

1:1 000 000

湖北随州至内蒙古喀喇沁旗 地学断面

(说明书)

国家地震局地学断面编委会



地震出版社



湖北随州至内蒙古喀喇沁旗地学断面

说 明 书

国家地震局地学断面编委会

本断面主编：孙武城（国家地震局地球物理勘探大队，郑州）
马宝林（国家地震局地质研究所，北京）
宋松岩（国家地震局地球物理勘探大队，郑州）
胡鸿翔（国家地震局地球物理研究所，北京）

1992年12月

内 容 简 介

全球地学断面 (GGT) 是 80 年代国际岩石圈计划的一项全球性地球科学研究项目, 主要编制断面图以展示科学成果。断面图是按国际岩石圈委员会、全球地学断面协调委员会 (CC-7) 编图指南编制成图。地学断面图是采集 100km 宽的走廊带内现有的地质、地球物理和地球化学等资料, 展示为统一对应的走廊平面图及走廊带内的剖面图, 并经综合研究以表达地壳与上地幔的综合信息图像的系列图。

湖北随州至内蒙古喀喇沁旗地学断面由随州起经郑州、安阳、固安、兴隆至喀喇沁旗, 全长逾 1200km。揭示了桐柏山、南华北平原、太行山东部、华北平原北部和燕山一带的地壳上地幔乃至软流圈顶部特征的大量综合信息。据此, 深入地综合研究了以栾川-明港断裂为分界的秦岭褶皱带和中朝板块的部分次一级单元——随州-广济地体、桐柏-大别地体、北淮阳地体、豫西地体、南华北盆地西缘、山西块体东缘、北华北盆地北部、燕山褶皱带和内蒙地轴 (块体) 东部的全地壳及深达软流圈顶部的地质地球物理和地球化学过程, 以综合解释剖面反映其断面通过地带的地壳的组成、结构和构造特征, 并解释了其形成、演化及动力学过程, 可为寻找矿产资源和减轻乃至预防地质灾害提供科学依据。

本说明书说明编图的由来、信息采集、资料整理、异常解释、特征分析、综合研究及断面图展示未尽的内容。

本地学断面图及说明书由国际岩石圈委员会全球地球断面协调委员会地区协调员马杏垣教授主持评审通过, 并报国际岩石圈委员会全球地学断面协调委员会审核, 获得了全球地学断面统一编号。

本地学断面及说明书可供从事地质、地震、地球物理、地球化学、大地测量等地球科学的科研、教学、生产和有关科技管理等人员参考使用。

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, 编制在全球和关键部位的 100 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 (GGT), 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) 内蒙古东乌珠穆沁旗至辽宁东沟地学断面;
- (II) 江苏响水至内蒙古满都拉地学断面;
- (III) 上海奉贤至内蒙古阿拉善左旗地学断面;
- (IV) 青海门源至福建宁德地学断面;
- (V) 湖北随州至内蒙古喀喇沁旗地学断面;
- (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、刘昌铨、宋仲和、李裕澄任副主编, 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、概述	(1)
二、断面展示的布局与编图基础	(1)
三、地形概貌	(2)
四、区域地质构造概况	(2)
五、各主要构造单元概述	(5)
六、岩浆活动和岩石地球化学特征	(8)
七、重力异常特征	(11)
八、航磁异常 (ΔTa) 特征	(13)
九、大地热流分布特征	(14)
十、壳幔速度结构特征	(17)
十一、壳幔 S 波速度结构特征	(22)
十二、壳幔电性结构特征	(23)
十三、幔源包体典型特征	(26)
十四、古地磁资料的解释	(32)
十五、地震活动性特征	(36)
十六、深部地球物理变异带	(39)
十七、地壳上地幔顶部的组成、结构和构造及其演化的综合解释	(41)
参加本地学断面研究与编制人员及其所属单位名录	(52)
参考文献	(53)

一、概述

湖北随州至内蒙古喀喇沁旗地学断面是 100 余条全球地学断面 (Global Geoscience Transect) 中由国家地震局负责编制的 6 条之一。该地学断面是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, 由中国地学大断面协调组织编制而成。

地学断面的内涵按编图指南概述为: 采集并综合宽 100km, 长千余公里, 可尽多地跨越主要地壳构造单元的现有剖面及其走廊平面和更广的地质、地球物理和地球化学信息, 展示全地壳深达岩石圈的组成、结构和构造的剖面, 以更新的和更深的综合信息表述走廊带的岩石圈演化, 达到便于在全球范围内直接对比, 相互联系地进行全球性地球科学研究的目的。

本断面南起湖北随州 (东经 $113^{\circ}12'$, 北纬 $39^{\circ}09'$), 北至内蒙古喀喇沁旗 (东经 $118^{\circ}38'$, 北纬 $41^{\circ}51'$), 断面全长逾 1200km。断面全程的深地震测深剖面不是一条连续的直线, 而是由 $NE5^{\circ}$ 的南段和 $NE35^{\circ}38'$ 的北段组成; 南端进入桐柏山, 中间经华北平原南部、太行山东南部和华北平原北部, 尔后进入燕山。

本断面通过两个一级构造单元——秦岭褶皱带和中朝板块, 通过随州-广济地体、桐柏-大别地体、北淮阳地体、豫西地体、南华北盆地西缘、山西块体东缘、北华北盆地北部、燕山台褶带和内蒙地轴 (块体) 东部等二级构造单元。

此外还穿越了平谷 8 级大震地震活动区 (带) 和通县及邢台等地震区, 并通过了一些矿产地。

编制本断面除了参加全球性和全国性地球科学基础研究的基本目的之外, 欲密切结合探索地壳上地幔与地震活动和矿产资源成生的相关特征, 为减轻地震灾害和其他地质灾害及矿产资源预测服务。

二、断面展示的布局与编图基础

1. 展示布局

国际岩石圈委员会 GGT 协调委员会制定的编图指南对地学断面展示的主要内容及其布局做出了统一的规定, 另提倡各断面考虑各自版面的特点, 展示有意义的内容并合理地布局。其主要内容及其布局是自上面下逐一地展示地质、布格重力异常 (含大地热流值、震中分布)、航测磁力异常等断面走廊带平面图和地质、深地震测深-大地电磁测深、综合性解释 (深度达莫霍面以下) 等剖面图, 构成组合图, 在上述组合图的右侧展示构造地层时-空图和图例。在此基础上本断面根据版面还合理配置了有意义的说明性与辅助性图件。地质系统图采用两种色标系统: 一种以地质图色标表示地质走廊带平面图及地质剖面图的地质单元的年龄; 另一种构造亲绿色标, 表示由岩石单位推测的形成构造环境, 它用于构造地层时-空图解和综合解释性剖面图。从相关形象上展现地层、构造、岩浆和变质作用的时-空关系, 便于有机联系各图的关系, 有助于启动对构造演化的思维。

断面系列图及说明书插图还展示出各类型构造单元的异常、数据、结构、解释的构造

要素与组成标志；反映板块运移的古地磁数据与图象反映了地球化学方面的岩石学与岩浆岩及新生代玄武岩中幔源包体的研究成果。地球物理图件采用的色标系统是按全球统一的色标，区分地球物理异常带、结构和数据的特征，便于全球对比研究。本断面图中列入的说明性及辅助性图件的色标：一是按其专业传统，二是能醒目地区别其变化特征。

最终展示综合解释性剖面。是据地质、地球物理及地球化学等方面的信息按 XYZ 方向与 T（时间）四维坐标系进行综合研究，并参照展示的走廊带平面图范围以外区域的构造资料，构思并展示断面内全地壳及其深部的构造、组成及其成因，从而论证出断面及其周围的地壳及其深部演化。

2. 选线原则

国际岩石圈委员会 GGT 协调委员会确定编制地学断面原则上是在现有资料基础上进行。国家地震局地学断面编委会在主编马杏垣主持下按上述原则，在国家地震局系统现有资料的基础上，根据国家地震局编制 6 条地学断面的任务，要求地学断面应尽可能多地通过重要的地质构造部位，又考虑到与其它五条断面联片控制广阔范围的统一部署，选定了湖北随州至内蒙古喀喇沁旗地学断面。本地学断面的具体位置是沿已完成野外探测的湖北随州至河南安阳和山西平顺至内蒙古喀喇沁旗两条深地震测深线确定的。

3. 编图基础

本断面具有资料丰富、信息量大、精度较高、分布均匀、综合性强和反映较深的资料基础。在走廊带及其外围的广阔领域具有研究程度高的区域性地质、重力和磁力资料；沿全断面深地震地壳测深齐全并进行了全断面的二维速度结构的研究；沿全断面做了二维密度结构研究；沿断面运用 16 个大地电磁测深点做了地壳上地幔电性结构研究；沿断面运用 43 个点的大地热流值研究了大地热流分布特征；沿断面运用地震面波方法以 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ 的网络研究了地壳上地幔的横波速度结构特征；在断面上及其附近做了地球化学和岩浆岩及新生代玄武岩幔源包体的专题研究；分析了与本断面相关的反映中朝板块运移速度和转动角速度以及古地磁数据；另外在断面附近共采集 5 级以上（最高为 8.0 级）60 个地震。

三、地形概貌

现代地形反映了地质构造及其最近地质时期活动的基本特征。湖北随州至内蒙古喀喇沁旗断面由南向北穿过了秦岭东延部分的低山丘陵区、山西高原与华北平原的过渡带至燕山山脉，地貌特征分明，与区域地质构造方向一致。由南向北地貌特征如下：桐柏山丘陵区，海拔一般为 400—800m，是淮河与长江流域的分水岭；南阳盆地海拔 120m 左右；豫西丘陵西高东低，海拔一般 100—500m，最高达 1150m，呈折扇形由西向东展开并向黄淮平原过渡；黄河以北的太行山及其山前地带，地势西高东低，太行山海拔 1000m 以上，山前的丘陵区海拔一般 200—500m；华北平原西部海拔多在 50m 以下，地形坦荡，自西向东缓倾；燕山山脉海拔在 500—1785m 之间，是本断面海拔最高的地貌单元。

四、区域地质构造概况

本断面通过的一级构造单元是：南部为秦岭褶皱系，北部为中朝板块，两者以栎川-确

山断裂为界。沿断面通过 9 个 I 级构造单元：秦岭褶皱系 3 个，中朝板块 6 个。自南向北分别为：随州-广济地体、桐柏-大别地体、北淮阳地体、南华北盆地、豫西块体、山西块体（邢台小区）、华北盆地、燕山台褶带和内蒙地轴（喀喇沁旗小区）。

本断面南部以广济-襄樊断裂为界，与扬子板块相邻，其北部以赤峰和开源断裂为界与内蒙褶皱系为邻。

栾川-确山大断裂西起龙首山南缘，向东沿秦岭北缘、南阳盆地北缘，经栾川、确山、明港、合肥，止于郯庐断裂。断层面面向北倾斜。古生代、中生代都有活动。据马少龙（1978）研究，该断裂带两侧有变质带存在，北侧的豫西块体区为变粒岩、辉石麻粒岩，代表区域变质作用中的高温低压大地构造环境。南侧是洛河-栾川绢云片岩、蓝片岩、含蓝晶石片岩带，反映中温中压构造环境。该段的断裂面向北倾斜，但断裂带内有花岗岩分布，据此这条断裂带似具有超岩石圈性质。它是划分中朝板块和秦岭褶皱系一级构造单元的重要地质依据。

1. 秦岭-大别山褶皱系的概况

秦岭-大别褶皱系包括秦岭和大别山一带的褶皱山系，这是一条多期复合褶皱带。区内有两条深断裂。南部为广济-新城断裂带，北部为桐城-桐柏断裂带。

广济-新城断裂带也是一条多期活动的断裂带，它与南阳盆地西部的秦岭南部断裂带相当。第一期断裂的主断面向南倾斜，时代为加里东期，其依据是：沿断裂有高压变质带伴随，出现蛇绿混杂岩，与大别山地体的接触关系十分截然；临近大别地体之南发育一条低角度向南倾斜的大型韧性剪切带，并存在一系列平卧和倒转褶皱，褶皱轴面总体向南倾斜。第二期为控制中生代断陷盆地的边缘断裂，是正断层性质，沿着这条断裂带的岩石发生强烈的破裂、破碎，其宽度约 100 余米。

桐城-桐柏断裂带是一条多期活动的不同构造性质的断裂带。第一期活动时代为加里东构造变动早期，断层的主断面浅部向北倾斜，深部向南倾斜，其依据是：大别山北缘是一条明显的地质分界线，南为大别地体，北为北淮阳浅变质岩系；高压变质带的标型矿物和标型矿物组合十分典型，并沿上述地质分界线的北缘分布；沿这条地质边界有蛇绿岩或蛇绿混杂岩断续分布；存在一条宽约 3—10km 的具有区域规模的韧性剪切带。这些特征表明这里曾发生过强烈的构造挤压；第二期活动可能发生在中生代，这期活动具有正断层性质，主断面向北倾斜，它控制着中生代断陷盆地的发生和发展，具有生长断层性质；第三期活动是在第四纪，表现为近代活动的正断层带，许多地震沿此带发生。

由上述两条主干断裂将秦岭-大别褶皱带划分为 3 个二级构造单元。

2. 中朝板块的构造特征

华北板块连同朝鲜北部合称中朝板块，华北板块的主体位于华北地区。本断面所穿过的地区由 6 个二级构造单元组成。按板块的形成和发展历史可分为太古—早元古代结晶基底和中元古代—新生代盖层两大部分。

（1）结晶基底

由于后期的地质构造演化，使华北板块结晶基底的基本格架发生很大变化。水平方向的伸展使华北板块基底互相离散，垂直方向的升降造成地壳各块断之间发生差异运动，形成一系列隆起区和拗陷区。本断面所经过的内蒙地轴、山西块体和豫西块体即为结晶基底的长期隆起区，基底由太古代和元古代的深度变质岩系组成。

早太古代主要出露在内蒙古西部、冀东、晋北和豫西等地。冀东、内蒙古西部地区以迁西群、集宁群、密云群和建平群为代表，在太行山区为赞皇群和豫西地区为太华群（下）。原岩以绿岩带及硅铁质建造为主要特征，年龄为 $36.70 \pm 23\text{Ma}$ (Rb-Sr)，属麻粒岩相和高角闪岩相变质。上太华群、登封群以及滦县群属于晚太古代，原岩为一套火山-沉积建造，并出现碳酸盐岩，沉积旋回（韵律）比较清楚。

上元古代在冀东为单塔子群、朱杖子群；太行山地区为五台子群、滹沱群和甘陶河群；豫西地区为嵩山群、铜铁沟组。下元古代一般可划分为上下两部分，两者之间以 22 亿年左右作为时间界限，并为不整合接触关系。

在大地构造划分上，马杏垣教授等认为太古代时期，华北地区存在几个陆核如迁西陆核、豫西陆核以及太行陆核，经阜平运动和吕梁运动，褶皱地槽和原地槽发生构造变动并增生在古陆核之边部，形成了华北板块的结晶基底雏形。

张兆忠等（1980）从板块构造观点认为华北结晶基底在 35—30 亿年期间，北部出现迁西岛弧，30—25 亿年出现南部太华岛弧，25—18.5 亿年南北两岛发育成为成熟岛弧，从而形成具陆壳性质的结晶基底。

（2）中朝板块盖层的基本构造特征

中朝板块经历了吕梁—中岳运动之后，大部分地区已经固结，开始进入稳定发展阶段。从中元古代开始，中朝板块发生了强烈的裂陷作用，沉积了巨厚的长城群、蓟县群和青白口群，厚达 1 万余米。过去一般认为它具有板块盖层沉积特点，内部变形微弱，通常为单斜构造，地层近水平，表明未经历大的构造事件（黄汲清等，1980）。现在则趋向认为（古北口—新杖子）裂陷的坳拉槽北界大致为古北口—新杖子断裂所限，往南经华北平原，插入太行山，平面上为三叉裂谷形态并与南部的熊耳—汉高中元古代坳拉槽相连。蓟县群标志着燕山—太行山坳拉槽发育的鼎盛阶段，地层分布广泛，青白口群则标志着该坳拉槽趋于萎缩消亡，地层分布较为局限，只有燕山和太行山的局部地区见有分布。

古生代，华北板块进入盖层发育阶段（ $\epsilon - \text{O}$ ，一般为碳酸盐岩沉积），但普遍缺失上奥陶统、志留系和泥盆系以及下石炭统，只有个别地区有上奥陶统沉积，如鄂尔多斯台褶带和阴山局部地区。中石炭世，中朝板块开始了一个新的沉积旋回，沉积了一套浅海相或海陆交互相的以碎屑岩为主的沉积，是华北地区一个重要的成煤期。自晚二叠至中三叠世海水已完全退出了中朝板块，发育一套红色陆相碎屑岩沉积，三叠纪时期以内黄隆起为界，北部基本上处于隆起剥蚀状态，低洼区有零星的三叠系分布，南华北盆地区则广泛分布，中下三叠统为红层。显然，华北板块内陆出现了北南分异，晚三叠纪的印支运动除使中朝板块处于整体隆起外，其更深远的影响是造成了以太行山为界的東西分异。太行山以西发育大型的中生代陆相含煤盆地；东侧处于隆升状态，以南大岭组基性岩喷发为标志，在隆起背景上发育一系列北东或北北东向裂陷盆地，如北京西山盆地，具有裂谷特征。燕山运动使所有这些中生代盆地萎缩消亡，伴有强烈中酸性岩浆活动和逆转活动，控制中生代盆地边界的正断裂，并不同程度具有逆断裂性质，燕山地区尤其明显。

燕山运动之后，中朝板块整体抬升，经晚白垩到古新世的剥蚀夷平作用，形成北台期准平原面。始新世开始，华北平原进入了一个新的裂陷阶段，控制各个裂陷盆地的断裂既有连续性又有新生的特点。根据裂陷盆地的演化情况，又可分为始新世、渐新世、晚第三纪和第四纪四个阶段。

五、各主要构造单元概述

沿本断面通过的 2 个一级构造单元和 9 个二级构造单元概述如下：

表 1 构造单元划分简表

一级构造单元	二级构造单元	一级断裂
秦 岭 褶 皱 系	1. 随州-广济地体 2. 桐柏-大别地体 3. 北淮阳地体	栌山-确山断裂带
中 朝 地 台	4. 南华北盆地 5. 豫西块体 6. 山西块体 7. 华北盆地 8. 燕山台褶带 9. 内蒙地轴	

1. 随州-广济地体

随州-广济地体夹持于广济-襄樊断裂和新城-广济断裂之间，系高压浅变质地体。褶皱带呈长条状沿北西向展布，西与北大巴山褶皱带相对应。

该地体的原岩为火山-沉积岩系，变质后由片岩、千枚岩、碳酸盐岩、细碧角斑岩、玄武岩及流纹岩等组成，原岩建造是优地槽性质，变质类型属高压低温型的绿片岩相。早年，人们将其时代归为元古代，划分成应山群和花山群；近年来在这套浅变质岩系中陆续发现早古生代化石，根据同位素年龄数据，将其划分为随县群 (PL)、岭河群 (PL)、古城畈群 (C-D)、兰家畈组 (S₁) 和雷方尖组 (S₂)。据此推断随州-广济地体是经加里东构造变动褶皱封闭的。蛇绿岩和高压变质带的确立，说明随州-广济地体曾有过俯冲消减的历史，后期发生强烈挤压出现逆掩，由此完成了扬子板块与大别地体最终拼合。叠加作用分析和同位素年龄资料还表明，海西-印支期的构造变动对随州-广济地体加里东期的改造是明显的。

2. 桐柏-大别地体

桐柏-大别地体是增生在中朝板块南缘的古老块体，在演化过程中，早期（前加里东期）具有大陆残块性质，后期（加里东期）则有岛弧性质。桐柏-大别地体依变质和变形特征可划分为两个构造层，其间呈不整合接触。下构造层为桐柏群和大别群，是一套深变质的杂岩系，变质程度为高角闪岩相，局部出现角闪麻粒岩。其上覆盖了一套岛弧火山岩系和含磷陆屑-碳酸盐建造的宿松群和红安群，原岩时代划归中元古代，变质程度为低角闪岩相。据笔者的研究，在大别地体至少发生了两次叠加变质作用。在地体的边部均为中-高压性质，而其中部地区则为由混合岩和混合花岗岩及矽线石+红柱石组成的中央背形构造。关于大别群的时代问题还存在争论，湖北区测队 (1975) 对来自大别群上部层位的锆石样品

进行了同位素年龄测定,获得了 2080Ma 数据,因此大别群的原岩时代不应晚于早元古代,其上覆岩层的时代大致为中—晚元古代,叠加变质作用分别发生在加里东期和海西期。

3. 北淮阳地体

北淮阳高压浅变质地体南北分别以桐柏—桐城断裂和栾川—确山断裂为边界,其间出露一套变质杂岩。在桐柏—桐城地区,这套变质杂岩分别属于二朗坪群、信阳群、苏家河群和佛子岭群,其原岩为酸性、基性火山岩、超镁铁岩和杂砂岩等,原岩建造属于双峰火山岩建造、蛇纹岩建造和复理石建造组合,属优地槽岩相组合。经受变质作用之后形成各种片岩、千枚岩、片麻岩,并出现许多变质型矿物如硬柱石、硬绿泥石、钙蓝闪石和标型矿物组合。如透辉石+石英、硬柱石+钠长石+石英以及多硅白云母+钠长石+阳起石,由地质温度计和压力计计算,变质条件 $P=7\text{kb}$ 、 $T=450^{\circ}\text{C}$ 士,属高压绿片岩相或硬柱石—蓝片岩相。

关于该区原岩年龄及变质事件年代一直存在争议,60 年代初北京地质学院(1961)在其部分层位中发现了植物化石,把信阳群划归石炭—二叠系。杨志坚(1964)在梅山群中、下部采到植物和腕足类化石碎片,并把岩性相似的佛子岭群与之对比,置于石炭—二叠系。因此认为北淮阳地体是一个海西期褶皱带。

其实,北淮阳地区的变质岩系可划分为两个构造层,上构造层为轻微变质的巨厚海—陆碎屑建造,夹有煤层,含有丰富的动植物化石,时代属于石炭纪(聂宗笙,1964);下构造层为火山沉积建造、复理石建造、双峰火山岩建造和蛇绿石建造。林昌宝等(1983)在信阳群中,杨森楠等(1983)在佛子岭群中都曾采得震旦纪的古植物化石组合;合肥工业大学陆光森、金福全等(1987)又在河南固始扬山组底砾岩中的灰岩砾石中发现了早古生代珊瑚、介形虫,牙形石及蓝藻等化石,笔者 1985、1986 年在安徽梅山一带确立了佛子岭下构造层和梅山—扬子群上构造层之间的不整合关系。显然北淮阳地区下构造层基本属于震旦纪至古生代地槽活动带,加里东时期发生构造变动,并以俯冲方式增生在华北板块南东缘。

4. 南华北盆地

南华北盆地范围与华北盆地范围有明显的差异,这种差异主要表现在新生代以来,华北盆地大致为北北东向展布,而南华北盆地主要表现为一系列北西西向盆地系。新生代地层前者厚度可达 7000m 以上,后者则一般只有 3000—4000m。但它们还是有许多共同之处,南华北盆地也经历了两个大裂陷旋回,中生代裂陷作用在南华北地区形成一些近东西向展布的裂陷旋回。中元古代裂陷作用在南华北形成了一些近东西向展布的裂陷盆地。新生代盆地演化可能只是中生代盆地的继承性发展。由于资料不足,大致可以划分为早第三纪和晚第三纪至第四纪两个演化阶段。早第三纪是南华北盆地伸展裂陷的最盛时期,主要是前新生带断层重新活动,沿断层形成单侧断层控制的箕状盆地;早第三纪至第四纪南华北盆地处于整体沉降,构成统一的盆地。

南华北盆地的板块盖层为 $\epsilon-O_2, C_2-P$ 发育情况与华北平原区基本类似,在此不再赘述。但南部地区见有震旦纪罗圈组分布,为一套冰碛层,三叠纪陆相红色碎屑建造普遍存在,只是由于盆地的差异升降活动(主要是早第三纪和中生代)在隆起区被剥蚀,只在箕状盆地内保留。

5. 豫西块体

可分为三部分:嵩箕小区、叶县小区和渑池确山小区。

震旦纪罗圈组冰碛层在豫西块体的三部分都有分布,在区域上出露于不同时代的地层之上,仅嵩箕小区和潞池确山小区的北部有缺失。从太古代登封群至震旦系董家组,其上被寒武系平行不整合覆盖。 $\epsilon-O_2$ 、 C_2-P 的发育情况与华北板块其他地区基本一致,并发育有三叠纪陆相红色建造。豫西块体的特殊之处在于缺失下奥陶统,三叠纪后本区继续抬升,一直持续至今。

6. 山西块体 (邢台小区)

山西块体自寒武纪以来长期处于隆起状态, $\epsilon-O_2$ 有连续沉积,但碎屑成分和泥质成分偏多,厚度也较小,实际上它是古生代华北海的滨海斜坡区。 C_2-P 主要为滨海相或陆相沉积,厚度也较华北平原区小。局部见有三叠纪沉积地层分布。

中元古代燕山-太行山拗拉槽经过该区,但由于后期板块盖层覆盖、露头零星。印支运动以后,该区基本上处于隆起剥蚀状态,没有接受沉积。

该区主要发育北东、北西两组断裂,后者常为正断裂。根据其切割的地层判断,它仍属于加里东期。沿北北东向断裂可能在新生代时期存在正断运动,如林县盆地的成因可能就与此有关。

该小区南面以太行山南麓断裂与南华北盆地分界。

7. 华北盆地

华北盆地区大致可以分为如下几个单元:冀中拗陷、沧县隆起、黄骅拗陷、埕宁隆起、济阳拗陷和渤中拗陷。该区北以北西向北京-蓬莱断裂与密云小区相邻。西以太行山山前断裂与太行山块体分界。

华北盆地区主要经历了两次大的裂陷旋回即中生代裂陷和新生代裂陷旋回。中生代裂陷旋回在华北平原与其他地方是一致的,在此不赘述。下面着重叙述新生代裂陷旋回的构造演化特征。华北新生代裂陷盆地的构造演化大致可分为三个阶段:始新世早期在台北期准平原基础上沿北东或北北东向断裂开始活动形成一系列裂陷盆地,但后生盆地都是彼此分离的。渐新世裂陷作用达到最高潮,盆地范围进一步扩大,构成一些统一的裂陷盆地。这个阶段最重要的特征之一是北京-蓬莱断裂沿张家口-塘沽基底弱化带重新活动,控制了沉积盆地的北界和沉积厚度的分布。伴随着强烈的裂陷伸展作用,基性火山岩活动在盆地区也非常强烈,显示了裂谷特征。晚第三纪与第四纪以整体沉降为特征,但在总体沉降背景上仍有不同程度的继承活动。

盆地内的北西向断裂主要作为一种横向构造,容纳和调整北北东向断裂的不均一伸展。盆地下,广泛分布着古生代盖层沉积,中生代沉积北部盆地如武清拗陷、坝县拗陷等地都有分布。中元古界地层大致以石家庄为界,北部广泛存在,南部则缺失。据张家声研究,北京-蓬莱断裂存在一条前寒武纪的张家口-塘沽基底弱化带,北京-蓬莱断裂是该弱化带的重新活动在地表的表现。该断裂带在地表为一系列呈北西向展布的断续相连的断裂带武清、岐口、南堡、渤南、渤中和渤东等一系列盆地斜列于北京-蓬莱断裂沿线,断续组成一条西窄东宽,走向北西西的断陷带,该带控制了盆地渐新统地层的沉积厚度分布,断裂附近渐新统地层厚度为3000—6000m,其他地区只有2000m。

太行山前断裂控制了华北平原的西界,是一个新生代沉积厚度分布的突变带、重力梯度带。

8. 燕山褶皱带 (密云小区)

该小区位于燕山褶皱带内,中生代裂陷盆地在区内广泛分布,且多为近东西向,北京西山一带向南偏转成北东或北北东向,与区域构造线方向一致。古生代地层 $\epsilon-O_2$ 、 C_2-P 都有分布,但较为局限,且大多数被断裂切割支离破碎。

区内中元古代拗拉槽沉积的长城群、蓟县群和青白口群发育齐全,本区蓟县是这一套地层剖面所在地,厚度 10000m。

区内主要有两组断裂。近东西向和北北东向展布,前者继承了前中生代断裂活动,后者多为燕山运动的产物。郑炳华等认为区内还存在一组重要的北西向断裂,在此不赘述。

9. 内蒙地轴(块体)(喀喇沁旗小区)

该小区位于内蒙地轴(块体)之上,北以赤峰-开源断裂与兴蒙地槽相邻,该断裂是一条超壳深大断裂,沿断裂有超基性岩分布。该小区自早元古代以来长期处于隆升状态,太古代基岩直接出露地表,基本没有盖层沉积,只有一些 $\epsilon-O_2$ 地层的零星分布,且多分布于古北口-新杖子断裂带附近。它们与基底几乎呈断层接触,中生代地层分布很零星,基本类型与 $\epsilon-O_2$ 相似。

中生代本区与华北其他地区一样,也经历了强烈的裂陷作用。在太古代基础上发育了一系列的近东西向或北东向盆地,盆地排列有向东北方向撒开的趋势,靠近古北口-新杖子断裂带是由呈近东西向的展布,往北逐渐向北偏转,形成时代上由南往北逐渐变新。北部喀喇沁旗一带只有上侏罗统沉积,南部早侏罗世裂陷盆地即开始发育,早白垩统孙家湾组仅见于喀喇沁旗北东方向约 30km 处,分布非常局限。

该小区南界古北口-新杖子断裂带是一条自元古代以来具有长期活动的长寿断裂,该断裂控制了中元古界的沉积分布。太古代地层覆于中元古代之上,分布广泛,厚度巨大,北部靠近断裂附近有零星分布,而且与太古代基底多为断层接触关系(1/20 万承德区测报告)。侏罗纪地层,覆于其上,没有破坏新岩体。因此该断裂总体上是一条向南推覆的断裂,燕山运动以来基本没有活动。

六、岩浆活动和岩石地球化学特征

该走廊地质带伴随构造运动经历过多次岩浆活动旋回,但在不同地质构造单元及其不同地质时期,岩浆岩的发育程度、类型和岩浆建造特征是极不相同的。以下对二级构造单元自南而北分别叙述。

1. 随州-广济地体

该地体为元古代以来的优地槽,原岩为火山沉积建造。这个褶皱山系的走向为北西向,其上岩浆活动的显著特征是广泛分布着基性、超基性岩和榴辉岩,大小岩体有数百个,其长轴和展布方向也为北西向,与伴生的蓝片岩带的方向一致。这些基性超基性岩构成一条蛇绿岩带,呈透镜状、似层状和不规则状等产出,为固体侵位的岩片。其岩性为橄榄岩类变辉长岩和辉绿岩属阿尔卑斯型橄榄岩。它们分布在资山、随县和应山地区。随县地区辉长岩的 K-Ar 同位素年龄为 1030Ma;该地体上有两个榴辉岩体, K-Ar 年龄分别为 860Ma 和 845Ma。根据地质资料 and 同位素年龄数据,蛇绿岩的时代应为中晚元古代,其成因为幔源型。

2. 桐柏-大别地体

该地体为中朝板块和扬子板块之间的碰撞缝合带。其中基性岩、超镁铁质岩和燕山期花岗岩类发育。

(1) 蛇绿岩带

分布于桐柏山和大别山两坡,尤其是北坡,呈东西向带状展布,宽数公里至数十公里,长数百公里。蛇绿杂岩层序自下而上有超镁铁质杂岩、辉长质杂岩、辉绿岩、细碧角斑岩和碧玉岩。

超镁铁质岩体大者可达几公里,呈条带状分布,小者仅几厘米,呈弥漫状分布,岩体形态一般为透镜状、豆荚状或不规则块状。岩体普遍片理化,与围岩接触部位表现出强烈变形和糜棱岩化,并普遍遭受不同程度的蛇纹石化作用。钻探资料证实,超镁铁质岩呈无根的岩块悬浮在基质围岩中,显示出固体侵位的特征。根据其岩石化学数据作 AFM 图,投影点均落在紧靠 MgO 一端,表示该区蛇绿岩为更富镁铁质的母岩浆的分异产物,在 Cr_2O_3 - NiO 图上,变质橄榄岩均落在阿尔卑斯型橄榄岩区。关于蛇绿岩形成的时代问题,据 K-Ar 法测定,安徽饶钹寨岩体的纯橄榄岩为 1239Ma,桐柏老龙泉辉石橄榄岩为 345Ma。根据地质资料和年龄数据,该区蛇绿岩可分前寒武纪和早古生代两期,固体侵位时代为泥盆纪。该区尖晶石二辉橄榄岩的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.7030$,在 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i - T$ 的相关图上,与地球原始物质演化线相一致,表明其成因为幔源型,而火成堆晶岩的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.7091$,强烈偏离地球原始物质演化系统。

(2) 燕山期花岗岩非常发育,主要分布在桐柏和祖师岭地区以及南湾水库以东和以南地区,呈岩基和岩株产出。根据其岩石化学数值特征,它们属钙碱性岩系。该区花岗岩的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 在 0.7043—0.7070 之间,其 K-Ar 年龄在 97—206Ma 之间。岩浆来源深度较大,属 I 型花岗岩。

3. 北淮阳地体

该地体是中朝板块和大别地体夹持的碰撞缝合带,其构造复杂,断裂发育,伴随有三期岩浆活动。岩浆岩沿北东向和北西西向深断裂或两组断裂的交汇处成群成带密集分布,组成两条近东西向的构造岩浆岩带。

(1) 加里东期北淮阳古海域沉积了佛子岭群和信阳群,其下部为双峰式碱性玄武岩-流纹岩组合。沿信阳-舒城断裂发育的早古生代蛇绿岩、混杂岩和滑积混杂岩及信阳群低温高压变质带。早期以单辉橄榄岩和斜辉橄榄岩为主,岩体规模小,呈透镜状和不规则状产出,多数无根。中期出现辉石闪长岩和闪长岩。后期以斜长花岗岩的侵入为特征。它们构成超基性—基性—中酸性岩的演化系列。加里东期的中酸性侵入岩均属钙碱性系列,超基性和基性岩属镁铁质岩。其 K-Ar 年龄从 478Ma (王盾店岩体) 到 348Ma (张家冲岩体)。其岩浆来自下地幔。

(2) 海西期侵入岩可以信阳附近的铝过饱和花岗岩为代表,岩体呈小岩株产出,不太发育。海西期花岗岩岩体的 K-Ar 年龄在 293—308Ma 之间。其岩浆来自壳源物质的重熔。

(3) 燕山期岩浆活动最强烈,岩浆岩呈岩基和岩株产出,规模大,遍布整个北淮阳地区。根据其同围岩的接触关系和同位素年龄数据,燕山期有三次侵入活动。第一期以大规模的花岗岩的侵入为特征;第二期以偏中性的侵入岩为主,如二长岩和闪长岩。第三期以酸性偏碱的花岗斑岩、花岗岩和少量石英闪长岩为特征。在金寨地区,还有次碱性—碱性的正长岩和霞石正长岩。燕山期岩浆物质的来源是多元的,即有地幔物质分异的 I 型花岗

岩,又有壳源物质重熔的S型花岗岩。燕山期岩体的K-Ar同位素年龄从206Ma(桃花岭岩体)到80Ma(芳畛岩体)。

4. 豫西块体

本块体有中条期和燕山期岩浆活动。

(1) 中条期(元古代)岩体主要为混合花岗岩,分布于伏牛山脉东南段。该期岩体曾发生高度混合岩化作用,并与区域变质岩和混合岩伴生,互为过渡。岩体呈岩基以岩株侵入伏牛山褶皱山系。著名的牧鹿山岩体的U-Pb同位素年龄为2005Ma。该区混合花岗岩岩石化学特征为硅酸过饱和,富碱,碱总量大于9%, $K_2O > Na_2O$ 。其里特曼指数为2.98—3.28,碱度率为3.54—3.72,属偏碱性的钙碱性系列。其稀土元素特征是轻稀土富集型。岩体成因为原地一半原地型混合花岗岩。

在回龙寺以东地区还有中条期的变辉长岩岩株。岩体遭受区域变质作用,具片理构造,并具有较强的绿泥石化、绢云母化和次闪石化蚀变现象。其成因属幔源型。

(2) 燕山期岩浆活动最强烈,据地质关系和同位素年龄数据,可划分为两次花岗岩类的侵入活动。早期为花岗岩;晚期主要为花岗岩和花岗斑岩。

5. 山西块体

主要为燕山晚期中性岩浆活动,分布在鹤壁市以西一汲县大池山一带,呈南北向延伸,共有18个岩株状岩体。岩性为闪长岩、闪长玢岩和石英闪长玢岩。岩石化学特征富碱,碱总量在9%左右, $Na_2O > K_2O$,里特曼指数在3.73—8.74之间,属碱性系列。全岩K-Ar法同位素年龄如下:李珍岩体为118Ma;居头岩体为89Ma;宝山岩体为119Ma,其成因为地壳重熔型。

6. 华北盆地和南华北盆地

这两个构造单元出露的都是第四纪的黄土。而在下伏的老第三纪的地层中,经石油钻探证明有隐伏玄武岩存在,厚度从几十米到1千多米。自南而北主要隐伏在下列三级构造单元之中:开封拗陷、临清拗陷、冀中拗陷和平原拗陷。

北京平原老第三系地层中有石英拉斑玄武岩。黄骅拗陷中既有拉斑玄武岩也有碱性玄武岩。华北平原玄武岩的几个K-Ar同位素年龄为71.08, 57.13和28.50Ma。北京平原拉斑玄武岩的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 变化在0.7041—0.7045之间。在华北大陆裂谷系,新生代由于盆地下陷,上地幔上隆,拉张断裂活动发育,沿断裂喷溢出玄武岩。该区玄武岩为上地幔的部分熔融所形成。

7. 燕山褶皱带和冀蒙块体

燕山褶皱带和冀蒙块体(内蒙地轴的东段)的岩浆活动类似,故一并叙述。这两个构造单元侵入岩和火山岩发育,岩浆活动可分为两个主要活动期:前寒武纪时期和燕山期。

(1) 前寒武纪的岩浆岩侵入于单塔子群深变质的片麻岩(Ar)之中,主要岩性有花岗岩类、闪长岩类和基性超基性岩类。其中以混合花岗岩类分布最广泛,多呈岩基产出。由于受区域变质作用和混合岩化作用的影响,岩体有与围岩一致的片理和片麻理。水厂地区紫苏混合花岗岩的Rb-Sr年龄为 $2641 \pm 24Ma$, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.7002 \pm 0.0001$;密云地区混合花岗岩的 SiO_2 含量高,一般在75%左右, K_2O 在5%左右, Na_2O 在3.2%左右,其K-Ar同位素年龄为1317Ma, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.7022$;密云奥长花岗岩的三个K-Ar年龄分别为1423, 1524和1644Ma;密云环斑花岗岩的K-Ar年龄为1638Ma。在承德大庙地区

有岩体型斜长岩,呈层状侵入前寒武纪变质岩系中,由下而上可分为斜长岩层、二长岩层和石英二长岩层,各层互为过渡关系。其 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 $1686 \pm 193\text{Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70402$; 其 Sm-Nd 全岩等时线年龄为 $1735 \pm 239\text{Ma}$, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i = 0.51013$ (解广轰等, 1988)。大庙斜长岩与密云环斑花岗岩有密切关系,地球化学有相似性。由上述锶同位素初始比值低可以看出,大庙斜长岩的岩浆来自上地幔,系由岩浆结晶分异形成。

(2) 燕山期为本区最强烈的一次岩浆活动,具多期侵入的特征,呈岩基和岩株产出。岩性有中酸性岩类和碱性岩类。此期侵入岩可划分为早、晚两期;早期以中性岩为主,例如石英闪长岩、石英二长岩和花岗闪长岩。同位素年龄在 $140-160\text{Ma}$ 之间,延庆地区花岗闪长杂岩体的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7071$;晚期以花岗岩和花岗斑岩为主,同位素地质年龄在 $100-130\text{Ma}$ 之间。例如云蒙山岩体白色中粒花岗岩和浅肉红色中粒花岗岩的 K-Ar 同位素年龄分别为 125Ma 和 115Ma 。昌平地区堆白峪花岗岩的 Rb-Sr 年龄为 $128.76 \pm 3.84\text{Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7041$ 。燕山运动早期以地壳深处来源的中性岩浆为主,受壳源钾硅质的大量混入和交代,由中性岩向偏酸性二长花岗岩演化。燕山晚期逐渐演变为壳源氧化条件下的硅铝层重熔岩浆。

燕山期的火山岩广泛分布,具有多期喷发特征。岩性有基性、中性和酸性偏碱性岩类。按德尔莫斯的火山岩化学分类,除北京和平泉地区以外,火山岩既不是典型的碱质岩系,也不是典型的亚碱质岩系,而是其间的过渡类型。延庆地区安山质和流纹质熔结凝灰岩的 K-Ar 同位素年龄在 $91-133\text{Ma}$ 之间;滦平地区安山岩类的 K-Ar 同位素年龄在 $100-122.8\text{Ma}$ 之间;兴隆地区英安流纹岩的 K-Ar 年龄为 142.8Ma ;滦平地区流纹岩的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7078$ 。燕山期火山岩为地壳物质重熔的产物。

七、重力异常特征

1. 资料

本断面的布格异常是根据国家测绘总局的 $1/100$ 万全国布格异常图编制的。制图采用双标准等圆锥投影。该图的等值线距为 15mGal 。重力异常值未经地形改正。我国现用的重力基本网为波茨坦系统,建于 1957 年。地形高程从 1956 年黄海平均海面起算。布格异常的计量公式为:

$$\Delta g_B = g - \gamma_0 + (3.086 - 0.419\sigma)H$$

其中 g 为地面实测重力值, H 为重力点高程,布格校正的密度 σ 取 2670kg/m^3 ,正常重力场 γ 的理论值根据 1901—1909 年赫尔默特公式求出:

$$\gamma_0 = 978.030 (1 + 0.005302\sin^2\varphi - 0.000007\sin^2 2\varphi)$$

φ 为重力点的纬度,它与国际上目前通用的 1967 年公式:

$$\gamma_0 = 978.03185 (1 + 0.0053024\sin^2\varphi - 0.00000587\sin^2 2\varphi)$$

相差很小,故可不予校正。

应说明,现用的波茨坦系统与 GGT 编图所要求的 IGSN-71 系统存在着差别。为将中国的重力基本网与 IGSN-71 联结,我国 70 年代末进行了高精度绝对重力测量和国际联测,近期建立了新的中国重力基本网 1985 年系统,简记为 CGBN-85。结果表明,在将本

断面的重力值归算到 IGSN - 71 系统时,需将本图件所标注的重力异常数值减去 13.5mGal (江志恒等, 1988; 李德禧, 1988)。

2. 重力特征

本断面由南向北穿过秦岭-大别山褶皱系和中朝板块,它们大致以确山-栾川断裂为界。在布格重力图上确山-栾川断裂直观反映不明显,总体上表现为断续的北西向梯级带,在本断面大致为伏牛山重力低北侧的重力梯级带。在上延重力图上以等值线同形弯曲反映它的存在。

确山-栾川断裂以南为秦岭-大别山褶皱系。布格重力异常形态复杂,走向多变,按其异常特征可分为桐柏山重力低和社旗重力高。桐柏山重力低是大别山重力低的一部分,属大别山隆起。由于受到北东向构造的影响,大别山重力低的南北两侧均为重力梯级带,南侧可能是新城-广济断裂引起的,北侧可能是桐柏-桐城断裂引起的,它们在上延重力图上有明显反映,说明它们可能是深大断裂。社旗重力高属南阳盆地一部分,南阳盆地布格重力高处在南阳盆地的最北端,它的走向为北北西向,不同于南阳盆地总体走向,说明该区基底受北西向构造影响。

确山-栾川断裂以北为中朝板块。按其异常特征可分为平顶山重力高;许昌-郑州-新乡负异常区;太行山梯级带;冀中异常区;燕山梯级带和承德-喀喇沁旗负异常区。

平顶山重力高,属豫西块体。在布格重力异常图上为多种走向的重力高(北西西、北西、近东西和北东向)。说明该区近东西向和北东向构造相互影响使构造走向变得十分复杂。在不同延拓重力图上发现,随深度增加北东向构造逐渐起主导作用。

许昌-郑州-新乡负异常区,属南华北盆地。呈北东走向,异常变化平缓,大致从 -10mGal 变化到 -40mGal。其高频成分反映了古生界至前古生界侵蚀面的起伏,其低频成分反映地壳厚度的宏观分布状况。

太行山重力梯级带,处于山西块体东边缘。走向由北北东向南转为北东向,重力等值线在邢台段最密集,水平梯度达 1mGal/km。它是太行山山前断裂系和地壳陡变带的反映。

冀中异常区,处于华北盆地。在布格重力异常图上,表现为重力高和重力低呈北东向雁行相间排列,它们之间为梯级带,水平梯度平均值达 2mGal/km。这一特征基本上反映了该区下古生界至前下古生界侵蚀面的起伏特征,重力低反映凹陷,梯度带反映了其含断裂的陡变带。在上延 5、10km 重力延拓图上,这一特征仍明显存在,表明其低频成分含地壳深部的因素。

燕山重力梯级带,呈北东东走向,宽度约 20—30km,水平梯度平均 1mGal/km,它是地壳深部和燕山山前断裂综合引起的。在地质上华北盆地与燕山褶皱带以北京-蓬莱断裂为界,它在布格异常图上反映并不明显。但在均衡异常图和均衡垂直导数图上有所反映。

承德-喀喇沁旗负异常区。它是由一系列北东东向负线性异常体组成的,在地质上它属于燕山褶皱带和内蒙地轴,二者之间以古北口-新杖子断裂为界。在布格重力图上它反映不明显,但在均衡异常图和均衡异常垂直导数图上有所反映。

3. 地壳密度结构特征

无论是在断面走廊带范围内还是在其周围地壳密度结构是很复杂的。除从岩心中测定