Science Research
2026, Vol. 14, No. 6, pp. 477–483
https://doi.org/10.11648/j.sr.20261406.23

Research Article

Remote Sensing Identification of Mafic-Ultramafic Rocks and Anomaly Extraction for Iron-Titanium Mineral Exploration in the Bachu Area, Southern Xinjiang

Zirui Xu[1, 2], Fojun Yao[3, *]

[1]MNR Key Laboratory of National Mineral Resources Condition Monitoring and Evaluation, IMR CAGS, Beijing, China

[2]School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing, China

[3]Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, China

Abstract

To support the investigation of vanadium–titanium magnetite and associated iron resources in the Bachu area of southern Xinjiang, China, this study integrates Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) and Gaofen-2 (GF-2) satellite imagery with aeromagnetic data to conduct remote sensing geological interpretation at regional (1:50,000) and target-area (1:10,000) scales. At the regional scale, the quartz index (QI), calcite index (CI), and mafic index (MI) were derived from ASTER thermal infrared bands and combined with false-color composite imagery to identify mafic–ultramafic rock bodies. Principal component analysis of the visible-to-shortwave infrared bands was further employed to extract remote sensing anomalies associated with iron staining and mafic hydrothermal alteration. At the target-area scale, high-resolution GF-2 imagery was used to refine the delineation of rock-body boundaries and interpret surface geological features, followed by overlay analysis with aeromagnetic anomalies. The results indicate that relatively continuous signatures of mafic–ultramafic rock bodies can be identified east of Xiaohai Reservoir and in the Wajilitage area. Notably, the rock bodies east of Xiaohai Reservoir show a good spatial correspondence with the results of regional iron–titanium mineralization surveys. The iron-staining and mafic hydrothermal alteration anomalies are generally consistent with the distribution of these rock bodies. The integrated analysis of remote sensing-derived rock bodies, alteration anomalies, and aeromagnetic anomalies reveals favorable prospecting indicators in eastern Xiaohai and the Wajilitage area, identifying them as priority targets for subsequent geological investigations and engineering verification. This study demonstrates that the integrated application of multi-scale, multi-source remote sensing and aeromagnetic data can improve the efficiency of mafic–ultramafic rock identification and prospecting anomaly assessment for Fe–Ti mineralization in arid regions, thereby providing a technical basis for the prioritization of mineral exploration targets.

Keywords

ASTER, GF-2, Mafic-ultramafic Rocks, Ferric Anomaly, Alteration, Aeromagnetic Anomaly, Bachu, Prospecting

*Correspondence: Fojun Yao (fjyao@sina.com)

Received: 5 October 2026; **Accepted:** 17 November 2026; **Published:** 25 November 2026

Copyright: © The Author(s), 2026. Published by Science Publishing Group. This is an **Open Access** article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

新疆南疆巴楚地区镁铁质—超镁铁质岩体遥感识别及铁钛矿找矿异常提取

徐子睿 [1, 2]，姚佛军 [3, *]

[1] 中国地质科学院矿产资源研究所自然资源部矿产资源国情监测与评价重点实验室，北京，中国

[2] 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院，北京，中国

[3] 中国地质科学院矿产资源研究所，北京，中国

摘要

面向新疆南疆巴楚地区钒钛磁铁矿及相关铁矿资源调查，综合 ASTER、GF-2 卫星遥感与航磁资料，开展 1:5 万区域和 1:1 万重点区遥感地质解译。区域尺度上，基于 ASTER 热红外波段构建石英指数（QI）、方解石指数（CI）和镁铁质指数（MI），结合假彩色合成识别镁铁质—超镁铁质岩体；利用可见光—短波红外波段主成分分析提取铁染—镁铁质热液蚀变异常。重点区采用 GF-2 影像细化岩体边界及地表地质特征，并与航磁异常进行叠加分析。结果表明，小海子水库东侧和瓦吉里塔格均识别出较连续的镁铁质—超镁铁质岩体信息，其中小海子水库东侧岩体与区域铁钛矿化调查成果空间对应较好；蚀变异常总体与岩体分布吻合。多源异常叠加显示，小海子东部及瓦吉里塔格一带具有较好的找矿指示意义，可作为后续调查与工程验证重点。研究表明，多尺度、多源遥感与航磁综合应用可提高干旱区相关岩体识别及铁钛矿找矿异常评价效率，为找矿靶区优选提供依据。

关键词

ASTER，GF-2，镁铁质—超镁铁质岩体，铁染异常，蚀变信息，航磁异常，巴楚，找矿预测

1. 引言

镁铁质—超镁铁质岩体既是区域深部岩浆作用和壳幔相互作用的重要记录，也是岩浆型钒钛磁铁矿、铬铁矿及部分镍钴等矿产资源的重要赋存空间。对于干旱—半干旱区而言，地表植被覆盖较弱、基岩出露较好，多光谱遥感数据能够利用岩石在可见光—近红外、短波红外和热红外波段的差异性响应，为岩性填图、蚀变识别及找矿预测提供区域性信息。既有研究表明，ASTER在VNIR、SWIR和TIR波段具有互补的光谱与空间分辨能力，可用于岩石矿物识别、岩性制图和矿化蚀变信息提取[1, 2]；其中，热红外波段对石英、碳酸盐和镁铁质硅酸盐类岩石具有较好的区分能力，已形成较成熟的岩性指数应用体系。

国内遥感地质研究已将ASTER用于西昆仑、祁漫塔格、东天山等地区的岩性信息和矿化蚀变异常提取，形成了波段比值、选择性主成分分析、匹配滤波以及多尺度分类等技术路线[3-7]。其中，基于VNIR-SWIR波段的主成分分析可突出铁氧化物和含羟基矿物的诊断信息[3-5]，而基于ASTER热红外波段的QI、CI和MI等指数则可有效增强不同硅质、碳酸盐质及镁铁质岩石之间的光谱差异[8]。对于高空间分辨率影像，GF-2的全色与多光谱数据能够进一步刻画地质体边界、线性构造和细微地貌特征，为区域遥感解译成果向重点靶区的尺度转换提供支持[9]。

新疆南部巴楚地区发育以镁铁质—超镁铁质侵入体为主体的岩浆型铁钛矿化。近年来的地质研究表明，小海子岩体位于塔里木克拉通西缘巴楚地区，是一处与钒钛磁铁矿有关的重要含矿岩体，其岩石组合及矿化特征与瓦吉里塔格等岩体具有可比性[10]。因此，在该区建立基于遥感岩性识别、蚀变异常提取及航磁异常综合分析的找矿工作流程，对于快速圈定有利信息区、提高后续工程验证的针对性具有现实意义。

本文以巴楚工作区为研究对象，采用ASTER数据开展1：5万尺度的区域遥感地质解译，采用GF-2数据开展1：1万尺度重点区解译，在岩体识别基础上提取铁染—镁铁

质热液蚀变异常，并与航磁异常进行综合叠加分析，重点讨论多源遥感信息在镁铁质—超镁铁质岩体识别和铁钛矿找矿靶区优选中的作用。研究成果或可为南疆类似干旱区岩浆型铁钛矿床的遥感找矿工作提供案例参考。

2. 研究区概况与数据

2.1. 研究区概况

研究区位于新疆南部巴楚地区，研究范围涉及小海子水库及瓦吉里塔格一带。研究区区域地理坐标约为78.8°～79.0°E、39.4°～39.6°N，1∶5万遥感解译面积约100km^2；重点区采用GF-2影像开展1∶1万尺度遥感解译，面积约20km^2。区内地表整体表现为典型干旱区地貌景观，植被覆盖有限，有利于利用卫星遥感影像直接识别基岩和大型岩体的空间展布。

近年来的区域地质研究显示，巴楚地区的镁铁质—超镁铁质侵入体是铁钛成矿的重要载体。李立兴等[10]对小海子岩体的研究表明，该岩体主要发育橄榄辉长岩和橄榄辉石岩等含矿岩相，属于塔里木大火成岩省背景下的岩浆型钒钛磁铁矿成矿系统；瓦吉里塔格岩体则由辉石岩、辉长岩和橄榄辉石岩等组成，钒钛磁铁矿主要赋存于镁铁质岩石中。这一成矿地质背景决定了镁铁质—超镁铁质岩体的空间识别是遥感找矿工作的关键环节。

2.2. 研究数据

区域尺度采用ASTER遥感数据。ASTER为搭载于Terra卫星上的多光谱成像仪，共包含14个波段，覆盖VNIR、SWIR和TIR波段；其中VNIR、SWIR和TIR的空间分辨率分别为15m、30m和90m，并都具有后视VNIR波段，可用于立体测量与DEM生成[1]。本研究收集2景ASTER数据，用于1∶5万尺度遥感解译、岩性指数计算及蚀变异常提取。

表 1 研究区遥感数据与解译任务。

数据	主要波段/特征	空间分辨率	解译尺度	主要用途
ASTER	VNIR/SWIR/TIR，14 波段	15/30/90 m	1∶5 万	岩性指数、岩体识别、蚀变异常
GF-2	全色+4 个多光谱波段	0.8/3.2 m	1∶1 万	岩体边界、细节地质解译
航磁	区域航磁异常信息	—	综合分析	磁性异常与遥感信息叠加

重点区采用GF-2卫星影像、GF-2配置全色与多光谱成像系统，其中全色波段空间分辨率可达亚米级，多光谱数据包括红、绿、蓝和近红外波段；高分辨率全色与多光谱数据融合后能够兼顾光谱信息和地物边界细节，已有研究证实这一方法组合适用于地质构造和岩性遥感解译[9]。本研究还采用1景GF-2数据，开展1∶1万尺度镁铁质—超镁铁质岩体及相关地质信息详细解译。

3. 研究方法

3.1. ASTER 热红外岩性指数与镁铁质—超镁铁质岩体识别

ASTER热红外波段能够记录不同岩石的发射率差异。Ninomiya等[8, 11, 12]基于典型岩石热红外光谱特征建立了QI、CI和MI等岩性指数，用于增强石英质、碳酸盐质和镁铁质硅酸盐岩石之间的差异；Hewson等[13]和Rockwell等[14]进一步证明了ASTER热红外信息在区域岩性制图中的应用价值。考虑到研究区以镁铁质—超镁铁质岩体识别为核心，本文采用QI、CI和MI三类指数进行综合增强。

研究区采用的指数计算关系为：方解石指数CI采用ASTER14/ASTER13；石英指数QI采用ASTER11/(ASTER10+ASTER12)×(ASTER13/ASTER12)；镁铁质指数MI采用ASTER12/ASTER13。经指数计算后，经指数计算后，本文对QI、CI和MI指数进行假彩色合成，以增强不同岩性地质体之间的综合色调差异。其中，红色通道（R）、绿色通道（G）和蓝色通道（B）分别对应石英指数（QI）、方解石指数（CI）和镁铁质指数（MI）。通过三类指数的综合显示，可突出不同岩性单元在热红外波段上的光谱响应差异。在假彩色合成影像中，镁铁质—超镁铁质岩体主要依据综合色调、纹理特征、空间连续性以及区域地质背景进行综合识别，并结合已有地质资料进行解译。需要指出的是，指数合成影像中的颜色变化反映的是多个岩性指数的综合响应，并不代表单一颜色与某一种岩性之间存在绝对对应关系。需要强调的是，岩性指数反映的是像元尺度的综合光谱信息，其结果受岩石风化、表面覆盖和混合像元等因素影响，因此最终解释以连续空间分布、影像纹理及区域地质背景的综合一致性为依据。

3.2. 铁染—镁铁质热液蚀变异常提取

铁染异常与Fe^{3+}氧化物在可见光—近红外范围的诊断性光谱响应有关，含羟基矿物则通常在短波红外范围具有特征吸收。ASTER的VNIR-SWIR波段组合能够利用这些诊断性差异提取与矿化、蚀变有关的异常信息[15-18]。也有相关研究表明，选择性主成分分析可降低多波段数据冗余，并将与铁染或羟基矿物有关的特征信息集中到少数主分量中，再配合阈值分割即可形成异常分布图[4, 7, 15]。

结合研究区红外光谱特征，本研究针对铁染—镁铁质热液蚀变信息选取ASTER B1、B5、B7和B8波段进行主成分分析，并根据主分量的空间分布和异常强度进行异常提取。所得异常划分为不同强度等级，以便于后续与镁铁质—超镁铁质岩体及航磁信息叠加分析。与单纯依赖单一波段或单一指数相比，PCA能够在一定程度上减弱波段间相关性并突出组合光谱差异，但其异常主分量的地质意义必须结合特征波段、光谱响应与已知地质体空间关系共同解释。

3.3. GF-2 重点区遥感地质解译

GF-2数据主要用于1∶1万尺度的地质体空间细节解释。已有研究认为，高分辨率多光谱遥感能够更清晰地表达岩体边界、线性构造、岩性接触关系和细小地质单元[9]。本研究重点判读镁铁质—超镁铁质岩体的色调、纹理、形态及其与周缘地貌单元的接触关系，并与ASTER区域解译成果进行尺度匹配。GF-2解译不单独承担矿物定性任务，而主要承担岩体边界细化和地质空间关系验证，为综合靶区评价提供较高空间分辨率的底图信息。

3.4. 遥感与航磁综合分析

镁铁质—超镁铁质岩体通常具有较高磁性，其空间展布可形成明显磁异常，因此航空磁测信息能够为遥感岩体识别提供独立的地球物理约束。在铁矿遥感找矿研究中，将遥感岩性、铁染蚀变和航磁异常进行综合叠加，可提高对赋矿岩性和潜在矿化区的定位能力[19]。本研究以镁铁质—超镁铁质岩体、铁染—镁铁质热液蚀变异常和航磁异常三类信息为基本要素，通过空间叠加分析确定多源信息一致区，并将其作为后续找矿靶区。

4. 结果

4.1. 镁铁质—超镁铁质岩体遥感识别结果

基于ASTER QI、CI和MI指数构建的假彩色合成影像（图1），研究区不同岩性地质体之间表现出较明显的综合色调、纹理及空间展布差异。综合指数合成结果及区域地质背景，在小海子水库东侧识别出一处较完整的镁铁质—超镁铁质岩体，解译面积约为37km²；在瓦吉里塔格地区亦识别出规模较大的镁铁质—超镁铁质岩体，解译面积约40km²。结合图1可见，小海子水库东侧岩体表现为较为集中的综合色调异常，且异常单元具有较好的空间连续性；瓦吉里塔格岩体则表现为规模较大、边界相对完整的综合色调异常区。两处异常均能够在综合色调和纹理特征上与周围地表覆盖及其他岩性地质体形成一定区分。

需要说明的是，本文所识别的岩体边界主要依据QI、CI、MI综合增强影像中的综合色调、纹理、空间连续性和地质背景进行综合解译，并非根据单一指数阈值自动分类获得。因此，37km²和40km²为遥感解译条件下的岩体出露范围估算值，其精度受ASTER空间分辨率、风化作用及浅覆盖等因素影响。

结合已有区域地质认识，小海子水库东侧和瓦吉里塔格所识别岩体均与区域镁铁质—超镁铁质岩浆活动及铁钛矿化背景具有较好的空间对应关系，为后续蚀变异常提取及航磁综合分析提供了基础。

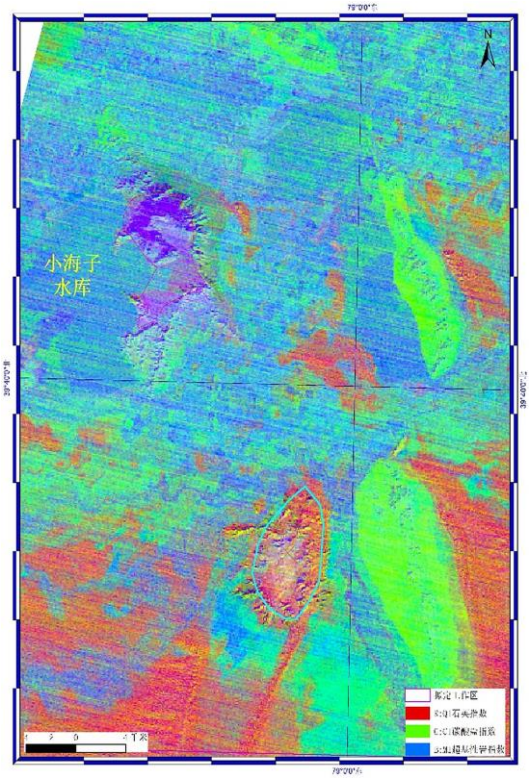

图 1 研究区 ASTER QI、CI、MI 假彩色合成及镁铁质—超镁铁质岩体解译结果。

从岩体解译图（图2）看，小海子水库东侧和瓦吉里塔格两处岩体均形成相对独立的面状展布单元，岩体边界总体清晰。需要指出的是，ASTER 15～90m的多尺度分辨率使细小岩脉、风化带和浅覆盖区的边界存在一定不确定性，因此区域解译成果主要用于圈定岩体总体展布和空间关系，而非替代详细地质填图。

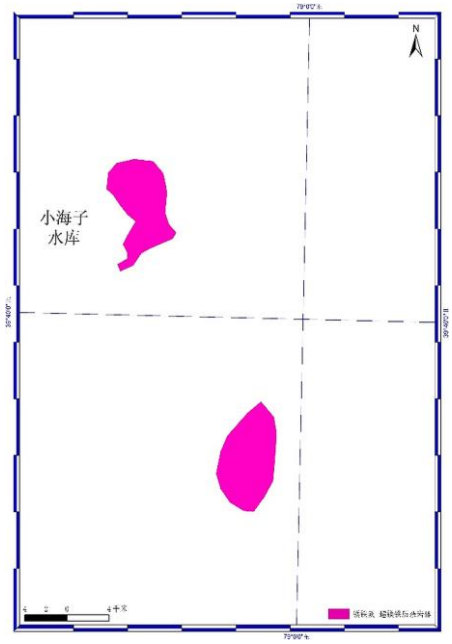

图 2 研究区镁铁质—超镁铁质岩体遥感解译结果。

4.2. 铁染—镁铁质热液蚀变异常提取结果

在镁铁质—超镁铁质岩体识别基础上，利用B1、B5、B7和B8组合进行主成分分析，获得铁染—镁铁质热液蚀变异常分布图（图3）。结果显示，异常主要分布于两处主要镁铁质—超镁铁质岩体及其邻近区域，空间上与岩体解译范围总体一致。异常表现出由强到弱的分级特征，其中较强异常集中于岩体局部区段，次级异常则沿岩体周缘呈不连续展布。

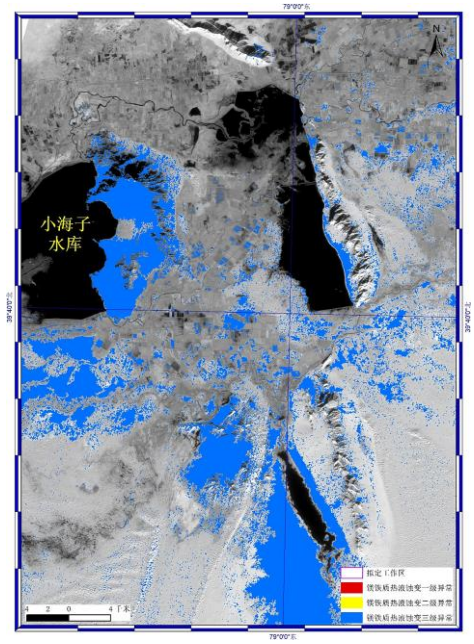

图 3 铁染—镁铁质热液蚀变遥感异常提取结果。

结合图3可见，异常分布与镁铁质—超镁铁质岩体范围具有较好的空间吻合性。从遥感地质角度看，这种吻合既可能反映岩体表面富铁矿物及风化产物的光谱响应，也可能与岩体边部或内部的热液蚀变作用有关。已有研究指出，ASTER在铁氧化物与含羟基矿物的识别中具有较强的区域筛查能力，但由于像元混合、风化覆盖和背景岩性等因素，遥感异常本身不能直接等同于矿体，需要结合岩体、地球物理及地球化学资料综合判断[20-22]。

4.3. 遥感与航磁异常综合分析及靶区预测

为降低单一遥感异常解释的不确定性，进一步将镁铁质—超镁铁质岩体、铁染—镁铁质热液蚀变异常和航磁异常进行综合叠加。结果显示，小海子水库东部和瓦吉里塔格附近均存在三类信息较明显的空间叠加，其中小海子东部岩体的遥感岩性异常与航磁异常具有较好的对应关系，瓦吉里塔格地区则表现出较强的岩体信息和磁异常组合。

结合图4可见，航磁等值线在主要镁铁质—超镁铁质岩体附近表现出明显的异常梯度和局部闭合特征，而遥感铁染—蚀变异常则集中分布在部分岩体和其周边。多源信息的共同出现说明这些区域可能同时具备有利的含矿岩性与磁性体响应。从找矿预测角度看，将岩体、蚀变和磁异常进行综合叠加，有助于进一步约束有利信息集中区的空间范围，并降低单一信息源解释的多解性。类似的遥感与航磁综合预测方法在铁矿带研究中已经得到应用，并被用于定位赋矿岩性、控矿构造和矿化带[19]。

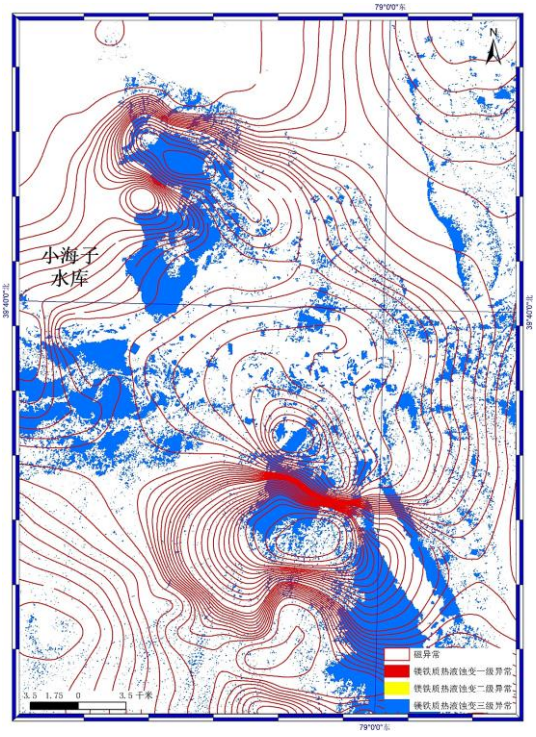

图 4 遥感异常与航磁异常综合叠加分析结果。

综合分析表明，小海子东部和瓦吉里塔格两个区段均具有较好的多源信息一致性，可作为后续地质调查、地面磁法精查、剖面测量和钻探验证的重点区。需要强调的是，本研究靶区预测属于遥感和航磁约束下的区域性靶区评价，其地质意义主要体现为“有利信息集中区”，并不直接等同于已经证实的工业矿体。最终矿体边界、品位与资源量仍需依赖地表地质调查如槽探、钻探及实验测试等方式进行验证。

5. 讨论与结论

5.1. 讨论

ASTER热红外岩性指数是本文区域尺度镁铁质—超镁铁质岩体识别的主要信息来源。QI、CI和MI分别从不同岩性组分的光谱差异出发，对研究区石英质、碳酸盐质及镁铁质硅酸盐类地质体进行综合增强。与单一指数相比，三类指数进行假彩色合成后能够同时利用不同光谱指标的空间变化特征，使目标岩体与周缘背景地质体在综合色调、纹理和空间连续性方面形成更加直观的差异。ASTER与GF-2在空间尺度和信息类型上具有明显互补性。ASTER具有VNIR、SWIR和TIR多波段信息，适用于区域尺度岩性及蚀变异常筛查；GF-2则具有更高空间分辨率，可进一步刻画重点区岩体边界、地貌纹理及线性构造等细节信息。因此，本文形成了“ASTER区域识别—GF-2重点区细化”的多尺度工作流程。该流程并非以GF-2替代ASTER的光谱增强作用，而是利用两类数据在光谱维和空间维上的互补关系，提高区域找矿信息向重点区尺度转换的效率。从本文结果看，小海子水库东侧和瓦吉里塔格地区均表现出较连续的指数综合色调异常，并与已知区域镁铁质—超镁铁质岩体及铁钛矿化背景具有较好的空间对应关系，说明热红外岩性指数组合能够在本研究区较有效地突出目标岩性信息。但需要指出的是，指数增强结果并不等同于岩性的直接定性识别，其异常表现可能同时受到风化程度、表面覆盖及混合像元等因素影响，因此本文采用综合色调、空间连续性和区域地质背景相结合的方式进行综合解释。

主成分分析的优势在于能够将相关波段的信息重新组合，并在少数主分量中增强差异性地质信息[18]。国内外研究均表明，利用具有明确诊断光谱意义的波段组合进行PCA，可以有效提取铁氧化物和含羟基矿物异常[3-5, 15, 21]。但是，主分量并非天然具有唯一地质意义，其解释需要依赖特征向量、波段光谱响应以及已知地质体的空间对比。

对于本文研究区而言，铁染—镁铁质热液蚀变异常与岩体空间吻合较好，这是支持异常具有找矿指示意义的重要证据，但仍不能排除岩石风化、地表氧化壳、土壤及其他含铁地表物质的干扰。尤其在铁钛矿化区，富铁岩石自身的表面风化可能产生与热液蚀变相似的光谱表现。因此，后续工作应增加现场岩石波谱测量和典型样品矿物学分析，并对遥感异常进行岩性、矿物组合和化学成分验证。

单一遥感异常具有较强的区域筛查价值，但其与实际矿体之间通常是间接关系；航磁异常则主要反映磁性物质及磁性岩体的空间分布。对于以钒钛磁铁矿为代表的镁铁质—超镁铁质岩浆型矿床，磁异常与含矿岩体之间具有较强的地质联系，因此采用遥感岩性、铁染异常和航磁信息进行综合约束，能够在一定程度上降低单一信息源的多解性[10, 19]。

本文结果显示，两处主要靶区均具有较好的“岩体—蚀变—磁异常”空间组合特征，这与区域上巴楚地区镁铁质—超镁铁质岩体具有铁钛矿化潜力的认识相一致[10]。不过，现有资料主要用于遥感和航磁综合筛查，尚缺少本文研究尺度下的详细磁性参数、地球化学异常和工程验证资料。因此，综合异常宜理解为靶区优选依据，而非直接的矿体证据。

后续工作可沿“遥感异常精细化—地球物理约束—地质验证—工程验证”的路径推进。首先，应在小海子东部和瓦吉里塔格靶区进一步利用GF-2或更高空间分辨率数据进行岩体边界和构造细化；其次，对重点异常开展地面磁法剖面和必要的激电、电阻率等物探工作，以刻画异常体的空间规模和埋深；再次，应选择代表性岩体、强铁染异常与磁异常重合区进行系统地质调查和岩石地球化学采样；最后，根据多源异常空间一致性布设验证工程，以检验遥感异常与实际矿化之间的对应关系。

5.2. 结论

ASTER热红外QI、CI、MI指数对巴楚地区镁铁质—超镁铁质岩体具有较好的区域增强效果。研究区可识别出小海子水库东侧和瓦吉里塔格两处主要岩体，其中小海子东侧岩体出露面积约37km^2，瓦吉里塔格岩体出露面积约40km^2。

基于ASTER B1、B5、B7和B8波段主成分分析提取的铁染—镁铁质热液蚀变遥感异常总体与镁铁质—超镁铁质岩体范围相吻合，局部强异常表现出进一步查证的价值。

GF-2高空间分辨率影像能够有效补充ASTER区域解译成果，增强重点区岩体边界与地表地质细节表达，适用于由1∶5万向1∶1万尺度的工作转换。

遥感岩体、铁染—蚀变异常与航磁异常在小海子东部和瓦吉里塔格一带具有较好的空间叠加关系，可作为后续地质调查和工程验证的重点靶区。

本研究表明，多源、多尺度遥感与航磁综合分析能够为干旱区镁铁质—超镁铁质岩浆型铁钛矿床的区域找矿提供有效的靶区优选手段，但遥感异常仍需通过现场地质、波谱、地球化学和工程资料进行最终验证。

基金项目

本文受深地国家科技重大专项项目(2025ZD1008600)；新疆重大专项项目(2022A03009-3)；中国地质调查局地质调查项目(DD202602109203)资助。

参考文献

[1] Abrams M. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): Data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(5): 847-859.

[2] van der Meer F D, van der Werff H M A, van Ruitenbeek F J A, et al. Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 14(1): 112-128.

[3] 程三友, 杨兴科, 于恒彬, 等. 基于 ASTER 数据的矿化蚀变遥感异常提取技术方法——在青海祁漫塔格成矿带虎头崖矿区的应用 [J]. 地质力学学报, 2020, 26(3): 432-442.

[4] 唐淑兰, 曹建农, 王凯. 结合 PCA、多尺度分割及 SVM 的 ASTER 遥感蚀变信息提取 [J]. 遥感学报, 2021, 25(2): 653-664.

[5] 王蔚, 张世涛, 尹光侯, 等. 应用 ASTER 数据提取矽卡岩型锡矿蚀变遥感异常信息——以滇东南马关都龙锡矿为例 [J]. 国土资源遥感, 2012, 24(1): 155-159.

[6] 余健, 张志, 李闵佳, 等. 基于 ASTER 遥感影像的西昆仑岩性信息提取方法研究 [J]. 国土资源遥感, 2012, 24(1): 22-27.

[7] 刁海, 张达, 狄永军, 等. 基于主成分分析和分形模型的 ASTER 蚀变异常信息提取 [J]. 国土资源遥感, 2011, 23(2): 75-80.

[8] Ninomiya Y, Fu B H, Cudahy T J. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared "radiance-at-sensor" data [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 99(1-2): 127-139.

[9] 张亮, 那晓东, 刘知, 等. 基于国产 GF-2 卫星影像的遥感地质解译——以阿吾拉勒地区为例 [J]. 地质科技情报, 2018, 37(2): 233-240.

[10] 李立兴, 陈懋弘, 李厚民, 等. 新疆巴楚小海子岩体铁钛成矿特征及资源利用前景 [J]. 矿床地质, 2024, 43(1): 29-42.

[11] Ninomiya Y. Mapping quartz, carbonate minerals and mafic-ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared ASTER data [C]//Proceedings of SPIE. 2002, 4710: 191-202.

[12] Rowan L C, Mars J C, Simpson C J. Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 99(1-2): 105-126.

[13] Hewson R D, Cudahy T J, Mizuhiko S, et al. Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 99(1-2): 159-172.

[14] Rockwell B W, Hofstra A H. Identification of quartz and carbonate minerals across northern Nevada using ASTER thermal infrared emissivity data—Implications for geologic mapping and mineral resource investigations in well-studied and frontier areas [J]. Geosphere, 2008, 4(1): 218-246.

[15] 钱建平, 张渊, 赵小星, 等. 内蒙古东乌旗遥感构造和蚀变信息提取与找矿预测 [J]. 国土资源遥感, 2013, 25(3): 109-117.

[16] Rowan L C, Hook S J, Abrams M J, et al. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system [J]. Economic Geology, 2003, 98(5): 1019-1027.

[17] Rowan L C, Schmidt R G, Mars J C. Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 104(1): 74-87.

[18] Galvão L S, Almeida-Filho R, Vitorello Í. Spectral discrimination of hydrothermally altered materials using ASTER short-wave infrared bands: Evaluation in a tropical savannah environment [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2005, 7(2): 107-114.

[19] 张策, 彭莉红, 张恩, 等. 基于遥感和航磁数据的迪木那里克铁矿带找矿定位预测 [J]. 国土资源遥感, 2019, 31(3): 216-224.

[20] 陈威, 祝明明, 曹晓峰, 等. 遥感—化探信息融合方法在新疆鄯善县大平梁地区找矿靶区预测中的应用 [J]. 地质科技情报, 2016, 35(6): 184-193.

[21] 金谋顺, 王辉, 张微, 等. 高分辨率遥感数据铁染异常提取方法及其应用 [J]. 国土资源遥感, 2015, 27(3): 122-127.

[22] Beiranvand Pour A, Hashim M. ASTER, ALI and Hyperion sensors data for lithological mapping and ore minerals exploration [J]. SpringerPlus, 2014, 3: 130.