文章编号：1004—5589（2018）01—0243—07

东北地区火成岩的航磁异常特征分析

郭惠莹，杨长保

吉林大学 地球探测科学与技术学院，长春 130026

摘要：为了解不同时代火成岩的航磁异常特征，对东北地区1∶20万的航磁资料进行了化极、向上延拓及垂向导数的处理。通过与地质图进行对比分析，总结出研究区火成岩的航磁特征：区内广泛分布的各时代花岗岩表现出了不同的磁异常特征，寒武纪、石炭纪、三叠纪等时代的花岗岩表现为高磁异常，而二叠纪及侏罗纪花岗岩表现为低磁异常，其中磁异常最高的岩性为石炭纪花岗岩，磁异常最低的是二叠纪花岗岩。测区内存在的喷出岩-古近纪玄武岩磁异常较高，而更新统玄武岩并未见明显的异常特征。

关键词：东北地区；不同时代；火成岩；航磁异常

中图分类号：P631.222；P588.1　　**文献标识码**：A　　**doi**：10.3969/j.issn.1004-5589.2018.01.022

Characteristics of aeromagnetic anomalies in igneous rocks in Northeast China

GUO Hui-ying, YANG Chang-bao

College of Geo-exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China

Abstract: In order to understand the characteristics of aeromagnetic anomalies of igneous rocks with different ages, various data process approaches such as reduction to the pole, upward continuation and vertical derivative of the 1∶200 000 aeromagnetic data in Northeast China have been carried out. By comparing with the geological maps, it is indicated that the granites widely distributed in the study area, show different magnetic anomaly characteristics, i.e. the Cambrian, Carboniferous and Triassic granites show high magnetic anomaly, but the Permian and Jurassic granites show low magnetic anomaly; the highest magnetic anomaly in the study area is with Carboniferous granite, and the lowest magnetic anomaly is with the Permian granite. The magnetic anomalies of the eruptive rock - Paleogene basalt in the survey area are high, but there are no obvious anomalous characteristics of Pleistocene basalt.

Key words: Northeast China; different ages; igneous rock; aeromagnetic anomaly

0 引言

航空物探是一种快速的进行地质调查及找矿的方法，其中航空磁测应用最为广泛[1]。航磁异常是区域岩石磁化率各向异性与地球磁场关系的综合体现[2]，不同的地层、不同的岩性及岩石矿化蚀变的强弱产生不同的磁性差异，由此产生不同的磁场特征。由于航磁异常值代表了实测磁场总强度与背景场强度之差，突出了区域异常的分布特征，客观上反映了某些重要的区域构造轮廓，因此很多专

收稿日期：2017-09-19；**改回日期**：2017-12-19

基金项目：中国地质调查局“一带一路”地区资源环境卫星遥感解译与应用基金资助项目（DD20160117）.

通信作者：杨长保（1972-），男，副教授，硕士生导师，主要从事遥感蚀变信息提取，遥感地质解译和农业生态环境应用研究. E-mail：25764880@qq.com

家对不同尺度的航磁异常进行了解释，包括深部地质构造推断或区域构造分析[3]。张家声、李燕等对中国北部的北东向线性航磁异常进行了详细的构造解释[4]。李建华、何继善对秘鲁航磁数据进行处理后，通过分析铁矿的磁异常类型并结合区域地质构造及年代、岩性特征，归纳出不同铁矿类型的磁异常特征[5]。但往往忽略了航磁数据应用在地质填图中的可能性，因此需要寻找一种根据磁异常高低及形态的特征来分辨不同时代不同岩性的方法。本文通过对东北地区 1∶20 万的航磁资料进行化极等处理后的磁异常图与已测得的各时代岩性的地质图进行对比分析来了解测区内所广泛分布的古生代—新生代侵入岩和喷出岩所对应的航磁异常特征，为之后的地质填图等工作提供一种验证方法。

1 东北区域地质概况

1.1 区域构造特征

中国东北地区范围包括吉林省、辽宁省、黑龙江省以及内蒙古东北部。东北地区位于华北板块与西伯利亚板块所挟持的东亚造山带东部，是由许多微板块在中生代之前通过碰撞拼合而成。主要由额尔古纳板块、兴安岭北部地块、松嫩地块以及佳木斯地块等几个板块构造组成（图 1）。东北地区在构造域上隶属滨太平洋域和古亚洲洋域的叠加区域，较老以东西向展布的古亚洲洋构造域受较新以北东向展布的滨太平洋构造域改造作用十分显著[6]。

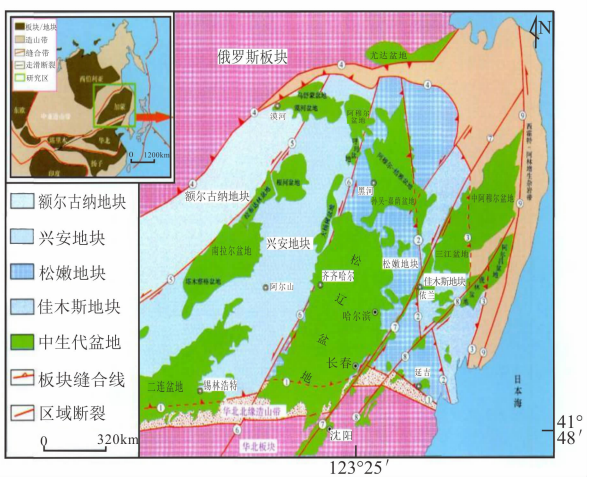


图 1 东北地区及邻区构造单元图[6]

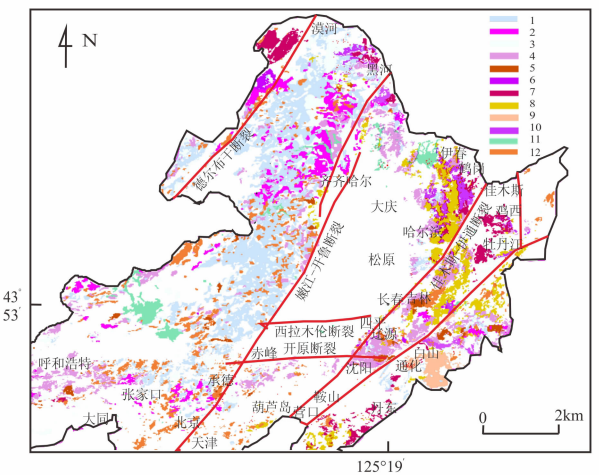
Fig. 1 Structural units of Northeast China and its neighboring areas

东北地区的地质构造单元主要呈北东向、北北东向展布。兴安岭—张广才岭褶皱带以西为二连盆地、海拉尔盆地、根河盆地和漠河盆地；兴安岭—张广才岭褶皱带与完达山造山带之间为松辽盆地及孙吴—嘉荫盆地；完达山造山带以东为三江盆地[7]。

1.2 各时代地层及岩石特征

东北地区地层出露齐全，包括太古宇及从早前寒武纪到第四纪的各个时代的地层[8]：太古宇出露在吉林桦甸的夹皮沟、黑龙江林口和鸡西地区；古生界在延吉、兴安岭和珲春地区有出露，晚志留纪海相地层主要发育在吉林中部、内蒙古中部和甘肃北山等地区，代表性岩石地层单位为西别河组[9,10]；中生代三叠系在佳木斯、饶河地区有少量出露，且该时期为东北及邻区花岗岩侵位的峰期，而志留纪—泥盆纪为花岗岩浆活动相对沉寂的时期[9]；新生界古近纪在二连盆地和海拉尔一带以及伊兰—伊通、敦化—密山断裂带均有分布；第四系在松辽平原、三江平原及海拉尔平原广泛分布。多时代的地层出露表明东北地区经历了多次构造及火山喷发等复杂的地质过程，形成了广泛分布在表面的侵入岩和喷出岩，并表现为不同的航磁异常特征。

测区内晚侏罗世—早白垩世火山碎屑岩广泛分布在大兴安岭地区（图 2）。晚古生代及中生代的



1. 晚侏罗世火山碎屑岩；2. 石炭纪花岗岩；3. 晚白垩世安山岩；4. 二叠纪花岗岩；5. 三叠纪花岗岩；6. 志留纪花岗岩；7. 古元古代花岗岩；8. 晚三叠世花岗岩；9. 古近纪玄武岩；10. 寒武纪花岗岩；11. 更新统玄武岩；12. 侏罗纪花岗岩.

图 2 东北地区侵入岩及喷出岩分布示意图

Fig. 2 Distribution of intrusive rocks and eruption rocks in Northeast China

花岗岩次之，其中石炭纪花岗岩及侏罗纪花岗岩分布较多。除此之外，多种侵入岩和喷出岩在测区内均有分布：包括二叠纪花岗岩、三叠纪花岗岩、志留纪花岗岩、古元古代花岗岩、晚三叠世花岗岩、古近纪玄武岩、寒武纪花岗闪长岩及更新统玄武岩等。

2　航磁特征

2.1　岩石磁性特征

为获取准确的物性资料，提高航磁资料处理解释的真实及可靠性，并为数据正反演提供基础，在大兴安岭地区采集了部分出露的岩石共 306 块，其中火成岩 79 块，并对其进行物性测定（表 1）。

表 1　岩石磁性测定结果表

Table 1　Magnetic determination results of rocks

岩石名称	磁化率 $\kappa/10^{-5}$SI		
	变化范围	块数	平均值
闪长岩	-0.027 8 ~ 13.600 0	30	2.078 3
花岗岩	-0.006 4 ~ 0.016 7	4	0.005 8
安山岩	-0.131 0 ~ 18.100 0	31	4.219 8
火山碎屑岩	0.385 0 ~ 17.700 0	14	6.220 1

由表 1 可以看出，在火成岩中火山碎屑岩磁化率均为正值且其平均值最大，而其他几种岩性磁化率均存在正负变化，其中花岗岩磁化率平均值最小。

2.2　航磁区域特征

磁异常的向上延拓作用主要是突出规模较大的（如区域性的，或深部较大规模的）异常体的异常特征，而压制规模较小的（如局部的、浅而小的）异常体的异常特征[11]。对航磁数据进行向上延拓可有效地压制表面浅而小的可能是由于后期碎石覆盖而引起的噪声，而更加有效的呈现由时代和岩性反应出来的异常特征。随着上延高度的增加，还可看出岩石的大致厚度及基底情况。垂向一阶导数是在化极的基础上，求磁场沿垂直方向一次变换率的数据转换处理[12]。垂向一次导数处理对异常有突出和放大作用，它可以使由岩石本身引起的异常比一些细小的噪声更加突出，有助于对有效信息的提取。因此本文对航磁数据进行了 10 km、15 km、20 km、25 km 向上延拓，并对化极后的航磁异常及延拓后的异常进行了垂向一阶导数的处理（图 3、图 4）。

在化极后航磁异常图中，异常的走向与东北地区及邻区构造单元图（图 1）及东北地区侵入岩及喷出岩分布示意图（图 2）上反应的构造线、断裂带非常吻合，以北东向、北北东向为主，兼有东西、南北向断裂。由系列异常图可看出研究区内的航磁异常梯度较大，存在着许多梯度带。东南地区由于受到一系列深大断裂控制，形成了明显的拼接板块构造特征，这些断裂两侧具有较大的磁异常梯度。位于西北部大兴安岭地区具有较高的正异常值，其峰值在 1 100 nT ±，且变化明显。研究区南部整体处于航磁异常高低交替的变化。研究区内各构造及表层分布的侵入岩和喷出岩共同形成航磁异常的形态特征，因此在研究火成岩的航磁特征的同时注意断裂构造的存在是必要的。

3　不同时代火成岩航磁异常分析

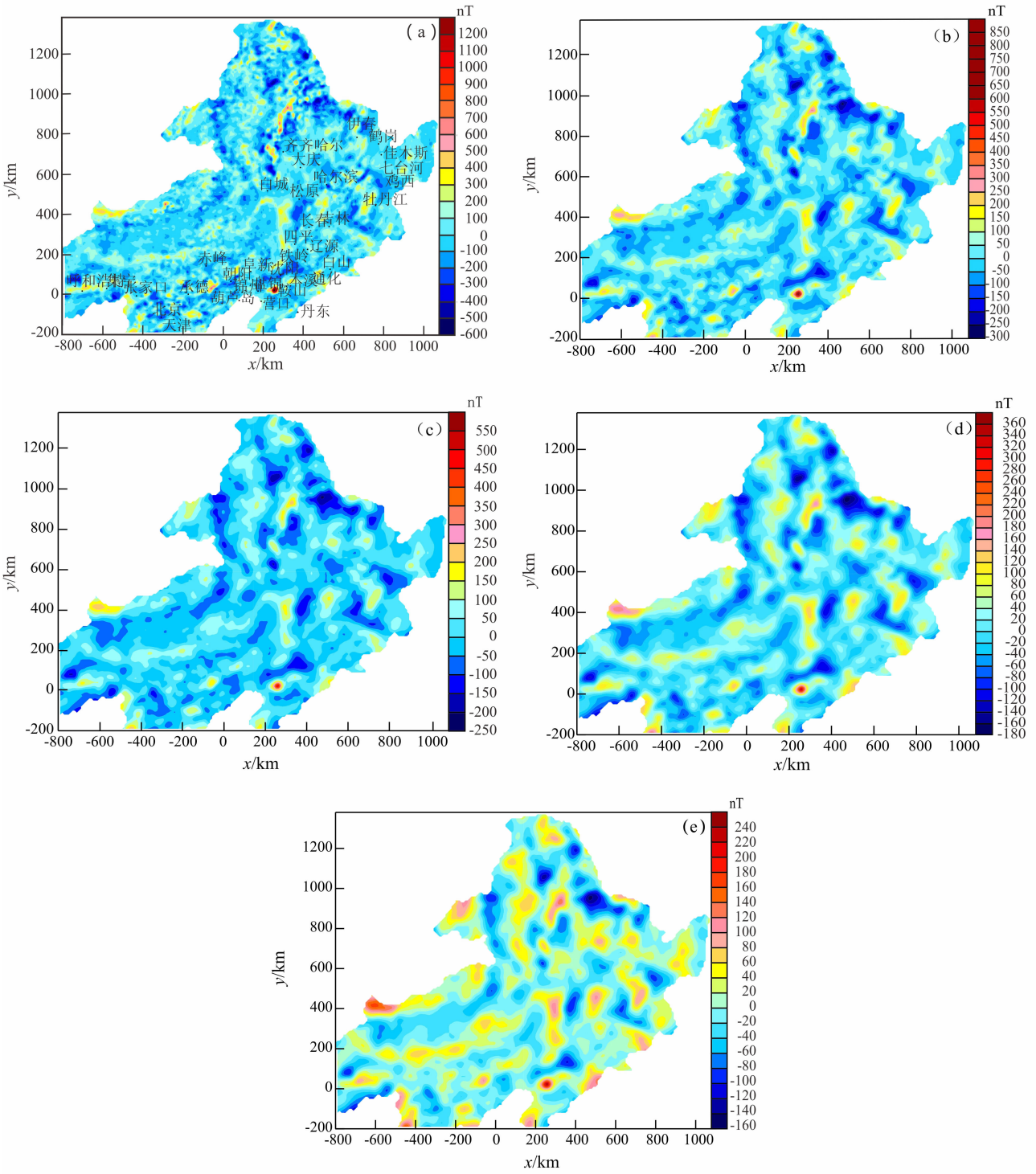
通过对比分析东北地区的岩性地质图（图 2）及航磁异常处理图（图 3、图 4），结合实际岩石磁性测定数据结果（表 1），得出以下几个时代的侵入岩及喷出岩的航磁异常特征：

3.1　晚侏罗世—早白垩世火山碎屑岩

从图 2 可看到，在内蒙古大兴安岭地区及黑龙江省部分区域分布着大面积的晚侏罗世—早白垩世火山碎屑岩。图 3a 相应位置上明显的呈现出了较高的异常值，形状一致，呈北北东向大条带状，在德尔布干断裂两侧均有分布，其异常值在 200 ~ 400 nT 之间。而随着向上延拓高度增加（图 3b - e），磁异常由大的条带状变为有间隔的珠串状，表明火山碎屑岩的各处厚度并不相同，延拓后对浅而小的部分进行了压制。垂向一阶导数处理后依然存在明显的高异常值。

3.2　更新统及古近纪玄武岩

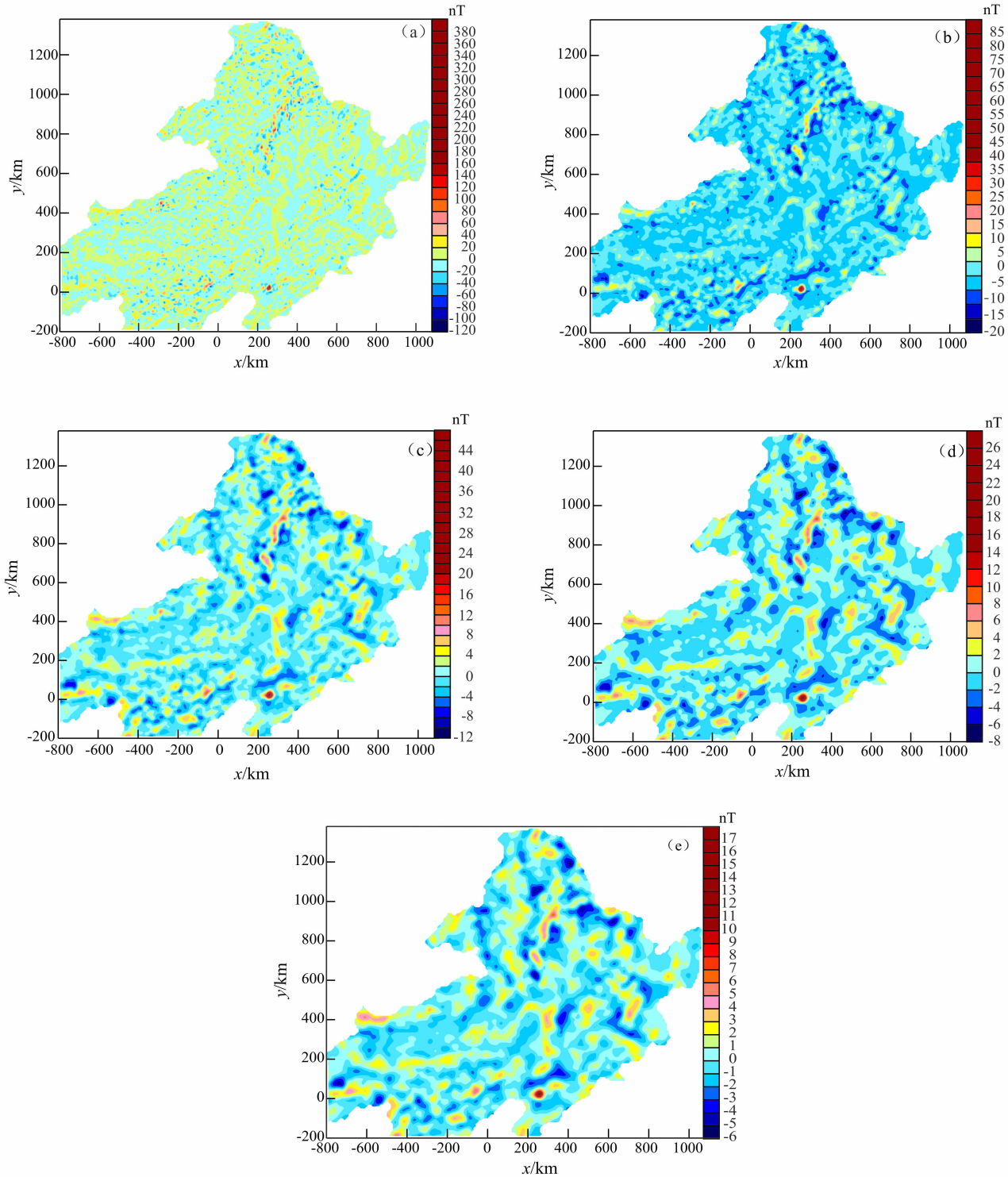
更新统玄武岩在内蒙古西部及黑龙江东北部区域内均有少量分布，在图 3a 中可观察到相应位置异常并不明显，异常值在 0 nT ±。向上延拓处理后异常更加趋于平缓，导数处理后亦未见明显异常，可能由于更新统玄武岩规模小，成型时间相对较短，并未形成明显异常。在吉林省东南部古近纪



（a）化极后航磁异常图；（b）向上延拓 10 km；（c）向上延拓 15 km；（d）向上延拓 20 km；（e）向上延拓 25 km.

图 3 东北地区化极后航磁异常图及向上延拓异常图

Fig. 3 Aeromagnetic anomaly map after being reduced to the pole and upward continuation anomaly map in Northeast China



（a）化极后航磁异常图；（b）向上延拓 10 km 后垂向一阶导数；（c）向上延拓 15 km 后垂向一阶导数；（d）向上延拓 20 km 后垂向一阶导数；（e）向上延拓 25 km 后垂向一阶导数.

图 4　垂向一阶导数异常图

Fig. 4　Anomaly maps of vertical first derivative

玄武岩有少量分布，异常值较高，在200～400 nT之间。向上延拓及垂向一阶导数处理后异常更加明显。

3.3 侏罗纪花岗岩

侏罗纪花岗岩在测区各区域中均有少量分布，而在研究区西南部存在规模较大并与石炭纪花岗岩呈交错形态，在图3a相应位置上亦呈现出异常高低交错的形态并为低磁异常，异常值在－300 nT±。随着上延高度的增加，许多表面浅而小的异常消失，变为较连贯的低磁异常，当上延高度达到25 km时该低磁异常范围变小。

3.4 二叠纪及三叠纪花岗岩

位于测区西南部的三叠纪花岗岩表现为水平条带状的高磁异常，其峰值在400 nT±；其北部的二叠纪花岗岩表现为低磁异常，二叠纪花岗岩在东三省地区内均有分布尤其在黑龙江省地区内，磁异常值在－500～－200 nT之间。在进行多次向上延拓处理后异常更加明显，说明埋深极大。

3.5 石炭纪花岗岩

石炭纪花岗岩在图3上呈现出最为明显的异常极高的北东向条带状的区域，异常值在400～700 nT间，并且在研究区西部—内蒙古区域内突起处同样存在石炭纪花岗岩，亦呈高磁异常。在延拓及垂向一阶导数处理后异常仍最为明显，说明其规模及埋深均很大。

3.6 寒武纪花岗岩

在测区东南部吉林省内存在一处明显的北西向条带状高磁异常即寒武纪花岗岩，异常值在300 nT±。此异常在向上延拓及垂向一阶导数处理后形态不变。

4 结论

（1）本研究区内分布着许多不同时代的花岗岩，其中磁异常最高的岩性为石炭纪花岗岩，最低的为二叠纪花岗岩。

（2）寒武纪、石炭纪、三叠纪等时代花岗岩均表现为高磁异常，而二叠纪及侏罗纪花岗岩表现为低磁异常。

（3）喷出岩中古近纪玄武岩磁异常较高，更新统玄武岩并未见明显的异常特征。

参考文献：

[1] 史建民，林泽付，胡鑫. 大兴安岭地区航磁异常特征与地质构造、成矿带的关系探讨[J]. 地球物理学进展，2014，29（1）：110-115.
SHI Jian-min，LIN Ze-fu，HU Xin. Discussion about the connection among aeromagnetic anomaly characteristics，geological structure and metallogenic belt in Daxinganling area [J]. Progress in Geophysics，2014，29（1）：110-115.

[2] 崔志强，孟庆敏，胥值礼，等. 浅析大兴安岭中南段多金属成矿航磁异常特征[J]. 物探化探计算技术，2011，33（1）：56-62.
CUI Zhi-qiang，MENG Qing-min，XU Zhi-li，et al. Analysis of Daxinganling Range south section of polymetallic metallogenic characteristics of aeromagnetic anomaly [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration，2011，33（1）：56-62.

[3] 何碧竹，焦存礼，蔡志慧，等. 塔里木盆地中部航磁异常带新解译[J]. 中国地质，2011，38（4）：961-969.
HE Bi-zhu，JIAO Cun-li，CAI Zhi-hui，et al. A new interpretation of the high aeromagnetic anomaly zone in central Tarim Basin [J]. Geology in China，2011，38（4）：961-969.

[4] 张家声，李燕，黄雄南. 中国北部古元古代地壳尺度的伸展拆离和硅铝壳内活动带：北东向线性航磁异常的地质构造解释[J]. 地质科学，2007，42（2）：267-302.
ZHANG Jia-sheng，LI Yan，HUANG Xiong-nan. Paleoproterozoic crust-scale transtensional shear，detachment and insialic mobile belts in North China：geologic and tectonic implications for the NE-striking linear aeromagnetic anomaly [J]. Chinese Journal of Geology，2007，42（2）：267-302.

[5] 李建华，何继善. 秘鲁航磁特征及铁矿类型[J]. 物探化探，2011，35（5）：604-609.
LI Jian-hua，HE Ji-shan. Aeromagnetic characteristics and types of iron deposits in Peru [J]. Geophysical and Geochemical Exploration，2011，35（5）：604-609.

[6] 周建波，张兴洲，马志红，等. 中国东北地区的构造格局与盆地演化[J]. 石油与天然气地质，2009，30（5）：530-538.
ZHOU Jian-bo，ZHANG Xing-zhou，MA Zhi-hong，et

al. Tectonic framework and basin evolution in Northeast China [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30 (5): 530-538.

[7] 孙帮民. 航磁数据反演居里面及在东北地区的应用：硕士学位论文 [D]. 长春：吉林大学, 2016.
SUN Bang-min. Curie point depth from spectral analysis of aeromagnetic data in Northeast China: master's degree thesis [D]. Changchun: Jilin University, 2016.

[8] 倪妮. 东北地区大型断裂构造重力异常解释研究：硕士学位论文 [D]. 北京：地质大学, 2015.
NI Ni. The interpretation study of large faults gravity anomaly in Northeast China: master's degree thesis [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2015.

[9] 王成文, 马志红, 孙跃武, 等. 晚古生代海相地层：东北地区油气勘查的一个新层系 [J]. 世界地质, 2008, 27 (2): 113-118.
WANG Cheng-wen, MA Zhi-hong, SUN Yue-wu, et al. Late Paleozoic marine strata: a new layer for oil-gas exploration in Northeast China [J]. Global Geology, 2008, 27 (2): 113-118.

[10] 李宁, 王成文, 孙跃武, 等. 东北地区晚古生代海相地层属于大陆边缘沉积的确定 [J]. 世界地质, 2010, 29 (4): 548-552.
LI Ning, WANG Cheng-wen, SUN Yue-wu, et al. Confirmation of Late Paleozoic marine strata belonging to continental margin deposit in northeastern China [J]. Global Geology, 2010, 29 (4): 548-552.

[11] 岳永强. 磁异常几种分离方法效果对比研究：硕士学位论文 [D]. 成都：成都理工大学, 2011.
YUE Yong-qiang. Separation of magnetic anomaly study on the effect of several methods: master's degree thesis [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.

[12] 赵敏. 西藏重磁场特征分析与区域地质构造识别与划分：硕士学位论文 [D]. 成都：成都理工大学, 2011.
ZHAO Min. The characteristics of magnetic and gravity field and the structural division of regional geologic structure in xizang autonomous region: master's degree thesis [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.