

# 综合利用航磁三轴梯度计算全张量梯度

骆遥, 王平, 段树岭, 刘浩军, 王金龙, 安战锋  
中国国土资源航空物探遥感中心, 北京, 1000831

航空磁测广泛应用于区域地球物理调查及相关领域, 通常意义上仅测量地磁场强度 (Total Magnetic Intensity, TMI)。磁梯度测量基本不受地磁场随时间变化以及和区域地磁场影响, 具有较高的分辨率。随着超导量子干涉器件 (Superconducting Quantum Interference Devices, SQUID) 的发展, 对地磁场矢量的梯度测量成为可能。进入 21 世纪初 SQUID 磁梯度仪研究取得重大进展, 德国 IPHP 成功利用 SQUID 梯度仪进行了航磁全张量梯度测量, 并获取了各梯度分量的实测资料 (Stolz et al., 2006)。磁张量梯度测量不仅对地球物理勘探意义重大, 在未爆军火探测、磁反潜、地磁导航等相关领域也具有广阔的应用空间。美国等西方国家也致力于 SQUID 梯度测量系统研制, 但航磁全张量梯度测量难度极大, 除 IPHT 还未见其他航磁全张量梯度实测资料。

我国已成功研制出具有自主知识产权的航磁全轴梯度勘查系统, 并多次进行航磁梯度测量 (骆遥等, 2011), 具备实际应用能力。由于航磁总场梯度可近似为全张量梯度主磁场方向的投影, 一定条件下二者存在互换关系, 利用实测航磁总场梯度计算磁张量梯度则成为目前条件下我国取得实际磁梯度张量资料的一种途径。Nelson (1988) 曾提出利用总场的垂向梯度或水平梯度计算磁梯度张量, 但仅利用了垂向梯度, 没有挖掘磁总场在三维空间上的变化率信息。针对航磁三轴梯度测量的广泛应用, 提出航磁总场三轴梯度转换全张量梯度的计算方法, 并将该方法用于实测三轴梯度, 首次获得了我国的磁张量梯度数据。

## 1 全张量梯度计算

航磁异常可近似为磁异常矢量在主磁场方向的投影, 对其求三个正交方向上的偏导数, 可得到航磁异常的三个轴向梯度。由于正常地磁场的梯度很小且近似不变, 相对于磁异常的梯度则可以忽略不计, 因此航磁三轴梯度可近似为磁异常梯度即全张量梯度在主磁场方向上的投影。将全张量梯度用磁位的偏导数表示, 可利用傅里叶变换将航磁梯度写成与磁位相关的线性表达, 并通过最小二乘确定磁位。最终通过磁位计算全张量磁梯度, 实现将航磁三轴梯度转换全张量梯度。

## 2 理论模型计算

为了检验上述转换方法, 选取长方体磁性模型进行数值检验。该模型为长方体, 长宽高分别是 8 km、4 km 和 4 km, 中心埋深为 3 km, 磁化强度 1A/m 方向为偏角 30° 倾角 50°。模型正演计算的网格距为 100 m 高度为 0 m 处的梯度数据, 其中主磁场磁倾角 60°、磁偏角 10°。将正演的  $\Delta T$  三方向梯度数据进行转换, 图 1 给出了转换得到的全张量梯度, 由于全张量梯度具有对称性, 图 1 仅给出全张量梯度的 6 个量。较磁异常标量梯度相比, 图 1 反映了磁异常矢量的空间变化率信息, 其地质细节更为丰富。将图 1 同理论模型比较, 二者无论是在形态还是数值上均非常一致, 其中绝对误差的最大值为 1 pT/m, 绝对误差的最大标准差为 0.2 pT/m, 该误差表明转换方法的数值精度, 其能满足实际资料处理要求。

注: 本文为国家高技术研究发展计划 (863 计划) (2013AA063901、2006AA06A201) 资助的成果。

收稿日期: 2015-01-22; 改回日期: 2015-03-03; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 骆遥, 男, 1982 年生, 博士研究生, 工程师, 主要从事航空地球物理探测等相关技术研究。Email: geophy@vip.qq.com。

### 3 实测航磁梯度资料处理

中国首套具有完全自主知识产权的航磁全轴梯度测量系统研制成功后,改装至国产 Y-12 型飞机,先后于 2009 年在黑龙江哈尔滨地区、2010 年在内蒙古赤峰地区、2011 年在河北保定地区、2013 年在吉林长春地区进行了 4 次系统性的测量试验与生产。2011 年在河北保定地区的试验生产中,针对同一区域分别进行了测量高度为 200m(真高)和 400m(真高)的航磁梯度测量,测量比例尺均为 1:25000。该测区磁场信息丰富,不同高度梯度测量所反映的地质信息高度契合,最能说明航磁全轴梯度测量系统的可靠性,我们选取该次试验中低高度测量资料进行处理。该梯度资料覆盖面积约 723km<sup>2</sup>,测线测线长 35km,飞行方向 90°或 270°,

测量的平均离地高度为 197 m。从实测资料可以看出梯度资料分辨的地质细节明显要较  $\Delta T$  丰富。我们利用前述方法进行处理,最终得到的航磁全张量梯度。计算中测区磁倾角取 58°、磁偏角取 -6°。上述转换处理中没有采用包括滤波在内的任何特殊处理,但转换后全张量梯度的品质相对实测梯度却有所提升,说明转换中抵消了部分磁梯度数据中相互独立的噪声,从而整体提升了资料品质。由于没有实测的全张量梯度参考,为了确认转换梯度可靠度,参照实测  $\Delta T$  对获得的各梯度分量进行了分析。分析表明计算的全张量梯度地质细节丰富、对应的磁异常特征明显,转换后的全张量梯度资料具有较高的可信度,可作为基本的地球物理场资料供地质构造研究使用。

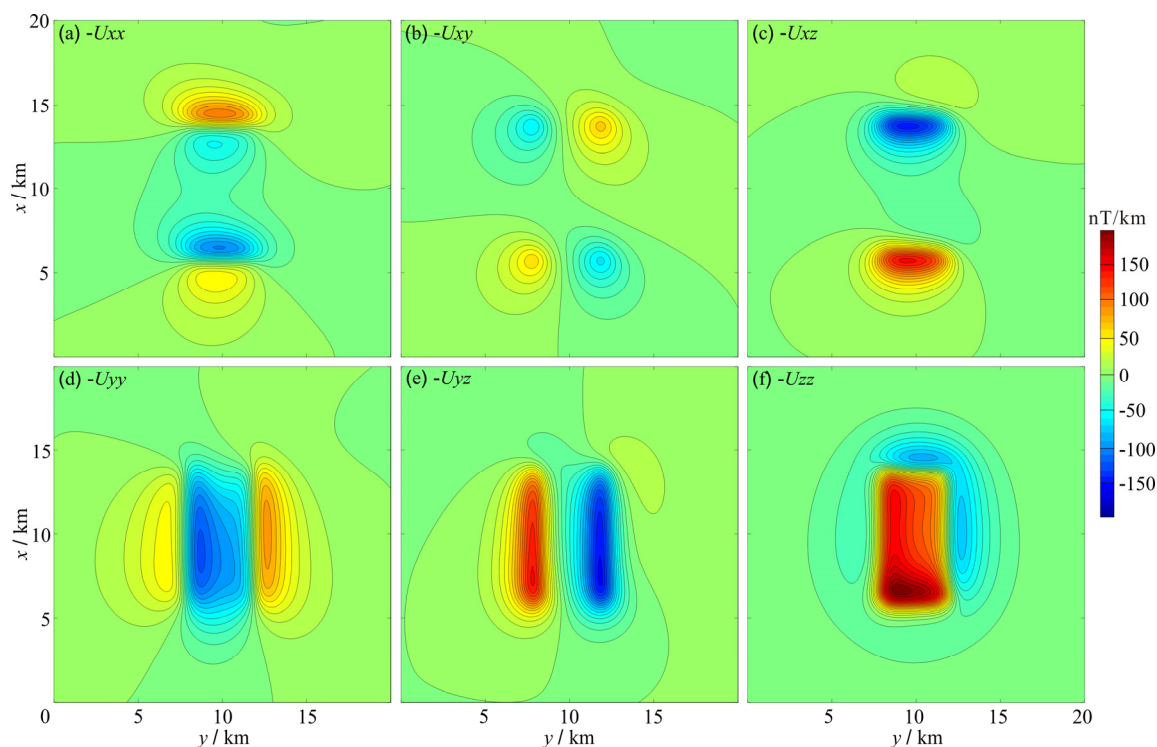


图 1 转换的全张量梯度

### 参 考 文 献 / References

骆遥, 段树岭, 王金龙, 刘志强, 梁韧, 程怀德. 2011. AGS-863 航磁全轴梯度勘查系统关键性指标测试. 物探与化探, 35(5): 620-625.

Nelson J B. 1988. Calculation of the magnetic gradient tensor from total field gradient measurements and its application to geophysical

interpretation. Geophysics, 53(7): 957-966.

Stolz R, Chwala A, Zakosarenko V, Schulz M, Fritsch L and Meyer H G. 2006. SQUID technology for geophysical exploration. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 894-898.