

doi:10.3799/dqkx.2015.117

基于 Hyperion 数据的矿区废弃土土壤恢复潜力

陈圣波¹, 谢明辉^{1,2*}, 路鹏¹, 张莹¹, 于亚凤¹

1. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林长春 130026

2. 吉林建筑大学管理学院, 吉林长春 130118

摘要: 人类大规模地进行矿山开采造成生态环境问题, 导致土壤发生变化, 并引起矿山环境发生变化, 矿区废弃土土壤恢复有利于该地区矿山环境的改进。在野外实测光谱的基础上, 对江西德兴矿区废弃土土壤恢复潜力进行分析, 并结合 Hyperion 高光谱数据, 通过光谱吸收指数法反演铁离子含量、粘土矿物含量和有机质含量。结果显示, 在德兴矿区一号坝、二号坝、四号坝和铜矿的土壤有益成分相对较低。铁、粘土矿物和有机质含量高值区主要分布为有林地, 说明该区域土壤质量较好; 一号、二号、四号尾矿库、废石场及选矿厂等地区, 由于矿山的开采活动破坏了原有的土壤, 土地耕种存在一定的难度, 应采取相应的工程、生物和区域生态环境的改良等措施对土壤进行恢复治理。

关键词: Hyperion 数据; 遥感; 土壤恢复潜力; 江西德兴。

中图分类号: P964 **文章编号:** 1000-2383(2015)08-1353-06 **收稿日期:** 2015-03-20

Restoration Potential of Abandoned Soil at Dexing Mine of Jiangxi Province Based on Hyperion Data

Chen Shengbo¹, Xie Minghui^{1,2*}, Lu Peng¹, Zhang Ying¹, Yu Yafeng¹

1. College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China

2. School of Management, Jilin Jianzhu University, Changchun 130118, China

Abstract: Deterioration of soil quality and ecological environment caused by large scale mining poses as a serious threat to the life and social development. Based on measured data of soil in Dexing mining, the restoration potential of abandoned soil is analyzed in this study by using mathematics model and hyperion data to derive the iron ion, clay minerals and organic matter in the abandoned soil. The results show that the favorable contents of soil is low in I Tailing Pond, II Tailing Pond, IV Tailing Pond and copper mine, whereas they are high in the forest, which indicates the soil in the mining areas has been ruined due to exploration and development of mining while the soil is better in woods. So it is necessary to reclaim the mining wasteland around mining areas after exploitation, and then restore the mining environment by improving soil quality, rational land planning, and close monitoring of the soil quality of mines.

Key words: Hyperion data; remote sensing; content inversion; Dexing of Jiangxi Province.

近年来, 矿产资源的开发引起了矿山环境发生严重变化, 打破了原来的土壤结构, 产生大量的废弃土, 导致土壤水分流失、植被生长条件受到影响、生产建设遭到破坏以及区域经济发展受到制约, 进而影响到人们的正常生活。针对矿产资源开发产生的废弃土土壤恢复能力及潜力进行分析, 对矿区的环境恢复有重要的指示作用。

德国 1934 年颁布了《土地评价法》, 成为世界上

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(No.2012AA12A308); 国土资源部地质矿产调查评价专项项目(No.1212011120230); 国家自然科学基金项目(No.41402293)。

作者简介: 陈圣波(1967—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事遥感地学研究。E-mail: chensb0408@126.com

*** 通讯作者:** 谢明辉, E-mail: jijyan@163.com

引用格式: 陈圣波, 谢明辉, 路鹏, 等, 2015. 基于 Hyperion 数据的矿区废弃土土壤恢复潜力. 地球科学——中国地质大学学报, 40(8): 1353-1358.

第一个专门为土地评价立法的国家(傅伯杰,1990;朱德举,2006);美国为了能够更加合理的利用、保护和开发土地,在 1961 年正式提出了土地潜力分类系统,建立了国际上第一个较为全面的土地评价系统,该系统主要是从土壤特性出发来进行土地潜力的评价(Klingebiel and Montgomery, 1961; David, 1996).美国在 1969 年便开展了矿山环境与灾害监测的项目,并取得了一定的成效.利用遥感技术对煤矿区土地复垦效果进行动态变化监测,为矿区土地复垦提供了客观有效的资料,大大提高了环保管理部门的工作效率(秦莹,2012).在国内,张华安和朱永豪(1994)对实地采集的样品进行光谱测试,并用最小二乘法建立了土壤反射光谱特征与高岭石和蒙脱石等粘土矿物含量的回归预测方程;谢伯承等(2005)研究发现,光谱吸收面积在 600~800 nm 波段范围内与土壤有机质含量之间存在较好的线性关系,在 1 800~2 100 nm 波段内与土壤粘土矿物含量具有较好的相关性,从而建立土壤参数的预测模型.

本文利用高光谱遥感技术,根据野外实测土壤样品光谱进行分析,建立模型,提取江西德兴矿区铁离子、粘土矿物和有机质含量,从而综合分析各因素对研究区废弃土土壤恢复潜力的影响.

1 研究区概况

研究区位于江西德兴矿区,江西德兴地区是重要

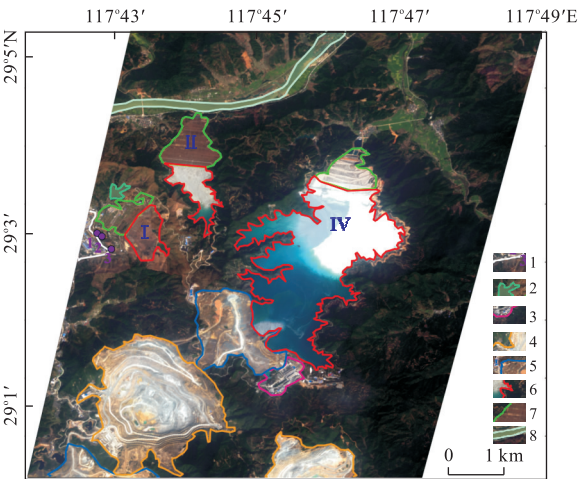


图 1 德兴矿区废弃土类型空间分布

Fig.1 Distribution of restoration potential of abandoned soil sketch in Dexing mining

1.矿部;2.水库;3.选矿厂;4.采矿场;5.废石场;6.尾矿库;7.尾矿库;8.安乐河

的矿产资源基地.它是中国以铜为主的大型矿集区,已有 60 多年的开采历史,也是矿山环境保护治理工作投入较多的地区之一(周清等,2004).德兴研究区主要分布着 3 个尾矿坝,分别为 1 号坝、2 号坝和 4 号坝,尾矿坝下面含有大量的尾矿砂(图 1).在 1 号尾矿坝左侧有矿部,主要负责监测尾矿的开采与管理.在 4 号尾矿坝的底端有一个废石场,主要由采矿之后堆积的废石废土形成.另外在研究区还有两个大型的采矿场,主要以铜矿为主的大型矿集区,当然铜矿的开采也会产生废石和废土,所以一般在采矿场周围都分布着废石场.因此,在研究废弃土复垦时,要将土壤的理化性质和土地利用类型相结合,这样更有利于土壤的恢复潜力评价.

2 样品采集与测试分析

笔者对德兴的 1 号坝附近的 3 个坑进行采样(图 2),每个坑又在不同深度下进行采样,进而在空间和时间尺度上结合土壤的成土过程分析评价各个环境指标要素的变化情况.

对采样土壤光谱曲线测试所使用的仪器为美国的 ASD(analytical spectral devices)光谱仪.土壤光谱测试在野外实地进行,测定时间为每天 12~14 时,天空云量<10%,测试场地的视场角为 25°左右,测点的视场角为 5°左右.

将采得的土壤样品密封后带回实验室,将其晾晒至风干,去除植物根系、石块等杂物,进行研磨,过 120 目筛,在检测中心使用 X 射线荧光光谱仪进行土壤化学成分的测试,从而得到土壤有机质、土壤粘土矿物和土壤铁离子要素的含量.

2.1 铁特征分布

从图 3 中可以看出氧化铁与氧化亚铁含量呈负相关.这是因为氧化铁和氧化亚铁存在着氧化还原反应,在土壤中常处于还原淋溶和氧化淀积的交替过程中(孙丽蓉,2007).从坝顶到坝底氧化亚铁的含量在各个土壤剖面的潜水面和第一层都逐渐增加,而氧化铁的含量却逐渐降低.这也可以反映出氧化铁和氧化亚铁含量的负相关,二者之间存在着相互转化的关系.由此可知,铁离子在土壤中的含量要适中,二价铁及三价铁含量均衡,并对土质较好.

2.2 土壤有机质的特征分布

从土壤剖面的时间序列图 4a 可以看出,有机质含量在土壤剖面分布具有不均衡性,这与土壤的成土因素和成土过程有关.土壤最上层覆盖着植物的



图 2 研究区土壤剖面

Fig.2 The soil profile of research region

枯枝落叶,而有机质的积累主要来自地上部分残落物的分解,因此形成的腐殖质层较薄,腐殖质在土壤剖面中的分布往往是自表面向下逐渐减少.而矿区废弃土土层剖面不完整,地表植被覆盖相对较少,下层土壤中的养分没有受植物根系的长期吸收而大量消耗,表层土壤的养分向淋溶层渗透,由于淋溶作用有机质含量也逐渐向淀积层积累,因此下层土壤中有机质含量显著高于上层,分析结果表明土壤剖面有机质含量从表层到深层含量有逐渐升高的趋势,而有机质含量越高,土壤恢复能力越强.

2.3 粘土矿物特征分布

从土壤剖面的时间序列图 4b 可以看出,高岭石含量在土壤剖面分布具有不均衡性.1 号坑内随着深度的增加高岭石含量呈下降趋势,相反地在 2 号

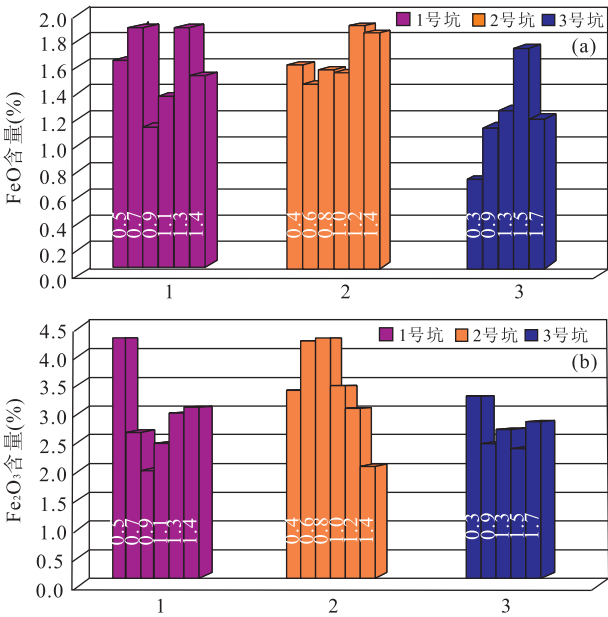


图 3 废弃土土壤氧化亚铁(a)和氧化铁(b)含量的剖面分布

Fig.3 Profile analysis diagram of abandoned soil ferrous oxide content (a) and ferric oxide content (b)

每个柱状图上的数字代表不同的采样深度,单位为 m

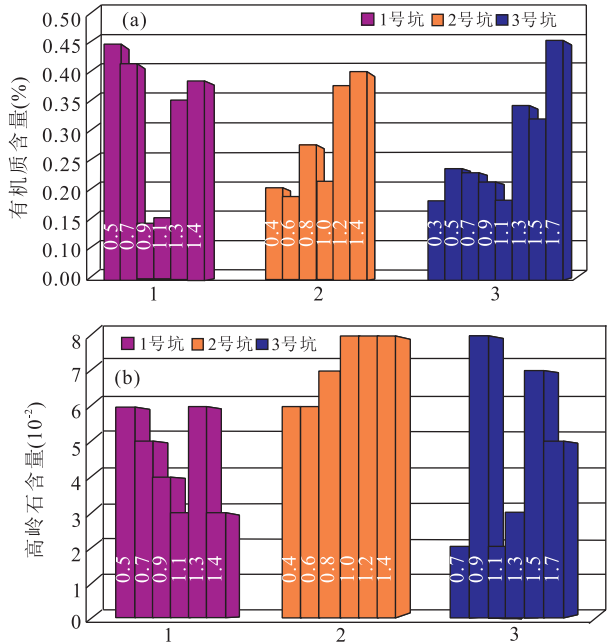


图 4 不同坑的相同土壤层有机质含量分布(a)和废弃土高岭石含量的剖面分布(b)

Fig.4 Profile analysis diagram of soil organic matter content (a) and kaolinite content (b)

每个柱状图上的数字代表不同的采样深度,单位为 m

坑内随着深度的增加高岭石含量随之增加,然而在 3 号坑内却没有明显的变化趋势,这可能与不同坑内土壤的成土过程和成土因素有关,同时也与人类

的开采行为有关,开采行为严重地破坏了原来的土层和土壤剖面.上述结果表明在 2 号坑内的粘土矿物含量较高,则该坑附近的土壤质量较好,受到的人为破坏较少,在未来进行土地恢复的时候该区潜力较大,恢复起来较容易.

3 矿区土壤成分反演

笔者通过上面对野外采集土壤的实测分析,得到研究区铁离子、粘土矿物和有机质的分布特征,并分析了其分布特征产生的原因.研究利用 Hyperion 高光谱数据,反演全研究区的铁离子及粘土矿物特征,为废弃土土壤恢复潜力程度进行分析.

3.1 Hyperion 数据预处理

Hyperion 是搭载在 EO-1 卫星上的高光谱航

空传感器,共包含 242 个波段,覆盖范围从可见光—近红外到短波红外;Hyperion 数据的光谱分辨率为 10 nm,空间分辨率为 30 m(鲍士旦,2000;许宁,2008;安如等,2013).研究区位于江西省德兴矿区,其地理坐标为 28°58′~29°80′ N,117°40′~117°48′E.由于传感器本身的特性以及其他条件的影响,导致接收到的高光谱数据都会存在一定的误差,因此要对获取的数据进行一系列的预处理,消除各种畸变和影响,以便后期数据的分析和研究.

3.2 矿区土壤成分反演

废弃土土壤恢复中重要的成分包括有机质、粘土矿物及适量的金属矿物.针对野外实测数据的测试分析,笔者选择有机质、粘土矿物及铁离子,利用光谱吸收指数法进行土壤成分含量反演(图 5).光谱特征提取是以分析光谱曲线特征为基础,根据填图

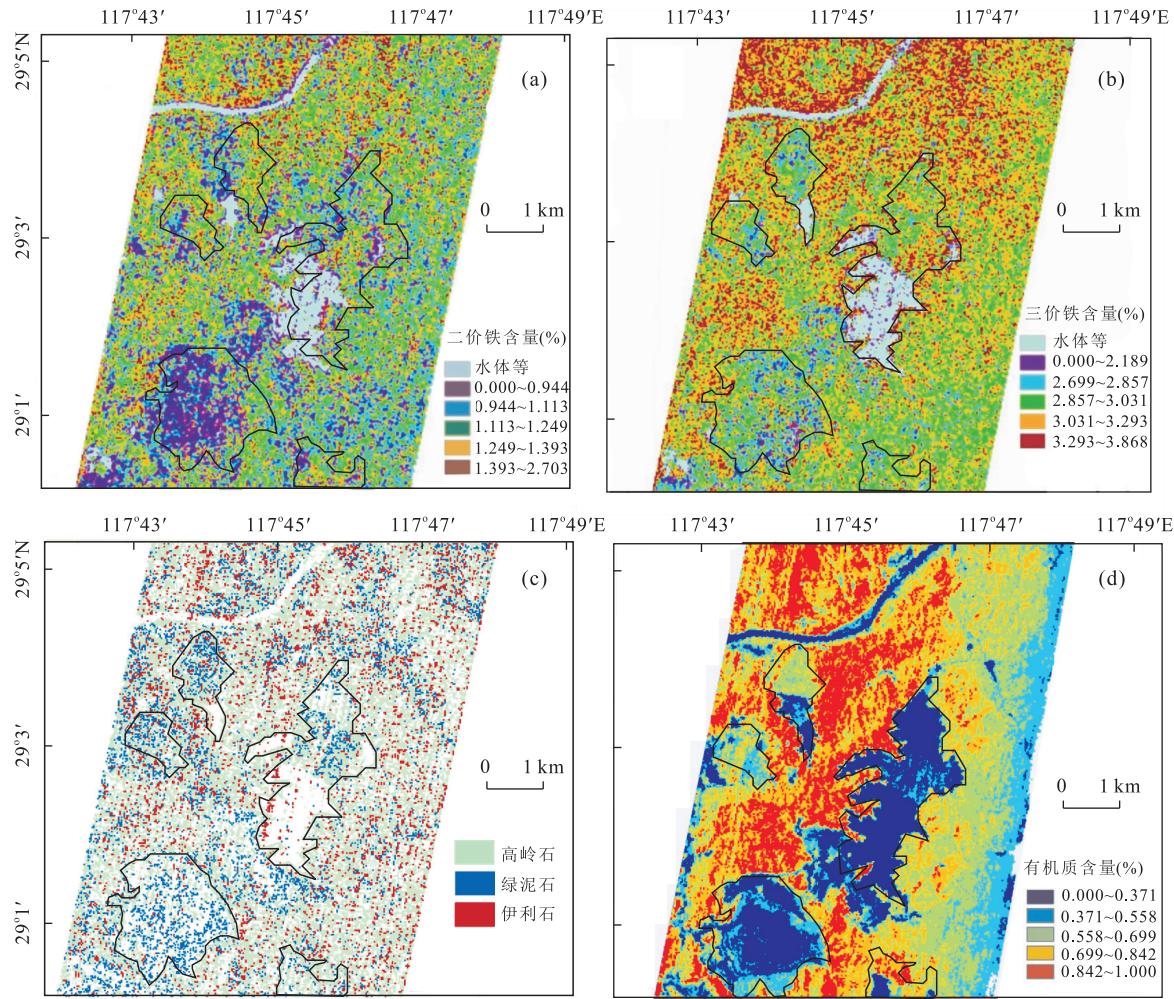


图 5 铁离子、粘土矿物及有机质含量反演结果

Fig.5 The derivation of iron ion, clay mineral and soil organic matter
a.二价铁含量分布;b.三价铁含量分布;c.粘土矿物含量分布;d.有机质含量分布

矿物的光谱曲线,以光谱曲线的特征吸收位置作为信息提取的依据.笔者将野外实测数据与密度分割后的图像光谱吸收指数进行回归分析,最终得到含量反演的回归模型,并将其应用到遥感图像上,得到最终的含量(图 5).结果表明,德兴矿区 1 号坝、2 号坝、4 号坝和铜矿的土壤铁离子及土壤粘土矿物含量均较低,这是因为研究区的土壤类型为红壤,红壤中常含有铁离子、铁锰胶膜、铁锰结核等新生体,赤铁矿等含量较高,即背景土壤中铁离子含量一般较高,导致 3 个尾矿坝和铜矿的铁离子含量相对背景土壤中铁离子含量低.3 个尾矿坝和铜矿的粘土矿物含量相对较低的结果与现实情况相符,尾矿坝的土是采矿之后的废弃土,含有大量的尾矿砂,土壤砂化现象严重,土壤的肥力质量较差.

根据土壤铁离子、有机质及粘土矿物的特征分布分析可知,粘土矿物、有机质含量和铁离子含量较高,则该坑附近的土壤质量较好,受到的人为破坏较少,在未来进行土地恢复的时候该区潜力较大,恢复起来较容易.

4 结论

基于 Hyperion 高光谱数据,结合野外实测土壤光谱信息,建立回归模型反演江西德兴矿区铁离子、粘土矿物及有机质含量.通过对不同土壤深度的成分含量变化分析得到铁离子、粘土矿物及有机质含量对土壤养分的影响,最后综合分析研究区废弃土恢复潜力.

研究表明,铁离子及有机质含量高值区,主要分布在林地,该区域植被茂密,覆盖度大,所以土质较好.在德兴矿区 1 号坝、2 号坝和 4 号坝土壤铁离子含量、粘土矿物含量和有机质含量都相对较低.这是因为尾矿坝的土是采矿之后的废弃土土壤,含有大量的尾矿砂,土壤砂化现象严重,土壤的肥力质量较差.1 号、2 号、4 号尾矿库和废石场及选矿厂等地区,由于矿山的开采活动破坏了原有的土壤,土地耕种存在一定的难度,采取相应的工程、生物和区域生态环境的改良等措施对土壤进行恢复治理;通过对矿区废弃土的治理和恢复可提高土壤的质量和利用率,对矿山环境的恢复和生态的可持续发展提供了理论依据和技术支撑.

References

An,R.,Liu,Y.Y.,Qu,C.M.,et al.,2013.Estimation of Chlo-

rophyII—A Concentration of Case II Waters from Hyperspectral Remote Sensing Data in NDCI Method. *Journal of Lake Science*,25(3):437—444 (in Chinese with English abstract).

Bao,S.D.,2000.Agricultural Soil Analysis Experiment.China Agriculture Press,Beijing (in Chinese).

David,G.R.,1996.A Theoretical Framework for Land Evaluation.*Geoderma*, (72): 165—190.doi: 10.1016/0016—7061(96)00031—6

Fu,B.J.,1990.The Review of Soil Evaluation.*Resources Science*, (3):1—7 (in Chinese).

Klingebiel,A. A., Montgomery, P. H., 1961.Land Capability Classification.Soil Conservation Service,US Department of Agriculture,USA.

Qin,Y.,2012.Status and Development on Geological Disasters Research Induced by Mining.*Coal Technology*, 31 (1):136—137 (in Chinese with English abstract).

Sun,L. R., 2007. Study on Dissimilatory Reduction of Iron Oxides in Paddies and Its Influential Factors (Dissertation).Northwest A & F University, Yangling (in Chinese with English abstract).

Xie,B. C., Xue, X. Z., Liu, W. D., et al., 2005. Hull-Curve-Method-Based Extraction and Analysis of Soil Spectral Characteristics.*Acta Pedologica Sinica*, 42(1): 171—175 (in Chinese with English abstract).

Xu,N.,2008.Remote Sensing and GIS Based Data Mining and Assessment for Degree of Land Degradation (Dissertation).China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).

Zhang,H. A., Zhu, Y. H., 1994. Application of Landsat TM Data to Landuse Classification and Thematic Information Extraction in Subtropical Economic Forest Zone. *Remote Sensing for Land & Resources*, (2):52—54 (in Chinese with English abstract).

Zhou,Q.,Zhou,B.,Zhang,Y.Z.,et al.,2004.Influence of Parent Materials on Paddy Soil Hyperspectral Characteristics and Som Spectral-Parameter-Models. *Acta Pedologica Sinica*, 41(6):905—911 (in Chinese with English abstract).

Zhu,D.J.,2006.The Evaluation of Soil.Chinese Earth Press, Beijing (in Chinese).

附中文参考文献

安如,刘影影,曲春梅,等,2013.NDCI 法 II 类水体叶绿素 a 浓度高光谱遥感数据估算.湖泊科学,25(3):437—444.

鲍士旦,2000.土壤农化分析.北京:中国农业出版社.

傅伯杰,1990.土地评价研究的回顾与展望.自然资源,(3): 1—7.

秦莹,2012.采矿诱发地质灾害风险研究现状及其发展.煤炭技术,31(1):136—137.

孙丽蓉,2007.水稻土中异化铁还原过程及其影响因素研究(学位论文).杨凌:西北农林科技大学.

谢伯承,薛绪掌,刘伟东,等,2005.基于包络线法对土壤光谱特征的提取及其分析.土壤学报,42(1):171—175.

许宁,2008.基于 RS 和 GIS 的土地退化程度信息挖掘及评价研究(学位论文).北京:中国地质大学.

张华安,朱永豪,1994.土壤中粘土矿物的反射光谱定量分析.国土资源遥感,(2):52—54.

周清,周斌,张杨珠,等,2004.成土母质对水稻土高光谱特性及其有机质含量光谱参数模型的初步研究.土壤学报,41(6):905—911.

朱德举,2006.土地评价.北京:中国大地出版社.

《地球科学——中国地质大学学报》

2015 年 9 月 第 40 卷 第 9 期 要目预告

华北克拉通北缘早二叠世堆晶岩及其构造意义	邵济安等
塘沽地区沙河街组下部含云质泥岩主微量元素地球化学特征及地质意义	李 乐等
中全新世以来琼东南陆架粘土矿物特征及物质来源	田 旭等
南海北部陆坡晚白垩世构造逆冲及其成因	王长势等
莺歌海盆地 LD 区块地层超压对储层成岩作用的影响及其地质意义	段 威等
塔里木盆地古城墟隆起奥陶系多期古流体活动证据及意义	鲁子野等
西准噶尔及邻区的岩石圈密度结构特征及其构造意义	许顺芳等
月球虹湾—雨海盆地壳幔结构	王旭媛等