



# 山东莱芜黄羊山晚寒武世牙形石组合及寒武系与奥陶系界线的确定

杜圣贤,张义江,张俊波,闫诚,刘书才  
(山东省地质科学实验研究院,山东 济南 250013)

**摘要:**通过实测莱芜黄羊山晚寒武世地层剖面,利用牙形石确定了寒武系与奥陶系的界线;对长山阶的碳氧同位素曲线特征进行了分析,并与我国华南及哈萨克斯坦等国的寒武系芙蓉统底部的碳同位素曲线进行对比,建立了莱芜地区上寒武统与华南以及国外上寒武统的对比关系。

**关键词:**上寒武统;牙形石;寒武系;奥陶系;界线;碳氧同位素;莱芜黄羊山;山东

**中图分类号:**P534.41;P534.42;Q911.6 **文献标识码:**A

## 0 引言

莱芜地区寒武纪地层发育,其中出露于黄羊山上寒武统地层剖面层序清楚,保存完好,富含典型的生物化石,研究历史悠久,与同区的九龙山剖面在国内外地层古生物研究领域享有盛名(图1)。过去不少学者对该剖面进行过岩石地层<sup>[1]</sup>、三叶虫生物地层<sup>[2-3]</sup>和年代地层<sup>[4]</sup>等方面研究,但由于该区寒武系顶部普遍白云岩化,大化石很难保存,以往都粗略地将寒武系与奥陶系的界线确定在三山子组(白云岩)的底界。单纯用岩石地层界线界定这一重要年代地层界线,这一做法显然有背于厘定年代地层界线原则。

由于三叶虫生活于滨浅海环境,有很强的区域性,华北的寒武纪三叶虫序列与华南的序列很难精确对比,如何将山东寒武系与我国华南寒武系进行对比,一直是广大地层工作者所关注的问题。近年来,山东省地质科学实验研究院开展了“山东省莱芜市古生物化石地质调查与保护研究”<sup>①</sup>工作,对黄羊山剖面进行了岩石地层、年代地层、牙形石生物地层和碳氧同位素地层研究,利用牙形石准确确定了寒武系与奥陶系界线,将寒武系长山阶与我国华南

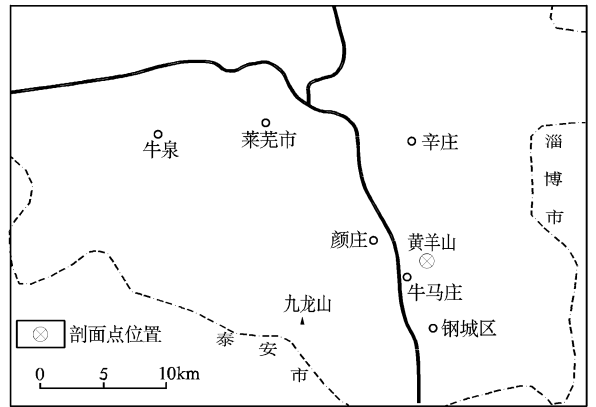


图1 山东莱芜黄羊山晚寒武世地层剖面位置图及哈萨克斯坦等国寒武系芙蓉统排碧阶进行了对比。

## 1 实测地层剖面介绍

武桂春等于2001年对该剖面进行了牙形石生物地层研究,笔者沿黄羊山实测剖面系统采集了碳氧同位素样品和三叶虫化石,并对牙形石采样点进行了核对观察。黄羊山剖面自上而下(图2):

- 莱芜市黄羊山寒武系与奥陶系界线剖面
- 下奥陶统新厂价
- 三山子组 总厚度 2.25 m

\* 收稿日期:2009-02-06;修订日期:2009-04-03;编辑:曹丽丽  
作者简介:杜圣贤(1975—),男,四川巴中人,高级工程师,主要从事地质矿产勘查及地层研究工作。  
①山东省地质科学实验研究院,山东省莱芜市古生物化石地质调查与保护研究,2006年。

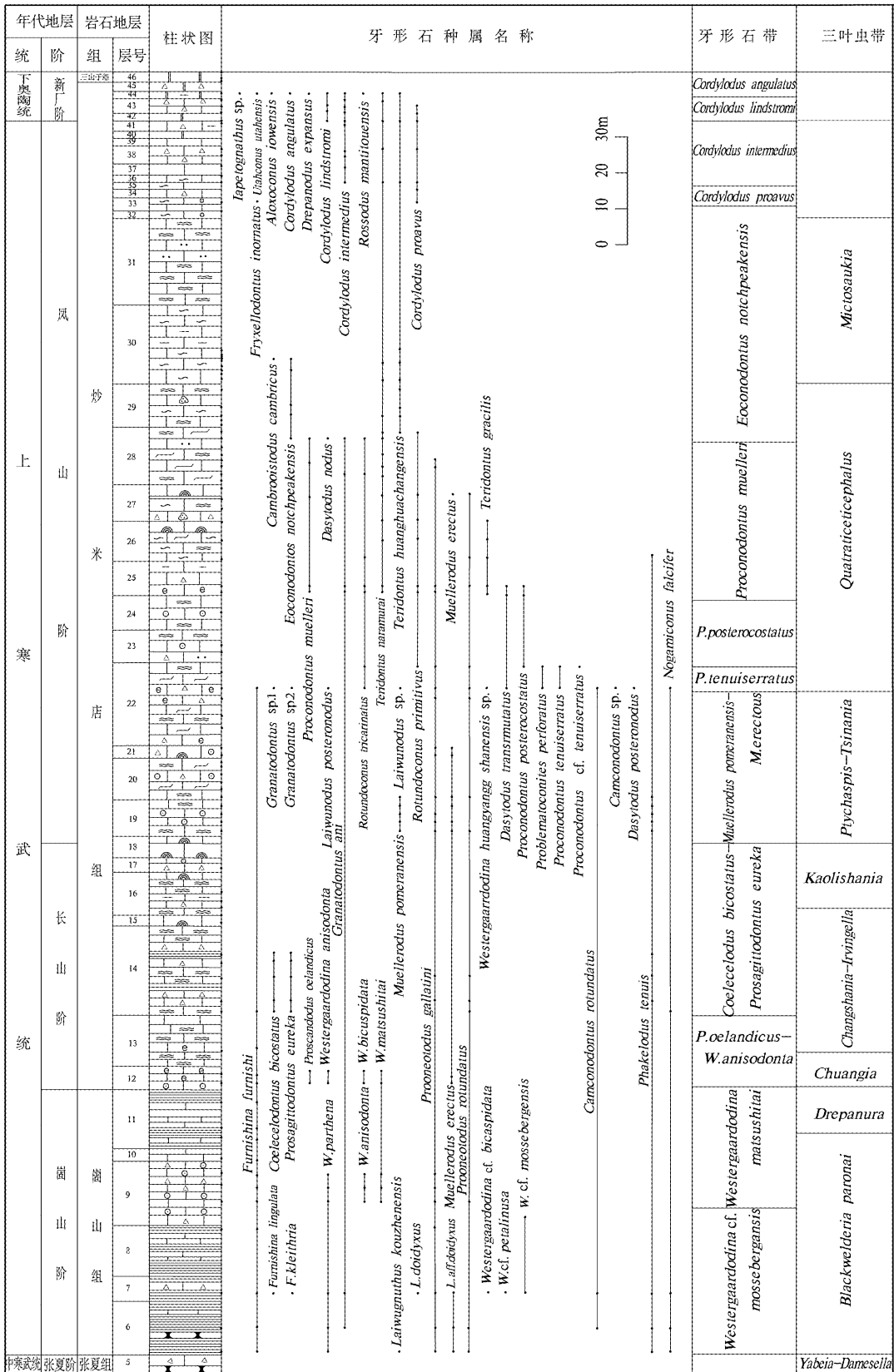


图2 莱芜市黄羊山寒武-奥陶系剖面牙形石分布图

- ④浅褐灰色中厚层白云岩 2.25 m  
——整合——
- 炒米店组 总厚度 276.12 m
- ⑤浅褐灰色中薄层砾屑白云质灰岩 0.3 m
- ④浅褐灰色中薄层泥质白云岩,产牙形石 *Aloxoconus*, *iowensis*, *Cordylodus lindstromi*, *C. angulatus*, *C. intermedius*, *C. proavus*, *Iapetognathus* sp., *Utahconus uthensis*, *Drepanodus expansus*, *Rossodus manitouensis*, *Teridontus nakamurai*, *T. huanghuachangensis* 等 1.17 m
- ③浅褐灰色中薄层砾屑灰岩,产牙形石 *Cordylodus proavus*, *C. intermedius*, *C. lindstromi*, *Teridontus nakamurai* 等 4.47 m
- ②褐灰色中薄层白云岩,产牙形石 *Cordylodus lindstromi*, *Cordylodus proavus*, *C. intermedius*, *Teridontus nakamurai*, *T. huanghuachangensis* 等 2.17 m
- 上寒武统凤山阶
- ④灰色中厚层砾屑灰岩夹薄层泥质灰岩,产牙形石 *Cordylodus proavus*, *C. intermedius* 等 3.10 m
- ④灰色中厚层白云岩 0.62 m
- ③褐灰色链条状虫迹灰岩 1.05 m
- ③灰色薄层、中厚层砾屑灰岩,产牙形石 *Cordylodus proavus*, *C. intermedius*, *Teridontus nakamurai* 等 5.45 m
- ⑦褐灰色中薄层虫迹灰岩,产牙形石 *Cordylodus proavus*, *Teridontus nakamurai* 等 3.20 m
- ⑥灰色云斑灰岩,产牙形石 *Cordylodus proavus*, *C. intermedius*, *Teridontus nakamurai*, *T. huanghuachangensis* 等 2.11 m
- ⑤褐灰色云斑虫迹灰岩,产牙形石 *Cordylodus proavus* 等 2.18 m
- ④灰色中厚层砾屑灰岩夹泥晶灰岩 2.11 m
- ③褐灰色云斑虫迹灰岩夹鲕粒、砂屑灰岩条带,产牙形石 *Cordylodus proavus*, *Fryxellodontus inornatus* 等 6.02 m
- ②灰色厚层云斑灰岩夹鲕粒灰岩、砾屑灰岩 4.01 m
- ①灰色中薄层泥纹泥晶灰岩夹灰色中层泥砂屑灰岩,剖面附近与该层相当的层位中采得三叶虫 *Mictosaukia* sp., *Saukia* sp. 24.47 m
- ⑩灰色(杂以褐黄色)中厚层云斑泥晶灰岩,产三叶虫化石 *Saukia* sp.,产牙形石 *Cambroostodus cambricus*, *Eoconodontus notchpeakensis*, *Teridontus nakamurai*, *T. huanghuachangensis* 21.79 m
- ⑨灰色中薄层泥纹泥晶灰岩夹中厚层云斑藻凝块灰岩及中薄层泥晶砾屑灰岩,产牙形石 *Eoconodontus notchpeakensis*, *Teridontus nakamurai*, *T. huanghuachangensis* 12.14 m
- ⑧灰色薄层泥纹—泥质条带泥晶灰岩夹少量灰色中厚层砂屑灰岩,产牙形石 *Teridontus nakamurai*, *T. huanghuachangensis*, *Dasytodus nodus*, *Eoconodontus notchpeakensis*, *Granatodontus ani*, *Proconodontus muelleri*, *Rotundoconus tricarinatus*, *R. primitivus*, *Prooneotodus gallatini* 16.04 m
- ⑦灰色中薄层泥纹—泥质条带泥晶灰岩夹中层泥—亮晶含砾屑灰岩、云斑藻凝块灰岩,顶为1.5 m的浅灰色块状叠层石灰岩,产牙形石 *Muellerodus erectus*, *Prooneotodus rotundatus*, *Proconodontus muelleri*, *Rotundoconus primitivus*, *Teridontus nakamurai*, *T. gracilis* 10.12 m
- ⑥下部灰色厚层云斑泥晶灰岩夹薄层—链条状泥纹泥晶灰岩;上部灰色薄层泥质条带泥晶灰岩夹中厚层云斑泥晶灰岩,顶为浅灰色块状叠层石灰岩,产牙形石 *Rotundoconus primitivus*, *R. tricarinatus*, *Teridontus nakamurai*, *T. gracilis*, *Prooneotodus rotundatus*, *Phakelodus tenuis* 10.85 m
- ⑤浅灰色中薄层泥晶灰岩,具砂屑及生物碎屑条带,夹中层泥晶砾屑灰岩,产三叶虫 *Calvinella* sp.,产牙形石 *Dasytodus transmutatus*, *Granatodontus ani*, *Proconodontus muelleri*, *P. posterocostatus*, *Prooneotodus rotundatus*, *Rotundoconus tricarinatus*, *R. primitivus*, *Teridontus gracilis*, *T. nakamurai*, *Prooneotodus gallatini* 9.40 m
- ④黄灰色薄层—中层泥纹泥晶灰岩夹灰色中厚层泥—亮晶鲕粒砂屑灰岩 9.01 m
- ③灰色中薄层泥纹—泥质条带泥晶灰岩夹褐灰色中层泥—亮晶砂屑鲕粒灰岩 9.40 m
- ②黄灰色中薄层泥纹—泥质条带泥晶灰岩与灰色中厚层泥—亮晶生物碎屑灰岩互层,夹浅灰色块状藻屑泥晶灰岩,产三叶虫 *Changia* sp., *Ptychaspis* sp., *Tsiania* sp., *Pagodia* sp. 等,产牙形石 *Prooneotodus gallatini*, *Problamatoconites perforatus*, *P. rotundatus*, *P. posterocostatus*, *Proconodontus tenuiserratus*, *P. cf. tenuiserratus*, *Rotundoconus tricarinatus*, *R. primitivus*, *Camconodontus rotundatus*, *C. sp.*, *Dasytodus transmutatus* D. *posteronodus*, *Furnishina furnishi*, *Granatodontus ani*, *G. sp.*, *Laiwunodus posteronodus*, *L. sp.*, *Nogamiconus falcifer*, *Westergaardodina huangyang shanensis* sp. 22.46 m
- ①浅灰色块状叠层石灰岩、砾屑灰岩和鲕粒灰

- 岩,产牙形石 *Prooneotodus gallatini*, *Muellerodus erectus* 3.51 m
- ⑳灰色中厚层泥纹—泥质条带泥晶灰岩夹灰色中厚层泥晶砂屑砾屑灰岩及泥—亮晶砂屑鲕粒灰岩,产牙形石 *Prooneotodus gallatini*, *P. rotundatus* *Muellerodus erectus* 1.93 m
- ㉑深灰色中薄层泥纹泥晶灰岩与褐灰色中厚层泥晶灰岩互层,产三叶虫 *Tsinania* ? sp., *Pagodia* sp., 产牙形石 *Prooneotodus gallatini*, *Muellerodus erectus*, *M. pomeranensis*, *P. rotundatus*, *Phakelodus tenuis* 9.82 m
- ㉒b 浅灰色块状叠层石灰岩夹生物碎屑灰岩,产三叶虫 *Ptychaspis* sp. 2.00 m

上寒武统长山阶

- ㉒a 浅灰色块状叠层石灰岩夹生物碎屑灰岩,产三叶虫 *Ampullatocephalina bifida* 4.31 m
- ㉓灰色中层泥晶砾屑灰岩夹中层鲕粒灰岩 3.51 m
- ㉔灰色薄层泥纹—泥质条带灰岩与灰色中层泥晶砾屑灰岩互层,夹生物碎屑灰岩,产三叶虫 *Shirakiella* sp., *Kaolishania* sp., *Changshania* sp. 12.31 m
- ㉕浅灰色块状叠层石灰岩 3.07 m
- ㉖灰色薄层泥纹泥晶灰岩与灰色中厚层泥晶砾屑灰岩互层,夹少量黄绿色页岩,产三叶虫 *Changshania* sp., *Irvingella* sp., 产牙形石 *Phakelodus tenuis*, *Furnishina furnishi*, *Coelecelodus bicostatus*, *Prosagittodontus eureka*, *Prooneotodus gallatini*, *P. rotundatus* 24.62 m
- ㉗黄灰色薄层链状泥纹泥晶灰岩夹中厚层生物砾屑灰岩及黄绿色灰岩,产三叶虫 *Changshania* sp., *Irvingella* sp., 牙形石 *Furnishina furnishi* 14.15 m
- ㉘灰色厚层生物碎屑泥晶灰岩,底为灰色中厚层泥晶砾屑灰岩,产三叶虫 *Chuangia* sp., 产牙形石 *Furnishina furnishi*, *Proscandotus oelandicus*, *Westergaardodina anisodonta*, *W. bispinidata*, *W. matsushitai*, *Muellerodus erectus* 6.77 m

—————整合—————

上寒武统崮山阶

- 崮山组 总厚度 72.74 m
- ㉙黄灰色薄层泥晶灰岩夹黄绿色页岩,产三叶虫 *Diceratocephalus* sp., *Shantungia* sp., *Drepanura* sp., *Tenistion* sp., *Blackwelderia* sp., *Stephanocare* sp., *Liostracina* sp., *Cyclolorenzella* sp., 产牙形石 *Furnishina furnishi* 16.39 m
- ㉚灰色薄—中厚层灰岩,产牙形石 *Furnishina fur-*

*nishi* 3.02 m

- ⑨灰色中薄层—中厚层鲕粒灰岩与砾屑灰岩互层,产牙形石 *Furnishina furnishi*, *Westergaardodina anisodonta*, *W. matsushitai*, *W. pathena*, *W. cf. mossebergensis*, *Prooneotodus gallatini*, *P. rotundatus* 18.09 m
- ⑩黄灰色薄层灰岩与黄绿色页岩互层,产三叶虫 *Cyclolorenzella* sp., *Blackwelderia* sp., *Damesella* sp., *Monkaspis* sp., 产牙形石 *Furnishina furnishi*, *Prooneotodus gallatini* 14.57 m
- ⑪黄绿色、紫红色页岩夹泥灰岩透镜体,产三叶虫 *Damesella* sp., 产牙形石 *Furnishina furnishi*, *F. lingulata*, *F. kleithria*, *Laiwugnuthus doidyxus*, *L. aff. doidyxus*, *Westergaardodina . cf. bispinidata.*, *W. cf. mossebergensis*, *W. cf. petlinusa*, *W. pathena*, *Prooneotodus gallatini*, *Phakelodus tenuis*, *Camconodontus rotundatus*, *Granatodontus ani*, *Nogamiconus falcifer* 6.83 m
- ⑫黄绿色页岩夹瘤状灰岩、薄层灰岩,产三叶虫 *Blackwelderia* sp., *Damesella* sp., *Monkaspis* sp., *Dorypygella* sp., 产牙形石 *Furnishina furnishi*, *Granatodontus ani*, *Westergaardodina parthena*, *Laiwugnuthus kouzhenensis*, *L. aff. doidyxus*, *Prooneotodus gallatini*, *P. rotundatus*, *Camconodontus rotundatus*, *Phakelodus tenuis*, *Nogamiconus falcifer* 13.84 m

—————整合—————

中寒武统张夏阶

- 张夏组 总厚度 5.16 m
- ⑬黄灰色薄层瘤状灰岩、含砂砾屑灰岩,产三叶虫化石 *Yabeia* sp., *Damesella* sp., *Dorypygella* sp., *Ajaciorepida* sp. 5.16 m

## 2 岩石地层划分

黄羊山剖面岩石地层自上而下可划分为三山子组、炒米店组、崮山组和张夏组。

三山子组(OjS):剖面46层,岩性为灰褐色白云岩,厚度为2.25 m(未测全)。

炒米店组(ε-OjĈ):剖面45~12层,下部为薄层泥晶灰岩、条带状灰岩夹藻灰岩、鲕粒灰岩,上部为藻灰岩、云斑泥晶灰岩、虫迹灰岩夹灰质白云岩。厚度为276.12 m。

崮山组(εjG):剖面11~6层,主要岩性为黄绿色页岩与灰色中薄层泥晶灰岩、砾屑灰岩、瘤状泥质

灰岩、鲕粒灰岩互层。厚度为72.74 m。

张夏组( $\epsilon_j Z$ ):剖面5层,岩性为黄灰色薄层瘤状灰岩、砾屑灰岩等。厚度为5.16 m(未测全)。

### 3 生物地层划分

#### 3.1 三叶虫生物地层

黄羊山剖面所赋存的三叶虫化石,具有典型性和代表性。项目工作沿剖面系统采集了三叶虫化石,并结合前人的研究成果,自上而下划分出9个三叶虫带(图2):①*Yabeia - Damesella*带;②*Blackwelderia*带;③*Drepanura*带;④*Chuangia*带;⑤*Changshania - Iirvingella*带;⑥*Kaolishania*带;⑦*Ptychaspis - Tsinania*带;⑧*Quatraticephalus*带;⑨*Mictosaukia*带。

#### 3.2 牙形石生物地层

2001年武桂春(中国地质科学院地质研究所)、刘书才等同志在黄羊山剖面系统采集了牙形石,武桂春同志进行了分析鉴定,并建立了上寒武统一—奥陶统11个牙形石生物带<sup>[5]</sup>。2006年项目组对黄羊山北剖面、黄羊山剖面和牛马庄剖面重新进行了实测和研究,根据牙形石种属在剖面上的分布情况,与邻区进行了对比,划分出13个牙形石生物带(图2),自上而下叙述如下:

⑬*Cordylodus angulatus*带对应剖面44层。以*Cordylodus angulatus*的首现为该带的底界。除带化石外,还有*Aloxoconus iowensis*,*Cordylodus lindstromi*,*C. intermedius*,*C. proavus*,*Iapetognathus* sp.,*Utahconus uthensis*,*Drepanodus expansus*,*Rossodus manitouensis*,*Teridontus nakamurai*,*T. huanghuachangensis*等。

⑫*Cordylodus lindstromi*带对应剖面42~43层,以*Cordylodus lindstromi*的首现为该带的底界、以*Cordylodus angulatus*的首现为其顶界。除带化石外,还有*Cordylodus intermedius*,*Cordylodus proavus*,*Teridontus nakamurai*,*T. huanghuachangensis*等。

⑪*Cordylodus intermedius*带对应剖面41~36层,以*Cordylodus intermedius*的首现为该带的底界、以*Cordylodus lindstromi*的首现为顶界。除带化石外,还有*Teridontus huanghuachangensis*,*Cordylodus proavus*等。

⑩*Cordylodus proavus*带对应剖面35~33层,以*Cordylodus proavus*的首现为该带的底界、以*Cordylodus intermedius*的首现为其顶界。除带化石外,还有

*Fryxellodontus inornatus*等。

⑨*Eoconodontus notchpeakensis*带对应剖面32~28层顶部,以*Eoconodontus notchpeakensis*的首现为该带的底界、以*Cordylodus proavus*的首现为其顶界。除带化石外,还有*Teridontus nakamurai*,*Teridontus huanghuachangensis*,*Dasytodus nodus*,*Granatodontus ani*,*Proconodontus muelleri*,*Rotundoconus tricatinatus*,*R. primitivus*,*Prooneotodus gallatini*等。

⑧*Proconodontus muelleri*带对应剖面28层的上部至25层,以*Proconodontus muelleri*的首现为该带的底界、以*Eoconodontus notchpeakensis*的首现为其顶界。除带化石外,还有*Granatodontus ani*,*Rotundoconus tricatinatus*,*R. primitivus*,*Teridontus nakamurai*,*T. gracilis*,*Muellerodus erectus*,*Prooneotodus gallatini*,*Prooneotodus rotundatus*,*Phakelodus tenuis*,*Dasytodus transmutatus*,*Proconodontus posterocostatus*,*Prooneotodus gallatini*等。

⑦*Proconodontus posterocostatus*带对应剖面24层顶部至22层,以*Proconodontus posterocostatus*的首现为该带的底界、以*Proconodontus muelleri*的首现为其顶界。除带化石外,还有*Dasytodus transmutatus*,*Rotundoconus primitivus*,*Prooneotodus gallatini*,*Prooneotodus rotundatus*,*Rotundoconus tricatinatus*等。

⑥*Proconodontus tenuiserratus*带对应剖面22层上部,以*Proconodontus tenuiserratus*的首现为该带的底界、以*Proconodontus posterocostatus*的首现为其顶界。除带化石外,还有*prooneotodus gallatini*,*P. rotundatus*,*Problamatoconites perforatus*,*Rotundoconus tricarinatus*,*Dasytodus transmutatus*,*D. posteronodus*,*Furnishina furnishi*,*Laiwunodus posteronodus*,*Nogami-conus falcifer*,*Westergaardodina huangyangshanensis*等。

⑤*Muellerodus pomeranensis - Muellerodus erectus*带对应剖面22层中上部至19层,以*Muellerodus pomeranensis*的首现为该组合带的底界、以*Proconodontus tenuiserratus*的首现为其顶界。除带化石外,还有*Prooneotodus gallatini*,*Phakelodus tenuis*等。

④*Coelecelodus bicostatus - Prosagittodontus eureka*带对应剖面18~14层,以*Coelecelodus bicostatus*和*Prosagittodontus eureka*的首现为该带的底界、以*Muellerodus pomeranensis*的首现为其顶界。除带化石外,还有*Phakelodus tenuis*,*Furnishina furnishi*,

*Prooneotodus gallatini*, *P. rotundatus* 等。

③ *Proscandotus oelandicus* - *Westergaardodina anisodonta* 带对应剖面 13 ~ 12 层, 以 *Proscandotus oelandicus* 和 *Westergaardodina anisodonta* 的首现为该带的底界, 以 *Coeleceodus bicostatus* 和 *Prosagittodontus eureka* 的首现为其顶界。除带化石外, 还有 *Furnishina furnishi*, *Westergaardodina bicuspidata*, *W. matsushitai*, *Muellerodus erectus* 等。

② *Westergaardodina matsushitai* 带对应剖面 11 层至 9 层的中下部。以 *Westergaardodina matsushitai* 的首现为该带的底界, 以 *Proscandotus oelandicus* 和 *Westergaardodina anisodonta* 的首现为其顶界。除带化石外, 还有 *Furnishina furnishi*, *Westergaardodina anisodonta*, *W. pathena*, *Prooneotodus gallatini*, *P. rotundatus*。

① *Westergaardodina cf. mossebergensis* 带对应剖面 9 层的下部至 6 层, 以张夏阶的顶界作为该牙形石生物带的底界, 以 *Westergaardodina matsushitai* 的首现为其顶界。除带化石外, 还有 *Furnishina furnishi*, *F. lingulata*, *F. kleithria*, *Laiwugnuthus doidyxus*, *L. aff. doidyxus*, *Westergaardodina. cf. bispaspidata.*, *W. cf. petlinusa*, *W. pathena*, *Prooneotodus gallatini*, *Phakelodus tenuis*, *Camconodontus rotundatus*, *Granatodontus ani*, *Nogamiconus falcifer* 等。

#### 4 年代地层划分及寒武系与奥陶系界线的确定

根据生物化石特征及其在剖面上的分布, 由新

到老在剖面上划分了 5 个阶级年代地层单位: 新厂阶、凤山阶 (三叶虫 7 ~ 9 化石带)、长山阶 (三叶虫 4 ~ 6 化石带)、崮山阶 (三叶虫 2, 3 化石带) 和张夏阶 (图 2)。

由于炒米店组上部普遍白云岩化, 故大化石 (如三叶虫) 很难保存, 尤其是在接近奥陶系底界有一段近 50 m 厚的地层, 从未采到过可供鉴定的大化石, 使得寒武系与奥陶系的界线难以确定, 以往把这个界线放在了大套白云岩出现的底界, 也就是三山子组的底界, 这样确定的实际上是一条岩石地层界线, 缺乏生物化石依据, 与年代地层的概念不符<sup>[6]</sup>。

根据近年来在黄羊山剖面牙形石生物地层研究成果, 黄羊山剖面寒武系与奥陶系界线上下的牙形石带, 不仅与我国东北、华南地区有很好的对比, 而且可以与被公认为全球奥陶系层型的加拿大纽芬兰的 Green Piont 剖面进行对比 (表 1)<sup>[7]</sup>, 尤其是在黄羊山剖面上具有洲际分布的“*Cordylodus lindstromi*”牙形石的发现, 为寒武系与奥陶系分界的确定提供了十分重要的依据。

根据《中国区域年代地层 (地质年代) 表说明书》<sup>[8]</sup>, 确定下奥陶统最下部新厂阶底界以牙形石“*Cordylodus lindstromi*”的首现为标志, 将寒武系与奥陶系界线置于“*Cordylodus lindstromi*”带之底, 即黄羊山剖面第 41 层与第 42 层的分界。这个界线位于炒米店组顶界以下, 比以三山子组白云岩出现确定的寒武系与奥陶系的界线向下移了 8.11 m。

表 1 寒武系与奥陶系界线牙形石生物地层对比

Series	Hunan, South China (Dong et al., 2001)	Dayangcha, Northeast China (Chen and Gong, 1986)	W. Newfoundland, Canada (Barnes, 1988; Cooper et al., 2001)	Western U. S. A (Miller, 1980, 1988; Nicoll et al., 1999)	本文
O <sub>1</sub>	<i>Cordylodus angulatus</i>	<i>Cordylodus angulatus</i> - <i>Chosonodina herfurthi</i>	<i>C. angulatus</i> ( <i>angulatus</i> Fauna)	<i>Cordylodus angulatus</i>	<i>C. lindstromi</i>
	<i>Cordylodus lindstromi</i>	<i>Cordylodus lindstromi</i>	<i>Iapetognathus fluctivagus</i> ( <i>Lindstromi</i> - <i>prion</i> - <i>Iapetognathus</i> Fauna)	<i>Iapetognathus</i>	<i>C. intermedius</i>
Є <sub>3</sub>	<i>Cordylodus intermedius</i>	<i>Cordylodus intermedius</i>	<i>Cordylodus intermedius</i> ( <i>intermedius</i> Fauna)	<i>Cordylodus lindstromi sensu lato</i>	
	<i>Cordylodus proavus</i>	<i>Cordylodus proavus</i>	<i>Cordylodus proavus</i> ( <i>proavus</i> Fauna)	<i>C. angulatus</i>	<i>Cordylodus intermedius</i>
				<i>C. proavus</i>	<i>C. proavus</i>

#### 5 碳氧同位素化学地层特征及国内外对比

根据碳氧同位素样品分析数据获得了黄羊山剖

面碳同位素曲线图 (图 3)。长山阶  $\delta^{13}\text{C}$  值总体分布于  $0 \sim 4 \times 10^{-3}$  之间, 长山阶的下部  $\delta^{13}\text{C}$  值表现为显著的正漂移,  $\delta^{13}\text{C}$  值上升至  $4 \times 10^{-3}$  左右,  $\delta^{13}\text{C}$  值

的正漂移幅度达到  $3 \times 10^{-3}$  左右; 随后又急剧下降,  $\delta^{13}\text{C}$  值降至  $0 \sim 1 \times 10^{-3}$  之间, 下降幅度达到  $3 \times 10^{-3}$ 。

从碳同位素比值演化曲线特征来看, 莱芜黄羊

山上寒武统剖面碳同位素组成的演化曲线与华南地区上寒武统碳同位素组成的演化曲线相似, 尤其长山阶的底部的正漂移与华南寒武系芙蓉统底部的正漂移相当<sup>[9,10]</sup>。

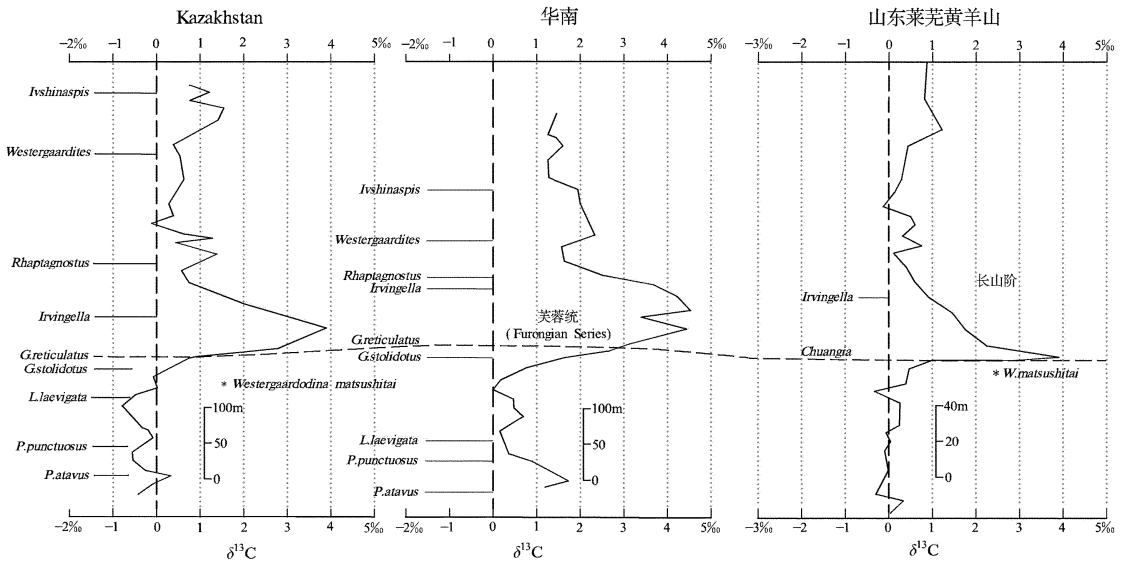


图3 莱芜黄羊山长山阶与华南、哈萨克斯坦寒武系芙蓉统底部碳同位素组成正漂移对比图

黄羊山剖面长山阶底部碳同位素组成演化出现正漂移, 漂移幅度达到  $3 \times 10^{-3}$ , 与华南芙蓉统底部的碳同位素正漂移有极好的对比性(图3), 这个正漂移见于世界各地, 如 Laurentia, Kazakhstan, Australia 等地<sup>[11]</sup>, 被称作为 SPICE 正漂移。依据莱芜黄羊山剖面碳酸盐岩碳同位素组成演化特点, 可与研究程度较高的华南地区以及哈萨克斯坦、澳大利亚、美国的上寒武统进行对比, 尤其长山阶之底的正漂移可与华南地区芙蓉统之底对比, 这个对比结果与生物地层牙形石 (*Westergaardodina matsushitai* 带) 和三叶虫 (*Irvingella* 带) 对比结果非常一致。

参考文献:

[1] 张增奇, 刘明渭, 宋志勇, 等. 山东省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.  
 [2] 卢衍豪, 张文堂, 朱兆玲, 钱义元, 项礼文. 中国的三叶虫[M]. 北京: 科学出版社, 1965.  
 [3] Zhang Weng-tang, 1987. Cambrian trilobites of North China. Beijing: Science Press.  
 [4] 中国科学院南京地质古生物研究所. 中国地层研究二十年(1979—1999)[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.  
 [5] 武桂春, 姚建新, 纪战胜, 刘书才. 山东莱芜地区晚寒武世炒米

店组牙形石生物地层学研究[J]. 微体古生物学报, 2005, 22(2): 185-195.  
 [6] 杜圣贤, 张瑞华, 张贵丽, 等. 山东张夏-崮山地区华北寒武系标准剖面上寒武统研究新进展[J]. 山东国土资源, 2007, 23(10): 1-6.  
 [7] 吴桂春, 姚建新, 纪战胜, 刘书才. 山东省青州地区寒武—奥陶系界线研究的新进展[J]. 微体古生物学报, 2005, 44(1): 111-112.  
 [8] 全国地层委员会. 中国区域年代地层(地质年代)表说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2002.  
 [9] 左景勋. 华南地区寒武系碳同位素组成的演化特征[博士后出站报告][D]. 南京: 中国科学院南京地质古生物研究所, 2005.  
 [10] Zhu Mao-yan, Zhang Jun-ming, Li Guo-xiang & Yang Ai-hua, 2004. Evolution of C isotopes in the Cambrian of China: implications for Cambrian subdivision and trilobite mass extinctions. Geobios, 37: 287-301.  
 [11] Saltzman M R, Ripperdan R L, Brasier M D, Lohmann K C, Robison R A, Chang W T, Peng Shan-chi, Ergaliev E K, Runnegar B, 2000. A global carbon isotope excursion (SPICE) during the late Cambrian: relation to trilobite extinctions, organic-matter burial and sea level. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 162: 211-223.

# Late Cambrian Conodonts Composition and the Determination of Cambrian and Ordovician Boundary in Huangyangshan of Laiwu City in Shandong Province

DU Sheng - xian, ZHANG Yi - jiang, ZHANG Jun - bo, YAN Cheng, LIU Shu - cai  
(Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Through measured late Cambrian stratigraphic profile and by using conodonts, Cambrian and Ordovician boundary are determined in this paper. the characteristics of carbon and oxygen isotope curve in Sankai period is analyzed, and compared with carbon isotope curve at the bottom of Cambrian Furong group in southern China and Kazakhstan. On these basis, the comparison relation between upper Cambrian in South China and abroad is established.

**Key words:** Upper Cambrian; conodonts; Cambrian; Ordovician; carbon and oxygen isotope curve; Huangyangshan in Laiwu city; Shandong province