

浅变质岩区褶皱层构造与地层划分

傅昭仁 单文琅

(中国地质大学, 武汉)

摘要 作者认为, 鉴于浅变质岩部分或大部分经受了固流态变形作用的改造, 它既保存有残余(原生)构造, 又有后期新生的流变褶皱(褶皱层)及韧性剪切变形, 并引起岩石组构的调整和构造置换。因此, 提出采用“以岩性分层为基础, 以构造解析为主导”的工作方法。换句话说, 就是要遵循构造地层学准则, 以便查明岩层的正常叠覆关系, 正确建立浅变质岩区的填图地层单元。本文根据浅变质岩区的基本构造型式——褶皱层构造, 进行详细解析的基础上, 提出了如何划分和对比地层的一些基本方法。

对于变质岩的研究之所以复杂和困难, 其一, 是变质作用改变了原来岩石的面貌, 其二, 是由于在地壳深部构造条件下, 岩层产生十分复杂多样的流变褶皱和韧性剪切变形, 从而引起岩石内部组构的调整和构造的置换现象等。针对变质岩层的上述特点, 在详细解析露头上各种变形与变质的构造—岩性特征的基础上, 查明它们之间先后的叠覆关系, 并结合地质填图比例尺的要求, 合理确定填图的构造地层单元。

在北京市 1:50000 周口店幅的正规区域地质调查中, 初步建立了该图中元古界—下三叠统的褶皱层构造系统, 并按照新的构造地层单元进行了填图。后来, 作者等又对山西(中条群)、滇西(澜沧群)、安徽、陕南等地浅变质岩区, 进行了填图的研究工作, 发现褶皱层这一构造型式, 在层状变质岩区存在着普遍性。本文拟在过去讨论^[1,2,3,4]的基础上, 结合区域地质调查工作的要求, 再就褶皱层的构造特点, 以及构造地层学方法作进一步的阐述。

一、褶皱层的构造解析

所谓褶皱层(folding layers), 作者曾提出如下定义“褶皱层是一套基本能按时代的新老划分大套层序, 又是以多级顺层掩卧褶皱为代表的固态流变构造群落。它经历了强烈的递进变形, 由新生的平行面状构造横向置换了原生层理, 所形成的崭新的构造—地层单元”^[5]。不同地区及时代的褶皱层构造, 一般都具有如下特点:

(一) 褶皱层是由一系列不同尺度的顺层韧性剪切带所限定的, 以顺层掩卧褶皱为代表的, 包括全部顺层固态流变构造群落的综合体。其基本构造要素计有: 顺层掩卧褶皱(图1. A、B、C、D), 顺层韧性剪切带(图1. E), 顺层流劈理和片理带(图1. F), 粘滞型石香肠构造(图1. G), 褶皱构造透镜体(图1. H), 肿胀式和褶皱式扭转的窗棂构造(图1. I), 同构造褶皱脉(图1. J), 上述构造一般都伴生有透入性的顺层流劈理和拉伸线理, 以及各种旋转变形构造, 其规模一般随卷入变形岩层的厚度及顺层韧性剪切带的

尺度而异，其样式则以岩层的平均韧性和岩层间的韧性差而不同。它们一般都经历了一个比较长期的孕育和发展过程，并在变质岩层或岩系内部，形成形态各异和指向相同的多级褶皱组合系列。

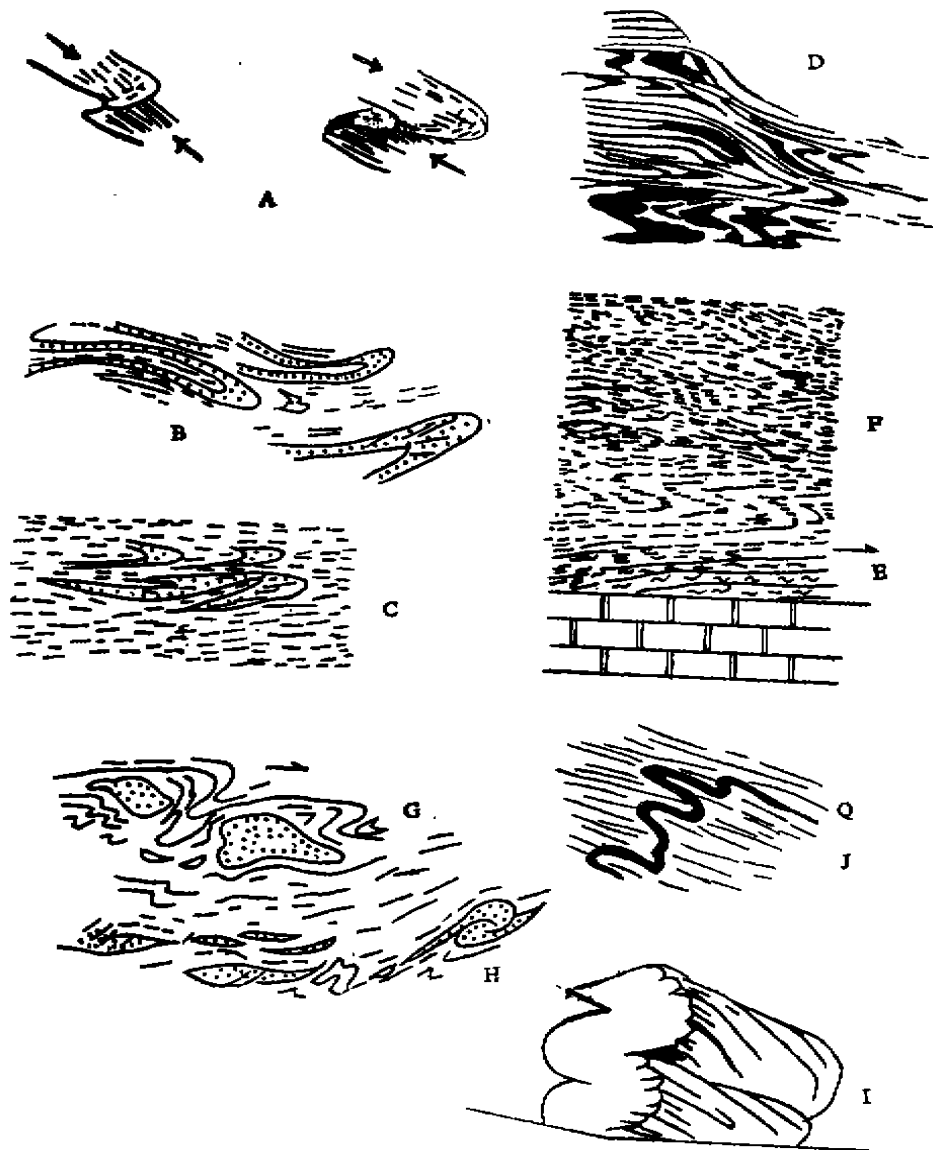


图 1 褶皱构造要素图

Fig. 1. Elements of the folding structure.

A—顺层掩卧褶皱的单剪递进变形过程；B—等斜的顺层掩卧褶皱（河南嵩山）；C—一片内无根的顺层掩卧褶皱（河南嵩山）；D—分层剪切的顺层掩卧褶皱（北京西山）；E、F—顺层韧性剪切带和顺层连续劈理带（山西中条山）；G、H—粘滞型石香肠和褶皱构造透镜体（北京西山）；I—扭转的窗楔构造（北京西山）；J—同构造褶皱脉（陕西旬阳）；箭头指示运动方向。

（二）褶皱层是在地壳较深构造层次发育的大规模水平韧性剪切带的主要表现形式，是原生堆积的成层岩系沿不同尺度发生顺层韧性剪切分层作用，而形成的新生构造地层单元。它是一种透入而不均匀的韧性剪切带。其产状大体与原生沉积的主要界面平行或呈低

角度相交,反映出在一定条件下受层型界面的控制。北京西山和山西中条山的几个重要的地层界面,特别是上、下岩石力学性质差异明显的几个不整合接触面,大都成为大规模构造拆离的先存基础。所以,褶皱层中广泛发育的各种不同尺度的剪切带。正是由于这种分层剪切的拆离机制,使剪切面(带)把不同变形习性的岩层分割开来,把不同类的成层岩石构造分解为各自独立的变形体系,形成强应变带与弱应变带相间排列的构造格局。在这种大小不等的散布式韧性剪切带中,可以有基本上不变形或微弱变形的岩层或岩块存在。一般由最能干的岩层组成,形成断裂或香肠化,原生构造保存良好,原始地层的顺序和厚度没受到多少改造。但在软弱的岩层或强弱相间的岩系里,则发生比较强烈的剪切作用,并导致顺层劈理带或顺层掩卧褶皱带的形成。这样以来,不仅在一定尺度上错乱了原生地层的层序,而且使每一单层的岩层厚度高度变薄。虽然,在地质剖面上经常可以看到某一褶皱层单位的厚度迅速加厚的现象,但实际上是一系列变薄岩层顺层掩卧褶皱的效应。

(三)褶皱层构造是地壳岩石平均韧性不断提高的前提下,一种以粘性应变为主导、以固流体(Rheid)方式剪切变形而铸成的构造。因此,褶皱层内的顺层掩卧褶皱一般都具流变褶皱的性质。主要表现为两种型式:一类发育在软弱岩系里,呈被动褶皱;另一类发育在强、弱岩层相间韧性差异明显的互层岩系里,呈准弯曲褶皱^[3],两类褶皱变形时,岩石都有很高的平均韧性,并都以发育轴面流劈理和拉伸线理为特色。在作为褶皱层单位边界的顺层韧性剪切带里,岩石的流状构造特征及片理化现象更加发育。这一切,无疑都指示褶皱层的构造是岩石在固态或结晶状态下象流体一样运动方式而铸成的永久变形。正如F.J. Turner和L.E. Weiss在讨论重结晶板岩劈理时指出的那样,这种岩石的应变“与其说近于塑性体的流变,莫如说多半类似于粘性体的流变,它们一般都是通过沿剪切应力极低的面发生片流而变形”^[4]。因此,在区域变质岩石的构造变形相的分析中,一般都把岩石的流劈理和片理以及相应的拉伸线理视作一个世代的变质固态流变相的变形标志。对褶皱层构造来说,其固态流动的主要标志显然是顺层流劈理,其流动方向一般都可以从岩石中各种剪切运动标志^[5],如拉伸线理,鞘褶皱的指向以及各种尺度的不对称旋转方向确定下来。

(四)褶皱层是变质构造带中,第一世代构造的递进变形过程中,新生成层构造横向置换原生成层构造的产物。现代地质构造的研究成果表明,构造的置换,特别是新生成层面理对原生层理的置换,是变质岩区规模最大和改造最深的构造—热事件。作者曾在《论横向构造置换》^[6]一文中详细讨论过这种以地壳伸展作用为背景,在地壳较深构造层次,在水平韧性剪切机制下造成的构造置换。北京西山及国内外从浅变质岩区的构造解析资料表明,成层浅变质岩系的形成大多是这一构造置换方式的结果,而且不同能干程度岩层的横向置换各不相同,导致变质岩系的新生成层分带。

(五)褶皱层是在其稳定边界为温度 300—500℃、压力 3×10^8 — 5×10^8 Pa 的环境中(绿片岩相),在区域动力变质作用下,使岩石发生前进变质过程中重建的层状变质岩组合。在岩石变质高潮出现之前,总伴随有大规模的韧性剪切运动,因而褶皱层的变质热源不仅同其埋深和当地地热梯度联系在一起,而且还与应力增热作用有关^[7]。随着剪切作用的持续进行,剪切带内部的温度会逐渐相对升高,从而提高剪切带岩石的变质级序,北京西山诸多顺层韧性剪切带内的变质矿物组合研究表明,剪切带的变质岩形成温度(500℃)

要比上下两盘 (400°—450℃) 稍高。

(六) 褶皱层是大陆伸展构造系统中, 位于韧性中间层的沉积盖层, 受伸展作用而变形的构造型式^[10]。它植根于低角度的构造剥离, 并表现为一个上覆于深变质基底的大规模正向构造滑动系列, 尽管伸展作用使岩层高度变薄。乃至强烈的香肠化和透镜化, 尽管剪切流变作用使岩层内千姿百态的重复褶皱。但这种正向的近水平剪切运动一般都没有牵动和扰乱原生地层的大套层序。即便是其中发育有韧性剥离断层, 它的上盘总是由较新的地层所组成, 而且大多沿物性差异大的界面滑动。这种构造型式显然与板块边缘俯冲带的构造堆覆有明显的不同。

二、褶皱层构造的划分和对比

(一) 在划分岩 (性) 层或岩性段的同时, 必须依据不同岩性单元的构造发育状况 (如褶皱的样式、劈理折射、石香肠构造等), 不同岩 (性) 层的有限应变状态与岩石的能干性^[9] 进行对比, 我们在北京市周口店幅就建立了这样的能干性差异表 (表1)。其目的是确定各类岩石在褶皱层形成过程中的变形能力, 以说明在那些岩层中易于发生断裂、褶皱或韧性剪切带, 某些岩性段之间为何发生构造分层。只有通过以上对比分析, 才能把岩 (性) 层与构造变形二者的成生关系揭示出来。

表 1 北京西山区沉积岩能干性差异表

Table. Difference in competency of the sedimentary rocks in the western Hills, Beijing

能 干 序 次		岩 石 类 型
能 干	1、	白云岩、硅质白云岩
	2、	长石砂岩、长英质砂岩
	3、	石英砾岩、石英砂岩
	4、	岩屑砂岩
较 能 干	5、	含白云质砂质灰岩、含泥质粗砂岩
	6、	鲕状灰岩、含泥质砂岩
较 软 弱	7、	豹皮灰岩、纯灰岩
	8、	粉砂岩、凝灰质粉砂岩
软 弱	9、	泥灰岩
	10、	页岩、泥岩

(二) 研究褶皱层内的构造特征及其组合, 建立各个岩性段的构造地层型 (tectono-stratotype)。所谓构造地层型, 是指一个构造地层单位所依据的构造型式而言, 用它来作为构造地层单位界限的划分标准。一个单位的构造地层型具有一定的模式剖面, 作者对北京西山地区中元古界一下三叠统褶皱层的构造组合, 曾建立过Ⅲ类V型褶皱层单位的模式剖面 (图2)。

第Ⅰ类, 划分性顺层韧性剪切带: 发育在厚层能干岩层 (如白云岩) 构成的岩系中, 形成强应变带与弱应变带相间排列。在巨厚的弱应变带中, 其原生沉积特征保留尚完好, 但夹于其间的强应变带, 则形成顺层韧性剪切带。

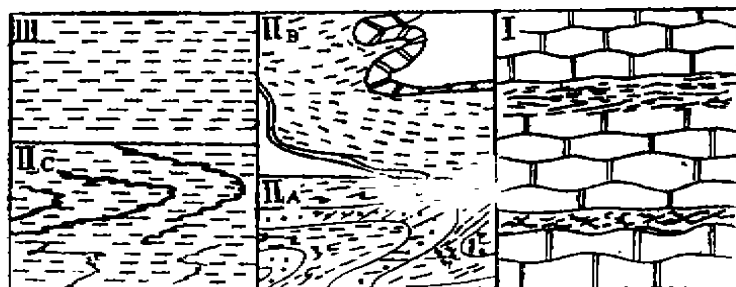


图 2 北京西山褶皱层构造型式图

Fig. 2. Structural style of the folding layers in the Western Hills, Beijing.

第Ⅱ类，顺层掩卧褶皱带：主要发育于具不同能干性差异的互层岩系中，按其不协调性可分为三种型式。

Ⅱ_a型，半协调顺层掩卧褶皱带：主要发育在相邻岩层厚度差异不大，但能干性差异明显的互层岩系中。变形时，由于接触应变带相互重叠，能干岩层形成轮廓清晰的紧密褶皱，发育扇形劈理；而在软弱岩层中流变显著，发育反扇形劈理。在一个较大一级褶皱的内部，形成有规律的“Z”、“M”、“S”型的次级褶皱组合。

Ⅱ_b型，不协调顺层掩卧褶皱带：主要发育在薄层能干岩层寓于厚层软弱岩层中的岩性组合，其韧性差显著，虽然总体上的变形呈被动褶皱，使软弱岩层全部面理化，但其中能干夹层却呈不规则肠状弯曲，主、从岩层褶皱之间在空间上没有明显的规律。

Ⅱ_c型，协调顺层掩卧褶皱带：主要发育在相邻岩层能干性差异较小，单层较薄的互层岩系中，这种型式的褶皱岩层的平均韧性大小而有不同的样式。在平均韧性较低的岩系里，一般呈平行一相似褶皱的各种样式。但在平均韧性高的岩系里，被动褶皱十分发育，形成相似一顶厚褶皱，翼部极度拉长变薄，轴面劈理置换作用明显，很容易把新生面理错当成原生层理。但只要认真追索，其明显加厚或透镜化的转折端仍然可以确定下来。

第Ⅲ类，透入性顺层连续劈理带：主要发育于均一的软弱岩系中。以高韧性剪切变形为主导，构造置换作用相当彻底，已很难看到原生构造的形迹。只有个别岩性组分稍有差异的地段，才有可能见到残余的片内无根褶皱的踪影。

(三) 确定构造地层界面的性质和地位，划分构造地层单元的级序。构造地层的界面一般有两种性质，一种是基本平行于岩性分界面的顺层面理和顺层韧性剪切带，对这种界面，一般都以岩性的突然改变为划分的标准，把岩性和构造互不相同的区段分属不同的构造地层单元。另一种界面是韧性剥离断层，这种界面常常使上覆不同岩性段直接与下盘岩层接触，并且使各个原生层位因构造的剥蚀作用而高度变薄或缺失，使这一套高度糜棱岩化、片理化和香肠化、构造透镜化的成层岩系厚度锐减，以致填图工作中必须把众多地层组、段归并成一个独立的构造变薄地层带。在这个带内外，各岩性段之间实际上都是韧性断层的接触。因此，在区域地质填图中，分割褶皱层群或组、段的地质界线实质上多是一种构造剥蚀面或构造滑动面。只不过各自的构造地位不同而已。

一般地说，由大型顺层韧性剪切带或剥离断层分割的两个不同地质历史的构造地层单位仍划分为“群”。一个群可以是一种构造型式的巨厚构造地层带的多级组合（如蓟县群），

也可以是二种或更多种构造型式的构造地层带的连接组合(如青白口群、中条群)。群与群之间接触关系通常是为剥离断层隐蔽的不整合。超群的划分还必须有界线上下构造序列对比的依据才能确定。其准则是:下伏岩系将具有前构造—热事件造成的完全独有的构造要素;并且同时具有上覆岩系共有的后期构造—热事件形成的构造格局。对一个组的地层来说,它一般由顺层韧性剪切带所分开,并具有岩石成分、变质程度和构造样式上的一致性。不同的组有不同的构造地层型。如北京西山的馒头—毛庄组是顺层连续劈理带,昌平组是不协调顺层掩卧褶皱带。至于更低级次的构造地层段,一般只有一种岩性和一种构造型式,在划分褶皱层的构造地层带的过程中,标志层仍然具有十分重要的意义。

(四)查明构造地层单位相对上下的叠覆关系,建立综合构造地层柱状剖面。这项工作,一般是从构造型式比较清楚,岩层正倒叠覆关系和构造样式比较明确的地段开始,先建立局部的构造地层顺序,然后循序渐进,向外扩展。在恢复原岩及其接触关系的基础上,逐步确定全区的构造地层层序。建立起综合地层柱状图,用以代表一个地区的构造地层特征。这里应该明确指出,变质岩区构造地层柱状剖面的建立,与一般的沉积岩区不同,它不是建立在填图工作的开头,而是贯彻于整个区调工作的始终。只有通过填图,把各构造地层单位的空间叠覆关系确定下来,褶皱层的综合地层剖面才能真正的建立起来。在褶皱层的柱状图上,不仅绘制各单元的岩石花纹样式,而且还必须形象地表示出单元内部构造的基本样式;除了作出简单的岩性描述以外,还要按沉积、变质和构造三个方面阐明褶皱层的基本特征。

(五)构造地层单位的划分一般仅具有同一构造变质带内部填图单位的意义,对构造和变质作用特点不同的邻带之间的填图单位,一般很难按地层学意义进行对比。从许多地方的褶皱层的研究表明,如果发现有可供对比的区域性不整合、标志层,某些古生物学证据或年龄数据时,在综合分析变质岩石的变质相和构造变形相变^[1]的基础上,大区域的构造地层对比剖面仍然有可能建立。如果不具备上述条件时,对不同的构造变质带,最好分别建立各自的构造地层系统。

鉴于变质岩系的发育情况十分复杂多样,其规律性的认识和工作方法尚待进一步深入研究,写作本文的目的只是想起到抛砖引玉的作用。最后,作者感谢马杏垣教授对这一研究的关怀和指导,感谢宋鸿林教授给予亲密合作,以及张吉顺、任建业等同志的支持。

参 考 文 献

- [1] 单文琅、傅昭仁,区域变质岩区填图的构造地层学准则。地球科学,1987,12(5)。
- [2] 傅昭仁、单文琅,论横向构造置换。地球科学,1989,14(1)。
- [3] 单文琅、傅昭仁,北京西山的褶皱层与顺层固态流变构造群落。地球科学,1984(2)。
- [4] 单文琅、傅昭仁,北京西山水平分层剪切流变构造初探。地球科学,1987,12(2)。
- [5] E.W.斯宾塞,地球构造导论(朱志澄等译1981),地质出版社。
- [6] F.J.特纳、L.E.韦斯,变质构造岩的构造分析(周金城等译,1978)。地质出版社。
- [7] 任建业,变形岩石中的运动学标志。中国地质大学《地质科技情报》,1988(1)。
- [8] J.G.Ramsay,岩石韧性及其对山带中构造发育的影响,李志骏译。武汉地质学院《基础地质译丛》1985总第三期。
- [9] A.Nicolas等,变质岩石中晶体塑性和固态流变(林传等译,1985)。科学出版社。
- [10] 宋鸿林等,剥离断层,板块内近水平的剪切带与伸展构造。地球科学,1987,12(5)。

THE FOLDING LAYER STRUCTURE AND STRATIGRAPHIC DIVISION IN LOW-GRADE METAMORPHIC TERRANES

Fu Zhaoren and Shan Wenlang

Abstract

As part or most of low-grade metamorphic rocks have undergone solid- and liquid-state deformation, not only relict (primary) structure has been preserved but there also occur late-stage rheomorphic folds (folding layers) and ductile shear deformation as well as readjustment of rock fabrics and transposition of structure. Therefore the authors stress that we should adopt the working method of "taking the lithological division as the foundation and the structural analysis as the dominant factor of the geological work", in other words, we should follow the tectonostratigraphic criteria in order to ascertain the normal superposition relation of the strata and establish correct stratigraphical units for mapping in low-grade metamorphic terranes. According to the basic structural style—folding structure—in low-grade metamorphic terrane, this paper proposes some fundamental methods for stratigraphical division and correlation.

(上接第254页)

GEOLOGICAL FEATURES AND ORE-CONTROLLING CHARACTER OF CRYPTOEXPLOSION BRECCIA BODIES IN THE NANJING-WUHU VOLCANIC TERRANE

Zhan Yuchen

Abstract

On the basis of an investigation, the cryptoexplosion breccia bodies in the Nanjing-Wuhu volcanic terrane is classified into three types. From an analysis of the data and observations of the deeply excavated site of the Aoshan breccia body and others, it has been confirmed that they are of cryptoexplosion origin. They were formed through a series of physico-chemical changes such as differentiation, evolution, cooling, pressure-releasing, ebullition, boiling and explosion under closed conditions. They were controlled by the same paleogeothermal and geochemical field as the ore-bearing residual magma and fluids and thus were closely related to the latter in space and time. So they can furnish clues leading to the discovery of hidden orebodies.