

重力与固体潮

第十章 重力异常解释

陈涛

地球物理学院
中国石油大学（北京）



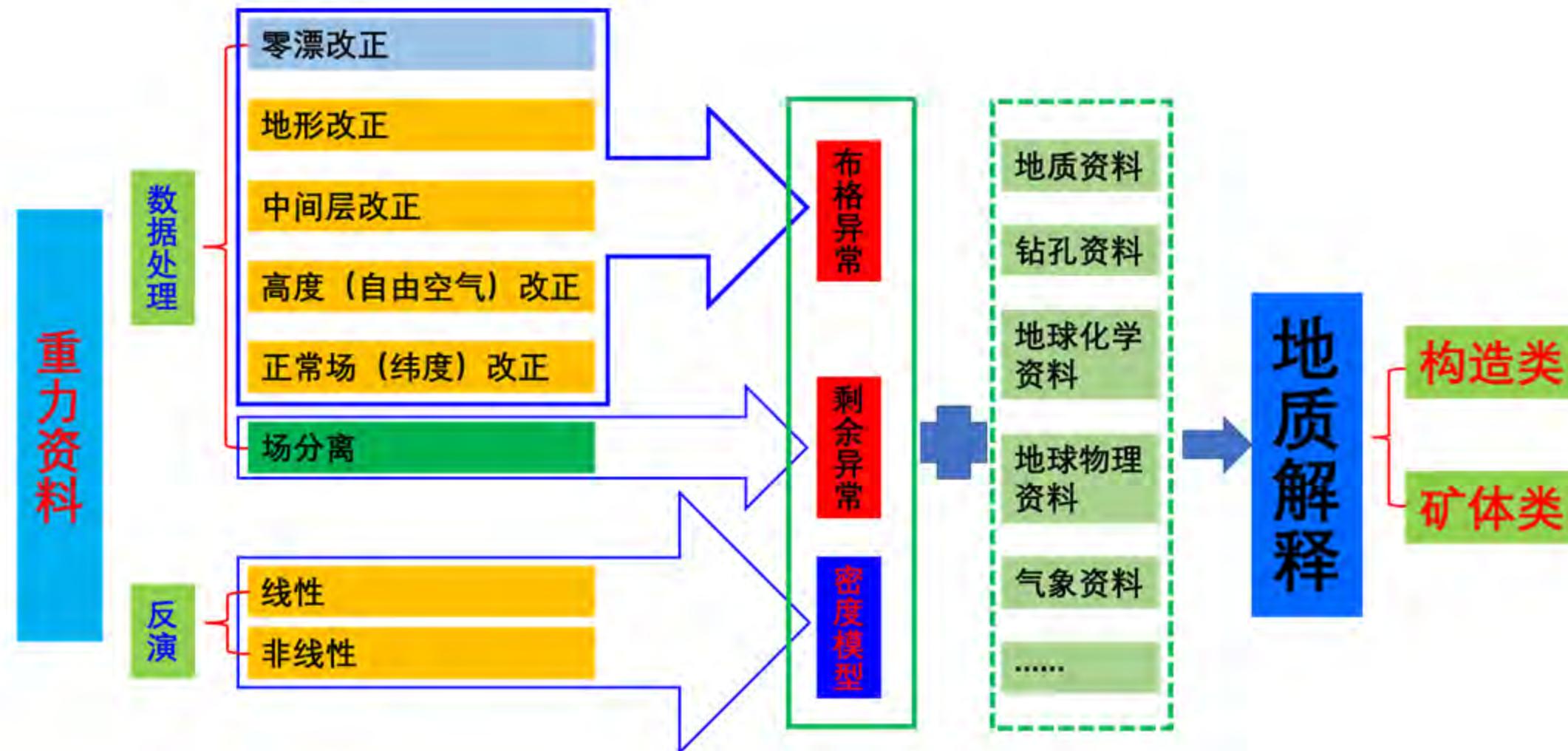
课前测试

- 简述选择法

- 反演结果可以表征地下结构吗



课前知识

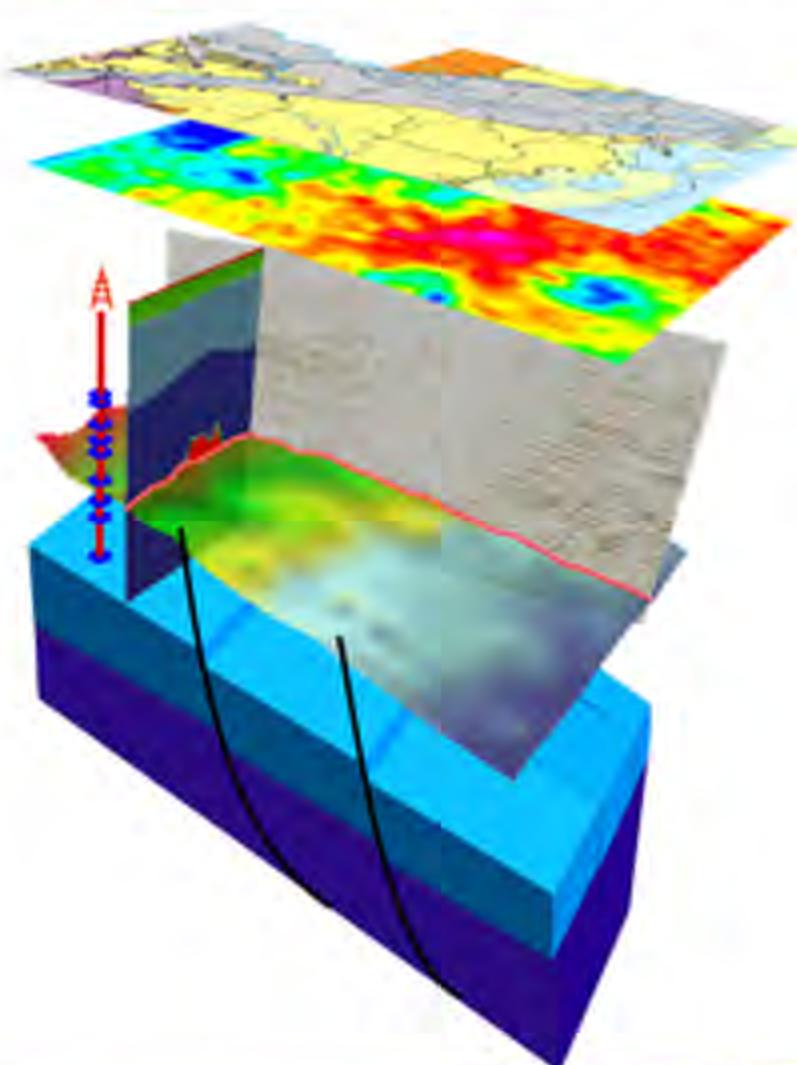
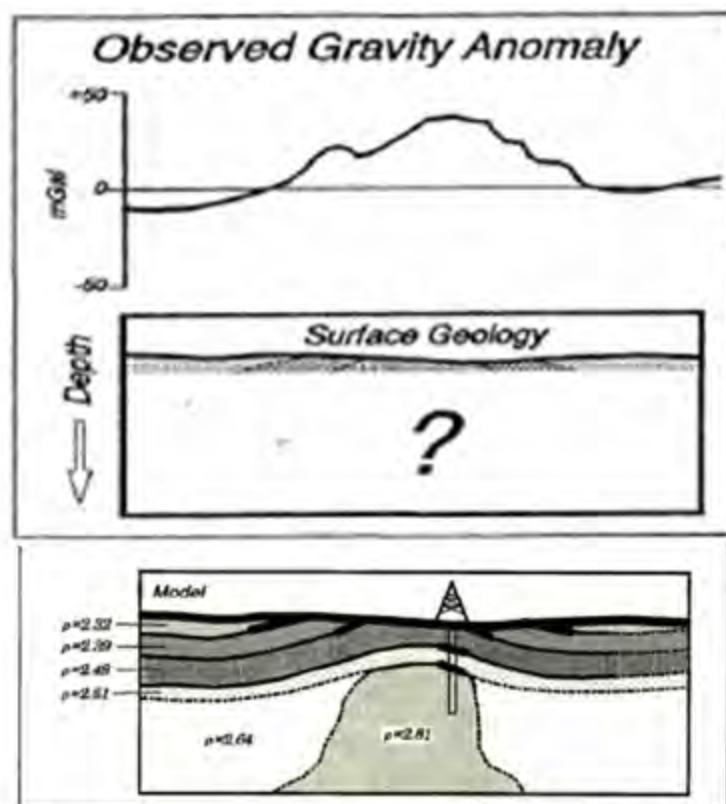


目 录

第一节 什么是地质解释

1.什么是地质解释

地质解释就是利用实测异常或经过适当数据处理的重力异常，结合工区地质资料对引起这些异常的原因作出地质上的结论或推断，这是重力勘探工作成果解释的最终目的。



1.什么是地质解释

■ 数学物理解释与地质解释

- 根据异常的特征和工区的地球物理条件来确定异常质量的形状、大小、埋深和在地面上的投影位置，以及在有条件时通过理论计算来进一步确定异常质量的产状要素、剩余质量等，则称为数学物理解释；
- 结合工区的地质条件和特点，对这些异常质量作出地质上的判断，例如，说明它们是侵入体还是矿体，或者是其它什么，也就是说明引起异常的地质原因或对异常作出地质结论的，则称之为地质解释。

1.什么是地质解释

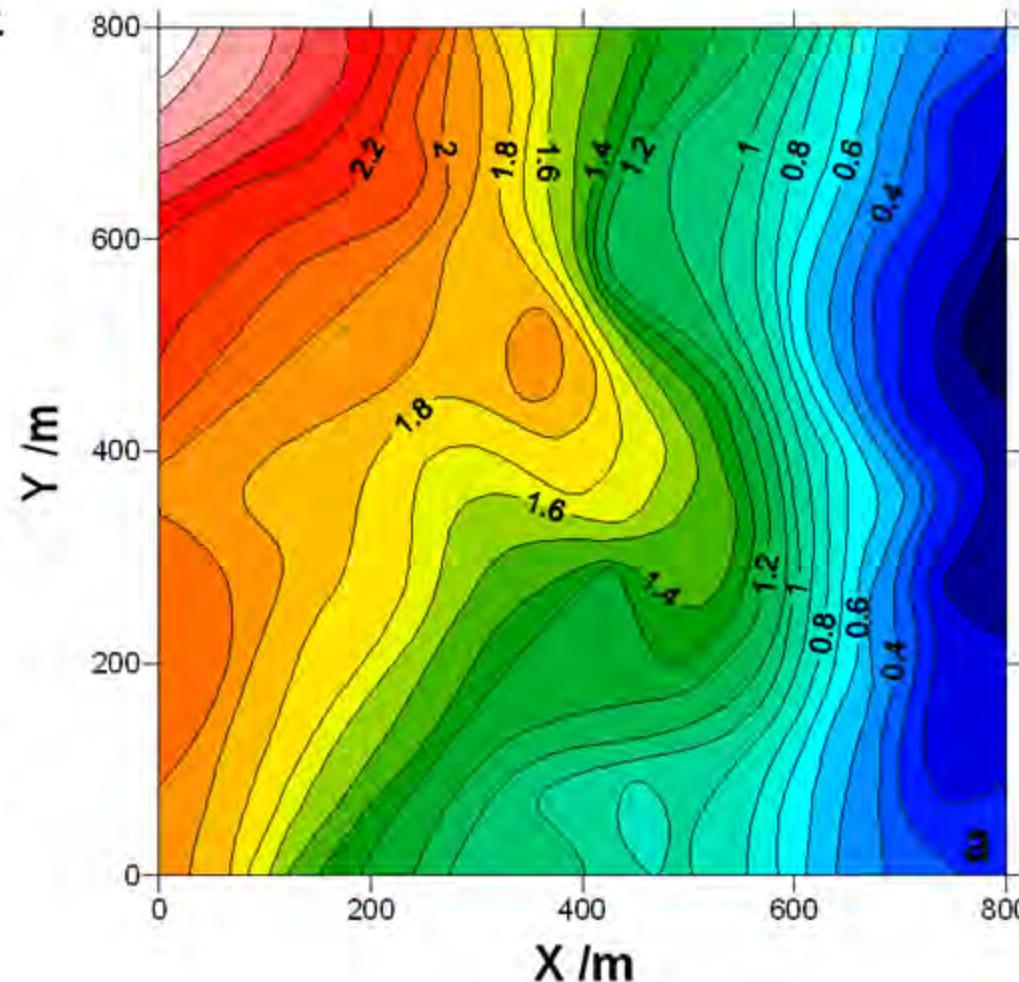
■定性解释与定量解释

- 若地质解释中不涉及数量方面的内容，则称为**定性的地质解释**；如断层的位置、性质、构造单元性质等。
- 若包括数量方面的内容，就叫做**定量的地质解释**；如对异常源的大小、产状、埋藏深度该出具体解答

1.什么是地质解释

■ 进行地质解释时应注意的问题

- 重力资料是否由研究的地质因素引起的？满足精度要求及必须的详细程度吗？
- 重力异常已分离为研究对象引起的异常？
- 解释从“读图”或异常识别开始；
- 从区域到局部；
- 从已知到未知；
- 根据具体地质任务和条件选用相应的方法，选取效果最佳的解释方案；
- 增加已知条件或约束条件，限制反演多解性，综合其他物探方法；
- 有条件时，作验证。



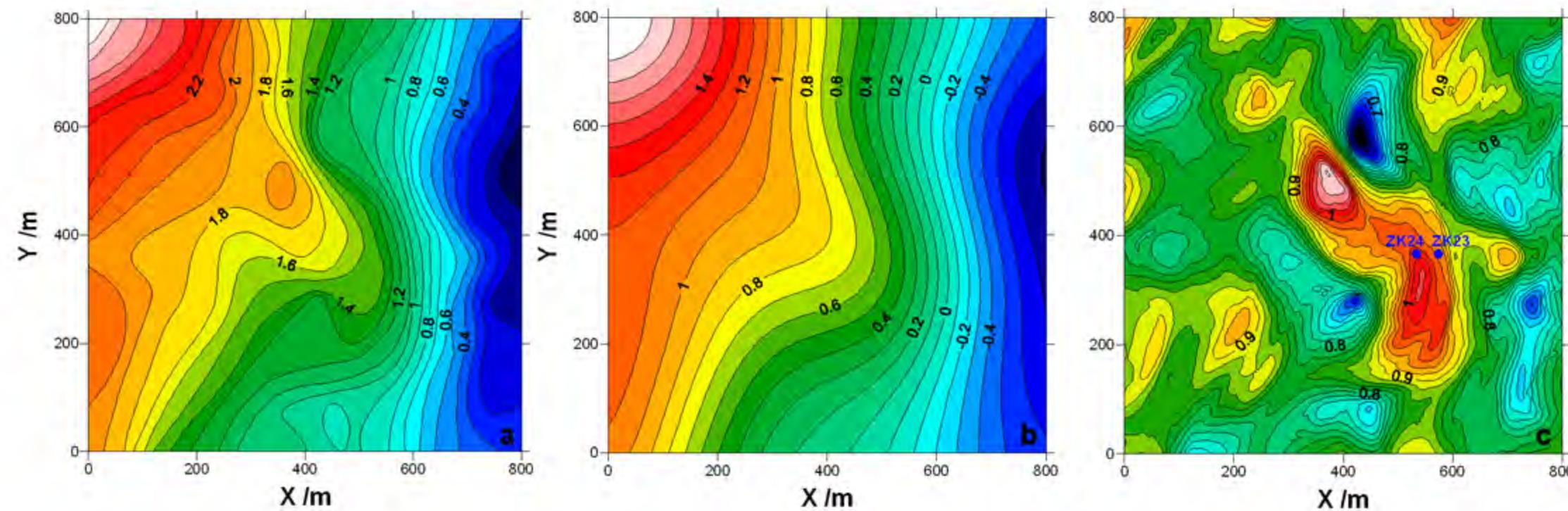
目 录

第一节 什么是地质解释

第二节 重力异常的识别

2.重力异常的识别

- **区域异常：**走向及变化，异常变化幅度，区域性重力梯级带方向、延伸长度、平均水平梯度和最大水平梯度值等。
- **局部异常：**弯曲和圈闭情况，对圈闭状异常应描述其基本形状，如等轴状、长轴状或狭长带状。是重力高还是重力低。重力高、低的分布特点，异常的走向及其变化，幅值大小及其变化等。



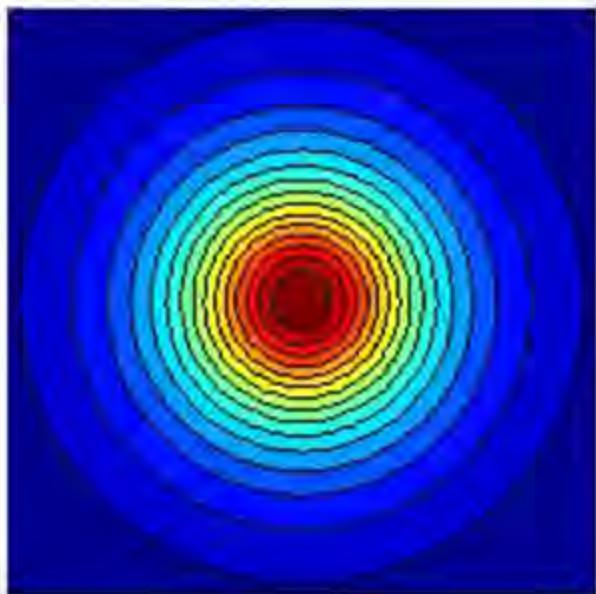
2.重力异常的识别

重力异常形状特征及对应的可能地质因素

- 等轴状重力高
- 等轴状重力低
- 条带状重力高(重力高带)
- 条带状重力低(重力低带)
- 重力梯级带

2.重力异常的识别

■等轴状重力高



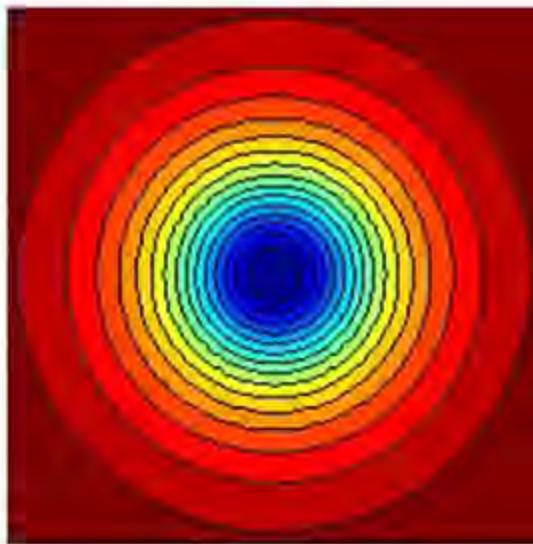
- ▶ **基本特征:** 异常等值线圈闭成圆形或接近圆形，异常值中心部分高，四周低，有极大值点。
- ▶ **对应的规则几何形体:** 剩余密度为正值的均匀球体，铅直圆柱体，水平截面接近正多边形的铅直棱柱体。

可能反映的地质因素：

- ▶ 囊状、巢状、透镜体状的致密金属矿体，如铬铁矿、铁矿，铜矿等；
- ▶ 中基性岩浆(密度较高)的侵入体，形成岩株状，穿插在较低密度的岩体或地层中；
- ▶ 高密度岩层形成的穹窿、短轴背斜等；
- ▶ 松散沉积物下面的基岩(密度较高)局部隆起；
- ▶ 低密度岩层形成的向斜或凹陷内充满了高密度的岩层，如砾石层等。

2.重力异常的识别

■等轴状重力低



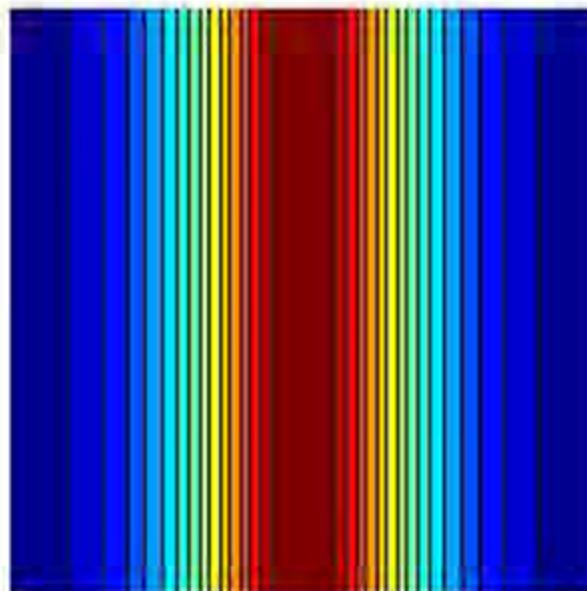
- ▶ **基本特征:** 异常等值线圈闭成圆形或近于圆形，异常值中心低，四周高，有极小值点。
- ▶ **相对应的规则几何形体:** 剩余密度为负的均匀球体，铅直圆柱体，水平截面接近正多边形的铅直棱柱体等。

可能反映的地质因素：

- ▶ 盐丘构造或盐盆地中盐层加厚的地段；
- ▶ 酸性岩浆(密度较低)侵入体，侵入在密度较高的地层中；
- ▶ 高密度岩层形成的短轴向斜；
- ▶ 古老岩系地层中存在巨大的溶洞；
- ▶ 新生界松散沉积物的局部加厚地段。

2.重力异常的识别

■ 条带状重力高(重力高带)

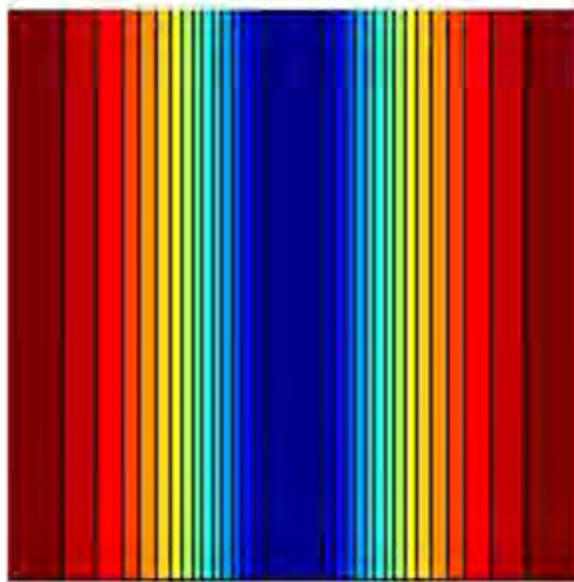


- ▶ **基本特征：** 异常等值线延伸很大或闭合
成条带状，等值线的值中心高，两侧低，
存在极大值线。
- ▶ **相对应的规则几何形体：** 剩余密度为正
的水平圆柱体、棱柱体和脉状体等。

- ▶ **可能反映的地质因素：**
 - ▶ 高密度岩性带或金属矿带；
 - ▶ 中基性侵入岩形成的岩墙或
岩脉穿插在较低密度的岩石
或地层中；
 - ▶ 高密度岩层形成的长轴背斜、
长垣、地下的古潜山带、地
垒等；
 - ▶ 地下的古河道为高密度的砾
石层所充填等。

2.重力异常的识别

■ 条带状重力低(重力低带)



- 基本特征：异常等值线延伸很大，或闭合成条带状，等值线的值中心低，两侧高，存在极小值线。
- 相对应的规则几何形体：剩余密度为负的水平圆柱体，棱柱体和脉状体等。

可能反映的地质因素：

- 低密度的岩性带，或非金属矿带；
- 酸性侵入体形成的岩墙或岩脉穿插在较高密度的岩石或地层中；
- 高密度岩层形成的长轴向斜、地堑等；
- 充填新生界松散沉积物的地下河床。

2.重力异常的识别

讨论题：学生与研究生的区别在哪里？

学生

- 学习已知的知识
- 等待解答的问题都有答案



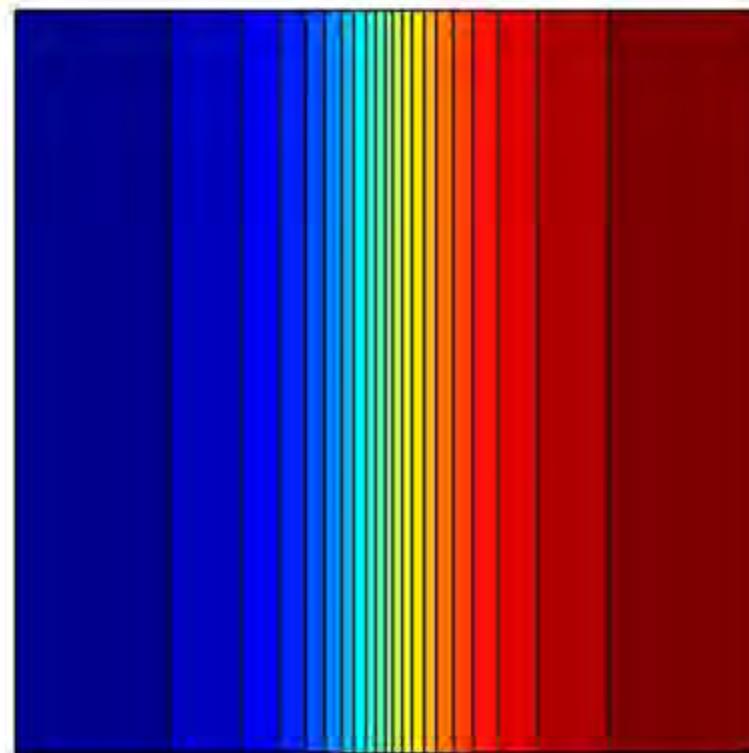
研究生

- 未知问题的探索，没有标准答案
- 怀疑精神特别珍贵



2.重力异常的识别

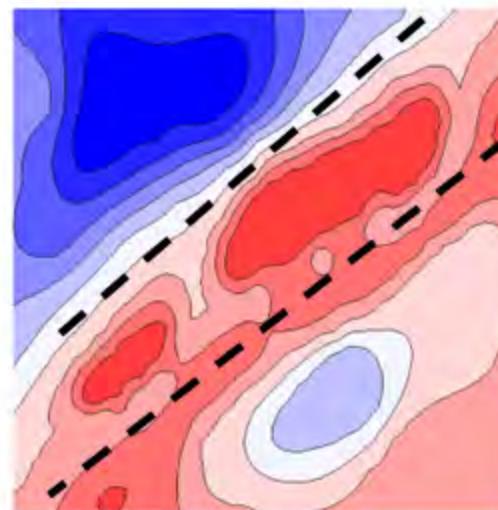
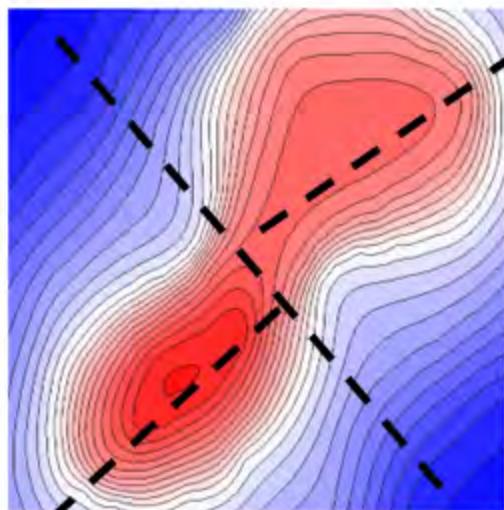
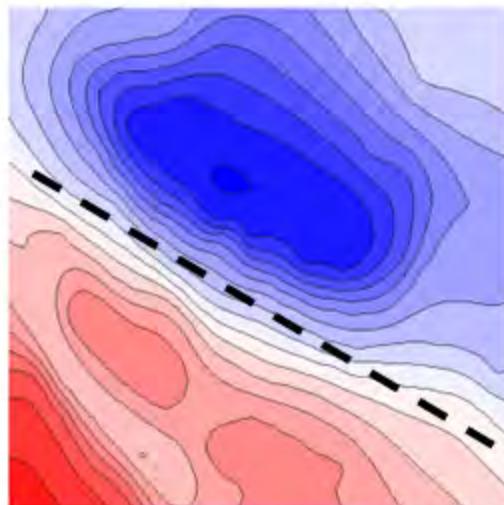
■重力梯级带



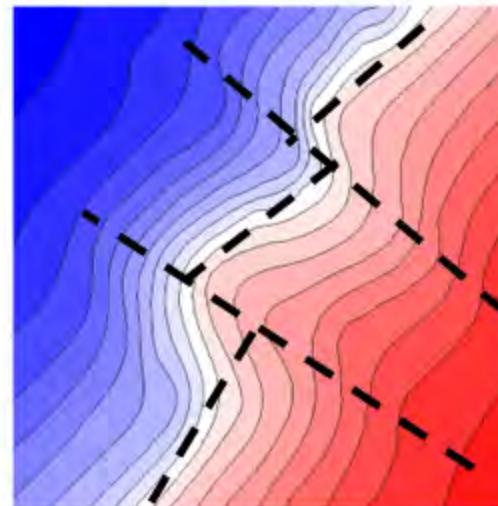
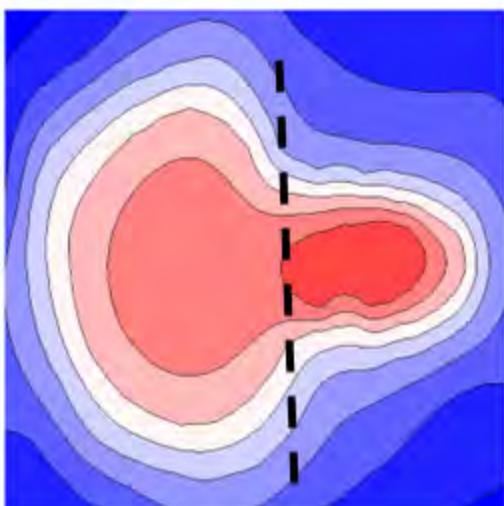
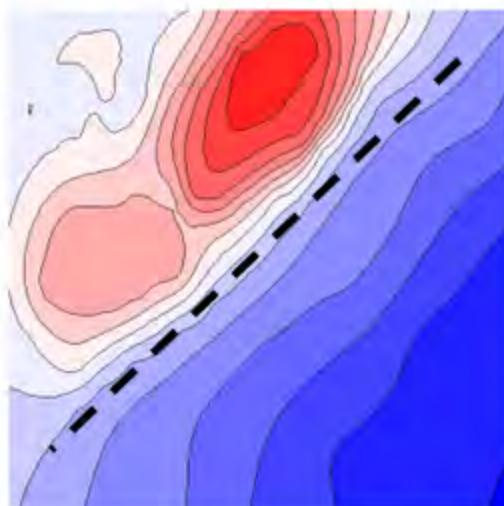
- **基本特征：** 异常等值线分布密集，异常值向某个方向单调上升或下降。
- **相对应的规则几何形体：** 垂直或倾斜台阶。
- **可能反映的地质因素：** 垂直或倾斜断层、断裂带、破碎带；具有不同密度的岩体的陡直接触带；地层的拗曲。

2.重力异常的识别

■ 断裂构造识别的标志



**线性重力高低过渡带；
轴线明显错动部位；
串珠状异常两侧或轴部所在位置；**



**两侧特征明显不同分界线；
封闭异常突然变宽、变窄
部位；
同形扭曲部位。**

目 录

第一节 什么是地质解释

第二节 重力异常的识别

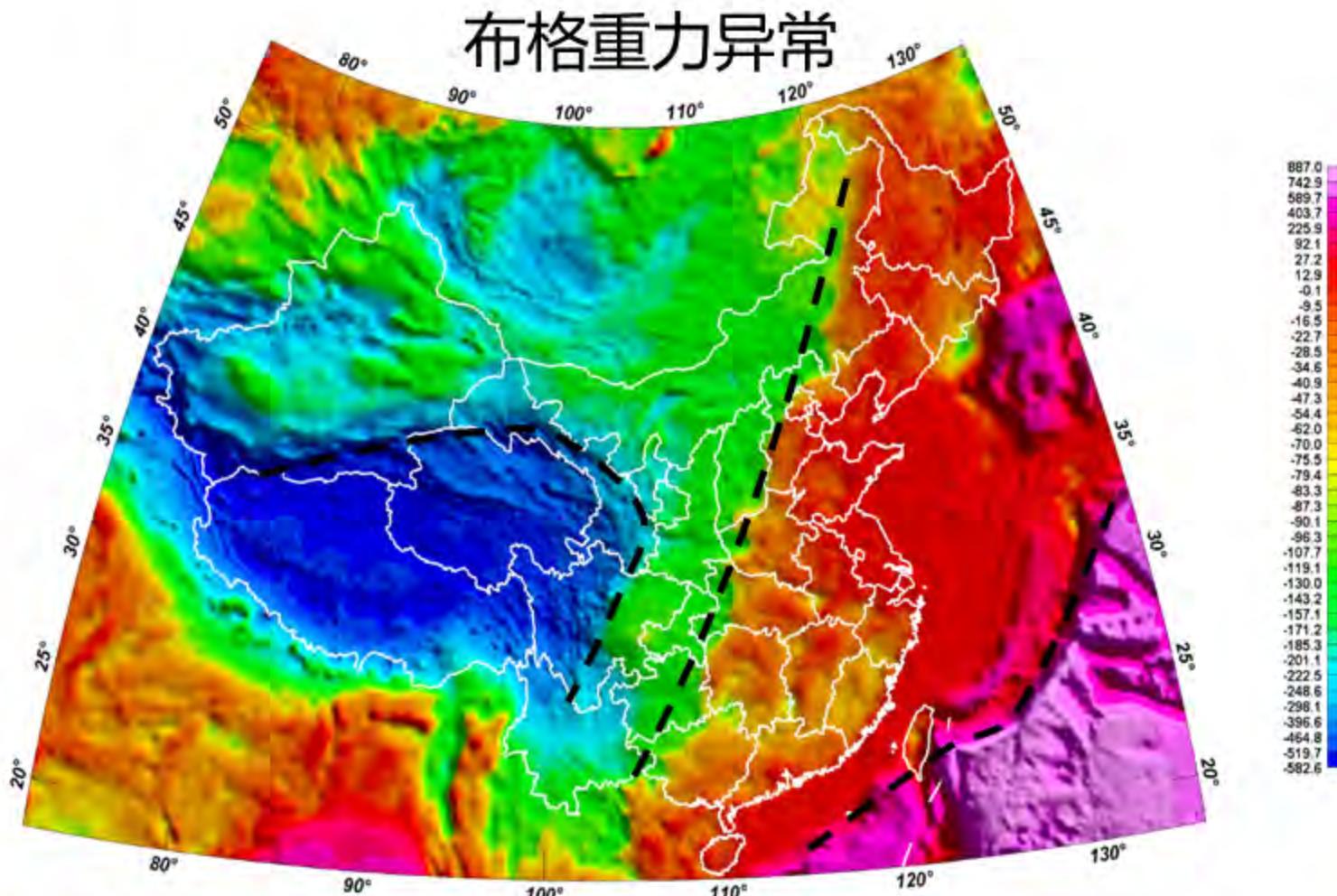
第三节 重力异常的解释应用

3.重力异常的解释应用

- 1) 研究地球深部构造
- 2) 研究大地及区域构造，划分地质单元；研究基底起伏，圈定盆地，以及研究沉积岩层各密度界面起伏
- 3) 探测、圈定岩体或岩层，追索断裂，地质填图等
- 4) 划分成矿远景区
- 5) 寻找石油、天然气或煤
- 6) 金属矿探测
- 7) 水文及工程地质方面
- 8) 天然地震预测研究
- 9) 大地测量

3.重力异常的解释应用

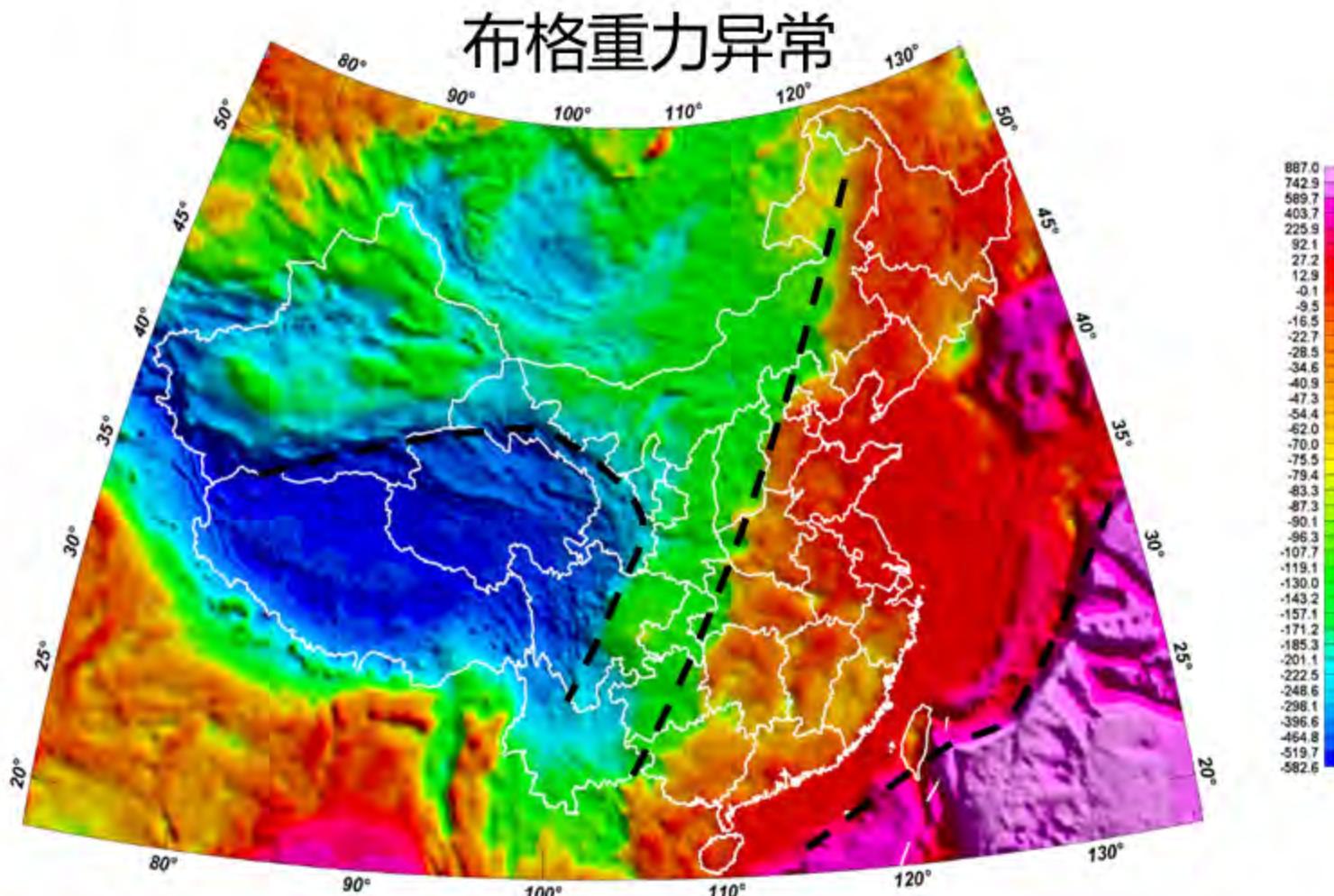
■ 地球深部结构的研究



- 中国大陆及其毗邻海区布格重力异常变化总趋势是由东向西逐渐减小。
- 在南海及琉球群岛布格重力异常值最高，为400 mGal，至海岸线为0 mGal左右。
- 由海岸线向西，重力异常值缓慢递减，并进入负值区。
- 沿大兴安岭-太行山-武陵山一带为-55 mGal，显示为过渡带。
- 再往西，至青藏高原周边地区(西昆仑山-阿尔金山-祁连山-龙门山-大雪山)，重力异常值迅速减小为-300 mGal。青藏高原大部分地区的重力异常值小于-400 mGal。

3.重力异常的解释应用

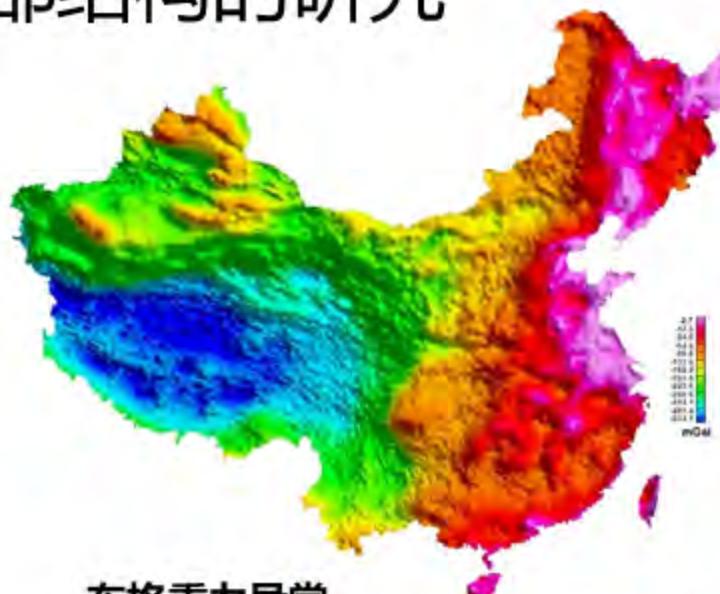
■ 地球深部结构的研究



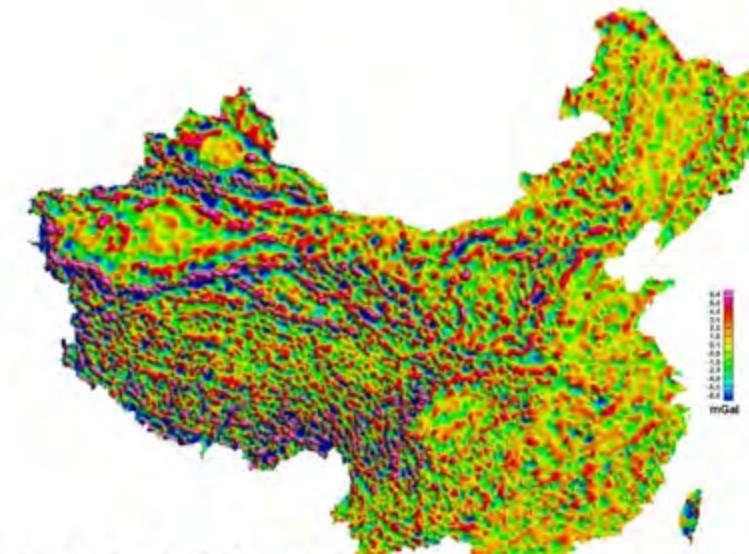
- 主要为NE向和近EW向，其次NW向和SN向
- 大兴安岭-太行山-武陵山重力梯级带
 - 展布方向为NE向。北端沿大兴安岭延伸至西伯利亚，南端经广西西部延伸入越南境内。在国内长达4000km，宽约50km~100 km，被认为是一条重要的地球物理界线。
- 青藏高原周边重力梯级带
 - 围绕青藏高原呈弧形展布。长约4100km，宽约100km~150km。
- 钓鱼岛重力梯级带
 - 位于东南大陆架东侧，由南向北展布为NEE向转为NE向，大体与我国东海岸平行。

3.重力异常的解释应用

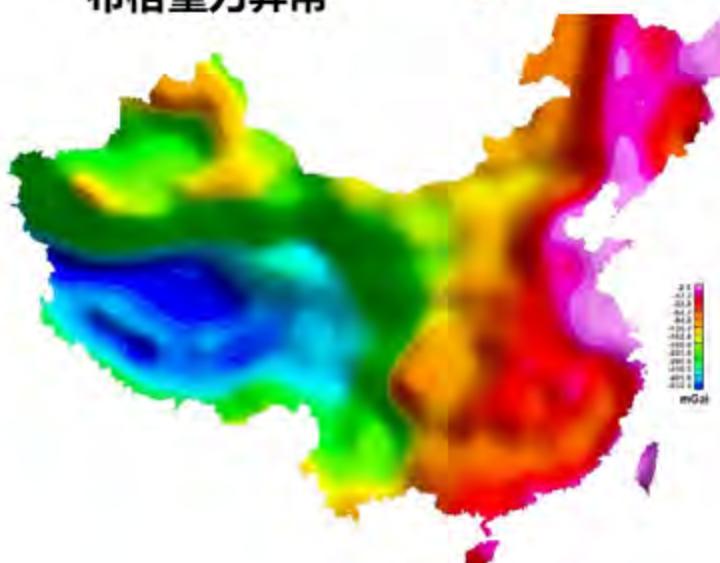
■ 地球深部结构的研究



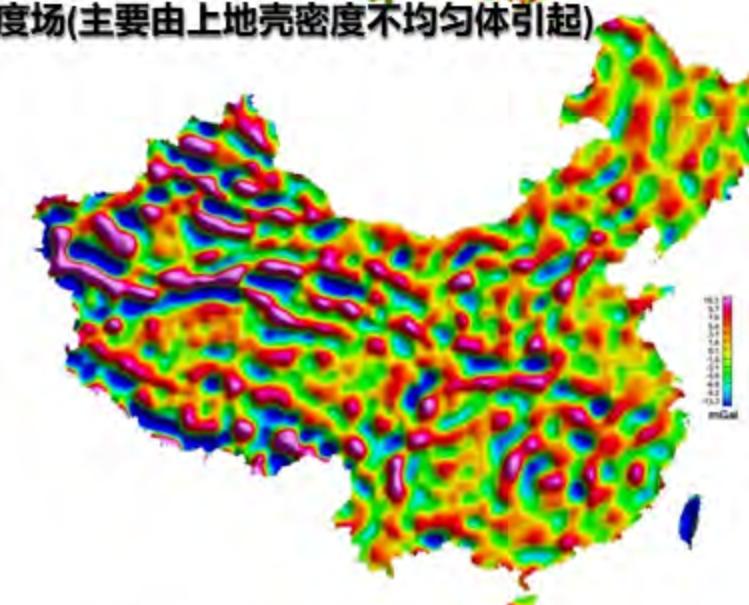
布格重力异常



小尺度场(主要由上地壳密度不均匀体引起)



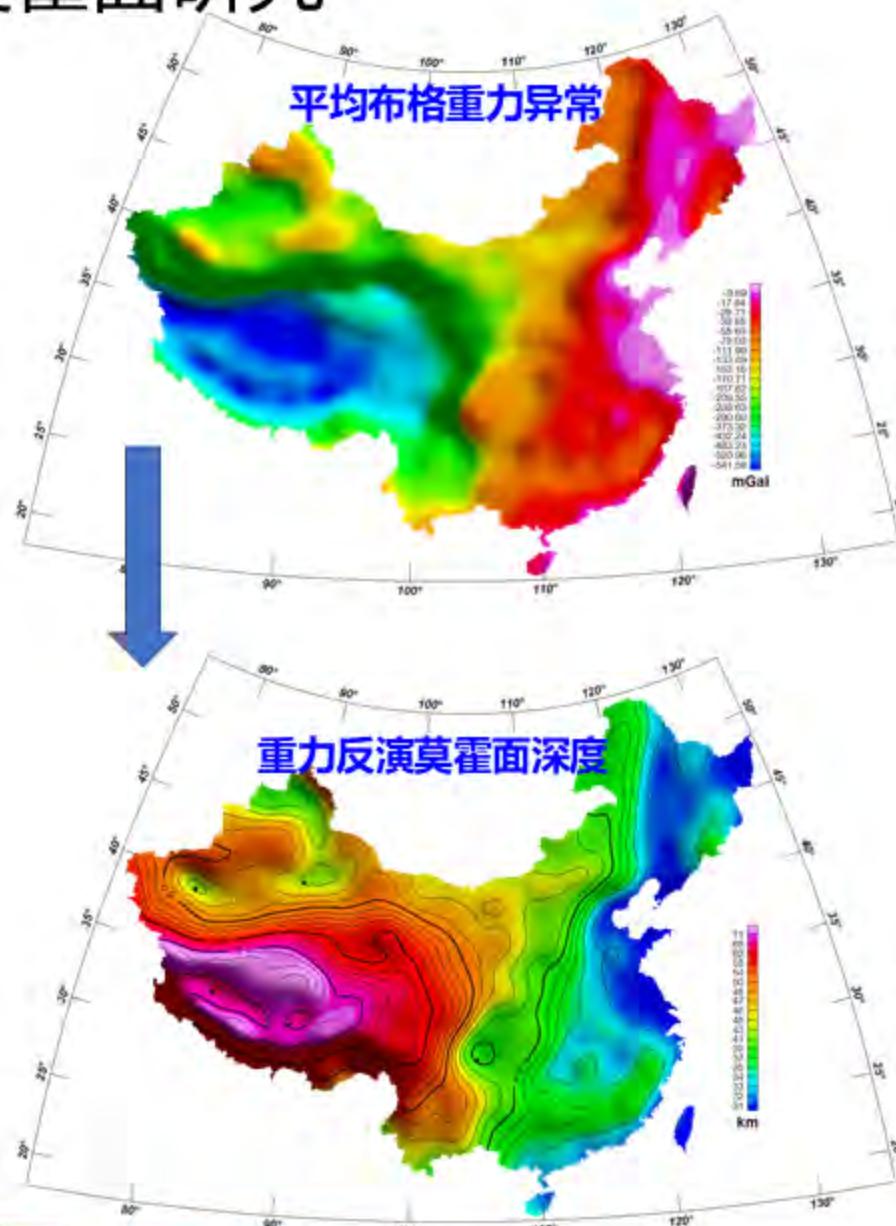
大尺度场(主要由莫霍面起伏引起)



中尺度场(主要由中下地壳密度不均匀体引起)

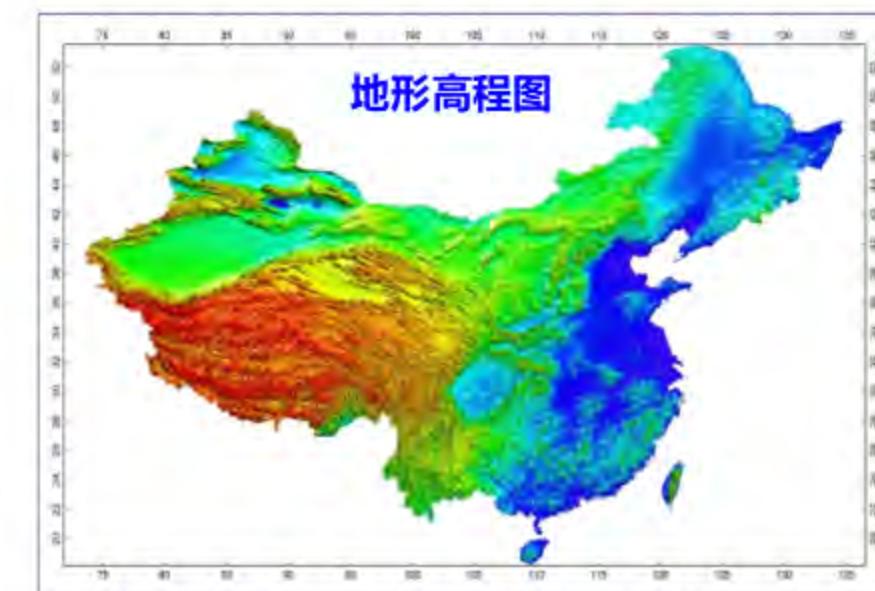
3.重力异常的解释应用

■ 莫霍面研究



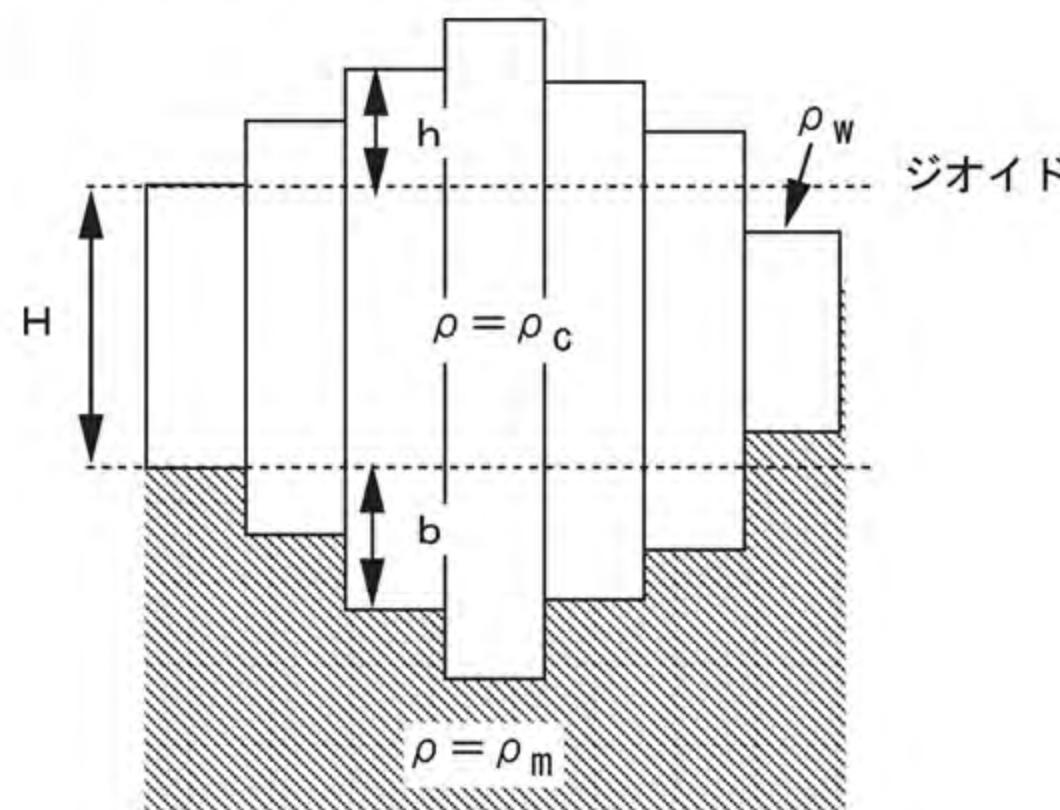
地壳厚度与地形起伏反相关?

- 我国地壳厚度从东向西逐渐加大的趋势，与重力异常逐渐降低的趋势完全对应；
- 在总体上，Moho界面的形态及深度变化与重力异常的形态及数值变化十分吻合。
- 全国重力异常图主要反映了Moho界面的特征，或者说，全国重力异常图表示的区域重力异常，主要由Moho界面所引起。
- 重力异常类似于地壳厚度与地形起伏的反相关关系。

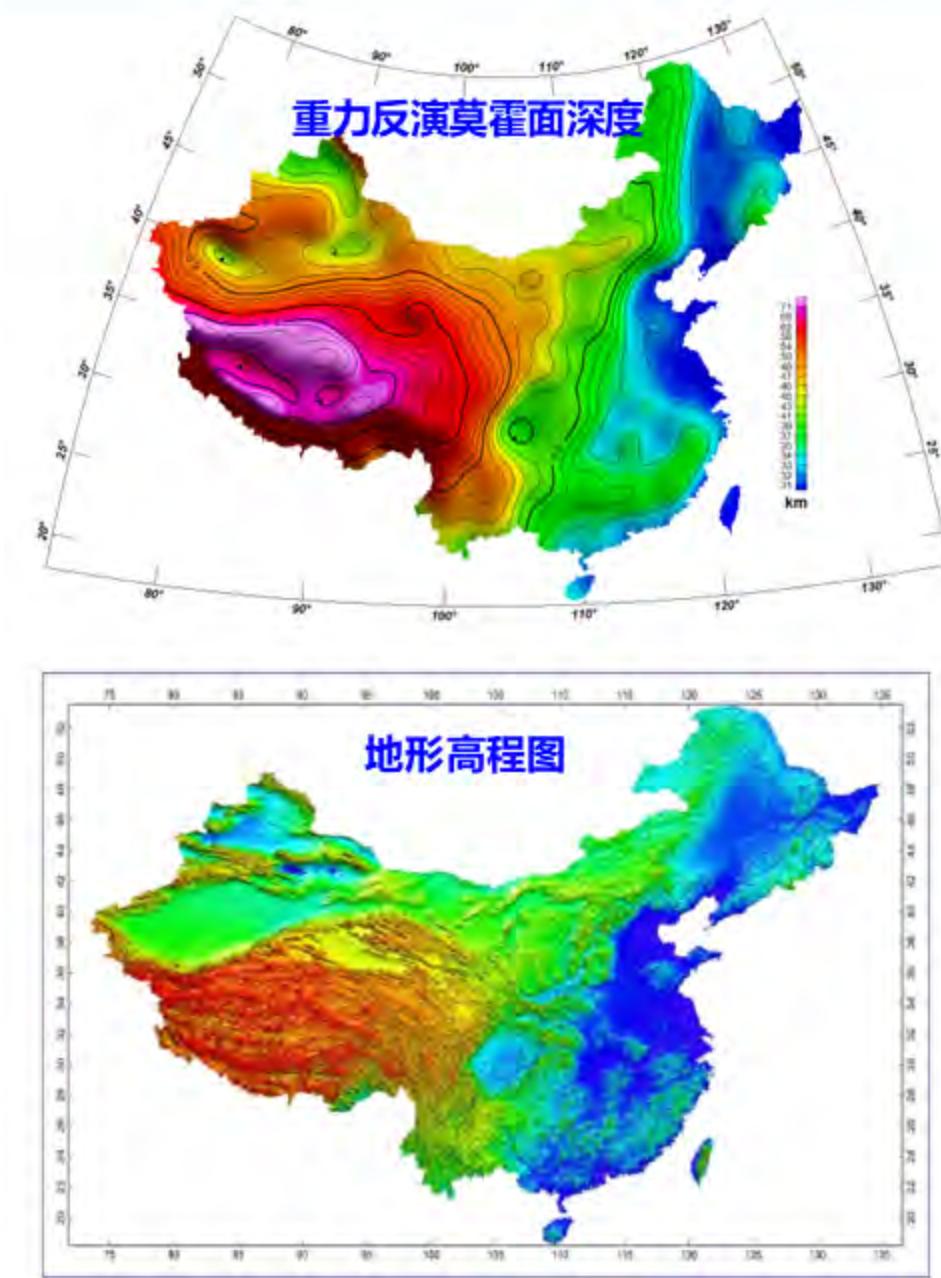


3.重力异常的解释应用

■ 地壳均衡

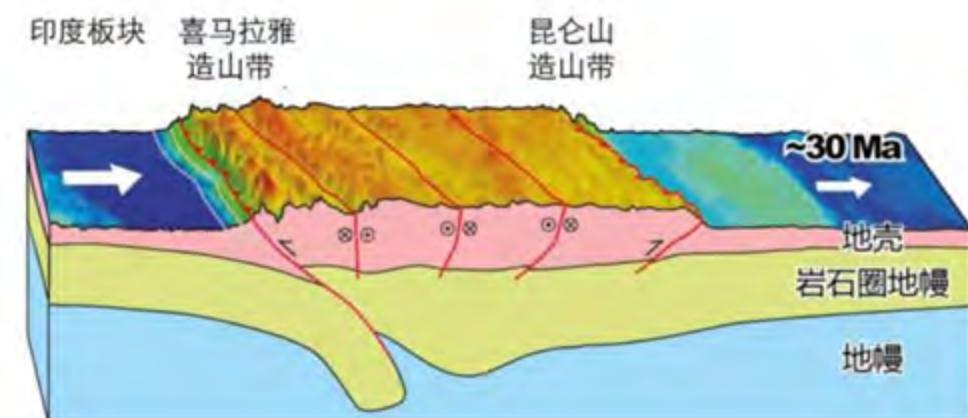
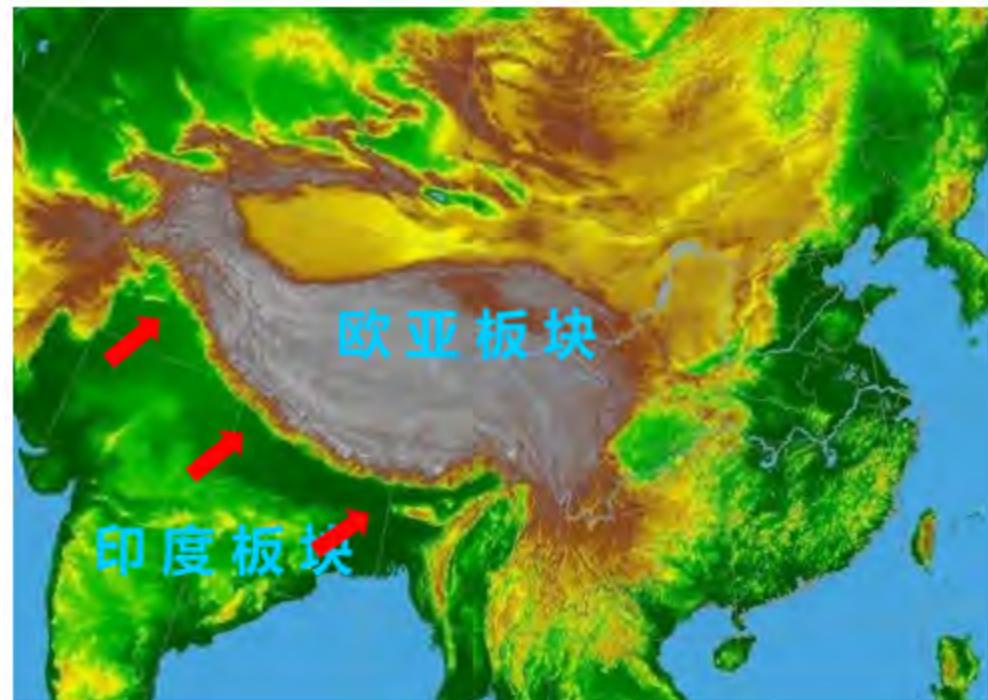
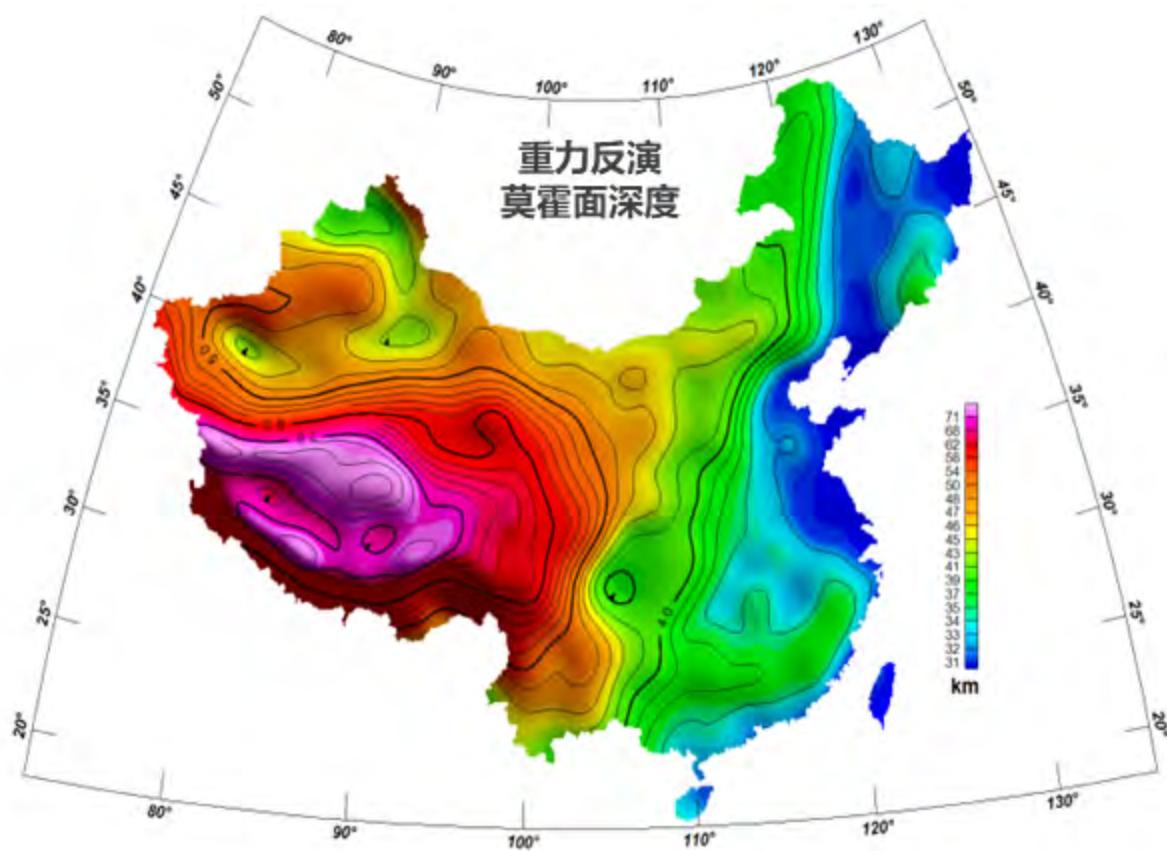


(a)



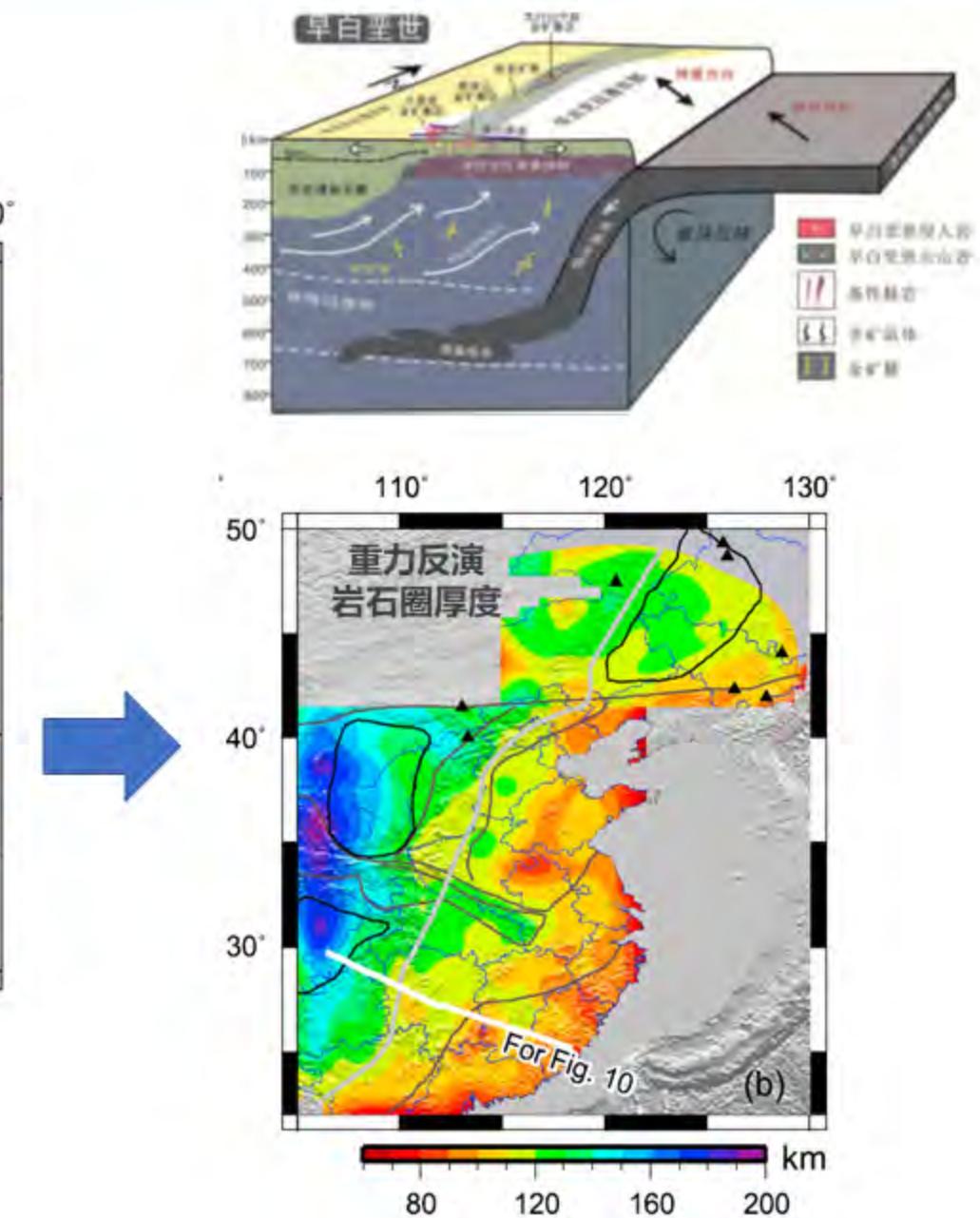
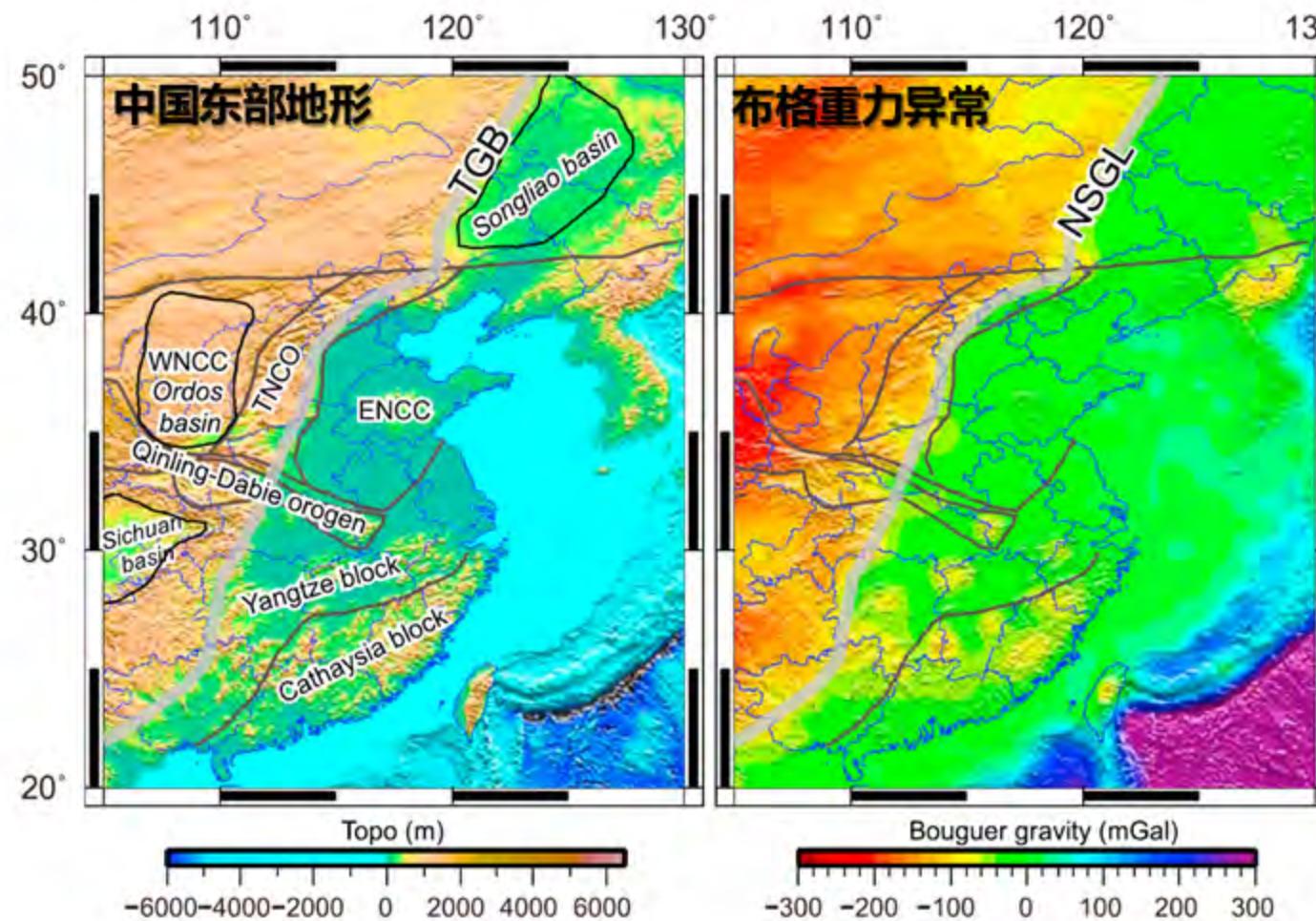
3.重力异常的解释应用

■ 地球动力学



3. 重力异常的解释应用

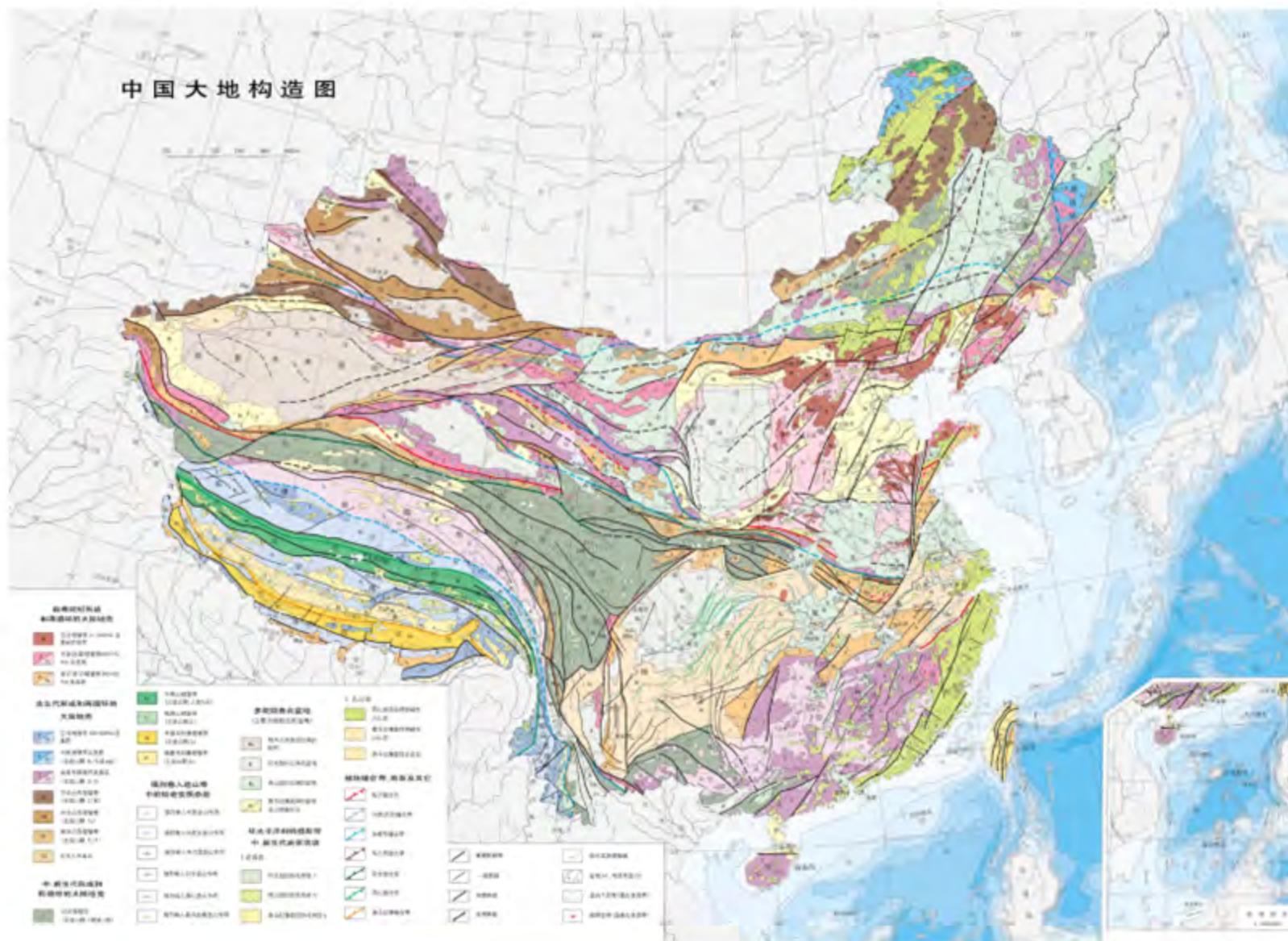
■ 岩石圈结构





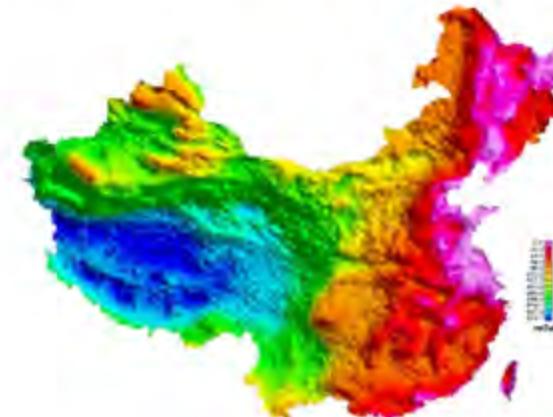
3.重力异常的解释应用

■ 区域地质构造研究

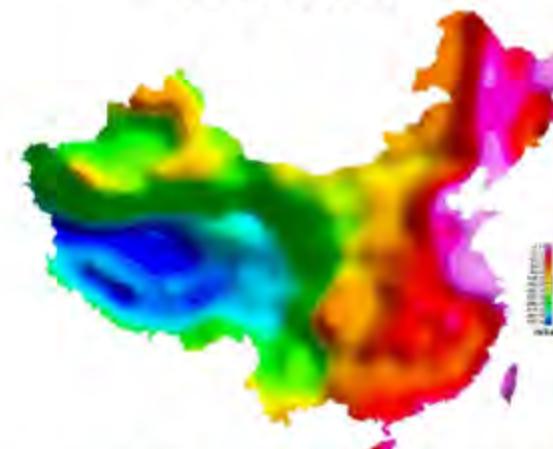


3.重力异常的解释应用

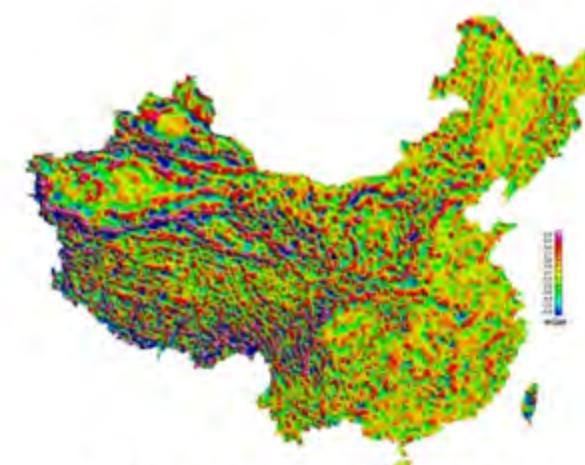
■ 区域地质构造研究



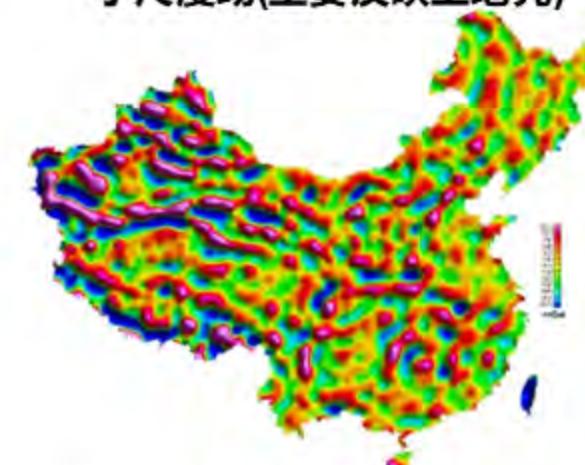
布格重力异常



大尺度场(主要反映莫霍面起伏)



小尺度场(主要反映上地壳)



中尺度场(主要反映中下地壳)

中国大陆布格重力异常分离和线性构造分析



布格重力异常线性构造



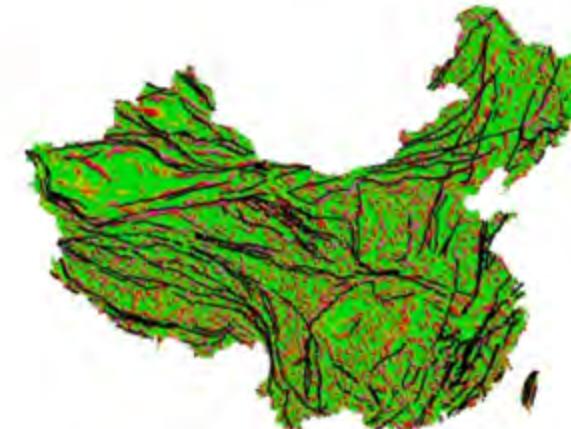
剥离上地壳后重力异常线性构造

3.重力异常的解释应用

■ 区域地质构造研究



布格重力异常线性构造



布格重力异常线性构造+露头断裂

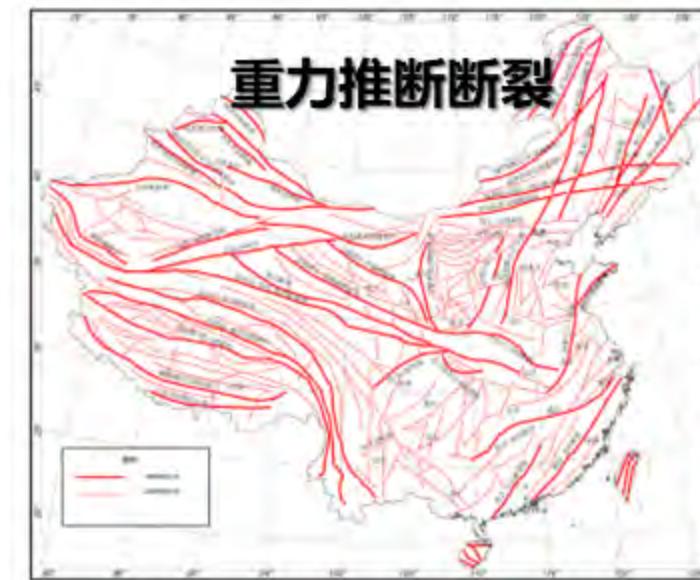


剥离上地壳后重力异常线性构造



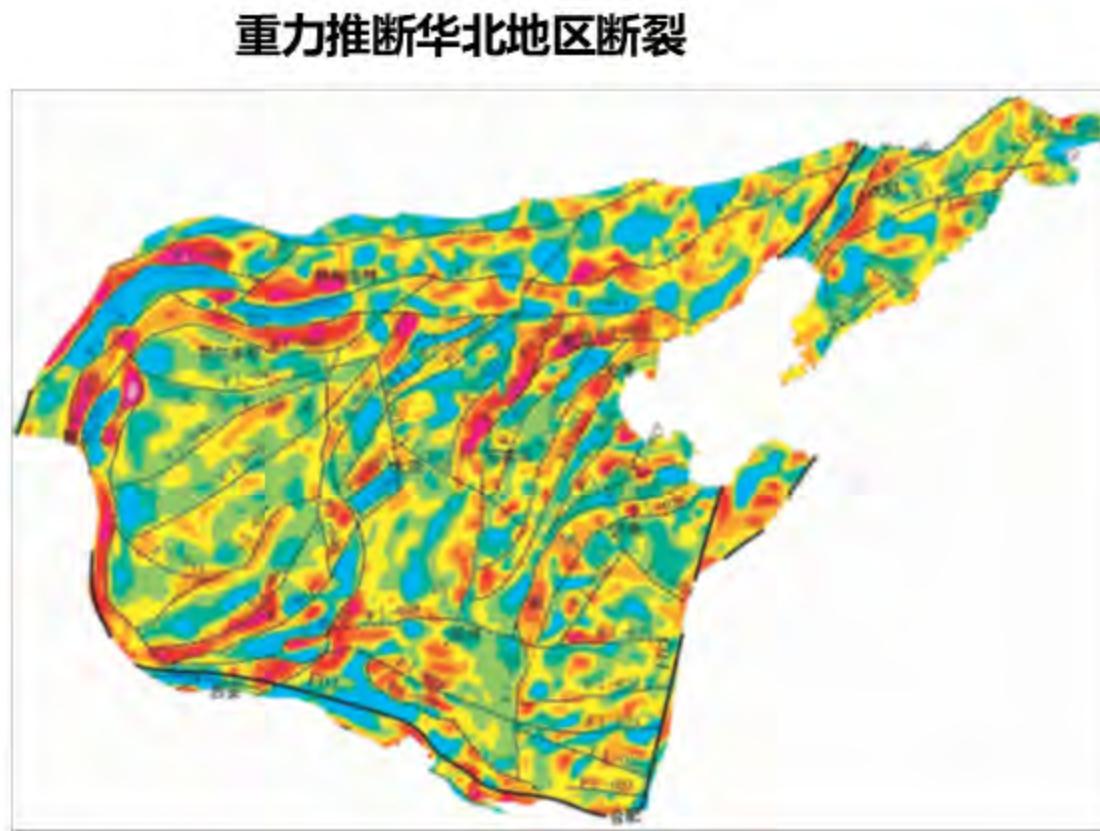
剥离上地壳后重力异常线性构造+露头断裂

区域地质构造一断裂推断



3.重力异常的解释应用

■ 区域地质构造研究



区域地质构造—断裂推断

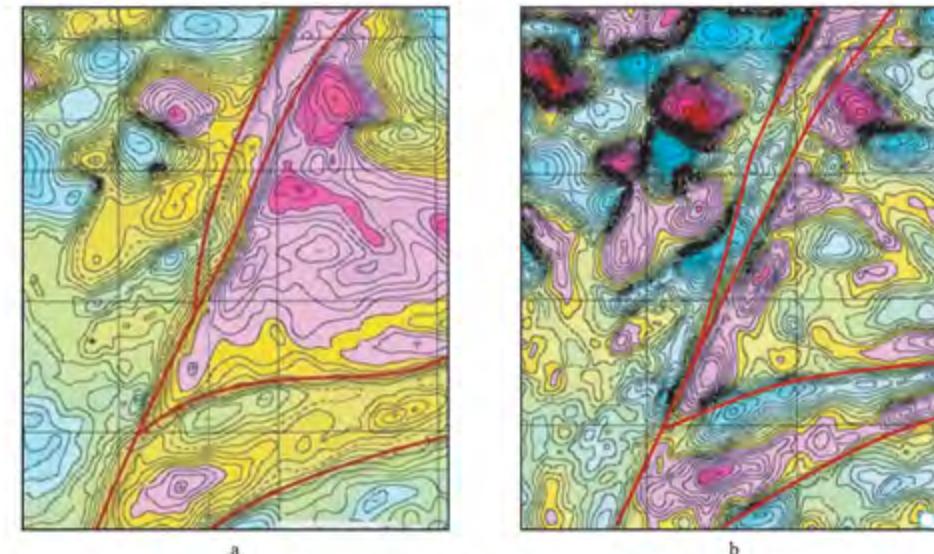


图 6-8 邱庐断裂山东北段布格异常 (a) 与剩余异常 (b)

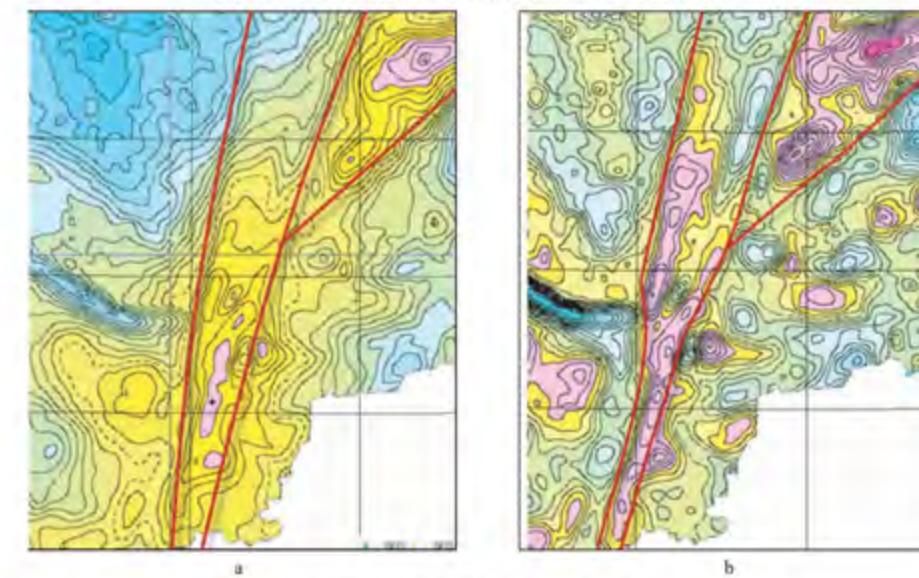


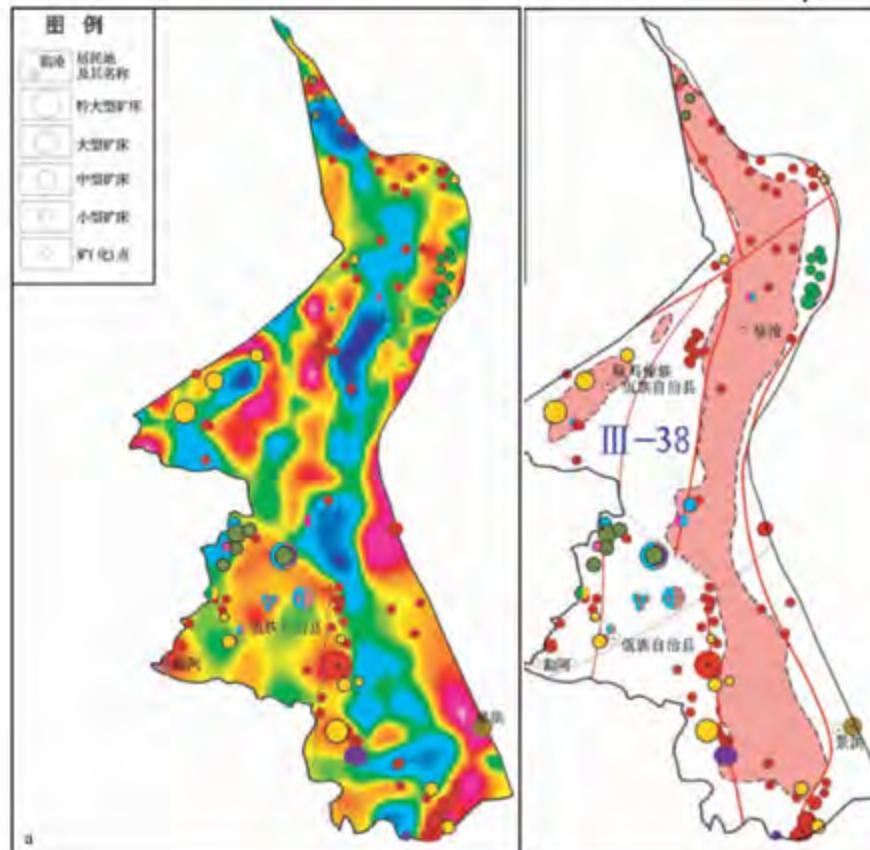
图 6-9 邱庐断裂山东南段布格异常 (a) 与剩余异常 (b)

3.重力异常的解释应用

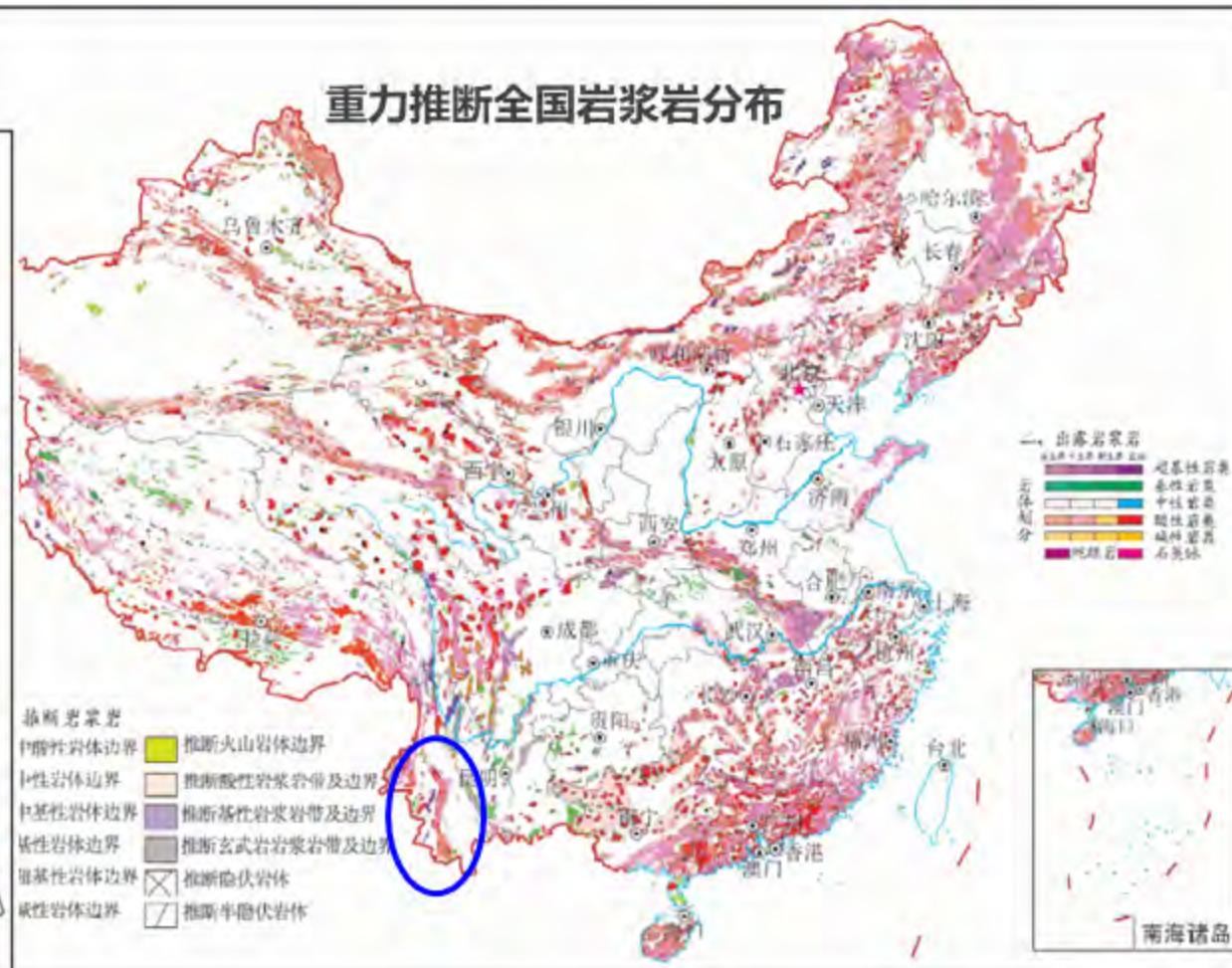
■ 区域地质构造研究

区域地质构造—岩浆岩推断

重力推断西南岩浆岩分布



重力推断全国岩浆岩分布



3.重力异常的解释应用

■ 区域地质构造研究

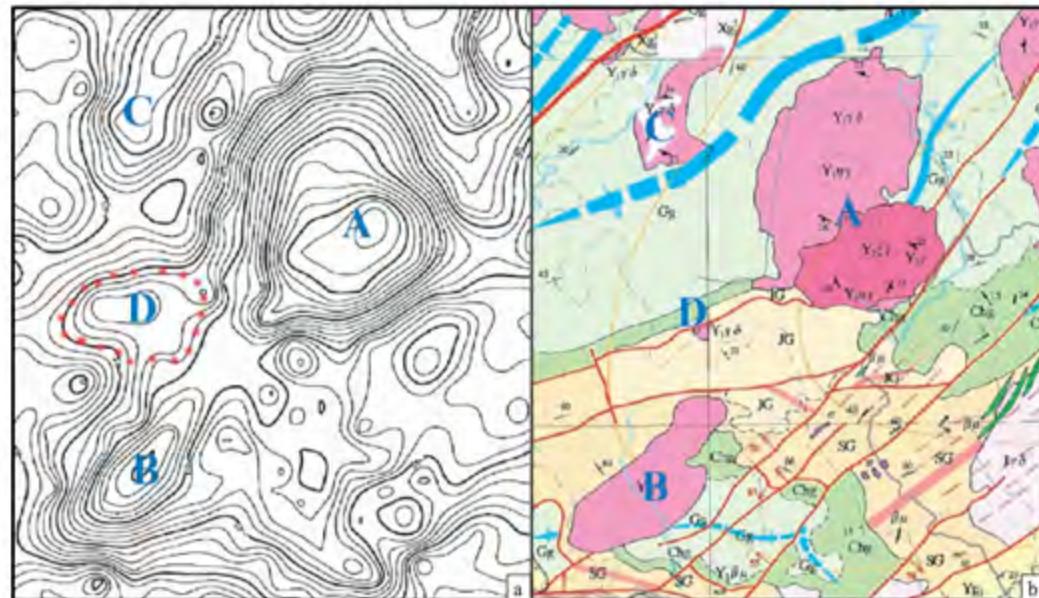


图 6-23 安徽某地花岗岩群剩余重力异常图 (a) 和地质图 (b)

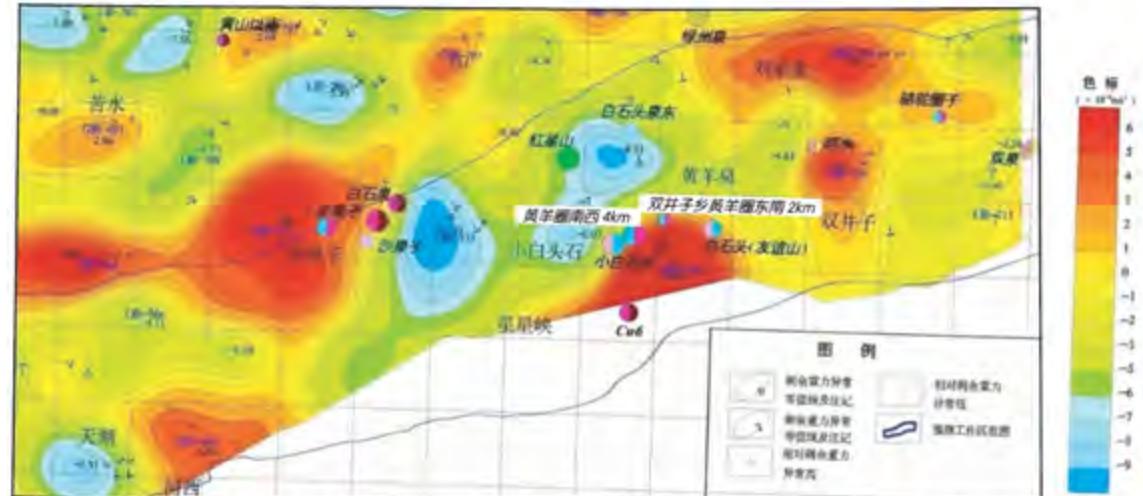


图 5-107 新疆白石泉地区基性-超基性岩铜镍矿预测工作区剩余重力异常图 (缩略图)

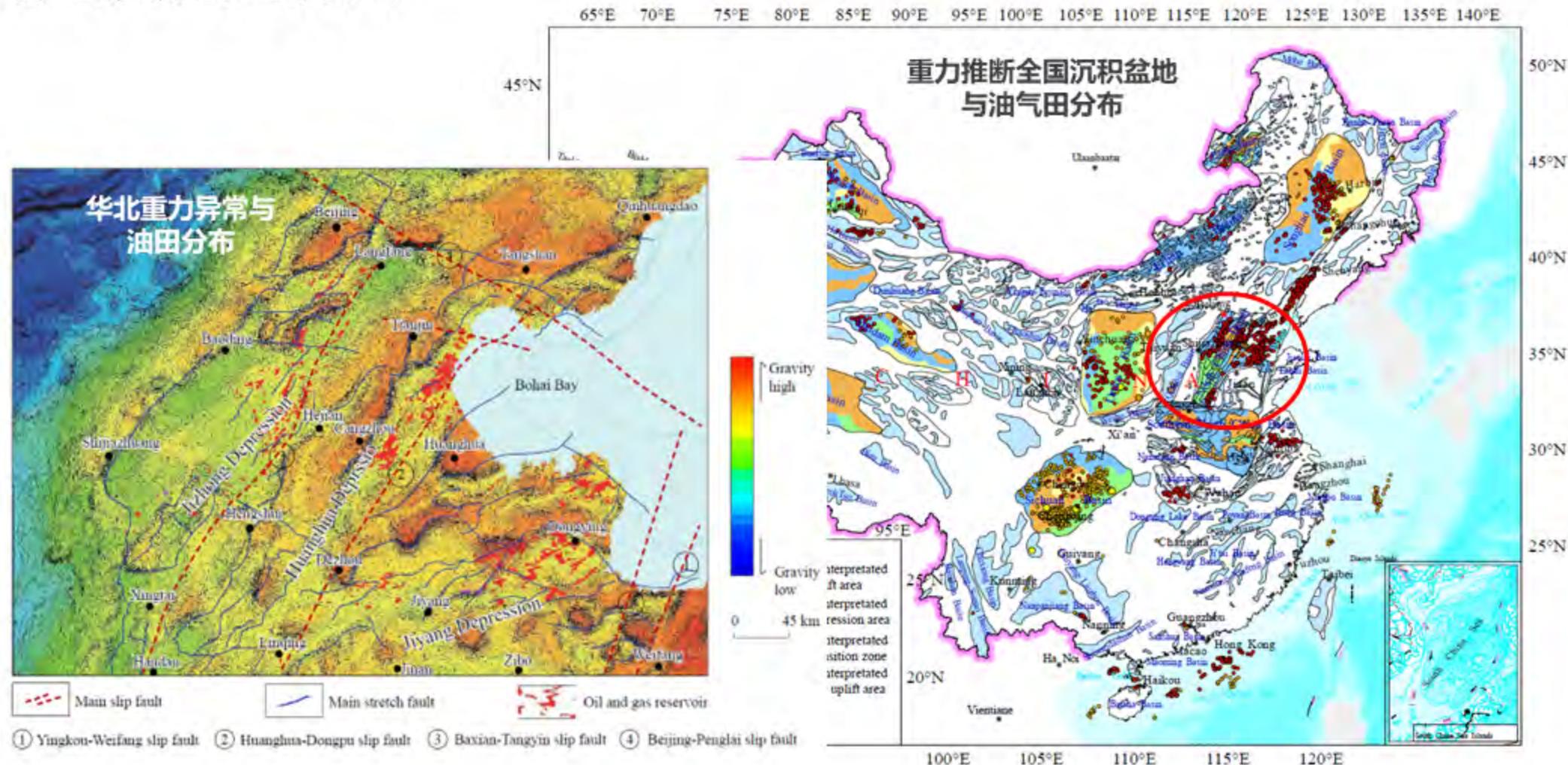


图 5-108 新疆白石泉地区基性-超基性岩铜镍矿预测工作区重力推断地质构造图 (缩略图)

3.重力异常的解释应用

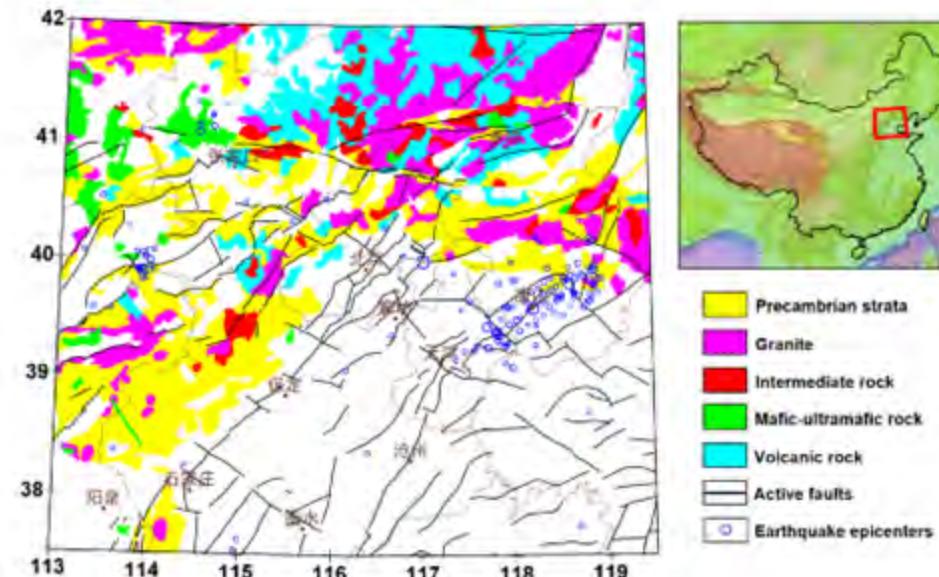
■ 区域地质构造研究

区域地质构造—沉积盆地与基底构造

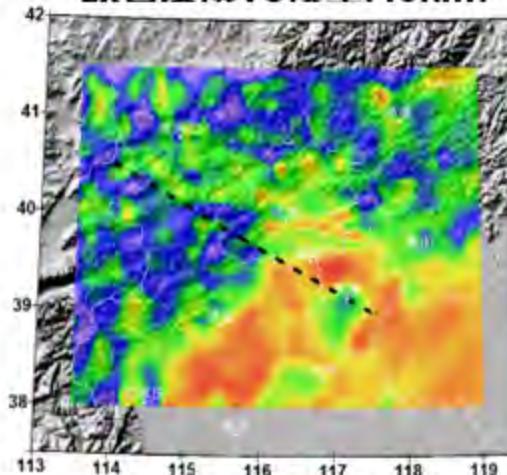


3.重力异常的解释应用

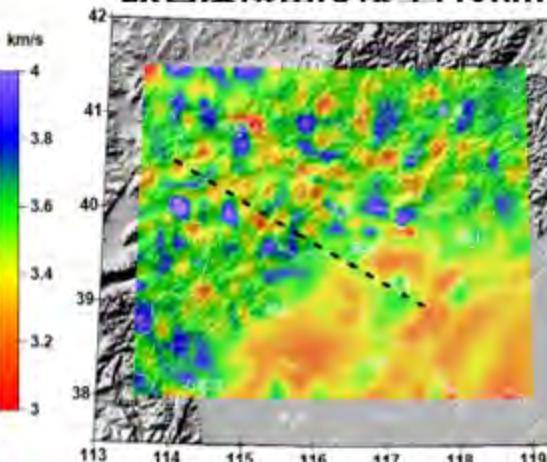
■ 区域地质构造研究



联合反演Vs模型(10km)

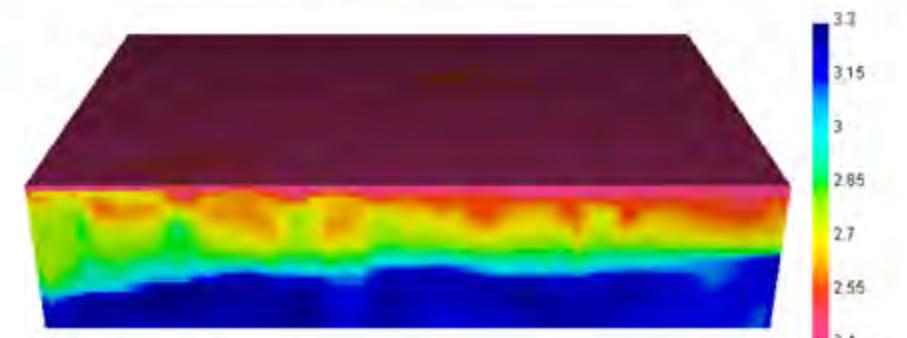


联合反演密度模型(10km)

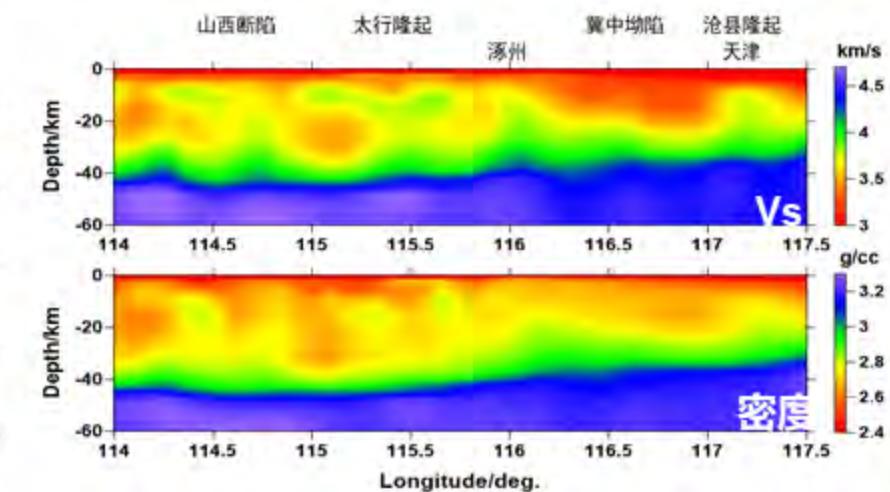


区域地质构造—沉积盆地与基底构造

地震全波形与重力联合反演
地壳密度模型



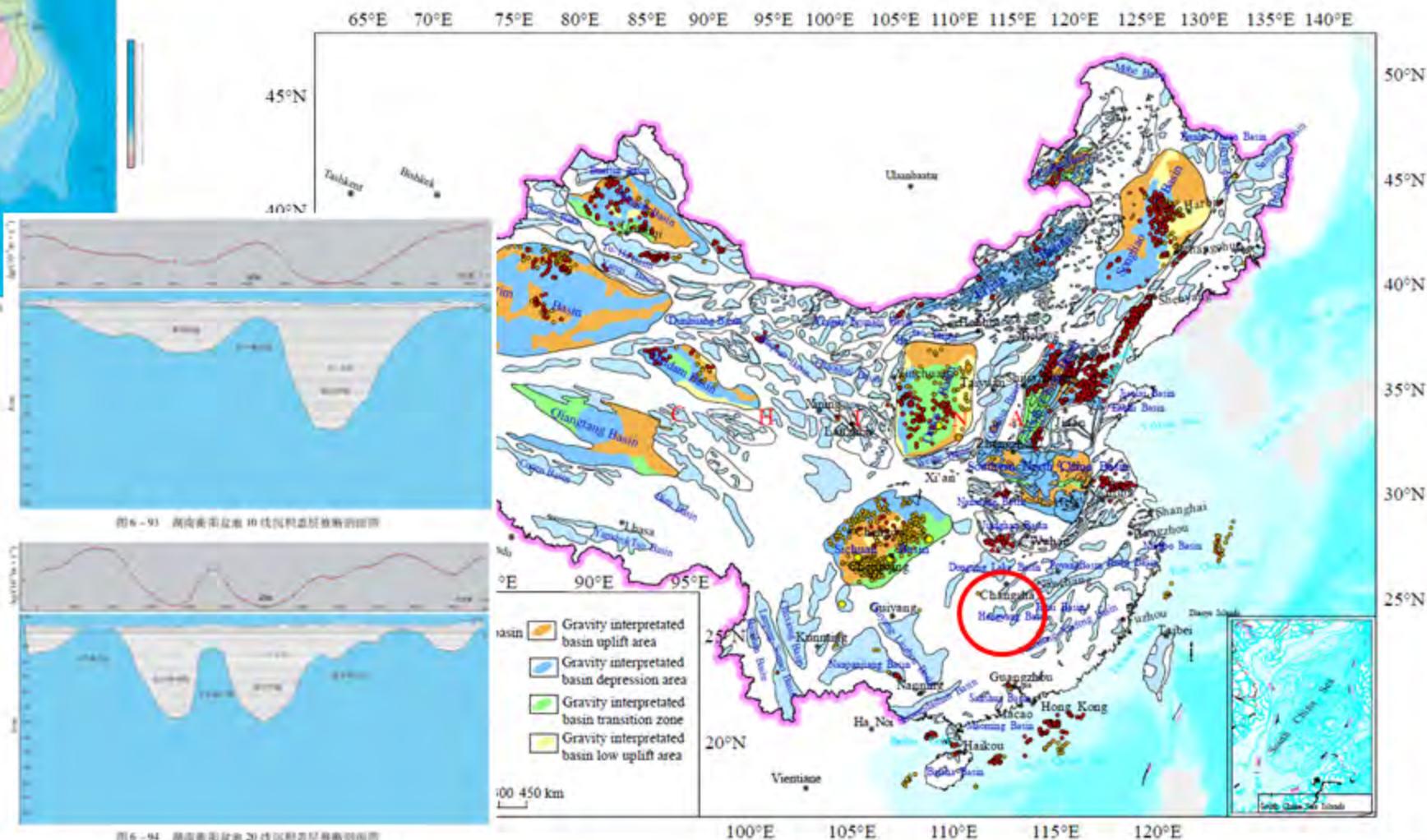
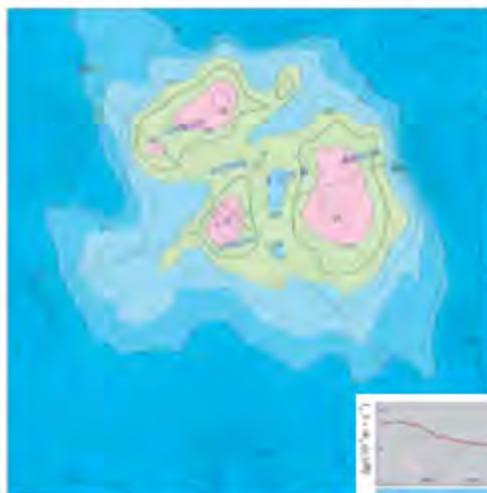
联合反演剖面结构



3.重力异常的解释应用

■ 区域地质构造研究

区域地质构造—基底构造

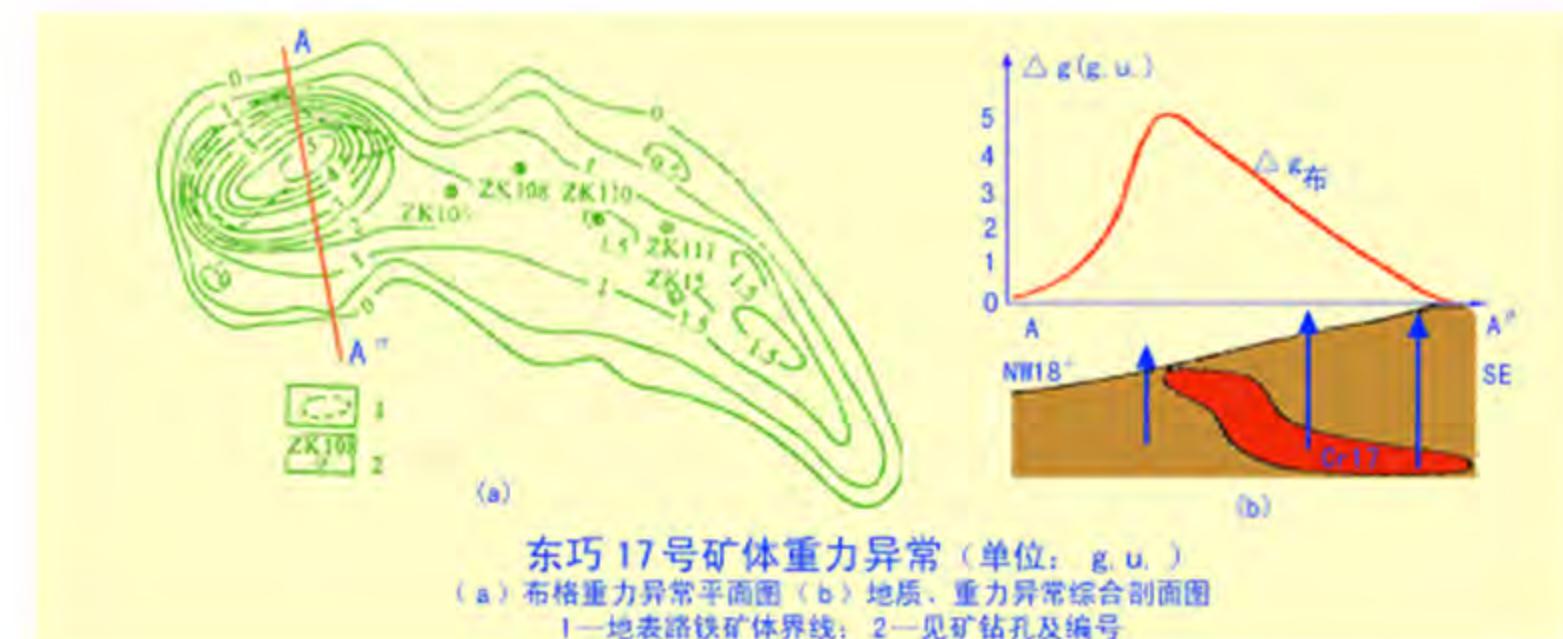


3.重力异常的解释应用

■ 金属矿勘探

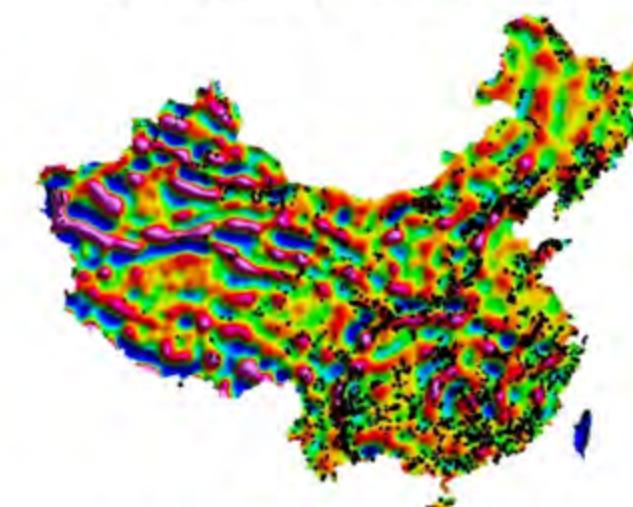
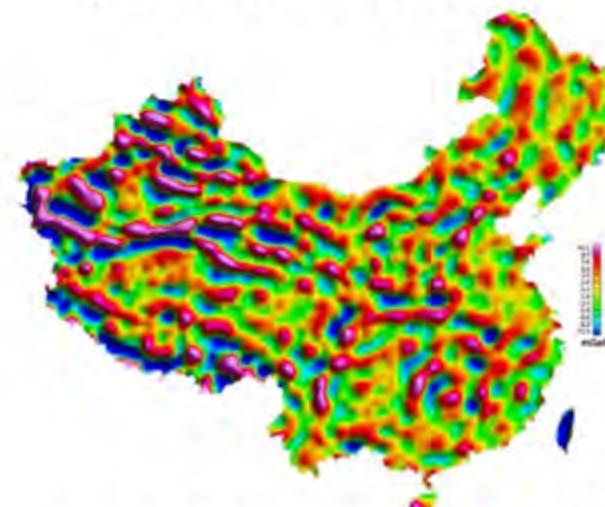
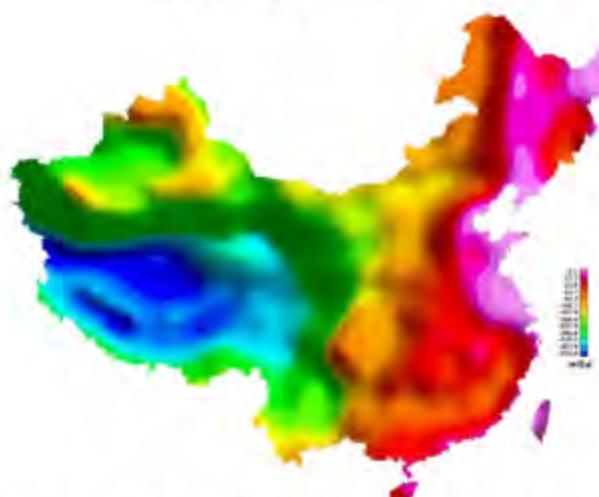
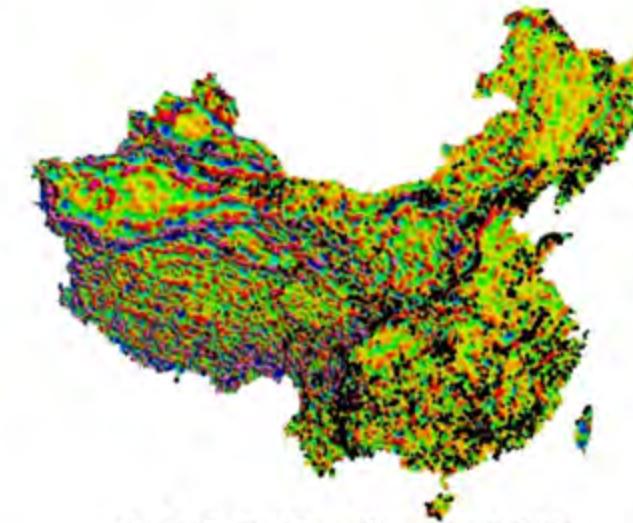
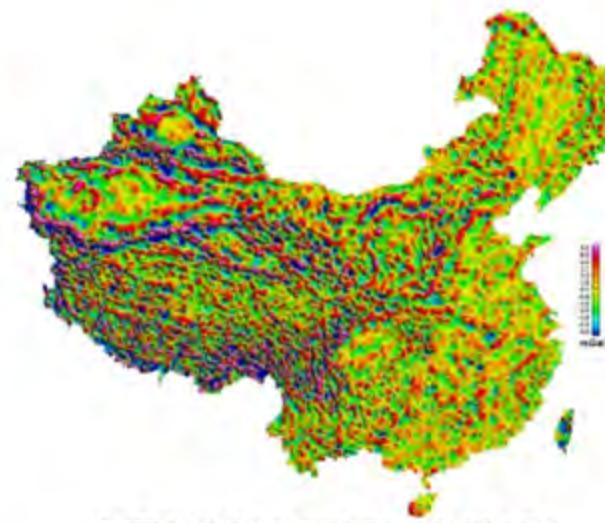
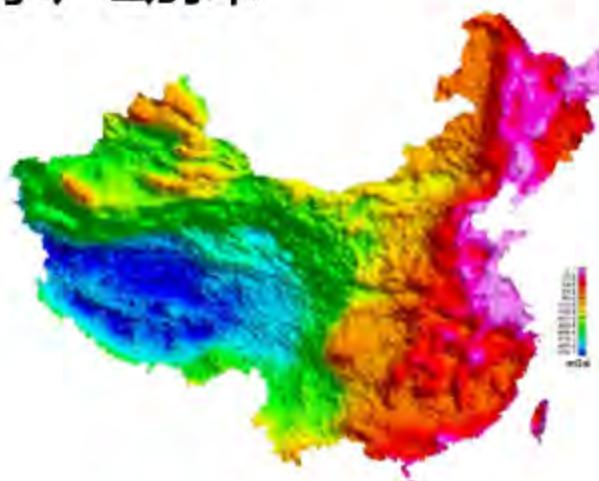
- ✓ 在有利条件下直接寻找矿体；
- ✓ 研究金属矿床赋存的岩体或构造以推断矿体的位置。

- 西藏东巧23超基性岩体侵入于泥盆系结晶灰岩和板岩中，上覆侏罗系砂岩、砾岩。铬铁矿产于东巧23岩体内，与围岩界线清楚，密度差达 1.5g/cm^3 。
- 17号矿体西段已出露地表，重力异常最大值为 0.6mGal ，向东形态变宽展，推断东段埋藏较深。钻探结果4孔连续见矿，矿体地深 $25\text{-}60\text{m}$ ，视厚度 $28\text{-}40\text{m}$ 。



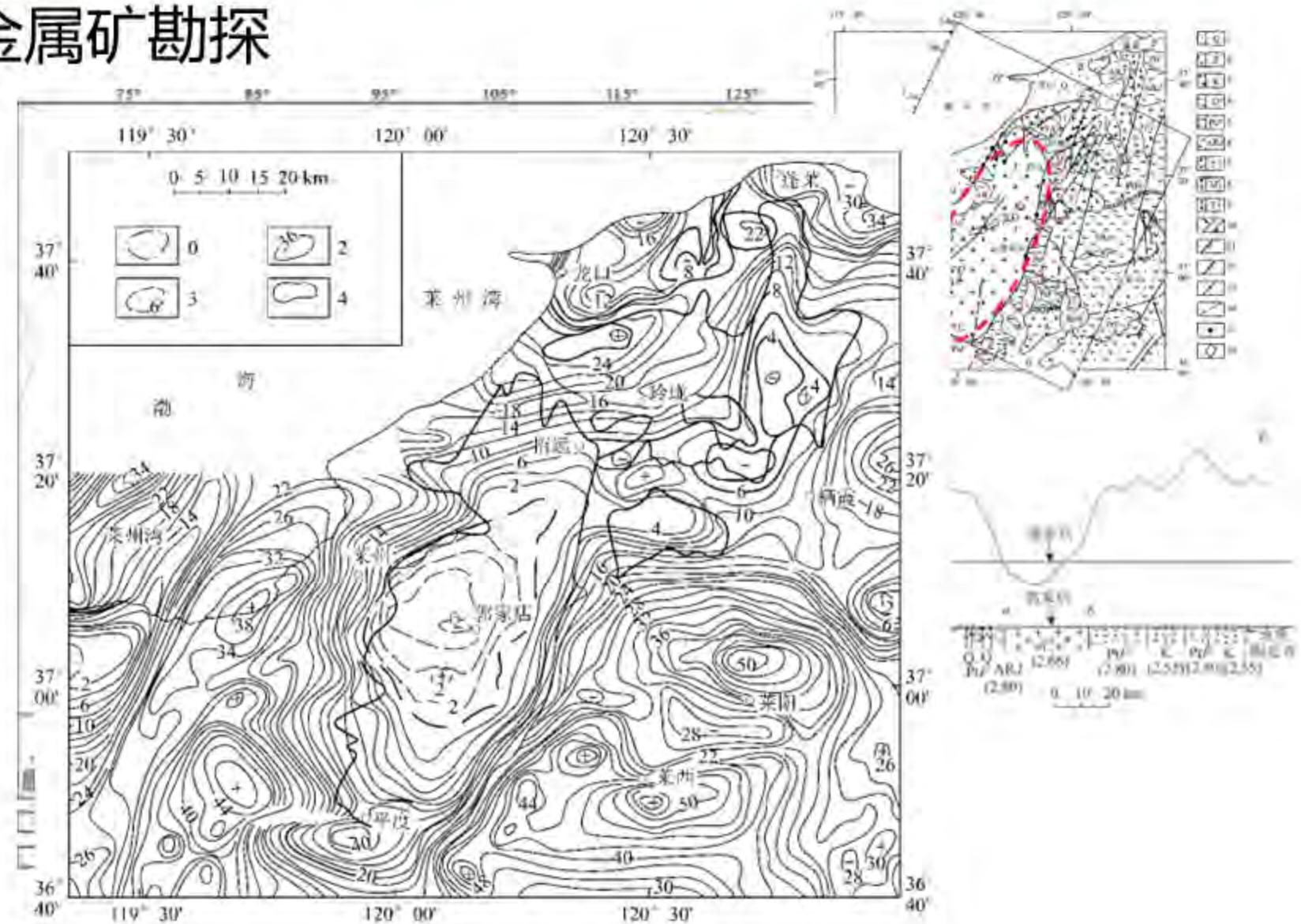
3.重力异常的解释应用

■ 金属矿勘探



3.重力异常的解释应用

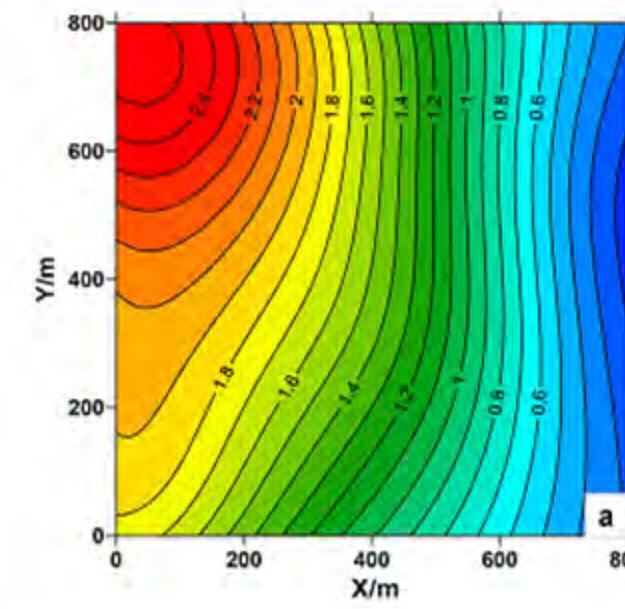
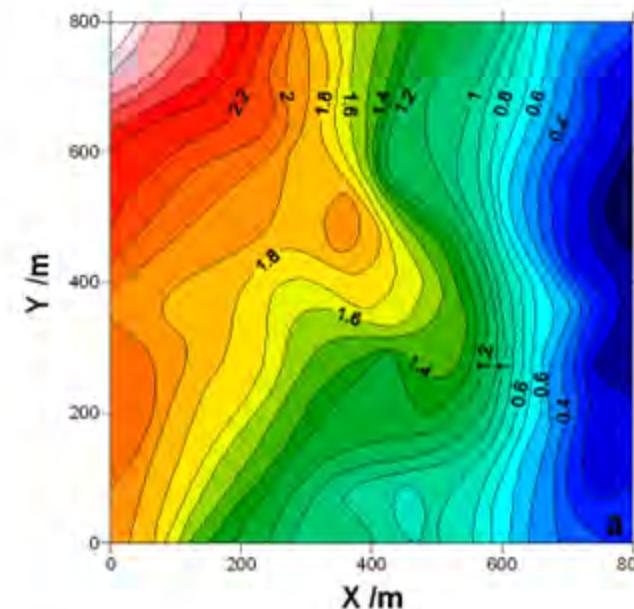
■ 金属矿勘探



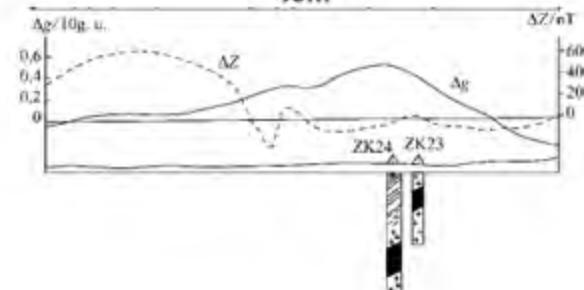
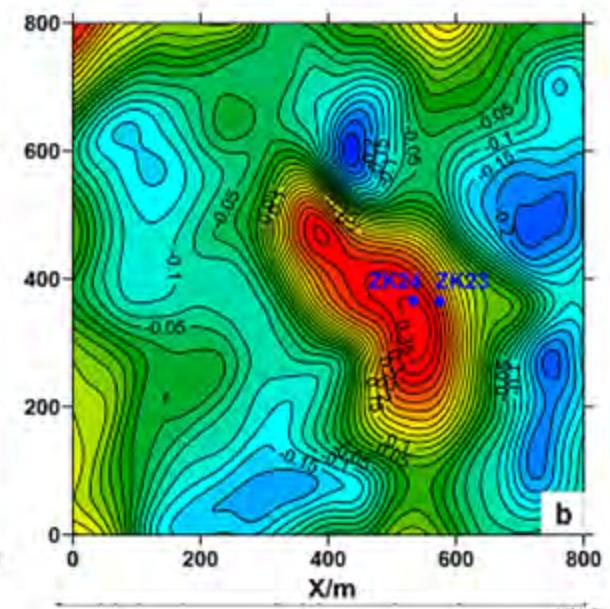
重力推断招远
金矿花岗岩分
布

3.重力异常的解释应用

■ 金属矿勘探



吉林某含铜硫铁矿勘查

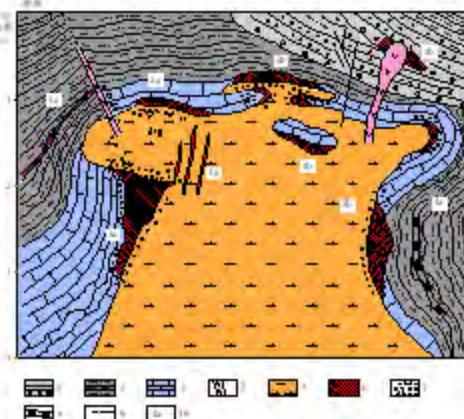


- 吉林省某矿区剩余重力异常图西北部封闭的异常所圈定的范围与已知的铁矿位置一致，并与1000nT的磁异常所圈闭的面积相符。
- 东南部明显封闭的重力异常位于磁异常的零线及100nT之间，表明磁异常对这个重力场源体没有任何反映。

3.重力异常的解释应用

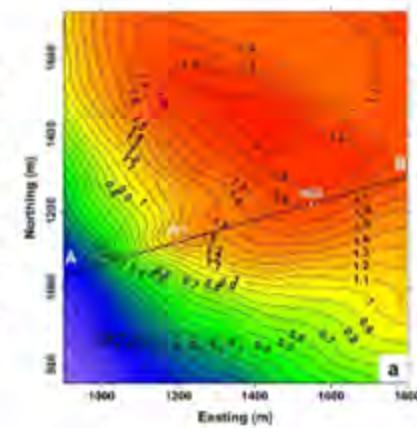
■ 金属矿勘探

矽卡岩型
铁矿床模
型

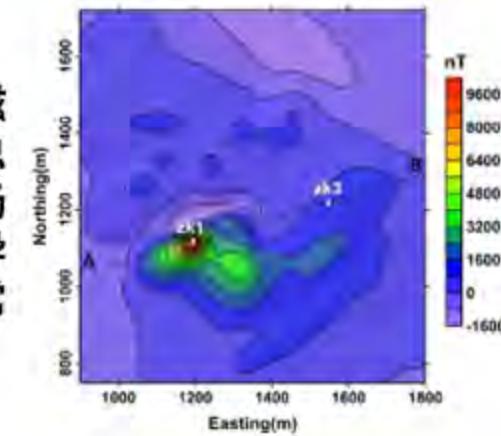


- 地表较平坦，为第四纪覆盖
- 矽卡岩型磁铁黄铜矿
- 金属矿物：富铜磁铁矿等

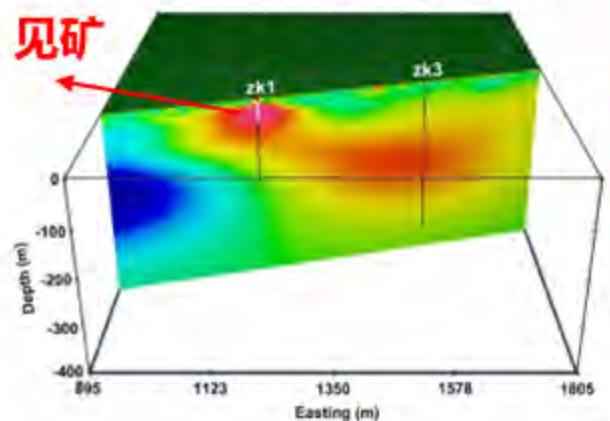
布格重力异常



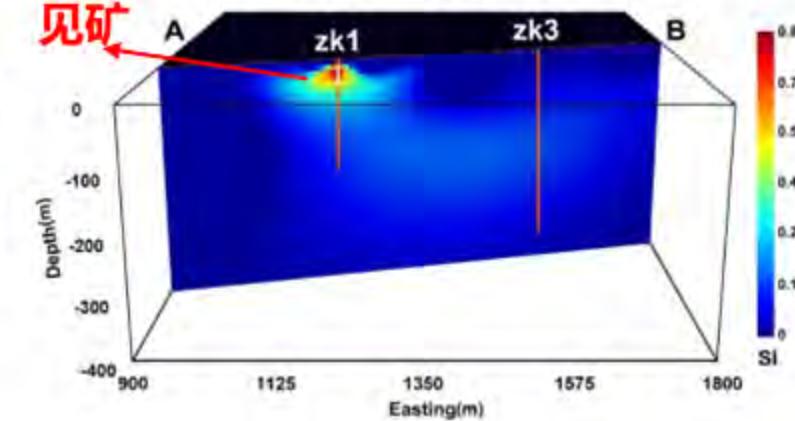
磁总场异常



重力三维反演



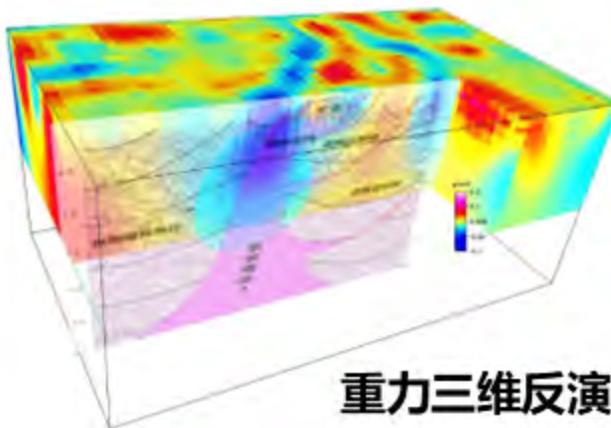
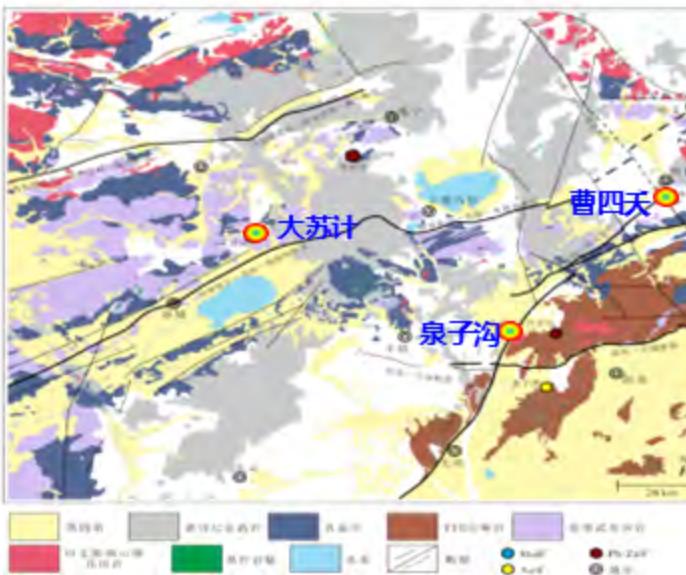
磁力三维反演



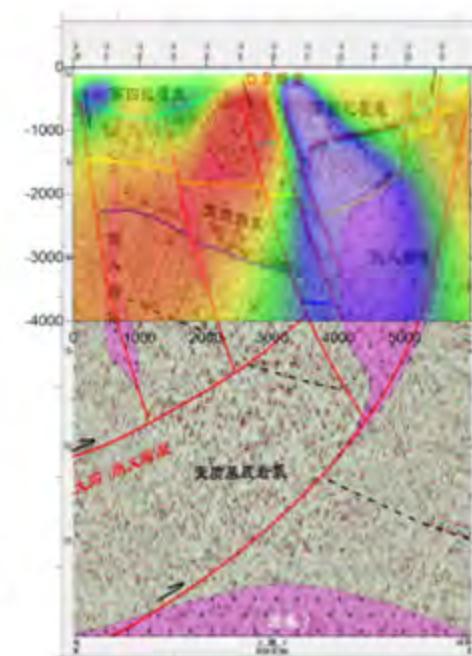
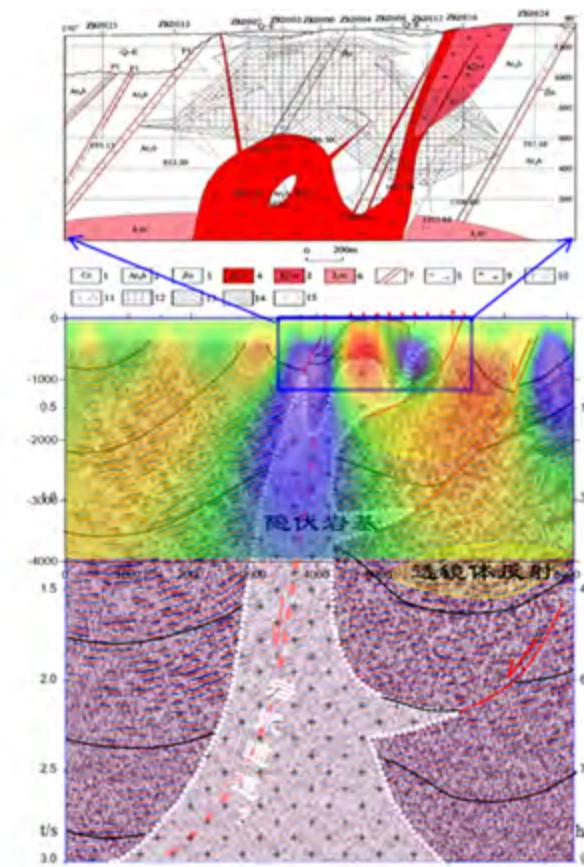
3.重力异常的解释应用

■ 金属矿勘探

内蒙某矿集区深部勘查



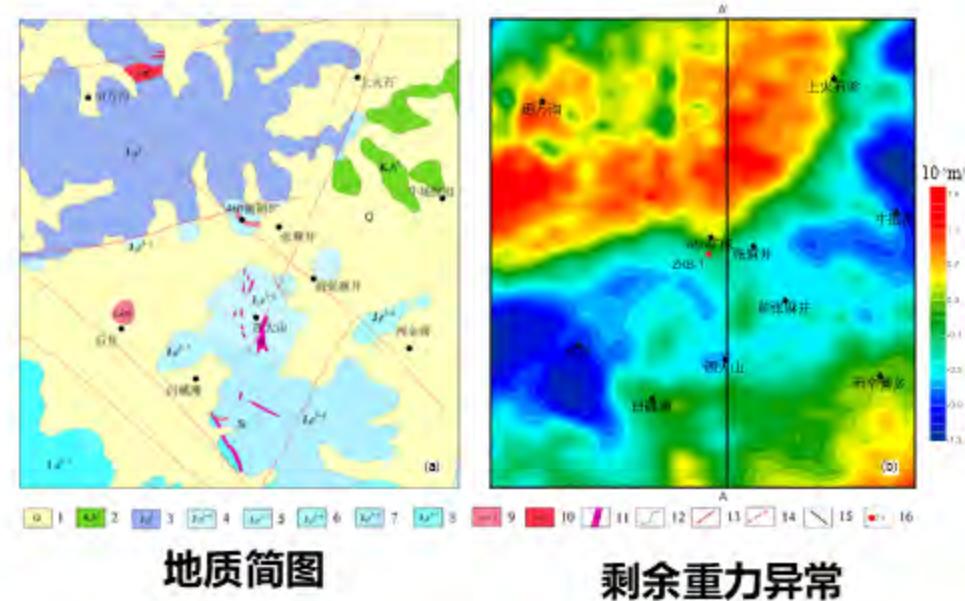
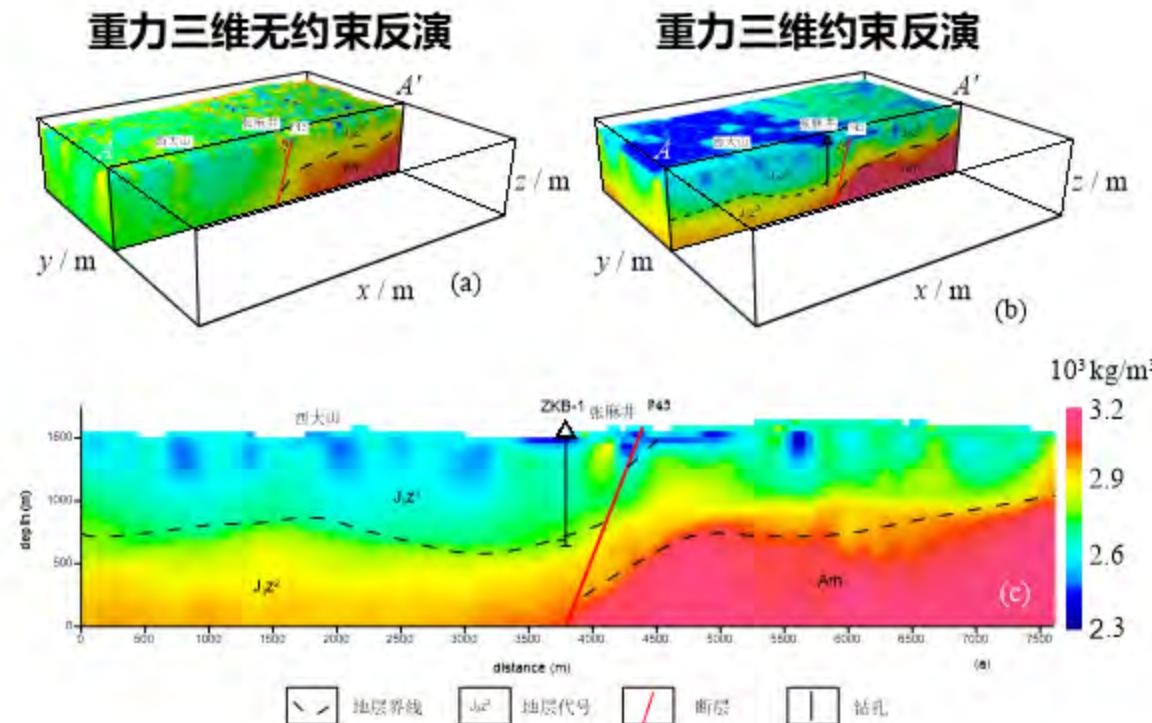
重力三维反演



3.重力异常的解释应用

■ 金属矿勘探

河北某矿区深部勘查



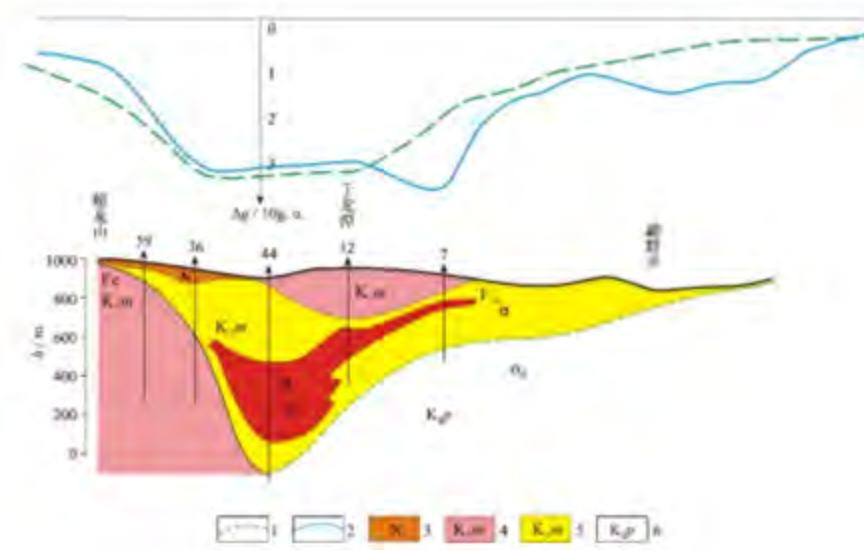
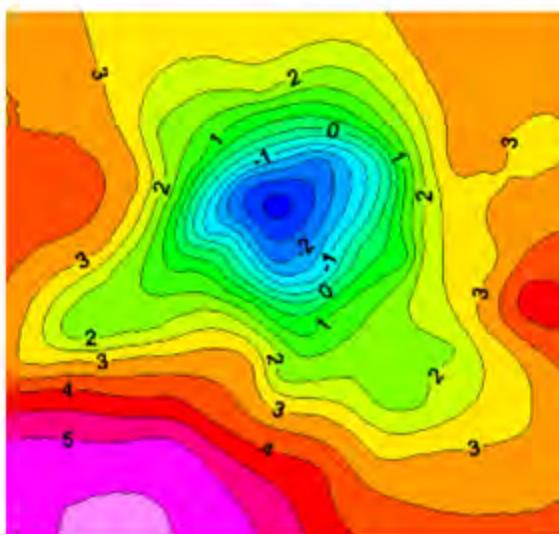
3.重力异常的解释应用

■ 非金属矿勘探

- 盐岩是一种沉积矿床，主要产于古内陆盆地的不泻湖里或滨海半封闭的海湾中。
- 由于盐岩的密度比围岩低，因此当盐矿有一定规模时，应用重力勘探的效果很好。



云南勐野井盐矿区布格重力异常

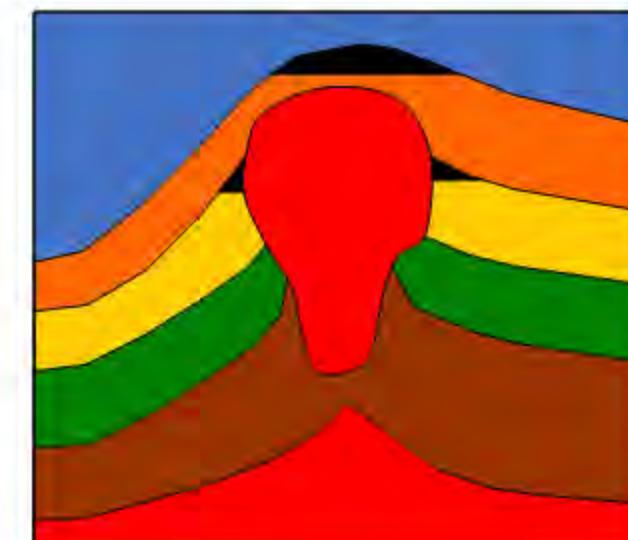
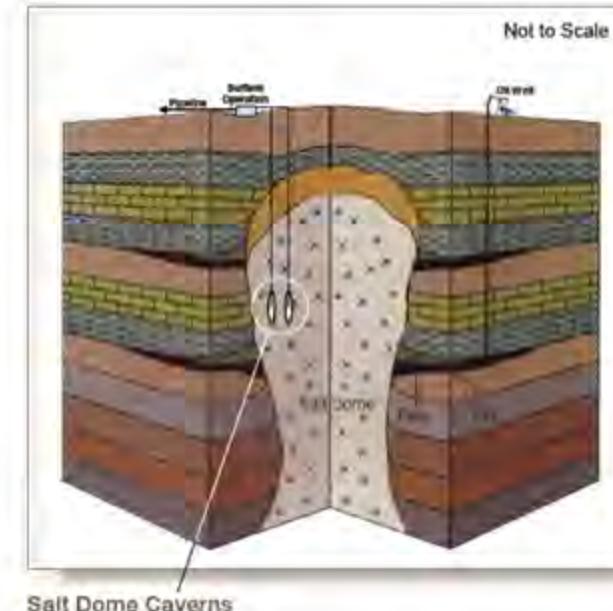


重力剖面建模
 $\sigma_0=2.64\text{g/cm}^3$
 $\sigma=2.60\text{g/cm}^3$
 $\sigma_1=2.20\text{g/cm}^3$

3.重力异常的解释应用

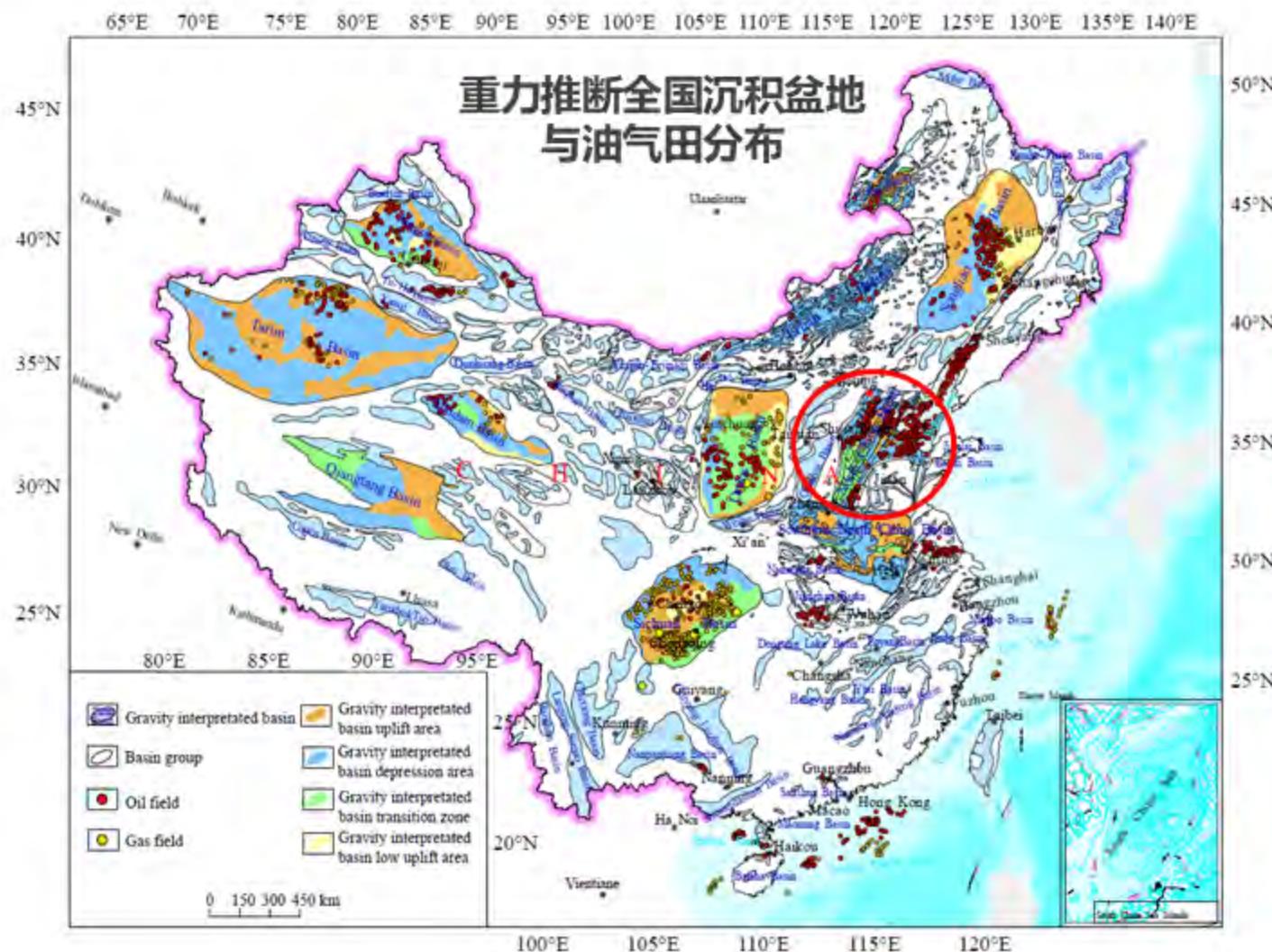
■ 油气勘探

- 利用小比例尺(1:100万-1:50万)重力异常图研究区域地质构造，划分构造单元，圈定沉积盆地的范围，预测含油、气远景区；
- 根据中等比例尺(1:20-1:10万)的重力异常图划分沉积盆地内的次一级构造，进一步圈定出有利于油、气藏形成的地段，寻找局部构造，如地层构造、古潜山、盐丘、地层尖灭、断层封闭等有利于油、气藏储存的地段；
- 利用大比例尺高精度重力测量查明与油、气藏有关的局部构造的细节，直接寻找与油、气藏有关的低密度体，为钻井布置提供依据；
- 在油气开发过程中，根据重力异常随时间的变化，可以监测油气藏的开发过程。



3.重力异常的解释应用

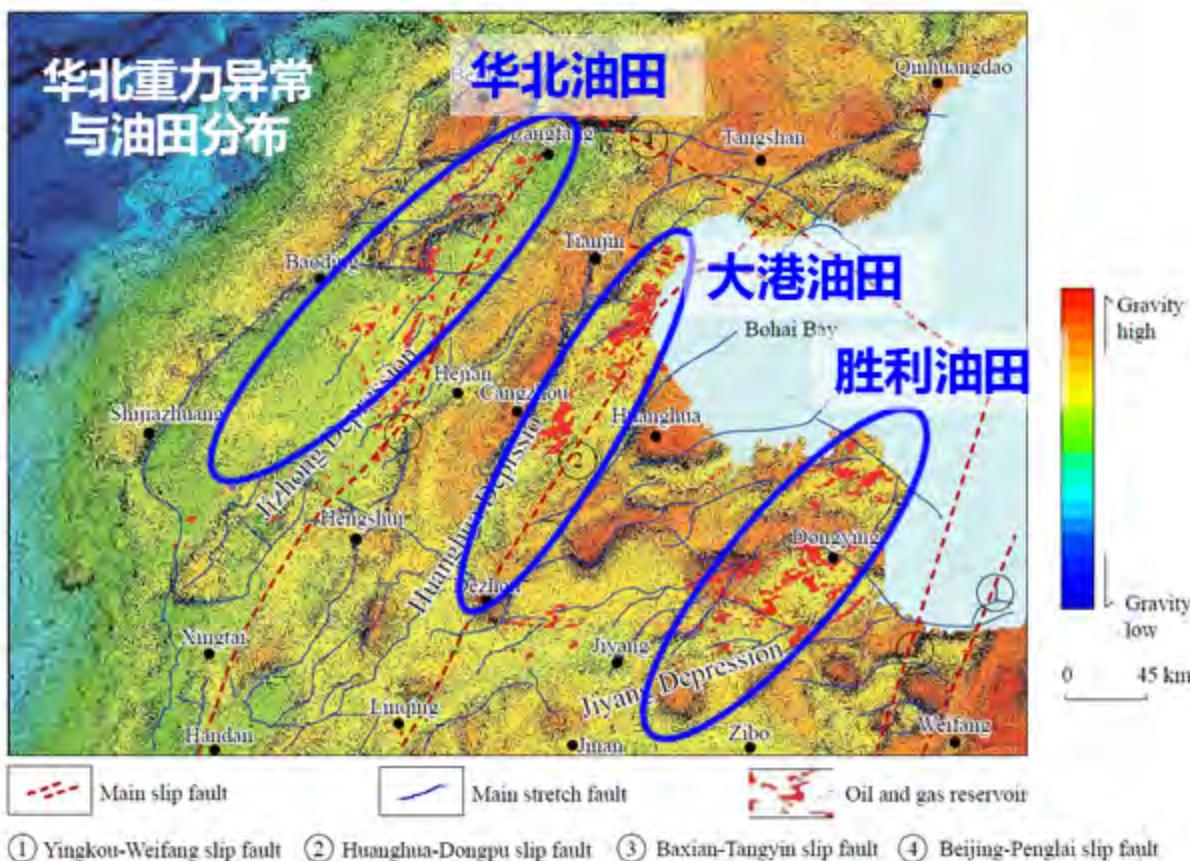
■ 油气勘探



- 华北平原是中朝准地台的一部分，其基底是由震旦纪的变质岩系所构成。
- 吕梁运动以后相当长一段时期为稳定的地区，震旦纪至中奥陶纪沉积了较厚的海相地层；
- 上奥陶至下石炭纪期间，全区上升，缺失了这一时期的沉积；
- 中石炭纪以后，全区再度下沉，接受海陆交互相的沉积；
- 燕山运动时期，北部、西部边缘褶皱成山(燕山及太行山)，平原区内部为新生代沉积所覆盖，全区沉积岩系累加厚度达几万米。

3.重力异常的解释应用

■ 油气勘探



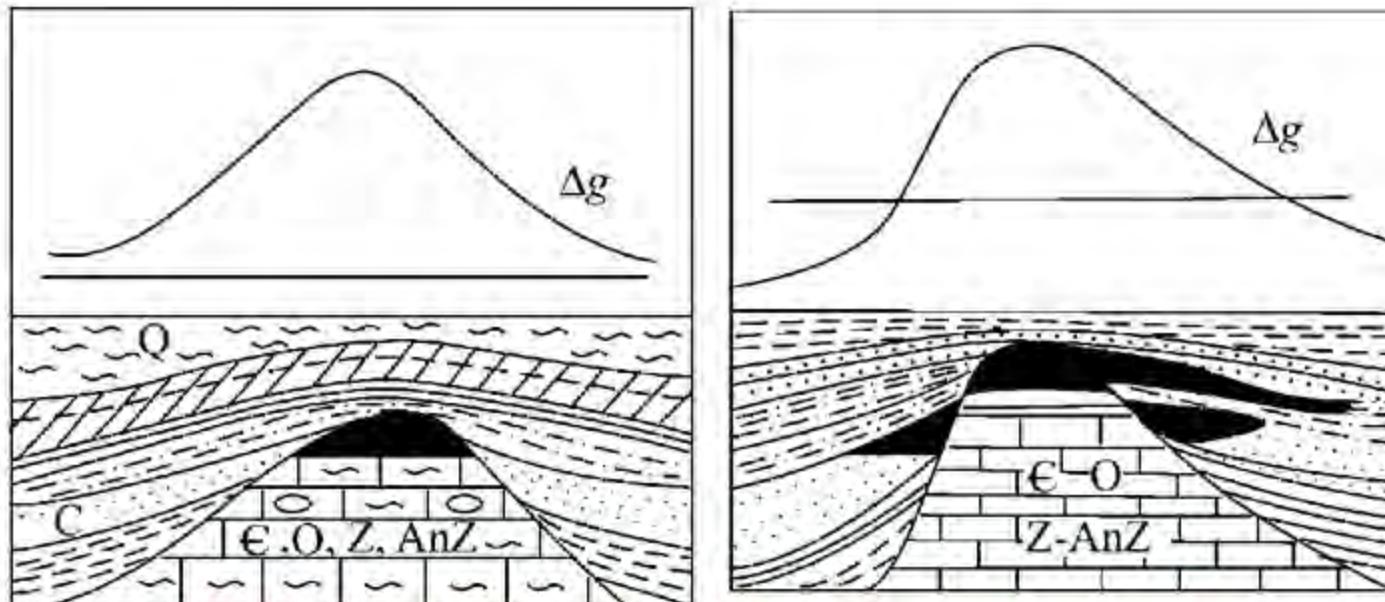
你能看出油田地址吗?

- 根据对重力异常特征的分析并结合其它物探成果，华北平原可划分出下列构造单元：冀中坳陷、沧县隆起、黄骅坳陷、无棣隆起、济阳坳陷、临清坳陷和内黄隆起等。
- 这些构造单元的划分为油气普查、勘探指明了潜在的远景区和进一步工作的地区，并且这些推断被后来的钻井资料和进一步的物探工作所证实。
- 二十世纪六十年代在黄骅坳陷中找到了大港油田，在济阳坳陷发现了胜利油田，七十年代又在冀中坳陷发现了任丘油田(即华北油田)。

3.重力异常的解释应用

■油气勘探

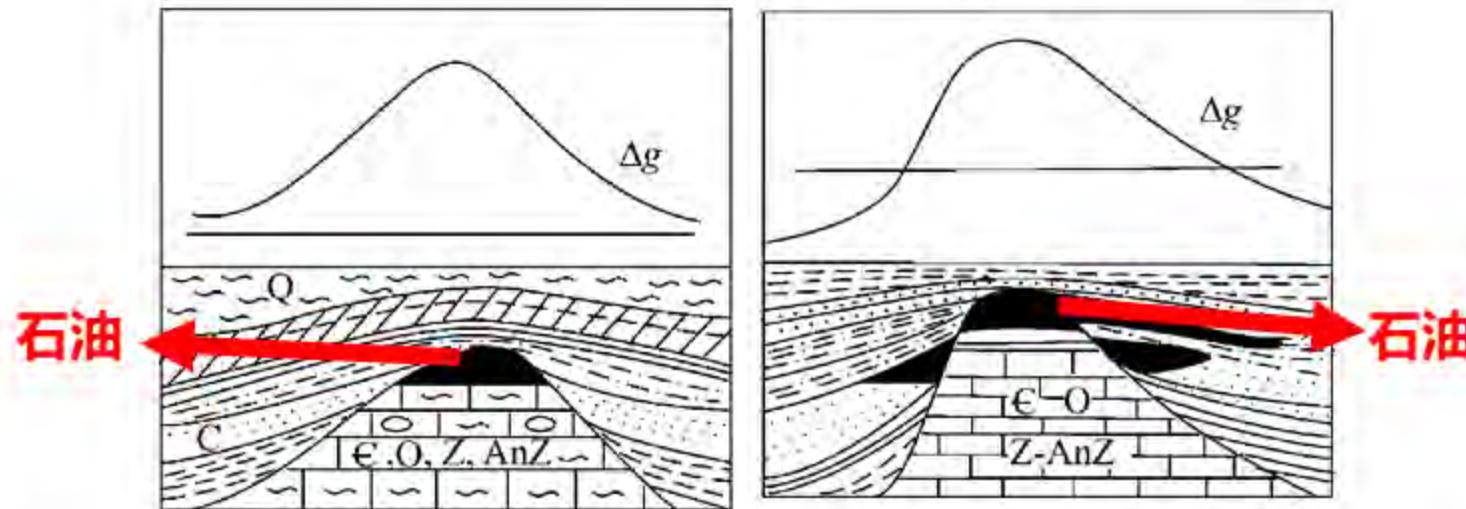
- 古潜山构造主要由下奥陶统、寒武系、震旦系的灰岩为主的老地层隆起所构成。
- 当周围沉积巨厚的生油岩系时，石油就会在古潜山地层上翘或隆起部位运移、聚集。
- 由于石灰岩节理、层理或溶洞比较发育，因此在一定条件下，可形成古潜山油田。
- 断层封闭构造所产生的断块凸起或下陷，在具有良好的生、储油条件下，也可形成储油构造。



重力异常高值、断块凸起或下陷

3.重力异常的解释应用

■油气勘探



- 既然石油、天然气比围岩轻，为什么在上面两个图上所观测到的重力异常不是负异常，而是正异常？如何解释？

上两图重力异常主要反映的高密度古潜山隆起和断块的凸起，所以是正异常。尽管油气比围岩密度低很多，但由于规模小、埋深大、中等精度的重力测量显示不出来。

3.重力异常的解释应用

■油气勘探

油矿在哪里?

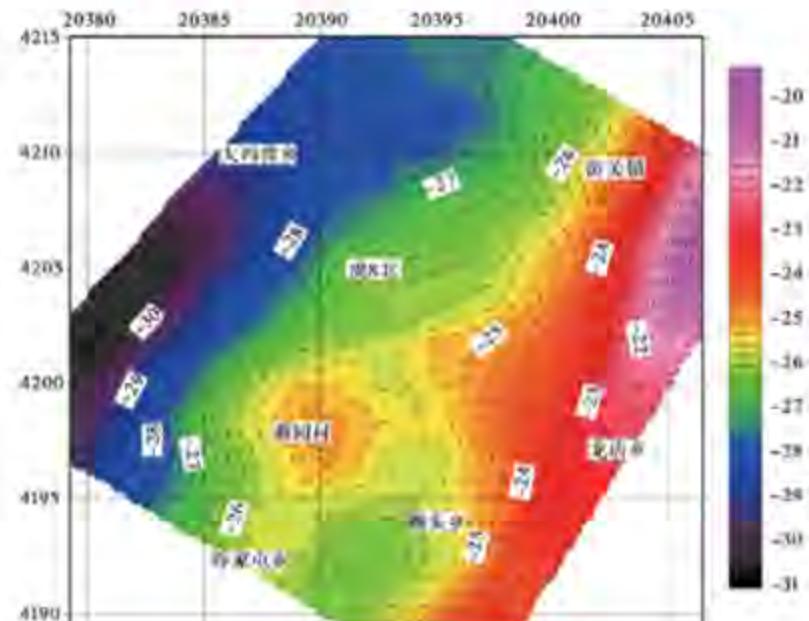


图2 测区布格重力异常图

层位	密度范围 $/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	综合平均值 $/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	钻井取样数
N1g	2.237~2.283	2.261	9
Es2-Es3	2.240~2.369	2.341	14
Es4-Ek	2.332~2.468	2.421	12
Jx、Chg、Pt	2.610~2.828	2.693	8
Ar	2.548~2.736	2.652	1

- 孙虎凹陷虎8潜山是华北潜山型油田的高产区之一，而虎8北是否存在另外1个潜山构造，多年来一直是1个需要解决的难题。虎8北潜山若被证实存在并具有一定的规模，则可能会成为1个新的油气构造。
- 由于受到复杂深层地质条件的限制，常规地震方法成像效果差，地质效果不明显。
- 根据地震资料，该区地层起伏明显，目标区深度范围在3500~4300m，可以形成一定幅度的局部重力异常。潜山主密度界面的存在为高精度重力勘探寻找潜山提供了良好的物性基础
- 在蔡园村位置(虎8井)存在1个闭合重力高，已在该区钻遇高产的工业油流井，说明闭合的高异常区可能存在圈闭油气藏

3.重力异常的解释应用

■油气勘探

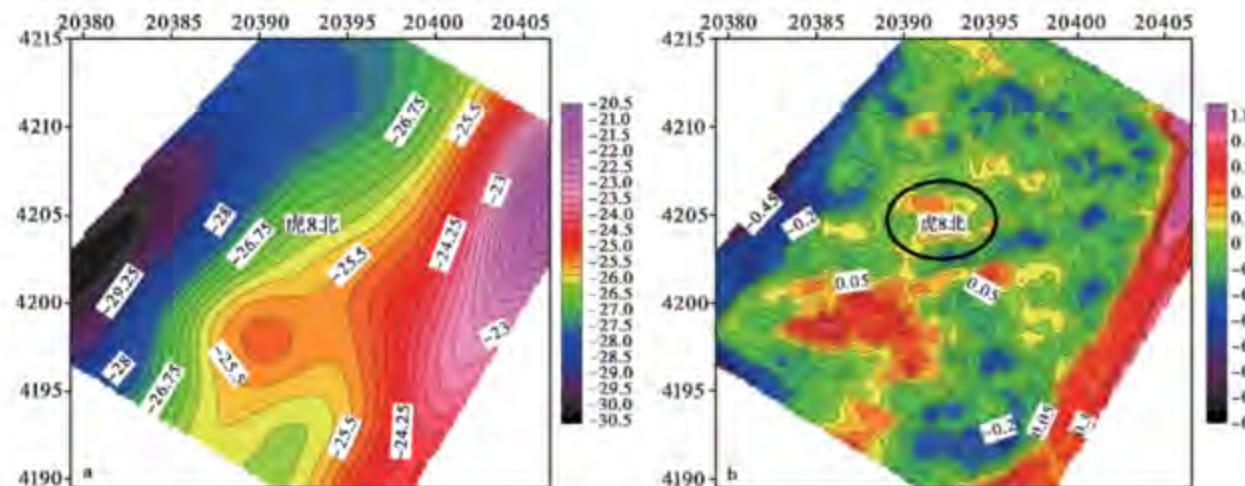


图3 虎8北地区布格异常的区域场与剩余场的分离

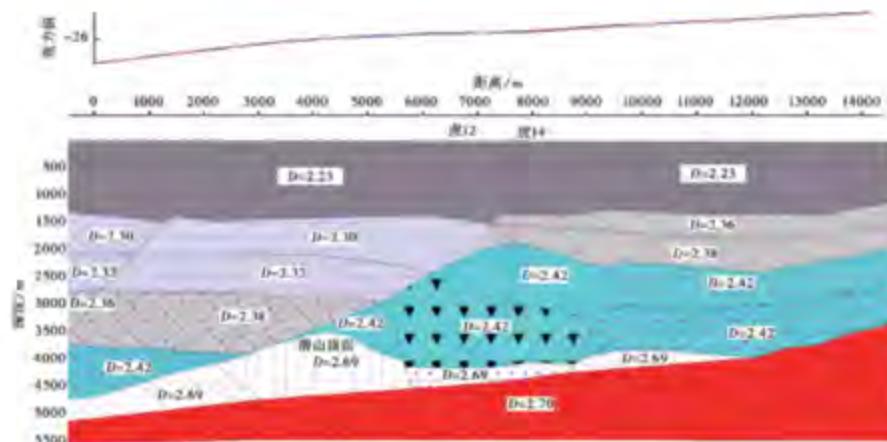


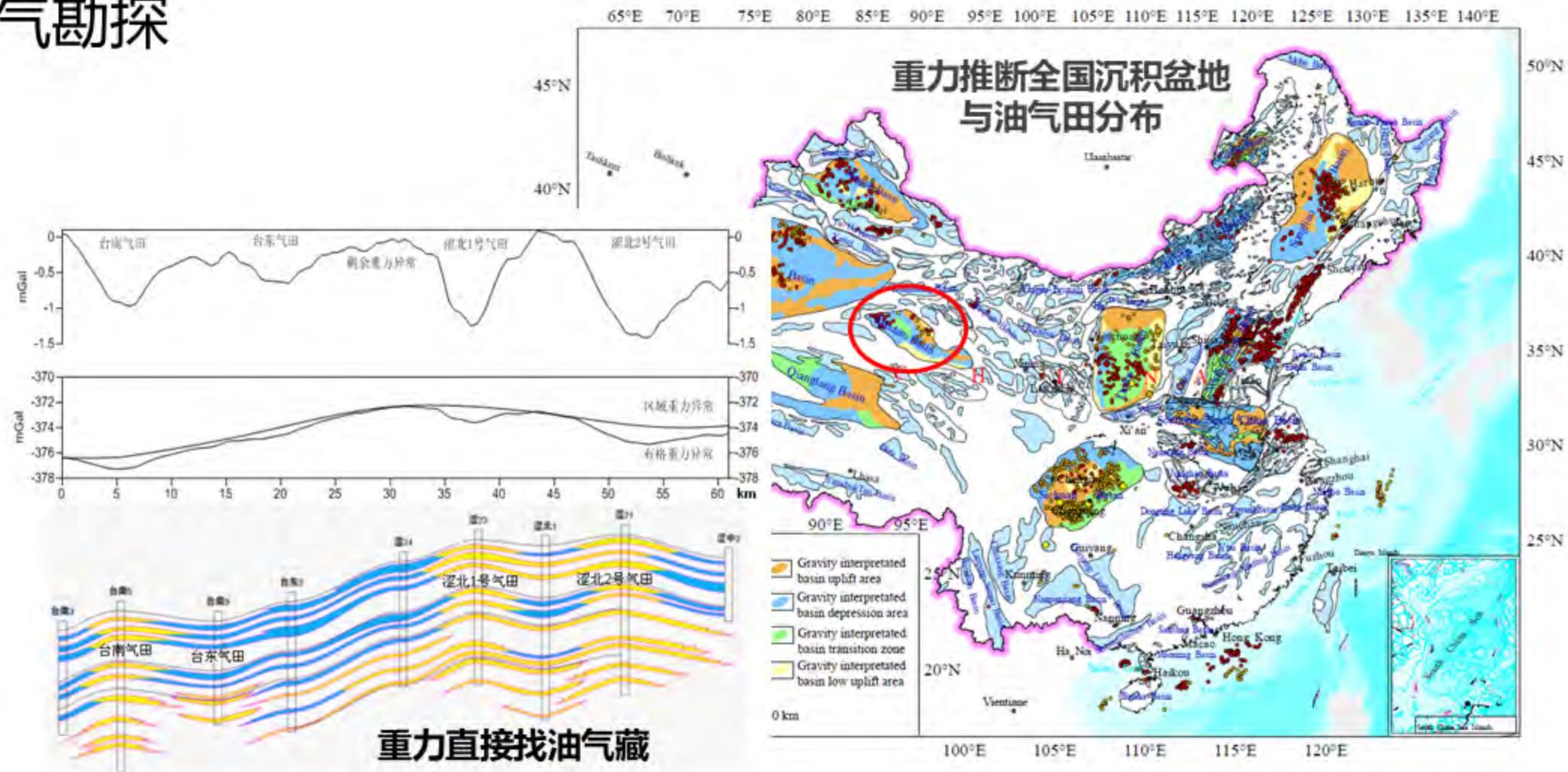
图5 中虎8北潜山的重力测线的2D反演结果

为了更准确地控制虎8北潜山的深度和规模，选取图5中1条过虎8北潜山的重力测线进行2D反演，反演结果表明虎8北确实可能存在1个埋深较深、规模较小的潜山。

三维高精度重力方法作为地震方法的补充，在确定深部潜山构造上具有比较明显的地质效果，这对于那些无法取得可靠地震资料的地区，以深层目标为目的勘探中具有重要的实际意义和参考价值。

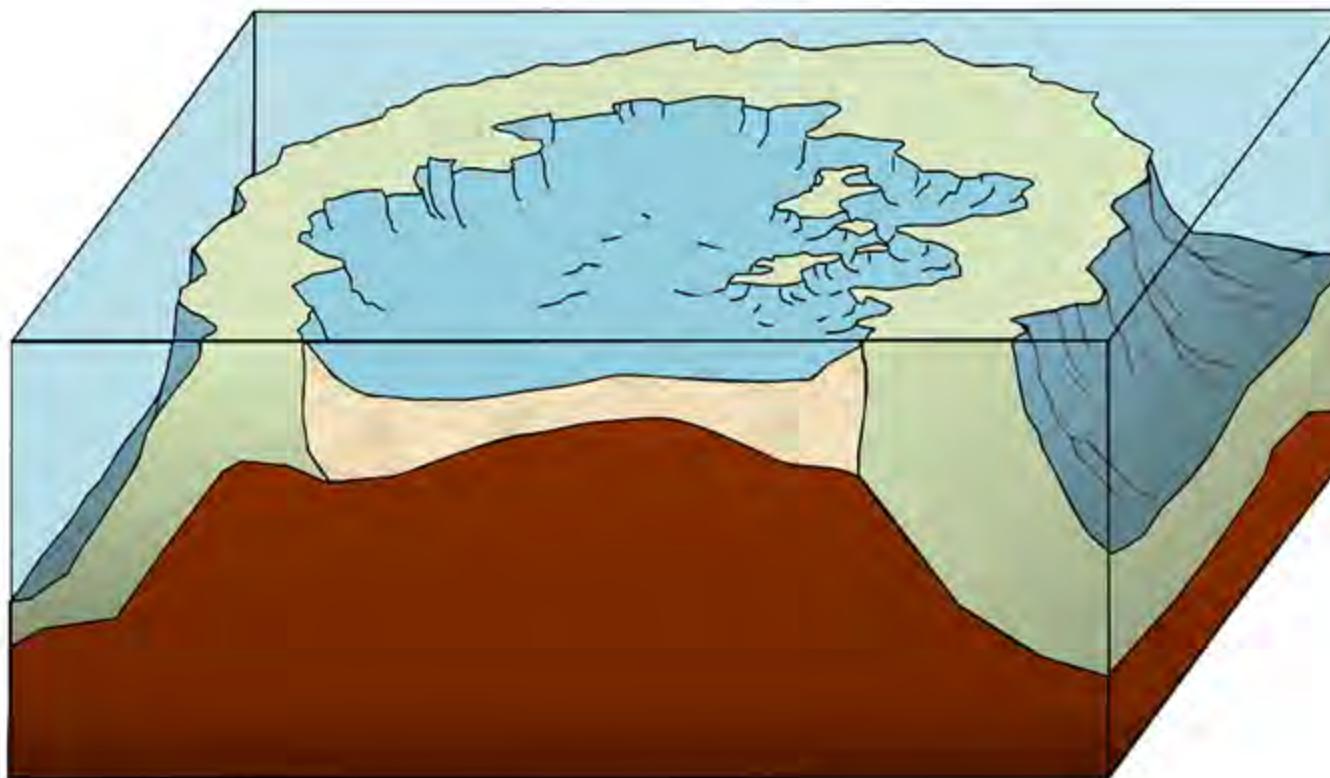
3.重力异常的解释应用

■ 油气勘探



3.重力异常的解释应用

■油气勘探



在马来西亚近海卢科尼亚省获得的FTG数据显示，对Top Cycle IV碳酸盐形成结构具有显著的敏感性。

3.重力异常的解释应用

■油气勘探

埋藏在海平面以下800至1200米处的碳酸盐在已知油气田上显示出更高的孔隙度。它们的高孔隙率产生低密度，使其非常适合使用 FTG 进行检测。

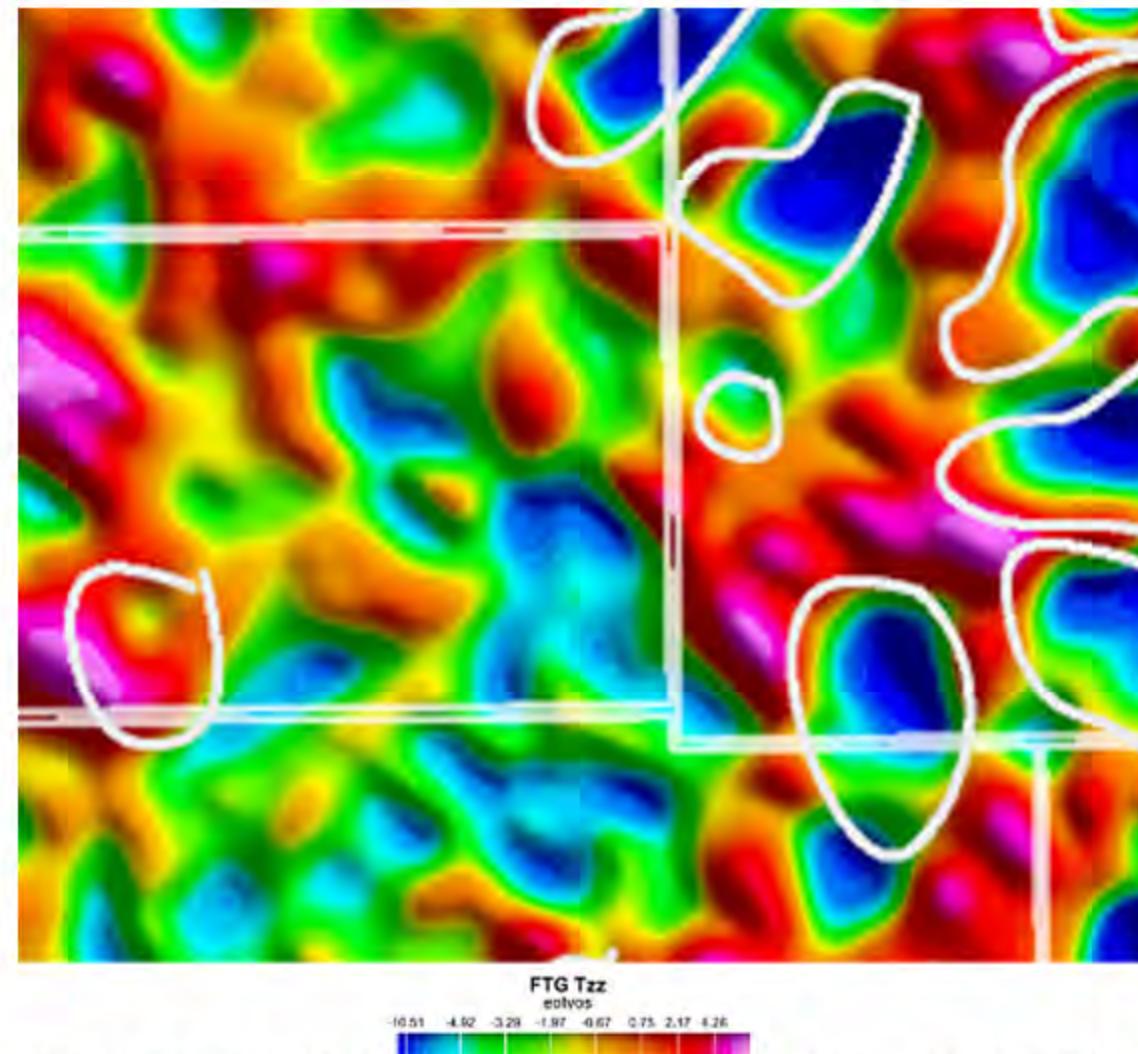
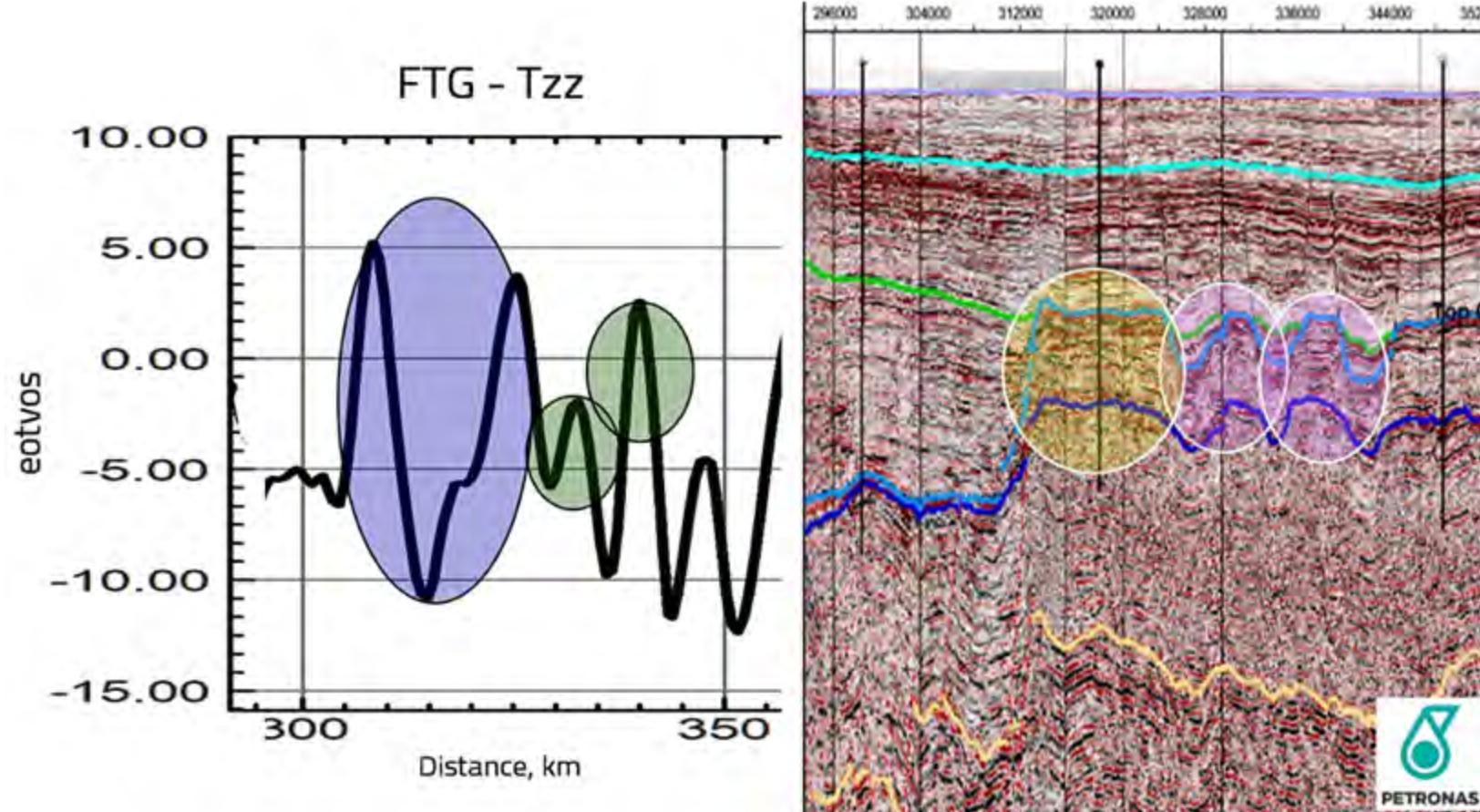


图1.卢科尼亞上空的空中FTG® Tzz组件。白色多边形定位已知的碳酸盐堆积物;紫色线定位复合地震线, 如图2所示。

3.重力异常的解释应用

■油气勘探

FTG是一种多张量分量技术，可同时测量场下地质密度对比所呈现的场所有方向的重力变化率。这使得FTG成为评估碳酸盐堆积及其可能成分的理想技术。不同程度的孔隙率对应于不同程度的密度，因此直接影响FTG响应。



剖面Tzz与定位地震重合。负Tzz异常表示高孔隙率，正Tzz表示孔隙率较低

3.重力异常的解释应用

■油气勘探

图3所示的常规重力从已知碳酸盐体（白色轮廓）中识别出与已知气田（黑色轮廓）相关的低密度区域。然而，FTG的全张量测量提供了高精度和超高分辨率，可以评估成分的复杂性。

FTG数据的不变张量分析（图3）清楚地识别并定位了已知气田内和近端的额外低密度（孔隙率增加）材料的潜力。

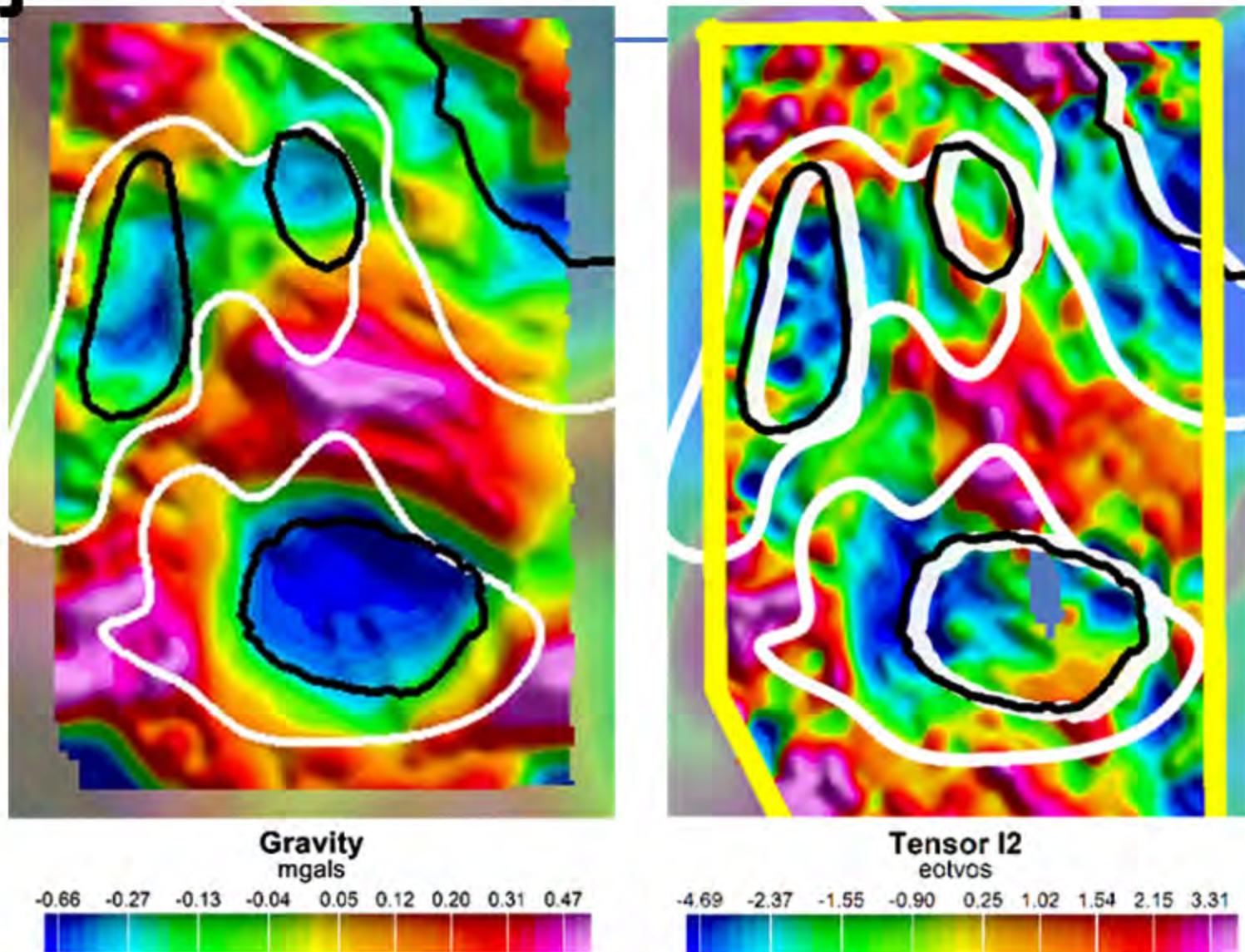


图 3：FTG 的常规重力（左）和 FTG 的不变张量（右）。负异常定位低密度/高孔隙率的区域。白色多边形勾勒出已知的碳酸盐；黑色多边形勾勒出已知气田

3.重力异常的解释应用

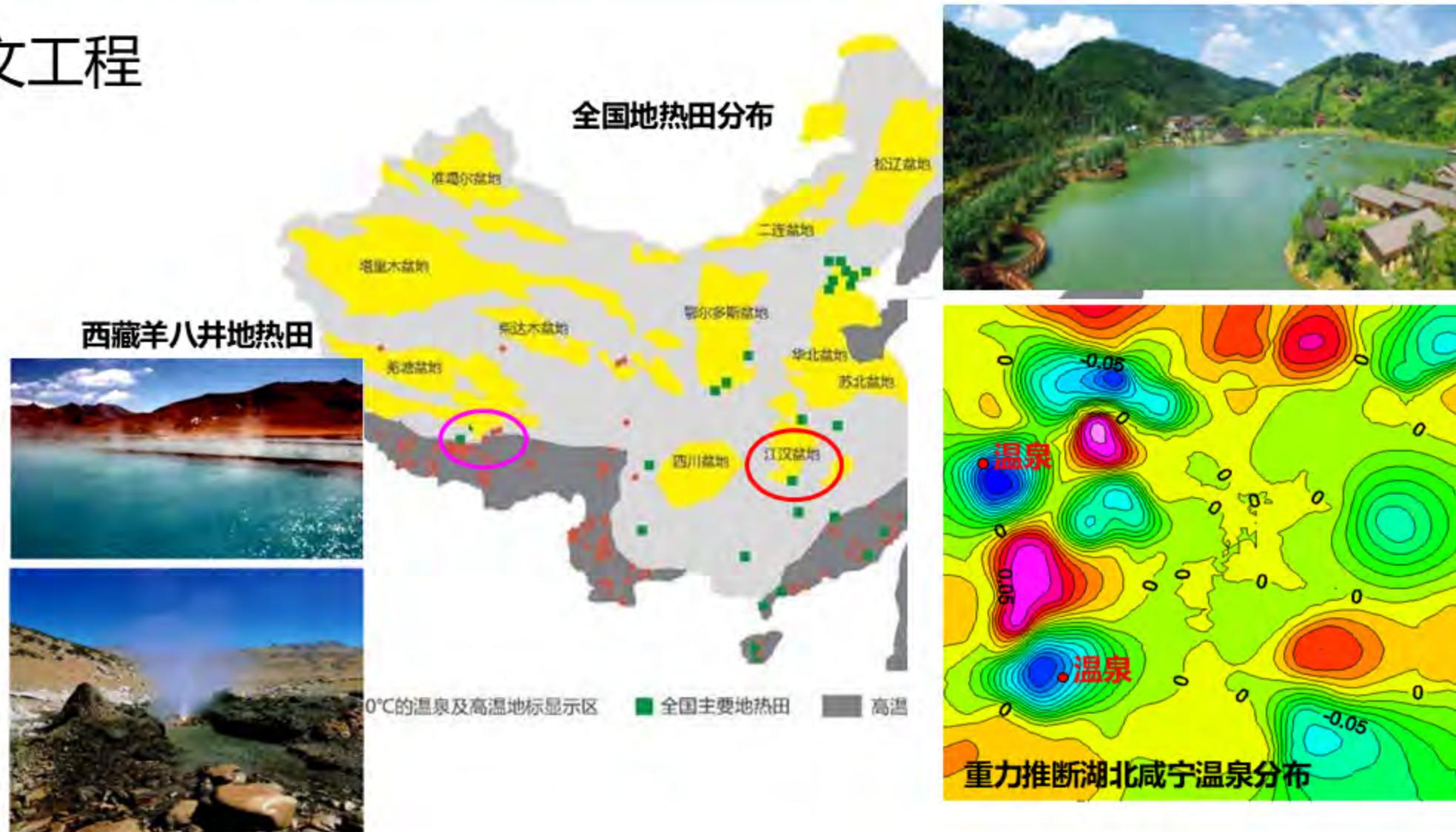
■ 水文工程



- 重力法在地热田勘探中发挥的作用
 - ✓ 研究控制地热资源的区域构造；
 - ✓ 探测热田位置和可能与热源有关的火成岩体；
 - ✓ 研究热流体动态变化，指导热田的合理开发。
- 地热田重力高：原因是基岩隆起带的地温梯度一般高于相邻的基底凹陷带，在背斜顶部的地温和地温梯度一般也比其两翼高；或由于地热田中的硅化作用，使密度加大。
- 地热田重力低：原因是岩石的热膨胀，使密度降低；或热田区地层孔隙率大，致使密度偏低；或蒸汽型热田，因属于汽相流体，故热田区密度变小。

3.重力异常的解释应用

■水文工程

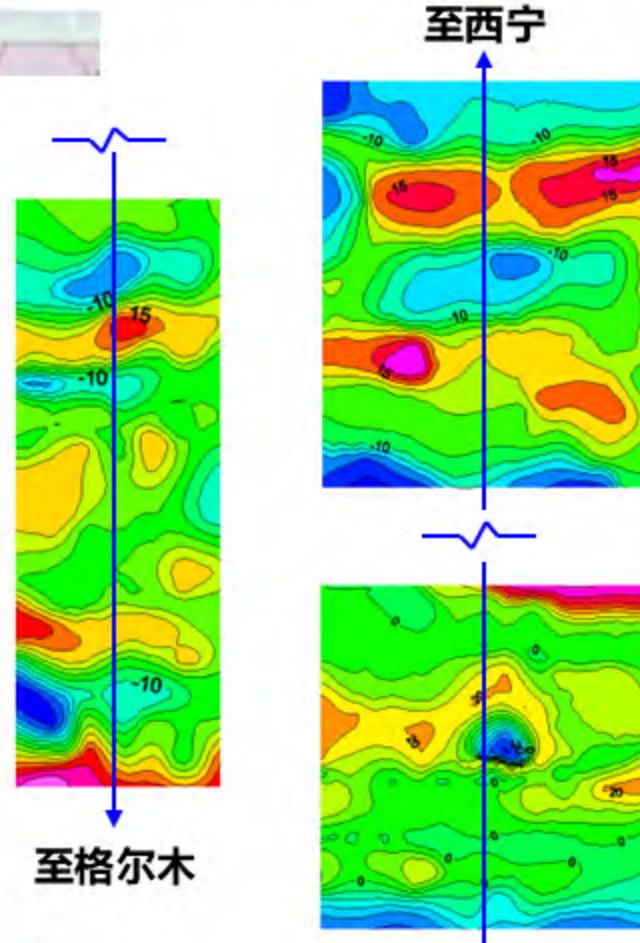


3.重力异常的解释应用

■ 水文工程

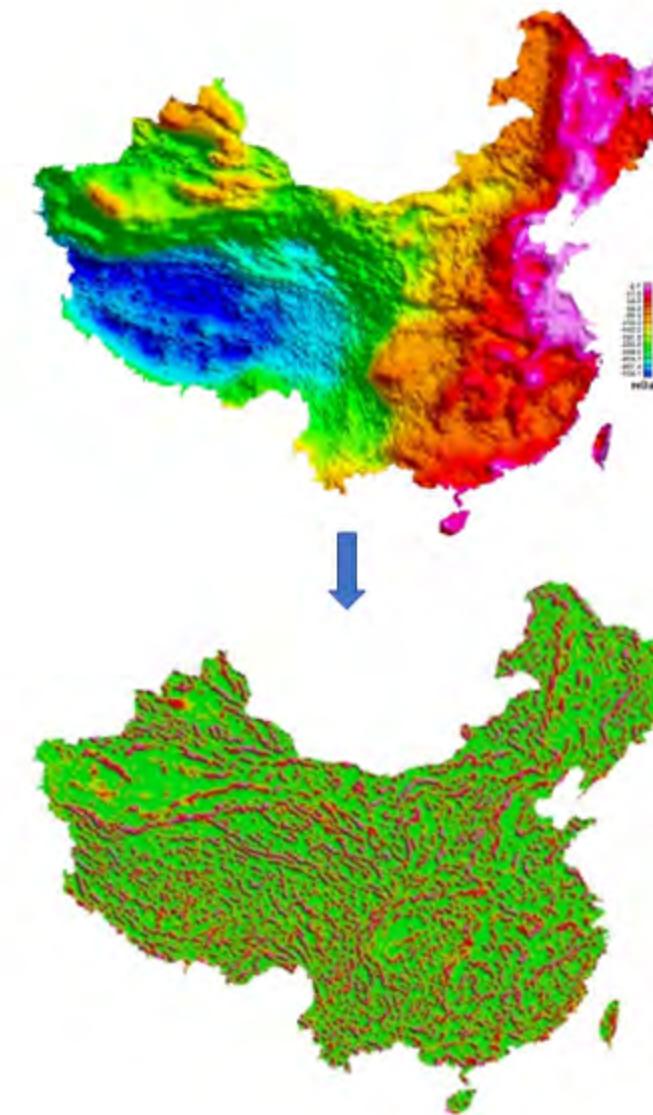
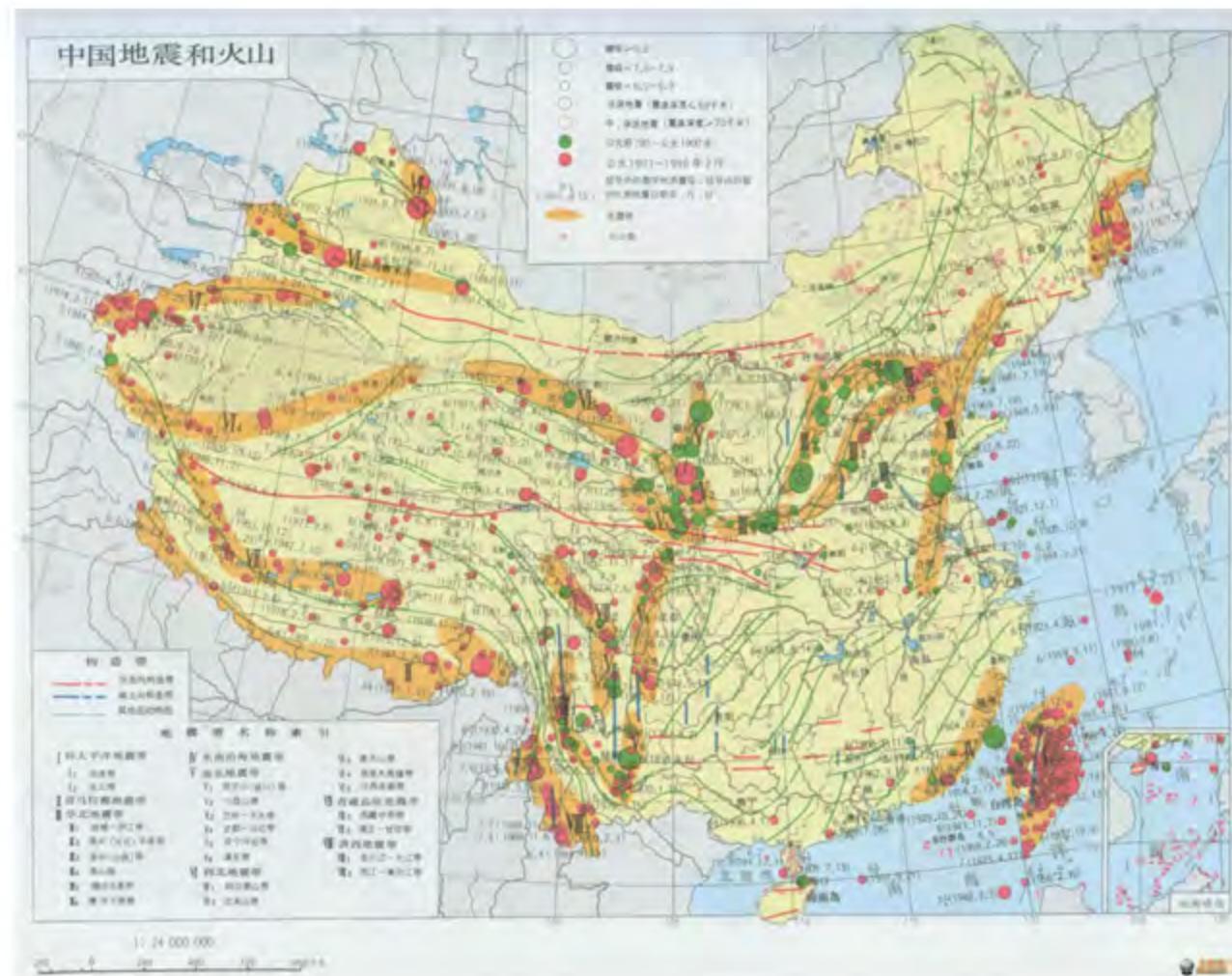


重力推断青藏铁路盐溶溶洞分布



3.重力异常的解释应用

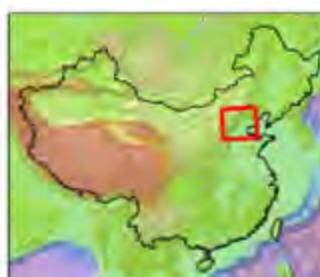
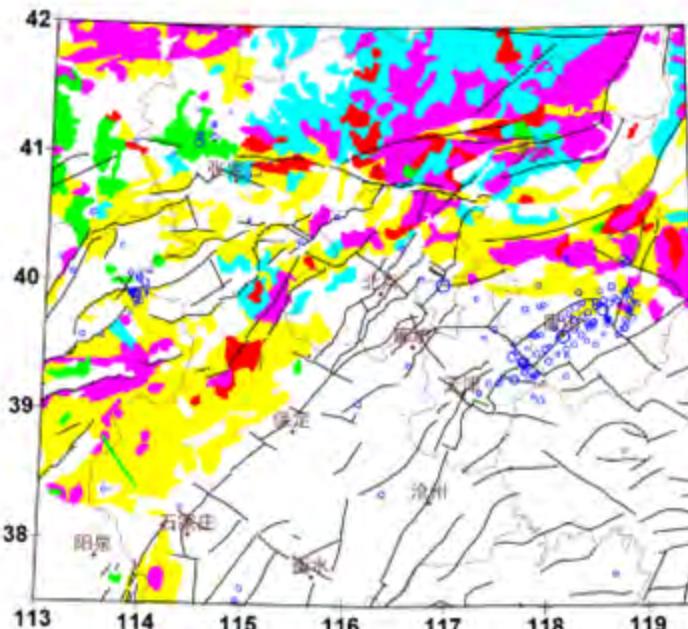
■ 地震灾害预警



3.重力异常的解释应用

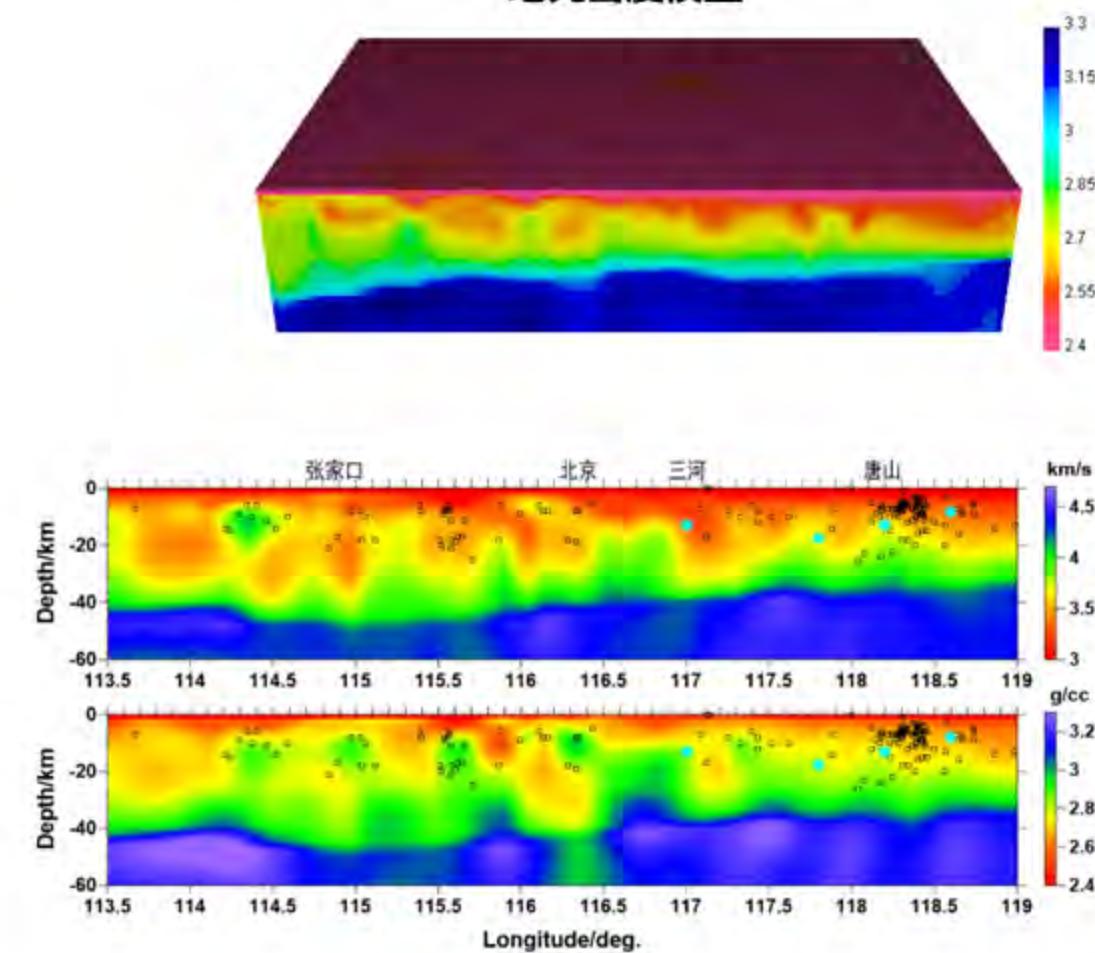
■ 地震灾害预警

首都圈孕震构造研究



Legend:
Precambrian strata
Granite
Intermediate rock
Mafic-ultramafic rock
Volcanic rock
Active faults
Earthquake epicenters

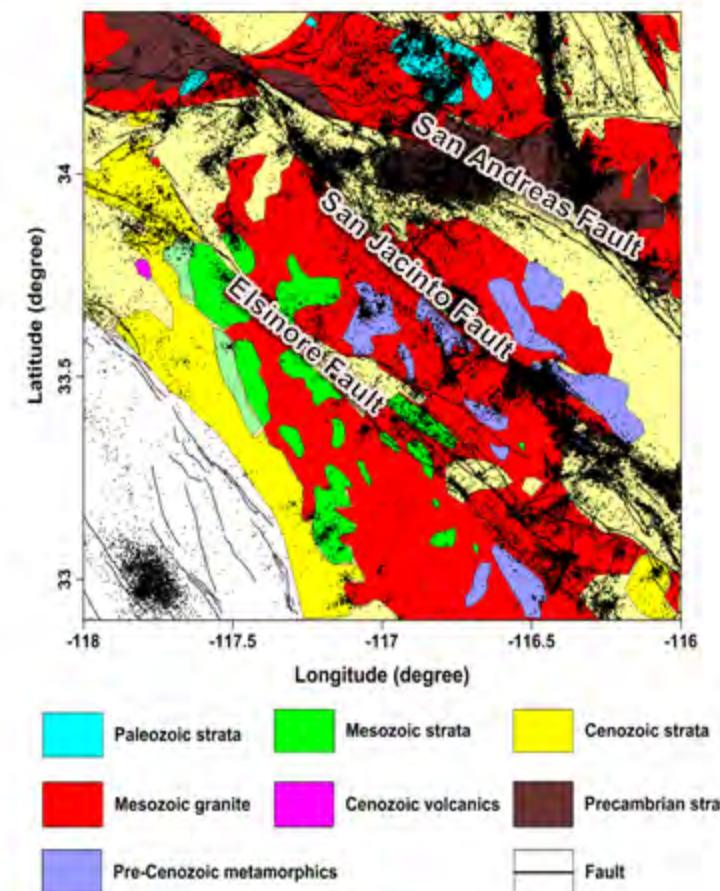
地震全波形与重力联合反演
地壳密度模型



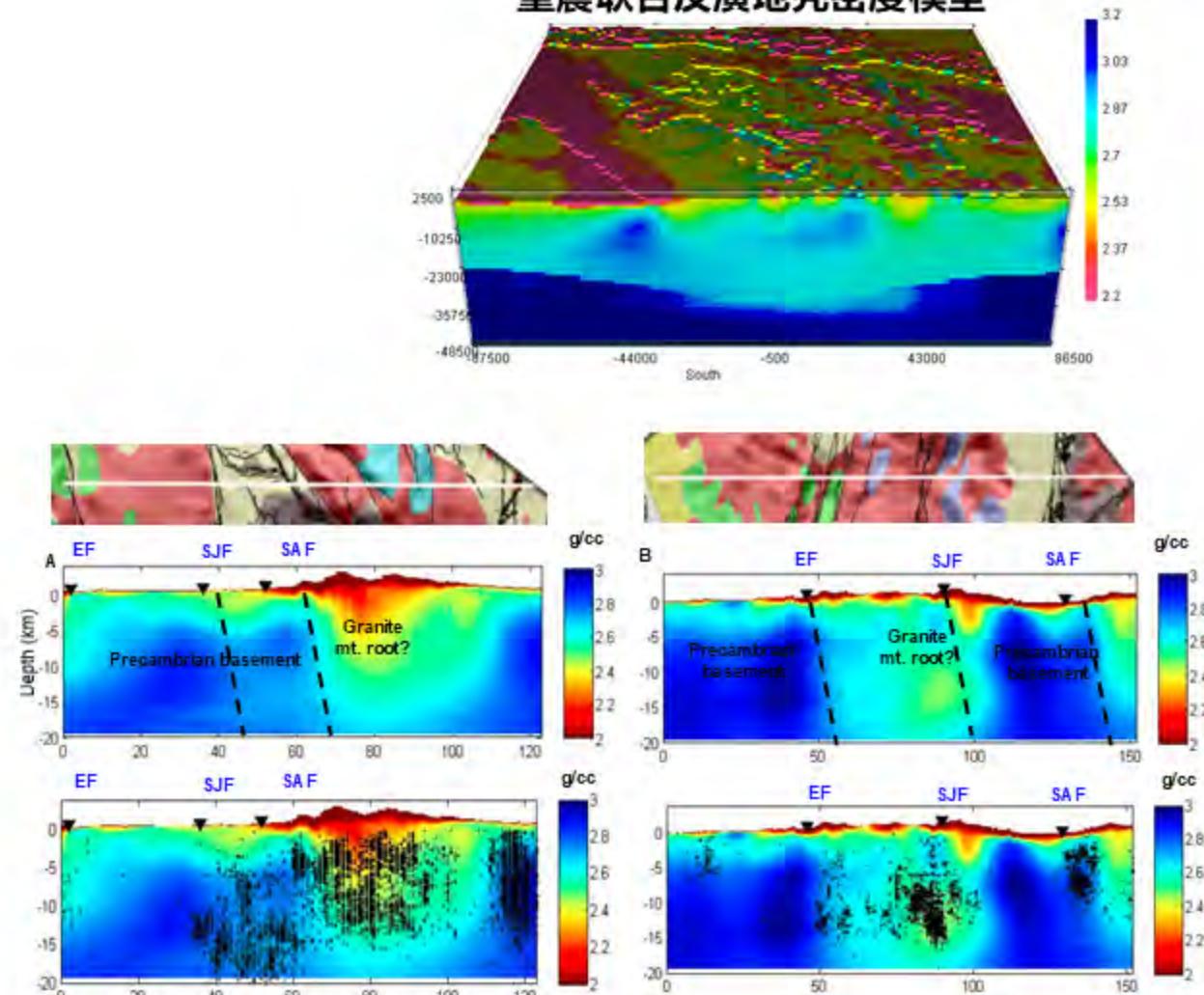
3.重力异常的解释应用

■ 地震灾害预警

美国南加州地区孕震构造研究



重震联合反演地壳密度模型



3.重力异常的解释应用

■ 地震灾害预警

流动重力测量监测地震活动

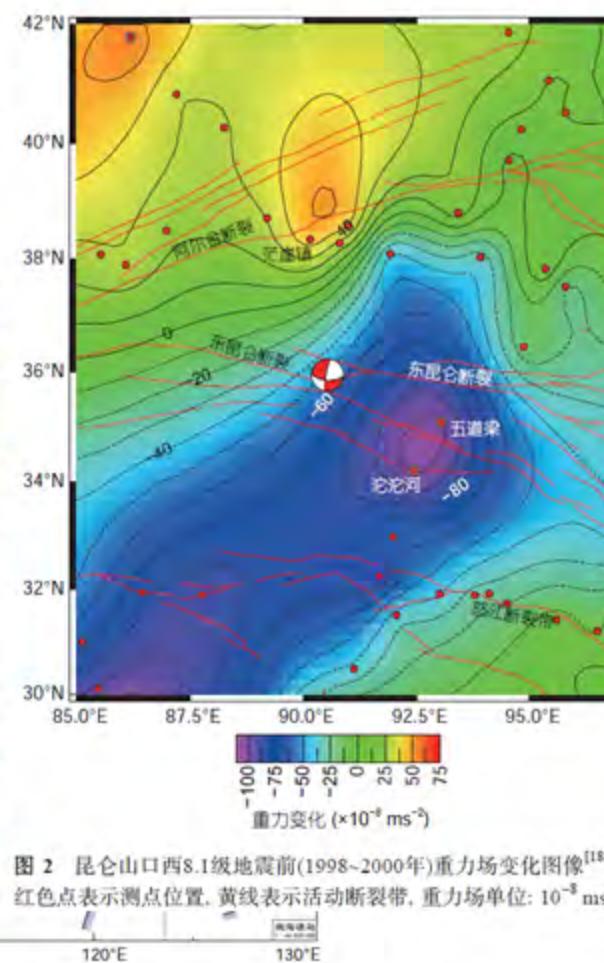
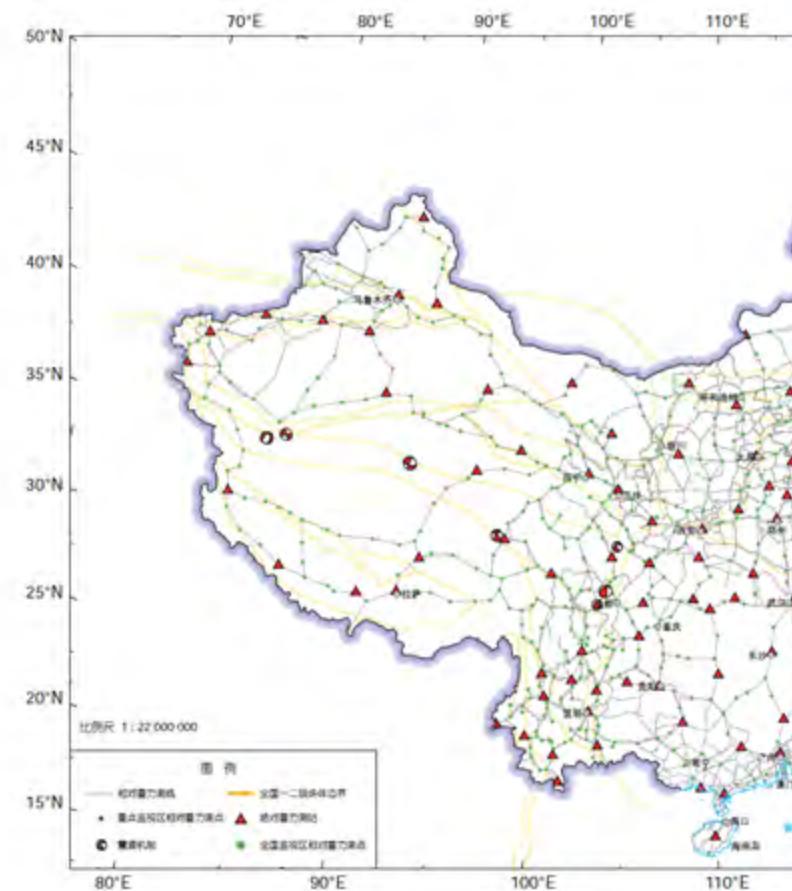


图 2 昆仑山口西8.1级地震前(1998~2000年)重力场变化图像^[18,19]
红色点表示测点位置, 黄线表示活动断裂带, 重力场单位: 10^{-8} ms^{-2}

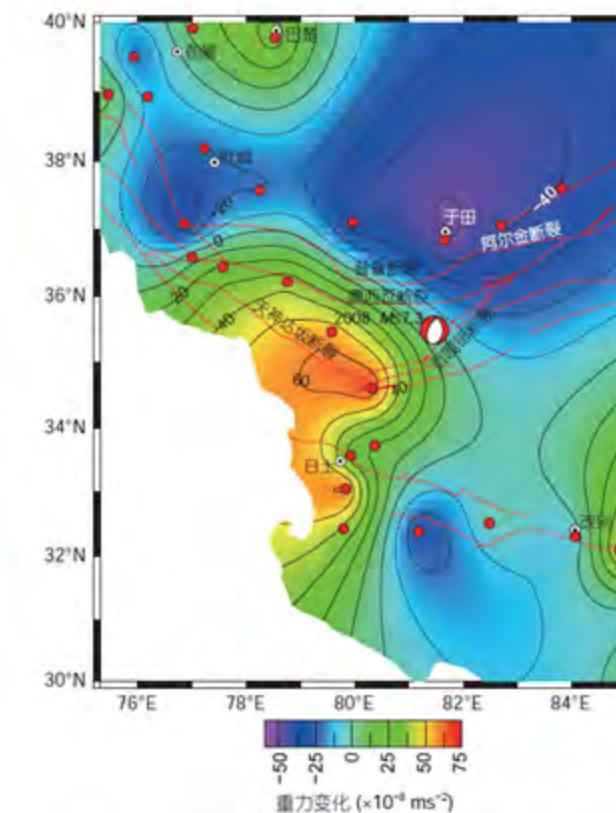
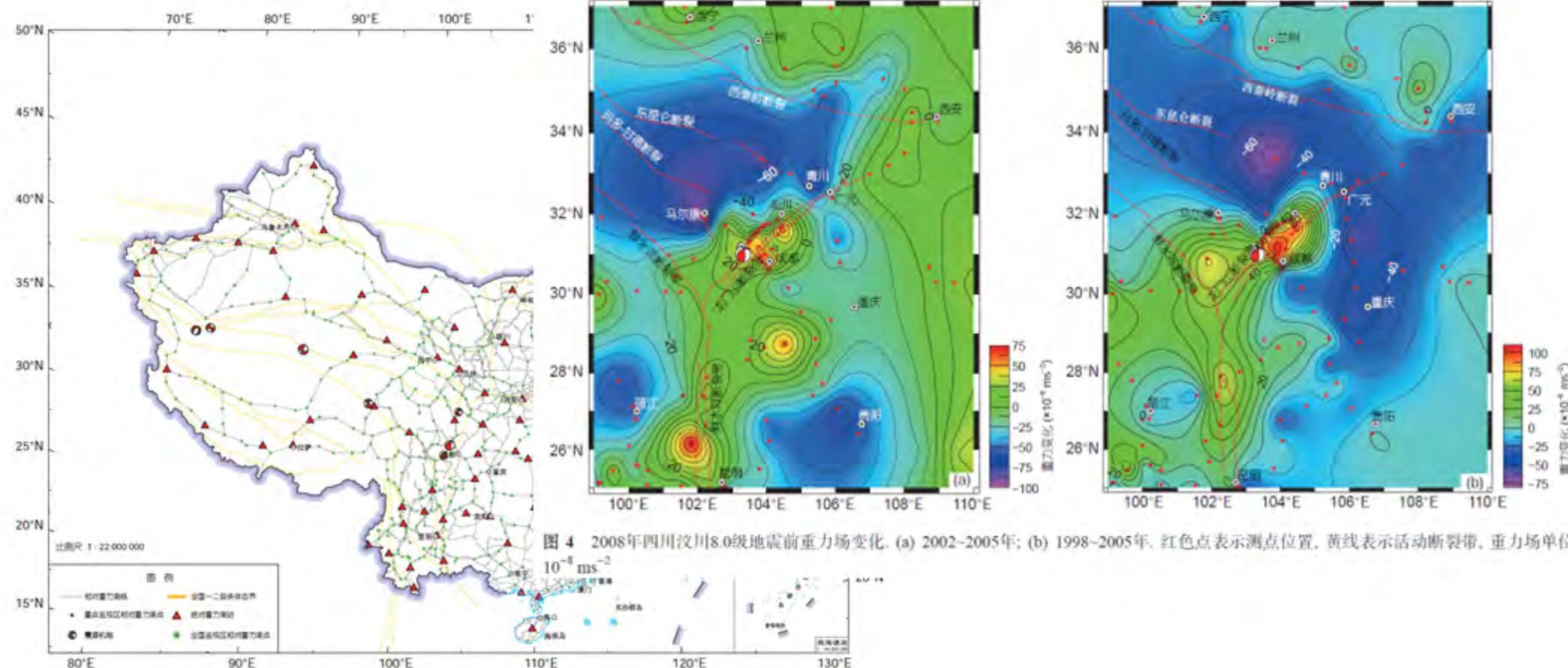


图 3 于田7.3级地震前(2002~2005年)重力场变化图像^[15]
红色点表示测点位置, 黄线表示活动断裂带, 重力场单位: 10^{-8} ms^{-2}

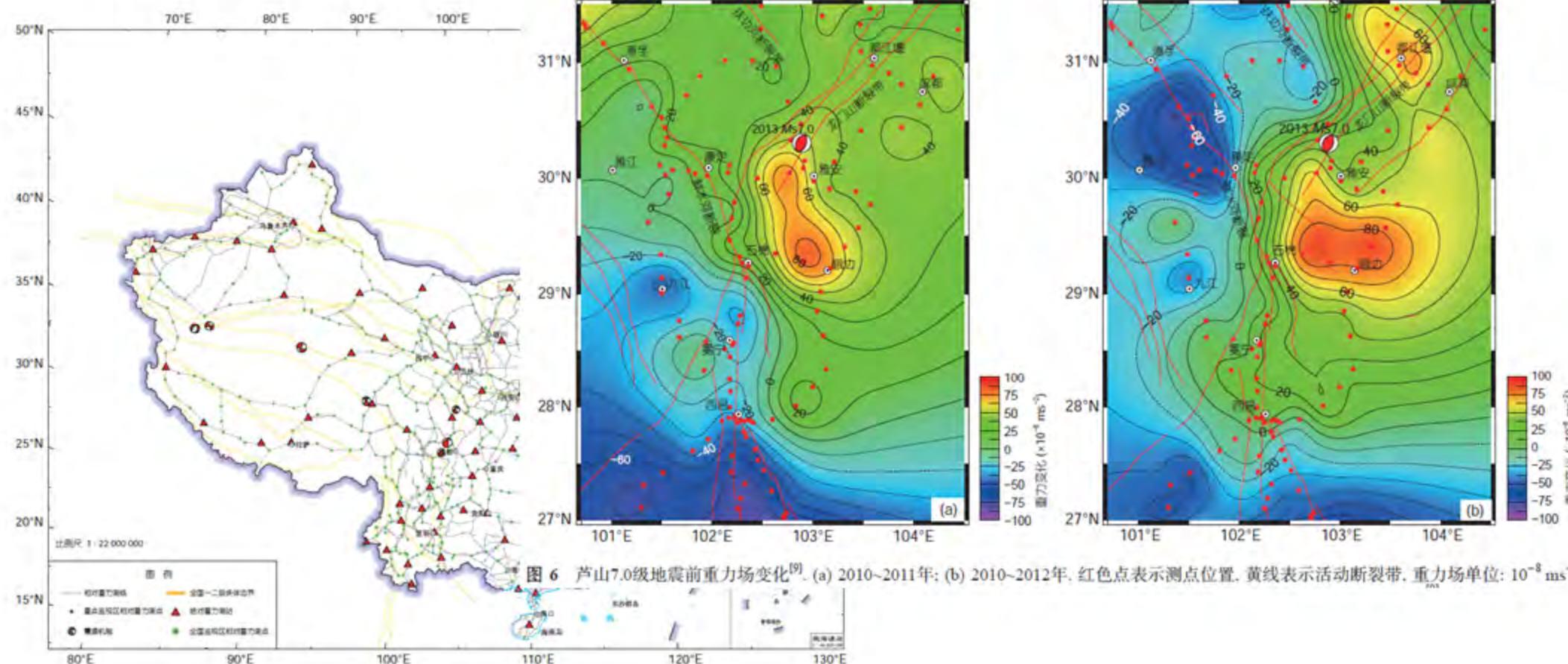
3.重力异常的解释应用

■ 地震灾害预警



3.重力异常的解释应用

■ 地震灾害预警



3.重力异常的解释应用

■ 地震灾害预警

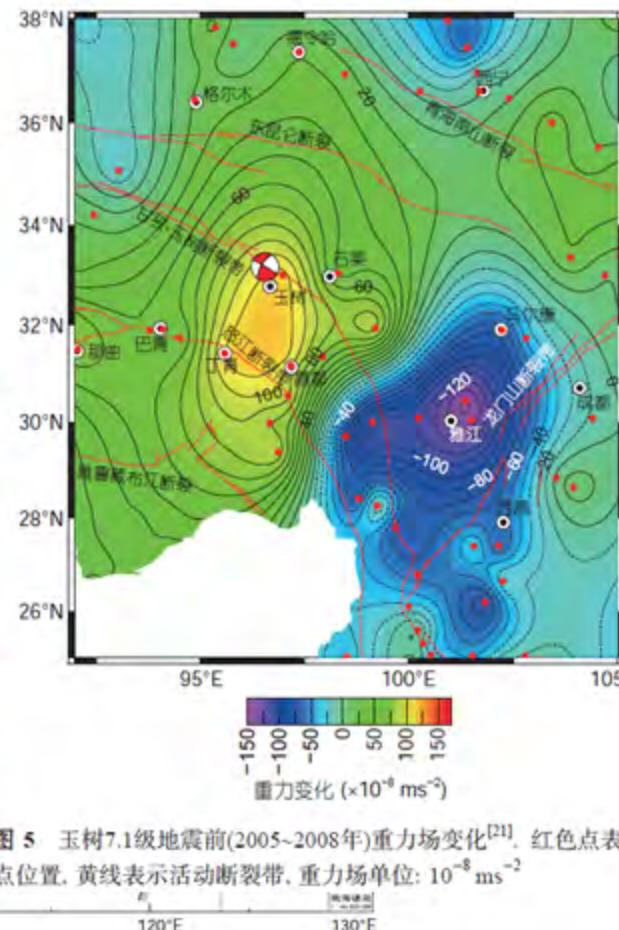
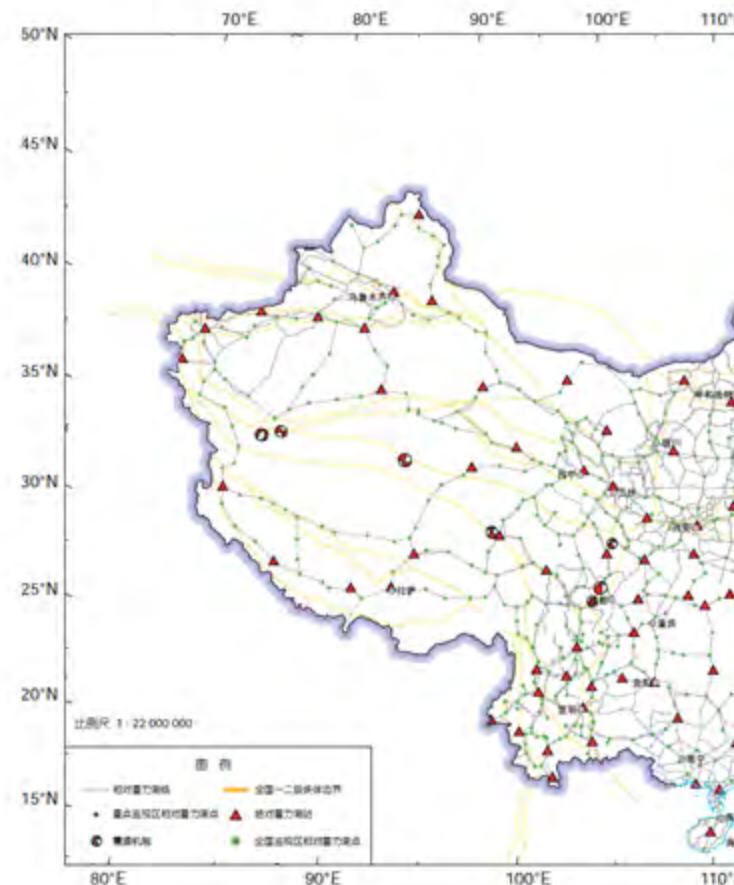


图 5 玉树7.1级地震前(2005~2008年)重力场变化^[21]。红色点表示测点位置, 黄线表示活动断裂带, 重力场单位: 10^{-8} ms^{-2}

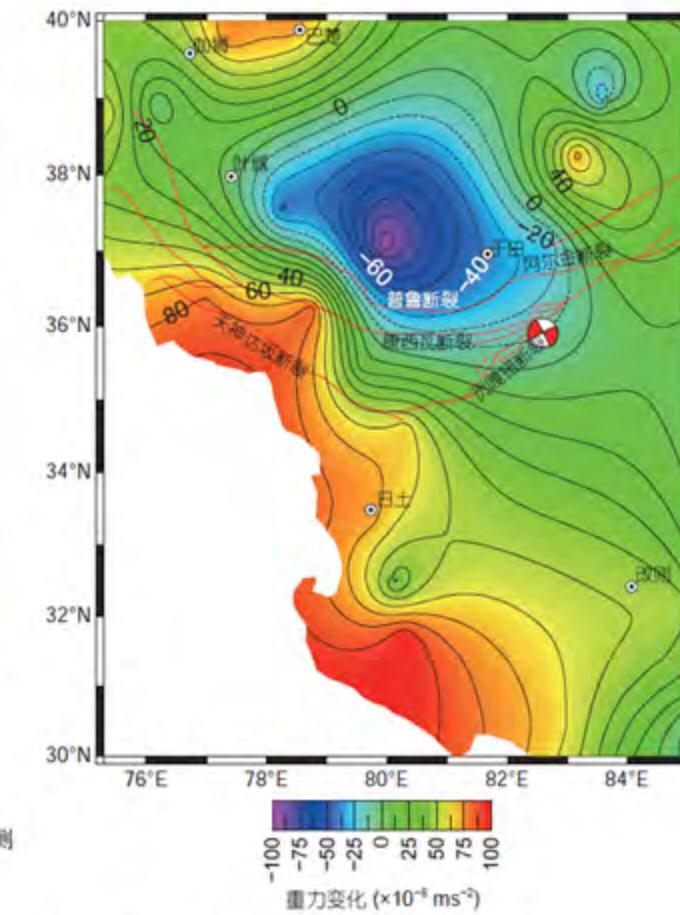
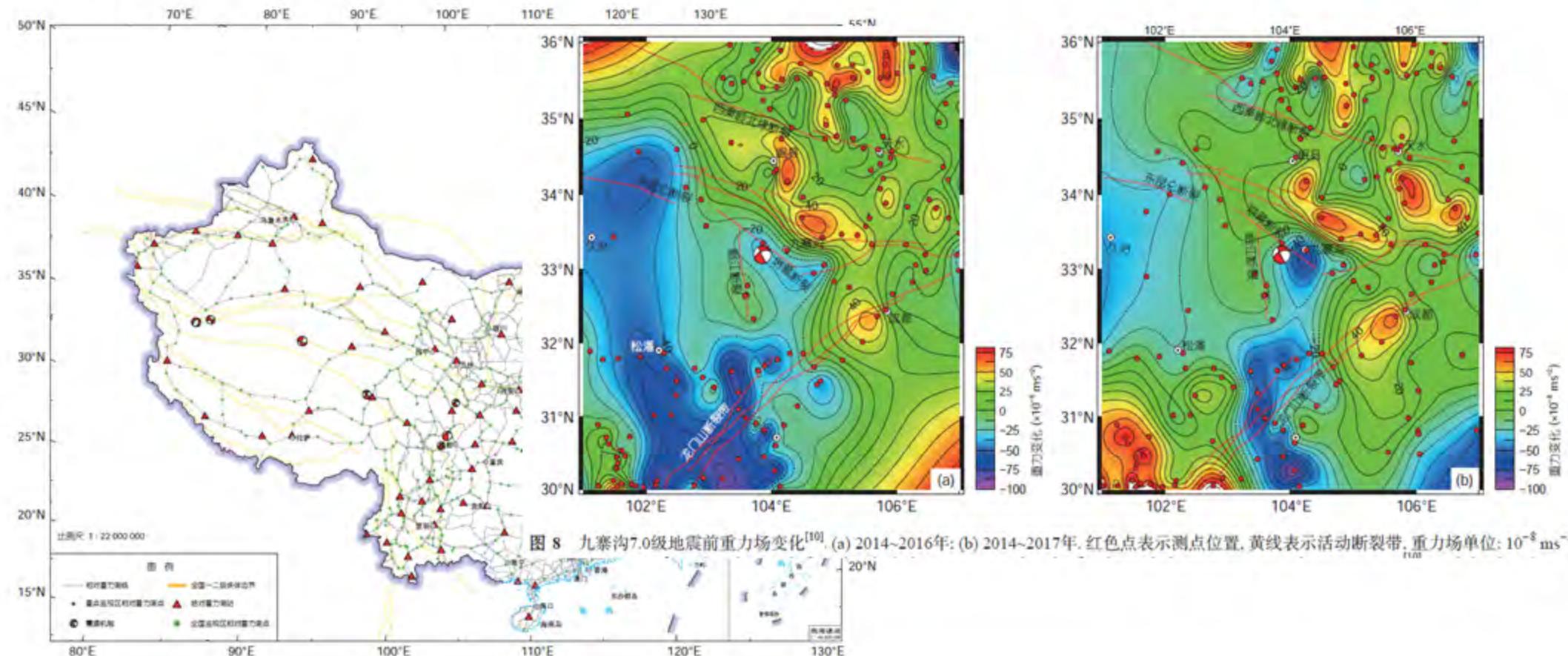


图 7 于田7.3级地震前(2010~2013年)重力场变化^[12]

3.重力异常的解释应用

■ 地震灾害预警



3.重力异常的解释应用

■军事

军事方面的应用——潜水艇导航

潜艇如何利用重力梯度避免与
水下山脉相撞？

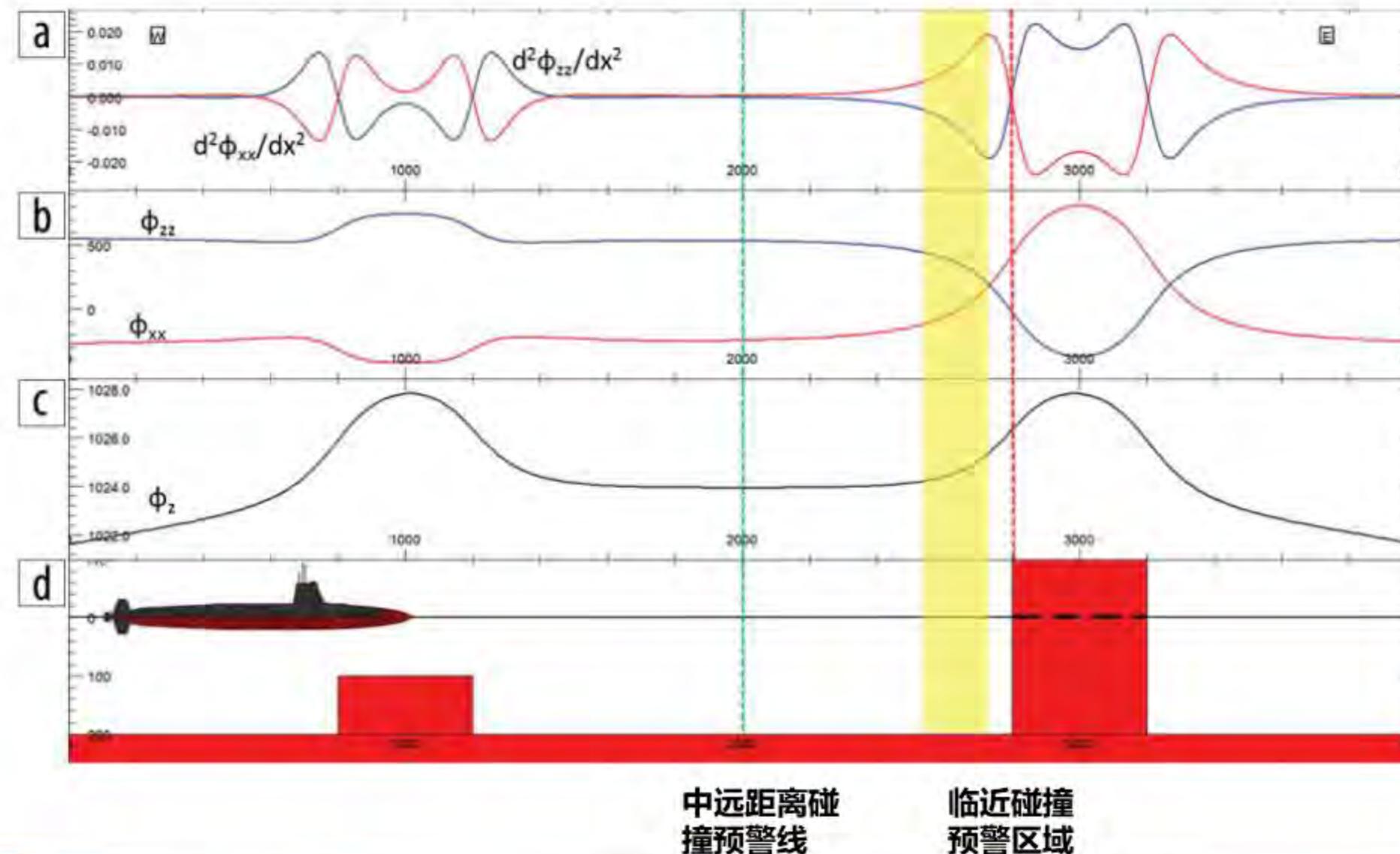
$$\mathbf{g} = (g_x, g_y, g_z)$$

[https://library.seg.org/doi/pdf/10.1190/tle
34121498.1](https://library.seg.org/doi/pdf/10.1190/tle_34121498.1)

$$CGT = \begin{pmatrix} g_{xx} & g_{xy} & g_{xz} \\ g_{yx} & g_{yy} & g_{yz} \\ g_{zx} & g_{zy} & g_{zz} \end{pmatrix}$$

3.重力异常的解释应用

■ 军事



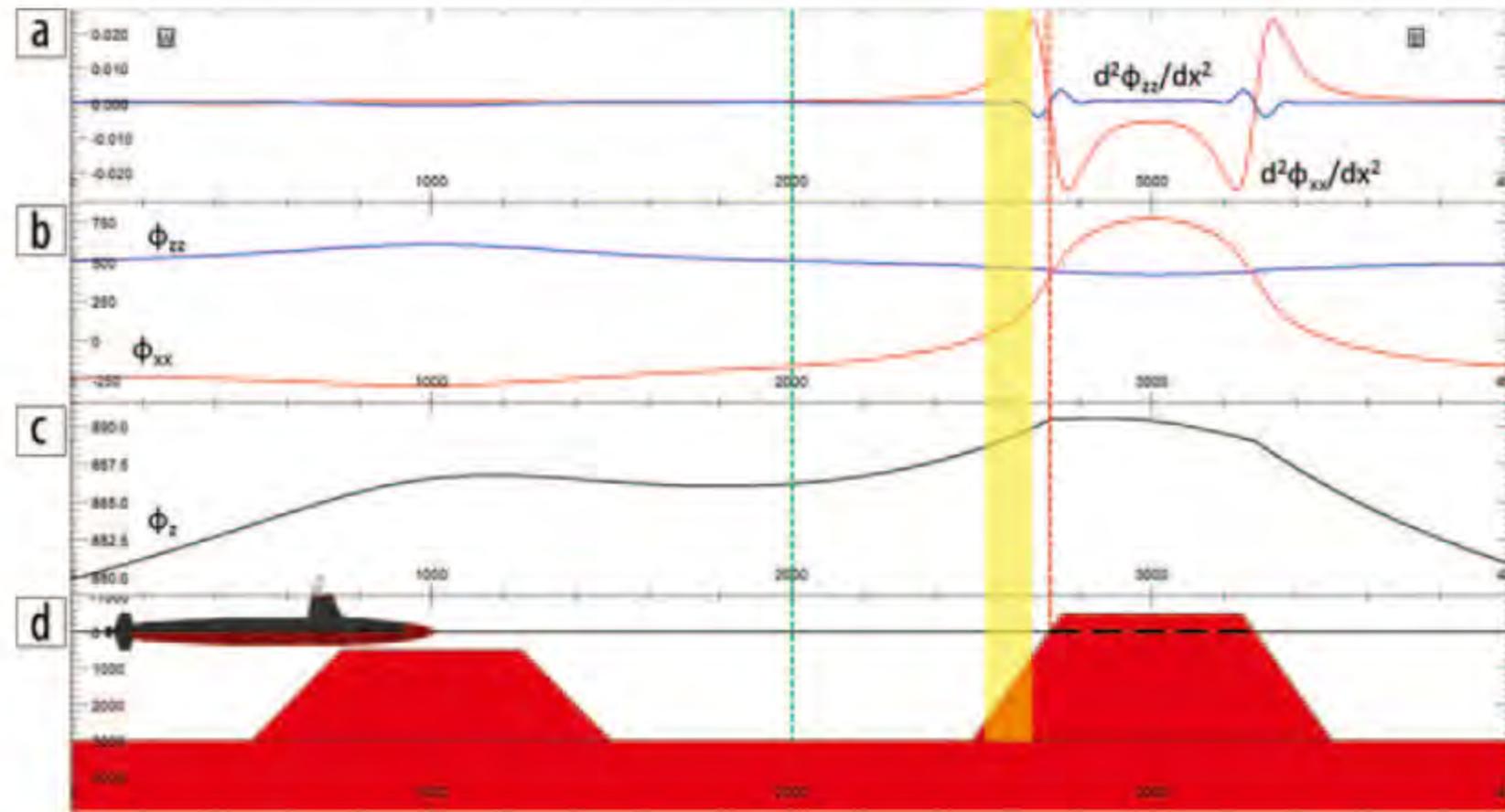
碰撞预警

Φ_{xx} 和 Φ_{zz} 的二阶水平导数分别达到最大值和最小值

Φ_{xx} 呈增大趋势
 Φ_{zz} 呈减小趋势

3.重力异常的解释应用

■ 军事



中远距离碰撞预警线

临近碰撞预警区域

碰撞预警

Φ_{xx} 和 Φ_{zz} 的二阶水平导数分别达到最大值和最小值

Φ_{xx} 呈增大趋势
 Φ_{zz} 呈减小趋势

重力梯度可以检测到敌方潜艇吗？

3.重力异常的解释应用·+

■大地测量

DOI:10.13203/j.whugis20220666

引用格式:

郭春喜,党亚民,郭鑫伟,等.珠峰峰顶大地水准面高的确定[J].武汉大学学报(信息科学版),2022,
DOI: 10.13203/j.whugis20220666 (GUO ChunXi, DANG YaMin, GUO XinWei, et al. Determination of the
geoid height at the summit of Mount Qomolangma[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*,
2022, DOI: 10.13203/j. whugis20220666)

珠峰峰顶大地水准面高的确定

郭春喜¹ 党亚民² 郭鑫伟¹ 王斌¹ 刘晓云¹ 王夏莉¹

1 自然资源部大地测量数据处理中心, 西安 710054

2 中国测绘科学研究院, 北京 100830

摘要:大地水准面高是珠峰正高确定的前提,本文通过计算珠峰似大地水准面(高程异常)以及似大地水准面与大地水准面间的高差确定大地水准面高。首先,利用地形模型、地球重力场模型、地面和航空融合重力数据等资料,基于Molodensky原理及移去-恢复技术精化珠峰地区分辨率为 $1.5' \times 1.5'$ 的重力似大地水准面;其次,利用珠峰地区GNSS水准点纠正重力似大地水准面模型,消除系统差,得到1985国家高程基准下珠峰区域的似大地水准面模型;最后,利用珠峰峰顶实测重力值,采用移去-恢复和重力归算方法,计算似大地水准面与大地水准面间的高差,完成珠峰峰顶大地水准面高的计算。结果表明:基于EIGEN-6C4参考重力场模型,融合地面、航空重力获得的重力似大地水准面精度达4.8cm,相较于单独利用地面重力资料获得模型精度提升约40%;在1985国家高程基准下,珠峰峰顶高程异常为-25.586 m,似大地水准面与大地水准面间的高差为-1.216 m,大地水准面高为-26.802±0.06 m,计算结果较2005年更加可靠。

关键词:珠穆朗玛峰; 航空重力; 似大地水准面; 移去-恢复方法; 大地水准面高

目 录

第一节 什么是地质解释

第二节 重力异常的识别

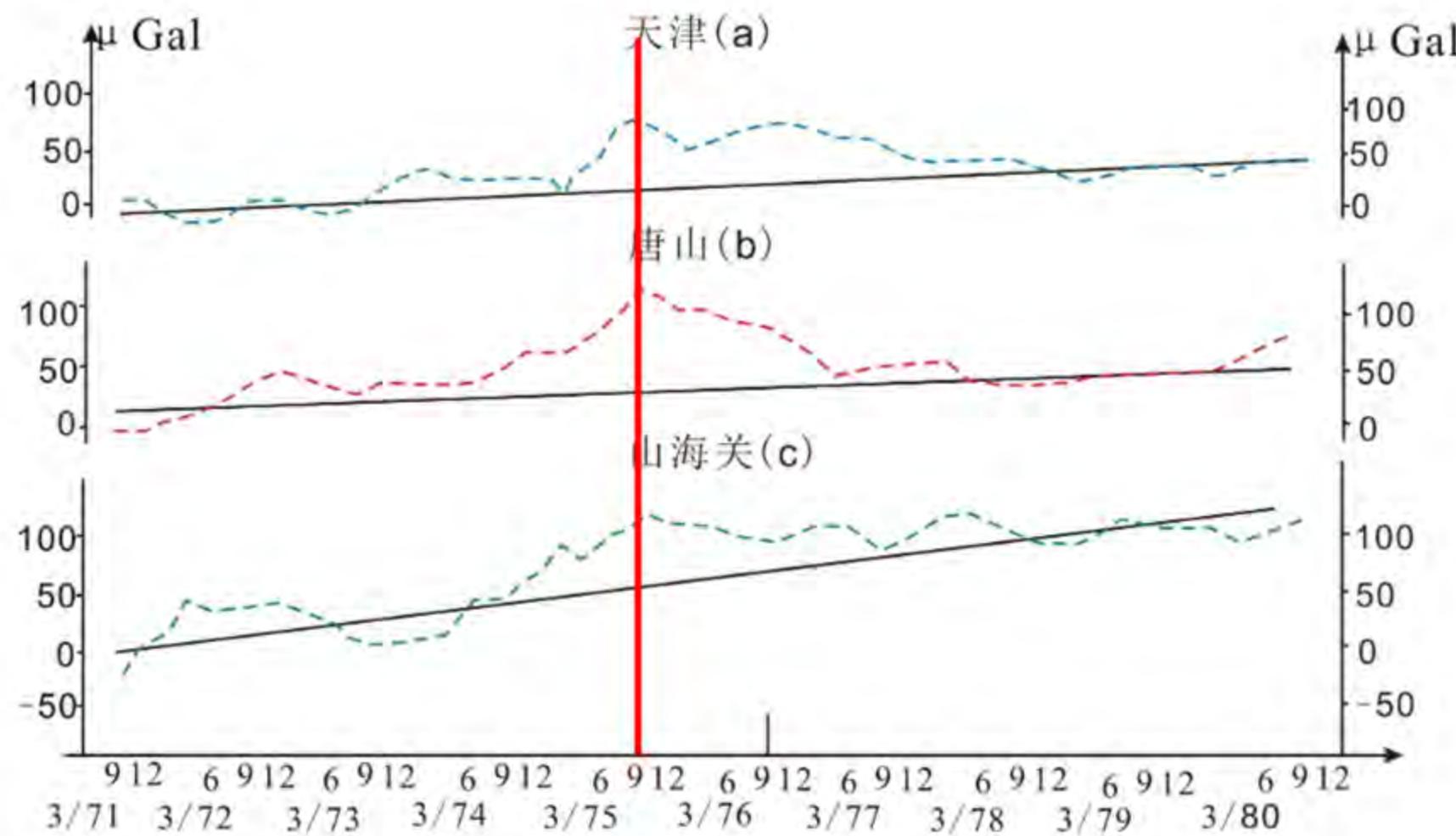
第三节 重力异常的解释应用

第四节 固体潮应用

4. 固体潮应用

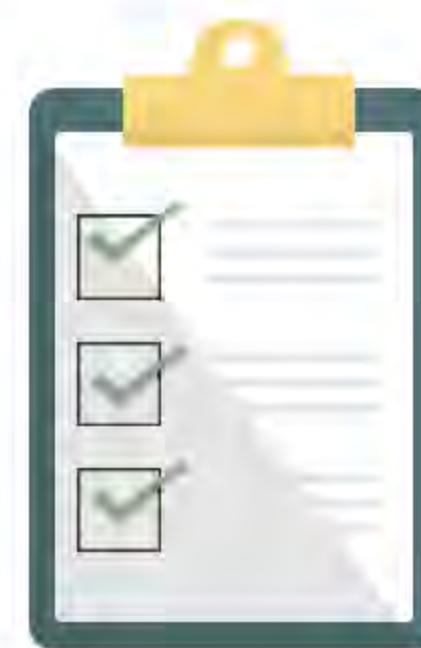
■ 固体潮的应用

唐山大地震中的固体潮变化



小结

- 重力异常的识别
- 重力学在地学中的应用



课后习题

- 识别断裂构造标志
- 古地磁如何验证大陆漂移假说



课程结束

陈涛

