

海洋磁测中单台站地磁数据补缺方法探讨

张向宇^{1,2} 关永贤^{1,2} 王功祥¹

(1. 国土资源部海底矿产资源重点实验室 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510075;

2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广东 广州 511458)

摘要: 随着海洋测量工作的不断深入, 对海洋磁测成果数据的需求量日渐增大, 而受制于实际采集情况, 时常会出现地磁台站某一时间段内缺失数据的情况, 导致无法进行数据处理, 为了解决该问题, 本文提出联合谐波分析法和聚类分析法的单台站地磁数据补缺方法。首先采用谐波分析法逐日重构静日变化数据, 并引入聚类分析法对分离出的静日变化数据进行遴选, 选取合适的数据求取缺失数据时间内的静日变数据, 再附加上由参考地磁台站分离出的磁扰数据, 合成缺失时间内的地磁数据, 最终完成对地磁台站的数据补缺工作。实例计算分析验证表明, 该方法计算结果与实测数据偏差合理, 具有一定的可靠性, 有效地解决了地磁数据缺失的问题。

关键词: 海洋磁测; 谐波分析; 聚类分析; 日变改正

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029(2020)06-0017-08

随着国家海洋战略的实施, 海洋测量工作量与日俱增, 海洋磁力测量已成为我国涉海部门进行海洋探测的重要手段之一。日变改正是海洋磁测数据处理中一个重要环节, 而地磁台站日变数据的质量直接影响着日变改正的效果, 进而影响最终提交的磁测成果数据的精度。一般是选择工区附近的固定地磁台站或在大范围地磁普测期间在工区内投放海底地磁观测站来获取地磁日变数据, 但受制于测量环境等因素的影响, 经常会出现部分地磁日变数据缺失的情况, 导致部分测线无法进行日变改正的情况, 根据海洋调查规范^[1]要求, 对于无法进行日变改正的测线需作废处理, 这样将导致工作量不达标, 进而影响成果的提交。

目前国内外学者对于日变数据的补缺处理大多是运用多台站数据进行计算, 单汝俭等^[2]在1990年提出了二维多项式最小二乘拟合法、时空拟合法和线性内插法这三种局部地区地磁日变的拟合方法; 边刚等^[3]在2009年对加权平均法和函数拟合法进行了分析, 并进行了实例验证, 该方法不考虑经度效应的影响, 使用纬度方向的距离来计算某点的日变改正值; 卞光浪等^[4]在2010年利用纬差加权法进行多站地磁日变改正值计算, 将日变数据的差异只建立在纬度差关系上, 通过实例进行计算验证, 证实该方法较距离加权法效果更好; 张向宇等^[5]在2016年在纬差加权法的基础上引入回归分析法推算某处地磁日变数据, 通

收稿日期: 2020-06-30

基金项目: 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0207); 中国地质调查局项目(DD20191002, DD20191007, DD20190216, DD20191037)

作者简介: 张向宇(1987-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋重磁数据处理技术研究。E-mail: zhang5821421@163.com

过实例分析,验证了方法的可靠性;彭飞等^[6]在 2015 年对调和分析法进行了分析,建立了日变数据处理谐波分析模型,将磁静和磁扰数据进行了合理分离;刘帆等^[7]在 2016 年对谐波分析法进行了进一步研究,采用最小二乘法确定谐波系数,再取一定截断阶数的傅里叶级数作为太阳静日变化模型,以此进行磁扰数据的分离,取得了较好效果。

在实际工作中,经常会遇到获取的某一地磁台站缺失部分数据的情况,这时会考虑用上述文献中提到的多种地磁日变数据计算方法进行补缺,但这些方法均要求有合适的地磁台站数据作为样本,若待补缺地磁台站所处位置附近无可用地磁台站数据作为样本,则依然无法完成补缺工作,

最终会直接影响日变改正工作的进行。因此针对单一地磁台站缺失部分数据的情况,研究相关方法进行数据补缺,尤其是在附近无可用地磁台站时进行数据补缺是十分必要的。

1 方法设计

本方法结合了信号分析中的谐波分析法和统计学中的聚类分析和相关分析法,首先使用谐波分析法对磁测数据进行频谱分离,再使用相关分析和聚类分析对静日变数据进行遴选和计算,获取静日变样本数据,最后与分离出的磁扰数据合成,进行数据重构,得到最终的结果,从而完成数据补缺,具体的流程如图 1 所示。

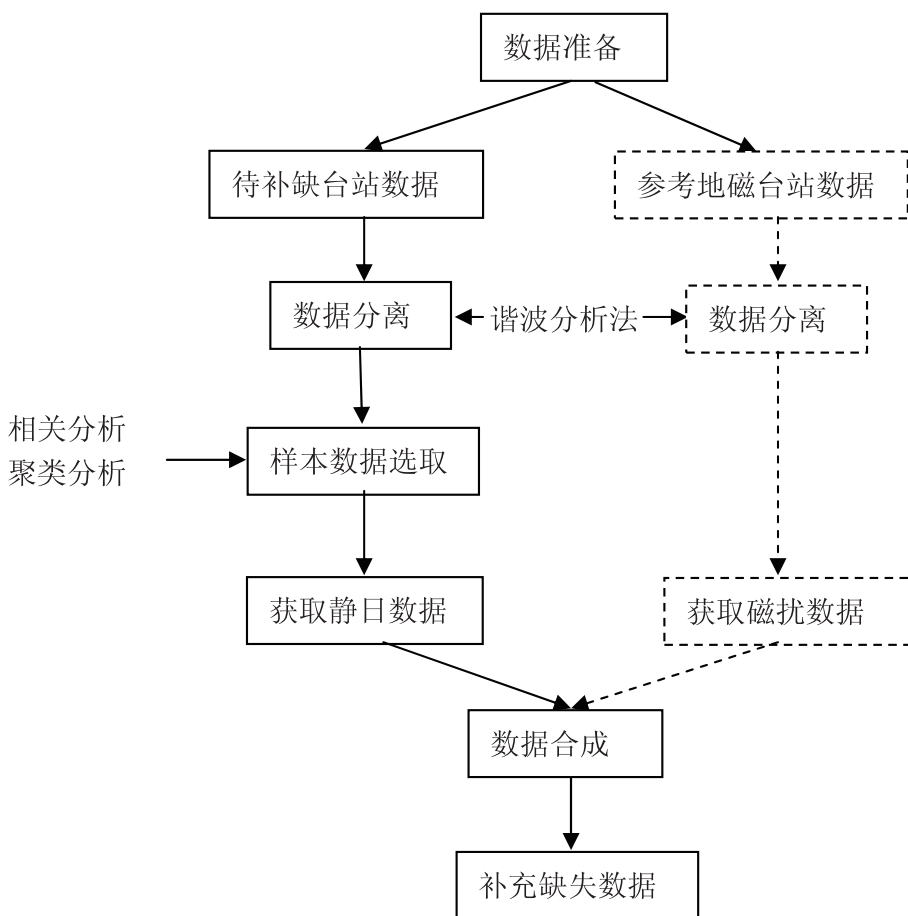


图 1 单台站地磁数据补缺方法流程图

1.1 数据准备

需要准备的数据有两个, 一个是待补缺台站的数据, 即除了缺失数据时间段外的所有数据, 此部分数据为必需数据, 另一个是参考地磁台站数据, 只需提供参考地磁台站在缺失数据时间段内的数据, 若缺失时间段为磁静日, 则该数据可不必提供, 磁静日的判断需参考地磁指数, 一般 kp 指数大于 3- 即为磁扰发生时。参考地磁台站需与待补缺地磁台站处于相同纬度, 且经度差距越小越好, 若相同纬度处无地磁台站数据可用, 则以纬度最近原则, 选择与待补缺台站距离最近的地磁台站为参考台站, 参考台站需在缺失数据时间段内数据完备齐全。

1.2 数据分离

需要对准备好的待补缺台站数据和参考台站数据分别进行静日变化和磁扰的分离, 采用的方法是谐波分析, 首先对准备好的待补缺台站已有数据进行分析, 选择已有数据中的磁静日数据进行数据分离, 逐日分离出磁静数据备用, 对参考地磁台站数据同样进行数据分离, 并保留待补缺时间段内的磁扰数据。

1.3 样本数据选取

静日变化数据是以天为单位具有周期性的, 可通过谐波分析法对周期性磁静日地磁变化规律进行重构, 但重构时受测量噪音或低幅度磁扰的影响, 会导致分离出的静日变化数据不准确, 为了减小这种噪音影响, 采用以多天的静日数据为样本, 求取均值的方法获取最终的静日数据, 可有效减小误差, 这里在做样本选择时运用的方法是相关分析及聚类分析。

1.4 数据合成

对于选择好的静日变化样本数据, 以天为单

位对其求均值可获取最终的静日变化, 因静日变化数据是以天为周期重复的, 故只需将获得的磁静数据依完整的一天时间为单位进行复制即可, 若待补缺时间为磁平静期, 则补缺工作到此完成, 若待补缺时间为磁扰期, 则需将由参考地磁台站数据中分离出的磁扰数据依全球时附加到静日变化数据中, 合成数据后, 即可完成数据的补缺。

2 实例分析

某工区野外测量时间为 2019 年 7 月 4 日至 27 日, 作业期间投放了两台海底地磁观测站, 两台海底观测站投放位置纬度相同, 经度相差 17 度, 设定西侧的海底地磁观测站为 1 号台站, 另一台为 2 号台站, 两台站实测为 F 分量, 数据间隔均为 1 min。假定 1 号台站 7 月 21 日缺失地磁日变数据, 则以 2 号台站做为参考台站, 采用上述方法进行数据补缺, 并将计算结果与 1 号台站 21 日的实测数据进行对比。

首先需要对 1 号台站数据采用谐波分析法进行数据分离, 分离时取谐波次数为 5, 时间间隔为 1 min, 测量时间内 kp 和 ap 指数如图 2 所示。

由图 2 可知 2019 年 7 月至 9 日及 7 月 14 日至 20 日这 9 天均为磁平静日, 分离后的磁静数据如图 3 所示。将分离出的 9 天的磁静数据进行相关分析, 结果如表 1 所示。

根据相关分析的结果, 选择相关性较高的 9 日、15 日、16 日、20 日数据为样本, 其中 20 日最接近 21 日, 因此以 20 日的静日变数据为基准, 通过聚类分析找寻与 20 日静日变数据最接近的数据, 对上述日期分离后的静日变数据进行聚类分析, 分析后的树状图如图 4 所示^[8-10]。

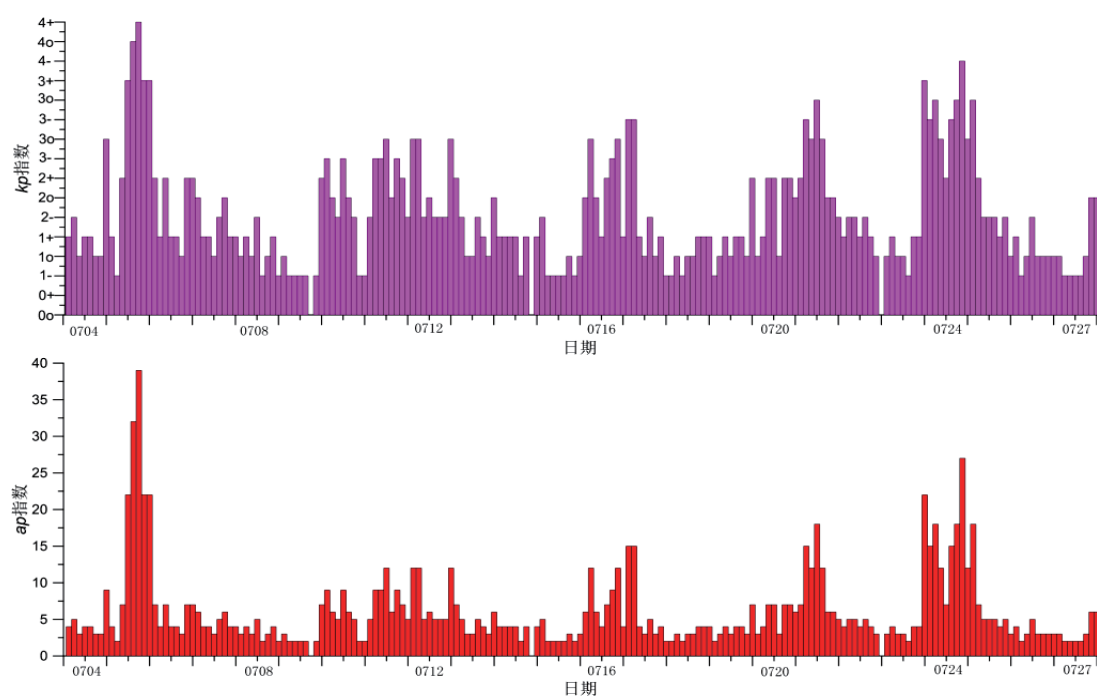


图 2 测量时间内地磁指数分布图

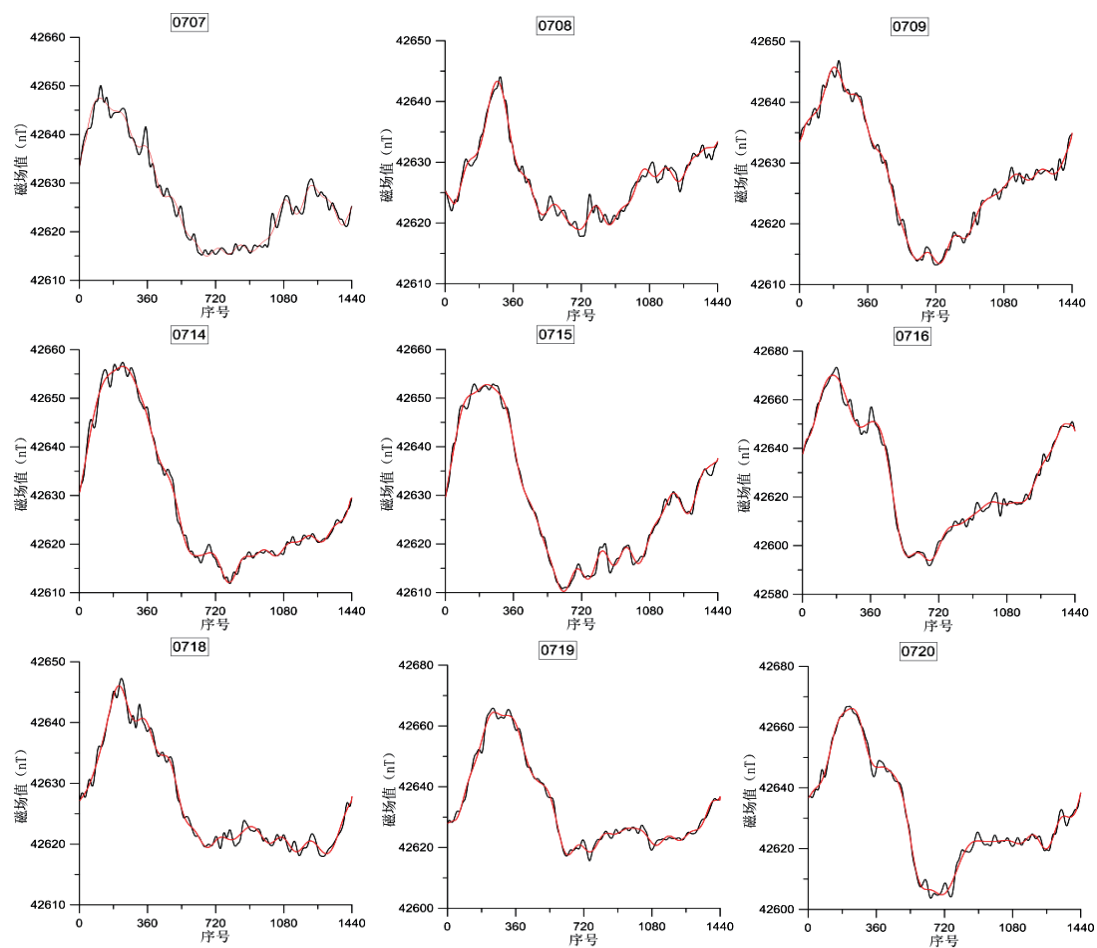


图 3 1 号台站磁静数据分离结果对比图

注：黑色曲线为实测磁场值，红色曲线为分离出的静日变化数据

表 1 磁静数据相关性分析表

日期	0707	0708	0709	0714	0715	0716	0718	0719	0720
0707	1	0.656	0.934	0.929	0.928	0.866	0.809	0.737	0.884
0708	0.656	1	0.809	0.699	0.813	0.759	0.615	0.737	0.749
0709	0.934	0.809	1	0.904	0.969	0.947	0.791	0.783	0.936
0714	0.929	0.699	0.904	1	0.926	0.842	0.952	0.906	0.946
0715	0.928	0.813	0.969	0.926	1	0.941	0.812	0.805	0.924
0716	0.866	0.759	0.947	0.842	0.941	1	0.730	0.721	0.889
0718	0.809	0.615	0.791	0.952	0.812	0.730	1	0.952	0.917
0719	0.737	0.737	0.783	0.906	0.805	0.721	0.952	1	0.904
0720	0.884	0.749	0.936	0.946	0.824	0.889	0.917	0.904	1

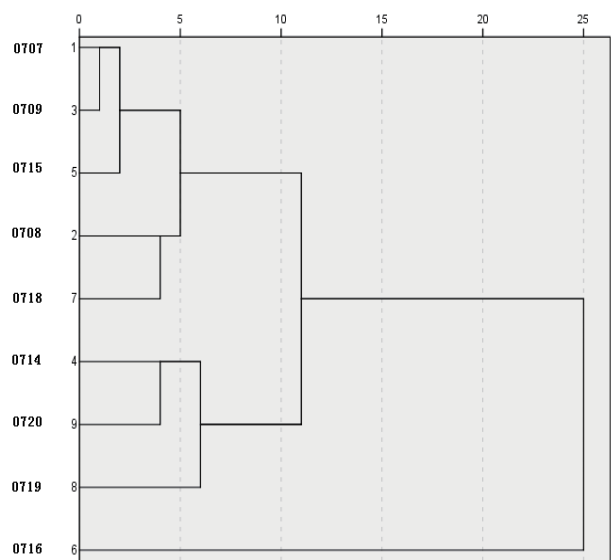


图 4 1 号台站静日变数据聚类分析树状图

从图 4 中看出，与 20 日的静日变数据聚类最接近的是 14 日的静日变数据，且从表 1 中可以看出 14 日和 20 日的磁静数据相关性也较高，相关指数达到 0.946，因此最终选择 14 日和 20 日静日变数据为最终样本，对其求取均值后，得到计算出的静日变数据，如图 5 所示。

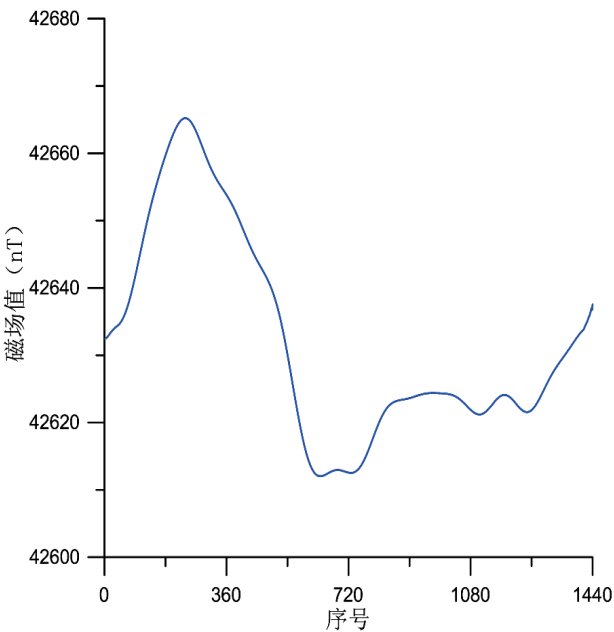


图 5 1 号台站静日变化计算结果曲线

通过查询 k_p 指数，7 月 21 日的 k_p 指数大于 3-，为磁扰日，因此需要从 2 号地磁台 21 日的实际观测数据中分离出磁扰数据，在分离磁扰数据前，先选取 7 月 24 日和 25 日这两个磁扰日 1 号台站及 2 号台站的观测数据进行比较，结果见图 6。

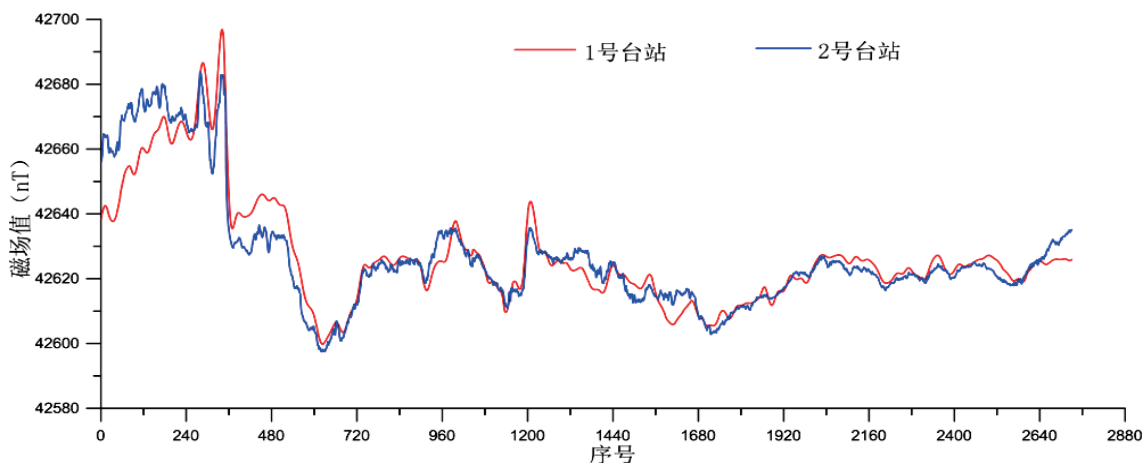


图 6 两台站磁扰日地磁日变观测数据对比图

从图 6 中看出, 两台站磁扰发生时间一致, 无时延, 磁扰发生幅度相近, 量级一致, 对这两组数据进行相关性分析, 求得相关系数为 0.938, 相关性较好。由此说明 2 号台站作为 1 号台站磁扰日数据补缺的参考地磁台站是合理的。对 2 号台站 7 月 21 日数据进行数据分离, 得到磁扰数据, 结果见图 7 所示。

将由 1 号台站数据计算的静日变数据和由 2 号台站分离出的磁扰数据进行组合后, 得到 1 号台站 7 月 21 日的地磁日变数据, 即完成补缺工作, 结果见图 8。图中红色曲线为实际观测值, 蓝色曲线为补缺数据。

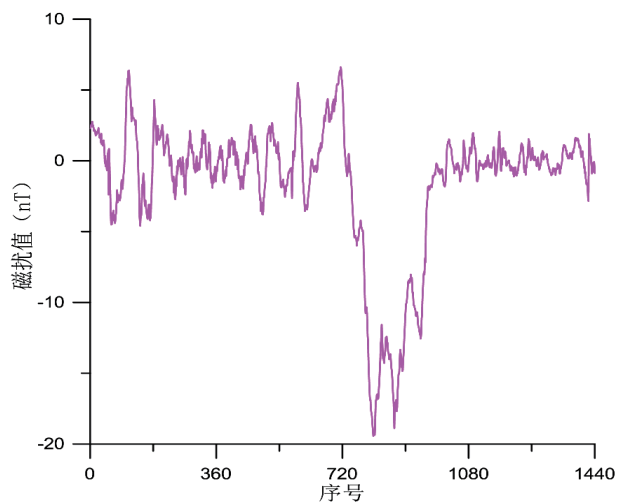


图 7 2 号台站分离的磁扰曲线

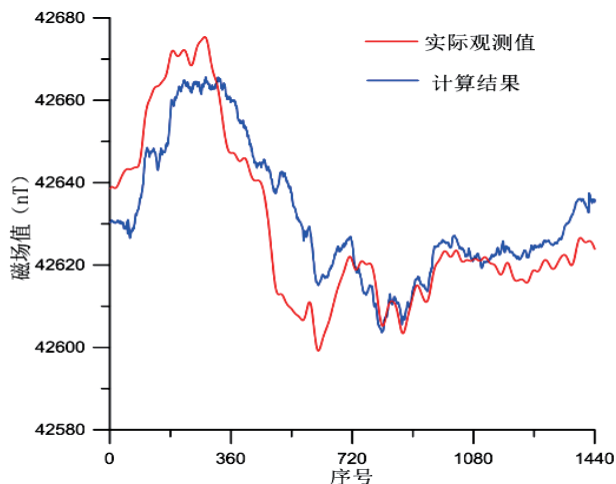


图 8 1 号台站 7 月 21 日数据对比图

统计计算数据和实测数据的偏差, 最大值为 19.2 nT, 均值为 8.2 nT, 因 7 月 21 日是磁扰发生时段, 而磁扰的发生本身对计算会带来很多影响, 海洋调查规范^[1]中要求磁异常 ΔT 精度 ≤ 5 nT, 即原始磁测数据经过预处理及精细处理后得到的测网磁异常 ΔT 交点差中误差 ≤ 5 nT, 日变改正为预处理中的一项, 以上计算数据与实测数据偏差均值为 8.2 nT, 即日变改正误差为 8.2 nT, 这种程度的误差可在后续数据调差处理中进行一定程度的消除, 使得最终的磁异常 ΔT , 值精度达标。另外从图 8 中看出, 两条曲线形态具有一致性, 但存在时延和幅值差异, 这是因为静日数据是由该

台站其他日期静日数据合成而来,静日数据虽是以天为单位的周期函数,但在每个周期内受地磁场变化影响,幅值相位会有所不同,尤其是每日0时至12时段内,是地磁日变化幅度较大的时段,这种偏差会更为明显,而这种因地磁场变化带来的幅值和相位的偏差也是不可避免的,在静日数据合成前采用相关分析也是为了尽量减小这种偏差。通过以上实例分析可知,采用本文方法重构的地磁日变数据与实测日变数据曲线形态一致,两组数据偏差在合理范围内,说明该方法在实测数据处理中具有一定的效果,可有效解决单台站数据缺失的问题。

3 结 论

本文通过对方法及实例的分析研究,得到以

下结论:(1)该方法结合了信号分析中的谐波分析和统计学中的聚类分析法,这两种方法都是较为成熟的方法,易于实现,且可有效提升结果的准确性;(2)当待补缺时间为地磁平静时,则不需其它台站数据做参考,便可完成数据补缺;(3)该方法在使用时需要参考地磁指数来区分磁平静时和磁扰时,再依据地磁日变数据的特性,对数据进行组合,得到最终的结果。

综上,本文使用的数据补缺方法在可获取数据有限的情况下,尤其是无距离相近台站数据可用时,可有效地解决单一地磁台站数据缺失的问题。在磁平静时可只凭借台站本身已有数据便可完成数据补缺,解决了日变改正中时常遇到的问题,保证了磁测数据预处理工作的进行。

参考文献:

- [1] 国家技术监督局.GB/T13909-1992,海洋调查规范:海洋地质地球物理调查[S].北京:国家技术监督局,1993.
- [2] 单汝俭,金国,曾志成.局部地区地磁日变及拟合方法研究[J].长春地质学院学报,1990(3):315-322.
- [3] 边刚,刘雁春,卞光浪,等.海洋磁力测量中多站地磁日变改正值计算方法研究[J].地球物理学报,2009,52(10):2613-2618.
- [4] 卞光浪,刘雁春,翟国君,等.基于纬差加权法的海洋磁力测量多站地磁日变改正值计算[J].测绘科学,2010,35(3):118-120.
- [5] 张向宇,关永贤,张锡林.回归分析法在日变数据推算中的应用[J].物探与化探,2016,40(3):603-608.
- [6] 彭飞,张启国,罗深荣,等.调和分析方法在海洋磁力测量日变改正中的应用[J].海洋测绘,2015,35(5):38-42.
- [7] 刘帆,吴晓平,肖凡.磁扰日日变改正的最小二乘谐波建模实现方法[J].测绘科学技术学报,2016,33(6):582-587.
- [8] 姚俊杰,孙毅,徐洪章.地磁日变观测数据幅值关系分析与应用[J].海洋测绘,2006,26(6):6-9.
- [9] 张向宇,关永贤,崔秀云.利用回归分析法补偿海底日变数据[J].物探化探计算技术,2017,39(3):327-332.
- [10] 时立文.SPSS 19.0 统计分析从入门到精通[M].北京:清华大学出版社,2012.

Discussion on the Method of Geomagnetic Data Supplement for Single Station in Marine Survey

ZHANG Xiang-yu^{1,2}, GUAN Yong-xian^{1,2}, WANG Gong-xiang¹

1. *Key Laboratory of Marine Mineral Resources of Ministry of Land and Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China;*

2. *Key Special Project for Introduced Talents Team of Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China*

Abstract: With the deepening of marine survey, the demand for marine magnetic survey data is increasing, due to the actual acquisition situation, the geomagnetic stations often lack data at a certain time which leads to the failure of data processing. In order to solve this problem, a method used the harmonic analysis method and cluster analysis method jointly is proposed. Firstly, the harmonic analysis method is used to calculate the magnetostatic diurnal variation data day by day, then we can acquire the magnetostatic diurnal variation data in the missing time by using cluster analysis method, in addition, the magnetic disturbance data separated from the reference geomagnetic station is added to the magnetostatic diurnal variation data within the time of missing data, finally the data supplemented work is finished. Through the calculation and analysis of an example, the deviation between the calculated results and the measured data is reasonable, so the method is reliable.

Key words: marine survey; harmonic analysis; cluster analysis; diurnal variation correction