

辽南新元古界“震旦系兴民村组” 解体及沉积环境分析

曹煜昊^{1,2}, 田德欣³, 卢崇海², 邵九龙²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 辽宁省矿产勘查院, 辽宁 沈阳 110031;
3. 浙江省有色金属地质勘查局, 浙江 绍兴 312000)

摘 要: 通过对原划“震旦系兴民村组”的研究,于原划兴民村组周家崴子段底部石英砂岩中发现冰筏坠石和细纹层构造等冰期环境的特征,在该段下部和中上部见有冰晶痕、雹晶痕等冰碛作用遗迹.原划兴民村组王家坦子页岩段属于浅海相开阔陆棚亚相沉积环境,并归属到震旦系.该层位所产的水母化石纹饰结构简单,个体极小,其形成时代应早于埃迪卡拉纪.原划兴民村组干岛子灰岩段属于内源碳酸盐沉积.鉴于上述研究,有必要对原划分兴民村组进行解体,划为南华系上统周家崴子组、王家坦子组和干岛子组三个组级单位,这样有利于我国新元古代晚期各岩石地层单位的对比与研究.

关 键 词: 震旦系兴民村组;冰筏坠石;纹层状构造;冰晶痕;雹晶痕;类水母化石

中图分类号: P 534.3;P 539.2 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2020)08-1188-07

Disintegration and Sedimentary Environment Analysis of the Originally-Define ‘Xingmincun Formation of Neoproterozoic Sinian System’ in South Liaoning

CAO Yu-hao^{1,2}, TIAN De-xin³, LU Chong-hai², SHAO Jiu-long²

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Liaoning Institute of Mineral Exploration, Shenyang 110031, China; 3. Non-Ferrous Metals Geological Exploration Bureau of Zhejiang Province, Shaoxing 312000, China. Corresponding author: Tian De-xin, E-mail: 2272450096@qq.com)

Abstract: Based on the authors’ study on the original-define ‘Xingmincun Formation of Sinian System’, the characteristics of the glacial period environment were found in the fine grain quartz sandstone in the bottom of Zhoujiawaizi section of Xingmincun Formation, such as ice-rafting dropstone and fine laminary structure. In the bottom and upper part of Zhoujiawaizi section there are ice crystal impression and hailstone traces and other moraine traces. The Wangjiatanzi shale section of the original-define Xingmincun Formation belongs to the shallow sea facies open shelf subfacies sedimentary environment, producing different species of the medusa-like fossil which belong to the Sinian system. The structure of the medusa-like fossils produced in this layer is simple and small and the formation time should be earlier than that of Ediacaran. The Gandaozi limestone section of Xingmincun Formation belongs to the internal carbonate deposit. In view of the above research results, the authors consider that the sedimentary environment of the Zhoujiawzi sandstone, Wangjiatanzi shale and Gandaozi limestone of the original-define Xingmincun Formation is obviously different. It is necessary for original division of Xinmincun Formation to be disintegrated and divided into Zhoujiawaizi Formation, the Wangjiatanzi Formation and the Gandaozi Formation in the upper series of the Nanhua System. It is beneficial to the comparison and study of lithostratigraphy units in the late Neoproterozoic in China.

Key words: Xingmincun Formation of Sinian System; ice-rafting dropstone; lamellar structure; ice crystal impression; hail crystal impression; medusa-like fossil

根据中国南方新元古代大冰期多年的研究成果并与全球同一时代大冰期对比,中国地层委员会于 2000 年第三届全国地层会议上决定新建立一个系级地层单位——南华系,地层位于新元古代青白口系之上,震旦系之下,相当国际地层表新元古界中部成冰系的中上部.南华系地层的划分与对比及其时限的研究一直都是新元古界地层研究的热点.目前对于南华系研究多集中在南方地区区^[1-7],对于中国北方地区新元古代是否存在冰期和南华纪地层的问题一直存在争议^[8].

针对上述问题,2015—2017 年,作者对辽宁地区新元古界岩石地层单位进行了详细的野外地质调查,首次发现辽宁地区在新元古代发育三次冰期事件^[9-10],具体划分为:第一期陆相殷屯冰期和陆相陈千户组间冰期及海相钓鱼台组、南芬组间冰期;第二次冰期为陆相汎河冰期或海相桥头组冰期和南关岭组—崔家屯组间冰期;第三次冰期为原兴民村组周家崴子砂岩段冰期和王家坦子页岩段、干岛子灰岩冰期后沉积.

对比辽南地区新元古界兴民村组三个不同岩性段的岩石组合特征发现:周家崴子岩性段属于冰期海相沉积的产物;王家坦子页岩段属于浅海相开阔陆棚亚相沉积环境,产不同属种的类水母化石,水母化石纹饰结构简单,个体极小,与国外埃迪卡拉生物群中的水母化石之间存在较大差异,其形成时代应早于埃迪卡拉纪,相当于成冰纪晚期形成的生物组合;干岛子灰岩段属于内源碳酸盐沉积.三个岩性段沉积环境不同,称为“兴民组”显然不合适,需对其进行解体并厘定出不同的组级岩石地层单位,这样有利于省内南华系和外省南华系岩石地层单位的划分与对比研究.

辽南大连金州—甘井子地区新暂厘定的周家崴子组、王家坦子组和干岛子组,位于华北陆块(Ⅱ)、辽东新元古代—古生代拗陷带(Ⅲ)、大连新元古—古生代拗陷(Ⅳ)、复州新元古代—古生

代拗陷(Ⅴ)的南部.区内出露的地层主要有新元古界青白口系永宁组、新元古界南华系下统殷屯组、陈千户组、钓鱼台组、南芬组;南华系中统桥头组、长岭子组、南关岭组—崔家屯组,以及寒武系、奥陶系等岩石地层单位,岩浆岩主要为变辉绿岩.

1 前人划分方案及沿革

1.1 创名及原始定义

原划兴民村组由俞建章(1958 年)创名.建组地点位于大连市金州兴民村,分布于大连、金州、甘井子地区.原始定义为:下部周家崴子砂岩段为含铁石英砂岩、石英岩状砂岩、海绿石石英砂岩夹页岩、粉砂岩;中部王家坦子页岩段为黄绿色、紫色页岩夹薄层泥灰岩;上部干岛子灰岩段为粉晶灰岩、细晶灰岩及纹层状灰岩夹黄绿色页岩、钙质页岩;下部与崔家屯组为整合接触,上部与寒武系下统葛屯组为平行不整合接触.

1.2 沿革

俞建章等 1964 年对兴民村组顶、底界线做了修订,将顶部的一层灰色中厚层中粒石英砂岩划归上覆地层馒头组;将原“北山组”最顶部一层灰绿色及灰白色中粒含海绿石石英砂岩、铁质胶结的石英砂岩划入兴民村组;辽宁区调队(1985)将震旦系兴民村组,划分为周家崴子砂岩段,王家坦子页岩段和干岛子灰岩段.其中周家崴子砂岩段沉积环境为滨岸碎屑浅滩,波痕作用强烈,为浅水高能区,主要发育波痕、小型斜层理等沉积构造;王家坦子页岩段沉积环境为陆棚边缘盆地,以出现大量陆源碎屑及发育水平层理为特征;干岛子灰岩段为潮坪环境沉积产物,发育有冲刷面构造,上部发育大量鸟眼、泥裂及帐篷构造.

1.3 层型剖面

大连金州大顶山陆海村原兴民村组剖面如图 1 所示,起点坐标:121°41'30"E,39°17'00"N.

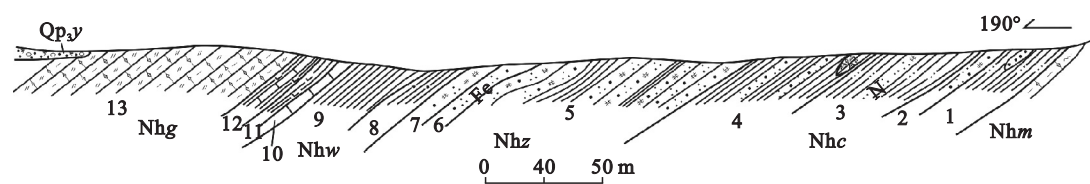


图 1 金州陆海村兴民村组周家崴子砂岩段(现划周家崴子组 Nhzh)、王家坦子页岩段(现划王家坦子组 Nhwh)、干岛子灰岩段(现划干岛子组 Nhgc)剖面
Fig. 1 Profile of sandstone section of Zhoujiawaizi (now defined as Zhoujiawaizi Formation), shale section of Wangjiatanzi (now defined as Wangjiatanzi Formation) and limestone section of Gandaozi (now defined as Gandaozi Formation) of Xingmincun Formation in Luhai village, Jinzhou City

1) 上覆地层:寒武系下统葛屯组,黄绿色页岩夹薄层粉砂质泥岩.

2) 干岛子灰岩段(平行不整合),厚度大于 116.28 m;

序号 13 为深灰色含泥质、白云质泥晶灰岩、发育水平层,95.98 m;

序号 12 为黄灰色钙质页岩夹深灰色纹层状灰岩,11.90 m;

序号 11 为灰色含钙质页岩,发育水平层理,5.60 m;

序号 10 为灰色中厚层纹层状灰岩,2.80 m.

3) 王家坦子页岩段(整合),厚度 39.08 m;

序号 9 为黄绿色页岩夹紫色页岩,见有类水母化石,28.95 m;

序号 8 为灰绿色、紫色砂质页岩,见有类水母化石,13.13 m.

4) 周家崴子砂岩段(整合),厚度 60.09 m;

序号 7 为绿灰色、黄绿色薄层含海绿石细粒石英杂砂岩夹细粒海绿石石英砂岩,8.18 m;

序号 6 为灰白色中厚层铁质胶结石英砂岩,发育对称波痕,5.60 m;

序号 5 为灰绿薄—中厚层海绿石石英砂岩夹页岩,见对称波痕,46.31 m.

5) 崔家屯组(整合),厚度 93.41 m;

序号 4 为黄绿色页岩夹灰色叠层石泥晶灰岩透镜体及灰色微薄层细粒石英砂岩,27.18 m;

序号 3 为黄绿色含砾(底部)粉砂质页岩夹薄—微薄层硅质含海绿石长石石英粉砂岩,24.84 m;

序号 2 为灰色、绿灰色薄层—微薄层细粒海

绿石英砂岩夹灰绿色粉砂质页岩,11.59 m;

序号 1 为灰绿色、黄绿色薄—微薄层粉砂质页岩,岩石中发育水平层理,常见透镜状砂岩脉,27.83 m.

6) 下伏地层:马家屯组(整合),含黏土质条带状泥晶灰岩.

2 新暂定的新元古代南华系上统周家崴子组

2.1 周家崴子组现定义

周家崴子组现指分布于大连地层小区,整合在崔家屯组之上,平行不整合在王家坦子组之下.周家崴子组下中部以土黄色纹层状泥岩、灰黄色纹层状细粒石英砂岩(含冰筏坠石)、灰绿色泥质粉砂岩和灰白色纹层状细粒石英砂岩呈互层状产出;上部岩性为土黄色纹层状含冰晶、雹晶痕泥岩夹灰绿色泥质粉砂质页岩,灰黄色含冰晶痕、雹痕泥质粉砂岩夹纹层状细粒石英砂岩.周家崴子组与上覆王家坦子组呈平行不整合接触;该组与原兴民组周家崴子组岩性段基本对应,属于一套冰期海相沉积的产物.

周家崴子组分布于大连市金州—甘井子一带,出露面积约 24.57 km²,厚度 71.30 ~ 169.98 m.

2.2 周家崴子组标准剖面

大连市甘井子区羊圈子—四道沟新元古界南华系周家崴子组剖面(见图 2,1~12 层为周家崴子组).起点坐标:121°31'54"E,39°02'01"N;终点坐标:121°31'29"E,39°02'37"N.

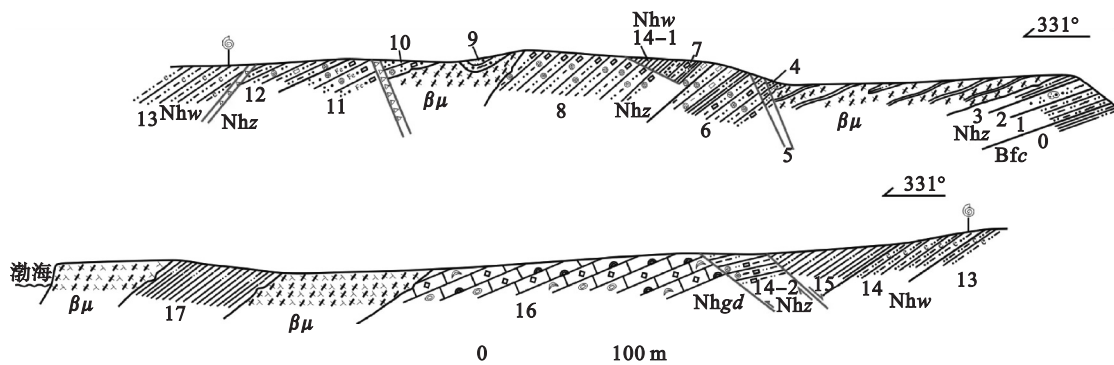


图 2 大连市甘井子区羊圈子—四道岭地区新元古界南华系周家崴子组和王家坦子组实测地质剖面图

Fig. 2 Geological profiles of Zhoujiawazi Formation and Wangjiatanzi Formation of the Neoproterozoic Nanhua System in Yangjuanzi-Sidaoling area, Ganjingzi district, Dalian City

1) 上覆地层:新元古界南华系上统王家坦子组,灰绿色粉砂质泥岩,含类水母化石.

2) 新元古界南华系上统周家崴子组(平行不整合或断层),总厚度 170.00 m ;

序号 12 为灰黄色含冰晶痕、雹痕泥质粉砂岩夹纹层状含冰晶痕细粒石英砂岩,22.96 m;

序号 11 为褐黄色含冰晶痕、雹痕粉砂质泥岩夹纹层状含冰晶痕细粒石英砂岩,6.10 m;

序号10为灰绿色含冰晶痕泥岩夹纹层状含冰晶、雹晶痕细粒,13.93 m;

序号9为灰绿色、灰黄色中薄层含冰晶及雹晶痕细粒石英砂岩夹纹层状泥岩,与序号10之间界面被辉绿岩侵蚀,7.72 m;

序号8为灰黄色薄层状含冰晶痕及雹痕泥岩夹泥质细砂岩,与序号9之间界面被辉绿岩侵蚀,32.92 m;

序号7为土黄色纹层状含冰晶痕及雹痕泥岩夹灰绿色泥质粉砂质页岩(断层),15.66 m;

序号6为灰黄色薄层状含冰晶痕及雹痕泥质粉砂岩夹灰绿色泥质粉砂质页岩,18.89 m;

序号5为灰绿色泥质粉砂岩与灰白色纹层状细粒石英砂岩互层(断层),8.60 m;

序号4为灰绿色薄层含冰晶痕及雹痕泥质粉砂岩夹灰白色纹层状细粒石英砂岩(断层),9.60 m;

序号3为灰绿色粉砂质页岩夹纹层状细粒石英砂岩,与序号4之间界面被辉绿岩侵蚀,10.70 m;

序号2为灰黄色细纹层状细粒石英砂岩,含冰筏坠石现象,10.02 m;

序号1为土黄色纹层状泥岩,19.00 m.

3) 下伏地层:新元古界南华系中统崔家屯组(整合),黄绿色粉砂质页岩.

2.3 周家崴子组冰期作用特征

周家崴子组岩性组合以泥质岩石和具纹层状细粒石英砂岩夹页岩为主(图3a,3b),在泥质岩石中见有冰晶痕和雹痕冰碛作用遗迹(图3c,3d),在剖面第二层灰黄色细纹层状细粒石英砂岩中见有冰筏坠石现象(图3b),坠石直径4~15 cm不等;总体呈椭圆状,为上宽下窄的倒锥形,岩性为中粒含绢云母长石石英砂岩,与寄主岩性差异较大,两者整合接触,寄主围岩环绕坠石沉积.泥岩及泥质粉砂岩中冰晶痕呈立方体、长方体形态,大小为0.15 cm×0.3 cm(图3d),雹晶痕呈圆形和次圆形,大小为0.2~0.4 cm.周家崴子组为辽宁地区新元古代南华纪第三次海相冰期作用的产物,与南方南华纪上统南沱冰期相当^[11].

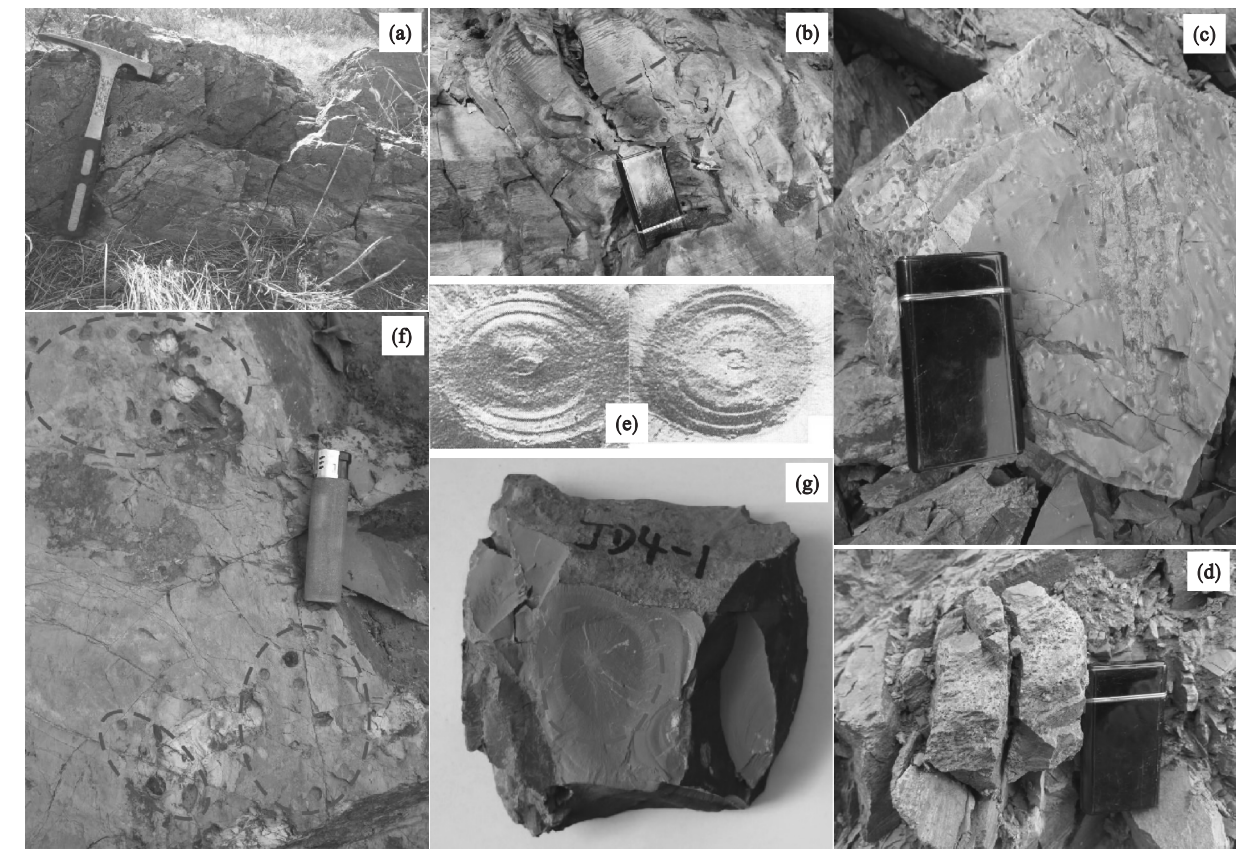


图3 大连市羊圈子地区南华系周家崴子组

Fig.3 Zhoujiawaizi Formation of Nanhua System in Yangjuanzi area, Dalian City

(a)—细粒石英砂岩呈纹层状构造(周家崴子组);(b)—冰筏坠石(周家崴子组);(c)(d)—冰晶痕、雹痕(周家崴子组);(e)(f)(g)—灰绿色泥质钙质页岩中产类水母化石(王家坦子组).

3 新暂定的新元古界南华系上统王家坦子组

3.1 王家坦子组现定义

王家坦子组现指辽东地层分区,太子河—大连地层小区,平行不整合在周家崴子组之上,整合在干岛子组之下,是由黄绿色、灰绿色、紫色页岩夹砂质页岩组成的岩石地层,含丰富的类水母化石.该组与原兴民组王家坦子岩性段基本对应,为辽宁地区新元古代南华纪第三次冰期后海相沉积的产物.

分布于大连市金州—甘井子一带,面积 6.57 km²,厚度 39.08 ~ 95.23 m,主要岩性以灰绿色、紫色粉砂质页岩为主,见有多层含类水母化石.

3.2 王家坦子组标准剖面

大连市金州羊圈子—四道岭地区王家坦子组剖面(见图 2,13 ~ 15 层为王家坦子组).

1) 上覆地层:新元古界南华系上统干岛子组,灰紫色中厚层叠层石灰岩.

2) 南华系上统王家坦子组(整合),总厚度 95.23 m;

序号 15 为灰绿色粉砂质页岩,18.59 m;

序号 14 为灰褐色粉砂质泥岩,产类水母化石,20.08 m;

序号 13 为灰绿色粉砂质泥岩,产类水母化石,56.56 m.

3) 下伏地层:南华系上统周家崴子组(平行不整合),灰黄色含冰晶痕及雹晶痕泥质粉砂岩夹纹层状细粒石英砂岩.

3.3 王家坦子组岩石及生物特征

王家坦子组以粉砂质泥岩和灰绿色粉砂质页岩为主,含丰富的类水母化石,说明当时海水温度较高,有利于生物繁殖.洪作民等在文献[12]中共鉴定有 3 属 6 种类水母化石,其亲缘关系未确定,并认为与国外埃迪卡拉动物群水母化石相比,其躯体结构构造有显著不同,似乎与软壳水母目(chondrophora)有较密切亲缘关系,是一类特征明显、地方性色彩很强的棘丝细胞类类水母动物(图 3e,3f,3g);王敏成^[13]及辽宁省地质勘查院在新一轮辽宁省区域地质志中,对该组中的水母化石进行了研究,将其归入腔肠动物门水螅纲,埃库里水母科,鉴定出 4 属,2 个为新属,8 个种,其中 7 个为新种.

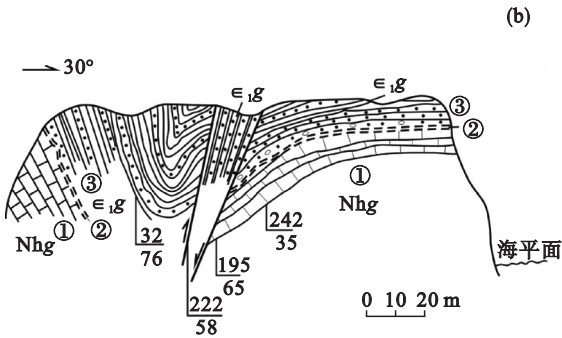
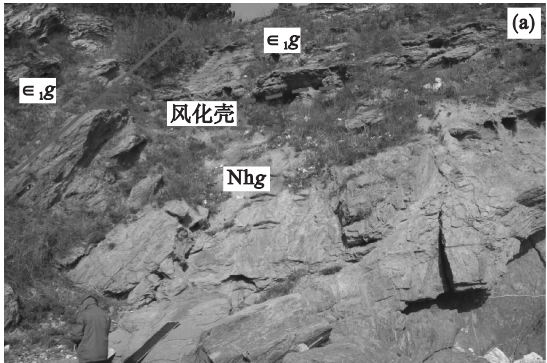
作者对产自王家坦子组中水母化石与国外埃迪卡拉系(震旦系)中水母生物化石进行对比研究认为,本组中水母化石纹饰结构简单,个体极小,与国外埃迪卡拉生物群中的水母化石之间存在较大差异;作者赞成将王家坦子组中的水母化石称之为类水母化石^[14],其形成时代要早于埃迪卡拉系中的水母化石,相当于成冰纪晚期形成的生物组合.

作者对产自王家坦子组中水母化石与国外埃迪卡拉系(震旦系)中水母生物化石进行对比研究认为,本组中水母化石纹饰结构简单,个体极小,与国外埃迪卡拉生物群中的水母化石之间存在较大差异;作者赞成将王家坦子组中的水母化石称之为类水母化石^[14],其形成时代要早于埃迪卡拉系中的水母化石,相当于成冰纪晚期形成的生物组合.

4 新暂定的新元古界南华系上统干岛子组

4.1 干岛子组现定义

干岛子组现指辽东地层分区,太子河—大连地层小区,整合覆盖在王家坦子组之上,与上覆寒武系葛屯组为平行不整合接触(大连金石滩地区,见图 4),是由灰紫色叠层石白云质泥晶灰岩、深灰色含泥质、白云质泥晶灰岩夹钙质页岩组成的岩石地层.该组与原兴民村组干岛子岩性段基本对应,为一套海相沉积产物.



①—南华系干岛子组深灰色细晶灰岩;②—古风化壳(厚 1 ~ 2m);③—寒武系葛屯组黄褐色粉砂岩夹页岩.

图 4 大连市金石滩南华系干岛子组与寒武系葛屯组呈平行不整合接触关系

Fig. 4 Parallel unconformities between the Gandaozi Formation of the Neoproterozoic Nanhua System and the Getun Formation of Cambrian in Jinshitan area, Dalian City

(a)—金石滩南华系干岛子组与寒武系葛屯组野外接触特征照片;(b)—金石滩干岛子组与葛屯组接触关系素面图.

干岛子组分布地点同王家坦子组,面积约 8.79 km²,厚度 64.10 ~ 296.4 m,主要由灰色中厚层灰岩、灰色钙质页岩、白云质泥晶灰岩、灰紫色中厚层叠层石灰岩等组成。

4.2 干岛子组标准剖面

大连市甘井子区羊圈沟—四道沟干岛子组剖面(见图 2,16 ~ 17 层为干岛子组)。地层层序如下:

- 1) 上覆地层:寒武系下统葛屯组,灰白色中薄层细粒石英砂岩夹灰黄色粉砂质页岩。
- 2) 新元古界南华系上统干岛子组(平行不整合),总厚度大于 105.14 m。
序号 17 为灰绿色泥质粉砂质页岩,52.51 m;
序号 16 为灰紫色叠层石泥晶灰岩与灰绿色藻礁粉晶灰岩互层,52.63 m。
- 3) 下伏地层:新元古界南华系上统王家坦子组(整合),灰绿色粉砂质页岩。

4.3 原兴民村组标准剖面

大连金州大顶山陆海村原兴民村组剖面(见图 1),起点坐标:121°41'30"E,39°17'00"N。

- 1) 未见顶
南华系上统干岛子组(原干岛子灰岩段)总厚度大于 116.28 m;
序号 13 为深灰色含泥质、白云质泥晶灰岩,发育水平层理,95.98 m;
序号 12 为灰黄色钙质页岩夹深灰色层纹状灰岩,11.90 m;
序号 11 为灰色含钙质页岩,发育水平层理,5.6 m;
序号 10 为灰色中厚层层纹灰岩,2.80 m。
- 2) 下伏地层:南华系上统王家坦子组(整合),黄绿色页岩夹紫色页岩。

4.4 干岛子组沉积特征

干岛子组以灰色中厚层层纹状灰岩、灰紫色叠层石泥晶灰岩、灰黄色钙质页岩为主;岩石中出现灰紫色色调和含有叠层石及藻礁生物组合,说明此时海水温度偏高,气候炎热,生物大量繁殖。该组与上覆寒武系下统葛屯组呈平行不整合接触(见图 4),于下伏南华系上统王家坦子组呈整合接触,同属新元古代南华纪第三次冰期后海相沉积的产物。

在王家坦子组灰黄色钙质页岩中采集测年样品,由中国地质科学院地质所于 1986 年测试完成,获得 Rb - Sr 等时线年龄值为 (677 ± 53) Ma 和 (650 ± 20) Ma^[12]。虽然当时测试方法精度不高,但从年龄数据上反映出重要的信息,与《中国

地层表》(2015 年)划分的中国南华纪上限年龄 (635 Ma)接近一致。因此,通过王家坦子组类水母化石组合及干岛子组岩性组合和同位素测年数据的分析,辽南地区缺失震旦纪岩石地层单位的沉积,目前把原划震旦系厘定为南华系是可行的。

5 结 论

- 1) 首次在周家崴子组中发现冰筏坠石及冰晶痕、雹晶痕等冰碛作用遗迹,并确定周家崴子期为辽宁地区新元古代南华纪第三次冰碛事件,与南方南华纪上统南沱冰期相当。
- 2) 王家坦子组中含有丰富的类水母化石,通过分析前人的鉴定结果认为,该类水母化石与埃迪卡拉动物群中的水母化石存在较大的差异,水母纹饰简单,个体较小,其形成时代推定为新元古代南华纪比较合适,属南华纪第三次冰期后海相沉积产物。
- 3) 干岛子组出现灰紫色色调岩性组合,并含有大量的叠层石生物化石,说明此时海洋温度偏高,气候炎热,有利于各类生物的生成和发展,同属南华纪第三次冰期后海相沉积产物。
- 4) 依据岩性组合、生物化石特征,并结合同位素测年资料,认为辽南地区不存在震旦纪岩石地层单位沉积组合。从新元古界南华系殷屯组—干岛子组(15 个组级单位)反映出是一个从陆相沉积—海相沉积的演化过程,虽然中间有过几次小的沉积间断,可以认为总体是一个连续沉积过程。

参考文献:

[1] Wang J. New advances in the study of “the Nanhuaan System”—with particular reference to the stratigraphic division and correlation of the Nanhuaan System South China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(6): 491 - 495.

[2] 卢定彪,肖加飞,林树基,等. 黔湘桂交界地区南华系划分——基于连续完整的贵州从江县黎家坡南华系剖面 [J]. *地质通报*, 2019, 38(2/3): 200 - 207.
(Lu Ding-biao, Xiao Jia-fei, Lin Shu-ji, et al. Subdivision of the Nanhuaan System in Guizhou-Hu`nan-Guangxi border area based on the well-reserved Nanhuaan System section in Lijiapo, Congjiang County, Guizhou Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(2/3): 200 - 207.)

[3] Zhu M Y, Zhang J M, Yang A H. Intergrated Ediacaran (Sinian) chronstratigraphy of South China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, 254(1/2): 7 - 61.

[4] Su J B, Zhang Y Q, Dong S W, et al. Intracontinental evolution of western Jiangnan orogen in Neoproterozoic: insight from granite gravel of Fanjingshan, South China [J].

- Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2013, 87 (supl): 315.
- [5] Su J B, Zhang Y Q, Dong S W, et al. Geochronology and Hf isotopes of granite gravel from Fanjingshan, South China: implication for the precambrian tectonic evolution of western Jiangnan orogen [J]. *Journal of Earth Science*, 2014, 25 (4): 619 – 629.
- [6] Wang H J, Yuan L, Wang L, et al. Very low-grade metamorphism of clastic rocks from the Meso-Neoproterozoic and the Paleozoic along the profile Yueyang-Linxiang in Northeastern Hu'nan Province and its geological implications [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2016, 90 (5): 1743 – 1753.
- [7] Zhang S B, Zheng Y F. Zircon U-Pb ages and Lu-Hf isotopes for negative to low $\delta^{18}\text{O}$ magmatic rocks of Neoproterozoic Age in South China [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2013, 87 (supl): 286 – 288.
- [8] 吴昊. 辽宁本溪新元古界上部沉积学特征及构造属性 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2018.
(Wu Hao. Sedimentological characteristics and tectonic attributes of the upper part of the Neoproterozoic in Benxi, Liaoning Province [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2018.)
- [9] 卢崇海, 田德欣, 李彪, 等. 辽北地区新元古代原殷屯组岩石地层单位的重新划分及其地质意义 [J]. 世界地质, 2018, 37 (4): 1085 – 1091.
(Lu Chong-hai, Tian De-xin, Li-biao, et al. Re-division of lithostratigraphic unit in Neoproterozoic Yintun Formation and its geological significance in northern Liaoning [J]. *Global Geology*, 2018, 37 (4): 1085 – 1091.)
- [10] 田德欣, 卢崇海, 蔡新明, 等. 辽南新元古代桥头组海相冰碛沉积事件 [J]. 世界地质, 2018, 37 (4): 1092 – 1100.
(Tian De-xin, Lu Chong-hai, Cai Xin-ming, et al. Sedimentary event of marine moraine of Neoproterozoic Qiaotou Formation in southern Liaoning [J]. *Global Geology*, 2018, 37 (4): 1092 – 1100.)
- [11] 牛绍武, 辛后田, 王树庆. 中 – 朝地台南华系的内涵、厘定及其地质意义 [J]. 地质调查与研究, 2017, 40 (4): 241 – 252, 262.
(Niu Shao-wu, Xin Hou-tian, Wang Shu-qing. Collation on the Nanhua System in China-Korea platform and geological significance [J]. *Geological Survey and Research*, 2017, 40 (4): 241 – 252, 262.)
- [12] 洪作民, 黄镇福, 刘效良. 辽东半岛南部上前寒武系地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1991: 82 – 99.
(Hong Zuo-min, Huang Zhen-fu, Liu Xiao-liang. Upper Precambrian geology in southern Liaoning peninsula [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 82 – 99.)
- [13] 王敏成. 辽宁大连震旦纪水母 [J]. 长春地质学院学报, 1991, 21 (3): 259 – 268.
(Wang Min-cheng. Sinian System jellyfish in Dalian, Liaoning Province [J]. *Journal of Changchun University of Earth Science*, 1991, 21 (3): 259 – 268.)
- [14] 欧志吉, 孟凡巍. 辽南前寒武系兴民村组“类水母”化石新认识 [J]. 微古生物学报, 2013 (1): 99 – 106.
(Ou Zhi-ji, Meng Fan-wei. Precambrian ‘Medusoid’ fossils from the Xingmincun Formation of southern Liaoning Province: a new insight [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2013 (1): 99 – 106.)