

下扬子地区HQ-13线的综合地球物理调查及其地质意义

陈沪生执笔

(地质矿产部华东石油地质局)

这是下扬子地区第一条深达岩石圈底部的地球物理-地质综合大剖面,它揭示了该区纵向“八层”“七层”、横向“四块”的壳幔层块结构特征,并获得了十二项主要地质成果,其中包括发现了华北、扬子两地台的分界线双构造带(不是断层断裂),证实了纵向各构造层有升降交替互相转化的演变规律,表明了海相中、古生界构造层的厚度、埋深及其内幕构造特征等。

前言

HQ-13线是地质矿产部华东石油地质局在下扬子地区做的一条地球物理-地球化学-地质综合性区域调查大剖面。它西起安徽灵璧,经天长、扬州、苏州至上海奉贤,跨华北地台与扬子准地台两大构造单元,全长500多公里(图1)。工作中以“寻找石油必须研究沉积盆地,研究沉积盆地必须研究深部地质”的观点为指导,设计了一套深浅兼顾、寻找油气与研究深部地质相结合的方法流程,把深部地质调查作为找矿工作的一部分,并融于找矿工作之中。

剖面上进行了重力(465 km)、航磁(480 km)、地壳地震测深(570 km)、全地壳地震反射剖面(发展了的石油宽线地震,267 km)、大地电磁测深(507 km)、吸附烃和燃气采集量(486 km),以及地表地质观测。

剖面编制由华东石油地质局地球物理处、地质大队、第六物探大队有关物探、地质人员近三十人参加。

一、主要方法及取得的主要基础资料

1. 全地壳地震反射剖面

本方法是以石油宽线地震技术为基础,结合大陆地壳深反射剖面的某些技术特点,而形成的一种新的反射地震剖面。它能同时取得地壳浅、中、深部的反射波,具有寻找

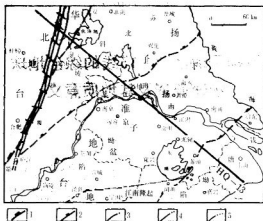


图1 剖面位置图

1—一级断裂, 2—二级断裂, 3—一级构造单元界线, 4—二级构造单元界线, 5—三级构造单元界线

石油与研究深部地质相兼顾的优点, 取得了比其它地球物理方法都好的地质效果¹⁾, 其中包括取得了地壳“七面”、“三幕”的基础资料(图2)。

“七面”, ① T_1^g 波——陆相新生界底面; ② T_2^g 波——陆相中生界底面(通称印支-燕山侵蚀面); ③ T_3^g 波——浅变质岩系顶面(海相中, 古生界及上震旦统底面); ④ T_4^g 波——深成变质岩系顶面; ⑤ T_c 波——地壳中部界面; ⑥ T_{cu} 波——下地壳上部低速层底面; ⑦ T_M 波——莫霍面, 实际是一莫霍层。

“三幕”, ①陆相中、新生界内幕; ②海相中、古生界内幕; ③下地壳内幕。

2. 地壳地震测量

其目的是查明下扬子地区的壳幔结构和特征, 研究下扬子盆地形成的深部控制因素, 验证全地壳地震反射剖面。

采用追迹和反追迹多重相遇观测系统, 观测仪器为单道模拟地震仪, 炮点距为30 km, 台站距为1 km, 151台仪器接收。取得了七个波组(图3)和地壳速度结构及其横向变化(图4)等基础资料²⁾。

七个波组是: ① P_s 波(折射波)——属浅部基岩折射波, 在不同地段具有不同的地质属性; ② R_1 波(反射波)——大致相当浅变质岩系顶面; ③ R_2 波(反射波)——大致相当于深成变质岩系顶面; ④ R_3 波(反射波)——为壳内低速层顶面, 相当于地壳中部

1) 钟风谔等, 1985, 下扬子地区地震观测方法的推广应用——全地壳地震反射剖面攻关成果报告。

2) 葛恩慈等, 1986, 下扬子地区HQ-13线地壳地震观测攻关试验报告。

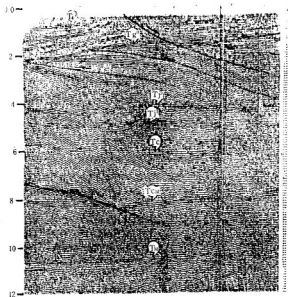


图2 全地壳地震反射时间剖面



图3 地壳地震测深与全地壳地震反射时间剖面对比图

界面: ⑤ R_3 波(反射波)——为壳内低速层的底面; ⑥ R_M 波(反射波)——为莫霍面反射; ⑦ P_M 波(折射波)——为莫霍面折射, 其速度为 $8.1-8.2 \text{ km/s}$ 。地壳结构和速度特征表明下扬子地区属正常大陆地壳, 但发现下地壳上部有一速度为 $5.9-6.0 \text{ km/s}$ 的低速层, 是一活跃的构造层, 对下扬子盆地的影响很大。

3. 大地电磁测深

HQ-13线上的大地电磁测深是下扬子地区第一次进行。在长 507 km 的剖面中, 共布置45个点(中深观测点30个, 深观测点15个), 频率范围为 $10^{-3}-10^0 \text{ Hz}$, 得到了岩石

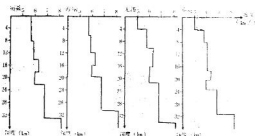
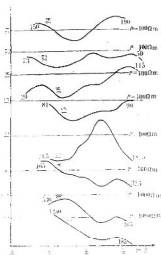


图4 地震地壳测深HQ-13线横向速度结构

图6 HQ-13线MT深点 ($T_{max} > 1000$ 秒) 视电阻率曲线 (ρ_a)

隔的电性结构和分出七个电性层, 取得了丰富的地质基础资料 (见图5)¹⁾。

七个电性层是: ①陆相中、新生界, 低阻层, 一般小于 $50 \Omega m$; ②海相中、古生界, 为 $10^1-10^2 \Omega m$ 的中高阻互层; ③浅变质岩为 $5-10 \Omega m$ 的低阻层; ④深成变质岩系, 为 $1000-1500 \Omega m$ 的高阻层; ⑤壳内高导层, 为 $4-20 \Omega m$; ⑥下地壳—上地幔的岩石圈部分, 为 $50-150$ 和 $10^3-10^4 \Omega m$ 高低阻横向分布不均匀团块结构层; ⑦岩石圈与软流圈之间的过渡层, 电阻率为 $10-40 \Omega m$ 。

4. 重力、航磁、化探、地质等单项成果均获得较丰富的地质资料^{2,3,4)}, 因本文篇幅有限, 这里从略 (见图5, 6)。

二、下扬子地区壳幔层块结构特征

综合上述各方法结果, 得到了HQ-13线综合解释地质剖面图 (图5), 它反映出下扬子地区壳幔纵向分层、横向分块的层块结构特征。

1) 程振森、徐锦文, 1989, 下扬子地区大地电阻率及解释研究及其成果报告 (HQ-13线)。

2) 游天展等, 1988, 下扬子地区区域重力场剖面图及地质解释及 $1:20$ 万 (部分 $1:50$ 万) 重力资料解释报告。

3) 邓权立等, 1985, 下扬子地区化探地球化学及在选区评价中应用的研究。

4) 陈学军, 1985, 扬子地台下扬子盆地HQ-13线地球物理-地质综合解释剖面图。

(一) 纵向分层

1. 可划分“八面”、“七层”，其结构如图7

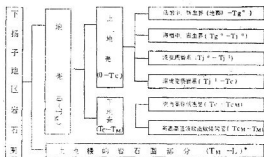


图7 下扬子地区岩石圈纵向结构示意图

* L₁层为花岗岩层(即已达到花岗岩与软流圈之间的过渡层)，其余符号前已有叙述。

2. 各层特征

(1) 陆相中、新生界(地表—T_g⁰)

发育在断陷盆地之中，多数地层产状为水平和微倾斜(侏罗系火山岩盆地局部有较大倾角)。形变以断块为主，有少量挠曲和舒缓褶皱，岩浆活动以喷发为主。

(2) 海相中、古生界，包括一部分上震旦统(T_g⁰—T_g¹，下同)

发育大套碳酸盐岩与大套碎屑岩交替出现的海相地层，受到印支、燕山期以来自东南和西北两个方向的水平挤压，形成复杂褶皱和对冲推覆，是下扬子区形变最复杂的层位，岩浆活动以中酸性侵入为主。

(3) 浅变质岩系(T_g¹—T_g²)

是一套碎屑岩沉积，变质较浅，形成以大型的拗陷、隆起为主，物性是一相对为低电阻、低密度、低速度、低磁性的“四低层”，该层塑性较强，它与上覆的海相中、古生界和下伏的深成变质岩系的接触面都是滑移面。

(4) 深成变质岩系(T_g²—T_g³)

可能是由混杂岩、深变质岩、花岗岩类组成，厚度和组分在横向上变化都很大，所得地震波组少而乱，物性是高阻、高速、高磁、高密度的“四高层”，与浅变质岩系一起构成下扬子盆地的两套基底。

(5) 壳内高导低速层(T_g³—T_{cu})

是下地壳上部的一层，从大地电磁测深中反映为一高导层，在地震上反映为一低速层，这层横向上很不均一，苏北块段发育最好，苏锡块段次之，两端的华北地台和昆庐块段发育较差，是晚近构造运动的活跃层。

(6) 高速高阻波状流纹结构层(T_{cu}—T_H)

是下地壳的下部,在全地壳地震反射剖面中反映为波状流纹结构,国内是首次发现,表示为高温塑层在水平挤压力作用下形成。物性是高昂、高速、高密度,在控制、影响浅层的演化上,此层颇为重要。

(7) 上地幔的岩石圈部分 (T_M-L)

在大地电磁资料上可见到此层厚度变化很大,内部呈团块不均匀分布,反映出刚性层块被挤压破碎的特点。软流圈物质沿破碎处上升熔蚀,形成壳幔温度场不均匀,在壳内形成侵入体,局部重熔。

(二) 横向分块

1. 各具特点的四大块段

印华北地台、苏北块段、苏锡块段和昆沪块段,各段间依次分别被连黄断裂、沿江断裂和苏州-湖州断裂所分隔,连黄断裂(双沟推覆带)为华北地台与扬子准地台的分界(见图5)。

2. 各块段特征

在壳幔各层上各块段都有明显的差异,其特征见附表。

各块段特点表

层位	华北块段	苏北块段	苏锡块段	昆沪块段
民权造山	造山带,大多为4—400m,断裂,岩层褶皱不发育,基岩埋藏较浅。	南部沿中新生界厚度达7000m,沉积盖层总厚约16500m,断裂发育,无定向,主要断裂向北西倾斜,主要断裂在构造轴向上,下地壳分界面和该处变质岩系顶面,式成以基岩为主,褶皱较浅,局部有并主要表现侵入岩。	海相中,古生界埋藏浅,厚度相变不大,褶皱,对深部发育,褶皱多消失,“S”和“G”型,较少波状,褶皱活动相对较弱。	厚度不稳定,变化较大,古生界埋藏浅,被断层和火成岩穿插解成多个块段,以逆冲为主,新的褶皱,断面前向南北倾斜是本区断裂的三大特点,岩系活动强烈,在覆构造发育。
壳幔界面	深变质(无线变质岩系),厚度大(可达18000m)。	可分为深、浅两带变质岩系,厚度较大一般为11000—13000m,起伏较大,破碎的,主,主要断裂均起于此层。	亦分深、浅两带变质岩系,由西向东,厚度厚从7000m减为4000m,而深成变质岩系则与上相反,为西薄东厚,但两者总厚则相对稳定在10000m左右,起伏不大,仅少量断裂波及到此层。	深、浅两带变质岩系均由西向东下倾,厚度增大,由于逆冲断裂的作用使结构复杂化,东部块变质岩系埋藏较浅,岩系活动相对强烈。
壳内温度	与奥陶系接近,埋深在31—35km上下。	明显上升,与下地壳上部低温区差别较大,埋深约在25km上下。	与奥陶系埋藏相近,一般在32km上下,但在岩石圈上涌处,温度面温度面明显抬升约20km。	上升,又一次接近下地壳上部低温区的底部,埋深在25km上下。
壳内速度	平缓下沉,埋深在31—35km左右。	抬升,上升,埋深在31—35km左右。	弯曲,下沉,变化较大,埋深在31—35km上下。	一直向下游,深度由32km降为35km左右。
地壳	上地壳平均在17.5km左右,下地壳平均在15.5km左右。	上地壳平均在16km左右,下地壳平均在16.5km左右。	上地壳平均在15.5km左右,下地壳平均在16.5km左右。	上地壳平均在16.7km左右,下地壳平均在15.5km左右。
岩石圈	结构稳定,软流圈物质局部上升,使壳厚迅速由180km变为75km。	平均厚度80km;色性暗,不均匀团块状构造清晰,破碎层,破碎层。	由于地幔内物质上升,岩石圈层较浅,约为45—75km,并分为结构不同的东西两块。	厚度变化较大,中部明显上拱,显示其不稳定性,埋深在55—155km左右。

HQ-13线所反应下扬子区的壳幔层块特征,是既有挤压的形变,又有拉张后的形变;既有水平作用力的形迹,又有垂直作用力的形迹。该区地壳曾经是稳定的大陆地壳,以后发展为活动的地壳,这些特点和变化对上覆沉积盖层的影响、控制很大,

三、新获主要地质成果

HQ-13线在下扬子地区第一次提供了深达岩石圈底部的地质断面图，除了从整体上反映壳幔块体结构的特征之外，还获得了下述十二项主要地质成果（见图5）。

1. 海相中、古生界顶、底面和内幕资料

发现下扬子地区尚保存有3—8 km厚的海相中、古生界（包括上震旦统），同时对其构造特征有了进一步的了解。

2. 发现深成变质岩系

在浅变质岩系之下，存在一个高阻、高速、高磁、高密度的“四高”物性层，从全地壳地震反射剖面 and 航磁精细解释结果，都得到证实。表明下扬子地区的基底系由深、浅两套变质岩系组成，这对研究扬子准地台的地质演化有重要的意义。

3. 下地壳有柔性变形

下地壳存在波状流纹结构，保留了压性变形痕迹，对分析动力学演化和研究对上地壳的影响，提供了宝贵资料。

4. 地壳中部界面是一很好的反射界面（ T_c 及 R_3^0 波）——上下地壳的分界面

该面以下（即下地壳的上部）存在一高导、低速层（ T_c — T_{cm} ），是一个很活跃的地质层位。

5. 证实莫霍面是一个莫霍层

这是一个过渡层。它的起伏、断折与陆相中、新生界的厚度变化有一定的倒影关系，反映了控制新构造运动的痕迹，也反映了对海相中、古生界改造的程度（图8）。

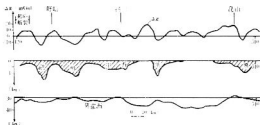


图8 莫霍面与陆相中、新生界厚度倒影关系

6. 上地幔的岩石圈部分呈刚性破碎不均匀块体结构

这是一个冷热不均匀层，反映了受挤压的结果，导致软流圈物质上涌、熔蚀、侵入，使岩石圈厚度发生很大变化，这是下扬子地区由稳定转向活动的深部因素。

7. 发现双沟推覆带

其前缘在地表即为连黄新裂，是华北地台与扬子准地台在下扬子区的分界线。郯庐

断裂不是两地台的分界线,它切开了双沟褶皱带,发生的时间晚于后者,可能为燕山晚期(见图1,9)。对双沟褶皱带有不同的看法,本文是以本剖面的大地电磁资料为依据,尚待地震资料进一步验证。

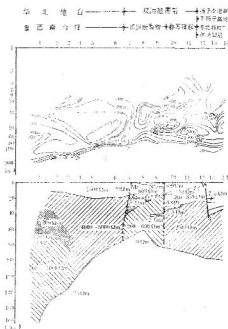


图9 双沟褶皱带的大地电磁特征

6. 自晚元古代以来在动力学上共有三大阶段的演进

第一阶段:是相对稳定的时期。表现有:

- (1) 沉积有海相中、古生界,厚度大,比较连续,属地台型沉积;
- (2) 构造运动以升降为主,有沉积间断,但很少出现不整合;
- (3) 没有大规模的岩浆活动;
- (4) 岩石圈厚度较大,约为100—150 km或更大,属稳定的大陆地壳。

第二阶段:印支、燕山运动的早、中期,为以水平运动为主、以挤压应力场为特点的时期。表现有:

- (1) 扬子准地台与华北地台碰撞, 形成双沟推覆带;
- (2) 从松江冲断推覆(马金断裂、苏州-湖州断裂), 可以看到华夏、南华等块体对扬子地块的挤压(见图5);
- (3) 沉积盖层褶皱, 海相中、古生界复向斜、复背斜的形成, 继而发生冲断推覆, 形成多重推覆体和对冲体;
- (4) 下地壳升温 and 受挤压, 产生柔性变形, 形成波状流纹结构;
- (5) 上地壳的岩石圈部分, 被挤压而破碎, 形成不均匀团块结构, 软流圈物质沿破裂处上涌, 对岩石圈熔蚀、侵入。

第三阶段: 燕山晚期至喜山期, 为以张裂为主的拉张时期, 表现有:

- (1) 郯庐断裂发生, 切开了双沟推覆带;
- (2) 沿江断裂和其它一些张裂性断裂的产生;
- (3) 苏北、苏南地壳的分异, 苏北原比苏南稳定, 转化为比苏南活动, 形成大型苏北-南黄海新生代断陷盆地;
- (4) 岩石圈继续熔蚀, 造成厚度差异很大;
- (5) 以郯庐、沿江两深大断裂处岩石圈厚度最薄, 地温较高, 而分隔的块体地温较低, 形成不均匀的地温场;
- (6) 壳内高导、低速层的形成(也可能在第二阶段里已经形成);
- (7) 沿张断裂有岩浆的喷发, 特别是大量玄武岩系的喷发。

9. 进一步证明了地隆交替互相转化的规律

在地壳各层厚度图(图10)上可以看到, 在上地壳中, 上构造层的地陷是在下构造层的隆起上, 上构造层的隆起是在下构造层的地陷上发展起来的。这种地陷转为隆起, 隆起转为地陷, 地隆交替互相转化的规律, 是硅铝层(上地壳)层状特征的表现, 是硅铝层在时间发展上的运动规律之一。

这使我们有可能利用地隆中、新生界的地隆位置、厚度等来预测海相中、古生界地隆位置 and 变化, 对找油有重要指导意义。

10. 发现六重滑移(折离)面

六重滑移(折离)面, 是HQ-13线上解释出的各层受水平力后发生相对运动和变形

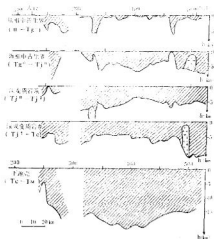


图10 纵向各构造层地隆交替互相转化

的界面,即:

(1) 岩石圈底界面(L面)。是大圈层之间的滑移面,使扬子岩石圈块体由南半球漂移到北半球,并与华北岩石圈块体相碰撞。

(2) 莫霍面(M面)。下地壳柔性变形,与上地幔的岩石圈部分的刚性破裂,在受挤压后,压缩量不同,因而在M面间发生滑移,但其痕迹已被后期均衡调节所掩盖。

(3) 地壳中部界面(C面)。此面之上为“四高”的深变岩系,之下为高导低速层,二层受力后的压缩量差异较大,在C面上产生滑移,剖面上一些断裂在这个面上滑移和消失。

(4) 浅变质岩系底面或深成变质岩系顶面(J面)。与深成变质岩系相反,浅变质岩系是“四低”物性层,二者受力后压缩量不相同,因而沿该面产生滑移,剖面中不少断裂在此面上消失和滑移。

(5) 浅变质岩系顶面或海相中、古生界底面(G面)。浅变质岩系与上覆海相中、古生界在物性上差异很大,形变各异,许多在海相中、古生界中发生的断裂在G面上滑移和消失,此面上覆构造复杂,而下伏构造相对简单,G面是本区最为重要的构造面之一。

(6) 志留系中的大套页岩层(S面)。该层可塑性很大,其上下均有大套碳酸盐岩地层,是一个区域性的滑移面。

11. 三个均衡调节层

是指垂直作用力(主要是重力)进行均衡调节的层。从HQ-13线的解释中至少可以分出三个均衡调节层。

(1) 地壳中部界面附近的高导低速层(C层)。上地壳的总厚度相差不大,但其中各层厚度相差较大,呈地壳交替互相转化的规律,C层起了均衡调节作用(见图10)。

(2) 莫霍层(M层)。它实际是一个几千米厚的过渡层,控制了新构造运动的升降,起到了均衡调节作用,使这里的陆相中、新生界的厚度与莫霍面呈倒影关系,同时也反映出海相中、古生界的改造程度(见图8)。

(3) 岩石圈底部的软流层(L层)。是很重要的均衡调节层,它控制着大区域的升降,和地壳的相对稳定与活动的程度。

在软流圈以上存在多层次的均衡调节作用,是我们研究HQ-13线后得出的重要认识。

12. 地热场在纵横向都不均一

下扬子地区的地热场,不论在纵向上或横向上都是不均一的,这对油气的演化有极重要的影响,这种不均一的地热场是由下列因素形成的。

(1) 火成岩分布的不均一。南部为连片式分布,中部多孤立的侵入岩体,而北部侵入岩体很少。

(2) 后期张性断裂多有岩浆贯入,在断裂带附近形成高温异常带。

(3) 下地壳的上部有一高导低速层,可能是一高温层,但其存在和分布是不均一的,苏北较连续出现,苏南断续存在,而测线的两端似不存在。

(4) 壳内层里温度面埋深线也有较大的起伏,埋藏较深的约在莫霍面附近,埋深较浅的只有二十几公里。

(5) 上地幔的岩石圈部分呈高低阻不均匀团块结构，实质是反映了冷热不均匀的团块，这对地壳的温度有重要影响。

(6) 岩石圈与软流圈之间的过渡带起伏很大，反映了软流圈（极重要的热源层）与地壳和地表的距离各地差别很大，软流圈物质沿若岩石圈的破裂处上升、熔蚀和侵入，形成壳幔地热场的不均一。

四、HQ-13线在地学理论上的意义

1. 它取得的深部资料，进一步说明了地球是层、块结构，纵向上可以分层，横向上可以分块。每一大的层块，在宏观上是近似均质的，微观上是非均质的、各向异性的。我们研究地球应从上述事实出发。

2. 该线资料表明，各层块有其自身的运动规律和形变特点，但又有相互作用和影响。前述七层四块，都各有各的特点，受力后的形变也很不一样。但相互又有一定的制约和影响，如深部控制着浅部，浅部又反过来影响深部。

3. 从一个剖面上也可以看到地隆波动运动的痕迹。各层在空间上有地隆相间互相伴生的规律，在时间上有地隆交替互相转化的规律，这是符合地壳具有层块结构的特性的，进一步证明了地隆波动运动的存在。

4. 看到构造运动力源的多样性和复杂性。多重滑移面和多重均衡调节层的存在，说明既有水平力又有垂直力，既有外部作用力又有内部作用力。地球的层块结构，是地球受内力和外力长期作用、发展演化的结果。其中内力是主导因素，外力是诱发因素。内力中又以热力和重力为主。热力可以突变和渐变的交替形式出现，是不均一的，有条件的。重力则无时无刻不有，是连续的。

结 束 语

HQ-13线是成功的，取得了丰硕的地质成果，包括海相中、古生界的顶、底、内幕等资料；阐明深部控制浅部的诸多因素的信息；研究地学理论的基础资料。把找矿与研究深部地质结合起来的办法，就是运用新的观念和新的理论，采用新的方法技术，取得一批新的基础资料，形成新的找矿思路的做法，它的特点是：

1. 认为深部地质调查是取得新的基础地质资料的十分重要的途径，是建立新的地学理论的基础。

2. 把深部地质调查作为找矿工作中必须进行的一部分工作，在找矿中统一部署，把深部地质调查融于找矿工作中。

3. 在方法选择上，采用与找矿方法紧密结合的办法，有的加以改进和创新，使之能深浅兼顾，寻找油气与进行深部地质调查相结合，形成一个统一的方法流程。

4. 把取得的深部地质资料直接用于找矿上。

HQ-13线取得的地质信息十分丰富，其中许多信息还有待今后不断研究和认识。

参 考 文 献

- [1] 黄汲清, 1969, 中国大地构造纲要, 科学出版社。
 [2] 陆钟生, 1984, 西安地质学院学报, 第1期。
 [3] 陆钟生, 1980, 石油地质, 第2期。

COMPREHENSIVE GEOPHYSICAL SURVEY OF HQ-13 LINE IN THE LOWER YANGZI REACHES AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

Written by Chen Husheng

(Hudong Bureau of Petroleum Geology,
 Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

HQ-13 Line is the first comprehensive geophysical-geological section stretched deeply to the bottom of the lithosphere in the Lower Yangzi Reaches. The section, over 500km long, starts from Lingbi of Anhui Province in the northwest to Fengxian of Shanghai in the southeast. Gravity survey, aeromagnetic survey, crustal seismic sounding, crustal seismic reflection, geo-electromagnetic sounding, absorbed hydrocarbon, soil mercury measurement and ground geological survey have been carried out on the section. They have revealed the structural features of the crust and mantle of this area which have "eight sides", "seven layers" in vertical and "four blocks" in horizontal. Twelve major geological achievements have been obtained. Some of the achievements belong to basic geological theory, e. g., multiple glides, multi-layer balanced adjustment, the evolution sequence of depression-uplift exchange in structural layers in vertical, confirming the Moho to be transition layer of several thousand meters thick, the multicontrol of deep-seated geological factors over structural evolution of basins, etc..... Some are great regional geological questions, including the confirmation of both deeper and shallower metamorphic crystal basements, the discovery of the Shuanggou nappe belt as the boundary between the North China Platform and the Yangzi Paraplatform. Some are related directly to hydrocarbon exploration, such as the thickness, buried depth and internal structural features of Paleozoic and Mesozoic marine sediments, the heterogeneity of geothermal fields in vertical and horizontal directions etc.,