

北京西山地质研究

张吉顺 单文琅 主编



中国地质大学出版社

前 言

北京西山的地质调查和地质研究工作,在我国开展最早,至今已有百余年历史,研究程度相当高。她以地质构造现象丰富、典型而闻名,历来为国内外地质学家所关注,被誉为“中国地质工作者的摇篮”。

1914—1918年叶良辅、谢家荣等二十余人对北京西山进行了系统的地质调查,完成了北京西山1:10万地质图,1920年出版了《北京西山地质志》。这是我国第一部区域地质专著,反映了我国当时的地质研究水平。1929年12月4日裴文在中在周口店发现了中国猿人头盖骨化石,轰动了世界,从此使周口店闻名中外。

解放后,北京西山的地质调查和研究不断深入,尤其是周口店地区,许多著名地质学家、科研部门、生产单位和地质院校都在这里作过大量的工作和专题研究。特别是1954年原北京地质学院在周口店建立教学实习基地以后,对周口店地区进行了更为全面和深入的研究,取得了不少成果。1961—1963年,原北京地质学院西山实习队,按区测规范要求进行了正规1:5万地质调查,其基础地质研究及矿产普查工作皆达到了当时的先进水平,所填地质图精度较高,此后各单位编制的不同比例尺地质图件,涉及到该图幅范围的,均以其为蓝本。

60年代初,马杏垣教授曾率领原北京地质学院西山科研集体,对北京西山的地质构造进行了专题研究。十年动乱结束后,我校部分教员又重新组织了科研集体,恢复了北京西山的地质研究工作,运用当代构造地质学的新理论和新方法,特别是马杏垣教授倡导的现代解析构造学的构造观和方法论,开展了更深层次的地质构造研究。

1984年,受北京地质矿产局的委托,我校承担了周口店幅第二代1:5万区调任务。结合1:5万区调,对周口店及临近地区进行了全面、系统的地质调查和专题研究,1988年5月通过了最终成果验收。本专辑就是在此基础上编写而成的。

该项目的负责人为张吉顺、单文琅,参加教师及研究生有宋鸿林、傅昭仁、曹伯勋、李志忠、王人镜、袁鄂荣、王方正、薛重生、葛孟春、田明中、章泽军、李长安、曹树钊、杨淑荣、任建业、徐晓冬、洪昌松、何斌、成勇、赵占元、马昌前、韦必则、彭少梅、郑在胜、鲍世聪、穆青、金元等30余人。

对北京西山地质构造的新认识和新发现,有些已在各种刊物上发表过(见附录),本专辑发表的论文是近年来的研究成果。本着百家争鸣、百花齐放的原则,对少数存在不同认识的论文也予以发表,以求更广泛、深入的讨论。

全书由张吉顺、单文琅审定,朱志澄、叶俊林、路凤香分别审查了有关论文,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

1989年6月

目 录

构造地质

- 北京西山南部的构造演化.....单文琅、张吉顺、宋鸿林、傅昭仁(1)
北京西山的构造变形相变分析.....傅昭仁、单文琅、成勇(8)
北京西山的剥离断层.....宋鸿林、何斌、郑在胜、韦必则(19)
北京西山的推覆构造.....葛孟春、任建业(30)
北京房山变质核杂岩构造.....韦必则、宋鸿林(42)

花岗岩构造

- 北京房山花岗闪长岩体的侵位变形构造及气球膨胀式侵位机制.....张吉顺、李志中(48)
北京房山岩体剪切带的显微构造.....李志中(63)
北京西山房山岩体侵入接触带构造应力场的初步研究.....章泽军(73)

岩石

- 北京西山蓝晶石变质带的发现及其地质意义.....王方正(83)
北京西山北岭向斜早侏罗世细碧岩及其成因.....王人镜、金元(93)

地 层

- 北京周口店地区地层特征及其与邻区的比较.....袁鄂荣(103)

第四纪地质

- 北京周口店地区晚新生代地质与环境研究新进展.....曹伯勋、田明中、李长安(109)
新发现的周口店早更新世太平山组孢粉资料的多元统计分析及其古气候意义
.....田明中、李长安、曹伯勋(121)
周口店地区新构造运动的基本特征.....李长安、曹伯勋、田明中、赵志忠(132)
周口店“下砾石层”粒度分析资料的多重方法处理及其成因分析
.....李长安、田明中、曹伯勋(142)

遥感地质

- 遥感图象岩性地层解译制图及其效果评价.....薛重生(150)

旅游地质

- 北京周口店地区旅游资源概要及规划意见.....田明中、曹伯勋、李长安(160)

成图工艺

- 北京周口店幅(1:5万)区域系列地质图成图工艺流程设计.....洪昌松(166)
附录:1983年以来已发表的主要论文目录.....(172)

图版

北京西山南部的构造演化

单文琅 张吉顺 宋鸿林 傅昭仁

【摘要】 本文运用构造解析的原则和方法,通过对变形、变质、岩浆、沉积等地质事件的相互关系的分析,论述了北京西山南部的构造演化,建立了10个世代的变形序列,确定出至少有5次伸展和收缩构造体制的转换。其中印支主期的东西向褶皱和燕山主期的北东向褶皱、断裂以及岩浆活动奠定了本区的基本构造格架。

【关键词】 构造演化, 变形序列, 构造体制, 北京西山

北京西山地处华北板块中部,北北东向太行山脉东北端,东邻华北平原,北为近东西向的燕山山脉,在构造上处于一个十分独特的位置,类似于板内的三结点所在地。以上两个构造方向控制了区内多期构造的运动图象。其中北京西山南部周口店一带,各种构造现象集中发育,成为板内浅变质岩地质构造的典型地区,历来为中外学者所关注。过去,虽然也注意到了该区构造与典型地台型构造有很大区别,但一般仍认为本区与华北地台广大地区一样,自吕梁运动以后到中生代初,一直处于稳定的地台升降状态,直到燕山运动才造就了本区复杂的构造变形和变质,即把构造的复杂性看做是燕山运动在这一地区强化的结果。80年代以来,随着现代构造解析方法的应用,北京西山的构造研究达到了一个新阶段,获得了许多新的认识。

通过区域地质调查,采用系统科学指导下的多层次、多体制、多尺度的构造解析原则和方法,根据本区构造变形的特点,我们建立了如下构造序列。现将此构造序列及其相应的变质和岩浆活动事件列于表1。表中的剪切变形相的运动方向是指上盘相对下盘的运动方向而言;其中D₀及D₁的伸展构造仅认识到其火山活动的表现,其它变形还不能从基岩构造中辨认出来。

一、太古代基底构造变形旋回

本区太古宙基底岩系仅少量出露在房山岩体的南北两缘,是以印支期基底剥离断层的变质核杂岩体的面貌出现的。因受后期构造和岩浆侵位的强烈改造,其先存构造面貌已很难恢复,仅能从内部残余的小型构造判断,基底变形应属深构造层次下的流动变形相。

二、印支或更早构造变形旋回

印支或更早的构造变形旋回,包括从伸展构造到收缩构造不同构造体制下的4个世代的构造。它们依次是:

表1 北京西山南部变形序列及变质和岩浆活动序列

构造事件						变质事件	岩浆事件
旋回	世代	体制	构造类型	运动方向	变形相		
喜山旋回	D ₁₀	伸	辛开口正断层为代表的山前断裂	→ SEE	脆性剪切破裂	D1Me3	
燕山旋回	D ₉		房山岩体的岩浆热动力构造	↑	岩浆热动力构造	水热蚀变 D1Me2 接触变质	D1Ma3 花岗闪长岩、 石英闪长岩
	D ₈	缩	南大寨逆冲推覆构造	← NWW	脆性剪切破裂	D1Me1 绿片岩相, 区域变质作用	D1Ma2 安山岩
	D ₇	伸	以碧霞山组安山质火山喷发为代表	↓	裂隙作用		
	D ₆	缩	北北东向北岭上叠向斜; 基底岩层中的膝折带	↗ NWW	弹塑性纵弯曲		
	D ₅	伸	中性爆发式火山活动; 裂隙盆地玄武岩喷出	↓	裂隙作用		
印支旋回(或更早)	D ₄	缩	东西向面理褶皱; 轴面褶皱理的纵向构造置换	↔ SN	弹塑性纵弯曲	D1Me2 退级变质绿片岩相	D1Ma1 中、酸性火山岩, 玄武岩
	D ₃	伸	层间剥离断层, 下盘碳酸盐岩糜棱岩化	→ SEE	脆-韧性剪切		
	D ₂	缩	黄山店、霞云岭推覆构造	↖ NNW	脆-韧性剪切	D1Me1 区域热动力前进变质作用, 低角闪岩相(蓝晶石、十字石)	
	D ₁	伸	褶皱层及基底剥离断层发育, 顺层掩卧褶皱及顺层韧性剪切带的横向构造置换作用				
太古代			基底构造				

D₁: 顺层固态流变构造和基底剥离断层

这期变形以褶皱层的形成与基底韧性剥离断层的发育为代表。褶皱层是在较深构造层次的近水平剪切流变机制下, 经受变形-变质作用改造的构造地层实体, 虽然基本上仍能按时代新老划分出大套层序, 但在本质上是一套发育有以多级顺层掩卧褶皱和顺层韧性剪切带为代表的固态流变构造群落, 并经历强烈递进变形, 由新生面理横向构造置换原生层理而形成崭新的构造地层单元。根据这一世代构造的固态流变性质, 说明它的生成环境是在地壳较深构造层次。据有关变质相的变质反应分析, 其所处的环境温度为 300—500℃, 压力为 3×10^8 — 5×10^8 Pa, 大致相当于 Mattauer (1980) 估定的劈理上限深度范围的 p - T 条件。在这个变形环境中, 本区发生了较深构造层次的伸展式地壳圈层水平剪切拆离。在水平分层剪切流动机制下, 岩石流动速度梯度的不均一性变化, 是产生不同尺度韧性剪切带及不同级别和形态的顺层掩卧褶皱的控制因素。这同 P.J. Hudleston (1977) 所研究的冰川中片内褶皱及顺层流劈理的成因机制基本一致。因此, 我们认为, 褶皱层及其各种构造要素所代表的构造型式是变质岩区普遍存在的早期基本构造型式, 本区的剪切流动方向为 NW300°—SE120° 左右。

D₁F: 基底剥离断层是形成本区太古宙变质核杂岩体糜棱岩的关键构造。这个剥离断层

的发育年代可能要更往前追溯。实际上, 根据本区房山穹隆周围中石炭统清水涧组及以磨各组地层的岩相分析推测, 本区基底剥离和盖层的伸展, 很可能早在印支运动前就开始了。

此外, 根据本区褶皱层中卷入了变质岩床或岩脉的情况分析, 这些岩体应是早于褶皱层发育(或同时)的岩浆活动产物, 说明岩浆侵位是伴随地壳的伸展变薄而发生的, 其年代测定不少于200Ma。

D₂: 逆冲推覆构造

继褶皱层发育后, 本区构造变形场由伸展体制转化为收缩体制, 导致逆冲推覆构造发育。根据对霞云岭冲断推覆构造和黄山店褶皱-冲断构造的研究得知, 虽然两者的上盘构造变形略有不同, 但它们都存在着宽大的断坪, 说明逆冲断面在某种程度上继承了先存分划性顺层韧性剪切带。推覆体沿着洪水庄组和下马岭组软弱岩系发生远距离的滑移, 位移长达3—5km, 但是沿断层面没有出现明显碎裂流动的形迹, 显示为比较典型的构造滑动(tectonic slide)特征。因此, 本期构造应属中、下部构造层次的脆-韧性过渡变形相的产物。逆冲推覆方向总体为北北西向, 反映了近南北向的收缩。

D₃: 晚期剥离断层

它是叠加在早期推覆构造之上的一期低角度正断层系, 是继D₂之后再次发生近南东向伸展作用的标志。其主要断层面, 一是沿奥陶系底面滑脱, 一是沿奥陶系和石炭系之间的平行不整合面滑脱。这期剥离断层产生的构造环境, 虽然不如早期剥离断层有那么深的层次, 但其下盘碳酸盐岩的糜棱岩化仍很明显, 因此它的发生相当于稍深构造层次的脆-韧性过渡的剪切变形相。

D₄: 印支主期面理褶皱

它是印支变形旋回的定型构造, 它奠定了本区前燕山期东西向的基本构造格局。印支主期褶皱是以前3期的构造面(特别是S₁)为变形面的。其基本构造型式为背形开阔、向形紧闭的近东西向的直立褶皱, 并伴有近直立的压溶劈理, 反映了褶皱的形成机制为南北挤压下的纵弯曲褶皱作用, 局部伴有压扁作用。属中构造层次的以弹性变形为主的构造变形相。

三、燕山变形旋回

随着印支运动的结束, 本区构造变形场发生了重大改变, 近东西向的构造格局被北东向的构造格局所取代。燕山变形旋回包含有5个世代的构造:

D₅: 裂陷作用

裂陷作用主要表现为侏罗纪早期的南大岭组玄武岩的喷发。其后的侏罗纪煤盆地沉积及地层中大量中、酸性火山碎屑物质的存在, 都表明在侏罗纪早期本区受到了水平伸展作用。从煤盆地及玄武岩的区域展布来看, 拉张方向可能为北北西向。

D₆: 北东向的层理褶皱

它主要发育在不整合盖在双泉组或更下层位上的侏罗系地层中, 其代表性构造就是北岭上叠向斜。向斜的褶皱作用为“侏罗山式”, 沿侏罗系下伏不整合面发生滑脱, 而使北岭向斜隔基底滑脱面叠置在D₄期向形之上。下伏基底岩系中, 特别是板岩中, 出现的部分膝折带和小型共轭褶皱可能属于这一世代。D₆的褶皱特点, 反映了中间构造层次的、以纵弯褶

皱作用为主的变形相。

这期北东向的层理褶皱是燕山期的主期构造，它奠定了本区北东向的基本构造格局，与印支期构造形成了明显的叠加关系。

D₇: 裂隙作用

这期裂隙作用主要表现为以髻髻山组安山质火山岩的喷发为代表的伸展作用。基岩中的构造表现尚未发现。

D₈: 南大寨逆冲断层

该断层从东南向北西逆冲，造成东部的长城系弱变形岩石向西逆冲到本区多期变形的褶皱层之上，并切断了D₆期构造，从断层上、下盘岩石的变形-变质特征对比来看，两者各自反映了不同的变形相和变质相，说明推覆体为来自较远地区的外来岩块。与断层相伴生的断层岩属碎裂岩系列，表明这是一期以脆性破坏为主的构造变形，属上部构造层次的脆性剪切破裂变形相。

D₉: 房山岩体的侵位及岩浆热动力构造

房山岩体沿房山穹隆核部侵位，是一个以石英闪长岩镶边、以花岗闪长岩为主体的复合岩株。在岩体边缘，尤其是在其西北缘，发育有片麻状构造，它是与岩体侵位过程有关的挤压面理。与其相伴生的还有共轭韧性剪切带，其钝角平分线与片麻理几乎近于垂直。岩体内的韧性剪切带内，发育有典型的S-C糜棱面理。韧性剪切带及糜棱岩化的花岗闪长岩的存在表明，先存岩体边部凝固后，受后继岩浆脉动侵位的影响，发生了热动力变形，说明房山岩体的侵位机制是一种膨胀气球式的岩浆底辟构造。岩体的侵位时代为燕山中期（132Ma）。岩体内、外接触带的片理和片麻理，反映了一种接触热动力变质的变形相。

四、喜山变形旋回

这是北京西山继燕山主期构造定型后，又重新出现的另一构造格局的构造。

D₁₀: 新生代的伸展构造

这期伸展构造，实际上从晚白垩世就已经开始了，并一直延续到新生代。它的主要表现为山区与平原的差异性升降。如辛开口-黄庄正断层，就是山区和平原的边界断裂之一。在北京西山，这条高角度正断层控制了从白垩系至第四系的沉积及内部构造的发育。在山区则因急剧上升而失荷，因而发育了一系列贯穿性的区域节理系，表现为现今所见的主要线性构造网络。新生代的变形属最上部构造层次的脆性剪切破裂变形相。

五、结 论

综合上述各世、代的构造特征，可以大致得出本区构造演化的一些规律，其主要特征是：

(1) 在本区盖层构造演化中，至少经历了5次构造体制的交替。每次都是由伸展构造体制转换为压缩构造体制，两者构成了一个构造旋回（或亚旋回）。这反映了地壳在发展过程中受到了多次的伸缩或开合。在伸展阶段，不仅在地表反映为沉陷和接受沉积，或是因地幔

上隆导致岩浆的喷发,而且在基岩中也留下了各种伸展体制下形成的构造形迹以及相应的区域动力变质作用的产物。它们被其后的压缩造成的褶皱和冲断构造所改造和叠加。而下一世代的伸展作用又可使早期伸展构造复活或产生新的伸展构造,从而造成了复杂的构造图象。在基岩中,伸展构造的构造形迹极难辨认,但随着工作的深入,人们认识的提高,越来越多的伸展构造将会被人们认识和发现。对比其他地区的构造序列可以发现,这种伸缩体制的交替是许多地区构造演化的普遍规律。

(2) 盖层构造演化的最早期的构造事件,是以固态流变变形相下形成的一套构造,以发育近水平的韧性剪切带、不同尺度的顺层掩卧褶皱或片内无根褶皱及透入性的置换面理为特征的,把沉积岩层改造成不同程度变质的褶皱层。将其与国内外有关变质岩区的构造序列对比可知,几乎所有变质岩区第一世代构造变形都有类似的特点,它们都被描述为片内的紧闭等斜褶皱、小型平卧褶皱、片内无根褶皱等,其轴面理不同程度地置换原生层理而形成“顺层”面理等等。因此,我们认为这种构造形式是变质岩区早期构造的基本型式。许多人将它归因于收缩体制下的构造变形,认为是大型推覆构造的一翼或是推覆剪切变形早期的透入性剪切。这种解释,不能阐明与其相关的“顺层”面理的形成机制,也不能阐明这类顺层掩卧褶皱虽然强烈发育,但不改变整套地层总的层序特点的形成机制。相反,用伸展构造作用下的近水平的顺层剪切作用,则能比较合理地解释这些构造特点。

(3) 本区所建立的构造序列与国内外其他变质岩区的构造序列相比,它们具有相似的规律。本区的构造序列发育比较完善,反映了从下部构造层次(D_1)到上部构造层次(D_2 、 D_3)的演变;其变形机制从早期的变质固态流变及韧性剪切,经以产生具陡倾轴面面理的褶皱为特征的压扁作用和纵弯褶皱作用,到后期以断裂为主的脆性剪切破裂作用,反映了岩石在变形中韧性递减的系统演变。这可能代表了褶皱山系的一般构造序列,不过由于本区燕山期岩浆的侵入,岩体附近的岩石受到接触热动力变质作用而增强了韧性,使这一韧性递减的构造序列增添了一个小的插曲。

(4) 从各世代构造方向来看,本区的印支运动的存在是无疑的,而且还不能忽视其在奠定本区构造格架上的重要性。印支主期造就了本区近东西向的构造格局,而燕山期主要为北东向的叠加的构造格局。两者不仅在构造方位上有明显的截切关系,而且在区域构造背景上也反映出二者分别属于不同的构造系。前者似乎应当与中国东部南北大陆板块的运动史相联系,而后者则无疑与西太平洋板块向中国大陆东部边缘的俯冲有关。这些关系有待于从更大区域的构造研究中得到进一步解决。但可以说,如果过去是争论北京西山是否存在印支运动的问题的话,则现在的课题应当是研究印支运动在西山地区的具体表现了。

(5) 在构造演化过程中,每个构造旋回都发生有相应的沉积事件、变质事件和岩浆事件(表1),它们之间存在着明显的相互制约、相互依存的关系,共同反映了一个地区地壳构造的演化过程。北京西山南部的构造演化史的分析表明,全面阐明各种地质事件的关系,对于分析构造变形的构造体制、变形环境和形成机制是非常重要的和必不可少的。

主要参考文献

- 任建业, 1987, 北京西山黄山店褶皱-冲断构造的发育, 地球科学, 第5期, 529—534页。
宋鸿林等, 1984, 从构造特征论北京西山的印支运动, 地质论评, 第1期, 77—80页。

- 宋鸿林, 1987, 北京西山南部构造序列初探。地球科学, 第1期, 15—20页。
- 宋鸿林等, 1987, 剥离断层、板块内近水平的剪切带与伸展构造。地球科学, 第5期, 535—541页。
- 宋鸿林等, 1989, 论伸展构造在基岩中的表现。地球科学, 第1期, 51—57页。
- 李智陵等, 1985, 北京西山黄山店深层滑覆体的厘定。地球科学, 第2期, 57—60页。
- 单文琅等, 1984, 北京西山的褶皱层与“顺层”固态流变构造群落。地球科学, 第2期, 33—41页。
- 单文琅等, 1987, 北京西山水平分层剪切流变构造初探。地球科学, 第2期, 113—120页。
- 单文琅等, 1987, 区域变质岩区填图的构造地层学准则。地球科学, 第5期, 559—566页。
- 单文琅等, 1989, 北京西山南部盖层的构造演化。地球科学, 第1期, 37—44页。
- 张吉顺等, 1987, 北京西山周口店地区的线性构造分析。地球科学, 第5期, 543—550页。
- 傅昭仁等, 1983, 变质岩层构造的形变相分析。地球科学, 第3期, 63—72页。
- 傅昭仁等, 1989, 论横向构造置换。地球科学, 第1期, 59—65页。

THE TECTONIC EVOLUTION IN THE SOUTHERN PART OF WESTERN-HILL, BEIJING

Shan Wenlang Zhang Jishun

Song Honglin Fu Zhaoren

(China University of Geosciences, Wuhan)

Abstract

Using the principle and method of modern tectonic analysis, the tectonic evolution in the southern part of Western Hill, Beijing, are studied. It can be seen that in the deformation series, which may be divided into ten generations, the transformation of tectonic regimes from extension to compression can be recognized, which occurred at least five times. The fundamental tectonic framework of this studied area was mainly formed by two tectonic events, the EW trending folds (D_1) of Indosinian movement and the NE trending folds (D_2) of Yanshanian movement. The differences of the orientation and style of structures between both events indicate that they result from the different tectonic background.

Key words: tectonic evolution, tectonic regime, deformation series, Western Hill, Beijing

北京西山的构造变形相变分析

傅昭仁 单文琅 成勇

【摘要】 “同相异样”和“同物异相”是构造变形相及其相变研究中的两条基本分析准则。北京西山南北两构造区的、第一世代盖层构造的构造地层、构造样式和有限应变状态的分析 and 对比表明,同一层位和同一岩性层的变形相差异和相变的原因是:它们分别属于不同的构造环境和构造层次,以不同的构造物理和构造化学方式经受伸展作用。

【关键词】 构造变形相, 变形相变, 构造群落, 能干性

构造变形相分析是马杏垣教授倡导的当代以系统科学为指导的、多尺度、多层次、多体制、多因素和多类型全方位动态构造解析方法的一个重要组成部分。这种方法建立在对构造几何学和运动学的全面观测和分析的基础上,侧重从构造生态的角度去解析各种岩石变形特征中蕴含的变形环境因素的信息;根据同相异样和同物异相分析准则划分不同变形相的构造群落;根据不同变形相的相变、转换和序列分析,进而探讨地质时期中不同构造环境、不同构造体制的时、空演化规律。

北京西山是一个从事构造变形相理论和方法研究的最佳基地,具有得天独厚的条件:岩石地层单位的划分标志明显;同一构造世代的变形在不大的距离内强度反差强烈。近十年来,笔者等曾按照构造变形相分析的基本原则,详细讨论过北京西山南部中上元古界一下三叠统变质盖层岩系中印支或更早世代的褶皱层与“顺层”固态流变构造群落、褶皱层的构造型式及其变质固态流变变形相的分层剪切机制、横向构造置换的过程。本文的目的,除对变形相分析的两项基本准则进行讨论外,还应用该准则对北京西山印支或更早期时期的构造变形相作进一步的阐述。

一、变形相分析的同相异样准则

构造变形相分析认为:在同一变形环境中,不同变形习性的岩层和岩体,在同一构造作用下必然会铸成不同类型、不同样式和具不同有限应变状态的构造;这些不同的构造中蕴含着反映相同构造变形相的信息。这就是变形相分析的同相异样准则。

岩石的变形习性是指由岩石本身的物理化学特性所决定的抵抗变形的能力。从构造分析的角度来说,它主要由岩石的各向异性和能干性两个方面体现出来。如岩石的各向异性是发生褶皱的先决条件,各向同性的岩石往往只表现为压扁或剪切;能干岩层在纵弯褶皱中常起主导作用,而软弱岩层的褶皱则常表现被动性状,等等。因此,为了正确运用同相异样准则,首先需要根据在野外确定岩石能干性差异的方法,建立起研究区某一世代变形岩石的能干性差异表。表1为笔者在北京西山根据第一世代盖层构造特征分析建立的、本区沉积岩系的能干性差异表。

北京西山的构造变形相变分析

表1 北京西山沉积岩层能干性差异表

能干次序		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、鲕状灰岩、含泥砂岩
	6	
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

岩石能干性差异表是进行构造变形相分析的物质基础。如北京西山南部周口店区早期变质固态流变构造的样式和构造组合，基本上是随卷入变形的岩性和厚度的不同而异的（图1）；蓟县系中分划性顺层韧性剪切带的形成，主要是因该构造地层的建造是以能干的厚层白云岩为主的；馒头-毛庄组的透入性连续劈理带的形成，则是以软弱的、韧性差极小的泥页岩为基础的；至于各种类型的顺层掩卧褶皱带，其构造的协调程度和各层的褶皱样式差异，均可由互层岩系的相对厚度大小及相邻岩层之间的韧性差和平均韧性的不同而得到解答。但是在同一变形环境中形成的各种各样构造中，必然蕴含着反映同一变形相的信息。如在北京西山南部的褶皱层中，尽管各类构造千姿百态（图1），但根据其变形相标志——流劈理和拉伸线理的顺层稳定排布和同具高级绿片岩相-低级角闪岩相的区域动力变质反应，可以将它们都归入同一固态流变变形相的构造群落。

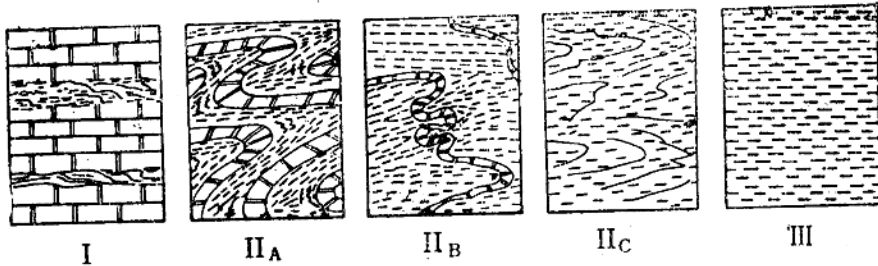


图1 北京西山南部褶皱层的构造型式

I：分划性顺层韧性剪切带；II_A：半协调顺层掩卧褶皱带；II_B：不协调顺层掩卧褶皱带；II_C：协调顺层掩卧褶皱带；III：透入性顺层连续劈理带

通过解析各种天然构造形迹的成因线索，透过千差万别的表象，从中找出它们之间的内在联系，从生态的角度有机地把同一世代的不同类型、不同样式和不同有限应变状态的构造联系起来，用以建立起相应的构造群落，是构造变形相分析的首要任务。对一个地区的某一世代构造按同相异样准则分析的过程，也就是建立构造群落的过程。从北京西山南部各构造世代所形成的构造群落来看，它们分别都有各自特定的变形面、各自特定的变形组构特

征和区域动力变质反应；而在同一构造群落内，各不同类构造在样式及变形状态上的差异，一般皆可以通过研究岩石的变形习性而找到它们之间的成因联系。

二、变形相分析的同物异相准则

构造变形相分析还认为：岩石变形习性是一个动态的概念，即同一岩石的变形习性会随各种环境因素的变化而改变。大量构造地质观测和岩石力学实验的结果证明：环境因素（如温压条件、地球化学溶液条件、构造作用力的作用方式和大小、应变速率、时间等等）的变化必然导致相同岩石呈现变形习性的差异。因此，同一岩层或岩体处在不同的变形环境中变形，必然会产生不同变形相的构造效应，这就是变形相分析遵循的同物异相准则。

在分析和对比不同构造单元的构造发育时，必须采用同物对比的原则，只有通过相同层位或岩性层的构造比较，才有可能根据地质调查和研究工作中所获得的各种变形相标志及岩石有限应变状态的测量和分析结果，对不同构造单元的同一世代构造的变形相归属作出判断（表2），从而才有可能对各构造单元当时所处的生态环境和构造层次进行恢复。

表2 构造变形相分类表

		变 形 相			
		脆裂剪切变形相	弯曲-滑断变形相	固态流动变形相	深熔流动变形相
构造变形标志	褶皱的构造物理类型	舒缓的弯滑、挠曲或棱角折曲	弯滑-弯流褶皱	被动褶皱、准弯曲褶皱 一片内无根褶皱	被动柔流褶皱、肠状褶皱
	剪切带的构造性质及构造岩	脆性剪切破裂及棱角状断层角砾岩	脆-韧性过渡型断裂带或构造滑动、断层碎裂岩及滑裂岩块宏观定向	韧性剪切带及糜棱岩或劈理化岩石	构造片麻岩带
	劈理发育的特征	无	弱岩层中开始发育间隔劈理并与层理大角度相交，压扁、压溶现象出现	全面流劈理化，其连续性随脆性降低而增加，与层理低角度（ $< 30^\circ$ ）相交，动态重结晶明显	岩石面理强烈重结晶，形成变质分异条带，静态重结晶常抹杀先存劈理结构
	节理及同构造结晶脉	区域性直立节理系统	作为大型构造的从属节理系统全面发育	局部引张区同构造结晶脉发育并卷入旋转变形	混合岩脉呈多种形式贯入或交代围岩
	线理发育的特征	无新生或组合的线理	以b线理为主，拉伸矿物线理主要发育在平行层理的运动面或断层面上	新生线状构造全面发育，拉伸线理位于轴面劈理或韧性剪切带劈理面上，由新生矿物集合体或变形残余组分（如砾石、鲕……）组成	由结晶粗大的针状、柱状颗粒定向构成
	石香肠及其他构造的类型及特点	无	张裂型或劈裂型石香肠、铅笔构造	粘滞型、褶皱型石香肠、肿胀式、劈理式窗棂构造，石英棒、方解石棒全面发育，各种旋转变形清晰	构造透蚀化呈漂浮岩块

北京西山的构造变形相变分析

续表2

		变 形 相			
		脆裂剪切变形相	弯曲-滑新变形相	固态流动变形相	深熔流动变形相
构造置换的程度		无构造置换, 原生沉积构造全面保存	在弱岩层中, 有局部轻微的置换, 强岩层未被置换, 原生沉积构造基本保存	构造发生不同程度的置换。其程度随岩石能干性降低而增加, 弱岩层全面置换, 原生沉积构造消失或强烈变形	经不同程度构造置换后, 又受重结晶作用, 全面改造
应变状态	圆形标志变形后的最大轴率	0—0.7	0.7—2.7	>2.7	
	剪应变变量	0—0.84	0.84—2.74	>2.74	
构造群落		以弹性应变为主导 断折构造群落	以弹塑性应变为主导 弯曲-冲断构造群落、 构造滑动构造群落	以粘性应变为主导 变质固态流变构造群落	以重结晶流动为主导 深熔柔流构造群落
构造变形环境	变形温度(°C)	0—150	150—300	250—400以上	573以上
	有效围压(10 ⁸ Pa)	<3—4		3—4以上	7—8
	地球化学溶液	氧化环境下地下粒间水的运动为主导		还原环境下变质水的运动为主导	还原环境变质水和混合岩浆水先后全面作用
构造层次		上部构造层次	中部构造层次	下部构造层次	最下部构造层次

注: 上表是以作者对北京西山、河北迁安、山西中条山、云南澜沧地区、安徽月山等不同类变质岩区及中国东部古生代沉积岩区和中生代盆地的构造研究为基础, 参照E.И.Павлова构造相、E.Hansen应变相及M. Mattauer构造层次的划分方案制作的。

划分某一世代的构造变形相, 必须强调分析同一层位或岩性层的变形相标志。所谓变形相标志, 主要是指能反映岩石变形环境因素的某些特定的构造形迹或其组合。如不同成因类型的劈理、不同程度的构造置换现象、糜棱岩中不同矿物组分的塑性变形阶段、各种应变标志及其反映的应变状态以及不同断层岩类型, 等等。

当两相邻地区的类同层位或类同岩性层的构造在空间上出现构造样式的变化和有限应变状态的差异时, 这种反映变形环境改变的现象即构成变形相的相变。变形相相变是指同一构造世代中不同构造单位的变形环境的过渡或差异。如果同一岩层在同一地区的不同构造世代中, 出现变形习性或构造变形面的转化, 形成不同变形相的构造叠加, 这种构造变形相随时间而改变的现象则称为变形相的转换。同一地区先后相继的不同变形相的转换就构成了该区的变形相序列。

三、北京西山的变形相变

北京西山以谷积山为界, 中上元古界和古生界的盖层岩系, 在D₁世代变形中, 南北两区呈现完全不同的变形-变质效应。北部门头沟区变形变质极其微弱, 以层理为变形面的构造主要表现为能干岩层的石香肠化及韧-脆性雁列脉的发育以及轻微的弯滑褶皱作用, 与一般沉积岩构造一样。其南部的周口店区, 以层理为变形面的构造则发生了十分强烈的变质固态

流变,将原生沉积成层构造改造成新生的构造地层单元——褶皱层。为了认识这两个不同构造区段的构造变形相及其相变,作者选择了从下苇店—谷积山—周口店的横穿剖面,对两个区段的小型构造和显微构造进行了“同物异相”和“同相异相”的分析。详细的工作主要是选择青白口系及寒武奥陶系中某些具有标志层含义的层位,在构造地层、构造样式及有限应变状态等三个方面进行了同物构造对比。

1. 构造地层对比

构造地层的对比主要是针对卷入主期褶皱的成层岩层而言的,一般在如下三个方面进行比较。

- (1) 同一组地层中同一成分层的矿物共生组合及其变质反应。
- (2) 类同岩性层内部的结构要素及其横向构造置换的程度。
- (3) 同一地层组在空间上的厚度变化及其变化率。

从北京西山中上元古界及下古生界各组的原生沉积地层来看,它们在最初都与华北地台其他地区一样,都是沉积相变不大的稳定盖层沉积。但自印支或更早一些时期开始,南北两地区的构造分异却明显起来,两相邻地区同一岩系的早期伸展构造变形完全两样。如果我们选择能干性不同的岩层分别进行构造地层的对比,即可发现软弱岩层(如馒头组泥质岩)、较软弱岩层(如昌平组豹皮灰岩)、较能干岩层(如张夏组鲕状灰岩)和能干岩层(如长龙山组石英砂岩)在两个区段上的组成和组构上都有十分明显的差别。

在北区下苇店一带,即便是最软弱的泥质岩系的变形变质作用也很轻微。在那里,馒头组泥岩的矿物组合基本上是

绢云母+高岭石+石英

仅反映沸石-葡萄石相的变质作用。外表仍保存沉积-成岩期氧化环境下形成的紫红色,其中存在有近球形的绿色退色斑。沉积-成岩期内各种原生构造,如泥裂、冲刷印模、同生角砾及内碎屑和泄水构造等,均保存完好。其他相对能干的岩层亦是如此。如昌平灰岩中的豹皮构造、下马岭组中变异层理和粒级层、长龙山组中的交错层、上寒武统的内碎屑构造和风暴岩构造等等,无一不显示沉积岩区岩层内部不变形变质或弱变形变质的构造特征。因此,下苇店—三家店剖面,一直被看作京西青白口系及寒武系的标准沉积地层剖面。

向南至谷积山北麓鲁家滩一带,各组地层先后出现构造的变形相变和变质相变,最明显的是馒头组紫红色泥岩,其次是景儿峪组泥灰岩、昌平组豹皮灰岩……。泥质岩的主要矿物组合是

绢云母+绿泥石+硬绿泥石+绿帘石+石英

泥灰岩的矿物组合是

方解石+白云母+绿泥石+绿帘石

这些矿物组合显然指示这一带已经进入绿片岩相变质环境。馒头组原生的紫红色泥岩,在这里已变质为青灰色的板岩。磁铁矿的出现,标志着在这里已进入还原的变形环境。虽然其中的变余原生构造(如波痕)还可辨认,但新生的域式板状劈理已相当发育。此外,变形变质现象主要是在比较低的层位明显,层位较高的奥陶系内,顺层掩卧褶皱还不太发育。

在南区,当路线越过谷积山至河北村一带时,馒头组的原生面貌已荡然无存,所有泥质岩石均变形变质为灰黑色千枚岩和灰黑色准片岩。新生的千枚理和片理,不仅完全置换了原

生层理, 而且岩石的变质重建还使其中的矿物组合改变为

硬绿泥石+水黑云母+白云母+石英

黑云母+白云母+绿泥石+石英

硬绿泥石+白云母+黑云母+石英+蓝晶石

在顺层韧性剪切带内部, 由于这种剪切带属于递进剪切增温区段, 其变质岩石的级序还要相对提高。在顺层韧性剪切带中, 下马岭组泥质岩的矿物组合便发展为

十字石+蓝晶石+黑云母+白云母+石英

显示南部周口店构造区段已进入高级绿片岩相—低级角闪岩相的区域动力变质环境。其他岩性的岩层也在同样的环境下形成了大理岩、条带大理岩、云石大理岩、变质石英岩。这些变质构造岩石共同组建了该地区的新生构造地层单位——褶叠层。褶叠层是伸展构造体制下分层剪切流变的过程中, 新生平行面状构造横向置换原生成层构造的产物; 是区域动力变质环境条件下, 岩石发生变质重建的结果。这种新生的构造地层单位, 虽然也可大套分层, 但层内的原生沉积构造都或多或少地经受过变形变质作用的改造, 其改造的程度一般随岩石的能干程度而不同。例如昌平组灰岩中白云质斑状团块, 随着自北而南的变形相变, 相应地被改造成拉长斑状、透镜状和肿缩不一的条带状, 在南窖的高应变带里, 甚至形成条纹状(图版 I 之1), 岩石也相应发生碳酸盐糜棱岩化。同样, 在能干的长龙山组石英岩里, 不仅原生砾石明显拉长(图版 I 之2), 而且石英颗粒的显微构造也从出现明显波状消光到显示种种动态重结晶现象。因此, 南部周口店区的构造地层岩石, 实际上已改造成区域动力变质下因岩石固态流变而重建的构造岩。在这种情况下, 各构造地层组的厚度也自然会在不大距离内发生几倍到十几倍的变化。例如在下苇店一带, 原厚约60m左右的昌平组灰岩, 在周口店一条龙南坡和南观火车站附近的实测厚度却仅有4—12m; 相反在相距不到10km的东岭子和陈家台采石场一带, 虽然昌平组灰岩的单层厚度剧烈变薄, 然而, 由于顺层掩卧褶皱的反复褶皱, 使那里昌平组褶叠层的厚度迅速猛增到百米有余。同样, 长龙山组石英岩在周口店一带, 由于早期韧性剥离断层的构造剥蚀作用, 也变成了仅厚数米的具强烈构造透镜化的高度变薄层。

2. 构造样式对比

构造样式的对比, 主要是按相同层位和相同岩性层的同一世代变形, 用两相邻构造单位的小型构造和显微构造特点进行比较。对比内容包括以下几个方面:

(1) 褶皱的几何样式。如褶皱的开闭性、圆柱状程度、不对称性、褶皱岩层厚度在空间上的变化状况和褶皱岩层之间的不协调程度等。

(2) 剪切带的几何性质。如剪切带的宽度和延伸、与先存界面的关系、断层岩的组成和结构、剪切带内剪切域和断片域或滑片域的排布和分带、剪切带的边界和尾端的性质和类型等。

(3) 石香肠构造、窗棂构造等组合构造要素的构造型式及同构造结晶脉的发育状况。

(4) 平行或相交的面状构造性质。如面状构造的类型、分划性或透入性程度、空间排布的格式、与先存构造的交切关系、与大一级构造的主从关系和显微构造特征等。

(5) 平行线状构造的性质及其运动学状况。在北部门头沟区下苇店一带, 岩层变形微弱, 其主要构造型式为无劈理的弯曲滑动和脆性—半脆性的剪切破裂, 在大面积内形成十分

开阔和简单的横弯滑动褶皱。岩层内部的构造多以垂直层理的挤压为特色。从全区各岩层广泛发育的前褶皱共轭开节理系和“巧克力方盘式”的矩形石香肠构造(图版 I 之3)或高角度斜交层面的火炬状“S”形雁列脉来看,其最大应力轴的方向应该与近于水平的原生层面垂直;反映当时该处整个地层系统都处于比较均匀的伸展状态;在局部地段的个别易溶层位上,“S”形同构造结晶脉呈顺层分布(图版 I 之4),说明有一定水平剪切分量存在。但不论哪一种“S”脉的围岩都是无劈理的。因此,它只能是一种低温、低速应变条件下递进变形过程中形成的分划性构造,显示了浅层次伸展构造的特点。

向南至谷积山一带,岩石韧性变形的现象逐渐加强,其强化程度因原生沉积层位的高低和各层变形习性的差异而不同。在较下部层位的景儿峪组泥质条带灰岩里,流变褶皱已广泛发育;随着层位的升高,类同岩性层的褶皱强度降低,在奥陶系灰岩内已无流变褶皱发育。在这一带,流变褶皱集中在某一软弱或较软弱的岩层内,呈建造内顺层掩卧褶皱,其规模较小,最大的仅十余米,多为几十厘米;其开闭度 r^* 均小于3;圆柱状程度较好,多为单斜对称变形;其平行轴面的厚度变化率近于或小于1,显示 I c 型和 II 型褶皱的样式(J.G.Ramsay, 1967)。但这一带的能干岩层却依然为等厚褶皱,属 I b 型寄生褶皱。同时,这一带的顺层韧性剪切带也仅在弱岩层中表现明显,而且规模小,延伸不远,最长不过几米,宽几厘米到十几厘米。至于劈理及其他线状构造,也在各方面显示出与南部构造区的过渡。石香肠构造从脆裂型到粘滞型均有发育,但伸展量都不很大。

进入河北村一带,变质固态流变构造已波及所有地层,发展成一个以顺层掩卧褶皱和顺层韧性剪切带为代表的,包括各式粘滞型、褶皱型石香肠,各式楔入构造,顺层流劈理,拉伸线理和同变质变形构造结晶脉组成的变质固态流变构造群落。这时,顺层掩卧褶皱的开闭度 r 一般已达5—7,褶皱的圆柱性明显降低,三斜度明显提高,使豆荚状准弯曲褶皱成为相对能干岩层的基本褶皱空间形态。一些较软弱和更薄层的岩系里,甚至有枢纽高度弯曲的鞘褶皱形成。在这类岩层里,褶皱的平行轴面厚度变化率多等于或大于1,构成 II 型或 III 型的褶皱样式,并且褶皱多级组合的特征更加明显,其规模不仅波及单层,而且往往卷入一个组乃至一个群的地层。在大石河两岸及黄院西山梁都发育有规模巨大的建造内顺层掩卧褶皱。如横卧在主期辛庄背斜顶部的班各庄平卧流变褶皱,其规模长达数公里,几乎卷入了青白口系的全部地层(图2);在李各庄、东庄子一带,也形成了较大规律的被动褶皱和准弯曲褶皱群。同样,南部地区的顺层韧性剪切带也多级组合而成更大的规模。这些剪切带往往借助地质历史上的先存界面发育,形成一种大致水平的继承性拆离构造,有的甚至发展为上盘缺失诸多地层的韧性剥离断层。在剪切带里,各种旋转变形的运动学标志十分清楚,新生的韧性剪切域与其间低应变旋转岩块构成 S-C 结构(图3),其拉伸线理稳定地沿 $NW290^\circ-SE110^\circ$ 左右排布,指示着褶皱层上、下岩层与这一多级组合的高应变带沿此方向同步地、透入性地分层剪切流动。

3. 有限应变状态对比

有限应变状态的对比主要是用一定层位或岩性层内某一种或几种应变标志的测量成果来进行比较。众所周知,岩石在某一构造发展阶段上的有限应变的大小和状态,取决于岩石的

• 开闭度 $r = A/W$, A ——波幅, W ——波长, 据 E. Hansen (1971),