

江苏响水至内蒙古满都拉 地学断面

1:1000000

说明书

国家地震局地学断面编委会

地质出版社

P623·7
M3

江苏响水至内蒙古满都拉地学断面

说明书

国家地震局地学断面编委会

主编：马杏垣（国家地震局地质研究所，北京）

刘昌铨（国家地震局地球物理勘探大队，郑州）

刘国栋（国家地震局地质研究所，北京）

地质出版社

内 容 简 介

全球地学断面 (GGT) 计划是 80 年代国际岩石圈计划的前沿课题。“断面”一词指的是表示整个地壳的组成和构造的剖面, 如有可能则包括整个岩石圈。它综合了 100km 宽的走廊带内现所有的地质、地球化学、地球物理等资料, 按国际岩石圈委员会全球地学断面协调委员会 (CC-7) 编图指南编制而成。

响水至满都拉地学断面全长逾 1200km, 由东南向西北斜跨中朝地台及其边缘, 穿过苏北-胶南地体、鲁西块体、华北裂谷盆地、太行-五台块体、鄂尔多斯块体、呼-包盆地、阴山块体和内蒙褶皱系 8 个构造单元。它揭示了中朝地台克拉通化的过程及其与古大陆边缘过渡带的关系以及后期遭受改造产生的板缘和板内构造及其动力学特征, 从而有助于寻找矿产资源 and 为减轻地震灾害服务。

本说明书是断面展示图的一个补充, 解释编图的思路和理论基础, 对地壳构造、地层单元及其演化等作出说明。为了帮助读者应用断面图, 说明书也是联系展示图而编写的。

江苏响水至内蒙古满都拉地学断面图及说明书, 已经国际岩石圈委员会全球地学断面协调委员会 (CC-7) 审查通过, 并由美国地球物理联合会 (AGU) 用英文出版。国内同时出版中文版。

本地学断面图及说明书可供从事地质、地球物理、地震等学科的科研、教学、生产、工矿企业等人员参考使用。

序

全球地学断面 (Global Geoscience Transect) 计划, (简称GGT) 是80年代后半期国际岩石圈委员会开展的一项全球性地球科学研究项目, 目的是在统一的原则指导下, 通过对现有的各种地质和地球物理资料的编图、综合分析和对比研究, 编制在全球各关键部位的170多条地学大断面, 提供地壳和岩石圈的结构、组成、发展和演化的垂直构造剖面, 并进行全球性的直接对比, 以服务于矿产资源预测和减轻自然灾害。

面对这一国际岩石圈计划中的前沿课题, 世界各国都十分关注, 并积极参与该项计划的有关工作。1987年, 中国岩石圈委员会决定编制11条中国地学断面 (CGT), 并成立了中国地学大断面协调组, 由地质矿产部、国家地震局、中国科学院和石油工业部 (现为石油天然气总公司) 代表组成。国家地震局负责编制其中的6条断面, 它们是:

- (I) 辽宁东沟至内蒙古东乌珠穆沁旗地学断面;
- (II) 江苏响水至内蒙古满都拉地学断面;
- (III) 上海奉贤至宁夏阿拉善左旗地学断面;
- (IV) 福建宁德至青海门源地学断面;
- (V) 湖北随州至内蒙古喀拉沁旗地学断面;
- (VI) 云南遮放至马龙地学断面。

为了高水平、高质量地完成这项工作, 国家地震局将其列为重点项目, 并成立了由22人组成的“国家地震局中国地学大断面编辑委员会”(以下简称编委会), 由马杏垣教授任主编, 孙武城、刘国栋、邓起东、刘昌銓、宋仲和、李裕徽任副主编, 刘国栋任常务副主编。编委会主要负责提出与确定总体工作方案及实施计划, 并指导各条断面的编制工作。编委会下设编辑部, 主要协助主编、副主编负责本项目的协调和组织工作。编辑部挂靠在国家地震局地质研究所, 其中之日常工作由杨主恩承担。制图组由孙彤负责。

各断面组在编委会的统一指导下独立完成各断面的具体任务。

本项目于1987年开始准备和试编, 1988年进入全面编辑和研究。参加该项目工作的包括国家地震局地质研究所、地球物理勘探大队、地球物理研究所、地壳应力研究所、兰州地震研究所、辽宁省地震局、云南省地震局和江苏省地震局、国家地震局分析预报中心9个单位的100余人。3年多来, 各断面工作组在编委会的统一指导下, 共同努力、辛勤劳动, 独立取得了各自的研究成果。通过6条断面的制作及相应的地质、地球物理、地球化学等专题研究, 取得了中国大陆壳-幔构造方面的大量信息, 提出了许多重要的新见解。

在3年多的编制过程中, 得到了国内外许多单位和科技工作者的大力支持, 特别是国家地震局震害防御司、国家自然科学基金委员会、中国岩石圈委员会和国际岩石圈委员会地学断面协调委员会 (CC-7) 主席J.W.H.Monger博士和H.J.Goetze教授给予了多方指导和帮助, 在此深表谢意。

国家地震局地学断面编委会

1991年7月

目 录

一、绪言	马杏垣 ¹ (1)
二、断面展示图的编图基础与思路	马杏垣 ¹ (1)
三、沿本断面线的主要地貌区	马杏垣 ¹ (2)
四、本断面的区域构造背景	马杏垣 ¹ (2)
五、本断面跨越的各主要构造单元概述	马杏垣 ¹ (3)
六、岩浆活动特征	张彦波 ¹ (11)
七、布格重力异常	冯锐 ² 、殷秀华 ¹ 、陈递波 ² 、刘占坡 ¹ 、刘铁胜 ¹ (16)
八、 ΔT 航磁异常	任熙宪 ² 、刘占坡 ¹ 、白彤霞 ² 、王春华 ¹ (22)
九、大地热流	张汝惠 ¹ 、李如成 ¹ 、张晚霞 ¹ 、彭慧英 ¹ (23)
十、地震测深	刘昌铨 ³ 、嘉世旭 ³ 、杜官恒 ³ (28)
十一、大地电磁测深	江钊 ¹ 、孙洁 ¹ 、徐常芳 ¹ 、王继军 ¹ 、史书林 ¹ (35)
十二、地壳和上地幔 S 波速度结构	陈国英 ² 、宋仲和 ² 、安昌强 ² 、陈立华 ² 、 庄真 ⁴ 、付竹武 ⁴ 、吕梓玲 ⁴ (39)
十三、幔源包体	林传勇 ¹ 、史兰斌 ¹ 、何永年 ¹ (41)
十四、古地磁	白云虹 ¹ 、程国良 ¹ 、孙宇航 ¹ 、李素玲 ¹ 、韩竹君 ¹ (47)
十五、地震活动性	冯锐 ² 、郝锦纬 ² 、黄平章 ² 、周建国 ² (52)
十六、解释性剖面所反映的地壳演化	马杏垣 ¹ (56)
参考文献	(63)

作者单位: 1. 国家地震局地质研究所;
2. 国家地震局地球物理所;
3. 国家地震局地球物理勘探大队;
4. 云南大学。

一、绪 言

全球地学断面 (GGT) 计划是80年代国际岩石圈计划后半期的重要前沿课题。国际岩石圈委员会设立一个协调委员会(CC-7)专门负责这项任务的实施。由 J.W.H.Monger 任主席, H.J.Goetze任副主席。1987年CC-7召开了第一次会议, 制定了编图指南。

“断面”一词指的是表示整个地壳的组成和构造的剖面, 如有可能则包括整个岩石圈。它要求综合所有现有的地质、地球化学和地球物理资料。断面为宽100 km、长百余公里的跨越若干主要地壳构造单元的条带, 其位置由地区专家选定 (Monger, 1986)。实际上这样的断面就是地壳的垂向大地构造图, 理想地描述断面走廊带的岩石圈演化。而编图指南是为了保证以统一的形式编制断面, 便于世界不同地区直接对比。

江苏响水至内蒙古满都拉断面全长 1200 km, 共分三段。自东南向西北依次为: ①江苏省响水 (东经 $119^{\circ}36'$, 北纬 $34^{\circ}12'$) 至山东省泗水 (东经 $117^{\circ}14'$, 北纬 $35^{\circ}45'$) 段, 长270km; ②山东省淄博 (东经 $118^{\circ}03'$, 北纬 $36^{\circ}49'$) 至山西省应县西 (东经 $112^{\circ}12'$, 北纬 $39^{\circ}48'$) 段, 长590km; ③内蒙古伊金霍洛旗 (东经 $109^{\circ}48'$, 北纬 $39^{\circ}42'$) 至内蒙古满都拉 (东经 $110^{\circ}06'$, 北纬 $42^{\circ}31'$) 段, 长 340 km。前二段为北西-南东向, 后一段为南北向。该断面是国家地震局在华北的五条跨越主要地震灾害区的断面之一。研究和编制该断面的主要目的是为了综合对比中朝地台及其边缘的不同构造单元的组成和构造演化以及与地震活动的关系, 为减轻地震灾害和其它地质灾害服务。本断面对于完成这项任务具备了良好的条件, 因为它穿越了华北地区五条重要的地震带, 即郯-庐断裂带地震带、华北平原地震带、山西地震带北段、浑源至和林格尔地震带和河套 (阴山) 地震带。

本断面的研究和编制得到中国国家自然科学基金委员会和国家地震局的共同资助。

本说明书是断面展示图的一个补充, 解释编图的思路和理论基础, 对断面所涉及的地壳构造及构造地层单元和构造演化等作出说明。总之, 是为了帮助读者应用断面图。因此说明书章节的组织也是结合展示图来安排的。

二、断面展示图的编图基础与思路

1. 编图基础

按GGT协调委员会的规定, 地学断面的编制原则上是在现有资料基础上进行的, 但为了本断面的高质量, 进行了许多补充工作。例如补做了内蒙古伊金霍洛旗至达尔罕茂明安联合旗 (以下简称达茂旗) 达布苏 300 余公里的人工地震测深剖面, 并进行了全断面地震测深资料的二维速度模型计算和重力二维地壳密度结构的反演; 除运用多年来的大地电磁和地热流研究成果外, 又补做了24个大地电磁测深点和33个热流值点; 在充分利用已有的区域地质构造调查研究成果的基础上, 还在关键地区, 即阴山块体及内蒙褶皱系和苏北-胶南地体进行了野外调查和古地磁取样 (马杏垣等, 1988; 1989 b), 为编图提供了基础资料。

2. 思路

断面展示图是按照 GGT 协调委员会制定的编图指南编制的。其主要组成部分是地质图、布格重力异常图(含热流值、震中分布点)、航磁异常图、地质剖面图、地震和大地电磁等测深剖面、构造地层时-空图解、深度至少达莫霍面的解释性剖面图和图例等。图件采用两种色标系统:用地质图色标表示地质条带及剖面图地质单元的年龄;另一种是构造亲缘色标,表示由岩石单位推测的形成构造环境,它用于构造地层时-空图解和解释性剖面。前者扼要地展示地层、构造、岩浆和变质作用的时-空关系,它对理解构造演化的概念是重要的,并有助于了解各图件之间的关系,对说明书起摘要作用。

地球物理解释图展示不同类型构造单元的地球物理数据、约束深部构造和组成的模型,还展示了反映板块运移的古地磁数据,以及地球化学方面的岩石化学和岩浆岩同位素数据及新生代玄武岩中幔源包体的研究成果。

综合所有上列有关断面的深部构造和组成的资料与断面条带内的地表地质以及延至断面走廊以外的区域构造资料,建立解释性剖面,对断面内地壳构造的配置和成因给以解释,从而论证该区的地壳和岩石圈演化。

三、沿本断面线的主要地貌区

江苏响水至内蒙古满都拉断面走廊东南起自黄海之滨,西北达蒙古高原,包括 8 个清楚的地貌区。东南部各地貌区之间的界限为北东至北北东向,而西北部为东西向,反映区域地质构造方向。这 8 个地貌区从东南往西北依次为:①苏北平原直至黄海之滨;②鲁西山地,一般海拔为 500—1000m,蒙山龟蒙顶高达 1156m;③华北平原,海拔多在 50m 上下;④太行、五台及恒山山地,北台顶海拔高达 3058m,是本断面中的最高峰;⑤鄂尔多斯黄土高原,海拔为 800—2000m,⑥呼-包盆地,黄河流经其中,海拔低于 1000m;⑦乌拉山和大青山山地,最高峰海拔 2337m,它部分地作为内陆水系与外流水系的分水岭,山体的准平面向北缓倾,海拔下降到 1300m 左右;⑧蒙古高原,这是本断面的最北的一个地貌单元。

四、本断面的区域构造背景

响水至满都拉断面穿越 8 个构造单元,自东南向西北为苏北-胶南地体、鲁西块体、华北裂谷盆地、太行-五台块体、鄂尔多斯块体、呼-包盆地、阴山块体、内蒙褶皱系。这些单元中的岩石,记录了过去 2800Ma 以来大陆地壳的演化历史,包含着各种不同的构造运动过程。太古宙以微陆块的形成和聚合为特征,形成被复杂变形的早元古代活动带分隔和环绕的陆核。本断面穿过太古宙的鲁西泰山杂岩、太行山的阜平杂岩、晋北的恒山杂岩和内蒙的乌拉山杂岩。介于阜平与恒山杂岩之间的早元古代五台群和溥沱群的构造格架类似现代的碰撞褶皱带,包括增生的岛弧系统等,表明板块构造体制从这个时代(至少在 2400Ma 前)已经开始发育。

早元古代末, 约在1800—1700Ma 前, 中朝地台的基底已基本固结(马杏垣等, 1979)。从中元古代开始大陆地壳的构造样式发生显著变化, 在克拉通盆地中沉积了盖层沉积, 也发育有沉降带和坳拉槽, 还有基性岩墙群的贯入。然而阴山块体内裂陷槽里中元古代渣尔泰群大约在 1500—1400Ma 前的色尔腾运动遭受褶皱变质, 是中朝地台基底固结较晚的部分。地质时代跨整个中元古至晚元古代的白云鄂博群则是中朝古陆北缘的大陆坡沉积。

晚元古代的地壳伸展和裂陷造成中朝古板块的大陆边缘。显生宙以板块边缘变形或板内挤压和伸展为特征。在中朝板块北缘, 早、晚古生代发生过俯冲和增生作用, 有岛弧杂岩等拼合地体。中朝板块南缘的构造复杂性在于它与扬子板块碰撞过程中夹持着由元古宙变质岩系组成的苏北-胶南地体。

晚三叠纪的印支运动和侏罗—白垩纪的燕山运动强烈改造了中朝地台, 形成一种新的构造体制。其突出特点是构造带走向由古生代的近东西向改为北北东—北东向。中、新生代发生了强烈挤压和伸展构造变形。前者如阴山块体中侏罗纪煤系的薄皮挤压变形和广泛的钙碱性火山岩浆活动及花岗岩类侵入体的发育。

白垩纪至新生代的伸展构造很发育, 例如早白垩世的山东沂沭裂谷带、内蒙古的桑根达来—查干哈达裂谷盆地等。早第三纪的伸展构造有华北裂谷盆地, 而呼—包盆地、大同盆地及代县盆地等属于鄂尔多斯块体周缘裂谷系。它们主要形成于新第三纪至第四纪, 与喜马拉雅碰撞带的形成和西太平洋的板块俯冲有联系。

五、本断面跨越的各主要构造单元概述

响水至满都拉断面以中朝地台居中, 大陆边缘区位于南北两翼, 其中之 8 个构造单元及分隔它们的主要断裂带如下。

扬子地台

		响水断裂带	
I 苏北-胶南地体		郯-庐断裂带	
中朝地台	II 鲁西块体	齐河-广饶断裂带	
	III 华北裂谷盆地	太行山山前断裂带	
	IV 太行-五台块体	鹅毛口断裂带	
	V 鄂尔多斯块体	鄂尔多斯块体北缘断裂	
	VI 呼-包盆地	大青山山前断裂带	
	VII 阴山块体	乌兰宝力格逆冲断裂带	
VIII 内蒙褶皱系			

I. 苏北-胶南地体

苏北-胶南地体是夹持于华北与扬子地台之间的大透镜状地体(马杏垣, 1989b)。本断面穿过它的南部, 包括苏北和胶南的一部分。其南界是响水断裂, 过去一直认为它是上述两地台之间的界限(黄汲清等, 1980)。地体西以郯-庐断裂为界, 北界不在条带之内, 可能是以五莲-荣城断裂为界。

该地体主要由元古宇变质岩系组成。元古宇划分为两个群(王致本, 1986; 孙竞雄等, 1988), 古元古界在苏北称东海群, 在山东称胶南群; 中新元古界称海州群。对于它们的年龄至今仍有不同认识, 王致本(1986)据锆石年龄估计胶南群的生成年代在1855—2233 Ma之间; 而孙竞雄(1988)则认为东海群年代可能到太古宙。他把云台组的顶界置于1000 Ma, 因之海州群基本上属于中元古界。东海群(胶南群)以蓝晶石十字石变质带的中压低角闪岩相为主, 混合岩化作用普遍。不整合覆盖其上的海州群分两个组: 下部锦屏组为含磷白云质碳酸盐-泥砂质沉积建造, 厚160—400m; 上部云台组原岩为含大量的中酸性火山岩碎屑的沉积建造, 厚度超过5000m。经高压的低至高绿片岩相区域动力变质作用后, 前者形成磷灰岩-片岩变质建造, 后者形成变粒岩-浅粒岩变质建造(属阳起石+钠长石变质带和蓝闪石+硬玉+石英+钠长石高压矿物组合)。东海群经海州运动而强烈变形, 可分出4个世代的褶皱, 主期构造为北东东向。另一突出的构造特征是交织的韧性剪切带与弱应变域的发育(马杏垣, 1989a)以及相伴出现的为数众多的超镁铁岩和榴辉岩岩块, 刘若新等(1989)称之为构造混杂岩及深源构造岩块。

近年来, 不同单位的地质学家对本地地质条带内的苏北东海、赣榆和胶南的莒南、日照一带的榴辉岩的研究取得了突破性进展。榎并正树等(Enami et al., 1988)在东海地区的石榴子石刚玉岩和榴辉岩中发现镁十字石, 表明这些岩石是在极高的压力下形成的。张儒媛等(Zhang Ruyuan et al., 1990)在东海榴辉岩中发现柯石英及其假象, 还有其它高压矿物, 如富钠镁闪石(Nyboeite)和高铝榴石等; 她与日本地质学家合作研究, 指出柯石英的形成至少需要2500MPa压力或80km埋深的载荷, 因此柯石英榴辉岩的形成主要是由于增压并非由于增温。他们还认为该区榴辉岩是由壳源物质形成的。

王银喜等^①报导了1987年以来测得的3个山东和1个苏北榴辉岩高精度的全岩和矿物Sm-Nd等时线年龄以及相应的Rb-Sr同位素数据。其结果可分两组: 一组为山东莒南超基性岩体内的和苏北东海片麻岩中的榴辉岩Sm-Nd等时线年龄值, 前者为 265.8 ± 2.2 Ma, 后者为 326.1 ± 3.4 Ma; 另一组为山东莒南片麻岩内和日照超基性岩体中榴辉岩的Sm-Nd等时线年龄, 前者为 57.08 ± 0.88 Ma, 后者为 55.45 ± 1.3 Ma。前一组反映了晚古生代的事件, 后一组属新生代, 这是目前国内外已知最小的榴辉岩Sm-Nd等时线年龄。就成因而论, 日照超基性岩体内的榴辉岩全岩和矿物的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为0.703589—0.703860, 反映了与地幔软流圈相类似的同位素特征。因此, 也不能排除有的榴辉岩是幔源岩浆成因的。

晋宁运动使海州群及下伏老地层一起变形, 形成北东东向的向北西倒转的狭窄背斜和宽阔的复向斜。中朝与扬子地台大致于晚三叠世印支运动碰撞之后本区又经历了燕山运动, 发育了包括响水断裂在内的北东向正断层, 使连云港一线以南沉降为盆地和平原。

苏北-胶南地体与鲁西块体以郯-庐断裂带为界。本断面穿越该断裂带的沂沭段, 走向

^① 王银喜等, 1989, 鲁苏榴辉岩Sm-Nd计时及其Nd、Sr同位素对构造和成因的意义, 第四届全国同位素地质年代学、同位素地球化学学术讨论会论文摘要汇编, 38—39页。

北 17° — 20° 东, 宽 20—30 km。该带可能萌生于印支期, 为左旋走滑性质。它的构造性质和样式在以后不同的构造阶段发生了相应的变化: 早—中侏罗世区域性隆升期它呈现为压剪性质; 晚侏罗世开始缓慢扩展, 沉积了夹火山碎屑的河湖相沉积; 早白垩世发育为大陆裂谷带, 发生强烈的火山裂隙喷发, 形成双模式的玄武岩—粗面岩及粗面安山岩—碱流岩组合, 还有苦橄岩系列和拉斑玄武岩, 构成青山组, 厚逾 3000m, 裂谷带的两堑夹一垒的构造格局从此形成; 晚白垩世在地堑内堆积了王氏组红棕色洪积粗碎屑岩, 厚约 2000m; 第三纪以来断裂带经历了右旋压剪性运动, 产生褶皱和逆冲构造。

郯—庐断裂带由 4 条北北东向主干断裂带组成, 与之共轭的有北西西向横断层。它们都不是单一的断层, 而是由多条断层与断片组成 (胡思颐, 1984), 经历了张、压、剪交替作用的多期活动, 有较宽的破碎带。现今东侧的两条断裂也向东倾, 为逆冲性质。1668 年郯城 8.5 级地震的发生以及小震的密集分布均表明该断裂东侧具有较强的地震活动性 (高维明等, 1988)。而活动断裂在郯—庐断裂带内的分布具有分段、斜列的特点。

II. 鲁西块体

鲁西块体是一个掀斜块断地区, 基底泰山杂岩在抬起部分出露。片麻岩的片理方向由西部的北西向往东逐渐变为北北东向, 总的呈扇状分布。泰山杂岩为巨厚的片麻岩与角闪岩系列, 过去曾命名为群并划分为 4 个组 (Cheng Yuqi, 1986)。近年来的研究者有一些新的认识, 认为泰山杂岩包括两种地质实体, 即基底片麻岩和深成侵入岩组合。前者主要由不同比例的灰色片麻岩和角闪岩组成, 片麻岩常常被不同类型的侵入岩体 (如闪长岩或花岗闪长岩、壳源重熔花岗质岩石) 穿切, 而元古宙辉绿岩墙切过所有上述片麻岩及侵入岩。

基底片麻岩遭受强烈变形及角闪岩相变质并局部混合岩化。本区至少有两期变形: 一期在 2600Ma 前主侵入事件之前, 另一期在它之后。因此根据野外观察、岩石学研究、地球化学分析及同位素年龄测定, 鲁西晚太古代泰山杂岩的地壳演化可概括为: 大约在 2750—2700Ma 前开始基性和英云闪长岩浆侵位, 后来变质为角闪岩和灰色片麻岩。这些岩石后来被 2600—2400Ma 前的一套闪长岩、花岗岩和奥长花岗岩侵入, 它们和较老的基底杂岩一起遭受了大约 2000Ma 前的第二次变形和变质 (Jahn et al., 1988)。

晚元古代只在本区东部出现以土门组为代表的沉积, 沉积物由砾岩、砂岩、钙质页岩及泥灰岩互层组成, 厚约 300m。寒武纪、早—中奥陶世本区为滨浅海环境, 沉积了碳酸盐岩及泥质岩, 厚约 1500m。它们与中石炭统之间存在一个大的间断。假整合覆盖其上的是中、上石炭统的铝土质页岩、褐铁矿层, 往上过渡为碳酸盐岩夹碎屑岩和煤层, 一般厚 100—300m。二叠纪的显著特征是广泛海退, 发育近海及内陆盆地泥砂质碎屑含煤组合, 厚 170—500m。

印支运动以后构造格局发生显著变化, 特别是晚侏罗至早白垩世的燕山运动使本区发生强烈块断作用、广泛的钙碱性火山作用及花岗质岩浆侵入作用。鲁西的大断裂走向多为北西向, 常常作为中—新生代盆地与相邻山区的分界。它们开始都是正断层, 但到晚第三纪显示压性特征, 有些断层至今仍在活动。本断面内有一条大的北东向断层, 即上五井断裂, 沿断裂分布有金伯利岩脉, 故前人认为它是超壳断裂。

III. 华北裂谷盆地

华北平原是中国最大的新生代裂谷盆地之一, 它是在经历了老第三纪早期的强烈裂陷

块断产生3个大隆起和6个大拗陷的基础上,再经新第三纪至第四纪的裂谷作用后的热沉降作用而成(Ma Xingyuan et al., 1982)。本断面从东南至西北穿过济阳拗陷、沧县隆起和冀中拗陷,西北以太行山山前断裂带为界,东南以齐河-广饶断裂带为界。

盆地中的优势伸展断层走向呈北北东-北东向,在东部济阳拗陷中甚至呈北东东向。与这些正断层共轭的是北西西-北西向断裂,在济阳拗陷中是近南北向断裂。它们是横向构造,当具有走滑性质时可使北东向构造错位。本断面内一条重要的横向构造是隐伏的北西向衡水断裂,它是其南侧的邢-衡隆起与北侧的冀中拗陷之间的分界,两侧的伸展构造样式是很不同的。

华北裂谷盆地中的老第三系可分为3个地层单位,即早中始新世孔店组、晚始新世一早渐新世沙河街组及晚渐新世东营组(王尚文等, 1983)。它们主要是一套河湖及河流三角洲相沉积,浊流相多发育于三角洲前缘,总厚可达4000—6000m。

渐新世末发生一次重要的构造变动,使中新统与渐新统之间普遍为不整合接触,馆陶组底砾岩覆盖在老第三系及更老的地层之上。馆陶组及上新统明化镇组主要由河流冲积及河湖相棕红色碎屑岩及泥岩组成。第四系平原组标志着盆地继续下沉,甚至有短暂海侵。新第三系及第四系总厚可达2600—4000m。

与老第三纪地壳裂陷伸展的同时基性火山活动也非常强烈,形成厚达数百米水下喷发的拉斑玄武岩及层凝灰岩,还有碱性辉绿岩墙的侵入。新第三纪开始火山活动以陆上喷发的碱性玄武岩为特征,喷发范围沿北北东向和北西向断裂扩展到盆地以外。玄武岩中的超基性岩包体研究结果表明,玄武岩浆是上地幔局部熔融而来的。

老第三纪裂陷作用产生的特征构造是一系列的地堑和地垒,一般宽10—30 km,类似盆地山脉式的构造。它们主要由地壳块体沿向深部倾角变缓的铲式生长断层斜掀而成。盆地大都为半地堑,一侧为倾角 50° 左右的正断层,另一侧为沉积超覆。大拗陷中常由次级地堑和地垒组成复式盆地,如图5.1。铲式正断层产状向下变缓并归并于深部的滑脱面,从地震反射剖面上估计深约10—15 km。曾通过平衡剖面复原计算出济阳拗陷的临邑凹陷在早第三纪期间的伸展量约为原宽度的32%,滑脱深度约为11km^①。

IV. 太行-五台块体

太行-五台块体是一个隆升的早前寒武纪克拉通块体,具薄的中元古代至显生宙的盖层。其西部在新第三纪至第四纪时期裂陷而形成盆岭构造,是山西裂谷系北端伸展构造区的一部分。它的东界为太行山山前断裂,西界是大同盆地西缘的鹅毛口断裂。基底构造格局表现为两个太古宙陆核,即西北的恒山杂岩和东南的阜平杂岩,中间被早元古代五台群和滹沱群褶皱带所缝合。

太行山区的阜平杂岩一般划分为三部分:下部主要由片麻岩、基性麻粒岩和斜长角闪岩组成,常含薄层磁铁矿石岩;中部主要由片麻岩、淡色麻粒岩和大理岩组成,夹钾长石黑云母片岩、钙硅酸盐岩及少量磁铁矿石岩;上部主要是受混合岩化的眼球状片麻岩及淡色麻粒岩。分布最广的岩石是黑云斜长(钾长)片麻岩、长英质浅粒岩和大理岩类。这些岩石主要形成于浅海沉积环境,后在阜平运动过程中经历麻粒岩相-角闪岩相变质作用。其底部片麻岩及中部浅粒岩中碎屑锆石U-Pb一致线年龄为2800—2900Ma,底部变质岩Sm-Nd一致线年龄为2790Ma,因此推测其最早生成年龄约在2800Ma前。阜平杂岩下部变质岩的

① 刘和甫,通信。

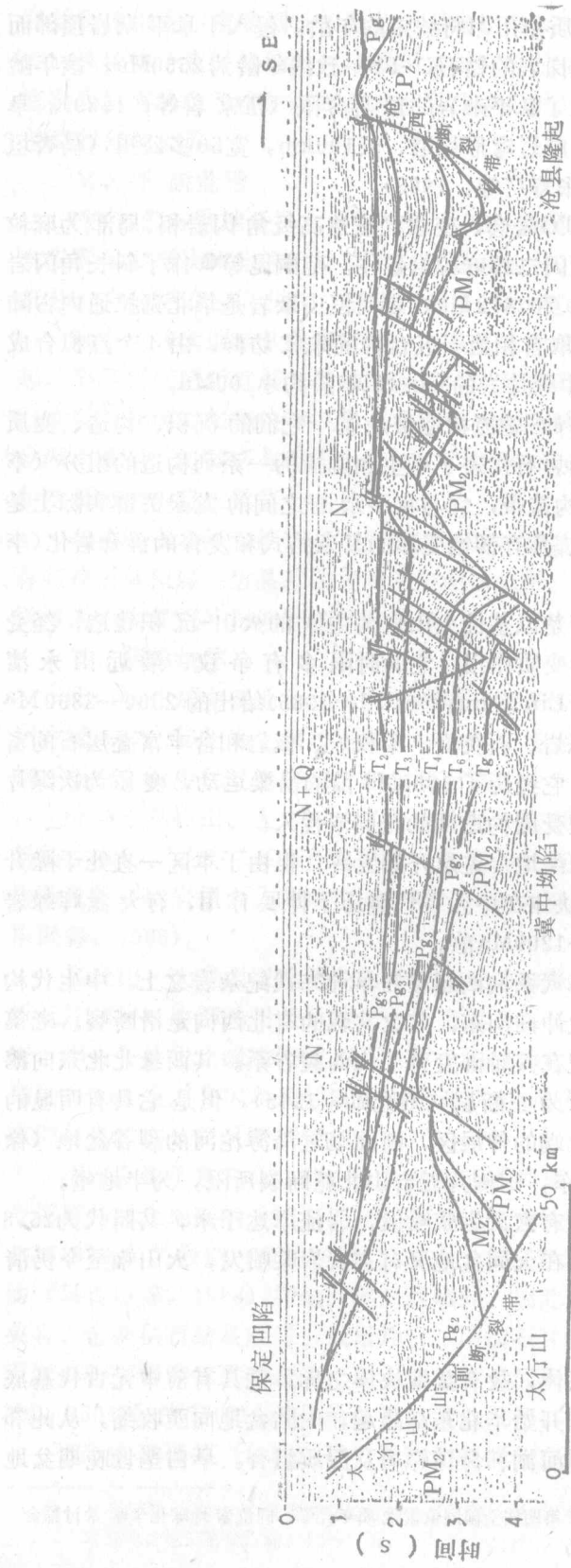


图 5.1 冀中拗陷地震反射剖面 (据杨克绳, 1987)

Rb-Sr 等时线年龄为 2640 Ma, 代表其变质作用即将结束的年龄。侵入于阜平杂岩顶部而被五台群底部板峪口组不整合的蓝芝士花岗岩的锆石 U-Pb 一致线年龄为 2560 Ma。该年龄同时代表岩体和阜平运动的年龄, 也标定了阜平杂岩的顶界年限 (伍家善等, 1989)。阜平杂岩总体分布上为一长轴北东向的片麻岩穹形构造, 长 100 km, 宽 50 多公里 (马杏垣等, 1963), 经历了多期复杂褶皱变形 (张寿广等, 1983)。

恒山杂岩的主体是灰色片麻岩, 属 TTG 岩套, 变质程度达高级角闪岩相, 局部为麻粒岩相。片麻岩中含有许多斜长角闪岩和角闪二辉麻粒岩包体。范嗣昆等^①作了斜长角闪岩包体 Sm-Nd 等时线年龄值测定, 为 2799 Ma 和 2812 Ma, 表明恒山杂岩是华北克拉通内古陆核的岩系之一。另一组 Sm-Nd 年龄岩样取自相当于五台群的朱家坊群, 由 4 个点拟合成一条年龄为 2200 Ma 的等时线, 比五台群中绿片岩的 Sm-Nd 年龄约小 100 Ma。

把早元古代五台群和溥沱群解释为俯冲-碰撞构造带是基于它们的沉积、构造、变质作用和岩浆活动的不对称性。这两个群的岩石代表了增生和碰撞的一系列构造的组分 (李继亮等, 1990)。五台群表现为褶皱逆冲构造带, 它与阜平杂岩之间的龙泉关群实际上是一个大型剪切带, 由眼球状片麻岩等组成, 具有韧性变形的复杂格式和发育的混合岩化 (李江海等, 1991)。

五台群是一套厚逾 7000 m 的旋回性清楚以基性火山岩为主体的火山-沉积建造, 经受了从角闪岩相、绿片岩相到次绿片岩相的变质作用。它的时限多有争议, 最近田永清 (1991) 作了综述。本文采用刘敦一等 (Liu Dunyi et al., 1985) 给出的 2560—2360 Ma 数据。不整合覆盖于其上的溥沱群是由砾岩、石英岩、千枚岩、板岩和含丰富叠层石的富镁碳酸盐岩组成, 夹有少量基性火山岩, 它经历了 1800 Ma 前的吕梁运动, 变质为次绿片岩相并强烈褶皱成倒扇形大复向斜, 还遭受同构造期的花岗岩侵入。

吕梁运动之后随着中朝地台基底的固结地台盖层开始发育, 但由于本区一直处于隆升状态, 故盖层很薄而且缺层。太行-五台块体在中元古代经历了伸展作用, 有大量辉绿岩等基性岩墙群侵入, 其时代主要为 1600—1200 Ma 前。

本构造单元显生宙地层不很发育, 寒武系向西超覆在早前寒武纪杂岩之上。中生代构造的特点是发育北东向逆断层。其北西盘冲向南东, 与之共轭的有北西向走滑断裂。老第三纪时期山西高地穹升, 上新世—第四纪在其轴部发育了山西裂谷系。其西缘北北东向鹅毛口断裂继承利用中生代逆冲断裂带下滑为正断层 (刘光勋, 1985), 但是它具有明显的右旋走滑分量。往东发育了山西裂谷系北端的伸展区, 断面切过沿溥沱河的裂谷盆地 (徐锡伟等, 1988)。该盆地走向北东—北东东, 南侧为五台山北麓断裂所限, 为半地堑。

大同盆地东南缘及繁峙一带在渐新世有玄武岩浆喷发, 岩流厚达千米, 其时代为 25.8—35.2 Ma (陈文寄等, 1985)。第四纪时期在大同盆地又有玄武岩浆喷发, 火山锥至今仍清楚可见。

V. 鄂尔多斯块体

鄂尔多斯块体是一个深埋的克拉通块体, 故有盆地块体之称。它具有前中元古代基底与中元古代至显生宙的盖层。自晚三叠世开始华北东部隆起, 内陆盆地向西收缩, 从此鄂尔多斯内陆开阔盆地开始出现沉积稳定型河湖、含煤碎屑及泥质组合。早白垩世晚期盆地

① 范嗣昆等, 1988, 恒山杂岩年代学初步研究, 第四届全国同位素地质年代学、同位素地球化学学术讨论会论文摘要汇编, 26—28 页。

开始整体上隆,遭受剥蚀,至晚白垩世已成高地,沉积物仅堆积在西北边缘。

该块体一直保持稳定,地层平缓仅有零星正断层发育。本断面穿越其北部边缘的有基底杂岩出露的乌兰格隆起。古生界及中生界向北变薄甚至尖灭。块体北缘以正断层与呼-包裂谷盆地为界。

VI. 呼-包盆地

呼-包裂谷盆地是鄂尔多斯块体北缘河套裂谷系的一段,其北以大青山山前断裂为界,南以鄂尔多斯块体北缘达拉特旗南侧断裂为界。本断面跨白银花与呼和浩特地堑盆地的一部分,中间隔着包头凸起,南北约40—60km宽。

这个裂谷盆地是从前寒武纪结晶基底上发展起来的,经侏罗—白垩纪燕山运动挤压隆起,至早第三纪后期转变为伸展和沉降。虽然裂陷从渐新世开始并有上千米厚的沉积,然而主要的伸展裂陷和快速沉降是在晚第三纪和第四纪。沉积物主要是褐色和灰绿色河湖相或湖相砂岩、粉砂岩与泥岩,连续沉积厚达4000—6400m。在呼和浩特地堑边缘沿和林格尔断裂有中新世玄武岩分布。

在构造上北缘断裂带是主要控制构造,该盆地为半地堑性质。盆缘断裂向深部变缓似有归并至沉积层与结晶基底之间滑脱面的趋势。盆缘正断面利用迁就阴山块体南缘的向北逆冲的中生代逆冲层的特征非常清楚。

VII. 阴山块体

阴山块体是中朝地台北缘内蒙地轴(黄汲清等,1980)的一段。它是经过强烈改造的克拉通块体,其北缘受到加里东和华力西期增生事件的影响,南缘在中生代时发生过薄皮挤压变形,新生代发生裂陷。在本断面该块体南北宽约130km。

分布于乌拉山、大青山的乌拉山群是一套深变质岩系,由角闪斜长片麻岩、黑云石榴斜长片麻岩、磁铁二辉石英麻粒岩、含紫苏长英质麻粒岩及大理岩等组成。其原岩为火山岩系及泥砂质岩组合。其同位素年龄Rb-Sr法测定为2650Ma, U-Pb法测得为2345Ma(董申保等,1986)。

乌拉山—大青山以北至色尔腾山南缘分布着早元古代东五分子群。其下部为透辉角闪斜长片麻岩;中部为斜长角闪岩、绿帘黑云斜长片麻岩和磁铁石英岩等;上部为绿泥石片岩、绢云母片岩、绿帘阳起石片岩等。原岩属硅镁质中基性火山岩和硬砂岩,变质相以低角闪岩相为主。角闪斜长片麻岩中锆石U-Pb法上交点年龄为2025Ma(董申保等,1986)。本群与乌拉山群仅见断层接触。

不整合覆于东五分子群之上的是中元古代早期的渣尔泰群,其岩性、建造及叠层石组合都可与冀东地区的长城系的主体部分(常州沟组至大红峪组)对比,并获得过1612Ma和1516Ma年龄数据(董申保等,1986)。其沉积环境属坳拉槽性质,但它经历了色尔腾运动(马杏垣等,1988)褶皱回返和热事件。因此岩石轻变质为低绿片岩相的变质砾岩、石英岩、含叠层石结晶灰岩、云母片岩、阳起石片岩等。更北的白云鄂博群为一套千枚岩、板岩、石英岩和变质砂岩等,属大陆坡环境沉积岩系,也经历了构造变动,有1350—1650Ma, 1500Ma及750Ma等年龄数据(董申保等,1986),因此其时代可能延至晚元古代。

近年来王楫等(1989)进行了渣尔泰群与白云鄂博群的对比研究,而刁乃昌等^①依据

^① 刁乃昌等,1989,白云鄂博群同位素地质年代学研究,第四届全国同位素地质年代学、同位素地球化学学术讨论会论文摘要汇编,13—17页。

同位素地质年代学的研究结果认为白云鄂博群的呼吉尔图组（最上边的一个岩组）以下地层应划归震旦系，以上的地层属寒武—奥陶系范畴。王东方等（1990）则声称在内蒙古轴上发现早寒武世化石带，并在固阳以北小余太—白云鄂博一带渣尔泰群和白云鄂博群中发现早寒武世骨骼类化石，这些新的发现应引起广泛注意。但在目前存在着种种矛盾的事实和不同认识的情况下，本断面图暂维持原来的划分。

色尔腾运动之后沉积了中元古代晚期至古生界的盖层。前者为什那干群，由砾岩、石英岩、白云质灰岩、千枚岩等组成，厚约1600m。古生界有寒武系、奥陶系、上石炭统与二叠系。这些地层的厚度与中朝地台其它地区同时代的地层相比都薄得多，反映了活动性较强的特点，特殊的是本区有上奥陶统发育。

中生代开始本单元曾隆起剥蚀，然后在早一中侏罗世时伸展，在大青山及色尔腾山南部形成断陷盆地（如石拐子及营盘湾盆地等），堆积了3000多米厚的含煤碎屑岩系。中侏罗世末燕山运动第一幕使上述煤系发生强烈褶皱，上侏罗统大青山组不整合覆于其上。此时盆地范围进一步扩大，并快速堆积了3000—4000m厚的粗碎屑沉积，局部夹有火山碎屑岩。在晚侏罗世末燕山运动第二幕时此组地层形成宽缓褶皱。总的说侏罗纪煤盆地构造是一种薄皮变形，其两侧的基底岩系逆冲于煤系之上，有的是缓倾角推覆构造，形成若干飞来峰（王建平等，1986）。燕山早期还有花岗岩体侵入。

燕山运动挤压构造之后，本单元经历了块断与盆地形成的伸展构造期，沉积了3000m厚的上白垩统固阳组紫色粗碎屑岩和玄武岩、粗面岩和流纹岩及火山碎屑岩。之后它又经受了燕山晚期的构造运动，形成很平缓的褶曲，岩层倾角一般为 10° 左右。阴山块体北部有薄的新第三系沉积覆盖在白垩系之上。

Ⅷ. 内蒙褶皱系

中朝地台北缘在早古生代经历了加里东期增生，大的增生地体沿乌兰保力格断裂带向南逆冲拼贴于晚元古代中期克拉通的被动大陆边缘。本断面内的加里东期增生带是中朝地台北缘沿西拉木伦河经温都尔庙向西延至包尔汗图及布龙山约700 km长的条带的西段。断续分布的蛇绿岩套标志着早古生代蒙古洋的存在。白云鄂博以北的包尔汗图群代表古岛弧岩系，它包括下部的布龙山岩组和上部的哈拉岩组（邵济安，1986；徐冬葵，1987），拼合成一个地体。它是一套早古生代海相中基性火山—沉积岩系，已采到奥陶纪笔石化石，但可能还包括寒武系及中一下志留统。它主要是一套钙碱系列火山岩系，为玄武岩—安山岩组合。玄武岩中常见枕状熔岩与无枕基性熔岩互层、穿插在玄武岩中的辉绿岩墙，以及含铁锰结核的灰岩或硅质岩透镜体。岩石贫 TiO_2 富 K_2O 具有岛弧成因特征。这两个岩组在增生前拼合称为包尔汗图地体，胡宝全等（1990）称为嘎顺移置地体。这套岩石在加里东运动中变质为低绿片岩相，并强烈变形，褶皱轴向主要为北西向，也有北东向者，并有花岗闪长岩及石英闪长岩体侵入。此后它们被由底部砂砾岩、砂岩、板岩和生物礁灰岩组成的上志留统西别河组所不整合覆盖。后者在华力西运动中褶皱成北东向的大向斜。

更北越过查干哈达盆地到满都拉地区广泛分布着中—上石炭统和下二叠统及相关的侵入岩体。其中石炭世本巴图组为一套走向近东西，倾向南的正常层序的单斜地层。其下部玄武岩较发育，而且普遍见有绿帘石化现象，向上逐渐过渡到以安山岩、安山质凝灰岩等中性火山岩和火山沉积岩占优势。总体看来，整套地层表现为不同层厚的玄武岩和安山岩等中性火山岩互层，代表性产状为倾向 170° ，倾角 45° — 50° 。在这套地层中发育有超基性

岩块,多数在石炭系中,下二叠统中也有,其产状多为透镜状,无根,与围岩层理协调一致,未见侵入特征。在露头上这些超基性岩透镜体的原岩特征已不可辨认,见不到新鲜矿物,偶见保留有辉石矿物的假象。据钻孔岩心取样,这些超基性岩多为斜辉橄榄岩。满都拉一带广泛发育下二叠统,并不整合于石炭系之上,但层序多倒转。它下部以砾岩、泥沙质岩及中酸性火山岩为主,厚数千米,含腕足类、瓣鳃科及珊瑚化石;上部哲斯组则以碳酸盐岩建造为主,厚数百米,也含化石。

侏罗纪开始大致在早、晚古生代褶皱带之间形成盆地,到早白垩世裂陷达到高潮。本单元是近东西向的二连裂谷盆地的西段,沉积了巨厚的下白垩统巴彦花组砾岩、灰绿色砂岩及暗色泥岩等。晚白垩世沉降幅度小,沉积物薄,地层受到微弱变形。第三纪开始本单元作为蒙古内陆游离盆地一部分,沉积了薄的湖相砂泥质组合,厚不足百米。

六、岩浆活动特征

断面走廊带内经历过多次岩浆活动旋回。岩浆岩分布广泛,种类繁多。但在不同地质构造单元及不同地质时期,岩浆活动的强弱和岩浆建造类型及其特征是不同的。下面按构造单元自东南至西北依次叙述。

(一) 苏北-胶南地体

苏北-胶南地体是扬子地台和华北地台的碰撞缝合带内夹持的地体,该带内主要岩浆活动期为元古代和中生代。

苏北-胶南地体上,引人瞩目的榴辉岩带,以众多小岩体、岩块分布于前寒武变质岩系中,并和围岩一起遭受了糜棱岩化作用。因此,它们成透镜状、条带状产于糜棱岩带中,其大小从数十米到几厘米。这些成群(带)的深源岩体的走向和围岩的片麻理和区域构造线方向一致,与围岩界限清楚,具有冷侵位的特点。超基性岩在近地表已蚀变成蛇纹岩、滑石透闪石片岩。

应思淮等(1981)对东海榴辉岩进行了研究,测定其形成温度为 $1080 \pm 190^{\circ}\text{C}$,压力为 $2100 \pm 375\text{MPa}$,深度约60km,已超过本区莫霍面深度(30km)。胥怀济等(1979)对莒南、日照地区的榴辉岩测定的结果为:最低温度为 $790-810^{\circ}\text{C}$;最低压力为 1200MPa ;深度为60—100km。莒南超基性岩体内榴辉岩(Cpx-WR-Gar)Sm-Nd等时线年龄为 $265.8 \pm 2.2\text{Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(T) = -4.8 \pm 0.1$, Cpx、WR和Gar的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 分别为0.705565、0.705379和0.705269;莒南片麻岩中榴辉岩(Cpx-WR-Gar)Sm-Nd等时线年龄为 $57.08 \pm 0.88\text{Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(T) = -2.4 \pm 0.1$, Cpx、WR和Gar的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 分别为0.706277、0.706708和0.706650。日照超基性岩体内榴辉岩(Cpx-WR-Gar)的Sm-Nd等时线年龄为 $55.45 \pm 1.3\text{Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(T) = -1.7 \pm 0.1$, Cpx、WR和Gar的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 分别为0.703860、0.703699和0.703589。东海片麻岩中榴辉岩(Cpx-WR-Gar)的Sm-Nd等时线年龄为 $326.1 \pm 3.4\text{Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(T) = -12.6 \pm 0.1$, WR的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为0.705426^①。根据上述年龄数据,莒南和

① 王银喜等,鲁苏榴辉岩Sm-Nd计时及其Nd、Sr同位素对构造和成因的意义,第四届全国同位素地质年代学学术讨论会论文摘要汇编,38—39页。

东海地区年龄在265.8—326.1Ma的数据,反映了晚古生代构造事件的时代;55.45—57.08Ma反映了新生代构造事件的时代。榴辉岩的成因以变质交代为主,但也不排除岩浆成因的可能性。

中生代岩浆岩在苏北-胶南地体上远较鲁西块体发育,其分布几乎遍于全山区。如胶南、莒县、新沂等地,主要为中酸性、酸性岩类,多呈岩基、岩株产出。胶南地区花岗岩的K-Ar年龄为120Ma。临沭地区闪长玢岩、正长细晶岩、含斜长角闪岩的K-Ar年龄分别为74Ma、141Ma、87Ma(叶伯丹等,1986)。

新生代基性侵入岩多呈岩墙和岩脉产出。

(二) 鲁西块体

本构造单元主要有太古宙、中生代和新生代三个岩浆作用旋回。

太古宙侵入岩发育在鲁西的泰山、尼山和沂蒙山地区,主要岩性有超基性岩类和花岗岩类。如蛇纹岩、辉长岩和斜长花岗岩。泰山杂岩主要由两种地质体组成:①基底片麻岩,由灰色片麻岩和角闪岩组成;②深成侵入岩组合,如早期闪长岩类、中期深熔花岗岩类和晚期辉绿岩脉。基底片麻岩类往往被不同类型的侵入体切割或与其呈断层接触。早期的基性岩如斜长角闪岩、角闪岩顺层或沿断裂侵入于泰山群。望府山斜长角闪岩Rb-Sr全岩等时线年龄为 $2767 \pm 45\text{Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为0.7004;泰山群混合岩化和花岗岩化强烈,形成了各种混合岩和中酸性岩。普照寺型闪长岩和中天门型花岗闪长岩的Rb-Sr等时线年龄为 $2595 \pm 100\text{Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为0.7008;傲来山花岗岩Rb-Sr等时线年龄为 $2490 \pm 50\text{Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为0.7028(江博明等,1988)。

特别要指出的是,华北板块有东、西两条金伯利岩带。东带在鲁西块体内,西带在太行山山前深大断裂带。下面仅叙述本断面穿过的东金伯利岩带。

东带金伯利岩主要发育在郯-庐断裂带西侧的次级断层组中,与北东向断层有成因关系。金伯利岩呈岩筒和岩脉两种形式产出。脉状金伯利岩分中间相和边缘相,具侵入特征,走向为NE向。筒状金伯利岩有侵入型和爆发型,是多期岩浆活动的产物。东带金伯利岩以橄榄岩型为主,主要造岩矿物为橄榄石和金云母。金伯利岩中含有透镜状幔源榴辉岩包体。金伯利岩的形成温度约 1200°C ,压力为4400MPa,深度为150—200km。金伯利岩的Rb-Sr同位素年龄为450—494Ma。结合本区地质资料,认为该区金伯利岩的形成时代为晚加里东期。金伯利岩的围岩为太古宙泰山群高级变质岩,其形成与地台基底长期隆起和深大断裂(起着导浆作用)有关。本区金伯利岩体赋存于和深大断裂有关的二级、三级断层组(成矿构造)内。形成金伯利岩的岩浆来自上地幔,是在高温高压下形成的。

中生代岩浆活动十分强烈,构成以沂沭裂谷系为中心的NNE-NE向展布的岩浆岩带。火山岩和侵入岩主要分布在沂沭裂谷带的两侧,东侧较西侧更发育。早期以大规模的陆相火山喷发为主。火山岩的成分变化大,基—中—酸性皆有,在临沭地区其厚度在1000m以上。晚期以岩浆侵入为特征,侵入岩主要分布在临沭地区。其岩性为花岗岩类和闪长岩类。在淄博市东北地区,闪长岩的K-Ar年龄为 $139 \pm 1.6\text{Ma}$ (叶伯丹等,1986)。

新生代新第三纪的基性喷发岩主要分布在临朐地区。岩性为碱性玄武岩。临朐地区碱性橄榄玄武岩的K-Ar年龄为24.13Ma, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为0.70370,碧玄岩的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为0.70359(刘若新等,1986)。碱性玄武岩 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 接近地幔岩,说明它们是上地幔部分熔融的岩浆,沿断裂上升而形成的。