, *Brachyphyllum-Pseudofrenelopsis* 组合指示了干旱型气候。

酒泉盆地下白垩统各岩组中发现的木化石均有年轮,表明季节性气候的存在。但是这些木化石的年轮没有中国东北地区的明显,说明季节性变化不是十分的强烈。

4.3 关于植物地理分区的讨论

中国早白垩世植物群总体上可以分出代表南方热带、亚热带和北方温带两个不同植物地理区的植物群(陈芬,1990;孙革等,1995;曹正尧,1999)。北方型植物群以东北地区最为繁盛,称 *Acanthopteris-Ruffordia* 植物群(陈芬等,1988;邓胜徽等,2001),以真蕨纲、银杏纲和松柏纲为主,苏铁纲较丰富,楔叶纲常见,并有少量石松纲和被子植物等。其中真蕨纲占总数的三分之一多,以蚌蕨科、紫萁科、蹄盖蕨科、鳞毛蕨科以及小羽片较大的形态属 *Cladophlebis* 为主;松柏纲以长叶或宽叶型为特点;银杏纲大量存在;苏铁纲也广泛发育,包括较丰富的本内苏铁目的 *Pterophyllum*, *Nilssoniopteris*, *Anomozamites*, *Neozamites* 和苏铁目的 *Ctenis*, *Nilssonia* 等等。南方植物群代表了较干旱炎热的气候,主要由真蕨纲、苏铁纲、松柏纲为主,银杏纲少见,尚未发现被子植物;以东南沿海一带和西藏北部地区较为发育。其中苏铁纲和松柏纲各约占植物群的 1/3 左右,苏铁纲中本内苏铁目占绝对优势;松柏纲以鳞叶型的 *Cupressinocladus*, *Pagiophyllum* 和 *Brachyphyllum* 为主;真蕨纲主要有里白科、海金沙科、和蝶形蕨科等。

酒泉盆地处于上述两大植物地理区的交界地区,早白垩世时期气候出现明显的波动,植物群的性质也随之发生更替。根据本文的研究结果,早白垩

世早期(相当于赤金堡组上段沉积时期)存在北方型的 *Athrotaxites-Solenites* 组合,该区应属北方温带植物地理区系的范畴。而早白垩世晚期(相当于中沟组上部沉积时期)存在南方型的 *Pagiophyllum-Brachyphyllum* 组合,该区明显应属于南方热带、亚热带植物地理区的范畴。

致谢: 本文是国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006CB701400)和自然科学基金项目(49872008)的成果,野外工作中还得到了玉门油田研究院的帮助,中国石油勘探院研究生马龙参加了野外工作,在此一并致谢。

参 考 文 献

曹正尧. 1989. 浙江下白垩统几种裸子植物化石及其表皮构造. 古生物学报, 28(4): 435~446.

曹正尧. 1991. 浙江东部馆头组一些坚叶杉新种. 古生物学报, 30(5): 593~600.

曹正尧. 1999. 浙江早白垩世植物群. 中国古生物志, 总号第 187 册, 新甲种第 13 号. 北京: 科学出版社, 1~174.

曹正尧, 梁诗径, 马爱双. 1995. 福建政和早白垩世南园组植物化石. 古生物学报, 34(1): 1~17.

陈芬. 1990. 中国及邻区早白垩世植物地理分区. 见: 中国及邻区构造古地理和生物古地理. 武汉: 中国地质大学出版社, 336~347.

陈芬, 邓胜徽. 1990. 早白垩世松柏植物拟密叶杉—*Athrotaxites* 的三个种. 现代地质, 4(3): 28~37.

陈芬, 孟祥营, 任守勤, 吴冲龙. 1988. 辽宁阜新和铁法盆地早白垩世植物群及含煤地层. 地质出版社, 北京: 1~180.

陈芬, 杨关秀. 1982. 河北平泉、北京西山早白垩世植物化石. 植物学报, 24(6): 575~580.

陈芬, 杨关秀. 1983. 西藏狮泉河一带早白垩世植物化石. 地球科学, 1: 129~136.

邓胜徽. 1995. 内蒙古霍林河盆地早白垩世植物群. 北京: 地质出版社, 1~125.

邓胜徽. 1992. 辽宁铁法盆地早白垩世植物群中的真蕨植物新材料及其原位孢子. 地球科学, 17(7): 7~14.

邓胜徽. 1998. 内蒙古平庄-元宝山盆地早白垩世植物化石. 现代地质, 12(2): 168~172.

邓胜徽, 陈芬. 2001. 中国东北地区早白垩世真蕨类植物. 北京: 地质出版社, 1~249.

邓胜徽, 任守勤, 陈芬. 1997. 内蒙古海拉尔地区早白垩世植物群. 北京: 地质出版社, 1~116.

邓胜徽, 姚益民, 叶得泉, 等. 2003. 中国北方侏罗系, (1), 地层划分与对比. 北京: 石油工业出版社, 1~399.

段淑英, 陈晔, 耿国仓. 1977. 西藏拉萨早白垩世的植物化石. 植物学报, 19(2): 114~119.

冯少南, 马洁. 1994. 论雅致柏型枝和拟节柏在四川汉宜地区的发现及其意义. 中国区域地质, 4: 376~380.

郝治纯, 苏德英, 余静贤, 李友桂, 张望平, 刘桂芳. 2000. 中国地层典? 白垩系. 北京: 地质出版社, 1~124.

李佩娟. 1982. 西藏东部多尼组早白垩世植物化石初步研究. 见: 川西藏东地区地层与古生物. 成都: 四川人民出版社, 71~106.

李佩娟, 吴一民. 1991. 西藏改则早白垩世植物的研究. 见孙东立, 徐均涛, 西藏日土地区二叠纪、侏罗纪、白垩纪地层及古生物. 南京: 南京大学出版社, 276~294.

刘明渭. 1990. 莱阳组的植物化石. 见: 山东莱阳盆地地层古生物. 北京: 地质出版社, 196~221.

刘子进. 1982. 古植物. 见: 西安地质矿产研究所主编, 西北地区古生物图册, 陕甘宁分册(三), 中、新生代部分. 北京: 地质出版社, 116~139.

卢远征, 邓胜徽, 刘永昌, 袁生虎. 2002. 酒西盆地早白垩世孢粉组合特点及时代. 第四届全国石油地质实验技术及实验室管理工作交流会议论文集, 北京: 石油工业出版社, 413~423.

罗清华, 陈丕基, 邹东羽, 等. 1999. 辽西义县组火山凝灰岩激光单晶氩氦与钾氩同位素年龄分析研究. 见: 陈丕基, 金帆主编, 热河生物群. Palaeoword, 11(Special Issue): 328~338.

斯行健, 李星学等编著. 1963. 中国中生代植物. 见: 中国各门类化石, 中国植物化石第二册. 北京: 科学出版社, 1~429.

斯行健. 1945. 福建永安坂头群早白垩世植物化石. Journal of Paleontology, 19(1): 45~59.

孙革, 曹正尧, 李浩敏, 王鑫甫. 1995. 白垩纪植物群. 见: 李星学主编, 中国地质时期植物群(中文版). 广州: 广东科技出版社, 310~341.

孙革, 郑少林, D. 迪尔切, 王永栋, 梅盛吴. 2001. 辽西早期被子植物及伴生植物群. 上海: 上海科技教育出版社, 1~227.

陶君容, 张川波. 1990. 吉林省延吉盆地早白垩世被子植物化石. 植物学报, 32(3): 220~229.

陶君容. 2000. 中国晚白垩世—新生代植物群的演替. 北京: 科学出版社.

王尚文. 1949. 甘肃酒泉玉门间祁连山北麓石油生存之检讨. 地质论评, 14(4~6): 171~178

王自强. 1984. 植物界. 见: 地质矿产部天津地质矿产研究所主编, 华北地区古生物图册(二), 中生代分册. 北京: 地质出版社, 224~302.

吴舜卿. 1999. 辽西热河植物群初步研究. 见: 陈丕基, 金帆主编, 热河生物群. Palaeoword, 11(Special Issue): 7~57.

阎德飞, 孙柏年. 2004. *Solenites murrayana* L. et H. 在甘肃窑街煤田的发现及其地质意义. 兰州大学学报(自然科学版), 40(03): 84~88.

杨学林, 孙礼文. 1982. 松辽盆地东南部沙河子组和营城组的植物化石. 古生物学报, 21(5): 588~595.

叶得泉, 钟筱春等. 1990. 中国北方含油气区白垩系. 北京: 石油工业出版社, 1~354.

张川波. 1986. 吉林省延吉盆地早白垩世中晚期地层. 长春地质学院学报, 2: 15~27.

张光富. 2005. 中国吉林大拉子组的时代探讨. 地层学杂志, 29(4): 381~385.

张武, 郑少林, 张志城. 1980. 植物界. 见: 东北地区古生物图册(二), 中生代分册. 北京: 地质出版社, 221~339.

张志诚. 1986. 植物群. 见: 中国地层, 12, 中国的白垩系. 北京: 地质出版社, 43~50.

张志诚, 熊宪政. 1983. 黑龙江东宁盆地东宁组植物化石及其意义.

中国地质科学院沈阳地质矿产研究所刊,7:49~63.

郑少林, 张武. 1982. 黑龙江省东部地区龙爪沟群及鸡西群植物化石. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所刊,5:277~349.

郑少林, 张武. 1983. 黑龙江省勃利盆地早白垩世中晚期植物群. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所刊,7:68~98.

周赞衡. 1923. 山东白垩纪之植物化石. 地质汇报,5(2):81~83.

周志炎, 曹正尧. 1977. 中国东部白垩纪 8 种松柏类化石及其分类位置和演化关系. 古生物学报,16(2):165~181.

周志炎, 陈丕基等. 1980. 吉林东部延边地区晚中生代陆相地层. 中国科学院南京地质古生物研究所刊,1:1~21.

Deng Shenghui, Yang Xiaojun, Lu Yuanzheng. 2005. Pseudofrenelopsis (Cheirolepidiaceae) from the Lower Cretaceous of Jiuquan, Gansu, Northwestern China. Acta Palaeontologica Sinica, 44(4): 505~516.

Harris T M, 1935. The fossil flora of Scoresby Sound, East Greenland. Medd. Gr nland, Kj benhavn, 68: 45~148.

Harris T M, Millington W. 1974. The Yorkshire Jurassic flora. IV. 1. Ginkgoales, 2. Czekanowskiales. London: Brit Mus Nat Hist, 1~150.

Harris T M. 1951. Notes on the Jurassic flora of Yorkshire, 49-51, 49 Solenites vimineus (Phillips) n. comb.; 50 Ginkgo whitbiensis sp. n.; 51 Elatides divaricatus (Bunbury) n. comb.. Ann Mag Nat Hist, London (12) 4: 915~937.

Lapasha C A, Miller C N. 1984. Flora of the Early Cretaceous Kootenai Formation in Montana. Palaeontographica B., 194: 109~130.

Miller C N, Lapasha C A. 1983. Structure and affinities of Athrotaxites berryi Bell, An Early Cretaceous Conifer. American Journal of Botany, 70: 772~779.

Swisher C C, Wang Y Q, Wang X L, et al. 1999. Cretaceous age for the feathered dinosaurs of Liaoning, China. Nature, 400: 58~61.

Upchurch G R, Doyle J A. 1981. Paleocology of the conifers Frenelopsis and Pseudofrenelopsis (Cheirolepidiaceae) from the Cretaceous Potomac Group of Maryland and Virginia. In Romans R. C., ed., Geobotany. Vol. 2, New York: Plenum Press.

Van der Ham R W J M, Van Konijnenburg-Van Cittert J H A, Dortangs R W, et al. 2003. Brachyphyllum patens (Miquel) comb. Nov. (Cheirolepidaceae?); remarkable conifer foliage from the Maastrichtian type area (Late Cretaceous, NE Belgium, SE Netherlands). Review of Palaeobotany and Palynology, 127: 77~97.

Watson J, Fisher H L. 1984. A new conifer genus from the Lower Cretaceous Glen Rose Formation Texas. Palaeontology, 27: 719~727.

Watson J. 1977. Some Lower Cretaceous conifer of the Cheirolepidiaceae from the U. S. A. and England. Palaeontology, 20: 715~749.

Zhou Z Y. 1987. Elatides harrisii sp. nov., from the Lower Cretaceous of Liaoning, China. Rev Palaeob Palynol, 51: 189~204.

Zhou Z Y. 1995. On some Cretaceous pseudofrenelopsids with a brief review of cheirolepidaceous conifers in China. Rev Palaeob Palynol, 84: 419~438.

图 版 说 明

图版 1

图 1-3, 6,8-9;*Brachyphyllum ningshiaense* Chow et Tsao
1-3,6,带叶小枝;其为 1,2. 正、副模;标本号分别为:HX-95-2001-01, 02, 07,24. 8 为图 1 的放大,9 为图 6 的放大,均×3. 产于早峡剖面中沟组上部。

图 4-5, 10;*Brachyphyllum obtusum* Chow et Tsao
5 和 6 为正反面;标本号分别为:HX-95-2001-06, 06-1,10 图 4 标本的放大,×3. 产于早峡剖面中沟组上部。

7,11;*Cupressinocladus* sp.
11 为 7 的放大,×3. 标本号:HX-95-2001-21. 产于早峡剖面中沟组上部。

12,28-30;*Pagiophyllum yumenense* sp. nov.
30,模式标本;28 和 29 为 30 的局部放大,分别示小枝下部的密集排列的叶和上部的较稀疏排列的叶;标本号:HX-95-2001-11;12 为单独小枝,标本号:HX-95-2001-03. 产于早峡剖面中沟组上部。

13-14,20;*Cupressinocladus elegans* (Chow) Chow
图 14 为 13 的放大,×3;标本号:HX-95-2001-27; 20 为幼年小枝,标本号:HX-95-2001- 13. 产于早峡剖面中沟组上部。

15;*Podozamites* sp.
标本号:HX-95-2001-31. 产于早峡剖面中沟组上部。

16-19;*Pagiophyllum compressum* sp. nov.
图 16,模式标本,17,模式标本的副模,标本号:HX-95-2001- 26, 25; 18 为 17 的放大,19 为 16 的放大,均×3. 产于早峡剖面中沟组上部。

21;*Pagiophyllum* sp.
标本号:HX-95-2001-04. 产于早峡剖面中沟组上部。

22-23;*Carpolithus* sp.
标本号:HX-95-2001-23, 22. 产于早峡剖面中沟组上部。

24-27;*Athrotaxites berryi* Bell
24 为 26 的放大,25 为 27 的放大,示叶的形态排列方式以及叶背面的龙骨;标本号: HX-27-2001-1, 2. 产于早峡剖面赤金堡组上段。

图版 2

1-3, 22;*Pseudofrenelopsis dalatzensis* (Chow et Tsao) Cao ex Zhou
图 1-3 均×2,标本号:HX-95-2002-04, 02, HX-95-2001-05;图 22, 节间角质层外面观,示乳突和气孔器;扫描电镜(SEM)照片,比例尺 100μm. 产于早峡剖面中沟组上部。

4,20-21;*Pseudofrenelopsis gansuensis* Deng, Yang et Lu
图 4,模式标本,标本号:Chang-3926-01;20,节间角质层内面观,示气孔器特点及排列,SEM 照片,比例尺 100μm;21,节间角质层的横切面,示角质层的厚度,SEM 照片,比例尺 20μm. 产于长 101 井下沟组(井深 3926m)。

5. *Cupressinocladus elegans* (Chow) Chow
为幼枝,标本号:HX-95-2001-08. 产于早峡剖面中沟组上部。

6-9;*Elatocladus* sp.

图 7 和 9 为正副面,标本号:HX-95-2001-28, 29;图 6 为图 7 上部的放大,示小枝顶部的叶形,×3;图 9 为图 7 下部的放大,示小枝下部的叶形。产于旱峡剖面中沟组上部。

15:*Sphenopteris* sp.

标本号: HX-95-2001-8, HX-95-2001-15。产于旱峡剖面中沟组上部。

10-11:*Pityocladus* cf. *iwaianus* (Ôishi) Chow

标本号:HX-27-2001-5。产于旱峡剖面赤金堡组上段。

12-13,16-17:*Pityocladus* sp.

图 16,带叶小枝,标本号:HX-27-2001-4;图 17 为图 16 标本小枝上

部的放大,示叶形,×3;图 12 和 13 为图 16 的局部放大,示短枝上的鳞片状叶基,分别×6 和×10。产于旱峡剖面中沟组上部。

14,18-19:*Solenites luanpingensis* Wang

图 18 和 19 为同一标本上和两个带叶短枝,标本号: HX-27-2001-6, 14 为图 19 的放大,示短枝。产于旱峡剖面赤金堡组上段。

23-24:*Brachyphyllum ningshiaense* Chow et Tsao

SEM 照片,比例尺 20μm;23,下表皮角质层横切面,示角质层厚度;24,下表皮角质层外面观,示气孔器;角质层均取自图版 1,图 3 标本。

Fossil plants from the Lower Cretaceous of Jiuquan Basin, Gansu, Northwest China and their palaeoclimatic implications

DENG Shenghui¹⁾, LU Yuanzheng^{1,2)}

1) *Research Institute of Petroleum Exploraton and Development, Beijing, 100083, China*

2) *China University of Geosciences, Beijing, 100083, China*

Abstract

The Lower Cretaceous flora of Jiuquan basin, Gansu of Northwest China, is divided into two assemblages. Assemblage *Athrotaxites-Solenites* from the upper part of the Chijinpu Formation consists of *Solenites luanpingensis* Wang, *Pityocladus* cf. *iwaianus* (Ôishi) Chow, *Pityocladus* sp. and *Athrotaxites berryi* Bell, which is considered as early Early Cretaceous in age and it reflects humid or semi-humid climate. Assemblage *Brachyphyllum-Pseudofrenelopsis* from the upper part of the Zhonggou Formation represented by *Sphenopteris* sp., *Pseudofrenelopsis dalatzensis* (Chow et Tsao) Cao ex Zhou, *Cupressinocladus elegans* (Chow) Chow, *Cupressinocladus* sp., *Pagiophyllum yumenense* sp. nov., *Pagiophyllum compressum* sp. nov., *Pagiophyllum* sp., *Brachyphyllum ningshiaense* Chow et Tsao, *Brachyphyllum obtusum* Chow et Tsao, *Elatocladus* sp., *Podozamites* sp. and *Carpolithus* sp. shows an Aptian-Albian of Early Cretaceous and indicates arid climate.

Key words: Lower Cretaceous; fossil plants; age; palaeoclimate; Gansu of Northwest China