

蛇绿岩研究历史和现状

王 懿 圣

(地质矿产部西安地质矿产研究所)

一、蛇绿岩含义的演变

本世纪初,德国地质学家Steinmann(1905)研究了阿尔卑斯造山带,他指出,该地蛇纹岩、细碧岩及燧石岩普遍相伴产出,遂称之为“三连体”(Trinity)或蛇绿岩套(Ophiolite Suite)。1927年,在第十四届国际地质大会上,施氏发表了《地中海山脉的蛇绿岩带》一文,把该地区的蛇绿岩作了概括:

(1)其产出呈现非常清楚的带状分布;

(2)在蛇绿岩套中,从下到上超基性岩、辉长岩、辉绿岩、枕状熔岩及燧石岩具有清楚的层状序列。

按施氏的概念,蛇绿岩组成部分有超基性岩(包括方辉橄榄岩、二辉橄榄岩、纯橄岩),基性岩(包括辉长岩、辉绿岩、基性熔岩),深海沉积物(硅质岩、泥岩、石灰岩)。不过,近来对“三连体”似有修正,内容可以不包括硅质岩等深海沉积物。

1.1972年,美国地质学会召开了Penrose蛇绿岩讨论会,会上对完整的蛇绿岩层序定义为:

基性火山岩(常呈枕状)

渐变过渡

基性席状岩墙杂岩

奥长花岗岩 } 高层位的侵入物

辉长岩 }

橄榄辉长岩 }

辉石岩 } 层状堆晶岩

橄 榄 岩 }

方辉橄榄岩,通常具蛇纹石化,有时为二辉橄榄岩、纯橄岩
及铬铁岩,具有变质的构造化组构

2.1973年由 Gary 等编著的《Glossary of Geology》及1976年在美国出版的

《Dictionary of Geological Terms》,在Ophiolite条款下都解释为:“镁铁质与超镁铁质火成岩岩石组合,岩石种类自细碧岩与玄武岩到辉长岩与橄榄岩,……岩石中富于经后期变质作用派生出来的蛇纹石、绿泥石、绿帘石与钠长石等矿物,……其成因与地槽发育早期阶段有联系。”

从以上两个定义来看,都不把其上的深海沉积物纳入到蛇绿岩的组成部分中来。这样把蛇绿岩限定到一套岩浆岩组合,以便深入研究与深部地质相联系的岩浆演化过程和成岩机制,也许更合理些。此外,不强调含放射虫硅质岩的存在,意味着蛇绿岩可生成于多种构造环境,其时代也不仅限于寒武纪以来。事实上,与蛇绿岩共生的往往有深海沉积物,主要有硅质岩,也有砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩、石灰岩等,它们或者覆于基性枕状熔岩之上,或者与枕状熔岩呈互层交替出现。Penrose讨论会上所列出的为一完整层序,但在构造复杂地区层序中可能缺失某个岩石单位,也可能岩石层序上有变动,因而有人称之为“不完整的蛇绿岩”,或“破碎的”或“肢解的”蛇绿岩。

通过以上蛇绿岩术语的演变过程及准确含义,可总结为:

(1)蛇绿岩有一定的岩石组合和层序,其层序可能完整,也可能残缺不全;

(2)其岩石成员有超基性岩类蚀变来的蛇纹岩,基性岩类变质产物为绿片岩相及角闪岩相,生成绿泥石、绿帘石、透闪—阳起石等变质矿物,外观常呈绿色。意译为“蛇绿岩”,也有音译为“奥菲奥岩”的,但不是一种岩石类型,也不是一个填图单位。

二、蛇绿岩生成地质构造环境和模式

根据传统的槽台观点,认为“奥菲奥岩”是在优地槽发育早期阶段形成的,先后提出了岩浆说和火山说。岩浆说认为在优地槽发育的早期阶段,在同一岩浆房中产生出超基性岩浆和基性岩浆,沿着深断裂依次喷发和侵入,乃组合形成蛇绿岩。它强调蛇绿岩原地生成,被称为固定论。岩浆说诞生于上世纪末至本世纪初,至今仍有一定影响。其根据是:

(1)各类岩石具有火成面貌;

(2)各岩石成员之间呈逐渐过渡;

(3)岩浆原始成分 是玄武质的。

不足之处是,超基性岩体与其围岩之间缺乏证据确凿的高温接触带,或接触带范围甚窄;而且,有的岩体同位素年龄值老于围岩。

火山说认为,蛇绿岩是海底喷发巨大体积玄武岩浆而成的。熔浆海底喷发,其表面很快冷却成一基性熔岩外壳,“袋子”内部则逐渐结晶,由于重力分异而生成蛇绿岩层序。自五十年代以来,Dubertret (1952)、Brunn (1961)、Aubouin (1965) 都有过类似想法。对火山说的反对意见则认为,蛇绿岩套中超基性岩和基性岩不是同一种原始岩浆分异的结果;实验岩石学的资料表明,超基性岩和辉长岩是在高温高压下结晶的,其与熔岩构成同一个剖面,说明岩浆房深度很小,这显然是矛盾的;厚达10公里甚至更大的玄武岩浆不可能在短时间内一涌而出;蛇绿岩与下伏岩石呈构造接触而不是喷发接触。

稍后的地幔说认为：蛇绿岩层序最下部的超基性岩原先是“地幔块”，或者是在很大深度上凝固的侵入岩体，后来经构造作用进入到地壳中来的。辉长岩则是在进入过程中被带上的壳下玄武岩经交代而成的；或是较晚期的基性岩浆侵入体。甚至还有人认为，辉长岩是在高温条件下（上地幔或下地壳）由超基性岩产生的交代产物。但地幔说难以解释的是，为什么“地幔块”总是侵入到特定的岩浆活动和火山—沉积作用地区；为什么蛇绿岩层序总是有规律地重复出现。

板块构造理论出现以后，一般认为蛇绿岩形成于增长的大洋板块边缘，即洋脊扩张带；构造侵位于消亡的（或转换的）板块边缘，即消减带上或缝合带上。与这一理论相适应，提出了蛇绿岩成因的“地幔—岩浆说”，其模式为：洋脊扩张时，地幔岩成分的物质沿扩张裂隙上涌，同时发生玄武质岩浆的部分熔融，这种基性岩浆在岩浆房中不断分异和固结，就依次形成海底喷发的基性熔岩、贯入的席状岩墙，以及堆晶的层带状超基性、基性杂岩，分异的终端产物还有浅色岩类（奥长花岗岩、闪长岩等），而残留下来的地幔物质则为方辉橄榄岩、纯橄岩。其依据是，（1）层序下部的超基性岩类有复杂变形，而其上的堆晶层带状杂岩以及玄武岩类则未有变形，说明二者曾有过间断；（2）层带状杂岩中具有典型的堆晶结构，层序由下而上橄榄石递减而单斜辉石和斜长石渐增，甚至出现斜长岩。微观上矿物成分也具有隐蔽变化；（3）如果有多次频繁的新鲜岩浆补充到岩浆房中，则宏观上堆晶层序可具韵律性变化。例如希腊的沃里诺斯杂岩和土耳其的安塔利亚杂岩（Juteau等，1979）就是如此；（4）蛇绿岩层序与现代大洋岩石圈四层构造惊人地相似。Greenbaum（1972）单一岩浆房模式，形象地描述了大洋岩石圈发生、演化和形成的全过程，最后成为巨大岩片推覆到大陆褶皱带中，保存下来而成蛇绿岩层序，被称为活动论。其与下伏地层呈构造侵位，或称“冷挤入”，所以缺乏高温接触变质。近年来发现许多新的地质事实，包括超基性岩体同位素年龄远大于其围岩年代，使地幔—岩浆说为愈来愈多的人所接受。

主张“地幔—岩浆说”并不完全排除有熔融状态的超基性岩浆存在。有人强调有高温的橄榄岩浆，与围岩可产生热变质，这可能是从岩浆房中分异出的部分超基性岩浆，也可能是地幔残留物质进一步熔融的结果。

蛇绿岩不仅限于产生在扩张的大洋中脊。六十年代末，Challis（1969）等人首先提出了蛇绿岩的岛弧成因。七十年代中，都城秋穗（1977）在研究了日本和其它的一些蛇绿岩后，也主张蛇绿岩可以产于别的构造位置，尤其是岛弧。蛇绿岩可形成于多种地质环境，包括边缘海、岛弧、洋岛等。例如，Capedri（1980）研究了希腊品都斯蛇绿岩的地球化学，就认为它是岛弧—边缘海环境形成的。Пейве等（1977）指出有的蛇绿岩之上的碎屑沉积物中往往有大量硅铝质碎屑物，而这在现代大洋盆地中是不常见的，因而认为，这些蛇绿岩外来体不是产于大洋盆地，而是产于具大洋型地壳的其它类型构造中，例如裂谷带、内海或边缘海。Зоненшайн（1976）认为有两种类型蛇绿岩，第一类以特罗多斯、塞麦尔、汗—泰锡尔为代表，层序典型；第二类以乌拉尔、中亚、乔伦山为代表，层序上没有席状岩墙，超基性岩中有大量含单辉的岩石。故他也得出结论：蛇绿岩有不同层序，正说明有各种构造环境下形成的不同蛇绿岩，这些环境包括开阔的大洋、边缘海、内海、岛弧阶（深海沟斜坡）等等。要解决蛇绿岩形成地质构造位置问题，必须注意考察区域地质构造演化历史，也不可忽略岩

三、蛇绿岩形成的地质时代

蛇绿岩作为一种特殊的岩浆岩组合,不但中生代有产出,晚古生代(苏联南天山,萨尔塔列地区有完整剖面,1978年“地壳中的蛇绿岩”国际讨论会野外地质旅行曾列为参观路线)、早古生代(苏联北天山、纽芬兰、汗一泰锡尔、塔斯马尼亚),甚至前寒武纪也有蛇绿岩产出。

郭令智等(1980)指出,“东安—雪峰期江南岛弧褶皱系”中分别产有东安期蛇绿岩套(四堡群中,同位素年龄值 >14.22 亿年)和雪峰期蛇绿岩套(板溪群中,年龄值3亿年左右)。几乎同时,乔秀夫等(1981)也指出,四堡群及桂北群中产有古蛇绿岩套,前者上限约10.63亿年,后者年龄为8.37亿年。徐光荣等(1981)亦认为鞍本地区太古界鞍山群产有蛇绿岩套,同位素年龄值为31亿年,是我国,也是世界上最老的蛇绿岩套之一。这些作者一致肯定了前寒武纪地层中有古蛇绿岩套产出。但朱夏(1982)在《板块构造与中国石油地质》的讲话稿中,趋向于板块运动开始于二叠纪、三叠纪以后,从而暗示了蛇绿岩套不应出现于古生代末以前,这是一个值得讨论的问题。据笔者等近年在新疆西准噶尔工作的结果,证实该地产出有早古生代(产于中奥陶统、中上志留统)及晚古生代(产于中泥盆统)蛇绿岩。最后一期蛇绿岩熔岩的年龄值为2.56—2.46亿年,穿过超基性岩的花岗岩年龄值则为2.39亿年,应为华力西期产物。

一般认为蛇绿岩主要是显生宙,特别是中生代以来产物,它很少变质或变质轻微。古老地层中即使有蛇绿岩产出,但由于后来变质作用等地质事件的反复叠加而使之改变了面貌。据调查,在世界各地太古代地层中分布有一种特殊的地质体,是一套厚度很大的以基性火山岩为主的火山—沉积岩组合,经受了绿片岩相变质作用,故称为“绿岩带”。绿岩带的层序是,下部为超基性岩群,主要有超基性火山岩(科马提岩),还有基性火山岩以及伴生的纯橄岩、辉石岩和辉长岩床;中部为绿岩群,多为镁铁质—长英质火山岩,以玄武岩、流纹岩为主,安山岩、英安岩少见,此外还夹燧石岩、碧玉铁质岩等;上部为沉积岩群,主要为硬砂岩—页岩组合,还有砾岩和条带状含铁建造等。这种绿岩带时代老, J. Sutton指出它形成于距今37—25亿年间,甚至更老,少数亦可延迟到20亿年前,但只限于太古代,而在晚前寒武纪和显生宙不再出现。

近年来,不少人指出绿岩带与蛇绿岩套在地质特征、岩石类型和成矿作用方面很相似,二者是相当的,如Наливкина(1977)就把别人所称的太古代绿岩带叫做蛇绿岩套,并认为在元古代地层中也有这套岩石组合。原先许多人认为,科马提岩是太古代特产,但后来在元古代、古生代、中生代甚至新生代地层中均有发现。J. Tarney在智利白垩纪地层中就找到过绿岩带。因此,从时代上把绿岩与蛇绿岩截然分开是不可取的。绿岩可以新,蛇绿岩可以老,甚至两者或许就是一而二,二而一的地质体。

确定蛇绿岩套的形成时代,一般采用地层古生物方法和同位素方法。例如,王方国等(1984)根据时空上与蛇绿岩有联系的侏罗系和顶盖沉积中含有早白垩世标准化石,从而确

定藏北湖区蛇绿岩的形成时代为侏罗纪而侵位时代为晚侏罗世与早白垩世之间。笔者等（1982）亦曾根据碳酸盐岩透镜体中的珊瑚化石，确定新疆达拉布特蛇绿岩为中泥盆世产物。同位素年龄样品以往多选取淡色岩类中的锆石，近来有些地区也从堆晶的超基性岩和基性岩中分选出锆石，或从与蛇绿岩伴生的变质带岩石中选取角闪石、白云母和多硅白云母以测定年龄值。即是来自深部上地幔的超基性岩和铬铁矿中也发现了锆石，如果它们是呈晶粥状岩浆上侵的话，锆石的年龄值将能说明这一事件的年代，但目前还没有进一步的报道。

四、有关特提斯蛇绿岩带的研究问题

特提斯蛇绿岩带是世界上最长的蛇绿岩带之一。自大西洋东岸的西班牙开始，向东经亚平宁山、阿尔卑斯山、再东到迪纳拉山海伦尼山、高加索，在土耳其的阿纳托利亚陶鲁斯山和伊朗最为发育，更向东终止于喜马拉雅山。多年来，对特提斯蛇绿岩带的研究吸引了不少地质学家，但仅有少数文章对整个带作过综合报道。最早Steinmann关于蛇绿岩的概念正是在特提斯带的阿尔卑斯山地区提出来的。五十一六十年代，巨大蛇绿岩熔岩流（火山说）的理论，也是以特提斯带上观察到的实际资料为依据的。由于这个带产出有世界知名的铬铁矿床，因而许多有代表性的铬铁矿成矿理论是从这里总结出来的。与板块构造有关的混杂堆积成因理论也是在特提斯地区最先创立，其中包括有色混杂堆积和蛇绿岩混杂堆积。有关蛇纹岩体底辟运动的认识也是由Milovanović等（1960）首先在此提出来的。世界上有名的蛇绿岩套剖面，如特罗多斯、塞麦尔，它们都位于特提斯带上，是特提斯蛇绿岩的组成部分。对这些小地区内蛇绿岩的研究论文连篇累牍，数量是很多的。

目前对特提斯蛇绿岩带研究工作取得的主要成果有：

1. 上地幔超基性岩西段与东段不同。大致以南斯拉夫、阿尔巴尼亚和希腊中部为界，西段主要为二辉橄榄岩（局部含石榴石），而东段主要为方辉橄榄岩，说明西段代表更少亏损的上地幔，而东段则遭受较强烈的部分熔融，损耗后的残余部分即为方辉橄榄岩，有时也有纯橄岩和局部出现二辉橄榄岩。有资料表明，当时特提斯东段热流值比西段要高。
2. 在构造超基性岩与火成堆晶辉长岩之间称为“临界带”，特提斯蛇绿岩带的临界带东西两段有所差别。以巴尔干半岛为界，西段临界带由含长二辉橄榄岩和方辉橄榄岩组成，其上为橄长岩、辉长岩和铁辉长岩；东段临界带由辉石岩组成，上覆辉长岩、闪长岩和奥长花岗岩。
3. 构成蛇绿岩套岩石成员的席状岩墙杂岩也有区别。在迪纳拉以及其东出现的岩墙杂岩绝大多数为拉斑玄武质岩石，除岩墙群外，也有侵入的辉绿岩体或岩床；而在阿尔卑斯山及其西，则以块状辉绿岩占有优势，而岩墙甚少。这或许说明，东西两段洋壳成因是不一样的。东段洋壳是由大洋扩张来形成的，而西段，扩张较为局限，即边缘海或陆壳转化而成的洋壳。
4. 奥长花岗岩和角斑岩类岩石，在特提斯带的西段缺乏而东段则丰富。近年来发现，这些岩石在该带的过渡地段也是颇多的。据Knezević（1976）的意见，它们的大量存在与中三叠世裂开初始阶段的高热流和陆壳物质的活动性有关。Karamata（1980）则认为，这些岩石的出现，与上地幔部分熔融程度，高热流以及玄武质熔浆与陆壳的反应有关。当然，这

仅是一种推测。

5.特提斯蛇绿岩带的成矿也表现出若干特点。铬铁矿床主要产于东段,因为这里上地幔熔融程度高,故有利于铬铁矿富集。铜矿遍布整个带上,但以中部最多(巴尔干、塞浦路斯、土耳其)。此外,硅酸镍矿床和菱镁岩矿床亦产于中段。

6.特提斯东西段蛇绿岩的成因不同。洋壳裂谷形成于中三叠世一早侏罗世。开始,西段可能是一局部性的由陆壳转化而来的洋壳,地幔底辟上侵时,只有轻微部分熔融或只在深部熔融;而东段,由于洋脊扩张而产生新的洋壳并在横向上运移,热流值很高,只有极耐熔的物质(纯橄岩、方辉橄榄岩)得以保存下来,而重熔后物质则产生巨大体积的玄武岩浆。西段来自两侧陆地的物质被大量地转移到洋域中,形成浊积岩与滑塌混杂体;而东段由于洋域逐渐变宽,才得以形成远洋沉积的燧石岩及硅质岩类,并含放射虫。特提斯海加宽地段局部有岛弧发育,洋域中还经常有陆块或微型大陆。特提斯海发展过程中洋壳甚为活动,火山喷发和次火山侵入都十分显著。洋域的闭合各段不尽相同,藏南沉积物时代为晚侏罗世到中白垩世,封闭在始新世,蛇绿岩被渐新—中新世砾岩层所不整合覆盖,其中含有超基性岩砾石。藏北湖区则封闭稍早。据1982年的资料,雅鲁藏布江蛇绿岩有其独特之处,表现在:(1)堆晶岩不发育,岩浆房最大厚度不到1公里;(2)有较多水平产状的席状岩床群;(3)洋壳厚度小,仅约2—3公里,为平均洋壳厚度的 $1/2-1/3$ 。这些特点说明洋脊扩张速度慢而短暂,上地幔部分熔融程度低。中法合作的喜马拉雅研究项目,为特提斯蛇绿岩带东端的研究提供了丰富的资料并得出了新颖的论点,兹不赘述。

五、蛇绿岩与有关矿产

愈来愈多的人注意探讨与蛇绿岩有关的成矿作用,并进而寻找和开发这些金属与非金属矿产。

铬铁矿是蛇绿岩中超基性岩体内产出的重要矿产。对铬铁矿成因正如岩体的成因那样,至今仍然意见分歧。Bowen很早提出了纯橄岩杂岩体及与之共生的铬铁矿为玄武质母岩浆分离结晶的产物,并得到许多人的支持(如Kern, 1968)。后来,大地构造学、地幔岩石学与实验矿物学的新进展,对传统的Bowen假说提出了挑战。新的思潮认为杂岩体大概是造山带中或构造扩张带上的地幔底辟体,或者是缝合带上仰冲的大洋岩石圈碎片。在Augustithis(1979)的著作中援引了若干证据来说明地幔底辟作用,并认为超基性岩体中铬铁矿主要为原生分布,即原生地产生在地幔中,呈“异离体”状,致密状或豆荚状。地幔固结作用期间的原生构造可使橄榄石呈光学定向、具波状消光与压折双晶,也可使铬铁矿晶粒被圆化和碎裂,有时产生糜棱化和磨光面。对豆荚状铬铁矿成矿作用问题争论由来已久。Thayer(1964, 1969, 1970)提出,地幔上部岩浆经过分异结晶作用,并在重力作用下生成层状铬铁矿。随后,分异体呈“热晶粥”带着矿层侵位于地壳中,并再次结晶。因矿体是刚性固体,故产生角砾化。Dickey(1975)提出,沿着增长板块边缘(即洋脊)的长条形岩浆囊中,矿体从岩浆中堆晶而形成,后来呈豆荚状同源包体进入下伏的方辉橄榄岩和纯橄岩残留体中。Greenbaum(1972)看到矿体中保存有残余堆晶结构,与布什维尔德、斯梯尔沃特等层状

杂岩体中者完全相同，于是认为，特罗斯斯岩体中的铬铁矿限于早期超基性岩浆分异物，且成矿部位在堆晶纯橄岩底部，靠近与构造化方辉橄榄岩接触处。Panayiotou (1978) 研究了利马索尔森林蛇纹岩体中豆荚状铬矿的矿物学和岩石化学，发现：(1) 矿体产在靠近绢云蛇纹岩（即蛇纹石化的构造方辉橄榄岩）与破裂蛇纹岩（即蛇纹石化堆晶纯橄岩）的接触部位，或者就在破裂蛇纹岩中，尤其是在下部；(2) 两类蛇纹岩化学成分不同，镍的含量和附生铬尖晶石成分也各异；(3) 矿体中残留有堆晶结构。他得出结论：成矿与堆晶作用有关。成矿作用机制是，地幔在洋脊深部开始熔融，随着地幔物质的上升，熔融程度升高，产生拉斑玄武质熔浆及耐熔残留物（方辉橄榄岩为主）。熔浆聚集到顶部的岩浆房中，一部分熔浆以辉绿岩墙的形式贯入到原始薄洋壳中，并伴有海底熔岩喷发。未喷出的熔浆则在岩墙与残留物之间进行分异，分异结晶和重力作用使在岩浆房底部富集了铬铁矿，某些矿体可成豆荚状同源包体下沉到残留物中，其上继之以堆晶杂岩。

铂族元素矿床是蛇绿岩超基性基性杂岩体中有潜在意义的矿产。据Brown等(1980)的资料，塔斯马尼亚古生代褶皱带中产有寒武纪蛇绿岩，以赫兹伍德河蛇绿岩为代表，其底部为构造化层状纯橄岩，往上为层状方辉橄榄岩（部分含斜长石）、纯橄岩、辉石岩，上部为层状辉长岩。附近水系中产有砂铂矿（铱铁矿与钉铱铁矿），矿物中包体橄榄石富铈， $Fo = 94 - 89$ ，与底部纯橄岩造岩矿物相一致，而上部层序的橄榄石较富铁， $Fo = 88 - 79$ ，故铂族矿物来自底部纯橄岩是可以肯定的。我国北天山华力西褶皱带中亦有含铂蛇绿杂岩体产出，由方辉橄榄岩、辉石岩、辉长岩等组成；现代河流沉积中发现有阶地砂铂矿和河漫滩砂铂矿，其种类有钉铱铁矿、铱铁矿和铁自然铂等，见到铂族矿物与蛇纹石的连生体，说明杂岩体为含铂矿母岩。事实上在一些超基性岩中已经找到了铂族矿物。

许多蛇绿岩的熔岩层中都产有块状硫化物矿床，以塞浦路斯的硫化铜矿为著名。其特点是：(1) 在剖面中占有一定层位，即具“层控”性质；(2) 熔岩受海底热液作用，变质相为沸石相或绿片岩相，是矿床的交代蚀变围岩；(3) 发育有颜色鲜艳的铁帽。

与蛇绿岩的超基性岩石有关的非金属矿产，包括菱镁矿、温石棉、滑石与皂石、宝石（绿玉髓、蛇石），以及用作装饰石料的二辉橄榄岩、纯橄岩和蛇纹岩，在南斯拉夫迪纳里德斯蛇绿岩有过报道。

（参考资料略）

