

# 联合三极电阻率测深的 $\lambda$ 比值及分辨率

阮百尧 贺玉田 吴英隆

(桂林工学院应用物理与计算机系)

**摘 要** 电阻率联合剖面法常用电阻率 $\lambda$ 比值曲线来确定低阻体的位置,使用联合三极电阻率测深亦可计算 $\lambda$ 比值,并可画出 $\lambda$ 比值的拟断面图。对几种常见二维模型用有限元方法进行数值模拟计算,得到剖面上数个测点的 $\rho_s^A$ ,  $\rho_s^B$ 联合三极电阻率测深,然后计算 $\lambda$ 比值,结果表明,电阻率测深中 $\lambda$ 比值拟断面图在横向和纵向上均有很好的分辨率。

**关键词** 电法;联合三极电阻率测深; $\lambda$ 比值;反演方法解释;分辨率

**分类号** P631.322

在电阻率联合剖面法的实际工作中,地表覆盖层中局部电性不均匀体的存在将导致 $\rho_s^A$ 、 $\rho_s^B$ 曲线呈同步跳跃,致使联剖曲线的异常特征难以辨认,给资料解释带来困难,为了减弱或消除浅部局部电性不均匀的影响,引入了比值(F)参数和 $\lambda$ 参数。实际上,浅部的概念是相对供电电极距而言的,当供电电极距很小时,覆盖层中局部电性不均匀体异常就不再是干扰异常而变成主要异常了,此时,比值参数非但不能消除它,反而使异常更加突出。因此,比值参数实际上是突出了一定深度上的电性不均匀体的异常,这就给联合三极测深使用比值参数来分辨不同位置、不同规模的不均匀体提供了可能:小供电电极距的比值参数反映浅部不均匀体,大供电电极距反映深部不均匀体。本文给出了4种 $\lambda$ 比值的定义,并讨论了它们对几种常见二维模型的分辨能力。

## 1 联合三极电阻率测深 $\lambda$ 比值定义

联合三极电阻率测深 $\lambda$ 比值的定义有许多种,考虑到水文、工程勘测主要探测目标是基岩中的溶洞和破碎带,因此这里给出以下4种:

$$\lambda_a(i+1/2, j) = \frac{\rho_s^A(i, j)}{\rho_s^A(i+1, j)} \cdot \frac{\rho_s^B(i+1, j)}{\rho_s^B(i, j)} - 1 \quad (1)$$

$$\lambda_b(i, j) = \frac{\rho_s^A(i, j)}{\rho_s^A(i+1, j)} + \frac{\rho_s^B(i, j)}{\rho_s^B(i-1, j)} - 2 \quad (2)$$

$$\lambda_c(i, j) = \frac{\rho_s^A(i-1, j)}{\rho_s^A(i+1, j)} \cdot \frac{\rho_s^B(i+1, j)}{\rho_s^B(i-1, j)} - 1 \quad (3)$$

$$\lambda_d(i, j) = \frac{\rho_s^A(i, j)}{\rho_s^A(i+1, j)} + \frac{\rho_s^B(i, j)}{\rho_s^B(i-1, j)} - 2 + \frac{\rho_s^A(i-1, j)}{\rho_s^A(i, j)} + \frac{\rho_s^B(i+1, j)}{\rho_s^B(i, j)} - 2 \quad (4)$$

1996年5月20日收稿,8月12日改回。

第29卷第1期 阮百尧(男,1962年出生,博士,副教授,地球物理勘探专业) 2009-09-29 10:52:03 中国地质大学 (北京) 图书馆 All rights reserved. <http://www.gdgc.org.cn>

式中:  $i$  为测点号;  $j$  为供电电极距号;  $\rho_s^A$  为  $A$  极供电时的视电阻率;  $\rho_s^B$  为  $B$  极供电时的视电阻率。当地下没有电性不均匀体或不均匀体不在深测范围 (太浅或太深, 离测点太远) 时,  $\lambda$  比值为零; 地下存在低电阻体时,  $\lambda$  大于零; 地下存在高阻体时,  $\lambda$  则小于零。对水文、工程物探, 要注意的就是  $\lambda$  比值大于零的异常及异常的中心位置。

## 2 分辨率对比

### 2.1 电阻率模型的设计

根据野外常遇到的实际情况, 设计了下列 4 种模型:

模型 1: 三层大地 ( $\rho_1=100\Omega\cdot\text{m}$ ,  $h_1=5\text{m}$ ,  $\rho_2=50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $h_2=10\text{m}$ ,  $\rho_3=2000\Omega\cdot\text{m}$ ) 浅部  $\rho_1$  中有一局部低阻体 ( $\rho_0=50\Omega\cdot\text{m}$ , 宽度为  $10\text{m}$ , 厚度为  $2\text{m}$ , 顶部埋深  $1\text{m}$ ), 如图 1 (f) 所示。

模型 2: 三层大地 ( $\rho_1=100\Omega\cdot\text{m}$ ,  $h_1=5\text{m}$ ,  $\rho_2=50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $h_2=10\text{m}$ ,  $\rho_3=2000\Omega\cdot\text{m}$ ) 深部基岩  $\rho_3$  中有一直立低阻破碎带 ( $\rho_0=50\Omega\cdot\text{m}$ , 宽度为  $10\text{m}$ , 厚度为  $15\text{m}$ ), 如图 2 (f) 所示。

模型 3: 三层大地 ( $\rho_1=100\Omega\cdot\text{m}$ ,  $h_1=5\text{m}$ ,  $\rho_2=50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $h_2=10\text{m}$ ,  $\rho_3=2000\Omega\cdot\text{m}$ ) 浅部  $\rho_1$  中有一局部低阻体 ( $\rho_0=50\Omega\cdot\text{m}$ , 宽度为  $20\text{m}$ , 厚度为  $1\text{m}$ , 顶部埋深  $1\text{m}$ ), 深部基岩  $\rho_3$  中又有一直立低阻破碎带 ( $\rho_0=50\Omega\cdot\text{m}$ , 宽度为  $20\text{m}$ , 厚度为  $15\text{m}$ ), 如图 3 (f) 所示。

模型 4: 三层大地 ( $\rho_1=100\Omega\cdot\text{m}$ ,  $h_1=5\text{m}$ ,  $\rho_2=50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $h_2=10\text{m}$ ,  $\rho_3=2000\Omega\cdot\text{m}$ ) 深部基岩  $\rho_3$  中有二间距为  $10\text{m}$  的直立低阻破碎带 (电阻率  $\rho_0$  均为  $50\Omega\cdot\text{m}$ , 宽度为  $10\text{m}$ , 延深为  $15\text{m}$ ), 如图 4 (f) 所示。

### 2.2 结果分析

对上述 4 种模型用有限元法进行正演数值计算, 所得的对称四极的视电阻率  $\rho_s$  拟断面图如各图 (e) 所示, 再用 (1) 至 (4) 式计算各模型的联合三极测深的视电阻率  $\rho_s^A$ 、 $\rho_s^B$  的比值  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_c$ ,  $\lambda_d$ , 其拟断面图见图 (a) 至 (b)。对结果分析可知:

(1) 对于埋深很浅、位于覆盖层中的局部低阻体 (图 1),  $\rho_s$  拟断面图 (e) 表现为向下凹陷的低阻异常, 从浅部到深部异常越来越明显, 易误认为从浅部到深部都有低阻体存在, 而  $\lambda$  拟断面图均反映出低阻体仅赋存于浅部覆盖层中。

(2) 对于覆盖层以下, 高阻基岩中的低阻体 (图 2),  $\lambda$  异常中心同样位于较深的位置, 与低阻体的位置对应很好。

(3) 当浅部覆盖层中存在局部低阻体, 深部基岩中又存在另一低阻体时 (图 3),  $\rho_s$  拟断面图 (e) 仍表现为向下凹陷的低阻异常, 与图 1 的异常形态十分相似, 难以判断深部是否有低阻体存在, 而  $\lambda$  拟断面图则明显地反映了上下两个互相分离的异常, 表明深部还有低阻体存在。当然, 当上下 2 个低阻体相隔距离不大, 则  $\lambda$  拟断面图仅反映了一个异常, 异常的中心和大小反映了 2 个低阻体总体的位置及大致范围。

(4) 对于 2 个互相平行的低阻体 (图 4), 当它们的间隔与埋深相当时, 在  $\rho_s$  拟断面图 (e) 上表现为一比较宽缓的低阻异常带, 不能确定有两个低阻体存在, 而  $\lambda$  拟断面图 (a) 则表现为两个互相分离的异常, 且异常的中心位置与 2 个低阻体位置相对应。

(5) 从  $\lambda$  比值定义来说,  $\lambda_a$  的横向和纵向分辨率都很好;  $\lambda_c$  和  $\lambda_d$  的分辨率相似, 纵向

分辨率较好, 横向分辨低于  $\lambda_a$ ;  $\lambda_b$  的分辨率相对来说较差。

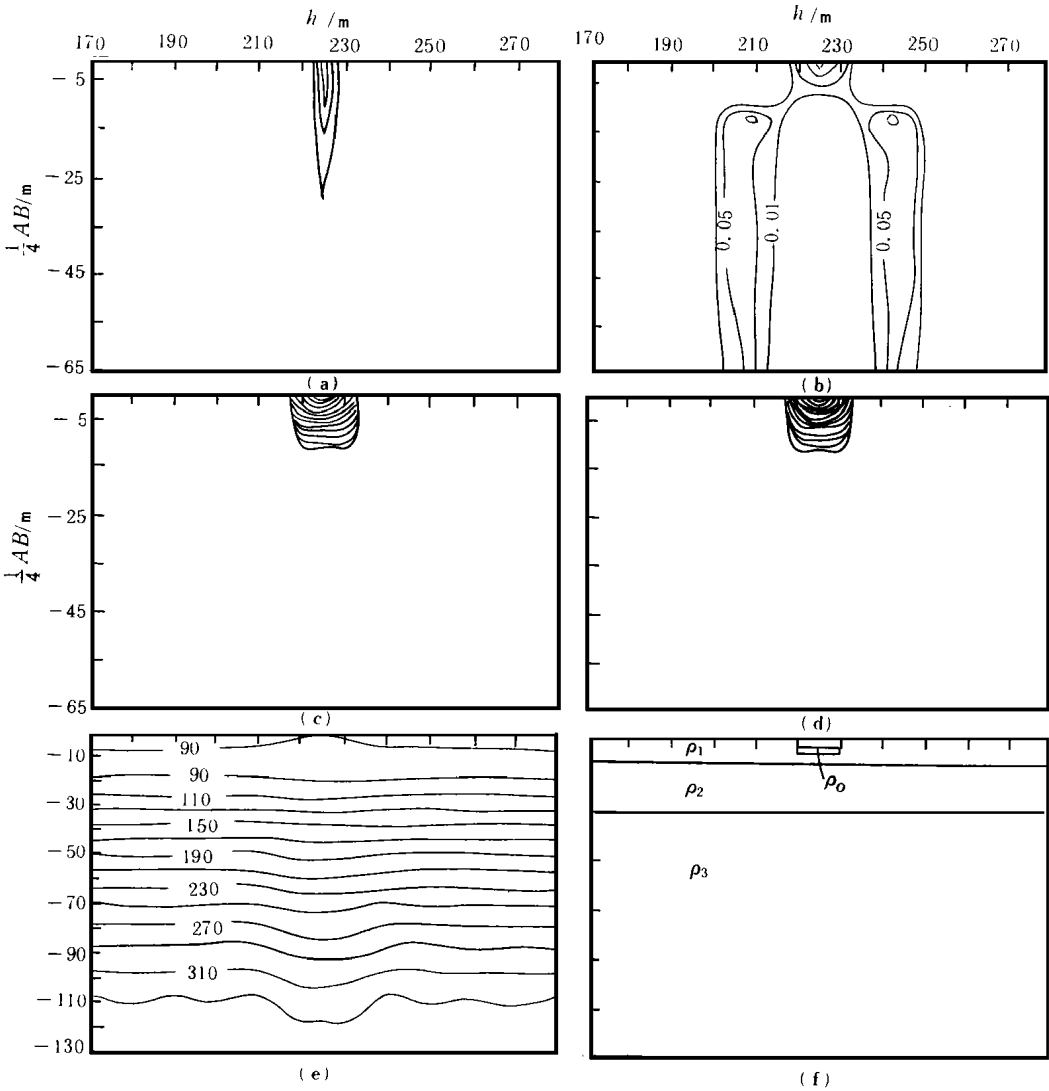


图 1 模型 1 视电阻率  $\rho_s$  和电阻率比值  $\lambda$  拟断面图

( $\rho_0=50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\rho_1=100\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\rho_2=50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\rho_3=2000\Omega\cdot\text{m}$ )

(a) —电阻率比值  $\lambda_a$  拟断面图; (b) —电阻率比值  $\lambda_b$  拟断面图; (c) —电阻率比值  $\lambda_c$  拟断面图;  
(d) —电阻率比值  $\lambda_d$  拟断面图; (e) —视电阻率  $\rho_s$  拟断面图; (f) —模型示意图

Fig 1 The isohmic section of apparent resistivity ( $\rho_s$ ) and ratio ( $\lambda$ ) for model 1

(a)  $\lambda_a$  (b)  $\lambda_b$  (c)  $\lambda_c$  (d)  $\lambda_d$  (e)  $\rho_s$  (f) model

### 3 实例

在柳州为评价某大厦地基地下基岩稳定性而进行的直流电阻率测深工作共布置了 8 条剖面共 64 个测深点 (线距 4m, 点距 4m, 最小  $AB/2=10\text{m}$ ,  $MN/2=3\text{m}$ )。图 5 是该地第 6 剖面的  $\rho_s$  拟断面图 (a) 和  $\lambda$  比值拟断面图 (b)。从图中可明显看出,  $\rho_s$  拟断面图 1 至 9 号

点和 29 号点下从浅部到深部向下凹陷的低阻异常，分别是由中心在 5 至 9 号点和 25 至 29 号点的两个低阻体所引起（参见  $\lambda$  图），它们的埋深不大于 25m。据钻孔结果，该地基岩的平均埋深约 25m 左右，因此这两低阻体均位于覆盖层中，这对以基岩为持力层的大厦基础将不会影响。值得注意的是在 21 至 25 号点下方， $\lambda_d$  断面等值线图在深部有一异常圈闭区（ $\lambda_a=0.1$ ），这反映该点下方基岩存在破碎或断层。用二维反演和声波探测结果都表明该异常的存在。因此，应引起高度重视。

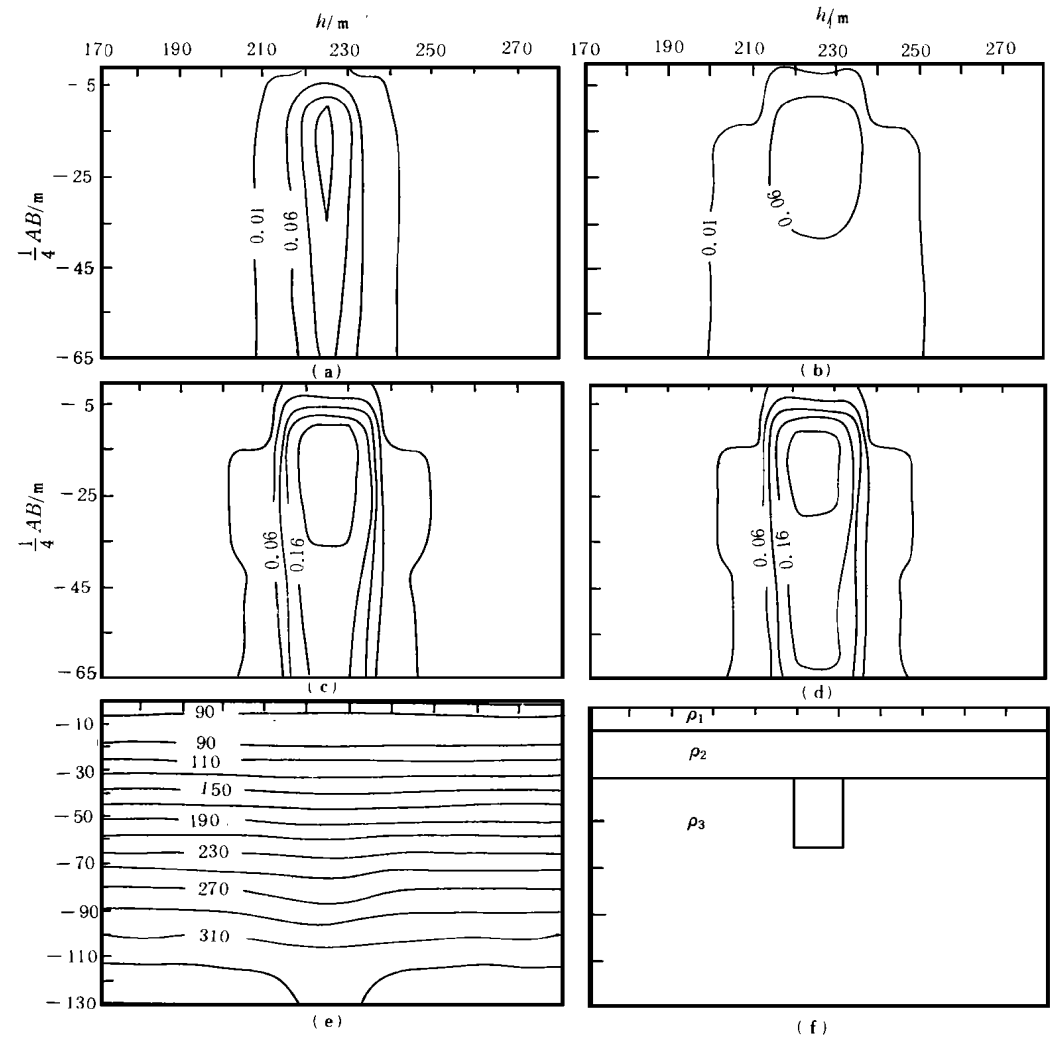


图 2 模型 2 视电阻率  $\rho_s$  和电阻率比值  $\lambda$  拟断面图  
( $\rho_0=50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\rho_1=100\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\rho_2=50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\rho_3=2000\Omega\cdot\text{m}$ )

Fig 2 The isohmic section of apparent resistivity ( $\rho_s$ ) and ratio ( $\lambda$ ) for model 2  
—电阻率比值  $\lambda_a$  拟断面图 ( $\lambda_a$ ) (b) —电阻率比值  $\lambda_b$  拟断面图 ( $\lambda_b$ ) (c) —电阻率比值  $\lambda_c$  拟断面图 ( $\lambda_c$ )  
(d) —电阻率比值  $\lambda_d$  拟断面图 ( $\lambda_d$ ) (e) —视电阻率  $\rho_s$  拟断面图 ( $\rho_s$ ) (f) —模型示意图 (model)

4 结论

对联合三极电阻率测深  $\lambda$  比值的初步研究和在应用中尝试表明，为了确定水平地层中局

部低阻体的赋存情况, 利用  $\lambda$  比值拟断面图与利用常规四极测深的  $\rho_s$  拟断面图比较, 前者的纵向分辨率和横向分辨率都明显高于后者。当然后者对成层大地地层的分辨率则高于前者。对比  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_c$  与  $\lambda_d$  的拟断面图可见,  $\lambda_a$  的分辨率又明显高于其它 3 个参数,  $\lambda_c$  的分辨率与  $\lambda_d$  的相同,  $\lambda_b$  的分辨率最差。

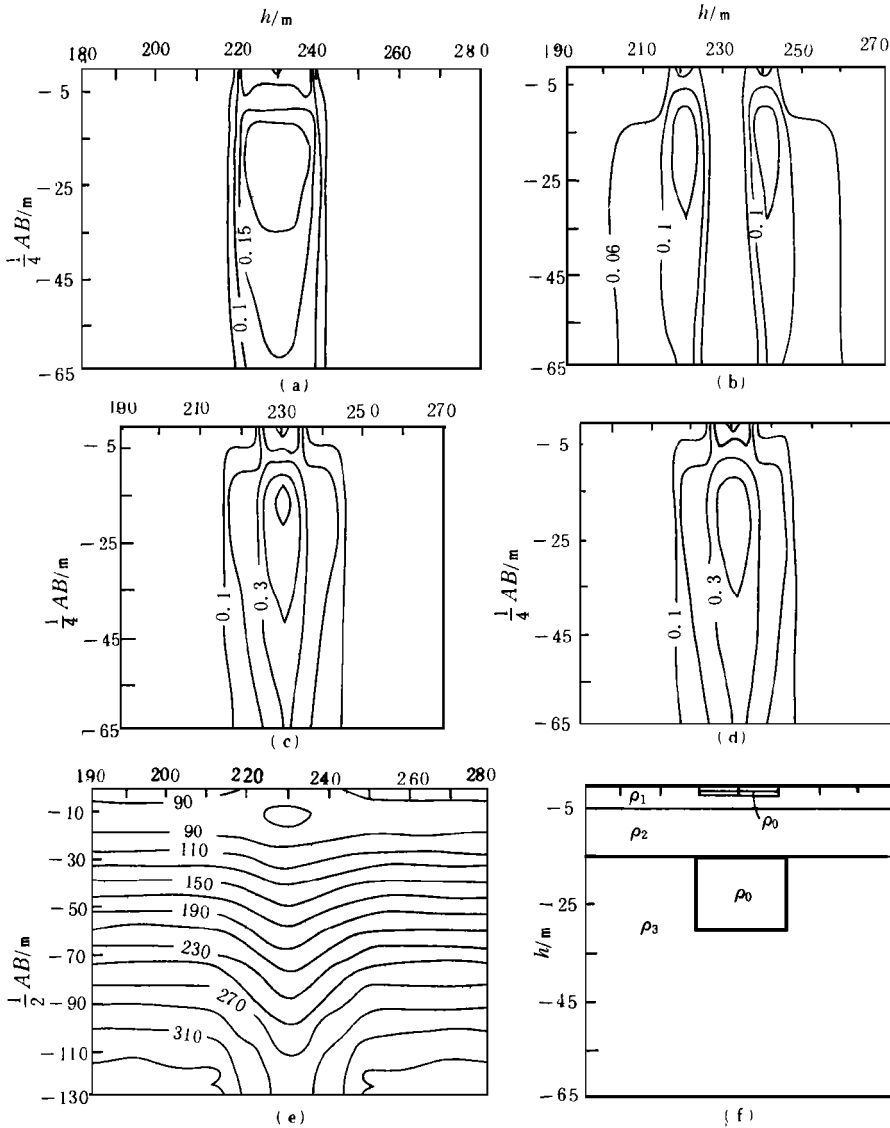


图 3 模型 3 视电阻率  $\rho_s$  和电阻率比值  $\lambda$  拟断面图

( $\rho_0 = 50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\rho_1 = 100\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\rho_2 = 50\Omega\cdot\text{m}$ ,  $\rho_3 = 2000\Omega\cdot\text{m}$ )

- (a) 一电阻率比值  $\lambda_a$  拟断面图; (b) 一电阻率比值  $\lambda_b$  拟断面图; (c) 一电阻率比值  $\lambda_c$  拟断面图;  
(d) 一电阻率比值  $\lambda_d$  拟断面图; (e) 一视电阻率  $\rho_s$  拟断面图; (f) 一模型示意图

Fig 3 The isohmic section of apparent resistivity ( $\rho_s$ ) and ratio ( $\lambda$ ) for model 3

(a)  $\lambda_a$  (b)  $\lambda_b$  (c)  $\lambda_c$  (d)  $\lambda_d$  (e)  $\rho_s$  (f) model

实际工作中可用  $\lambda$  比值拟断面图来估计低阻体的位置及规模, 用  $\rho_s$  曲线来划分水平层,

从而进一步提高了水文、工程物探的解释水平。对于地下存在局部高阻体、产状倾斜、地表电性不均匀, 或者地下既有局部低阻体, 又有局部高阻体等情况, 尚等进一步研究。

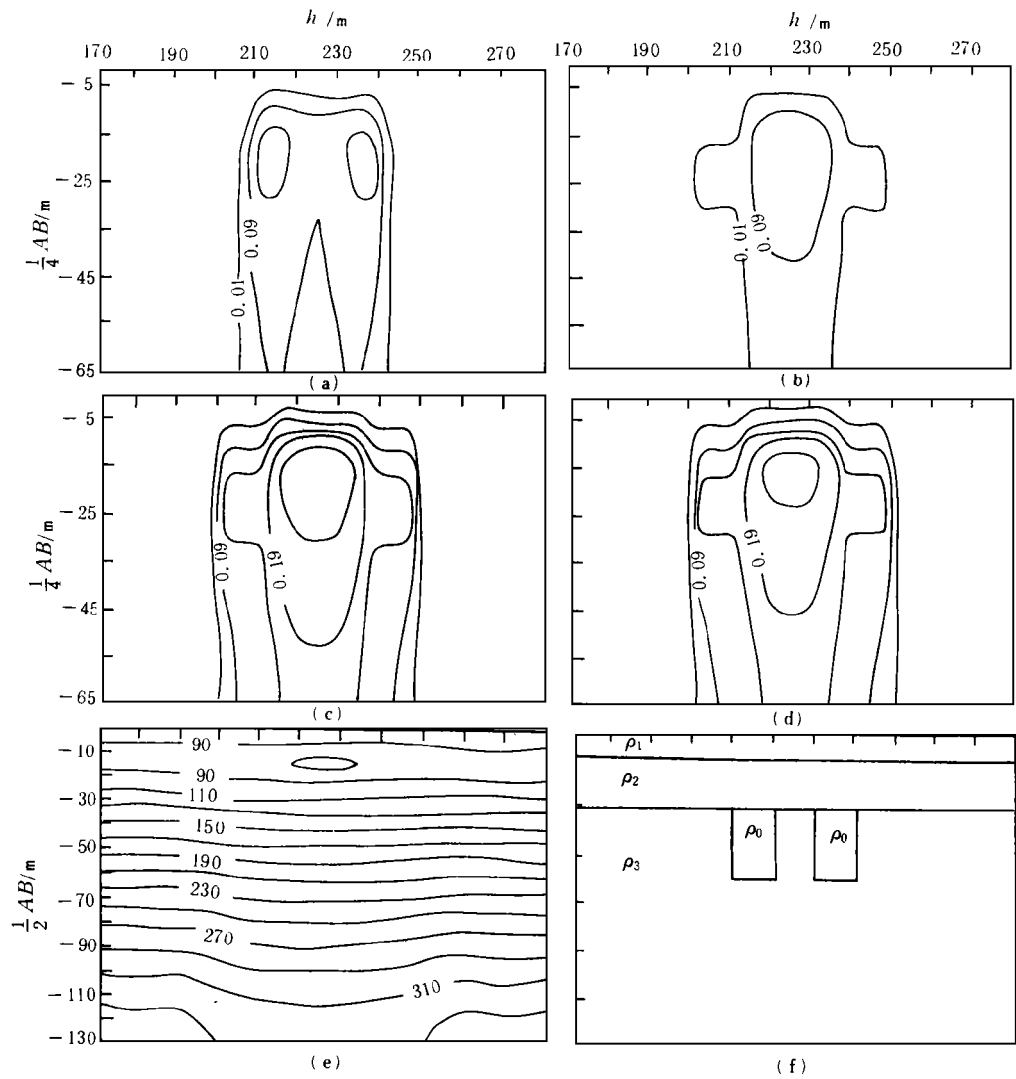


图 4 模型 4 视电阻率 $\rho_s$ 和电阻率比值 $\lambda$  拟断面图

( $\rho_0=50\Omega^{\circ}\text{m}$ ,  $\rho_1=100\Omega^{\circ}\text{m}$ ,  $\rho_2=50\Omega^{\circ}\text{m}$ ,  $\rho_3=2000\Omega^{\circ}\text{m}$ )

- (a) 一电阻率比值 $\lambda_a$  拟断面图; (b) 一电阻率比值 $\lambda_b$  拟断面图; (c) 一电阻率比值 $\lambda_c$  拟断面图;  
(d) 一电阻率比值 $\lambda_d$  拟断面图; (e) 一视电阻率 $\rho_s$  拟断面图; (f) 一模型示意图

Fig 4 The isohmic section of apparent resistivity ( $\rho_s$ ) and ratio ( $\lambda$ ) for model 4

(a)  $\lambda_a$  (b)  $\lambda_b$  (c)  $\lambda_c$  (d)  $\lambda_d$  (e)  $\rho_s$  (f) model

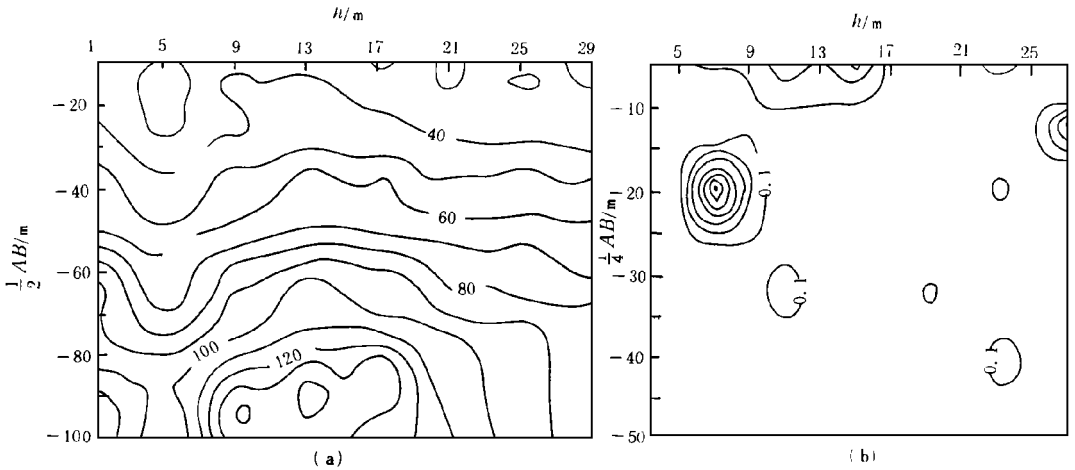


图 5 柳州某大厦 6 线电阻率  $\rho_s$  和电阻率比值  $\lambda$  拟断面图  
a—视电阻率  $\rho_s$  拟断面图; b—电阻率比值  $\lambda$  拟断面图

Fig. 5 The isoohmic section of apparent resistivity ( $\rho_s$ ) and ratio ( $\lambda$ ) at Liuzhou

徐世浙教授提供了点源二维地电断面电场有限元正演程序, 在此表示感谢!

### 参 考 文 献

- 1 陈仲候, 王兴泰, 杜世汉. 工程与环境物探教程. 北京: 地质出版社, 1993. 47~51
- 2 徐世浙. 地球物理中的有限元法. 北京: 科学出版社, 1994. 37~39

## THE APPARENT RESISTIVITY RATIO IN THE COMBINED RESISTIVITY SOUNDING PROFILING AND ITS RESOLUTION

Ruan Baiyao He Yutian Wu Yinglong

(Department of Applied Physics and Computer, Guilin Institute of Technology)

**Abstract** In the combined resistivity profiling, the apparent resistivity ratio ( $\lambda$ ) is often applied to locating of conducting inhomogeneities. Also, In the combined resistivity sounding profiling, the apparent resistivity ( $\lambda$ ) can be used and can plot the map of isoohmic section. This paper makes calculating the apparent resistivity sounding curves ( $\rho_s^A$ ,  $\rho_s^B$ ) above the several 2D models by using finite element method and calculating the apparent resistivity ratio ( $\lambda$ ). The map of  $\lambda$  isoohmic sections shows a good resolution for conducting inhomogeneities.

**Key words** Combined Resistivity Sounding;  $\lambda$  ratio; invert method interpretation; resolution