

文章编号: 1000- 6524 (2002) 04- 0305- 12

早前寒武纪变质地层学研究的回顾与思考

沈其韩

(中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘 要: 主要论述了与早前寒武纪变质地层(学)有关的 8 个方面的问题: 早前寒武纪变质地层的研究概况; 早前寒武纪变质地层的复杂性和研究难度; 早前寒武纪变质地层研究的思路和工作方法; 早前寒武纪变质岩石地层单位岩群、岩组和杂岩的划分问题; 重要区域性不整合的研究; 鉴定变质地层的原岩类型、岩石性质和恢复古环境; 正确区分变质地层和 TTG 岩系以及其他变质深成岩; 变质地层时代的确定。另外, 对今后的研究工作提出了 3 项建议。

关键词: 变质地层(学); 岩群和岩组; 原岩类型; 不整合; 古环境; 早前寒武纪

中图分类号: P534. 1

文献标识码: A

Review and deliberation of the researches on Early Precambrian metamorphic stratigraphy

SHEN Qi_han

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Eight aspects related to the study of Early Precambrian metamorphic stratigraphy are dealt with in this paper: general situation of the study; complexity of the stratigraphy and difficulties of the study; thoughts and methods of the study; division of rock suite, rock group and complex rock; researches on important regional discordances; types and characteristics of protolith and recovery of palaeoenvironment; correct differentiation of the metamorphic strata, TTG rock system and other metamorphic plutonic rocks; determination of the ages of the metamorphic strata. In addition, three suggestions are put forward for future work.

Key words: metamorphic stratigraphy; rock suite and rock group; types of protolith; discordance; palaeoenvironment; Early Precambrian

1 早前寒武纪变质地层的研究概况

我国早前寒武纪变质地层在解放前未进行过系统研究。少数中外地质学家曾在山西五

收稿日期: 2002- 07- 05; 修订日期: 2002- 09- 12

作者简介: 沈其韩(1922-), 男, 研究员, 中国科学院院士, 长期从事变质地质学研究。

台繁峙一带和山东泰山等地做过一些路线地质调查,对山西的滹沱群和五台群以及山东的泰山杂岩做过粗略的研究。日本学者在辽宁中南部对早前寒武纪的一些地层进行了较粗的划分,造成了一定的混乱。赵亚曾等于1931年对秦岭地区的前寒武纪地层也有过报道。

1.1 20世纪50~70年代

新中国成立以后,在20世纪50~70年代,由于普查勘探的大规模开展,不少矿区及其相邻地区的变质地层得到了研究。1:5万和1:20万区调在较大范围内进行,加上部分变质地层研究的配合,初步查明了主要早前寒武纪变质地层在全国的大致分布情况。其中较为突出的如1952年以王曰伦为首的五台队,较系统地研究了“五台系”,澄清了由维里士(Willis)造成的混乱,重新建立了地层层序,为解决我国北方早前寒武纪地层问题奠定了初步基础。1950~1952年,以程裕淇为首的铁矿队在辽宁弓长岭铁矿区建立了鞍山群变质地层层序,一直沿用至今。随后矿区地质队对辽宁中南部鞍山群变质地层做了许多扎实的基础性工作,为以后解决鞍山群变质地层打下了初步基础。1957年,以马杏垣为首的研究队对山西五台系的地质构造特征进行了较深入的研究。1958年第一次全国地层会议之后,前寒武纪变质岩研究室于1963年出版了由程裕淇、王曰伦主编的《中国的前寒武系》一书,建国后第一次对我国前寒武系做一总结,建立了若干早前寒武纪变质地层系统,并进行了全国和区域性的初步对比。

这一阶段的研究,除少数学者重视与地层有关的构造研究外,大多是单纯以地层为主。总体而言,早前寒武纪变质地层的构造研究很差,不少褶皱的变质地层被当作单斜地层处理。在太古宇分布区,这种情况比较普遍,如“一个群级变质岩石地层单位厚达近万米甚至几万米”,这种描述既歪曲了构造轮廓,又夸大了地层厚度。岩石学研究方面,无论在学术思路上还是在研究方法上都有较大差距,如在早前寒武纪变质地层中扩大了混合岩的范围,而对客观存在的变质深成岩如TTG岩系等当时还缺乏认识,未能将其从早前寒武纪地层中区分出来,大大扩大了变质地层中不应包括的部分,很大程度上影响了对古老地壳演化的正确认识。这一时期变质地层的测年已开始大量应用K-Ar法进行。由于这种方法的局限性,所测年龄大都偏低,难以进行地层的有效对比,往往导致对早前寒武纪变质地层的时代归属产生重大分歧。有的变质地层连K-Ar法测年也未做,只能根据覆盖其上的地层做粗略的推断,冠之以“前震旦系”等等。

1.2 20世纪70~90年代

20世纪70~90年代,特别是80年代以来,构造解析在早前寒武纪变质地层研究中得到了广泛的应用(马杏垣等,1981;刘如琦,1980;马杏垣等,1987;索书田等,1987;徐朝雷等,1990;白瑾等,1990)。在后期开展的1:20万和1:5万以及新一轮1:25万区调工作中,对早前寒武纪变质地层的基本褶皱形态、褶皱和变形期次等进行了详细研究,不少变质地层的复杂同斜褶皱得到了确认,从而恢复了变质地层的原来顺序,大大提高了地层划分的正确性。80年代初,程裕淇等编写了《中国的下、中前寒武系》一文,对全国主要早前寒武纪变质地层进行了较详细的论述(程裕淇等,1982)。80年代末至90年代初,各省区正式出版了以省区为主的区域地质志(1988~1990),对早前寒武纪变质地层进行了总结,初步统一了省区内的早前寒武纪变质地层的岩石地层单位,并进行了对比。在冀东迁西三屯营一带,中、英两国在早前寒武纪地层分布区开展了1:5万区调的试点研究,提出了试点总结和工作指南(房立民,1991;李勤等,1992;杨振升,1992)。国外高级片麻岩区野外地质工作方法也被引进

(帕斯赫尔等, 1992)

国际上较早在早前寒武纪变质地层中分出了 TTG 岩系, 进而探讨其成因和与地壳的关系。这一学术思路不断被引进, 使人们扩大了眼界, 提高了认识, 并逐步掌握了对这些岩系的识别方法。在这一时期, 不少区调图幅和早前寒武纪地质专题研究已能将 TTG 岩系从“混合岩”和“片麻岩”中区分出来, 大大提高了早前寒武纪地层研究的正确度。但值得注意的是, 也有把变质深成岩扩大化的现象。

这一阶段, 在早前寒武纪变质地层的同位素年代学研究中, 多种测年方法得到了迅速推广, 全岩 Rb-Sr Sm-Nd 和锆石蒸发法以及 U-Pb 等时线法等得到了广泛应用, 获得了许多新的数据, 为早前寒武纪地层的划分和区域对比提供了基础资料。但遗憾的是变质年龄的数据大大地多于形成年龄的数据, 测得的数据在地区分布和时代上很不平衡。古元古代变质沉积岩的测年仍是难题, 高精度微区原位锆石离子探针定年尚在开始阶段, 数据尚不多。对古元古代溥沱群和中元古代有关层位的碳酸盐中赋存的叠层石进行了较深入的研究(朱士兴等, 1985; 梁玉左等, 1987)。

1.3 20 世纪 90 年代以来

90 年代以来, 地矿部组织各省区进行了地层清理, 对河北、山西、河南、山东、辽宁等省区这些华北早前寒武纪变质地层的重点分布区的早前寒武纪做了重点清理, 建立、调整、归并了一些变质岩石地层单位。与此同时, 全国地层委员会组织编写了各时代的地层典, 太古宇和古元古界也包括在内。截止到 1993 年底, 古元古代地层典清理了群级岩石地层单位 128 个, 选入地层典中的共 51 个。太古宙地层典清理了群级岩石地层单位 168 个, 剔除同一岩群中的亚群、超群等相似条目, 实为 126 个, 选入地层典中 37 个。全国早前寒武纪变质地层的群级岩石地层单位总数为 254 个, 加上这几年新建立的, 总数约在 300 左右。在 254 个群级岩石地层单位中, 选入地层典的共 88 个, 只占已建立的岩石地层单位的 28.8%。相对地说, 这些入选的群级岩石地层单位内容比较齐全, 研究得相对比较详细, 但有的群或岩群的内部划分和时代等问题仍有重大意见分歧。未入选的极大部分变质地层岩石单元的研究程度相对更差一些, 岩性描述过于简单。由于构造研究不细, 岩石层序有的尚不能完全确定, 大部分缺乏可靠的定年数据, 总体上研究深度大大落后于显生宙地层, 比新、中元古代地层研究亦有逊色。通过编典和对各省区的地层清理, 初步建立了若干研究相对较好的早前寒武纪变质地层的岩石地层单位和全国早前寒武纪变质地层对比方案, 明确了早前寒武纪地层研究中存在的问题, 为下一步工作提供了参考依据。

就目前而言, 华北地区早前寒武纪变质地层的研究程度相对较高, 东北地区次之, 华南地区更次之, 西北地区的研究程度最低, 很多新的早前寒武纪变质地层尚待发现。

2 早前寒武纪变质地层的复杂性和研究难度

早前寒武纪变质地层包括古元古界和太古宇两大部分, 其复杂性和研究难度大部分不一样, 少部分基本一致。

古元古代变质地层大部分成层有序, 顶底清楚, 岩性简单, 大都由浅变质的沉积岩或/和变质火山岩组成, 地层顺序连续性好。变质程度一般为绿片岩相, 少数达角闪岩相, 岩性和保留的各种沉积相特征易于辨认。构造复杂至简单, 与侵入其中的各种花岗质岩石关系清

楚,部分变质地层中的碳酸盐岩含有叠层石和藻类化石,如山西的滹沱群、中条群和辽宁的辽河群等,这类变质地层研究难度不大。但由于岩石大都不适合做同位素定年,定年的难度较大。辽河群由于南区和北区岩相变化大,造成对比上的争议。也有一部分古元古代变质地层成层无序,构造复杂,并有强烈的花岗岩穿插,研究难度就大大增加了。

太古宙变质地层,大多数与一定量的TTG岩系或混合花岗岩或时代稍晚的各种花岗岩质岩石相伴生,有的地层岩石曾经受过不同程度的深熔作用,变质地层的变质程度大都高达角闪岩相至麻粒岩相,有的又进一步遭受后期退变质作用,岩性变化大,加上各种褶皱构造、多次形变以及韧性剪切作用的叠加改造,已非原始的地层面貌。变质地层大多显示成层无序,或无层无序,呈透镜状、条带状等大小不一的岩片产出,层位不连续,顶底界线和层与层之间的关系不清。组成这些地层的变质岩均缺乏化石证据,地层时代只能依靠同位素年龄加以确定。总之,地层遭受的构造特别复杂,岩性变化很大,要弄清其产出原貌,恢复其原来地层层序,困难极大。在太古宙变质地层中,这种情况占有一定比例。在造山带中分布的前寒武纪地层,由于构造复杂,常呈岩片状产出,多个岩片被构造叠置,难以建立完整的地层顺序。有的岩片中有较年轻的岩片挤入,更增加其复杂性和研究难度。

3 早前寒武纪变质地层的研究思路和工作方法

在正确认识早前寒武纪变质地层特别是太古宙变质地层的复杂性和研究难度的基础上,总结以往对早前寒武纪变质地层研究的教训,并吸取国外同类地层研究的先进经验,对今后的研究思路和工作方法十分必要。在学术思路,要打破单纯以地层学原理研究的思路,应以岩石学、地层学、构造学和同位素年代学为基础进行多学科综合研究,加上多种地质事件为依托,才是当前的最佳途径。对不同的变质地层,破解的关键问题往往不相同或各有侧重,就要相应加强有关学科的研究工作,地层学、构造学和岩石学必须三位一体,相辅相成,最后辅以正确的同位素年代测定,才能取得较好的效果。但也确有一些地层无层无序,难以建立地层层序,对此也不要勉强,可应用岩石构造年代格架加以限定。

在研究构造复杂的变质地层时,第一步应是构造先行,采用构造解析法解决变质地层的褶皱性质、多次变形特征、构造形迹的多样性、地层构造缺失或重复等一系列与正确判别地层顺序有关的关键问题。这方面前人已做过许多深入的工作,有许多经验可参考(汤家富, 1983; 刘如琦等, 1986, 1990; 马杏垣等, 1987; Passchier *et al.*, 1990; 索书田等, 1987; 白瑾等, 1990; 徐朝雷, 1990; 房立民等, 1991; 李勤等, 1992)。在研究构造的同时,应及时区分变质岩的岩石类型、岩石组合和组合的相互关系、是否有标志层存在以及变质程度在局部是否倒置等,以配合构造问题的解决。由此可见,构造解析也是离不开岩石学研究的。在高级变质杂岩区进行岩石单位划分时,研究构造的同时还应重视岩石再造作用的研究(杨振升, 1992)。有的人已注意到应用构造岩片填图(侯立玮等, 1995)。

地层叠置律和瓦尔特相律是显生宙地层研究中的重要原则,在地层连续、成层有序、构造简单的早前寒武纪变质地层中完全可以应用,但在复杂的早前寒武纪变质地层研究中将受到极大的限制,化石层序律则完全无法应用。

4 早前寒武纪变质地层单位岩群、岩组和杂岩的划分问题

关于早前寒武纪变质地层的岩石地层单位岩群、岩组和杂岩的含义和具体划分,在全国地层委员会审定通过并正式出版的《中国地层指南》(修订版)一书中已做了明确的规定。本文着重讨论岩群、岩组和杂岩的定量划分问题。

群和岩群都是地方性地层名词,属特殊的岩石地层单位,相当于正式岩石地层单位的“系”。岩组是相当于“统”的岩石地层单位。群与岩群、组与岩组之间最大的区别在于前者地层成层有序,而后者是成层无序。但在实际工作中会发现,有一些相当群或组的岩石地层单位,一部分成层有序,一部分成层无序。命名时各人掌握的标准不同,会出现不同的命名。建议尽量采用定量的概念,即在一套岩系中如有 $\geq 50\%$ 的地层为成层无序,方可命名为岩群或岩组。关于岩群和岩组的英文译名,王鸿祯先生建议用 group_complex 和 formation_complex,已列入中国科学院名词审定委员会审定的《地质学名词》一书中,在编制前寒武纪地层典时亦已采用。国内学者对此容易理解,但国外学者不一定清楚,这样的复合词在国外刊出的地层指南中从未出现过。今后是否有更好的译名与国际接轨,需进一步研究。

关于杂岩,《中国地层指南》(2001)中有如下描述:“杂岩是一种特殊的岩石地层单位,它是一套厚度巨大、常不见底、由各种不同类型的一种或数种岩类(沉积岩、火成岩、变质岩)构成的岩石复合体(注:变质岩区主要为各种变质岩),并以不规则混合的岩性或极为复杂的构造关系为特征,以致组成岩石的原始层序模糊不清,难以对其中的单独岩石或岩石层序进行划分与填图。杂岩可作为正式岩石地层单位名称的一部分。”萨尔瓦多主编的《国际地层指南》中对杂岩也有类似的描述。由火成岩和变质岩构成的岩石复合体,其各自的比例是多少,在定义中无明确规定,每个人具体观察和划分时,尺度也不一样。故建议当变质地层含量 $\geq 40\%$ 时,命名为片麻岩(或片岩-片麻岩杂岩)杂岩,前面加上变质地层所在的地理名称;如变质地层含量少于40%而以火成岩为主时,应称为花岗杂岩(或岩浆杂岩),不作为一个岩石单位列入岩石地层。这样可避免将基本上为岩浆杂岩的岩层归入变质地层中。

5 不整合的研究

变质地层中的不整合有不同的级别,有的产生于两大地层时代之间,有的只发生于群或岩群之间,还有的间断只发生在更小的范围中,它们的正确厘定对划分大时代以及次一级的地质旋回和阶段均具有重要意义。目前已确定的区分两大地质时代的不整合已有若干处,如古元古代辽河群与新太古代鞍山群之间具有明显的不整合,辽河群下部的浪子山组底部砾岩不整合在鞍山群含铁岩系之上(有的地段为断层接触),山西五台山地区的滹沱群下部豆村亚群的四集庄组变质砾岩和石英岩不整合于五台群之上,有的地方则是较高层位的大石岭组与五台群直接不整合接触。山西古元古代的中条群与上覆古元古代担山石群和下伏的绛县群均呈不整合接触。还有不少岩群之间,最初研究时认为有不整合,但进一步研究之后,又提出不同看法,如众所周知的五台群与阜平岩群之间的铁堡不整合,经过近年来一些学者的研究,认为不是不整合而是韧性剪切带(李江海, 1991)。近年来对划归阜平群的龙泉关群又提出新的对比方案。对冀东朱杖子群(青龙河群)与双山子群之间的不整合,也有较

大争议。分布于山西大同至浑源一带的集宁群孔兹岩系覆盖于桑干杂岩之上,不少学者认为其间是一个重要的不整合界面,孔兹岩系是代表古老基底之上的第一个盖层(董启贤等, 1984; 钱祥麟, 1987; 赵宗溥等, 1993; 吴昌华等, 1994); 贺高品等(1991)、卢良兆等(1996)认为二者之间存在数公里宽的过渡带,不存在不整合接触;笔者认为其间原为不整合接触,后又经构造改造,增加了其复杂性。总的看来,古元古代变质地层和新太古代变质地层之间的不整合已在不少地方被发现,有的已被确认,有的尚在争论中,但更多的变质地层中是否存在不整合,还不清楚。迄今为止,新太古代和中太古代之间的不整合只在辽宁东鞍山地区被发现:新太古代鞍山群含铁建造不整合于中太古代的东鞍山花岗岩之上,已有详细报导(伍家善等, 1998)。中太古代和古太古代变质地层之间的不整合,迄今尚未发现。新太古代变质地层和古元古代变质地层群(岩群)级岩石地层单位内部的不整合或假整合以及其他地质间断非常多,有的已被确认,有的还存在争议,这需要不断深入研究,才能逐步解决。不同级别的不整合配合各种事件如岩浆、变质和构造事件的研究,对解决太古宙与古元古代之间、太古宙和古元古代内部不同旋回和阶段的划分及其演化具有十分重要的意义。

关于不整合的具体鉴定,一定要在野外仔细观察,排除各种构造(推覆、逆冲、韧性剪切)造成的假象,注意不整合面上下岩层岩性、变质程度和产出状态的差别并判别真假砾岩等等,掌握充分的证据。

6 鉴定变质地层中岩石的原岩类型、岩石性质和恢复古环境

古元古代变质地层中的岩石类型一般比较简单,变质不深,沉积时的各种特征保存较多,古沉积环境的恢复相对容易。而太古宙变质地层的岩石类型较多,变质较深,原有岩石的沉积或喷发特征保存较少或者完全改变了原来的面貌,一定要仔细观察再观察,尽可能地收集野外有关证据,特别是变沉积岩中保存的各种宏观沉积特征,如层理、韵律性层理、各种砾状岩石、不同岩石互层和相变等。特别要注意的是有些未变质的侵入火成岩,在岩浆结晶过程中会形成规则的层状构造或矿物韵律性的变化,它与沉积层特别相似;有些火成岩因强烈变形而容易变成层状构造发育的片麻岩,要仔细加以鉴别。这方面可参考帕斯赫尔等著的《高级片麻岩区野外工作方法》(朱志澄等译)一书。在显微镜下要注意鉴别变余泥状结构、变余粉砂状和砂状结构、变余砾状结构等,对碳酸盐岩要注意是否有变余鲕状结构等等。对于变质火山岩,在野外宏观上要注意收集残余的喷发特征如火山碎屑、火山角砾、枕状构造、气孔构造及其充填物、变火山岩岩层层序及其与沉积岩的关系等。在显微镜下要仔细观察是否存在变余辉绿结构、变余斑状构造、气孔构造、变余交织结构、变余嵌晶含长结构等。根据详细的野外宏观观察和显微镜下的详细研究,做出初步判别,然后选择合适的岩石化学和微量元素及稀土元素等地球化学图解加以综合研究,一般会得出较好的结果。如不重视野外观察和室内详细的显微镜观察,单纯依靠岩石化学和地球化学图解,有时会得出不确切的判别结果。不同的地球化学判别图解也会出现矛盾,更需要将野外和室内的研究结果相互对照。选择合适的图解也十分重要,特别是深变质岩类,如已蚀变或存在交代作用等现象,最好不用或少用以活动元素配对组成的图解。

7 正确区分变质地层和 TTG 岩系及其他变质深成岩

变质岩石地层单位应由变质表壳岩组成。表壳岩主要包括变沉积岩和变火山岩, 不包括 TTG 岩系和其他变质深成岩。以往由于对变质深成岩(包括 TTG 岩系)认识不够, 常常以“副片麻岩”或“混合岩”的面貌将其归入变质岩石地层单位中, 有的占变质地层的一半甚至更多。近年来, 由于对变质深成岩如 TTG 岩系等的含义、野外识别方法等有了更多的了解, 在新一轮 1:5 万和 1:25 万图幅区调中, 已重视这一问题并重新进行了划分。但尚有不少地区未开展新一轮的 1:25 万区调, 仍在使用旧的 1:20 万图幅, 其中变质岩石地层单位的划分, 尚来不及加以修正。

关于混合岩和混合岩化作用, 程裕淇曾经多次论述(程裕淇等, 1982; 程裕淇, 1986), 他把混合岩分为区域性的混合岩和花岗质岩体边部的边缘混合岩, 相应地把混合岩化作用分为区域性混合岩化作用和边缘带混合岩化作用。与变质地层关系较大的是区域混合岩化作用及其形成的混合岩和混合花岗岩。程裕淇 1986 年提出的区域混合岩化作用的定义是: “它是在区域变质作用的基础上进一步发展的结果。在区域变质作用后期或一定阶段之后, 地壳内部热流继续上升或大量上升, 导致了区域变质岩石的熔融, 并使其经受伴生的构造控制, 使这些岩石遭受以碱金属为主的交代作用和伴生的一些其他作用, 还有局部的熔融。最终在温压较高、演化又极为复杂的一定时空范围内, 它们改造成成为属于混合岩系列的岩石(其中往往包括了混合花岗岩)。这个过程可统称为区域混合岩化作用, 也大致属于北欧的超变质作用范畴”。区域混合岩化作用既有重熔成因, 也有交代成因。这一作用形成的混合岩和混合花岗岩的主要特点有以下几方面: 与变质岩呈渐变过渡; 混合岩化变质岩、混合岩和混合花岗岩呈混合程度由浅至深的分带现象; 混合岩中至少保留有 $\geq 50\%$ 的原岩组分; 混合岩和混合花岗岩与被混合岩化的花岗岩在岩石成分、稀土元素和微量元素地球化学特征等方面有继承性和渐变性; 混合花岗岩一般不具岩相分带, 由于其改造强烈, 外貌和成分特征都已相当于花岗岩的范畴。混合花岗岩一般不能作为岩石地层单位处理, 应单独分出, 成为新的岩石单位。

TTG 岩系或岩套是奥长花岗岩(trenhdjemite)、英云闪长岩(tonalite)和花岗闪长岩(granodiorite)的组合系列, 3 种岩石中, 英云闪长岩最多, 奥长花岗岩较少, 花岗闪长岩有时也较多, 它们往往共生在一起, 是太古宙高级变质区(麻粒岩-片麻岩区)最为常见的一种深成侵入岩体, 在片麻岩中占较大比例。它与区域变质岩伴生, 形成时代稍晚于区域变质岩, 是特定构造环境下的产物。国内外已有许多学者进行了深入的研究, 由于文献太多, 不一一列举。要在早前寒武纪变质地层中区分出 TTG 岩系和其他变质深成岩类, 首先在指导思想上要认识到这类岩系在古老地体中存在的客观性, 同时要在地质特征上与混合花岗岩区别开来, 对扩大的混合岩加以限制; 其次要掌握 TTG 岩系的基本地质特征和野外与室内的先进工作方法。TTG 岩系, 在野外常显示区域性片麻理。如果是层状体, 区域性片麻理与变质表壳岩产状一致或只是局部不一致; 如果 TTG 为穹隆状体或卵形体, 其本身可存在复杂的与卵形相一致的片麻理, 它与变质表壳岩的接触处一般不具接触变质带, 在岩体的转折端常可见到不协调的隐蔽侵入接触, 只要仔细观察即可辨别出来。据李勤等(1992)研究, 当岩体岩石单位接触界线的展布方向与片麻理方向呈高角度斜交时, 边界常常被改造转换

成“指状”或“锯齿状”,但岩体边界线的包络线与区域片麻理斜交。在岩体中或边部常见有多少不等的变质表壳岩捕虏体,它不具混合岩和混合花岗岩中所见的残留体特征。捕虏体中有时见有与岩体中区域片麻理不一致的残余片麻理。捕虏体边部有的因受岩体影响而产生退变现象。岩体岩石在显微镜下有时可见有原生的半自形花岗粒状结构至变余的半自形花岗变晶结构,进而形成镶嵌粒状变晶结构,组成一个完整的结构演化系列。变晶斜长石中,局部残留有不完整的连续环带或韵律性环带和卡-纳联合双晶等。太古宙 TTG 岩系岩石在 Q-A-P 火成岩分类图上位于 Q-P 线一侧的英云闪长岩区,部分位于花岗闪长岩区。在 O'Connor(1965)的 An-Ab-Or 三角图上,岩系的三类岩石分别位于英云闪长岩区和奥长花岗岩区,少量位于花岗闪长岩区。在 K_2O-Na_2O-CaO (或 K-Na-Ca) 三角图解中,低钾的 TTG 岩系位于奥长花岗岩系列线的两侧,靠近 Na_2O 附近。在 AFM 三角图解中,TTG 岩浆具有钙碱性特征。奥长花岗岩和英云闪长岩主要由奥长石(40%~60%)、石英(25%~35%)和黑云母(5%~10%)组成,有时可出现角闪石(0%~5%)和钾长石(0%~5%)。岩系随着岩类的不同, SiO_2 含量可有一定变化。Martin(1994)利用 335 个样品,测得 SiO_2 含量平均值为 69.79%,Condie(1981)统计的平均值为 69.66%,Barker(1979)统计的平均值为 68%~75%, Al_2O_3 一般都大于 15%,均属高铝型,以低 K_2O 和高 Na/K 比值为特征。微量元素中,Sr 富集,Rb/Sr 比值低($0.05 < Rb/Sr < 1.0$,平均 0.12)。太古宙 TTG 岩系具明显的负 Nb-Ta 和 Ti 异常,P 为负异常,过渡元素 Ni、Cr 和 V 的含量均低。重稀土元素含量低,轻重稀土元素强烈分离,稀土元素曲线在重稀土元素端呈凹形。重稀土元素明显亏损,负铕异常不明显。不活动元素如 La-Zr、P-Nb、Yb-Y 之间的相互关系在 Zr-La、Nb-Zr、Yb-Y、 P_2O_5-La 、Y-Nb、 SiO_2-La 等相关图上可显示不同程度的相关关系。有些太古宙岩体的 I_{Sr} 值较低(从 0.701 至 0.703), ϵ_{Nd} 值从 +4 至 -3,显示太古宙地幔具不均一性(Martin, 1994)。许多学者认为,TTG 岩系是由富含石榴石的斜长角闪岩经部分熔融分出的岩浆形成,但也有不同看法。根据 Rapp 等(1991)的实验研究,认为此种岩浆形成的压力条件为 0.16~0.22 GPa,相应的深度为 55~70 km。

由以上论述可知,混合花岗岩与 TTG 岩系的岩性特征、产出状态、形成方式和条件等都不相同,只要在野外从宏观上认真细致地观察,加上详细的室内岩相学和地球化学研究,不难加以区别。形成时代稍晚一些的花岗质岩类,一般侵入特征清楚,岩浆岩的岩相学特征和产出状态比较容易与变质地层相区分,其岩石化学和地球化学特征也与 TTG 岩系有明显差别(Martin, 1994)。但在填图时,在早前寒武纪变质岩分布区,应用同源岩浆演化理论为依据对单元、超单位进行划分时,要特别慎重(杨崇辉等, 2001)。

8 变质地层时代的确定

变质地层时代的确定,对全国和区域性的地层对比、古老地体的地质演化研究都是非常重要和不可缺少的。古元古代变质地层的碳酸盐地层中赋存有具时代意义的叠层石和古藻类化石,但尚不足以确定其精确时代。太古宙变质地层中缺乏化石作为时代依据,因此,早前寒武纪变质地层时代的确定主要依靠同位素定年。要做好这项工作,一定要从以下 3 个方面入手:①合理选择测年样品;②合理选择同位素测年方法;③合理进行综合解释。笔者在《太古宙地层研究中应该注意的几个问题》一文中,已对上述第 2 和第 3 方面做了较详

细的论述,这里仅就同位素年龄样品的合理选择和有关问题做一些补充。

在变质地层中,同位素定年的全岩和锆石样品的选取是同位素定年研究中一项最基础性的工作。取样的合适与否将直接影响年龄的测定结果。什么样的样品适用于何种同位素定年,一定要做到心中有数,才能事半功倍。变质地层中有各种沉积岩和火山沉积岩,变质后形成各种片麻岩、片岩、石英岩和碳酸盐,还有各种变火山岩。用于全岩 Rb-Sr 或 Sm-Nd 等时年龄测定的样品,要求同时、同源,而且要在一个小范围内系统采样,不宜远距离分散取样,而且一定要新鲜,没有蚀变和风化。全岩 Rb-Sr 样品的岩石类型以片麻岩和片岩较好,纯石英岩一般效果不好。由于早前寒武纪变质岩石或多或少经历过后期改造,得出的年龄偏低,大都是变质年龄。变质地层中,变质火山岩是各种同位素测年最理想的样品。例如,斜长角闪岩、角闪变粒岩、中基性麻粒岩、火山成因的黑云变粒岩,一般做全岩 Sm-Nd 同位素测年比全岩 Rb-Sr 等时线更好一些,有时会获得原岩年龄。在古老变质地层岩石中用全岩 Sm-Nd 测年的同时,要选取同类样品中的锆石进行离子探针测定,而且以锆石测年结果为准。对于沉积泥岩,利用 Rb-Sr 法测定其自生矿物年龄,了解沉积岩形成时间是非常有前景的方法(张宗清, 2000),但早前寒武纪变质地层中的泥质岩都已变质,自身矿物已变为绢云母、绿泥石、黑云母等,因而难以获得原岩年龄,得到的大都是变质年龄。前寒武纪变质地层中还有一些厚度较大、分布很广的大理岩,有的地质学家采取全岩样品,尝试用全岩 Rb-Sr 法和 Pb-Pb 法测定其年龄,效果都不好,但在新元古代地层的碳酸盐岩石中采用不纯的碳酸盐岩石,曾有获得成功的报道。该方法目前在早前寒武纪地层中尚未有成功的例子。

采取锆石作为定年样品是目前最成功的,但采自各种变沉积岩的锆石样品大都是继承性锆石,包括搬运、沉积和变质等不同时期的各类锆石,利用此种锆石定年,会获得多种定年数据,难以获得原岩年龄,一般只能得出变质年龄或变质岩石形成时的上限年龄。各种浅变质火山岩中获得的锆石,除少数可能属继承性锆石外,大多数是原岩形成时的锆石,可测得原岩年龄。因此,在测定前要对锆石进行详细深入的岩石学、成因矿物学和阴极发光方面的研究,事先加以区别,以利于最后对测定结果的解释。选取锆石样品时,事先一定要在薄片仔细观察锆石的粒度大小和赋存状态,合理选择碎样的粒度,保证岩石中有代表性的锆石能分选出来并尽可能保持其晶形完整,以利于测定。在挑选锆石时,如发现颜色暗黑、透明度低而且裂纹较多者,说明其已遭受脱晶化,要予以剔除。

在不少情况下,变质地层虽分布较广,但岩石变质较深或蚀变强烈或岩性单一,难以直接取得合乎要求的测年样品,因此,应以变质事件、岩浆事件和构造事件为依托,除尽可能在变质地层组成岩石中采取不同类型样品外,要注意采取侵入其中的不同类型脉岩和花岗质岩石,以及覆盖其上的和下伏的岩石的样品,用不同的同位素方法做测试,获取该区的地层岩石、构造年代格架,最大限度地控制该变质地层的时限。

9 对今后工作的建议

几十年来通过广大地质工作者的努力,我国早前寒武纪变质地层的研究已取得了很大进展,基本查清了这些地层在全国的分布概貌,建立了近 300 个群级岩石地层单位,初步建立了早前寒武纪变质地层的对比框架。但由于它的复杂性和工作难度,研究程度还很低,不

少变质地层的内涵还不十分清楚,变质地层的时代尚不确切,全国的研究程度还很不平衡,有些地区早前寒武纪变质地层尚待发现或肯定。总之,研究深度与先进国家相比有一定差距,与显生宙地层的研究程度相比也有较大差距。早前寒武纪地层是克拉通基底的重要组成部分,是研究地壳早期演化的基础,为此建议今后应加大这方面的研究力度,近期研究应侧重以下3个方面:

(1) 目前尚有不少早前寒武变质地层分布区仍在用老的 1:20 万图幅,变质地层与变质深成岩混在一起,构造研究十分薄弱,原岩岩性不清,很多变质地层时代不明。应该在那些地区重测 1:25 万区调图幅,必要时辅以少数 1:5 万图幅,进行更详细的研究,科研与测图要密切结合。

(2) 对全国性和区域性具代表性的变质地层,应按其重要性分批分期地进行立典研究,建立我国早前寒武纪变质地层样板,推动面上研究水平的提高。此项工作应在“十五”期间开始,如能有若干年较稳定的实施计划,定将取得明显效果。

(3) 除不断吸取国外先进研究思路和工作方法外,对新一轮 1:25 万、1:5 万变质岩区调和代表性变质地层立典研究也要不断总结经验,将二者融合,不断修正我国高级变质岩区的填图方法,把我国早前寒武纪变质地层的研究提升到一个新的高度。

在成文过程中,曾与张寿广、耿元生、杨崇辉等同志讨论,他们提出不少有益的意见,在此深表感谢。

Reference

- Bai Jin. 1986. The Early Precambrian Geology of Wutaishan[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Bai Jin, Dai Fengyan. 1990. Judgement of tectonic setting of the early Precambrian mobile belt[A]. International Symposium of Continent Lithosphere Tectonic Evolution and Dynamics, The Third All China Tectonic Geological Conference Collect Paper(II)[C]. Beijing: Science Press, 1~9(in Chinese).
- Bai Jin, Huang Xueguang, Wang Huichu, *et al.* 1996. The Precambrian Crustal Evolution of China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Barker F. 1979. Trondhjemite: definition, environment and hypothesis of origin[A]. Trondhjemite, Dacite and Related Rocks [C]. Amsterdam, 1~12.
- Cheng Yuqi, Bai Jin, Sun Dazhong. 1982. The lower and middle Precambrian of China[A]. An Outline of the Stratigraphy in China[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1~46(in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi. 1986. On migmatites and migmatization—Half a century's recollection of certain related problems[J]. Bulletin of Chinese Academy of Geological Science, 16: 5~19 (in Chinese with English abstract).
- Condie K C. 1981 Archean Greenstone Belts[M]. Amsterdam: Elsevier, 434.
- Dong Qixian and Zhou Junchang. 1984. Stratigraphic divisions of the original Wula Mountain, Inner Mongolia[J]. Regional Geology of China, 10: 19~37(in Chinese with English abstract).
- Guo Anlin, Zhang Guowei. 1989. Archean gray gneisses in the southern margin of the north China craton and their genesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2: 18~28(in Chinese with English abstract).
- He Gaopin, Lu Liangzhao, Ye Huiwen, *et al.* 1991. The Early Precambrian Metamorphic Evolution of Eastern Hebei Province and Southeastern Inner Mongolia[M]. Changchun: Jilin University Press(in Chinese).
- Hou Liwei and Hu shihua. 1995. Preliminary application of the tectonic slice mapping method in 1:50000 regional surveys in the western Sichuan orogenic belt[J]. Regional Geology of China, 52(1): 76~80 (in Chinese with English abstract).

- Jin Wenshan, Wang Ruzheng, Sun Dazhong, *et al.* 2000. Stratigraphic Lexicon of China, The Paleoproterozoic Erathem[M]. Beijing: Geological Publishing House, 85~ 175(in Chinese).
- Laboratory of Precambrian and Metamorphic Geology. 1963. The Precambrian of China[M]. Beijing: Science Press, 1~ 88(in Chinese).
- Li Qin, Yang Zhensheng. 1992. Mapping of the High-grade Terrains—A Case with Tectono-rock-mass Unit Method in Eastern Hebei Province of China[M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Liang Yuzuo, Zhu Shixing, *et al.* 1987. Stomatolite assemblages of Late Precambrian in China[J]. Precambrian Geology, 3: 389~ 431 (in Chinese with English abstract).
- Liu Ruqi, Ma Wennian, *et al.* 1986. Tectonic style of the Archean rock group in the north-central Liaoning Province, China [A]. Proceeding of International Symposium on Precambrian Crustal Evolution[C]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Liu Ruqi, *et al.* 1990. Polyphase deformation and evolution of the early Precambrian rocks in the Anshan region, Liaoning province, China[A]. Collected Papers (II) of International Symposium on Tectonic Evolution and Dynamics of Continental Lithosphere—The Third All China Conference on Tectonics[C]. Beijing: Science Press, 23~ 34.
- Lu Liangzhao, Xu Xuechun, Liu Fulai. 1996. Early Precambrian Khondalite Series of North China[M]. Changchun: Changchun Press(in Chinese).
- Martin H. 1994. The Archean grey gneisses and genesis of continental crust[A]. Archean Crustal Evolution[C]. Elsevier, Amsterdam, 205~ 258.
- O' Connor J T. 1965. A classification for quartz-rich rock based on feldspar ratio[J]. US Geol. Surv. Prof Rap., 525B: 79~ 84.
- Rapp R P, Watron E B, Miller C F. 1991. Partial melting of amphibolite and the origin of Archean trondhjemite and tonalities [J]. Precambrian Research, 51: 1~ 25.
- Salvador A. 1994. International Stratigraphic Guide(II)—a guide to stratigraphic classification, terminology and procedure [A]. Passchier C W, Mgers J S, Kröner A. Field Geology of High-grade Gneiss Terrains[C]. Springer-Verlag.
- Shen Qihan. 2002. Some important aspects in the study of Archean stratigraphy[J]. Geology in China, 29(2): 113~ 116(in Chinese with English abstract).
- Shen Qihan, Geng Yuansheng, Liu Guohui, *et al.* 1996. Stratigraphical Lexicon of China, The Archean Eonothem[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Wang Kaiyi, Yan Yuehua, Chen Yifei. 1983. Geochemistry of the tonalite-granodiorite rocks from Qian'an county, eastern Hebei province[J]. Scientia Geologica Sinica, 4: 363~ 370 (in Chinese with English abstract).
- Wu Changhua, Gao Yadong, Mei Hualin, *et al.* 1994. Structural features and unconformity arguments between the Khondalite suite and the granulite complex in Huangtuyao area, Inner Mongolier, China[A]. Geological Evolution of the Granulite Terrain in North Part of the North China Craton[C]. Beijing: Seismological Press, 145~ 156 (in Chinese with English abstract).
- Yang Chonghui, Zhuang Yuxun, Wang Xinshe, *et al.* 2001. The mapping method of lithodemic units of intrusive rocks[J]. Geological Review, 47(5): 482~ 486 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhensheng. 1992. Petrological reworking and lithogenetic unit of high-grade rocks[J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 22(special issue of metamorphic tectonics): 1~ 14 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Shixing, *et al.* 1985. Discussion on the age of the Hutuo Group based on stromatolite of Taihang Range[J]. Precambrian Geology, 2: 51~ 88 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白瑾. 1986. 五台山早前寒武纪地质[M]. 天津: 天津科学技术出版社.
- 白瑾, 戴凤岩. 1990. 早前寒武纪活动带构造环境的鉴定[A]. 国际大陆岩石圈构造演化与动力学讨论会——第三届全国构造地质会议论文集(II)[C]. 北京: 科学出版社, 1~ 9.

- 白瑾, 黄学光, 王惠初, 等. 1996. 中国前寒武纪地壳演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 程裕淇, 白瑾, 孙大中. 1982. 中国的下、中前寒武系[A]. 中国地层概论[C]. 北京: 地质出版社.
- 程裕淇. 1986. 有关混合岩和混合岩化作用的一些问题——对半个世纪以来某些基本认识的回顾[J]. 中国地质科学院院刊, 16: 5~19.
- 董启贤, 周俊昌. 1984. 内蒙古乌拉山区原乌拉山群地层划分新议[J]. 中国区域地质, 10: 19~37.
- 杜汝霖. 1995. 略述前寒武纪地质学发展的历史和现状[A]. 地质学史论丛[C], 3.
- 房立民, 杨振升, 李勤, 等. 1991. 变质岩区 1:5 万区域地质填图方法指南[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 郭安林, 张国伟. 1989. 华北陆块南缘太古宙灰色片麻岩及其成因[J]. 岩石学报, (2): 18~28.
- 贺高品, 卢良兆, 叶慧文, 等. 1991. 冀东和内蒙古东南部早期前寒武纪变质作用演化[M]. 长春: 吉林大学出版社.
- 侯立玮, 胡世华. 1995. 构造岩片填图法在川西造山带 1:5 万区调中的初步实践[J]. 中国区域地质, 52(1): 76~81.
- 金文山, 王汝铮, 孙大中, 等. 1996. 中国地层典——古元古界[M]. 北京: 地质出版社.
- 李江海, 钱祥麟. 1991. 太行山段龙泉关剪切带研究[J]. 山西地质, 6(1): 17~29.
- 李勤, 杨振升. 1992. 高级变质岩区填图方法——冀东地区构造岩石法填图研究[M]. 北京: 地质出版社.
- 梁玉左, 朱士兴, 等. 1987. 中国晚前寒武纪叠层石组合[J]. 前寒武纪地质, (3): 389~431.
- 刘如琦, 马文念, 等. 1986. 中国辽宁省中北部太古宙岩群的构造样式[A]. 国际前寒武纪地壳演化讨论会论文集(第1集)[C]. 北京: 地质出版社.
- 刘如琦, 游振东, 索书田, 等. 1980. 河南嵩山前震旦岩群的变形变质史[J]. 中国科学(中文版), (3): 267~276.
- 卢良兆, 徐学纯, 刘福来. 1996. 中国北方早前寒武纪孔兹岩系[M]. 长春: 长春出版社.
- 马杏垣, 白瑾, 索书田, 等. 1987. 中国前寒武纪构造格架及研究方法[M]. 北京: 地质出版社.
- 马杏垣, 蒋阴昌, 尉葆衡, 等. 1957. 五台山区地质构造基本特征[M]. 北京: 地质出版社.
- 马杏垣, 索书田, 游振东, 等. 1981. 崂山构造变形[M]. 北京: 地质出版社.
- 帕斯赫尔 C W, 迈尔斯 J S, 克勒内尔 A, 朱志澄, 张家声, 游振东, 译. 1992. 高级片麻岩区地质工作方法[M]. 地质出版社, 153.
- 前寒武纪变质岩研究室(程裕淇, 王日伦主编). 1963. 中国的前寒武系[M]. 科学出版社.
- 钱祥麟, 等. 1987. 华北克拉通太古宙麻粒岩带的构造事件及其意义[A]. 国际大陆岩石圈构造演化与动力学讨论会——第三届全国构造会议论文摘要[C].
- 全国地层委员会. 2001. 中国地层指南及说明书(修订版)[M]. 北京: 地质出版社.
- 萨尔瓦多 A. 1995. 国际地层指南——地层分类、术语和程序[M]. 中国科学院南京地质古生物研究所翻译并出版.
- 沈其韩. 2002. 太古宙地层研究中应该注意的几个问题[J]. 中国地质, 29(2): 113~116.
- 沈其韩, 耿元生, 刘国惠, 等. 1996. 中国地层典——太古宇[M]. 北京: 地质出版社.
- 索书田, 游振东, 韩郁箐, 等. 1987. 我国前寒武纪变质岩的构造特征[J]. 地球科学, 12(5): 434~452.
- 汤家富. 1983. 变质岩层形变特征与变质地层研究——兼论构造地层法[J]. 中国区域地质, (4): 121~130.
- 王凯怡, 阎月华, 陈翼飞. 1983. 冀东迁安英云闪长岩-花岗闪长质片麻岩的地球化学[J]. 地质科学, (4): 363~370.
- 王日伦, 等. 1952. 五台山五台纪地层的新见[J]. 地质学报, 32(4): 325~365.
- 吴昌华, 高亚东, 梅华林, 等. 1994. 内蒙古黄土窑地区孔兹岩系与麻粒岩的构造特征及不整合接触关系[A]. 华北克拉通北部麻粒岩地体的地质演化[C]. 北京: 地震出版社, 145~156.
- 伍家善, 耿元生, 刘敦一, 等. 1998. 鞍山群铁建造与东鞍山花岗岩沉积不整合的厘定[A]. 华北地台早前寒武纪地质研究文集[C]. 北京: 地质出版社, 83~91.
- 徐朝雷. 1990. 中浅变质岩区填图方法——五台山区构造-地层法填图研究[M]. 太原: 山西科技出版社.
- 杨崇辉, 庄育勋, 王新社. 2001. 关于“侵入岩谱系单位填图方法”有关问题的讨论[J]. 地质论评, 47(5): 483~486.
- 杨振升. 1992. 高级变质岩区岩石再造作用与岩石单位划分[J]. 长春地质学院学报(变质构造专辑): 1~14.
- 张宗清. 2000. 同位素年代学方法的应用和限制[A]. 岩石圈研究的现代方法[C].
- 赵宗溥, 等. 1993. 中朝准地台前寒武纪地壳演化[M]. 北京: 科学出版社.
- 朱士兴, 等. 1985. 从太行山区的叠层石论溱沱群的时代隶属问题[J]. 前寒武纪地质, (2): 51~88.