

应用重力资料划分 地壳类型的一种方法

曹洛华*

(湖北省地质科学研究所)

摘 要

在与矿产有关的深部参数中,地壳基性度可用以反映地壳的组分或平均化学成份的差异。本文提出应用重力资料计算地壳视基性度的方法,并对几个有影响的参量做了一些讨论;又根据地壳视基性度提出划分地壳类型和计算壳内界面深度的方法,介绍了在鄂东南地区的应用结果。

在区域地球物理测量中,与矿产有关的参数,有人将其称做深部参数,或成矿因子。现已列为深部参数的有:莫霍面深度、壳内界面深度、硅镁层厚度和地壳组成——硅镁与硅铝层厚度比^[1],以及地壳基性度——硅镁层厚度与地壳总厚度之比值**等等。在诸深部参数中,除莫霍面深度外,它们在形式上虽是地壳的分层厚度或比值,实质却反映了地壳的组分或平均化学成份的差异。比较起来,地壳基性度最具有代表性。

苏联学者通过对苏联国内金属成矿区地壳深部构造的研究,将地壳划分为四种类型:铁镁质型(乌拉尔型)地壳、硅铝—铁镁质型(阿尔泰型)地壳、铁镁—硅铝质型(天山型)地壳和硅铝质型(远东型)地壳。其重要的区分特征,是地壳上部硅铝层厚度和下部硅镁层厚度的比例。因此,我们认为,地壳基性度可做为划分地壳类型的重要标志。

应用深部地震测量无疑可以获得(某一地壳断面的)较准确的地壳基性度,然而成本昂贵。本文提出用重力资料计算地壳基性度的方法,它是基于:

1. 岩石的密度和弹性波传播速度之间存在着回归关系的物性前提;
2. 重力场包含有较多的深部地壳和上地幔的信息。

但是,还必须说明,尽管“大地”可看作“时不变系统”,重力观测值是确定的,然而重力场的反演却存在着非单一解,重力场的反演结果,也就有着不同程度的非确定性。

应用重力资料所求得的地壳基性度数值,因选用参量不同而有所差异(后面将做讨论)。只有当纵向密度均匀时,其结果才与用地震法所得到的地壳基性度相当。这里我们把用重力资料算得的地壳基性度称作地壳视基性度,并以 J_v 表示。

一、用重力资料计算地壳视基性度的方法

(一) 以密度差比值表达的地壳基性度计算式

* 鄂东南地质大队物探分队刘钢参与了部分研究工作。

** 卢作祥等,1981年,成矿规律与成矿预测学,武汉地质学院勘探教研室编。

按地壳基性度定义,可用下式表达:

$$J = \frac{M_B}{H_M} \quad (1)$$

$$\text{而} \quad H_M = M_r + M_B \quad (2)$$

式中 M_r 为地壳上部硅铝质层厚度; M_B 为地壳下部硅镁质层厚度; H_M 为莫霍界面深度或地壳总厚度。

若设 ρ_r 为硅铝层视密度; ρ_B 为硅镁层视密度, 则地壳按厚度加权平均的视密度 $\bar{\rho}_e$ 为

$$\bar{\rho}_e = \frac{1}{H_M} (M_B \rho_B + M_r \rho_r) \quad (3)$$

由 (2)、(3) 式便可导出以密度差比值表示的地壳基性度计算式

$$J = \frac{\bar{\rho}_e - \rho_r}{\rho_B - \rho_r} \quad (4)$$

地壳物质密度的分布并非均匀, 所以各区域的 J 值不尽相同。大洋壳硅铝层很薄或缺失, 其 J 值接近或等于 1。大陆壳各处的 J 值, 取决于该处地壳的平均密度和分层密度值。岩石密度一般比较稳定, 地壳分层视密度 ρ_r 、 ρ_B 在一定的成矿区域内变化不大, 可通过深地震探测获得, 而地壳平均视密度 $\bar{\rho}_e$ 则决定于莫霍面和壳内界面的起伏, 所以用 (4) 式求取 J 值, 首先需计算出 $\bar{\rho}_e$ 值。

(二) 用布格重力异常计算地壳平均视密度

沿某一剖面所测得的 Δg , 可近似地看作具有某一相应平均密度 ρ_e 的二度地壳断面的引力作用。若将深度大于 h (图 1) 的下部断面按等宽度 $2d$ 截成 n 块, 则地面任意点 i 处的重力

$$g_i = 2\pi f \Delta \rho h + f \Delta \rho \sum_{j=1}^n \{x_{ij}, d, H_j, h\} \quad (5)$$

其中, f 为万有引力常数; $\Delta \rho$ 为界面密度差; H_j 为第 j 块二度截面底界深度; x_{ij} 为第 j 块中心地面投影点与 i 点距离。

由 (5) 式分析可见: 前一项相当于无限大水平层在 i 点的重力异常, 当 $\Delta \rho$ 和厚度 (等于埋深 h) 确定后, 其值恒定; 后一项相当于宽度为 $2d$ 、厚度不等的 n 个二度水平板在 i 点重力异常的叠加。

若将 (5) 式中 h 换以区域内莫霍面的平均深度 (即 $\Delta g_* = 0$ 处的“正常地壳厚度”) H_0 , $\Delta \rho$ 取地壳与上地幔之间的莫霍界面密度 $\Delta \rho_m$ ($\Delta \rho_m = \rho_m - \rho_e$, ρ_m 为上地幔视密度), 则在一定区域内, 前一项值近似恒定, i 点的重力异常主要取决于后一项。尚若在一个区域内, 地壳断面在 H_0 深度以上部分的密度不等于莫霍界面密度, 即 $\Delta \rho \neq \Delta \rho_m$, 则可在保持地面 Δg_* 值不变的前提下, 将该水平层内剩余质量均匀地分配到 H_0 深度以下的断面内^[2], 仍使 Δg_* 值取决于后一项的变化。对于后一项, 当 $\Delta \rho = \Delta \rho_m$ 时, 其重力异常只与莫霍面的起伏有关; 若 $\Delta \rho \neq \Delta \rho_m$, 即断面内尚有剩余质量, 则可将该剩余质量等效于密度差的增减, 即 $\Delta \rho' = \Delta \rho_m + \delta \rho_e$ 。此时 i 点的重力异常将是莫霍面起伏和地壳内剩余质量对 i 点所形成的引力场的叠加。

由于地壳内物质分布往往是不均匀的, 所以在通常情况下, 计算式中 H_0 深度以下断面的

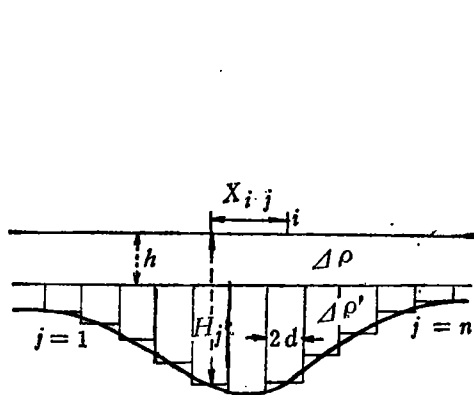


图 1

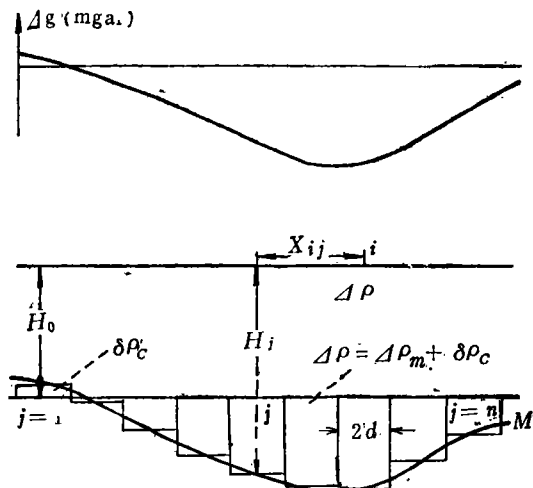


图 2

(纵坐标为mGal)

密度应取 $\Delta\rho'$ 。

用图2表示地壳(二度)断面的重力异常计算模式,并根据直立、有限延深二度板状体重力异常 Δg 计算公式,得到地面*i*点处的重力异常表达式为

$$\Delta g_i = f \Delta \rho' \sum_{j=1}^n \left\{ (x_{ij} + d) \ln \frac{(x_{ij} + d)^2 + H_j^2}{(x_{ij} + d)^2 + H_0^2} - (x_{ij} - d) \ln \frac{(x_{ij} - d)^2 + H_j^2}{(x_{ij} - d)^2 + H_0^2} \right. \\ \left. + 2H_j \left(\operatorname{tg}^{-1} \frac{x_{ij} + d}{H_j} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{x_{ij} - d}{H_j} \right) - 2H_0 \left(\operatorname{tg}^{-1} \frac{x_{ij} + d}{H_0} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{x_{ij} - d}{H_0} \right) \right\}$$

或写成函数式

$$\Delta g_i = f \sum_{j=1}^n \{x_{ij}, d, H_j, H_0\} \Delta \rho' \quad (6)$$

(6)式中, $f \sum_{j=1}^n \{x_{ij}, d, H_j, H_0\}$ 反映了地壳断面的几何参数,它与莫霍面的起伏形

状有关,在《用压缩质面法反演重力资料以估算地壳构造》^[2]一文中称作“重力异常系数”。将 $\Delta\rho' = \Delta\rho_m + \delta\rho_c$ 代入(6)式,得

$$\Delta g_i = f \sum_{j=1}^n \{x_{ij}, d, H_j, H_0\} \cdot \Delta \rho_m + f \sum_{j=1}^n \{x_{ij}, d, H_j, H_0\} \cdot \delta \rho_c \quad (7)$$

(7)式右端第一项系纯莫霍面起伏引起的重力异常;第二项乃地壳剩余质量,或剩余物质组分所产生的重力异常。

若将(7)式左端 Δg_i 换以地面观测的、并消除了浅部影响的中、深部布格重力异常 $\Delta g_{\text{布格}}^{\text{中、深}}$, $\Delta\rho_m$ 在一定区域内代以定值,则当等号右端重力异常系数已知时,便可求得地壳剩余密度增量 $\delta\rho_c$ 。

目前,研究莫霍界面深度的方法较多,不少地区已有这方面的资料,所以地壳断面的重力异常系数可通过计算而获得。于是,断面上各点地壳剩余密度增量可按式计算:

$$\delta\rho_{ci} = \frac{(\Delta g_{*}^{\text{中-基}})_i}{f \sum_{j=1}^n \{x_{ij}, d, H_j, H_0\}} - \Delta\rho_m \quad (8)$$

按图2的计算模式, 设 $\delta\rho_{ci}$ 对应地壳断面内起伏 (相当莫霍面起伏) 部分的平均厚度为 ΔH_i , 则整个地壳断面对应 i 点的平均密度:

$$\bar{\rho}_{ci} = \frac{\rho_c H_0 + (\rho_c + \delta\rho_{ci}) \Delta H_i}{H_0 + \Delta H_i} \quad (9)$$

(9) 式即是用布格重力异常计算地壳平均视密度的表达式。

(三) 地壳视基性度的计算

将 $\bar{\rho}_{ci}$ 代入 (4) 式, 即得到该地壳断面对应 i 点的地壳视基性度计算式:

$$J_{ci} = \frac{\bar{\rho}_{ci} - \rho_r}{\rho_B - \rho_r} \quad (10)$$

1. 为便于 J_i 值的计算, 再做几点说明:

(1) 计算剖面应大致垂直于区域布格重力异常走向。

(2) 地壳断面中截取板状体的宽度 $2d$ 和计算剖面间距离可与 $\frac{H_0}{2}$ 值相当; x_{ij} 以 d 为单位。

(3) $\Delta g_{*}^{\text{中-基}}$ 最好不用上延资料, 可采用原平面上 Δg_{*} 经园滑处理的结果。

(4) H_0 亦即该区莫霍面“正常深度”, 可以在研究区内 Δg_{*} 零值线上均匀选取一些有代表性的点, 按其对应莫霍面深度 H_m 进行统计平均, 或者采用邻区资料而得到。对于莫霍面高于 H_0 的地段, 计算时要注意符号。

(5) ΔH_i 应采用相邻几个点 ($H_{mi} - H_0$) 的平均值。

2. 影响 J_i 值的几个参量的讨论

由 (10) 式分析, 剖面上 i 点的地壳视基性度 J_{ci} , 是该点地壳平均密度 $\bar{\rho}_{ci}$ 的线性函数, 同时也与断面内 ρ_r 、 ρ_B 参量的选取有关, 而 $\bar{\rho}_{ci}$ 又是由 (8)、(9) 两式计算得到, 因此, J_i 实际是该点 Δg_{*} 和 ΔH 的函数。

Δg_{*} 和 ΔH 的精度, 涉及到其它方法, 在此不予分析。下面主要是对几个有影响的参量, 做一些讨论。

(1) 视密度参数

一般认为, 硅镁层密度为 $2.85-2.95\text{g/cm}^3$, 硅铝层密度为 $2.65-2.75\text{g/cm}^3$ ^[1]。取地壳平均密度为 $2.75-2.90\text{g/cm}^3$, 将它们分别代入 (10) 式, 并做出 J_i 变化曲线如图3所示。可见: J_i 值随 ρ_r 和 ρ_B 的增大有不同程度的减小, 而 ρ_r 和 ρ_B 增大, 必将导致 ρ_c 值增高, 这样又会使 J_i 值加大。所以这种消长关系, 使 ρ_r 、 ρ_B 的取值不当对 J_i 值的影响有所缓和, 但这却给 J_i 值的反演带来了多解性。图4为鄂东南地区采用两组密度参数所算得的两条 J_i 随 ρ_c 的变化曲线, 它们几乎呈平行线。可以肯定, 对于同一 J_i 值, 必将有不同组合的密度参数对应。

(2) n 值

按 (6) — (8) 式分析, n 值愈大愈接近真值。但因二度块体对计算点的重力效应与块体质心到该点距离平方呈反比, 在远离计算点处块体的效应已极微弱, 所以, 计算时勿需将 n

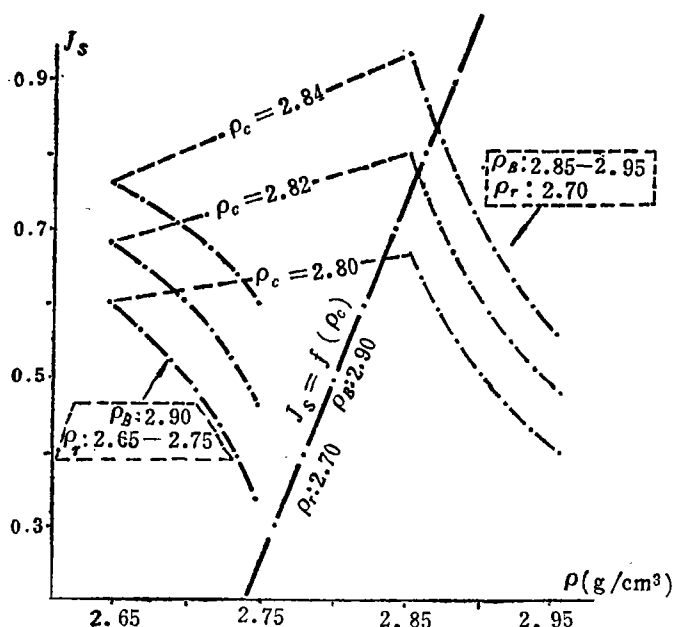


图 3

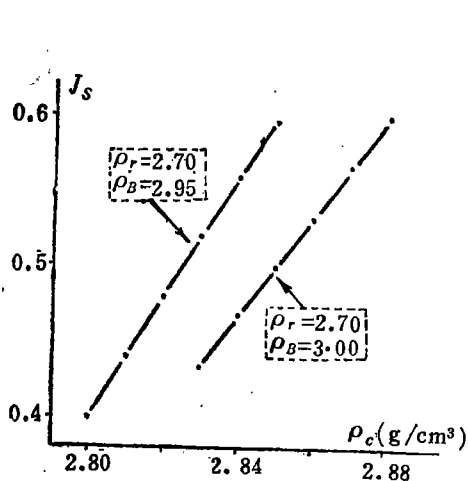


图 4

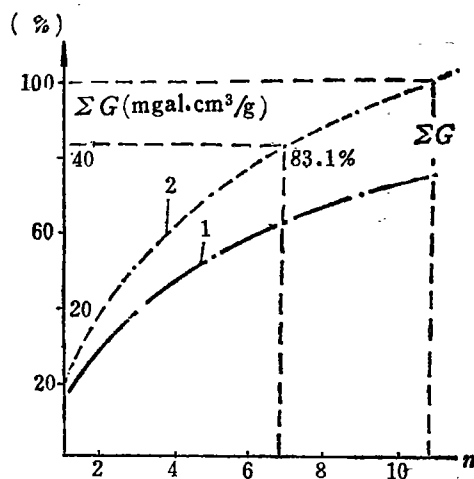


图 5

1—计算块数与重力异常系数关系曲线；2— $n=11$ ，异常系数为100%块数与重力异常系数关系曲线

值取得很大，这样不仅能减少计算工作量，而且剖面两端的点也可少舍去些。

对鄂东南区九条剖面进行计算，将计算点定在剖面的中心，当 n 取11时，边部块体对计算点的重力异常系数 ΣG 平均为中心块体系数的18.2%。如以 $n=11$ ，且令十一个块体的重力异常系数 ΣG 为100%（其计算范围为-100 km—+100 km），所取块体与 ΣG 的关系曲线如图所示5。可见，当取 $n=7$ ，计算范围为-60 km—+60 km时，其 ΣG 平均已达83.1%。在应用实例中，取 $n=7$ 。为了使其结果接近于 n 比较大时的数值，又将所计算的 ΣG 值增大了1.25

倍。

二、应用实例

在湖北省《鄂城—大冶—阳新地区控矿条件与成矿规律研究及成矿预测》* 的专题研究中,曾根据区域重力资料计算了鄂东南地区地壳视基性度 J_s ,并绘制了等值线图如图6。应用 J_s 值将鄂东南区地壳划归为三类:

(一) 偏铁镁质型 $J_s > 0.50$, 与华北地壳类似。该类地壳呈弧形带状分布,自武汉经黄梅沿长江北岸进入安徽境内。

(二) 硅铝质型 $J_s < 0.48$, 相当于华南地壳类型。主要分布在大别山和幕阜山区。

(三) 偏硅铝质型 $0.48 < J_s < 0.50$, 为上两种地壳的过渡类型。在鄂东南区分布较广。

此外,又将鄂城—大冶—阳新地区分为不同地壳类型的南、北两区:北区为偏铁镁质型地壳;南区为偏硅铝质型地壳,从而为该地区岩浆岩类型、矿化

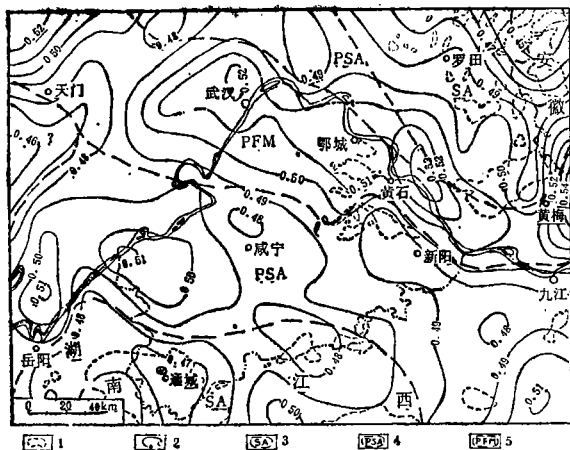


图 6

1—岩浆范围, 2—等值线, 3—硅铝质地壳, 4—偏硅铝质地壳, 5—偏铁镁质地壳

类型的划分等提供了深部构造方面的资料。

三、关于壳内界面的探讨

壳内界面,系指地壳内最明显的界面,即上部硅铝层与下部硅镁层的界面,或称作康纳界面。

按地壳基性度的含义,由 J (或 J_s) 的计算式显然可推得计算康纳界面深度的算式:

$$H_c = (1 - J_s) H_m \quad (11)$$

尽管对该界面的存在尚有争议,而且由 J_s 所算得的 H_c 在一般情况下也并非某处的真正值,但在宏观上却无疑是下部硅镁质壳的大体深度。

为检验(11)式的应用效果,假定了康纳面和莫霍面呈同步起伏和非同步起伏的两种地壳构造模型,进行了正、反演计算(见图7)。由图7可见,对于这种较简单的二度地壳断面,根据 J_s 所反演的康纳界面,与实际界面比较接近,没有出现那种用“压缩质面法”反演康纳界面总是“同步”起伏的情况。

在鄂东南地区,根据 J_s 值所推断的康纳界面起伏形态如图8所示。其深度值比较合适,

* 葛宗侠等, 1984年, 鄂城—大冶—阳新地区控矿条件与成矿规律研究及成矿预测, 湖北省地质科研所编。

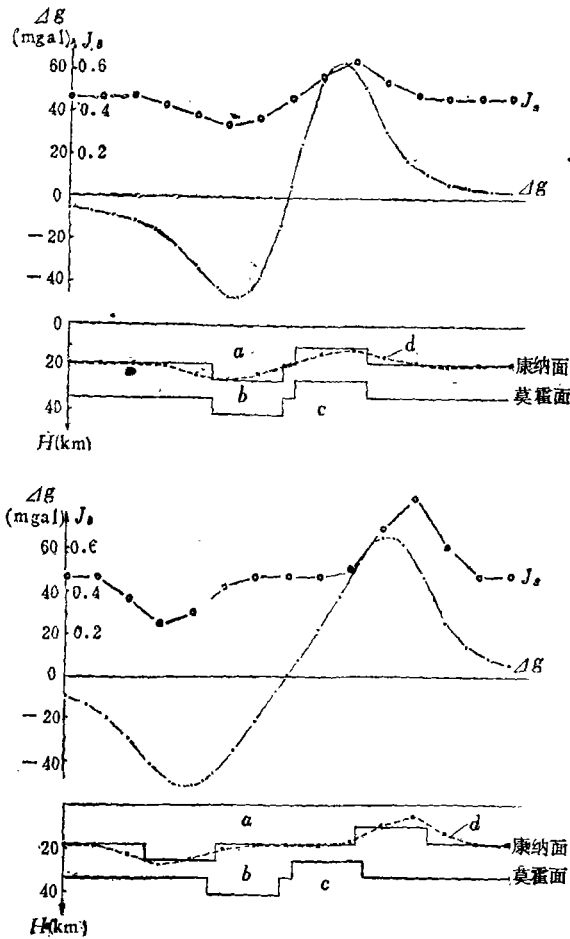


图 7

$a-\rho_r=2.70\text{g/cm}^3$; $b-\rho_B=3.00\text{g/cm}^3$; $c-\rho_M=3.279\text{g/cm}^3$; d —用 J_e 反演 H_e 连线

与莫霍界面的形态对比,也非处处相似,而且在规模较大的岩浆岩体分布区,其康纳面较深,反映了硅铝质层加厚的地壳特征。例如,在大别山岩体群和幕阜山岩体分布区 H_e 约 18km,而武汉一带 H_e 仅 15km 左右。

由模型计算和实际应用表明,在地震资料缺乏地区,可以利用 J_e 值推断康纳界面的大体形态。

参 考 文 献

- 〔1〕程家印编译:1982年,区域物探与地质找矿,物探与化探译丛,1—2期。
- 〔2〕刘元龙,王谦身,1977年,用压缩面法反演重力资料以估计地壳构造,地球物理学报,20卷1期。

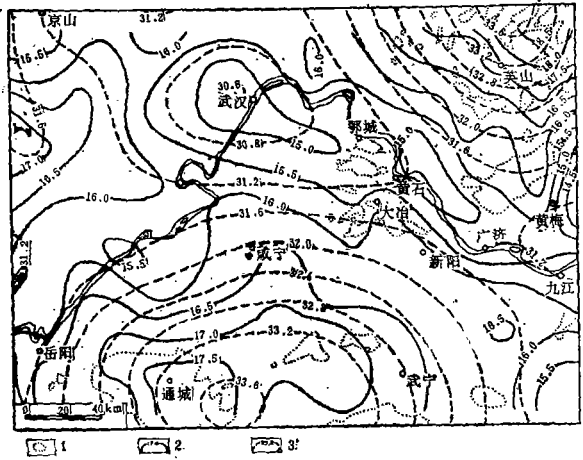


图 8

1—岩浆岩范围; 2—康纳面等深线 (km);
3—莫霍面等深线 (km)

A NEW METHOD FOR DIVISION OF THE EARTH'S CRUST BY USING GRAVITY DATA

Cao Luohua

*(Institute of Geological Sciences, Bureau of Geology and
Mineral Resources of Hubei Province)*

Abstract

Of various parameters of depths related to ore resources, the basicity might reflect the differences in components or average chemical composition of the earth's crust. A method for calculating apparent basicity of the crust by using gravity data is proposed in this paper with a discussion on some relatively decisive parameters. A technique for dividing the crust and calculating the depths of interfaces within the crust is also presented on the basis of apparent basicity together with a description of its application in southeastern Hubei.