

中-朝地台南华系的内涵、厘定及其地质意义

牛绍武,辛后田,王树庆

(中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170)

摘要:根据中-朝地台西缘、南缘以及东缘分布的成冰纪冰碛层与间冰期的沉积特征,并与劳伦古陆西缘成冰系拉皮坦群(850/750 Ma或720 Ma)至希波贝德组对比,将中-朝地台上的成冰系与相当于斯图特冰期的拉皮坦群对比,进而与我国南方南华系莲沱组(漾水河组)/长安组-古城组-大塘坡组(富禄组)对比而置于南华系中下部,其底界年龄在850/750 Ma左右,或720 Ma,其上被早寒武世地层假整合覆盖,可能缺失南沱期及震旦纪沉积。另外,通过中-朝地台上成冰系的地层结构、区域对比以及沉积类型等,笔者从岩石地层、层序地层、磁性地层、冰碛层特点以及气候-地层序列等多方面与我国南方南华系中下部进行对比,重新厘定并确认了中-朝地台上的南华系,否定了中-朝地台上的冰碛层归属埃迪卡拉纪/震旦纪的时代意见,进而为重新认识中-朝地台南华系地层系统开辟了新的研究思路。

关键词:中-朝地台;南华系;厘定

中图分类号: P534;P52

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2017)04-0241-13

我国南华系相当于国际地层表中的成冰系(Cryogenian, GSSA),目前,国际成冰系的候选层型剖面还没有最终确定,仍然处于深入研究中,除我国华南、塔里木、华北三大板块外,近年来对冈瓦纳大陆主要克拉通的澳大利亚、纳米比亚、刚果、巴西、阿曼、冈瓦纳大陆周边的阿瓦隆尼亚大陆、俄罗斯西北白海地区、俄罗斯东部西伯利亚、劳伦大陆的加拿大麦肯齐山脉、美国西部死谷地区以及挪威斯瓦尔巴特群岛等典型沉积序列的地层层序进行了深入研究^[1]。我国南华系在扬子地台-江南古陆、华夏古陆、华北地台、塔里木地块、柴达木地块,以及祁连山与天山-兴蒙褶皱带都有分布,有大陆冰盖型的陆相堆积,也有滨海-冰伐型的近岸海相沉积。按现今地理位置,前人以秦岭为界,将我国南华系分为南北两大区:北方区包括华北地台南缘陕甘宁豫皖、祁连山北坡至北山地区,以及新疆塔里木盆地与青海柴达木盆地等;南方区包括扬子地台-江南古陆的滇黔湘桂川鄂赣浙皖以及华夏陆块等地^[2]。

根据沉积类型,我国南华系可大体分为“地台型”、“地槽型”与“过渡型”沉积。前者地层厚度较小,火山喷发较弱,如豫西型、峡东型^[3];后者地层厚度巨大,并伴有火山喷发,如库鲁克塔格型^[4]和武当型(耀

岭河群),以及“过渡型”的斜坡相沉积并伴有较弱的火山喷发,如湘黔桂型^[5]。我国南华系有较好的地层条件有望成为成冰系的候选层型剖面。

目前,国际上将成冰系的年龄定为850~635 Ma,我国学者定为780~635 Ma^[6]。近年来又提出720~635 Ma^[1]。成冰纪之下为拉伸纪,时代为1000~850 Ma或1000~780 Ma(GSSA)。考虑到国际上最早一期冰碛层(Kaigas)的年代为770~735 Ma,我国学者所定成冰纪780~635 Ma还是较为合适的^[6]。

关于中-朝地台南缘长达数百千米的冰碛层的时代划分一直多有分歧,其主流意见是将中-朝地台上的冰碛层置于震旦系(埃迪卡拉系),主要依据三方面的研究成果:

(1)年代学依据:根据河南三教堂组海绿石钾氩法平均年龄为 1062 ± 50 Ma。罗圈组下伏董家组四个海绿石钾氩平均年龄 650 ± 33 Ma,其上的罗圈组应小于 650 ± 33 Ma。在哈萨克斯坦的文德系拜克努尔组冰碛层位于含小壳化石的寒武系最底部之下、不整合于 $660 \sim 650 \pm 60$ Ma(a-Pb法)花岗岩之上,故拜克努尔组晚于该年龄。另外,前人对凤台组做过碳酸盐Pb-Pb法侧年,获 608 ± 34 Ma年龄。综合这些年龄,或是钾氩法,或是铅-铅法,或是铷-锶法,

收稿日期:2017-07-17

资助项目:全国地层委员会项目“中国主要断代地层建阶研究”(200113900076);地调项目晋冀成矿区地质矿产调查(基[2011]矿评01-08-09)

作者简介:牛绍武(1938-),男,研究员,长期从事陆相中生代与中-新元古代地层古生物研究,E-mail:402416024@qq.com。

或是a-Pb法,这在当时将它们定为震旦纪或寒武纪,还是可以理解的。但近年来,上述这些方法已存在问题,特别是下马岭组单颗粒锆石SHRIMP法铀-铅测年取得突破性进展后,以上年龄数据就值得重新考虑了,前人^[9]对华北地台南缘长达数百千米的冰碛层的时代划分与对比似应当重新进行厘定。

(2)生物地层学依据:上世纪二、三十年代,日本人将辽东半岛金县-旅大地区与复县地区“震旦系”按岩性对比相拼接而统一划分后(青地已治,1928;松下进,1935;斋藤林次,1938),加之上世纪五六十年代俞建章、姜春朝等学者的坚持^[6],为华北地台“青白口系-震旦系”的建立埋下了伏笔。1979年,邢裕盛等在辽南复县地区五行山群长岭子组顶部(=高家屯组)采到水母类化石^[7],根据当时的研究程度和认识水平,就应当是埃迪卡拉动物群,在属于青白口系的永宁群至细河群之上的五行山群及其以上地层就顺理成章地划归震旦系^[8],从而在华北地台上实现了青白口系与震旦系的直接对比与衔接。尽管这些水母类化石受到国外学者的质疑,以及这一地层柱中为什么没有世界范围内广泛分布的成冰系冰碛层的存在,更没有考虑辽东半岛金县地区与复县地区以及苏皖北部淮南地区与淮北地区拼接起来的“震旦系”综合地层柱是否正确,按着水母类化石的时代意见把这一综合地层柱划为“青白口系-震旦系”,似乎解决了华北地台蓟县中-上元古界标准剖面与扬子地台三峡震旦系标准剖面的对比与衔接的重大地层问题,这在当时的研究程度与认识水平也是可以理解的。但实践证明:在前寒武纪地层中不是一见到软躯体后生动物化石就是埃迪卡拉动物群^[9]!

(3)磁性地层依据:前人发现辽南细河群顶部桥头组石英岩有磁极倒转现象,根据其上的水母类化石,将温暖气候环境下并含虫迹化石的正常海相桥头组碎屑岩与扬子地台也具磁极倒转寒冷气候条件下的古城组冰碛层进行了对比,似乎以此来填补青白口系与震旦系之间所缺失的冰碛层的部分(第四届全国地层会议又将厚度仅261.1 m桥头组碎屑岩扩大为整个南华系,2013)。众所周知,淮南地区的淮南群寿县组也具负向磁极倒转,说明这一磁化带与桥头组具有等时性^[10-11]。按上述观点,寿县组也可与古城组冰碛层对比。然而,寿县组之上连续出露九里桥组-四顶山组,并被凤台组冰碛层假整合覆盖。凤台组冰碛层也发生磁极倒转^[11],具磁极倒转的

凤台组冰碛层与也具磁极倒转的古城组冰碛层对比不是更合理吗?中-朝地台南缘长达数百千米的冰碛层凤台组/罗圈组/正目关组/飞浪洞组不就应当是南华系吗!前人将华北地台上温暖气候条件下正常海相碎屑岩的桥头组(=寿县组)与扬子地台寒冷气候条件下的古城组对比,而置同样寒冷气候条件下也具磁极倒转的凤台组冰碛层于不顾,不能不说是华北地台与扬子地台南华系对比研究中的一大失误!

笔者针对这些问题提出新的划分方案:将正目关组下段冰碛层-正目关组上段/罗圈组冰碛层-东坡组/凤台组冰碛层-五岗集组/飞浪洞组冰碛层-陵里组与扬子地台古城组至大塘坡组对比,重新厘定了华北地台上冰碛层的划分与对比,开辟了华北地台与扬子地台南华系对比研究的新思路。

1 中-朝地台上的南华系

中-朝地台上的南华系主要分布于西缘、南缘与东缘,属于典型的“豫西型”沉积类型,即下部沉积岩、中部冰碛层和上部间冰期沉积,形成三层结构。局部缺失下部沉积岩,形成两层结构。

早在1958年,王曰伦首次在豫西地区下寒武统以下地层找到过冰川漂砾,肯定了冰碛层的存在^[2]。据前人资料^[3],杨志坚(1958)指出在东秦岭北坡河南省临汝至鲁山一带可能存在与南沱组冰碛层相当的层位;中国科学院地质研究所磷矿队(1959)进一步证实属冰川成因;刘长安和林蔚兴(1960)将这套冰期沉积命名为罗圈组,标准地点在河南省临汝县莽川乡罗圈村(1960)。刘鸿允先生等^[12]首次提出华北地台上的罗圈组可与扬子地台南沱组冰碛层进行对比,开创了华北地台南缘东西长达数百千米的冰碛层与扬子地台典型的震旦系冰碛层进行对比研究之先河。

华北地台南缘的罗圈组向西经河南省与陕西省交界的小秦岭地区,然后折向北西至陕甘交界的陇县景福山北坡^[13-15];向东至豫皖交界的确山-霍邱-凤台地区都有分布,后者早年称为凤台砾岩^[16-17]。在华北地台西缘宁夏银川贺兰山中段和大战场也有冰碛层,称正目观组^[2]。无论是罗圈组,还是正目观组和凤台组-五岗集组,都是下部为冰碛层,上部为泥质砂页岩,含海绿石、褐铁矿结核与磷结核,出现成铁-成磷事件,似为一套正常海相间冰期沉积,其上都被下寒武统沧浪铺期含小壳和三叶虫化石的磷砾岩和

灰岩假整合覆盖,沿华北地台南缘东西延长达数百千米。在华北地台北缘的燕山地区以及辽东至吉林东部,都未见该套冰成沉积。但在中朝地台东缘的朝鲜平壤以南(平南盆地)瑞兴-凤山一带也有一套冰成地层驹蜆群:下部飞浪洞组冰碛砾岩,夹含锰白云岩;上部陵里组页岩千枚岩等,出现典型的成锰事件。飞浪洞组冰碛砾岩不整合在祥原系之上,其上陵里组被下寒武统假整合^[18],翟明国院士认为与我国华北地台南缘的罗圈组极为类似(翟明国,第四届全国地层会议,2013)。现分区讨论如下(图1)。

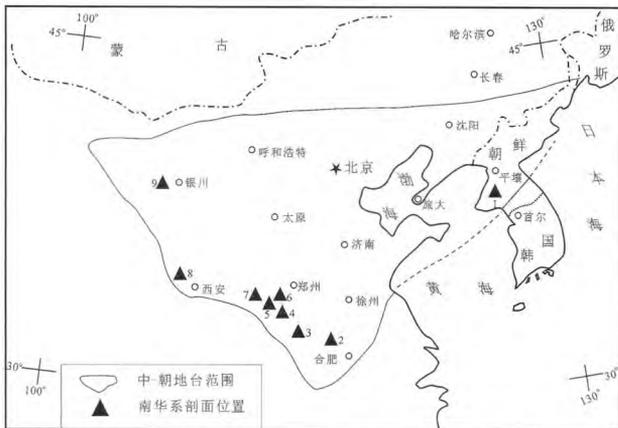


图1 中-朝地台南华系主要剖面分布图
(地质底图据中华人民共和国地质图集,1972)

Fig.1 Distribution map of major profile of Nanhua System in China-Korea platform

1. 朝鲜平南盆地; 2. 安徽淮南凤台、寿县、霍邱地区; 3. 河南确山; 4. 河南鲁山; 5. 河南汝阳; 6. 河南嵩山; 7. 陕西洛南; 8. 陕西陇县; 9. 宁夏贺兰山中段

1.1 华北地台东南缘的南华系

这里的南华系分布于安徽淮南地区的风台县、寿县和淮南市,以及霍邱地区。早年划为下寒武统,后来一直划为“震旦系上统”即现今的震旦系。笔者根据区域对比和宏观藻类化石以及相当层位的同位素年龄,将其划为南华系^[11]。前人系统测制了风台县烟灯山、猴家山、寿县凤凰山剖面,霍邱县马店东王八盖山、马店煤山和雨台山等剖面,自下而上分为围杆组、凤台组和五岗集组^[10-11]。1987年8月,笔者系统观察了风台县烟灯山剖面。现综合淮南地区风台县烟灯山水泥厂剖面与猴家山剖面,以及霍邱地区煤山剖面与雨台山剖面,并以风台县烟灯山水泥厂剖面为代表,综合霍邱县马店东王八盖山和马店煤山,南华系层序自上而下为^[11]:

下寒武统:

猴家山组:底部为灰黑色磷砾岩或砾状砂质磷块岩,生物碎屑磷砾岩。砾石有“凤台砾岩”的砾石,含小壳化石,厚0.5~1.2 m。

————— 假整合 —————

南华系:

五岗集组:

13. 上部浅灰色,灰绿色页岩,夹细粒石英砂岩,含磷结核,海绿石与铁质鲕粒;下部紫灰色,暗紫色粉砂质页岩,含磷结核。底部具铁质风化壳。该组厚5~8 m,最大厚度大于99.1 m。

————— 假整合 —————

凤台组:(79.06 m)

12. 淡红色白云质钙质冰水纹泥层。细纹层理发育,上部见“歪曲”揉皱;下部含稀疏砾石 1.12 m

11. 淡黄淡红色白云质钙质冰碛砾岩。砾石次棱角状,大小混杂,形态各异,排列无序,无分选。砾径0.2~5 cm为多,大于8 cm少见。砾石成分有白云岩,钙质白云岩,细晶灰岩,硅质条带灰岩,长石石英砂岩,燧石等。杂基支撑结构,基质为白云岩,灰岩岩屑及粉尘,间含石英砂泥和褐铁矿。小角砾呈“多向混乱”状态分散于基质中 4.44 m

10. 淡红色白云质钙质角砾岩,含砾率30% 33.4 m

9. 淡红色与黄色厚层白云质冰碛砾岩,含砾率增高,出现27~28 cm大砾石 4 m

8. 淡黄色含砾白云质泥质冰水纹泥层,砾石稀疏,与纹泥层间具“下压上绕”现象 5.6 m

7. 淡黄色白云质钙质冰碛砾岩 29.4 m

6. 淡黄色含砾白云质泥质冰水纹泥层 0.3 m

5. 淡红色白云质钙质冰碛砾岩 0.8 m

————— 假整合 —————

围杆组:(8.24 m)

4. 淡黄色粉砂质泥岩,含小砾石与黄铁矿 6.5 m

3. 灰黄色间黑色页岩,含铁质结核 1.2 m

2. 灰黄色泥钙质角砾岩,角砾1~2 cm,以叠层石白云岩与灰岩为主,含砾率10%~25%,接触式-基底式胶结 0.5 m

1. 铁质风化壳 0.04 m

————— 假整合 —————

淮南群:四顶山组:灰白色厚层灰质白云岩,含叠层石

1.2 华北地台南缘东秦岭北坡的南华系

主要分布于河南省宜阳、偃师、临汝、登封、鲁山、确山等地。其中,在鲁山县下汤乡九女洞剖面出露较好,岩性自上而下为^[14-15]:

下寒武统:

辛集组:白云岩,砂砾岩,产三叶虫 *Huaspiis* sp.

————— 假整合 —————

南华系:

东坡组:(17.5 m)

20. 紫红色,灰绿色粉砂质页岩,夹页岩,粉砂岩与钙质砂岩,含海绿石 85 m

- 19. 灰绿色含砾页岩与泥质砂砾岩互层,底部为褐黄色钙质石英砂岩,含微古植物 9 m
- 罗圈组:(180.8 m)
- 18. 淡紫红色夹黄绿色冰水泥砂质砾岩 10 m
- 17. 灰绿色泥砂质冰碛砾岩 63 m
- 16. 褐黄色层状冰水含砾砂泥岩 19 m
- 15. 灰绿色泥砂质冰碛砾岩 19 m
- 14. 褐黄色层状冰水含砾砂泥岩,含微古植物 2 m
- 13. 灰绿色泥砂质冰碛砾岩,碳质页岩砾石含微古植物
- 12. 灰黄色厚层-中-厚层冰水含砾砂泥岩,含微古植物 26 m
- 11. 灰色泥砂质冰碛砾岩 6 m
- 10. 上部紫红色灰绿色含砾粉砂质页岩与泥质页岩;下部黄,浅灰色含石英粉砂质页岩夹砂岩透镜体,含微古植物 11 m
- 9. 冰碛-冰水含砾粉砂质泥砂岩,层理清楚 3 m
- 8. 淡灰色泥砂质冰碛砾岩,层理清楚,含微古植物,可超覆在蓟县系北大尖组石英砂岩之上 2.8 m

————— 假整合 —————

董家组:(133 m)

- 7. 黄色淡红色泥质白云质灰岩,含微古植物 26 m
- 6. 灰白色灰绿色粉红色黄色石英砂岩夹粉砂岩、页岩和海绿石砂岩 39 m
- 5. 淡黄色长石石英砂岩 66 m
- 4. 灰白色灰黑色条带状燧石岩,底部为灰白色砂砾岩 2 m

————— 假整合 —————

黄连垛组:(133 m)

- 3. 灰白色燧石岩,含微古植物 40 m
- 2. 淡灰色硅质条带白云岩 63 m
- 1. 灰白色厚层硅质条带白云岩,白云岩与厚层砂砾岩,石英砂岩互层,底部为灰白色砂砾岩,含下伏白云岩砾石 30 m

————— 假整合 —————

洛峪群洛峪口组:白云岩,含微古植物和叠层石 *Conolella f.*, *Jacutophyton f.*

1.3 华北地台南缘小秦岭的南华系

主要分布于豫陕交界的小秦岭一带,向西经渭河盆地至岐山以北,然后向北至陕甘交界的陇县景府山北坡。前人分为罗圈组下段和上段,现以陕西洛南县上张湾剖面为代表,由上而下为^[13]:

上覆地层下寒武统:

辛集组:角砾状磷块岩,砂质灰岩及灰岩,含三叶虫及小壳化石

————— 假整合 —————

南华系:

罗圈组上段(=东坡组):(56.5 m)

- 8. 灰色灰绿色粉砂质粘土板岩,夹浅红色黄色长石石英砂岩 18 m
- 7. 灰黄色薄-中层细粒石英砂岩,夹粉砂质粘土

板岩 5.7 m

6. 灰黄色薄层条带状石英砂岩,夹灰绿色含粉砂质粘土板岩 10 m

5. 灰色含粉砂质粘土板岩,夹少量薄层石英砂岩 22.4 m

4. 灰色灰黄色粗粒岩屑砂岩 0.4 m

罗圈组下段(=狭义的罗圈组):(34.5 m)

3. 灰色深灰色层纹状泥砾岩,顶部夹含砾板岩。砾石大小混杂,排列无序 20.8 m

2. 浅红色紫红色层纹状泥砾岩,砾石大小混杂,排列无序,分选磨圆度差 8.7 m

1. 灰色块状砂砾岩,无层次,砾石大小悬殊,排列杂乱,分选磨圆度极差 5 m

~~~~~角度不整合~~~~~

冯家湾组:燧石条带白云岩

前人采自该组上段的粘土板岩 Rb-Sr 全岩等时限年龄为 722 Ma<sup>[13]</sup>,与湖南花垣民乐大塘坡组泥质岩 Rb-Sr 全岩等时限年龄 728± 27 Ma 大体可以对比。按照当时的研究程度,将罗圈组与扬子地台南沱组冰碛层(739 Ma)对比。

### 1.4 华北地台西缘宁夏贺兰山地区的南华系

根据前人资料,华北地台西缘的南华系仅分布于宁夏贺兰山中段,以苏峪口剖面为代表,其层序自上而下为<sup>[2]</sup>:

上覆地层:

下寒武统苏峪口组:下部含磷砂岩砾状含磷块岩;上部白云岩夹粉砂岩,含三叶虫

————— 假整合 —————

南华系:

正目观组上段:(85.5 m)

4. 灰色灰绿色粉砂质板岩,含遗迹化石 47.7 m

3. 灰黑色-灰色粉砂质板岩 32.8 m

2. 含砾板岩 5 m

正目观组下段:

1. 杂色泥钙质胶结的冰碛泥砾岩 65.7 m

————— 假整合 —————

贺兰山群王全口组:灰色含燧石条带白云岩,白云质灰岩,含叠层石

### 1.5 中-朝地台东缘的南华系

主要见于朝鲜平壤以南的平南盆地瑞兴-风山一带,称为驹岬群<sup>[14]</sup>,其层序如下:

上覆地层:

下寒武统中和组:深灰色厚层灰岩

————— 假整合 —————

南华系:驹岬群

陵里组:上部硅质和炭质页岩;下部硅质千枚岩,局部夹透镜状磷块岩 50 m

飞浪洞组:上部暗灰紫灰色绿色千枚岩化杂砾岩,砾质杂砂岩,见巨大漂砾,下部灰色灰绿色冰碛砾岩,含砾千枚岩。砾石成分多样,有灰岩,钙质片岩,角闪岩等。砾径通常

0.5 ~ 30 cm,分选性差,混杂堆积。砾岩层之间和下部夹多层泥岩,其中具极薄的层纹,应为冰川纹泥。 200 ~ 400 m

~~~~~角度不整合~~~~~

祥原系:灭岳山群:白云岩与灰岩

前人报道^[19]朝鲜瑞兴地区林云里的飞浪洞组上部暗灰色紫灰色千枚岩化杂砾岩、砾质杂砂岩,见巨大漂砾,厚约100 m。中部黄灰色板岩,夹多层含泥质含锰白云岩(MnO含量0.145%),厚8 ~ 10 m。下部青灰色层纹状板岩,含砾板岩,厚2 m。

2 中-朝地台南华系的地层特征

2.1 岩石地层特征

中-朝地台上的南华系总体上由三部分组成:下部以河南临汝县罗圈剖面与鲁山县九女洞剖面黄连垛组至董家组和安徽霍邱地区围杆组为代表。前者岩性底部为灰白色砂砾岩,长石石英砂岩,粉砂岩,页岩,海绿石砂岩和硅质条带白云岩,厚266 m。由于含海绿石,为一套正常海相沉积。围杆组以页岩粉砂质页岩为主,夹含砾粗砂岩透镜体与泥钙质角砾岩,含铁质结核,厚0 ~ 8.24 m。除底部可能为陆相风化壳外,其上也为正常海相沉积,它们与下伏地层为假整合接触。中部为一套冰碛层正目观组/罗圈组/凤台组/飞浪洞组,一般厚度都在百米上下,飞浪洞组目测可达200 ~ 400 m,局部可见锰矿层。上部以一套砂页岩为主,含铁质结核、磷结核、海绿石等,为一套正常海相地层,是一套成铁-成磷-成锰事件的产物。下部碎屑岩、中部冰碛层、上部碎屑岩,中-朝地台上的南华系形成三层结构,有的地区缺失冰碛层以下的地层,则形成二层结构,并从雪球地球时期的寒冷气候开始,逐渐转为温暖气候正常海相碎屑岩的间冰期沉积,形成所谓“豫西型”沉积,与南方扬子地台和江南古陆“峡东型”或“扬子型”的中下部三层结构(莲沱组/谍水河组-长安组/古城组-大塘坡组/富禄组)极为类似,中-朝地台很可能缺失相当于南沱冰期的沉积。

不论是华北地台上的凤台组、罗圈组、正目观组,还是朝鲜平南盆地的飞浪洞组冰碛砾岩,成层性都很差,无分选。砾石成分复杂,除来自下伏地层的白云岩灰岩外,还有片岩、角闪岩、花岗岩、硅质岩、粘土板岩、紫红色页岩、钙质石英砂岩、紫红色含铁细砂岩等。砾石多棱角状,排列无定向。砾石含量不等,10% ~ 30%。砾石表面可见擦痕、磨光面、泥包砾等,砾石形态多样,可有凹面、压坑、压裂等。浮冰坠

石可使纹泥层呈“下切上绕”现象。最大砾径达1 ~ 2 m的漂砾,下伏地层常可见冰溜面,这些都是冰成岩最常见的岩石特征。

凤台组冰碛砾岩的胶结物主要由碳酸盐岩所组成。河南南部确山县乐山和栾川县三道撞以及灵宝县朱阳镇罗圈组普遍由碳酸盐胶结,最高可达50% ~ 60%。但在北部嵩山一带,罗圈组冰碛砾岩主要由含砾泥砂质胶结。陕西小秦岭罗圈组冰碛砾岩均由白云质胶结。宁夏贺兰山正目观组冰碛砾岩由泥钙质胶结。以泥砂质为主的胶结物似近于大陆地区,可能属于大陆冰盖型冰碛岩;以白云质钙质胶结的冰碛岩可能属于近岸海洋冰川-冰伐型冰碛岩。由正目观组,到罗圈组,再到凤台组,可能由大陆冰川到近岸海洋冰川-冰伐型冰成岩,前人将它们划归小秦岭海陆过渡冰川沉积相区,为一套大陆冰川-冰伐海洋沉积^[20]。

冰碛砾岩之上的间冰期沉积岩为紫红灰绿灰至灰黄色等杂色粗粒岩屑砂岩、石英砂岩、粉砂岩、页岩、炭质页岩、粘土岩,含海绿石、磷结核、铁质结核或鲕粒,以及含锰白云岩等,出现成铁-成磷-成锰事件,为一套气候转暖后的正常海相间冰期沉积。

2.2 旋回地层特征

中-朝地台上的南华系下部为正常海相碎屑岩、中部冰碛砾岩、上部为正常海相碎屑岩间冰期沉积,含铁质、磷质结核、锰质白云岩及海绿石,从寒冷气候的大陆冰盖-近海冰伐到温暖气候的间冰期沉积,形成一不完整的沉积旋回。其上都被含小壳和三叶虫化石的下寒武统磷砾岩覆盖;其下多超覆在不同时代的较老地层之上,局部地区下部尚有可能相当于扬子地台莲沱组的地层,如安徽霍邱地区的围杆组与河南鲁山下汤九女洞的黄连垛组-董家组。在冰碛砾岩中,见多层冰水纹泥层,形成次一级的沉积旋回,为大陆冰盖-海洋冰伐交互型沉积^[20]。

2.3 生物地层特征

在东秦岭北坡的黄连垛组、董家组、罗圈组冰碛砾岩与东坡组含微古植物化石;在宁夏贺兰山正目观组上部含遗迹化石与蠕形类*Sabellidites* sp.^[21]。微古植物主要有*Trematosphaeridium*, *Trachysphaeridium*, *Taeniatum*, *Tasmanites*, *Laminarites*, *Leiopso-sphaera*, *Stictosphaeridium*, *Polysphaeroides*, *Leio-fusa*, *Paleomorpha*, *Polyporata*, *Orygmatosphaeridium*, *Lophosphaeridium*, *Polyedrosphaeridium*, *Ty-*

losphaeridium 等^[2]。这些微古植物总体上仍属疑源类,或是海生藻类的孢子,或是原生动动物;海生藻类的孢子也不能判别是原核的蓝藻植物,还是真核的绿藻、红藻或褐藻植物,它们还不是真正的系统分类,在其漫长的地质时期还看不出它们明显演化的阶段性,只能按其组合特征大致推断地层的时代,其时代专属性还有待深入研究。至于在正目观组含蠕形类 *Sabellidites* sp. 化石,它不是震旦纪-古生代的特有化石,在辽南高家屯组-丁家沟组和葛屯组、淮南九里桥组和金山寨组都有产出,它们在冰期前就已经出现了^[6,10,11],冰期后以及寒武纪继续存在也是正常现象。在北山地区南华系红山口组(=洗肠井群)冰碛层之上砂页岩与白云岩中含较多海绵骨针,是介于原生动动物与后生动动物之间的最原始的动物,可能是目前出现的最低层位,值得注意研究。实践证明,不是一出现动物化石或软躯体化石就是埃迪卡拉纪甚至是古生代,在南华纪冰碛层之前已经发现动物化石了^[9]!

2.4 年代地层特征

前人对凤台组碳酸盐岩进行过 Pb-Pb 同位素测年,获 608 ± 34 Ma,实践证明该方法测年结果目前还不能被采信^[10-11]。在河南东秦岭北坡三教堂组和董家组砂岩中的海绿石 K-Ar 法测年,前者时代为 1 070 Ma, 1 078 Ma, 1 089 Ma; 后者时代为 656 Ma, 617 Ma 和 674 Ma^[12],近年来的实践证明,这些方法也是存在问题的。黄连垛组-董家组-罗圈组-东坡组所含海绿石不是理想的测年对象,目前还没有可靠的年龄数据。在陕西小秦岭,采自罗圈组上段粉砂质粘土板岩全岩等时线 Rb-Sr 测年获 722 Ma。在湖南花垣民乐大塘坡组底部页岩 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 728 ± 27 Ma,罗圈组上段与扬子地台南华系大塘坡组间冰期沉积进行对比,得到泥质岩 Rb-Sr 全岩等时线年龄的时代佐证^[13]。但近来,前人对贵州松桃大塘坡组底部凝灰岩 SHRIMP 法锆石 U-Pb 测年获 667 ± 9.9 Ma^[4],则罗圈组上段/五岗集组/正目关组泥质岩的真实年龄应在 667 ± 9.9 Ma 上下。综合上述,华北地台包括朝鲜平南盆地的南华系目前还没有直接可靠的同位素年龄,只能间接地确定其时代。

华北地台燕山与徐淮胶辽吉地区的长龙山组-景儿峪组/淮南群/细河群-五行山群所产宏观藻类 *Chuarina-Tawuia-Longfengshania* 化石组合与劳伦古陆西缘麦肯齐山超群小达尔群宏观藻类 *Chuarina-*

Tawuia-Longfengshania 化石组合完全可以对比,淮南群及其相当层与麦肯齐山超群-铜旋回相对比得到宏观古生物化石的直接而有力的证据。小达尔群推定为 800 ~ 1 100 Ma; 其上的拉皮坦群冰碛砾岩为 850/750 Ma^[21],则淮南群之上的凤台组/罗圈组/正目观组/飞浪洞组冰碛砾岩的时代也应在 850/750 Ma 上下。根据古生物化石组合进行不同地区地层的直接对比,是基于生物发展的阶段性原理和不可逆性原理,是较为可靠的生物年代方法,它不但对显生宙地层是行之有效的方法,而且对前寒武纪的地层划分与对比也是适用的。在含淮南-小达尔生物群化石的淮南群/小达尔群之上即出现冰碛层拉皮坦群和凤台组冰碛层,这绝不是偶然的,霍夫曼等(1979)与陈孟莪等(1986)提出拉皮坦群的时代为 850/750 Ma^[9,21],则凤台组的时代也与之大体相当。前人^[12-14]从安徽霍邱地区凤台组向西追索,至河南确山-鲁山-汝阳-临汝,一直到陕西洛南的罗圈组和宁夏贺兰山的正目观组,这套冰碛层都是可以对比的,沿华北地台南缘东西长达数百千米,是一次大范围的寒冷气候事件的产物。它们的形成时代应大体相当,即在 850/750 Ma 上下。目前,中-朝地台上的南华系还没有可靠的同位素年龄,只能靠上下地层的时代以及冰碛层的地层对比间接地进行推测,还有待今后深入研究。根据生物年代法间接地推断中-朝地台南华系的时代也是一种有效的方法之一。

最值得讨论的是,近年来国际地层委员会前寒武纪地层分会对全球新元古代沉积地层特征与对比进行了深入而广泛地研究^[1],其中,劳伦古陆西缘加拿大西北部新元古代沉积地层序列发育完整,以麦肯齐山脉剖面为代表,自下而上为凯瑟琳群(Katherine Gp.)、小豆木群(Litter Dal Gp.=小达尔群)和科茨湖群(Coates Lake Gp.)。凯瑟琳群为一套碎屑岩。小木豆群以碳酸盐岩为主,其中部拉斯蒂页岩段(Rasty Mem.)产丰富的宏观藻类 *Tawuia-Chuarina-Longfengshania* 化石组合,我国华北新元古代早期就有相似的生物群,它们广泛出现在全球 800 Ma 前后的新元古代早期地层中。伴随的碳酸盐岩常见“白齿构造”。该生物群之上碳酸盐岩出现典型的苦泉 $\delta^{13}\text{C}$ 负异常事件,该异常底部获得 811.5 Ma 的火山灰 U-Pb 年龄。科茨湖群为一套碳酸盐岩与细碎屑岩沉积。上覆为拉皮坦群(Rapitan Gp.)冰碛杂砾岩,代表斯图特冰期沉积,其底部获得 716.5 Ma 的火山

灰锆石U-Pb年龄。上部的马里诺冰碛杂砾岩厚不超过50 m。两期冰碛杂砾岩之间特维蒂亚组(Twitya Fm.) 300~800 m厚的黑色页岩底部获得662.4 Ma的Re-Os同位素年龄^[1]。据此,从地层序列、岩性特征、宏观藻类化石组合以及冰碛层的出现位置等综合分析,安徽淮南地区的淮南群及其以上的冰成岩与加拿大麦肯齐山地区的地层序列几乎都可逐一对比。其中,凤台组冰碛杂砾岩与劳伦古陆西缘拉皮坦群冰碛杂砾岩完全可以对比,并为斯图特冰期的产物。其上的五岗集组间冰期沉积的年龄也在662.4 Ma上下,进一步证明五岗集组间冰期沉积可与扬子地台大塘坡组(锆石U-Pb年龄 667 ± 9.9 Ma)对比应该是正确的。由此,中-朝地台南华系凤台组/罗圈组/正目观组//飞浪洞组冰碛杂砾岩的时代可能在720 Ma上下^[1]。如果采用单颗粒锆石SHRIMP法U-Pb测年是否也是该年龄,还有待进一步工作。

2.5 磁性地层特征

华北地台南缘凤台组冰碛砾岩出现磁极倒转(负磁极)^[11]。在扬子地台湖北长阳古城组冰碛砾岩以及塔里木盆地西缘阿克苏-乌什地区南华系下冰碛层巧恩布拉克组也有磁极倒转现象^[22],凤台组冰碛砾岩及其相当冰碛层与古城组和巧恩布拉克组相对比,又得到磁性地层特征的支持。至于我国豫陕甘宁地区的罗圈组/正目观组以及朝鲜飞浪洞组的磁性特征尚不清楚,有待进一步研究。通过磁性地层特征将凤台组与我国南方古城组对比也是解决中-朝地台冰碛层时代划分的一个有效方法之一,进一步证明华北地台南缘东西长达数百千米的冰碛层应当划归南华系而不是震旦系,并可能相当于雪球地球时期最早的一次冰期事件即斯图特冰期。

3 中-朝地台南华系的地层划分与对比

3.1 国内对比(表1)

(1)与扬子地台和江南古陆南华系的对比:自1924年李四光将湖北三峡不整合于空岭群或黄陵花岗岩之上、含三叶虫化石的寒武系之下的一套地层称为震旦系之后,经过王日伦^[2]、王鸿祯(1986)、刘鸿允^[12]等众多地质学者近九十年来的不断研究探索,在滇川鄂湘黔桂赣浙皖等广大地区都发现了与之相当的地层。其中,原震旦系下部莲沱组/溇水河组-古城

组-大塘坡组-南沱组(类型I-II^[4])和长安组-富禄组-南沱组(类型III^[4])称为南华系,大体相当于国际年代地层的成冰系(Cryogenian, GSSA),上部陡山沱组-灯影组为狭义的震旦系,相当于国际年代地层的埃迪卡拉系(Ediacaran, GSSP)。扬子地台和江南古陆南华系的这一划分似为大多数地质学者所认同,为国内外同期地层的时代划分与地层对比提供了地层标准。

如前述,中-朝地台上的南华系从海相碎屑岩局部夹白云岩,到冰碛层,再到正常海相碎屑岩,形成三层结构,局部缺失下部碎屑岩,则形成二层结构,即所谓的“豫西型”。其中,上部正常海相碎屑岩含铁质结核、磷质结核、局部含锰,为一成铁-成锰-成磷事件。这些特点与扬子地台和江南古陆南华系下部莲沱组砂岩、中部古城组冰碛层和上部大塘坡组/富禄组/湘锰组成铁-成锰事件的岩石学特征极为类似^[4]。加之淮南群及其相当层位宏观藻类化石*Chuarina-Tawuia-Longfengshania*组合与劳伦古陆西缘加拿大麦肯齐山超群小达尔群的直接对比,凤台组及其相当层位的时代约为850/750 Ma上下^[9,23]或720 Ma^[1],加之凤台组磁性地层特征,笔者将中-朝地台上的南华系与我国南方南华系中、下部进行了对比,初步解决了中-朝地台这套冰碛层的时代归属问题^[10]。至于前人报道的朝鲜平南盆地飞浪洞组下部冰碛层、中部含锰层、上部冰碛层,陵里组含磷泥质岩分别与我国南方古城组-大塘坡组-南沱组-陡山沱组逐一对比,似也有一定道理^[18],还有待深入研究。虽然不同学者的对比方案有一定差别,但笔者认为中-朝地台上的这套地层属成冰纪的南华系似无大问题。

(2)与柴达木盆地冰碛层的对比:综合青海柴达木盆地北缘全吉山和石灰沟剖面,小高炉群自下而上分为下部黑土坡组黑灰色黄绿色浅灰色炭质板岩、粘板岩夹细砂岩,底部黄绿土黄色泥晶白云岩,厚10~123.4 m。与下伏全吉群叠层石白云岩假整合接触。中部红铁沟组冰碛层黄绿色灰色紫红色灰色冰碛泥砾岩,夹钙质白云岩,厚17.5~108 m。上部皱节山组灰绿色灰色紫红色含铁质粉砂岩、细砂岩、页岩,微细层理发育,底部灰白色厚层白云岩,厚17~46 m。从碎屑岩到冰碛层,再到含铁碎屑岩,形成三层结构,与我国华南以及中-朝地台上的南华系也很类似。在黑土坡组与皱节山组含皱节虫化石(*Sabelliditidae*)

表1 中-朝地台南华系-震旦系地层划分与国内对比^[3,4,7]

Tab.1 Collation and division of Nanhua-Sinian System in China-Korea platform

| 地区 | | 华南 | | 塔里木地块 | 中 朝 地 台 | | | | |
|------------------------------|-------------|--|--|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | 扬子地台-江南古陆 | | 库鲁克塔格 | 华北陆块西缘 | 华北陆块南缘小秦岭 | 华北陆块南缘东秦岭 | 华北陆块东南缘 | 朝鲜陆块东北缘 |
| 划分 | | 水井沱组 C ₁ | | 西山布拉克组 C ₁ | 苏峪口组 C ₁ | 辛集组 C ₁ | 辛集组 C ₁ | 猴家山组 C ₁ | 中和组 C ₁ |
| 新
元
古
界
(上
部) | 震
旦
系 | 上统 | 灯影组
549.9 ± 6.1Ma | 汉格尔乔克组▲
水泉组 ↻ | | | | | |
| | | 下统 | 陡山沱组
614 ± 7.6Ma
635 ± 0.37Ma | 育肯沟组
扎麻克提组
615 ± 6Ma | | | | | |
| | 南
华
系 | 上统 | 南沱组
636.3 ± 4.9Ma
654.5 ± 3.8Ma | 特瑞爱肯组
▲▲ | | | | | |
| | | 中统 | 大塘坡组
667 ± 9.9Ma
669 ± 13Ma | 阿勒通沟组
照壁山组 | | | | | |
| | 下统 | 古城组
▲▲ | 正目观组 | 罗圈组下段
▲▲ | 罗圈组▲▲ | 凤台组▲▲ | 飞浪洞组▲▲ | | |
| | | 溧水河组
724 ± 12Ma
748 ± 12Ma
758 ± 23Ma | 贝义西组▲▲
725 ± 10Ma
755 ± 15Ma
768 ± 13Ma | | | 董家组 | 围杆组 | | |
| 下伏地层 | 板溪群 | 帕尔岗塔格群 | 王全口组 | 冯家湾组 | 洛峪口组 | 四顶山组 | 祥原系 | | |

↻ 宏观深类 ↻ 桶形类 ∩ 磁极倒转 ▲ 冰碛岩

和虫牙。由于含皱节虫化石(Sabelliditidae)和虫牙化石,前人将其归于下寒武统^[19]。原中国地质科学院西安地质矿产研究所赵祥生等将其统一归为豫西型冰碛层,与南华系南沱组对比^[3]。至于前人将柴达木盆地北缘全吉山地区全吉群之上的黑土坡组和皱节山组连同所夹红铁沟组冰碛层一并划为下寒武统^[24],所依据的就是其中所产蠕形类皱节虫化石(Sabelliditidae)。如前述,该化石在辽南高家屯组-丁家沟组和葛屯组、淮南九里桥组和金山寨组都有产出,它们在冰期前就已经出现了。前人根据当时的认识将其划归寒武纪也是可以理解的。根据“豫西型”剖面结构特点,将其时代归为南华纪为宜。

(3)与甘肃北山地区冰碛层的对比:据前人资料,主要分布于洗肠井南、黑大山、梧桐井、泽鲁木等地的冰碛层,称为红山口群(=洗肠井群)^[25]。其中,以红山口剖面为代表,下部灰、灰绿色紫红色淡黄色冰碛砾岩,含砾纹板岩和含砾白云岩,厚247 m。与下伏大豁落山群不整合接触。冰碛砾岩无层理,砾石成分复杂,见1 m以上巨大漂砾;胶结物以泥砂质为主,局部以碳酸盐胶结。上部为杂色粉砂岩、粉砂质板岩、炭质板岩,夹含锰白云岩和锰矿层,含海绵骨针化石,厚68 m。其上被下寒武统双鹰山组含磷砾

岩假整合覆盖^[25-26]。前人根据当时的研究程度,将红山口群下部冰碛层与华南南沱冰碛层对比;将上部含锰碎屑岩与陡山沱组对比,缺失莲沱组和灯影组^[26]。根据该群属于“豫西型”的剖面结构以及成锰事件,特别是扬子地台和江南古陆南华系气候-地层序列的建立,笔者将该群上部含锰碎屑岩与南华系大塘坡组/富禄组/湘锰组对比;将下部冰碛层与古城组对比^[26],可能更合适些。因为大塘坡组/富禄组/湘锰组为气候转暖后的主要成铁-成锰期,处于相近的古气候条件下。该区可能缺失相当于莲沱组、南沱组和震旦系的地层。至于红山口群(=洗肠井群)上部含海绵骨针化石还有待再研究。根据其典型的“豫西型”剖面结构以及成锰事件,中-朝地台上的南华系与红山口群(=洗肠井群)似完全可以对比。

(4)与新疆塔里木盆地库鲁克塔格地区冰碛层的对比:前人将库鲁克塔格地区一套冰碛层与间冰期地层称为库鲁克塔格群,并分为南华系和震旦系^[27]。南华系有两套冰碛层,并见火山岩-火山碎屑岩夹层,与下伏北赛纳尔塔格组不整合接触,厚达4 379.7 m,即所谓“库鲁克塔格型”沉积,可与目前的南华系对比。震旦系为碎屑岩、灰岩,顶部有一层冰碛层,其上被下寒武统假整合覆盖,厚达1 913.1 m,

时代为震旦纪。由于地层厚度巨大,岩性复杂,并有火山喷发,笔者将这里的南华系理解为“地槽型”沉积,与“豫西型”和“峡东型”的南华系有较大区别,前人称为“库鲁克塔格型”^[12,26]。间冰期的照壁山组和阿勒通沟组也未见成铁-成锰-成磷事件,中-朝地台上的南华系与塔里木地块库鲁克塔格地区的南华系似较难直接对比。震旦系的扎摩克提组和育肯沟组为碎屑岩沉积,并见浊流沉积;其上的水泉组以砂质泥质白云质灰岩为主,含蠕形类和文德带藻(?)化石,按岩性和化石似可与华南地区陡山沱组-灯影组对比。假整合其上的汉格尔巧克组冰碛层厚433.6 m,竟位于相当于灯影组之上,中-朝地台上含铁含锰含磷等“豫西型”的南华系在没有同位素年龄佐证的情况下也很难与之对比。笔者认为“库鲁克塔格型”与“豫西型”的南华系可能是在不同的大陆块上形成的,两大陆块也可能相距较远,前者可能处于强烈拉伸下的“地槽”环境,后者为较稳定的“地台”环境,它们的地层划分与对比还有待深入研究。

3.2 国际对比(表2)

(1)与劳伦古陆西缘冰碛层的对比:在劳伦古陆西缘加拿大西部麦肯齐山地区冰成岩自下而上为拉皮坦群冰碛岩、基勒组泥质砂岩白云岩和希波贝德组泥页岩。其下与下伏新元古界铜帽组含铜白云岩不整合接触;与上覆下寒武统假整合接触。从冰碛层到碎屑岩,与中-朝地台上的“豫西型”南华系极为类似,两大陆的冰期与间冰期沉积基本可以对比^[21]。特别是通过宏观藻类 *Chuarina-Tawuia-Longfengshania*

化石组合的直接对比与联系,风台组冰碛层与拉皮坦群冰碛层对比得到生物地层序列上的有力支持。如上述最新研究成果,其时代可能在720 Ma上下^[11](还需单颗粒锆石 SHRIMP 法 U-Pb 年龄的验证)。

(2)与澳大利亚阿德雷德地区冰碛层的对比:自下而上为斯图特冰碛层、法里纳亚群(Farinay Gr.)和马临诺冰碛层,与下伏贝拉群和上覆威尔盆那群均为假整合接触。从下冰碛层,到间冰期沉积,再到上冰碛层,分别相当于我国南方长安组/古城组冰碛层、大塘坡组/富禄组/湘锰组间冰碛层和南沱组冰碛层^[1]。中朝地台上的南华系只相当于阿德雷德地区成冰系的中下部。

(3)与俄罗斯冰碛层的对比:俄罗斯的冰成岩主要分布于俄罗斯地台、中乌拉尔和西伯利亚地台。俄罗斯地台文德系的下部冰碛层为瓦累统,其下与上里菲(=下马岭组,故应为Pt₂³)不整合接触;其上即为含软躯体白海动物群化石和文德宏观藻类植物群的雷德基诺统和科特林统。白海动物群包括腔肠动物水母类与海鳃类、蠕形动物和棘皮动物,以及宏观藻类与遗迹化石等,有 *Cyclomedusa, Medusinites, Eoparipita, Radialia, Nemiana, Tirasiana, Ediacaria, Kulingia, Brachina, Nimbia, Paliella, Protodipleurosoma, Hiemalora, Armillifera, Bonata, Albumres, Anjesta, Tribraichidium, Conomedusites, Staurinidia, Charnia, Chaniolidiscus, Perridinium, Dickinsonia, Paleoplatoda, Vendia, Ventonia, Springgina, Calyptrina, Redkinia, Vendotaenia, Tyrasotaenia* 等^[28]。

表2 中-朝地台南华系-震旦系地层划分与国外对比

Tab.2 Collation and division with foreign map of Nanhua-Sinian System in China-Korea platform

| 地区 | | 扬子地台-江南古陆 | 中-朝地台南缘 | 劳伦古陆西缘 | 澳大利亚阿德雷德 | 哈萨克斯坦卡拉套 | 斯基的纳维亚 | 东格陵兰 | 俄罗斯地台 | 乌拉尔中南部 | |
|------|-----|----------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|------------------|---------------------------------|--------------------|----------------|--------------|
| 划分 | | C ₁ | C ₁ | C ₁ | C ₁ | C ₁ | C ₁ | C ₁ | C ₁ | C ₁ | |
| 新元古界 | 震旦系 | 上统 | 灯影组
⊕ | | 维尔盆纳群
⊕ | | 布雷维克组
斯普格依德姆组 | 灰岩
白云岩
黑色页岩 | 科特林统
雷德基诺统
⊕ | 阿留申统
⊕ | |
| | | 下统 | 陡山沱组
⊕ | | | | | | | | |
| | 南华系 | 上统 | 南沱组
▲▲ | | | 马林诺冰碛层
▲▲ | 拜克努尔组
▲▲ | 上冰碛层
▲▲ | 红色冰碛层
▲▲ | 瓦累统
▲▲ | 塞雷布里卡统
▲▲ |
| | | 中统 | 大塘坡组
Fe-Mn | 东坡组/五岗集组/陵里组
Fe-P-Mn | 希波尔德组
基勒组 | 发里纳亚群 | 卡拉克尔组 | 纽鲍尔格组
668Ma | 砂岩、页岩
灰岩 | | |
| | | 下统 | 古城组
▲▲ | 风台组/罗圈组
▲▲ | 拉皮坦群
▲▲ | 斯图特冰碛层
▲▲ | 下帕特姆套群
▲▲ | 下冰碛层 | 灰色冰碛层
▲▲ | | |
| 下伏地层 | 板溪群 | 四顶山组 | 铜帽组 | 贝拉群 | 小卡罗伊组 | 塔纳亚群 | 艾利诺湾群 | 上里菲Pt ₂ ³ | 库达什 | | |

⊕ 宏观藻类 ⊕ 蠕形类 ⊕ 磁极倒转 ▲▲ 冰碛岩

中乌拉尔的冰碛层为塞雷布里卡统,其下与“库达什”不整合接触;其上为含软躯体后生动物化石的阿申统。西伯利亚地台的文德系称尤多姆统,自下而上为马斯坦组,其上为含软躯体后生动物化石的哈蒂斯皮组和土尔库特组^[28]。根据地层层序和古生物化石,以及650 Ma的同位素年龄,俄罗斯的冰碛层大体相当于我国南沱组,其上覆地层可与我国震旦系对比。中-朝地台上的南华系与其较难对比,因为如果将中-朝地台上的冰碛层与俄罗斯的冰碛层对比,则正目观组/东坡组/五岗集组/基勒组-希波贝德组碎屑岩似应产软躯体后生动物化石之白海动物群或文德带藻类化石,但目前未见这些化石。由此也证明:中-朝地台上的“豫西型”成冰系不应置于埃迪卡拉系即震旦系,将其置于震旦系似缺少古生物学上的证据。

最近,有关俄罗斯地台的文德系产著名的白海动物群,直接不整合在古老结晶基底上,或覆盖在里菲群上,自下而上拉姆查组、韦尔霍维卡组、吉姆内格里组和约加组。其中,吉姆内格里组火山灰锆石U-Pb同位素年龄为555.3 Ma^[1]。俄罗斯西伯利亚东部贝加尔北到帕托姆新元古代地层由巴拉加纳赫群、达利尼亚亚-泰加群和尊亚群组成,也含冰碛杂砾岩,值得注意研究^[1]。

(4)与哈萨克斯坦冰碛层的对比:哈萨克斯坦中天山卡拉套地区的帕特姆套群下部为下帕特姆套亚群,前人称为下冰碛层;中部上帕特姆套亚群卡拉古尔组为砂页岩与灰岩;上部拜克努尔组前人称为上冰碛层,从下冰碛层,到碎屑岩与灰岩的间冰期沉积,再到上冰碛层,形成一完整的气候-地层序列^[29],与我国南方南华系冰期-间冰期-冰期的气候-地层序列大体相当。另外,在上帕特姆套亚群卡拉古尔组砂页岩与灰岩中是否产埃迪卡拉动物群化石或文德带藻类化石或在帕特姆套群之下是否见到更早期的冰碛层,当时的对比方案并没有进一步说明,将拜克努尔组冰碛层置于震旦系(=埃迪卡拉系)似缺少古生物证据与同位素年龄证据。在同一对比方案中,前人也列举了挪威北部塔纳峡湾与东格陵兰地区的冰成岩,也分为下冰碛层-砂页岩灰岩间冰期层-上冰碛层,并与我国华南“南沱冰期”对比,同样的气候-地层序列与我国的地层对比方案却不同^[29]。其后,前人对中天山卡拉套地区和东格陵兰的下冰碛层均标定出700 Ma的数据,但还是将拜克努尔组

冰碛层置于震旦系^[20],而其他地区的下冰碛层-砂页岩灰岩间冰期层-上冰碛层却与我国“南沱冰期”对比^[20]。根据近些年来同位素年代学研究的进展与突破,我国南华系莲沱组的年龄为748 Ma;谍水河组为758~724 Ma;长安组778 Ma;大塘坡组为669~663 Ma;南沱组为654~636 Ma^[4],前人标定的下冰碛层700 Ma年龄大体可与我国南方古城组对比,则中天山卡拉套地区的帕特姆套群下冰碛层-碎屑岩与灰岩-上冰碛层似应相当于我国南华系,拜克努尔组与我国南方震旦系对比似缺少古生物证据和准确的年代学证据,而与南华系对比似更符合气候-地层序列。与其说汉格尔巧克组冰碛层因与拜克努尔组的对比关系而置于第三期冰期,还不如说拜克努尔组因与汉格尔巧克组冰碛层的对比才置于震旦纪,将新疆第三期冰川沉积汉格尔巧克组扩大至中天山及其以西地区其实是因果倒置了。据此认为新疆第三期冰川的汉格尔巧克组冰碛层东西长达千余千米,并不符合实际情况。拜克努尔组与汉格尔巧克组之所以置于埃迪卡拉系,究其原因可能是它们直接与下寒武统接触以及其下的侵入岩a-Pb同位素年龄。拜克努尔组与汉格尔巧克组冰碛层的层序对比关系仍有待深入研究。

4 中-朝地台南华系的地层时代

如上述,中-朝地台上的南华系为“豫西型”的剖面结构,与“峡东型”的南华系极为类似。加拿大西部麦肯齐山地区下部拉皮坦群冰碛层与上部基勒组-希波贝德组为砂泥岩,似也为“豫西型”的剖面结构,本区的成冰系与麦肯齐山地区的成冰系也可较好的进行对比。五岗集组/罗圈组/正目观组以及平南盆地的飞浪洞组-陵里组出现成铁-成锰-成磷事件,与华南地区南华系大塘坡组/富禄组/湘锰组的成铁-成锰事件似可对比,时代似应为南华纪。

通过宏观藻类化石 *Chuarina-Tawuia-Longfengshania* 组合的直接联系,中-朝地台上的凤台组/罗圈组/正目观组/飞浪洞组冰碛层大体相当于劳伦古陆西缘的拉皮坦群冰碛层,经最新研究成果其同位素年龄为720 Ma上下^[1]。陕西罗圈组上段泥质岩全岩Rb-Sr等时限年龄为722 Ma,湖南花垣民乐大塘坡组底部页岩全岩Rb-Sr等时限年龄为728±27 Ma,两者似可对比,(泥质岩的真实同位素年龄应在667±9.9 Ma左右^[4])。则中-朝地台上成冰系的时代应

为南华纪的早-中期为宜,很可能缺失相当于南沱期沉积。

笔者根据“豫西型”的剖面结构、冰碛层的岩性特征与相序、成铁-成锰-成磷事件、冰碛层的磁极倒转,以及国内外地层的区域对比,包括宏观藻类化石的国际对比与最新的同位素年龄,间接地将中-朝地台上的成冰纪地层划为南华系,还缺少同位素年代学证据,有待今后深入工作。

5 地质意义

综上所述,对中-朝地台南缘东西长达数百千米的冰碛层的认识大体经过了三大阶段:第一阶段大致在五六十年来搞寒武系的学者将这套冰碛层当做下寒武统的底砾岩,直到以王曰伦为代表的地质学家开始逐渐确认了它们是一套冰碛层,这一时期是确认冰碛层存在的时期。第二阶段七八十年代后,以刘鸿允先生为代表的地质学家开始考虑与扬子地台冰碛层的对比问题。由于海绿石钾-氩法、泥质岩铷-锶法、碳酸盐铅-铅法的大量运用,加之古地磁的开始测试,或认为属南沱期,或认为属震旦纪,或属南沱期至陡山沱期,呈现一种百家争鸣的局面。最后,由于同位素年代学和古地磁的应用,否定了这套冰碛层属于现在的南华系,而置于震旦纪,华北地台缺失“下震旦统”即现在的南华系直至今天,这是一个对华北地台冰碛层认识极为分歧的阶段。第三阶段主要是从两个方面取得了突破:1)上世纪六七十年代合肥工业大学师生在安徽淮南淮南群首次发现宏观藻类化石 *Chuarina-Pumilibaxa-Glossophyton-Tawuia* 组合与蠕形类化石 *Pararenicola-Paleilina* 组合,郑文武教授称为淮南生物群^[30]。1979年,加拿大古生物学家霍夫曼等(H.J.Hofmann et J.D.Aitken, 1979)报道了劳伦古陆西缘加拿大麦肯齐山地区麦肯齐山超群小达尔群中的宏观藻类化石 *Chuarina, Shouhsienia, Pumilibaxa, Tawuia sinensis, Tawuia dalensis* 等,与我国淮南群中的化石几乎完全一致。小达尔群之上连续出露红石头河组火山岩-铜帽组白云岩,并被拉皮坦群冰碛层不整合覆盖。我国安徽淮南淮南群四顶山组白云岩之上为凤台组冰碛层,凤台组冰碛层与拉皮坦群冰碛层进行对比得到地层序列上和宏观藻类化石组合的有力支持。拉皮坦群的最新时代为720 Ma上下,并与斯图特冰期相当,则凤台组冰碛层及其相当的罗圈组冰碛层、正目

关组冰碛层和飞浪洞组冰碛层似都应该划归南华系。2)进入本世纪后,苏文博、陈晓雨于2005年在北京西山下马岭组首次发现凝灰岩成因的斑脱岩^[31]。高林志等^[5,32]先后于2007—2001年对北京西山、河北宣化赵家山下马岭组凝灰岩采用单颗粒锆石 SHRIMP 法 U-Pb 测年,获 $1\ 368 \pm 12\ \text{Ma}$ 、 $1\ 370 \pm 11\ \text{Ma}$ 和 $1\ 366 \pm 9\ \text{Ma}$ 年龄,下马岭组应属中元古代。相比之下,上述其它同位素测年方法就值得考虑了,这一突破引起了一系列的“骨牌效应”,将中-朝地台南缘东西长达数百千米的冰碛层划归南华系似乎突破了层层障碍和阻力,这是一个在最新研究成果基础上、实事求是并与时俱进的新阶段。这三个阶段是实践、认识、再实践的不断深化的过程。

笔者通过岩石学特征、磁性地层对比、气候-地层序列、间冰期成锰-成铁-成磷事件,以及上下地层古生物的区域对比等,将中-朝地台南缘的冰碛层划归南华系,并与扬子地台南华系中、下部莲沱组/谍水河组-古城组-大塘坡组对比,初步解决了中-朝地台与扬子地台南华系的划分与对比问题,具有重要的区域地层学意义。通过这一对比,初步确认了中-朝地台可能缺失南沱期冰碛层至震旦系的地层,即在大塘坡期末期开始,中-朝地台全面隆升,受到长期风化与剥蚀。然而,这套冰碛层为什么仅分布在中-朝地台南缘,笔者推测:由于华北地台南缘在海西运动时期淮阳弧古老变质地体的隆升回返,在相对运动的作用下,地台南缘相对下降而保存了南华系。中-朝地台北缘很可能也存在过冰碛层堆积,可能由于抬升较高而被剥蚀,直到早寒武世沧浪铺期才接受海侵。这对重新认识中-朝地台大地构造演化具有重要意义。与扬子地台不同,在华北地台南缘广泛分布的冰碛层之下,还有一套富含宏观藻类化石与软躯体蠕形类化石的地层,即产淮南生物群-怀来生物群-小达尔生物群的一套未变质的地层,显然应当是前南华纪的产物,为建立前成冰纪的一个新的系一级的地层单元提供了有力的佐证!

致谢:在成文过程中,秦正永研究员审阅文稿,并提出许多宝贵意见。同时,也得到陈永胜博士、王博士的大力帮助,一并表示衷心感谢。

参考文献:

[1] 孙枢、王铁冠. 中国东部中-新元古界地质学与油气资源.

- 第一篇,中-新元古代地层层序与划分[M].北京:科学出版社,2016,3-106.
- [2] 王曰伦,陆松年,高振家,等.中国震旦纪冰川特征,分期及对比[J].中国地质科学院院报天津地质矿产研究所分刊,1980,1(1):1-19.
- [3] 赵祥生,张录易,邹湘华,等.西北地区震旦纪冰碛层及其地层意义[A].《中国震旦亚界》,[C]天津:天津科学技术出版社,1980:164-185.
- [4] 尹崇玉,高林志.中国南华系的范畴,时限及地层划分.地质学杂志,2013,37(4):534-541.
- [5] GAO Linzhi, ZHANG Chuangheng, SHI Xiaoying, et al. A new SHRIMP age of the Xiamaling Formation in the North China Plate indicated by zircon shrimp dating. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(17):2665-2671.
- [6] 牛绍武,辛后田.辽东半岛南部中新元古界地层的重新厘定[J].地质调查与研究,2012,35(1):1-15.
- [7] 邢裕盛,刘桂芝.辽宁南部震旦系腔肠动物化石及其地层意义[J].地质学报,1979,53(3):168-172.
- [8] 林蔚兴等.辽东半岛南部晚前寒武纪地层的研究[J].中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊,1984,10:1-50.
- [9] 陈孟莪,郑文武.先伊迪卡拉期的淮南生物群.地质科学,1986,(3):221-231.
- [10] 牛绍武,辛后田,林晓辉.华北地台南缘苏-鲁-皖地区中-新元古界的重新划分与对比[J].地质调查与研究,2013,36(3):161-172,.
- [11] 《苏皖北部上寒武系研究》项目研究组.苏皖北部上寒武系研究[M].合肥:安徽科学技术出版社,1984:4-193.
- [12] 刘鸿允,董榕生,李建林等.论震旦系划分对比问题[J].地质科学,4期,1980,(4):1-23.
- [13] 李钦仲,杨应章,贾金昌.华北地台南缘(陕西部分)罗圈组时代及其沉积相[A].前寒武纪地质第1号,中国晚寒武纪成冰岩论文集[C].北京:地质出版社,1985,163-182.
- [14] 关保德,耿午辰,戎治权,等.河南省罗圈组冰碛层时代探讨[A].前寒武纪地质第1号,中国晚寒武纪成冰岩论文集[C],北京:地质出版社,1985:183-206.
- [15] 关保德,潘泽成,耿午辰,等.东秦岭北坡震旦亚界[A].《中国震旦亚界》[C].天津:天津科学技术出版社,1980:288-313.
- [16] 斗守初,汪贵祥,任润生,等.安徽凤阳霍邱地区震旦纪冰成岩的再研究[A].前寒武纪地质第1号,中国晚寒武纪成冰岩论文集[C].北京:地质出版社,1985,119-144.
- [17] 任润生.试论“凤台砾岩”成因及时代-兼论淮南霍邱地区寒武系底界[J].中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊,1983,(5):27-42.
- [18] 洪作民,杨雅君.辽南与吉南、苏皖及朝鲜北部上寒武系的对比问题[J].中国区域地质,1992,(3):266-274.
- [19] 薛耀松,曹瑞骥,唐天福,等.扬子区震旦纪地层序列和南北方震旦系对比[J].地层学杂志,2001,25(1):207-216.
- [20] 陆松年,马国干,高振家,等.中国晚前寒武纪冰成岩系初探.前寒武纪地质[A]—中国前寒武纪成冰岩论文集[C]北京:地质出版社,1985,(1):1-86
- [21] Hofmann, H.J. and J.D.Aitken. Precambrian biota from the Little Dal Group, Mackenzie Mountains, Northwest Canada [J]. Can. Jour. Earth Sci., 1979, 16(1):150-166.
- [22] 高振家,李永安.新疆震旦纪冰川沉积.前寒武纪地质[A]—中国前寒武纪成冰岩论文集[C]北京:地质出版社,1985,(1):87-104
- [23] Hofmann H.J, Aitken J.D. Precambrian biota from the Little Dal Group, Mackenzie Mountains, Northwest Canada [J]. Can. Jour. Earth Sci., 1979, 16(1):150-166.
- [24] 王云山,陈基娘.青海小高炉群红铁沟冰碛层岩石特征与时限讨论[A].前寒武纪地质第1号,中国晚寒武纪成冰岩论文集,地质出版社,1985:145-162.
- [25] 宫保军.甘肃的元古界.前寒武纪地质,第三号讨论会论文集[C].北京:地质出版社,1987:205-218.
- [26] 赵祥生,张录易,邹湘华,等.北山地区的前寒武系[A].前寒武纪地质,第三号讨论会论文集[C].北京:地质出版社,1987:219-228.
- [27] 高振家,李永安.新疆震旦纪冰川沉积[J].前寒武纪地质[A]—中国前寒武纪成冰岩论文集[C].北京:地质出版社,1985,(1):87-104
- [28] Sokolov, B.S. and Fedonkin, M.A. 前寒武系最末一个系—文德系[J].国外前寒武纪地质,1984,(3):1-11(译自 Episodes, 1984, vol.7, no.1:12-19).
- [29] 王曰伦,陆宗斌,邢裕盛,等.中国上前寒武系的划分与对比[A].前寒武地质研究,中国震旦亚界[C].天津:天津科学技术出版社,1980:1-30.
- [30] 郑文武.“淮南生物群”的主要特征及其在地层研究中的意义[J].合肥工业大学学报,1979,2:97-108.
- [31] 陈晓雨.北京西山新元古代下马岭组中-上部斑脱岩初步研究.学士论文[D].北京:中国地质大学(北京),2005:1-28.
- [32] GAO Linzhi, ZHANG Chuangheng, SHI Xiaoying, et al. Mesoproterozoic age for Xiamaling Formation in North China Plate indicated by zircon shrimp dating. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(17):2665-2671.

Geochronological and geochemical characteristics of the Changli alkaline granitic intrusion and its geological implication in eastern Hebei province

ZHANG Yong¹, XIN Hou-tian¹, TENG Xue-jian¹, WANG Shan-liang²

(1. Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 2. Beijing Institute of Geology, Beijing 100120, China)

Abstract: The Changli alkaline granitic intrusion is located at the eastern Hebei province, North China Craton. This study focused on the geology, geochronology and geochemistry of it. The results show that the Changli granites comprise alkaline-feldspar and quartz, with subordinate amphibole and aegirine-augite. Changli granites are characterized as alkali granite with high SiO₂ (>71%), Na₂O+K₂O (10.6% ~ 11.0%) and Na₂O/K₂O > 1, while low Al₂O₃ (14.5% ~ 14.96%). The zircon LA-ICPMS U-Pb isotopic age dating shows that the Changli alkali granites were formed at about 2 500 Ma, indicating products of the extensive Neoproterozoic magmatism in North China Craton. The Changli alkali granites are depleted in HREE, with positive Eu anomalies, and have relatively high Sr, Ba and Sr/Y ratios, but low Y and Yb concentrations, suggesting that the melt originated from partial melting of lower crust at 15 kbar, with garnet in the residue minerals. Above all, the Changli alkali granite intrusion was considered to be formed by partial melting of juvenile crust derived from underplated mantle materials in an extensional setting.

Key words: Changli, Hebei; Neoproterozoic; alkaline granite; zircon U-Pb isotopic dating; eastern North China Craton

Collation on the Nanhua System in China-Korea platform and geological significance

NIU Shao-wu, XIN Hou-tian, WANG Shu-qing

(Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: According to Neoproterozoic glacial deposits from the China-Korea platform, the tillite of Fengtai (凤台) formation, Luoquan (罗圈) formation, Zhengmuguan (正目观) formation of North China platform, and Pirangdong (飞浪洞) formation of the basin of south Pyongyang (平壤) can be correlated with the glacial deposits of Chang'an (长安) formation, Gucheng (古城) formation, Datangpo (大塘坡) formation, from Yangtze platform in South China. Based on the isotopic ages and stratigraphic sequences of glacial events or cold events, the time limit of Nanhua System is 780 ~ 635 Ma. So, the age of the glacial deposits from China-Korea platform is about 780 ~ 635 Ma. The authors redefine the Nanhua System in China-Korea platform, and suggest that the tillite in China-Korea platform should belong to Nanhua System, not Sinian period.

Key words: China-Korea Platform; Nanhua System; collation