

地质科技资料选编(八十四)

国外变质岩区区域 地质调查工作的基本情况

地质矿产部情报研究所

一九八三年三月

说 明

这份资料是为配合国内在中、深变质岩区开展包括1:20万和1:5万地质填图在内的区域地质工作编写的。初稿写成后，马万钧、肖庆辉、石宏仁、王维勇、王贵安和奚瑾秋同志在百忙中抽出时间进行审阅，并提出许多意见；山东省地质局的部分同志提出了一些修改意见；本资料中的图件由赵秀兰同志清绘；主要参考文献的外文部分由王婷和杨金华二位同志帮助打印，在此一并表示谢意。

由于水平有限，不当之处在所难免，请批评指正。

编者 罗 永 国

1983年8月1日

目 录

前言	(2)
第一章 岩性方法	(4)
第一节 芬兰前寒武系的基本特征	(4)
一、岩性特点	(9)
二、构造轮廓	(9)
三、地质年代数据	(10)
四、有关芬兰前寒武纪的演化史	(12)
第二节 芬兰前寒武系的地质调查史	(12)
第二章 地层—构造方法	(14)
第一节 地层	(14)
一、刘易斯基底岩石	(17)
二、莫英盖层岩石	(40)
第二节 构造	(41)
一、格莱内尔格地区的构造	(58)
二、莫拉尔地区的构造	(74)
三、斯库尔比格等滑断构造的发现	(85)
四、构造对比	(95)
第三节 变质作用	(96)
一、Kennedy及Winchester的变质分带模式	(99)
二、多期变质作用及其与变形作用的关系	(108)
三、变质逆转现象及等变面的变形	(113)
第四节 小结	(115)
第三章 苏联有关变质岩区区域地质调查和地质填图方法的争论	(116)
第一节 岩性—地层方法的不足及其补救办法	(119)
一、构造研究	(126)
二、岩石学研究	(140)
三、变质岩原岩性质的恢复	(140)
第二节 构造—物质杂岩体及建造处理方法	(143)
一、构造—物质杂岩体的划分问题	(152)
二、建造填图方法	(162)
第三节 小结	(162)
第四章 创立并应用新的地质理论, 识别新的地质体, 是提高变质岩区区域地质 工作质量的重要途径	(163)
第一节 不断总结新的经验, 促进变质岩区区域地质工作的迅速发展	(163)
一、真、假层理的鉴别	(167)

二、变质岩层中不整合的查明	(184)
第二节 发现新的地质体，提高变质岩区区域地质工作的研究深度	(185)
一、中、深变质绿岩带	(201)
二、滑断构造	(219)
三、双变质带	(227)
四、前寒武纪的火山构造	(235)
结束语	(238)
主要参考文献	(245)

前 言

变质岩在世界各地都有分布。由于它具有不同于沉积岩和火成岩的许多特点，特别是由于变质岩区产有各种为沉积岩区和火成岩区所没有的或者其规模和种类远比沉积岩区和火成岩区要大得多和多得多的矿产，因而长期来受到各国地质学家的重视，在许多变质岩区开展了大量的工作。为了找矿，不少地质人员对变质岩区的矿产分布规律进行了探索，并对控制变质岩区矿床形成的主要地质因素和地质发展规律作过反复研究，从而对变质岩区的基本地质特点有了较深入的认识，并逐步使研究变质岩区的工作方法趋于完善。

就变质岩区来说，根据岩石的变质程度一般可以分成低级即浅变质岩区、中级变质岩区和高级即深变质岩区。所谓低级或浅变质岩区，是指经历了通常不高于绿片岩相区域变质作用的地区，中级变质岩区是指经历了通常高于绿片岩相但低于麻粒岩相区域变质作用的地区，而高级变质岩区则是指主要经历了麻粒岩相区域变质作用的地区。低级变质岩区由于变质程度较低，原始沉积岩或火成岩的结构构造特征经常可以保存下来，因此采用传统的沉积岩区或火成岩区的工作方法研究它们，一般来说还是可行的。但是，中级特别是高级变质岩区的情形就大为不同了，这主要是因为，中和深变质岩往往是由于各种地质作用经过多次叠加而形成的极其复杂的地质体，在许多情况下，这类岩石经历了超变质作用和花岗岩化作用，其原来面貌发生了极大的变化。这样形成的产物，可能一方面在某种程度上具有一些沉积岩或沉积火山岩（如果原岩是这类岩石的话）的特征，而另一方面在更大程度上具有“岩浆岩”的特征。

根据大量资料来看，不管是显生宙的中、深变质岩区还是前寒武纪的中、深变质岩区，往往都具有一些共同的特征，比如：变形和变质作用在空间分布上是不均一的，其强度和表现形式很不一致；决定不同时代和不同地区的变形作用和变质作用的因素是不同的，而且其中的主导因素也可能因时因地而异；一个地区往往不是经历一期而是多期变形和变质作用，由于变形和变质作用的叠加，往往使早期的变形和变质事件很难识别；虽然变形作用与变质作用之间存在一定的联系，但是这种关系是复杂的，在不同地区的变质岩中表现不一。因此，在中和深变质岩区开展包括地质填图在内的区域地质工作时，原封不动地套用沉积岩区和火成岩区的工作方法是行不通的。

鉴于在中、深变质岩区开展工作遇到许多困难，因此在这份资料中把着重点放在中和深变质岩区上，对浅变质岩区一般不予考虑。

根据目前掌握的资料来看，国外在中、深变质岩区开展区域地质调查（包括地质填图）工作时，各国做法不一。概括起来，采用的方法大体上可以分成三类，这就是岩性方法，地层—构造方法或岩性—地层方法和变质建造处理方法。这三种做法是在不同的历史条件下产生的，是变质岩区地质工作发展到一定阶段的产物。

一般地说，在变质岩区的早期地质调查工作中，主要应用的是岩性方法。当然，这并不是说现在就完全不采用这种方法了。比如，在芬兰和瑞典等少数国家里，至今仍在采用岩性方法进行地质填图。特别是芬兰，在直到目前为止出版的变质岩区1:1000000到1:100000的所有地质图上，所表示的都是岩性单位，而不是地层单位^[2,3]。至于说到瑞典，在1980年以

前由瑞典地质调查所编制的变质岩区1:50000和1:100000地质图中,有一些就是按岩性方法填绘出来的^[21,55];在这种图上,将图幅内的前寒武纪全部变质沉积岩按片麻岩、长英麻粒岩、大理岩、斜长石英岩、石英岩等岩性单位进行填图,并将这些岩性单位并入瑞芬外壳岩内。这里应当提到的是,在大体同期由瑞典地质调查所编绘出版的瑞典前寒武纪变质岩区的1:50000地质图上,有的图件则是按地层单位而不是岩性单位填绘出来的^[20]。当然,在有些地质图上虽然标明了群一级的地层单位,但由于变质程度高,花岗岩化强烈,因此未能对地层作进一步的划分,使地层工作显得过于粗略。因此,就瑞典来说,对变质岩区的地质填图同时采用了两种不同的做法:凡是有可能,就力求采用岩性-地层方法;在不具备这种条件的情况下,就应用岩性填图方法。

大体上到了本世纪的中期,大多数国家在变质岩区开展地质调查时,普遍应用了岩性-地层方法,并且一直沿用至今。不过,根据我们目前掌握的国外资料来看,虽然采用的都是岩性-地层方法,但填出的地质图却有相当明显的差别。概括起来,大致有三种情形:一是图面上仅仅反映各种侵入体,地层单位及其产状要素^[20];二是除了反映侵入体和地层单位之外,在图面上还表示各种小型构造,包括线理、片理、片麻理、小褶皱轴的产状,同时表示断层及与其有关的角砾岩和糜棱岩的分布等等;三是除了上述内容之外,在地质图上还用特定的符号反映出中到大型褶皱的轨迹,如正常背斜和向斜、倒转背斜和向斜、一般背形和向形以及倒转背形和向形的轴迹等等。加拿大地质调查所填绘的、位于纽芬兰省-魁北克省交界处的纳什瓦克峡湾-拉马赫湾地质图^[38](1:50000)就属于第三种类型。

近几年来,主要是在苏联,对用岩性-地层方法处理中、深变质岩的适宜性产生了怀疑,展开了一场广泛的讨论,并提出了应用变质杂岩体建造处理方法的建议。

虽然变质岩区的工作方法经历了相当长的发展演变过程,但决不是说目前各国在做法上取得了一致。当前,大体上仍然存在上面指出的三种不同做法,只是岩性方法和杂岩体建造处理方法仅仅在少数国家应用而已。下面,我们对这三种做法分别加以介绍。

应当指出的是,在中、深变质岩区往往会伴随出现由超变质作用(花岗岩化、混合岩化、区域交代作用等)引起的各种混合岩、花岗岩类等岩石。对于以这些超变质产物为主的地区,国外一般主要是应用岩性方法进行工作,在本资料中除了少数地方之外一般就不专门对其加以论述了。

顺便说一下,这本资料是配合国内在中、深变质岩区开展区域地质调查工作而不单纯是针对地质填图工作编写的。所介绍的典型地区的地质资料,仅仅供从事这项工作的人参考,很难说这些资料就正确地反映了国外变质岩区地质调查工作(包括填图工作)总的发展趋势。

苏联一些地质人员编写的《变质岩发育区的地质测量》^[13]一书,对变质岩区地质工作中的一些基础地质问题及工作方法做过比较全面的论述。该书已经涉及的那些问题,在我们这份资料中一般不再重复了。对这些问题感兴趣的同志请参阅该书的中译本。

同时,还应当指出的是,我们编写这本资料的目的是包括两个方面,一是使有关单位和人员了解国外变质岩区地质调查工作的进展情况,二是为国内在变质岩区从事地质调查和填图工作的地质人员提供国外典型变质岩区的具体地质资料,以便从中得到某些启发和帮助。我们这样做,是为了进一步提高我国变质岩区地质调查和填图工作的质量,并以此为基础,愿国内地质人员能够早日总结出适合于我国变质岩区地质特点的基本理论,同时制定出一套行之有效的有效的工作方法。

第一章 岩性方法

变质岩区通常是由两部分变质岩石组成的：一部分是经过变质的沉积岩和沉积火山岩，另一部分是经过变质的火成岩体以及由超变质作用（混合岩化、花岗岩化或区域交代作用）产生的岩石。根据国外资料来看，在对由变质火成岩体和超变质岩石组成的变质岩区进行地质调查和填图时，国外（尤其是西方国家）通常采用的是岩性方法，在地质图上表示的是岩性单位。

应当特别提到的是，在变质岩区，特别是在中、深变质岩区，由于构造变形特别是叠加变形以及其它作用的影响，一些侵入体往往变成了具有似层状构造和片麻状构造的地质体。如果不进行深入细致的研究，很可能把这样一些火成岩体当作变质的沉积岩层，对它们也划分出“地层”单位，在地质图上表示的不是岩性单位而是地层单位。这种做法当然是错误的，它使研究区的地质解释有可能完全失真。就超变质岩区的地质调查和填图工作来说，也遇到了类似的问题。众所周知，各种花岗岩类岩石在地盾区和褶皱带的核部有广泛分布，这些岩石的原岩既可以是沉积岩和沉积火山岩，也可以是侵入岩。虽然目前已经在开展变质岩的原岩恢复工作，并且在这方面也取得了一定的进展，但是，要再造这些经过强烈改造的花岗岩类岩石的原岩性质却是极其困难的，目前在这方面还没有取得什么成功的经验。大量事实已证明，在变形强烈的地区里，如果原岩是沉积岩和沉积火山岩，那么随着混合岩化和交代作用的进行，原有的层理或者由变质作用产生的片理和片麻状构造有可能发生彻底换位，新产生的混合岩构造的产状与原来的层理产状或者变质构造的产状完全不同；如果原岩是侵入岩，那么在混合岩化和交代作用过程中有可能产生类似于变质沉积岩层的构造，像变质条带和片麻理等。这时，如果对它们像对待变质的沉积岩那样加以处理，也会导致严重的错误。

在上面这样一些情况下，国外（特别是西方国家）一直坚持采用岩性方法进行地质填图。我们认为，这样做是稳妥可行的。按照通常的看法，地质图上主要是反映野外直接观察到的地质事实，只有这样，地质图才能真正成为编制其它图件的基础性图件。如果在地质图上反映出来的主要是推测性的内容，那么就失去了填绘地质图的本来意义。应当承认，在当前的知识水平下，中、深变质岩石特别是超变质岩石的原岩性质及其产状的再造仍然是假定性的，因此其结果是不肯定的。如果把建立在这些不确定的结果的基础上的假设反映到地质图上，那只会给变质岩区的地质调查和填图工作带来损失。这是在超变质岩区进行地质填图时只能采用岩性方法的根本原因所在。很明显，对超变质岩石等进行原岩恢复，不是地质图上所要反映的内容；这项工作是属于纯岩石学研究范畴的任务。

有关在变质的火成岩和超变质岩石发育区进行地质填图时采用岩性方法的问题，地质人员一般都比较了解，因此，在这份资料中用不着过多地叙述了。

以下要说明的是，在真正的变质沉积岩和变质沉积火山岩区内，有些国家也是用岩性方法进行填图的。目前，坚持按纯粹的岩性方法对变质岩区（不包括超变质岩区和变质的火成岩区，以后同此）进行地质填图的国家，为数尚不很多，主要是芬兰，其次是瑞典、瑞士等。有关瑞典在变质岩区的地质填图情况及其使用的方法，前面略有叙述，这里就不再重复了。芬兰是自始至终在变质岩区填图工作中一直采用岩性方法的唯一国家，不仅1:1000000的

地质填图如此，而且1:100000的地质填图也是这样。因此，下面我们以芬兰为例，对岩性填图方法作些简略说明。

第一节 芬兰前寒武系的基本特征

在整个芬兰境内，除了极少数地方有零星分布的未变质的晚前寒武纪沉积岩分布外，几乎到处都是前寒武纪的各种变质岩和火成岩。最近，A.Simonen对整个芬兰前寒武纪的基本地质情况作过比较系统的总结。下面，我们就以他的资料为基础，介绍芬兰前寒武纪变质岩区的区域地质调查情况。

一、岩性特点

就芬兰的变质岩来说，大体上可以分为两大套。一是瑞卡期前基底片麻岩，二是分布在基底片麻岩之上的瑞卡片岩。基底片麻岩主要出露在芬兰的东北部和中东部。

1. 瑞卡期前基底

在芬兰中东部出露的基底杂岩体中，一般认为最老的岩石是被正片麻岩贯入的片岩和副片麻岩。这些古老片岩形成许多等斜褶皱的片岩带，这些带在周围基底片麻岩断块之间受到挤压。新的地质报告表明，片岩带主要是由变质基性火山岩以及伴生的小型超基性岩（蛇纹岩、皂石岩和滑石绿泥石片岩）透镜体和少量条带状石英含铁建造组成的。变质硅质火山岩只是零星出现。变质火山岩原先既有熔岩也有火成碎屑岩，它们含残余的斑状和杏仁状结构以及集块岩构造和枕状熔岩构造。变质基性火山岩的变质程度从绿片岩相渐变为角闪岩相。变质的不纯长石砂岩、千枚岩和云母片岩代表变质沉积岩。含石墨的黑色片岩呈薄的夹层产于变质沉积岩以及变质火山岩中。

中东部的大多数基底片麻岩被认为是正片麻岩，其原岩是石英闪长岩成分到花岗岩成分的硅质深成岩。正片麻岩为等粒或斑状岩石，通常叶理发育明显。然而，也产有微弱定向的及块状的正片麻岩。许多正片麻岩的突出特点是存在碎裂结构。碎裂岩石的石英和长石颗粒被压碎，细裂隙中充填有云母。有些基底片麻岩具条带状和花岗变晶结构。它们既可以是正片麻岩也可以是副片麻岩。基底片麻岩经常混合岩化了，含正及副片麻岩的残影体。

芬兰东北部的基底杂岩体既包含副片麻岩又包含正片麻岩。代表副片麻岩的是石英长石片麻岩、云母片麻岩、角闪石片麻岩和角闪岩。正片麻岩为片麻状的石英闪长岩，花岗闪长岩和花岗岩。混合岩化片麻岩常见。

拉普兰东部通特萨-萨武科斯基片麻岩杂岩体主要是由云母片麻岩组成的，这种片麻岩被正片麻岩所侵入。云母片麻岩为强烈变质的铝质片麻岩，含石榴石、十字石、蓝晶石和堇青石。还产出纯净的石英岩，角闪石片麻岩和角闪岩。

芬兰北东部拉普兰地区出露的是麻粒岩杂岩体，它是由在温度、压力高于周围地壳岩石的条件下变质的副片麻岩和正片麻岩组成的。这种麻粒岩杂岩体的标型矿物有硅线石、铁铝榴石、镁铝榴石、紫苏辉石、斜长石、正长石和石英。其中最常见岩石包括各种石榴石片麻岩，如石榴石石英长石片麻岩、石榴石堇青石片麻岩、石榴石黑云母片麻岩和石榴石黑云母斜长

石片麻岩。其原岩为沉积的砂质到泥质岩石。该麻粒岩杂岩体内有零星出露的紫苏辉石片麻岩，它呈薄的夹层产在石榴石片麻岩中。麻粒岩区的深成岩主要为紫苏花岗岩和石英闪长岩，它们与含辉石的基性和超基性小岩体伴生。此外，还产有石榴石黑云母石英闪长岩和含石榴石的斑状花岗岩。

在上述基底杂岩体之上，分布着一套瑞卡片岩。野外证据表明，一个一级不整合即一段深刻剥蚀和准平原化时间把瑞卡期前基底与瑞卡片岩（沿基底边缘分布）分开。这种所谓雅图林期大陆的古老基底，起着瑞卡沉积物雅图林群沉积底板的作用，它在瑞卡褶皱期间形成一种稳定区。

2. 瑞卡片岩

产在瑞卡期前基底片麻岩之上的瑞卡片岩，主要是出露在芬兰西北部和西南部（图1），从中可以划分出两个带，一个为卡累利阿片岩带，另一个为瑞芬片岩带。

卡累利阿片岩带从芬兰东南部延伸到北部，其主要岩石类型的百分比如下：

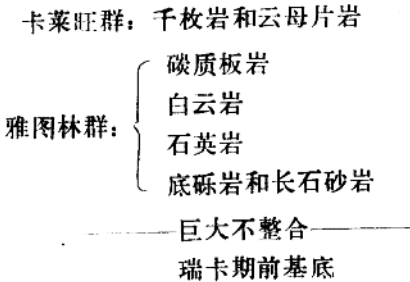
云母质片岩.....	45.2%
石英长石片岩.....	2.8%
石英岩.....	26.4%
石灰岩.....	0.3%
变质玄武岩和角闪岩.....	25.3%

卡累利阿片岩的原岩主要是泥质沉积岩和真正的石英砂岩，它们已变质为千枚岩或云母质片岩和石英岩。变质火山岩——原先为基性熔岩、凝灰岩和辉绿岩——也常见。芬兰北部广泛分布的变质火山岩与超基性岩、苦橄岩体以及碧玉铁质岩层相关。石灰岩主要是白云质的；少数地点出现其它许多岩石类型，包括砾岩、高岭石沉积层、长石砂岩、黑色碳质片岩等。

卡累利阿片岩的变质作用条件属绿片岩相、绿帘石角闪岩相或角闪岩相。云母质片岩可从千枚岩变为云母片岩和云母片麻岩。云母片岩含红柱石、堇青石或十字石变斑晶。混合岩化的云母片麻岩含石榴石、堇青石和硅线石。芬兰北部的变质玄武岩通常为绿岩，是由钠长石、绿帘石和绿泥石组成的。绿岩变为角闪岩，特别是沿着深成岩体的接触带尤其如此。

紧靠瑞卡期前基底断块，卡累利阿带发生褶皱，产生平缓的向斜和背斜。褶皱轴平缓，线状构造一般与其平行。轴的起、伏乃是芬兰东部卡累利阿带的特点，在那里，卡累利阿褶皱带的古老基底或底部似乎是处在褶皱带的高起处和背斜内。

在芬兰东部的少数地区，对卡累利阿变质沉积岩的层序作过较详细划分。一个地区的标准地层剖面如下：



一个明显的不整合将卡累利阿片岩与瑞卡期前基底分开。雅图林期沉积作用是从底部长石砂岩和砾岩开始的，后者位于瑞卡期前基底上，经常显示出原地风化的厚几十米的风化壳残余。与粉砂岩、钙质层和石英岩层交互出现的底部长石砂岩位于基底片麻岩的风化面上。底部复矿碎屑砾岩含瑞卡期前片麻岩卵石，只是偶尔作为卡累利阿岩层的底部层出现。这个底部组被称为萨里奥林组。

海浸的雅图林群的总厚度通常为数百米，其上为厚几千米的所谓卡莱旺杂砂岩状的地槽沉积物，它们已经变质成千枚岩和云母片岩。在有些地方，卡莱旺群不整合地位于雅图林期沉积岩上，含基底片麻岩和雅图林期变质沉积岩及变质火山岩卵石的砾岩把这两个群分开。但是，在卡累利阿沉积区的所有剖面里，在雅图林层序与卡莱旺层序之间不存在明显的不整合。

在芬兰东部的另一个地方，即在库萨谋地区出现了另外一个极厚的雅图林期地层剖面，在那里，雅图林期海浸为三个阶段的基性火山活动和第二幕火山活动之后的微弱海退所打断。表1给出的是库萨谋一个地区的地层。

表1 库萨谋区鲁卡通图里地区的地层

组	厚 度 (米)	
	南 部	北 部
角闪石片岩	>250	
白云岩	?	50--100
鲁卡通图里石英岩	800	? 600
绿岩 III	200	200
粉砂岩	200	200
绿岩 II	50	0
石英片岩	50	0
绢云母片岩	130	
绢云母石英岩	200	? 100
绿岩 I	? 500	
底砾岩	0—20	?
不整合		
瑞卡期前地壳		

另一个片岩带叫瑞芬片岩带，它从芬兰西部延伸到芬兰南部（图1）。瑞芬片岩带内主要岩石类型的数量如下：

云母质片岩和片麻岩	79.9%
石英长石片岩	6.5 %
石英岩	0.3 %
石灰岩	0.3 %
变质玄武岩和角闪岩	13.0%

瑞芬变质沉积岩的原岩主要是杂砂岩和不纯的长石砂岩，它们变质为板岩、云母片岩、

云母片麻岩和石英长石片岩。其突出的特点是，存在着主要与石英长石片岩伴生的零星的纯石英岩和石灰岩。石灰岩主要为钙质的。变质火山岩和角闪岩的原岩主要是基性熔岩和火成碎屑岩，它们在一些瑞芬片岩区内常见。此外，还存在其它许多类型的少量岩石，例如层内砾岩、钙质片岩、黑色片岩等。只在片岩带内一些保存很好的地方才见到瑞芬变质沉积岩和变质火山岩的原生结构和构造残余，但在广阔的明显重结晶的片麻岩和混合岩区里，这种结构和构造被破坏掉了。

云母质片岩在瑞芬带里是最大量的变质岩，这种片岩被解释为风化作用不充分的产物，含泥质和砂质物。它与较年青造山带内的杂砂岩相似。

石英长石片岩总体上是层状的，见到残存的斜层理。大多数石英长石片岩的原岩被认为是长石砂岩，其中有的石英长石片岩混杂有泥质和钙质物质。但是，有些石英长石片岩表明，它们具有硅质熔岩和火成碎屑岩的化学特点及结构特点。

通常发现变质火山岩具有残存的变余斑状结构，它们在化学成分上主要为玄武岩和安山

岩，是由熔岩流结晶而成的。但是，其它残存组构，如流动、杏仁状、珍珠岩和枕状熔岩结构及构造，也表明是火山成因的。火成碎屑物质中有不同岩层和集块岩层的残存条带，火山砾岩为火山成因提供了最好的证据。

瑞芬片岩一般是在低压角闪岩相条件下变质的，但在有些地方是在麻粒岩相条件下变质的。在一些狭窄带中发生过退化变质作用，产生了绿片岩相的矿物组合。

变质基性火山岩通常有角闪石—斜长石矿物组合存在，这表明变质条件是角闪岩相的。在一些狭窄带中，由于退化变质作用的影响，角闪岩相矿物组合蚀变为绿帘石角闪岩相和绿片岩相的

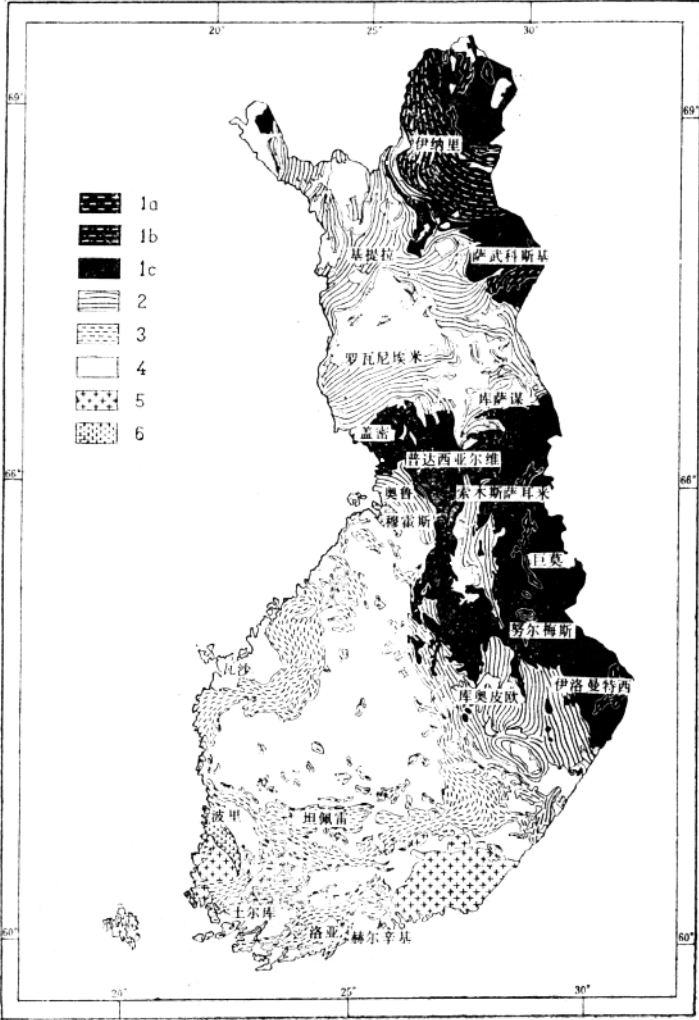


图1 芬兰前寒武纪的主要构造单位。瑞卡期前单位：1a一片岩和副片麻岩，1b—麻粒岩，1c—正片麻岩。瑞卡单位：2—卡累利阿片岩带，3—瑞芬片岩带，4—造山深成岩。瑞卡期后单位：5—环斑花岗岩，6—约特尼沉积岩。

矿物组合。所产生的矿物组合并未达到完全平衡，但较高级区域变质作用的许多不稳定残余物常见。

在芬兰南部西乌西马杂岩体中，产有麻粒岩相的紫苏花岗岩，这里的紫苏辉石—透辉石组合是典型的。在该区的云母片麻岩中，石榴石和钾长石与堇青石一起产出。

瑞芬片岩带总的走向变化很大。在变质火山岩大量存在的带内，直线状片理是典型的，但广阔的混合岩化云母片麻岩区的叶理走向的局部变化极大。片理和叶理常常直立或陡倾。在片岩带走向明显弯曲的混合岩化片麻岩区里，叶理倾斜平缓。片理和叶理的产状往往与层理产状平行。与层面片理横交的片理只是零星地作为破劈理和轴面片理出现。此外，沿不同时代的许多断裂带有断层引起的叶理。

瑞芬片岩明显褶皱。主褶皱轴平缓或近水平。轴面陡或直立。向斜和背斜往往挠曲成陡的等斜褶皱。由于受褶皱物质的塑性不同，褶皱类型有变化。云母质片岩变成小褶皱，而较强的变质火山岩层可以形成宽的向斜。

由于矿物及矿物集合体的拉长或者由于细皱纹及小褶皱而可产生线理，这种线理的方向相对于大褶皱的近水平构造b轴来说是易变的。在有大量变质火山岩强岩层产出的地方，在几乎直立的层面上见到的线状构造一般都很陡，指向构造迁移的方向，与大褶皱的近水平b轴垂直。在硅质片岩和云母片麻岩区里，中等倾斜及平缓倾斜的线理是典型特点，它们往往与褶皱轴平行。混合岩区混合花岗岩体的上拱作用，使线理方向变得更复杂，不同时代的断裂使线理显示出不同的方向。

可能只是在少数地区，才能对强烈褶皱和混合岩化的瑞芬片岩带的地层层序作出解释。在许多瑞芬片岩带中，厚的分异不充分的变质沉积岩之上为变质基性火山岩，在一些地区里，这种变质火山岩之上则是云母质片岩。推测性地将瑞芬片岩带地层划分如下：

上瑞芬亚群：泥质沉积岩

中瑞芬亚群：基性火山岩（熔岩和火成碎屑岩），夹沉积岩（长石砂岩、杂砂岩和砾岩）

下瑞芬亚群：分异不充分的沉积岩（长石砂岩和杂砂岩），在一些地区的长石砂岩中夹薄层钙质物质和分异充分的砂岩。

坦佩雷地区是制定瑞芬片岩带地层层序的一个关键地区。该区的层序从上到下依次为：

	厚度（米）
基性火山岩	>1000
砾岩及与其有关的杂砂岩、板岩和长石砂岩层	700—800
基性和中性火山岩	800—1500
石英长石岩（长石砂岩、杂砂岩和火成碎屑岩）	1500—2200
杂砂岩质板岩	>3000

这个层序包括下和中瑞芬亚群。与优地槽沉积的杂砂岩、玄武岩组合相关的地层总厚度至少有8000米。

从整体上看，瑞芬片岩原先是地槽沉积作用的产物。云母质片岩的成分和构造特征与造山带的杂砂岩相似。石英长石片岩主要被看成是不纯的长石砂岩。变质基性火山岩代表地槽火山活动，它们与分异差的沉积岩伴生表明，瑞芬片岩带具有优地槽的特点。

二、构造轮廓

芬兰前寒武纪的主要构造单位是瑞卡期前单位、瑞卡单位和瑞卡期后单位(图1)。这些单位在年代、岩性、变质作用和构造上彼此有所不同。

最老的部分(26—28亿年)是所谓的瑞卡期前基底,包括一些片岩和片麻岩带、一个麻粒岩穹隆和宽的花岗岩类正片麻岩区。在这个杂岩体的片岩中有年龄为26—28亿年的花岗岩类岩石贯入。麻粒岩穹隆为基底杂岩体的高级变质部分,到处受到较新的瑞卡运动的改造。

芬兰前寒武纪的主体部分属瑞卡造山带,其褶皱作用与大约19—18亿年前的区域变质作用和深成作用有关。瑞卡褶皱带的片岩被分为卡累利阿片岩带和瑞芬片岩带,这两个带彼此之间主要是根据前面描述过的岩性特点分开的。含极大量石英岩的卡累利阿片岩是在古老基底上或沿其边缘沉积的。瑞芬片岩带主要是由云母片岩和角闪岩组成的,其原岩属地槽层序的杂砂岩-玄武岩组合。巨大的造山深成岩体在瑞卡造山运动期间侵入到这些片岩带内。环斑花岗岩的侵入(17—15.5亿年)和未变质的约特尼期沉积岩的沉积(13—14亿年),代表芬兰前寒武纪瑞卡期后的演化阶段。此外,属于这一演化阶段的有,部分地与环斑侵入体相关的或者比约特尼期沉积岩稍新的辉绿岩墙的侵入。

三、地质年代数据

图2是年龄测定结果的频率图解,这个图解表明,在芬兰前寒武纪长的地质历史中存在几个重要造山幕。在图解上标出了十组年龄,以下对这些数据的地质意义进行解释:

1组(28—30亿年)——在瑞卡期前岩石中零星地见到具有这组最老年龄值的锆石。最老的锆石(~30亿年)呈碎屑颗粒产在瑞卡期前石英岩中。

2组(26—28亿年)——包括芬兰东部和北部广阔的正片麻岩或所谓基底片麻岩区内的瑞卡期前岩石。作为“披盖”片麻岩穹隆而产在瑞卡褶皱区内的基底片麻岩,由于晚期运动而受到强烈改造,其锆石年龄较新(~24—25亿年)。

3组(~25亿年)——由芬兰北部瑞卡期前正片麻岩组成。

4组(24.3—24.5亿年)——由芬兰北部与酸性斑岩相关的层状基性侵入岩组成。这些分异的岩床和岩盘状侵入体贯入瑞卡期前基底片麻岩,但它们老于瑞卡褶皱带的底部层。

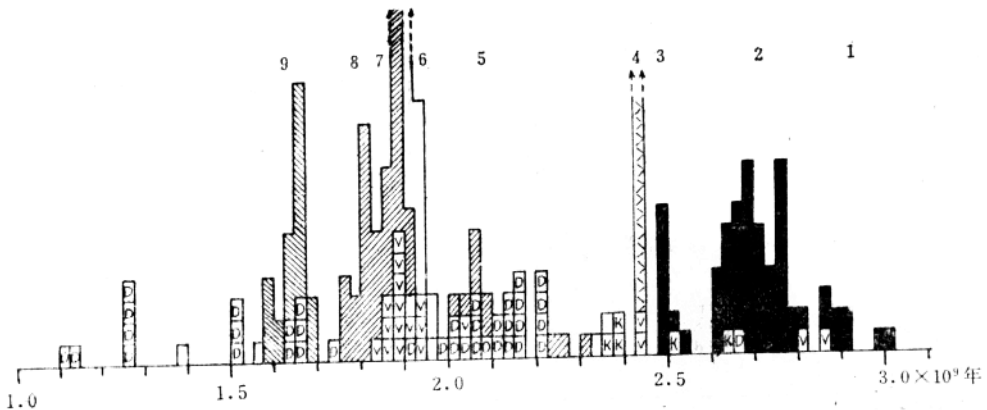


图2 芬兰前寒武纪岩石U-Pb年龄测定的频率图解

5组 (20—23亿年) —— 代表瑞卡造山运动演化幕; 在此期间, 陆缘海浸的雅图林期沉积岩群沉积在瑞卡期前基底上。这个群的年龄主要是用与雅图林期沉积作用有关的基性火山岩和辉绿岩测定的 (22—20亿年)。

6组 (19—20亿年) —— 主要是以芬兰北部在麻粒岩相变质作用条件下强烈重结晶的老岩石的矿物年龄为基础。此外, 一些瑞芬变质火山岩和深成岩 (奥长花岗岩) 属于该组。

7组 (18.5—19亿年) —— 包括瑞芬变质火山岩和造山同期深成岩, 主要是石英闪长岩和花岗闪长岩。所涉及的时间代表瑞卡褶皱作用和区域变质作用的主幕。

8组 (17.5—18.5亿年) —— 由瑞卡造山运动的造山晚期和造山期后侵入体组成。

9组 (15.5—17亿年) —— 包括环斑花岗岩和辉长—斜长岩侵入体以及与其相关的辉绿岩侵入体。

10组 (<15亿年) —— 芬兰前寒武系中最新的岩群, 其代表是约特尼期沉积岩 (13—14亿年) 和约特尼期后辉绿岩 (12.7亿年)。

四、有关芬兰前寒武纪的演化史

芬兰前寒武纪最重要的演化幕概括地示于图3上。该图列举了许多不同时代的地质事件。

芬兰地质演化中最重要的事件是产生瑞卡期前褶皱区和瑞卡褶皱区的地壳运动。这些运动分别发生于28—26亿年和19—18亿年前, 芬兰前寒武纪的大部分岩石是在这些古老事件期间取得其现有状态的。与褶皱作用、岩浆活动和变质作用相关的重大运动持续的时间在漫长的前寒武纪历史中相对来说是短暂的。

芬兰前寒武纪最老的瑞卡期前褶皱区 (28—26亿年) 的特点是, 在芬兰东部和北部存在分布广阔的花岗闪长岩质基底片麻岩, 而在较年轻的褶皱区通常普遍存在的真正的富钾花岗岩并未大量出现。瑞卡期前片岩带只作为窄而陡的等斜褶皱产在基底片麻岩块段之间, 它们包含大量变质基性和超基性火山岩。在最早的地质时期存在大量火成岩活动可能表明, 在地壳之下较浅的深度上存在着岩浆物质。变质沉积岩主要为云母质片岩和呈夹层出现的含石墨的黑色片岩。缺乏沉积的

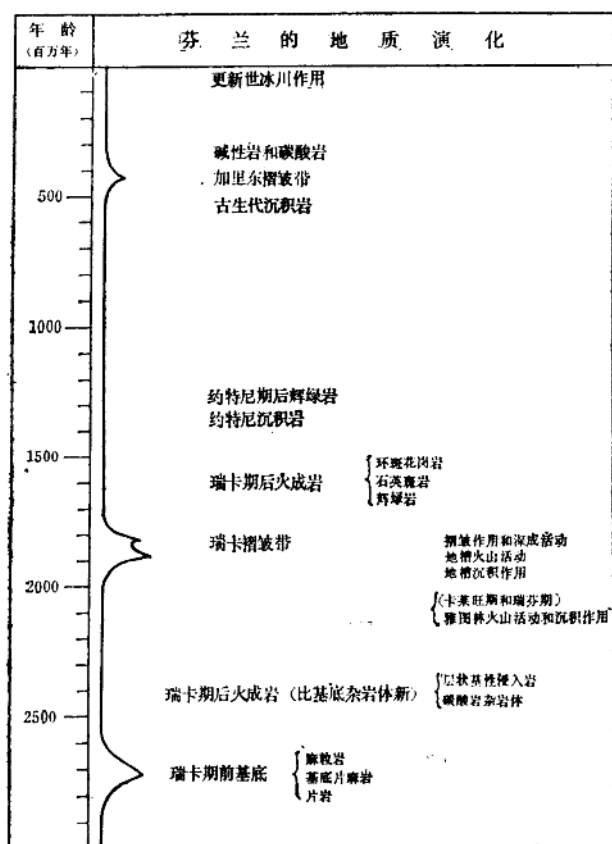


图3. 芬兰前寒武纪的地质时间表

石灰岩。条带状石英含铁建造是特征性的，这表明古老大气圈是缺氧的环境。不知道有古老生物遗迹存在的可靠证据。瑞卡期前片岩的特点表明，它与其它大陆上的所谓太古宙绿岩带的相似性是惊人的。

褶皱基底区大约是在26亿年前变稳定的，并开始受到剥蚀。在24亿年前，在这个稳定的克拉通内出现火成岩活动，形成顺层席状或盘状岩体的瑞卡期前基性侵入体就是主要代表。锡林耶尔维碳酸岩杂岩体是世界上最老的碳酸岩产地之一，它也是在24—25亿年前侵位到稳定的基底内的。

大约在23亿年前，瑞卡期前基底深深地受到剥蚀和准平原化，并且形成了所谓的雅图林期大陆。在这个大陆上以及沿其边界，在23—22亿年前开始沉积了雅图林群（底部岩层、石英岩、

表2 芬兰境内瑞芬褶皱区前寒武纪的演化

时 期	作 用	岩 石
克拉通化时间：		
约特尼期后·····	侵入活动	辉绿岩墙
约特尼期 ·····	沉积作用	砂岩和粉砂岩
近约特尼期·····	侵入作用	环斑花岗岩和辉绿岩
瑞芬褶皱带：		
造山幕：		
造山期后的幕·····	侵入作用	造山期后花岗岩类
晚期造山幕·····	晚期造山花岗岩的侵位、混合岩化、花岗岩化、底辟穹起和横褶皱	混合岩和混合岩化形成的花岗岩
造山期内的幕·····	节理形成和侵入作用	角闪岩墙
同造山期的幕·····	同造山深成岩的侵位、区域变质作用、变形和褶皱作用	同造山深成岩（主要为石英闪长岩和花岗闪长岩）、变质片岩（主要为云母片岩和片麻岩、石英长石片岩和角闪岩）
地槽沉积幕：		
晚瑞芬期 ·····	沉积作用	泥质沉积岩
中瑞芬期 ·····	火山活动和沉积作用	基性火山岩和夹有的沉积岩
早瑞芬期 ·····	沉积作用	主要是杂砂岩和不纯的长石砂岩
瑞芬期前		基底不清楚

白云岩和腐泥岩)。一个明显的不整合把陆缘海浸的雅图林群与瑞卡期前基底分开。雅图林群之上为巨厚的卡莱旺千枚岩及云母片岩,这些岩石是不充分的化学风化产物,代表地槽沉积物的特点。

雅图林沉积时期与活跃的火成岩活动有关,火成岩活动的代表为呈夹层、岩床和岩墙形式产于雅图林层序内的基性火山岩和辉绿岩。值得提出的是,雅图林期辉绿岩既穿入瑞卡期前基底又穿入雅图林期沉积岩内,但未侵入产于雅图林群之上的卡莱旺岩石内。

瑞芬褶皱带的主要演化时期示于上表(表2)内。

第二节 芬兰前寒武系的地质调查史

Simonen^[54]指出,有几代的地质学家对芬兰的前寒武系作过地质研究。芬兰前寒武纪地质学的奠基人是J.J.Sederholm(1863—1934)和P.Eskola(1883—1964),他们的工作为研究地球上最古老的地质历史铺平了道路。

Sederholm和Eskola是从事变质岩石学工作的专家。他们开创的以变质岩岩石学研究为主的变质岩区的地质研究方向,对后来芬兰的整个地质调查工作的发展产生了深远的影响。特别是在1886年成立了芬兰地质调查所之后,芬兰的区域地质调查特别是地质填图工作跨入了一个新的阶段。

正如Simonen指出,在重建芬兰前寒武纪变质岩演化的整个历史时,系统的地质填图和大量的区域地质研究成果具有基本的意义。芬兰地质调查所从成立以来的大约100年的时期里,由几代地质学家对其本国境内的前寒武纪变质岩进行了系统的地质填图。据Simonen的资料,在第二次世界大战以前,整个国家开展了中比例尺的地质填图工作,完成了芬兰南部1:200000的地质填图,出版了全国1:400000地质图。更详细的地质填图是从本世纪四十年代末开始的,野外是按1:20000的比例尺进行填图,其结果则是以1:100000图幅发表的。当前,整个芬兰大约有1/3的面积作过1:100000的地质填图

据直到1981年出版的芬兰所有1:100000地质图可以清楚地看出,无论是对浅变质岩石还是对深变质岩石,都不划分地层,一律按岩性单位填图。因此,这是一些典型的只反映岩石单位空间分布的地质图。比如,图幅3142(米克利幅)就是例子^[29]。其特点是,各个岩石单位的分布一目了然,对岩石类型的空间关系及其变化能形成明确的概念,但是,由于不是按地层单位进行填图,不反映各个岩石单位的时间关系,因此对图幅内的大、中型褶皱构造的形态及其空间分布情况无法形成概念,从图面上也看不出区内地质发展的基本特征。另一个特点是,在地质图上用特定的符号详细反映出各种小型构造的特点,包括序粒层理、线理、叶理、劈理、片理和小褶皱轴等的产状,还反映出各种断层、裂隙和糜棱岩的空间分布情形。值得特别指出的是,在迄今发表的所有1:100000地质图上,均用不同的符号代表各种典型的变质矿物并标在图上,其中包括石榴石、堇青石、蓝晶石、硅线石、电气石、石墨等。通过分析这些变质矿物在图面上的分布,可以大体了解区域变质作用强度的空间变化。

总之,芬兰地质调查所地质人员填绘的各种比例尺的地质图对岩性及各种小型地质构造特点表现相当详细清楚,这是他们应用岩性方法的一个明显特色,也是值得采用岩性—地层方法以及其它方法的地质人员予以重视的地方。

第二章 地层—构造方法

大体上在本世纪中期,由于对中、深变质岩石,特别是对前寒武纪中、深变质岩石的原始性质有了新的认识,从总体上不再把这种岩石看成是“岩浆岩”,改变了主要是从岩浆地质学的观点探讨变质岩的做法,肯定许多地区的中、深变质沉积岩主要是由沉积岩和沉积火山岩层变质而成的,因此使得在中、深变质岩区有可能采用地层-构造法。在这种中、深变质岩区从采用岩性方法转变到采用岩性-地层法或地层-构造法,这是一大进步,使变质岩区的地质研究程度有了明显的提高。

这里所说的地层-构造法,并不是国外统一的正式提法,是根据我们对所掌握的有关国外在中、深变质岩区开展包括地质填图在内的区域地质调查工作方面的资料加以分析后概括出来的。在苏联,近些年来通常使用了一种正式的名称,叫做“岩性-地层法”。根据我们所作的分析来看,从大的范畴来讲,“岩性-地层法”与“地层-构造法”有着本质上一致的地方。当然,“岩性-地层法”与“地层-构造法”有许多不同之处,比如,“岩性-地层法”强调要“剔除”变质作用,恢复原岩成分,在此基础上再划分、对比地层,但对变形和变质作用的复杂性和多期性重视不够,从而使在中、深变质岩区运用“岩性-地层法”的适宜性受到影响。“地层-构造法”则强调要加强构造、变质作用等方面的研究,在许多情况下甚至要采用“从构造到地层”的相反程序。虽然存在上面这些重要的差别,但是仍可将“岩性-地层法”与“地层-构造法”归入同一大类中,因为这两种填图方法的出发点虽有不同,但在用它们填出的地质图上,其落脚点是,所表示的基本填图单位都是地层。此外,还应当指出的是,正因为“岩性-地层法”存在某些不足,所以才使得一些地质人员认为有必要采取措施使这一方法得到改进,促其成熟。加强对构造变形、变质作用和原岩性质等方面的研究,正是这种努力的具体表现。从这种意义上讲,把“地层-构造法”看成是在“岩性-地层法”的基础上发展起来的,那也是符合历史事实的。需要提出的是,有关这一点在第三章中还将谈到。

应当指出的是,虽然大多数国家都在采用地层-构造法,但是,这种方法达到目前的状态,是经历过一个发展过程的。开始,在中、深变质岩区工作时,曾经简单地套用沉积岩区的地层工作方法,由于没有考虑到变质作用叠加到沉积岩层和沉积-火山岩层上而使这些岩石发生的深刻变化,没有认识到这种地区可能经历了多期变形和多次变质作用的特殊性,因而对中、深变质岩区的地质调查和填图工作未能取得明显的突破。按照世界上研究得最早并且研究程度最高的一些变质岩区(例如苏格兰高地)的情况来看,只是到了本世纪五十年代前后,才比较普遍地注意到了中、深变质岩区所具有的上述特点。此后,在力求建立中、深变质岩区的地层层序的同时,专门从事了变质岩区构造特点和变质作用特点的研究,揭示出了变质岩区的地质特点和发展规律,创立了许多新的地质理论,制定了在中、深变质岩区开展地质调查工作的许多方法。这样一来,就使早期简单的地层方法发展成包括研究构造、变质作用和原岩性质在内的比较完整的方法,即这里所概括的地层-构造方法。

在中、深变质岩区进行地质调查时,以岩性比较单一、很少有典型标志层可供利用并且经历过多次变质和多期变形的地区难度最大。虽然如此,许多国家还是在致力于这方面的工