

# 海洋磁力测量垂直空间改正研究

于 波<sup>1</sup> 刘雁春<sup>1</sup> 边 刚<sup>1</sup> 肖付民<sup>1,2</sup>

(1 大连舰艇学院海测工程系,大连市解放路 667 号,116018)  
(2 武汉大学测绘学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

**摘 要:**利用两个实测的海洋地磁异常数据(磁异常剧烈变化和平缓变化),采用向上延拓的方法,通过对实际海洋磁异常的向上垂直空间变化的理论分析,研究了拖鱼位置的上下起伏对获得的磁异常精度的影响,提出了海洋磁力测量垂直空间改正的概念。计算分析表明,拖鱼位置的上下起伏对海洋磁力测量的精度有较大的影响,在进行数据处理时,必须进行垂直空间改正,将整个测区的磁异常改正到平均海面上。  
**关键词:**海洋磁力测量;向上延拓;垂直空间改正  
**中图法分类号:**P229.2

在同一海区进行海洋磁力测量时,由于船速、风、流、浪、涌等外界因素的影响,在拖缆长度固定的情况下,拖鱼在一定入水深度上下漂浮。尤其在近海进行大面积的海洋磁力测量时,潮汐、潮流等因素影响较大(中国海域的潮差最大可达 9 m 左右,且越靠近大陆潮差越大<sup>[1]</sup>),即使在理想状态下拖鱼保持入水深度恒定不变,但由于潮汐等因素的影响,使得拖鱼距海底的距离起伏较大。因此,按照目前所用的磁异常计算公式<sup>[2]</sup> $\Delta T = T - T_d - T_s - T_o$ ( $\Delta T$  为海洋地磁异常值; $T$  为地磁场总场测量值; $T_d$  为地磁日变改正值; $T_s$  为船磁改正值; $T_o$  为地磁正常场值)计算得到的海洋地磁异常并不是在一个水平面上,没有考虑拖鱼位置上下起伏对海洋磁力测量精度的影响。针对这种情况,本文提出了海洋磁力测量垂直空间改正的概念,对测量数据进行垂直空间改正,即将磁异常计算公式改为  $\Delta T = T - T_d - T_s - T_o - T_p$ ( $T_p$  为垂直空间改正量),采用两种典型海洋地磁场变化情况(磁异常剧烈变化和平缓变化)的实测数据,利用向上延拓的方法<sup>[3]</sup>(向上延拓属于适定问题,在计算理论上是严密的,计算精度较高,且原始数据中的误差对计算结果的影响不大;向下延拓属于不适定问题,在理论上还未能解决其计算方法,计算精度较低<sup>[4,5]</sup>)对海洋地磁场的向上垂直空间变化进行了分析研究。

## 1 海洋磁异常垂直空间分析

本文采用了两个磁异常变化情况不同的实测数据进行分析研究。

### 1.1 磁异常剧烈变化的情况

该区域位于某海区,图载最浅水深为 19.8 m,最深水深为 57 m,海底地形由西向东逐渐变深,底质以泥、沙泥、泥贝为主。海区的潮流属于规则半日流,潮汐因素影响比较大,拖缆长度约为船长的 3 倍,测区面积为  $24\,924 \times 17\,920\text{ m}^2$ ,测线数为 180,每条测线的点数为 250,测区的格网点数为 45 000 个。由于潮汐、浪等因素的影响,整个测区的测量面是起伏变化的。根据目前规定的海洋磁力测量数据处理流程对数据进行处理<sup>[1-3]</sup>,把观测面作为高度为 0 m 的平面,绘制了该起伏面的磁异常等值线图(图 1(a))。采用向上延拓的方法对 0 m 高度观测面上所有的异常数据进行不同高度的向上延拓计算。

对图 1 进行分析发现,随着延拓高度的增加,等值线变得平缓,分布范围扩大,将一些原来锯齿状的异常曲线变成平滑曲线,这说明在向上延拓的过程中消除了部分偶然误差,平滑了异常数据中的波浪噪声和随机干扰。

鉴于整个测区磁异常变化在不同高度的体

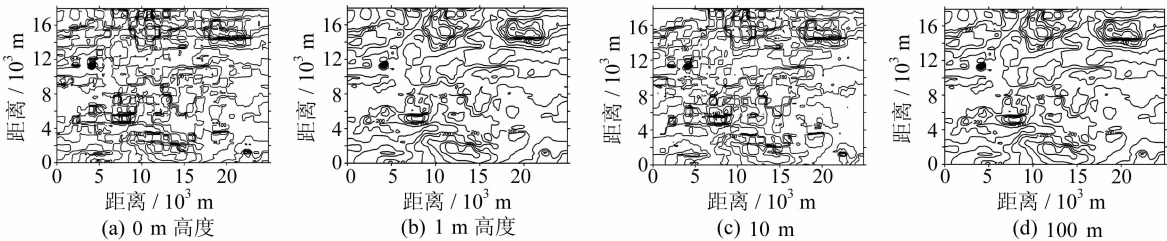


图 1 不同高度的起伏面上的磁异常等值线图  
Fig. 1 Magnetic Anomaly Contour in Different Height Surface

现,为了便于说明问题,在计算数据中任意选一点绘制了该点处随高度增加的磁异常变化曲线图(见图 2)。从图 2 可以看出,在从 0 m 到 10 m 的高度处,磁异常衰减率最大,随着延拓高度的增加,衰减趋于稳定,衰减率逐渐减小。从表 1 可以看出,在从 0~10 m 的向上延拓过程中,平均衰减率约为 10 nT/m;从 0~100 m 的向上延拓过程中,平均衰减率约为 6 nT/m。表 2 是随延拓高度的变化,整个测区数据中不同衰减量的测点个数百分比的统计情况。

表 1 任意一点在不同高度的磁异常值  
Tab. 1 Magnetic Anomaly of Arbitrary Point  
in Different Height

高度/m	磁异常值/nT	高度/m	磁异常值/nT
0	1 114.59	30	847.84
1	1 103.75	50	721.72
2	1 093.07	70	623.84
3	1 082.54	90	546.63
4	1 072.16	100	514.04
5	1 061.93	200	315.80
10	1 012.92	300	226.15
20	924.68	500	148.49

为了更详细地说明测线上点的磁异常随高度增加的变化情况,选取某条测线中的部分数据,绘制了随高度的增加测点磁异常值的变化情况曲线图(图 3)。从图 3 可以看出,随着高度的增加,磁异常的变化趋向于平缓,在磁异常最大值处,随高度的变化,磁异常变化比较明显。

通过计算分析发现,将观测面上的磁异常垂直向上延拓时,磁异常变化较大,其中在高度变化 10 m 范围内的影响最大。从表 2 中可以看出,高度变化 10 m 时,衰减量为 1 nT 的测点占总点数的 61.28%,在数据处理时,一般要求弃点数不能超过总点数的 3%<sup>[1-3]</sup>,这说明在实际海洋磁力测量中,拖鱼上下位置的起伏对实际获得的海洋地磁异常的精度有较大影响。本文采用的延拓方法的精度为 0.04~0.05 nT,满足研究所要求的精度。因此,可以得出,在对磁异常变化较剧烈的海

区数据进行处理时,必须考虑测点位置的上下起伏,进行垂直空间改正,将测线上采样点的磁异常归算到同一平面上。

表 2 随高度的变化整个测区数据中不同衰减量的测点个数百分比统计表

延拓高度/m	衰减量/nT				
	1	2	3	5	10
1	2.63	0.34	0.08	0.02	0.01
2	12.05	2.60	0.80	0.13	0.02
10	61.28	38.27	24.81	11.41	2.36
100	94.78	89.30	84.21	74.86	55.33

1.2 磁异常平缓变化的情况

该区域位于某海区,测区面积约为 30 014.02 × 20 009.98 m<sup>2</sup>,图载最浅水深为 63 m,最深水深为 84 m。海底地形由西向东逐渐变深,底质以泥沙为主。测区潮差较大。测量时拖缆长度约为船长的 3 倍,拖鱼入水深度随外界因素的变化不断上下起伏。整个测区的测线数为 134,每条测线的点数为 600,测点总个数为 80 400。根据海洋磁力测量数据处理流程对数据进行处理<sup>[1-3]</sup>,把观测面作为高度为 0 m 的平面,并绘制了该起伏面的磁异常等值线图(见图 4(a))。采用向上延拓方法进行不同高度的向上延拓计算。

在计算数据中,任选一点绘制了该点处的磁异常值随高度增加的曲线图(见图 5)。从图 5 中可以看出,随着高度的增加,衰减趋于稳定,衰减率逐渐减小。从表 3 可以看出,在从 0 m 高度延

表 3 任意一点在不同高度的磁异常值  
Tab. 3 Magnetic Anomaly of Arbitrary Point  
in Different Height

高度/m	磁异常值/nT	高度/m	磁异常值/nT
0	-237.67	20	-208.46
1	-235.59	30	-200.34
2	-233.60	50	-190.43
3	-231.68	70	-184.95
4	-229.84	100	-180.34
5	-228.07	200	-173.47
10	-220.23	300	-169.08

拓到 10 m 高度处,磁异常衰减率最大;高度为 100 m 时,该点的磁异常平均衰减率约为 0.6 nT/m;高度向上延拓到 200 m 时,该点处的磁异常平均衰减率约为 0.07 nT/m。表 4 为随高度的变化,整个测区数据中不同衰减量的测点个数百分比统计情况。

选取某条测线中的部分数据绘制了随高度的增加测线上测点磁异常值的变化情况曲线图(见图 6)。从图 6 可以看出,随着高度的增加,单条

表 4 随高度的变化整个测区数据中不同衰减量的测点个数百分比统计表

Tab. 4 Percent Statistics of Different Attenuation of Point in Survey Area with Height Change

延拓高度/m	衰减量/nT				
	1	2	3	5	10
1	0.01	0	0	0	0
2	0.05	0.01	0	0	0
10	10.19	1.80	0.51	0.03	0
100	82.75	67.22	53.54	31.26	7.03

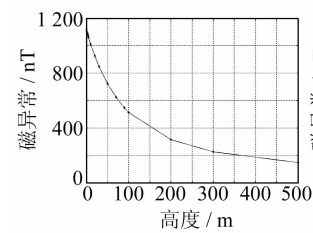


图 2 任意一点在不同高度的磁异常变化曲线图  
Fig. 2 Magnetic Anomaly Variation Curve of Arbitrary Point in Different Heights

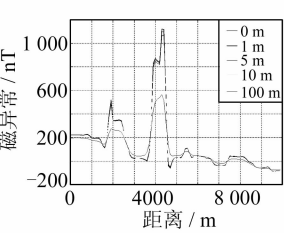


图 3 不同高度单条测线磁异常变化曲线图  
Fig. 3 Magnetic Anomaly Variation of a Survey Line in Different Heights

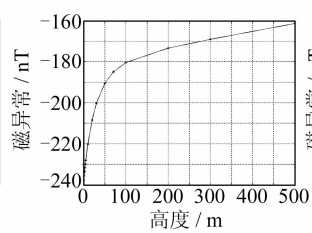


图 5 任意一点在不同高度的磁异常变化曲线图  
Fig. 5 Magnetic Anomaly Variation Curve of Arbitrary Point in Different Heights

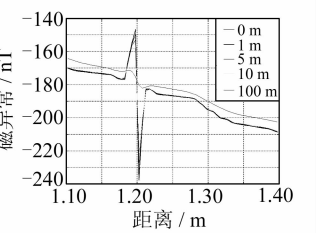


图 6 不同高度单条测线磁异常变化曲线图  
Fig. 6 Magnetic Anomaly Variation of a Survey Line in Different Heights

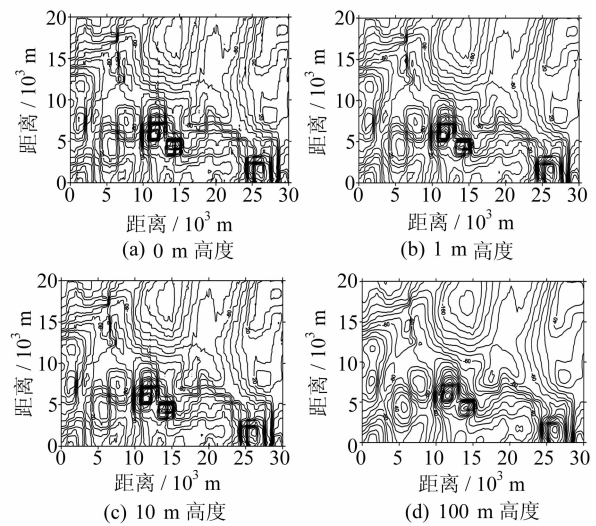


图 4 不同高度的起伏面上的磁异常等值线图  
Fig. 4 Magnetic Anomaly Contours in Different Height Surfaces

测线的磁异常值变化趋向于平缓,在磁异常最大值处,随高度的变化磁异常变化比较明显。计算分析表明,将观测面上的磁异常垂直向上计算时,磁异常变化量较地磁场剧烈变化情况要小。从表 3 可以看出,在向上变化 2 m 范围内,磁异常变化量约为 2 nT,对测量精度的影响不能忽略<sup>[1]</sup>。从表 4 可以看出,当高度变化 10 m 时,衰减量为 1 nT 的测点数占总点数的 10.19%。因此,在磁异常平缓变化海区进行海洋磁力测量时,拖鱼位置

的上下起伏对实际获得的海洋地磁异常的精度有较大影响。可以得出,在对地磁场平缓变化的海区磁场测量数据进行处理时,也应该进行垂直空间改正,将实测数据归算到同一平面上。

2 垂直空间改正的方法

- 1) 由于海洋磁力测量是和水深测量共同实施的,可以根据测区的水深、潮汐资料和磁力数据采集软件(MagLogNT)显示的拖鱼入水深度,准确求出任意时刻拖鱼距该地区平均海面的高度  $h_i$ 。
- 2) 根据位场延拓的方法将采样点的磁异常数据进行垂直空间改正,归算到平均海面上。

3 结 语

本文的计算结果表明,拖鱼上下位置的不规则起伏对获得海洋地磁异常的精度有较大的影响,降低了海洋磁力测量精度。因此,在进行海洋磁力测量数据处理时,必须进行垂直空间改正。本文的研究成果可以为将来制定中国海洋磁力测量规范提供参考。

参 考 文 献

[1] 孟德润,田光耀,刘雁春. 海洋潮汐学[M]. 北京: 海潮出版社,1993

[2] 梁开龙,刘雁春,管铮,等. 海洋重力测量与磁力测量[M]. 北京:测绘出版社,1996

[3] 徐世浙,戴世坤,兰翔. 起伏地形位场快速延拓新方法[J]. 高校地质学报,2002,8(31):241-246

[4] 曾华霖. 重力场与重力勘探[M]. 北京:地质出版社,2005

[5] 徐世浙. 位场延拓的积分-迭代法[J]. 地球物理学报, 2006, 49(4):1 176-1 182

第一作者简介:于波,博士生。研究方向为海洋磁力测量理论与数据处理。  
E-mail:yubozxp@163.com

Correction of Vertical Free-Air in Marine Magnetic Surveying

YU Bo<sup>1</sup> LIU Yanchun<sup>1</sup> BIAN Gang<sup>1</sup> XIAO Fumin<sup>1,2</sup>

(1 Department of Hydrography and Mapping, Dalian Naval Academy, 667 Jiefang Road, Dalian 116018, China )  
(2 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China )

**Abstract:** The influence of the undulation of the sensor is analyzed. A new concept of spatial correction of the sensor is brought out. The conclusion shows that within the range of about 10 m of the undulation, the maximum influence value can be about 10 nT. So the spatial correction must be introduced to diminish the influence of the undulation of the sensor. The correction method is studied; and the correction steps are given.

**Key words:** marine magnetic survey; upward continuation; correction of vertical free-air

About the first author: YU Bo, Ph. D candidate, majors in marine geomagnetic surveying theory and data processing.  
E-mail: yubozxp@163.com

(上接第 906 页)

On Visualization of Three-Dimensional Terrain Based on Contour Lines

WANG Yuanni<sup>1,2</sup> BIAN Fuling<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)  
(2 School of Computer, China University of Geosciences, 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The grid model is common in the reconstruction of the three-dimension terrain. This method has some advantages, but there are some problems needed to be studied , such as how to insure the right elevation of the grid point, how to deal with the abnormal data, how to get the better effect and so on. These problems are analyzed, some methods are presented to solve them and an example is shown for validation.

**Key words:** grid model; three dimension terrain; abnormal condition; positive data

About the first author: WANG Yuanni, Ph.D candidate. Her research interests include visualization and GIS.  
E-mail: ynwang2005@163.com