

新昌地区典型火成岩发射光谱特征分析

李翔, 俞乐, 董传万, 张登荣

(浙江大学地球科学系, 杭州 310027)

摘要: 岩矿光谱特征是遥感找矿和岩性识别的物理基础。为了全面认识火成岩的光谱特征, 对来自新昌地区的 5 个不同岩石样品进行了发射光谱测试分析, 并在总结火成岩常见矿物、基团和离子发射光谱特征的基础上, 通过包络线法对测试得到的光谱曲线进行分析, 得到曲线低发射带的位置、深度、宽度、面积、对称性和深宽比的定量描述, 以此为基础, 结合样品的化学测试数据, 研究了火成岩矿物组成、蚀变特征及共生状态等与光谱特征的关系, 对其形成机理进行了探讨。

关键词: 火成岩; 发射光谱; 光谱特征; 遥感; 包络线

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2010)02-0068-05

0 引言

随着遥感技术的发展, 尤其是高光谱遥感技术的发展, 遥感应用逐渐从定性走向定量。地物波谱测量分析研究是定量遥感的一项关键性基础工作。通过对地物波谱的测试分析来识别和研究岩石一直是遥感地质学的重要领域^[1-4]。岩石的矿物成分、结构、构造、蚀变和共生状态都影响岩石的光谱特征, 对特征光谱发射率谱带的研究是利用热红外多光谱遥感技术提取和识别岩石、矿物信息特征的基础, 而目前对岩石发射光谱特征的研究相对比较薄弱。为此, 本文重点研究 8~14 μm 大气窗口范围内的火成岩发射光谱特征, 在包络线消除的基础上得到主要低发射峰特征, 包括低发射峰波段位置、深度、宽度、深宽比、面积和对称性等, 并探讨光谱与岩石矿物组成、化学成分、蚀变特征及共生状态等的关系。本研究可为机载和星载多光谱传感器最佳地质应用波段的选择以及岩石遥感信息提取与识别的波段组合提供理论依据, 进而为遥感矿产预测和找矿提供依据。

1 研究区地质概况

以浙江新昌地区为研究区, 区域地质简图如图 1 所示。

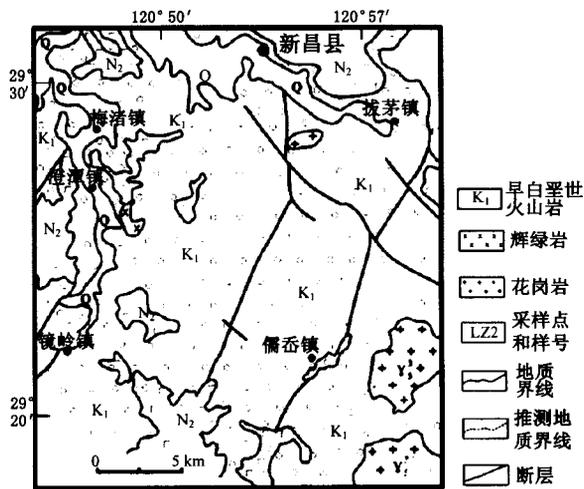


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geology draft map of research area

该区位于中国东南沿海火山-侵入杂岩带的东北端, 区内广泛出露晚中生代火山岩与侵入岩类, 岩石类型丰富, 从基性到酸性有玄武岩、辉绿岩、流纹岩、凝灰岩及花岗岩; 产出方式有岩流、岩墙、复合岩体及复合岩墙等, 是研究复合火成岩光谱特征的理想地区。

2 样品采集

本次工作共采集样品 5 个, 其中流纹岩和花岗岩标本取自新昌儒岙万马渡, 流纹质凝灰岩和辉绿岩取自新昌儒岙白鹤殿, 玄武岩样品取自新昌镜岭。流纹岩墙标本呈肉红色、浅灰色, 流纹平直, 局部呈

涡流状,具斑状结构,基质隐晶质,斑晶成分主要是石英,常被熔蚀成浑圆状或港湾状,此外也有少量的钾长石斑晶;花岗岩样品的矿物成分在镜下鉴定结果为:石英 25% ~ 35%,钾长石 55% ~ 65%,斜长石 5% ~ 15%,含少量黑云母,局部见有角闪石,副矿物有锆石、磷灰石、榍石及磁铁矿等;辉绿岩样品比较新鲜,具辉长辉绿结构,斑晶含量很少,矿物成分主要是斜长石和辉石,斜长石斑晶出现筛孔,有一定程度的绿泥石化和绿帘石化;玄武岩样品呈黑色,块状构造,有的具气孔、杏仁构造,填间结构或少斑结构,由斜长石、辉石等组成。

3 光谱测试

首先对取得的岩石标本进行切割,使其露出平整的新鲜面,再将岩石样品粉碎至 200 目以下(约 0.12 mm),并盛放于直径为 9 cm 的玻璃培养皿中进行测试。热红外测试所使用的仪器由 Designs & Prototypes LTD 公司生产的 102 型便携式野外能谱仪,光谱取样范围为 7 ~ 14 μm ,取样间隔约 5 nm。测试前先将岩石粉末标本置于实验室内 1 ~ 2 d,使其温度与室温一致,仪器探头需经液氮冷却,保证其在测试时的探头温度为 19.1 $^{\circ}\text{C}$ 。将样品置于反射率接近零的黑色铁柱体上,采用光谱仪所带的 50 W 卤化灯,入射角为 45 $^{\circ}$ (光源覆盖所有可见光近红外波段,测试时无其他光源,即在黑屋状态中测试),光纤探头的采光视场角为 8 $^{\circ}$ 。测试时探头垂直向下,培养皿水平放置于探头正下方约 0.7 m 处。每个样本测定 10 次,取平均值作为其光谱发射值,以 Excel 格式存储,然后在 Matlab 软件中对所获得的数据进行处理,得到的结果如图 2 所示。

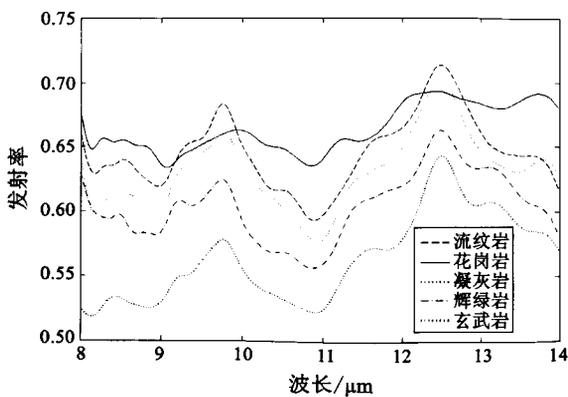


图 2 新昌火成岩发射光谱

Fig. 2 The emissivity spectra of igneous rocks in Xinchang area

4 火成岩发射光谱特征分析

4.1 常见矿物岩石的发射光谱特征

岩石发射光谱主要是由造岩矿物的原子振动激发产生^[5]。前人研究表明^[6-9],在 8 ~ 14 μm 谱域的岩石发射光谱特征主要与含氧酸盐类矿物以及铁质矿物等的选择性发射特性有关。结合文献[4 ~ 6, 10],总结常见矿物的低发射率谱带如表 1 所示。

表 1 火成岩常见矿物的低发射率谱带
Tab. 1 The low emissivity bands of normal minerals of igneous rocks

矿物	谱带/ μm	矿物	谱带/ μm
石英	8 ~ 11	绿泥石	9.3 ~ 10.3
钾长石	8.5 ~ 10	铁橄榄石	9.3 ~ 10.6
钠斜长石	8.5 ~ 10.1	绢云母和伊利石	9.9, 10.1
钙斜长石	8.69 ~ 11.1	绿帘石	9, 9.6, 10.5, 11.2
角闪石	8.69 ~ 11.7	赤铁矿	10
石膏	8.05, 12.01, 12.44 弱/8.56 8.7 强	黑云母	10
高岭石	8.8 ~ 10	蒙脱石	10.2
辉石	9.09 ~ 11.6	碳酸盐类矿物	11.3
磷灰石	9.1, 9.5	方解石	11.5

常见基团离子低发射率谱带如表 2 所示。

表 2 常见基团离子低发射率谱带
Tab. 2 The low emissivity bands of normal radical

振动基团 或离子	谱带位置/ μm	备注
H_2O	8.05, 12.01, 12.44 ^[4]	石膏中的结晶水
CO_3^{2-}	11.3 ^[4]	随着 Mg^{2+} 含量的增加, 低发射率谱带向长波方向移动
SO_4^{2-}	8.56 ^[4]	强发射率谱带去除
Al-OH	11	存在弯曲的振动光谱
Si-O	8 ~ 9	具有双重低反射率
Fe^{3+}	10	赤铁矿

4.2 包络线光谱特征分析

在光谱曲线相似的情况下,直接从中提取光谱特征不便于计算,因此需要对光谱曲线做进一步处理,以突出光谱特征^[11]。包络线消除法^[12]可以有效突出光谱曲线的吸收、反射和发射特征,并将其归一到一个一致的光谱背景上,有利于和其他光谱曲线进行特征数值的比较。从直观上看,包络线相当于光谱曲线的“外壳”。因为实际的光谱曲线由离散的样点组成,故可用连续的折线段来近似光谱曲线的包络线。一些文献介绍了光谱曲线包络线消除法^[8,13],光谱和光谱包络线的对应关系如图 3 所示。

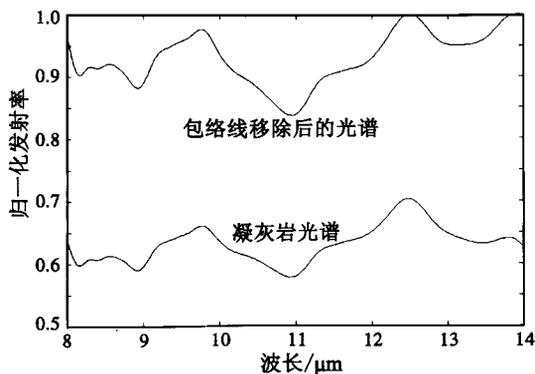


图3 凝灰岩发射光谱及其包络线消除后的光谱曲线
Fig.3 The emissivity spectra of tuff and its spectrum curve after continuum removal

包络线消除后,那些峰值点上的相对值均为1,非峰值点均小于1。5种样品的包络线消除后的光谱曲线如图4所示。

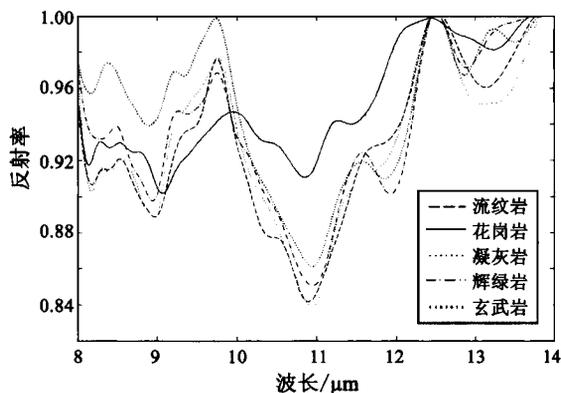


图4 包络线消除后的5种岩石样品光谱曲线
Fig.4 The spectrum curves of five samples after continuum removal

4.3 研究区岩石样品的发射光谱特征

在得到包络线消除后,就可以分析光谱低发射率的位置、深度、宽度、深宽比、面积及对称性(左右面积比)等。相应的几何意义如图5所示。

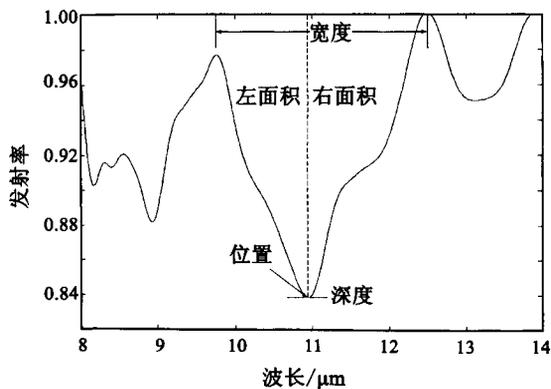


图5 光谱特征示例(凝灰岩发射光谱局部)
Fig.5 The illustration of spectrum characteristics (part of tuff's emissivity spectra)

对样品数据6个指标的定量分析可以得到表3和表4的结果。其中,表4反映9~11 μm附近区域低发射率谱带的光谱特征。

表3 9 μm附近低发射率谱带光谱特征

Tab.3 The spectra characteristics of low emissivity bands around 9 μm

样品	低发射率位置/μm	深度	宽度/μm	深宽比	面积	对称性
流纹岩	8.963 6	0.111 3	1.833 7	0.165 0	43.111 0	0.735 8
花岗岩	9.064 5	0.098 2	2.035 0	0.145 5	42.132 3	0.725 9
凝灰岩	8.926 3	0.117 8	1.828 9	0.180 6	47.384 4	0.741 0
辉绿岩	8.938 7	0.093 2	1.804 3	0.198 6	51.945 4	0.748 0
玄武岩	8.889 4	0.060 7	1.770 0	0.272 1	65.917 3	0.761 6

表4 11 μm附近低发射率谱带光谱特征

Tab.4 The spectra characteristics of low emissivity bands around 11 μm

样品	低发射率位置/μm	深度	宽度	深宽比	面积	对称性
流纹岩	10.887 3	0.158 2	2.740 5	0.107 1	38.837 6	0.912 8
花岗岩	10.850 6	0.089 3	2.481 3	0.121 3	41.625 6	0.874 4
凝灰岩	10.942 8	0.160 9	2.701 6	0.115 2	41.255 8	0.941 2
辉绿岩	10.887 3	0.146 8	2.716 4	0.127 5	45.895 3	0.901 7
玄武岩	10.942 8	0.138 7	2.731 1	0.143 9	52.385 8	0.992 0

5 形成机理探讨

结合岩石化学成分(表5),比较表1、表3和表4可以发现,各标本总体的发射率与SiO₂含量呈较明显的线性相关性。由图4可知,在9 μm、11 μm处的低发射率带明显,在9.8 μm、12.5 μm处见有较明显的高发射率带。花岗岩样品在8~10 μm区域的吸收宽度最大,这与样品中黑云母含量有关。

在8~9 μm区域,所有火成岩样本发射光谱曲线形态较相似,都在8.2 μm和8.8 μm附近存在由主要矿物成分石英和粘土中的Si-O基团伸缩振动引起的双重低发射率,且低发射率谷的深度与SiO₂呈较好的线性关系。SiO₂含量越高,波谷越浅,且波谷位置随着SiO₂含量的降低向长波方向移动,同时,镁铁等暗色矿物的增加也导致了低发射率带向长波方向移动^[8];在8.4 μm附近,花岗岩、凝灰岩和流纹岩存在一个很小的由岩石中所含的石英引起的低发射率谷^[14]。

曲线在9.2~9.4 μm处存在一些差异,流纹岩、辉绿岩和玄武岩在此处有一个较弱的低发射率带,而花岗岩和凝灰岩却没有这个低发射率带。比较测试5个样品的化学成分(表5)以及矿物种类和

蚀变情况,这个低发射率带主要由含镁铁矿物引起(玄武岩为含铁的橄榄石和辉石共同引起,辉绿岩应为辉石和角闪石共同引起^[15],流纹岩为其所含的

蚀变石英引起^[14])。花岗岩、流纹岩和辉绿岩还因绿泥石化导致了在 10.5 μm 处存在一个很小的低发射率波谷。

表5 新昌火成岩主要化学成分测试结果

Tab.5 The geochemical components of igneous rocks in Xinchang Area

(%)

样品	采样地	主要化学成分及其质量分数										
		$\omega(\text{SiO}_2)$	$\omega(\text{TiO}_2)$	$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$	$\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	$\omega(\text{FeO})$	$\omega(\text{MnO})$	$\omega(\text{MgO})$	$\omega(\text{CaO})$	$\omega(\text{Na}_2\text{O})$	$\omega(\text{K}_2\text{O})$	$\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$
流纹岩	儒岙万马渡	77.48	0.08	12.73	0.34	0.72	0.11	0.09	0.18	2.99	5.20	0.002
花岗岩	儒岙万马渡	76.51	0.11	12.56	0.59	0.49	0.07	0.14	0.42	3.90	4.67	0.01
凝灰岩	儒岙白鹤殿	74.15	0.25	13.26	1.04	0.64	0.04	0.42	1.27	2.83	5.36	0.05
辉绿岩	儒岙白鹤殿	51.76	1.08	16.13	5.01	4.92	0.21	5.54	8.32	3.74	1.78	0.25
玄武岩	镜岭	42.89	1.21	15.66	9.22	0.79	0.18	1.43	12.81	4.12	2.41	0.37

在 9~13 μm 区域,新昌各火成岩样本中酸性岩低发射率带吸收深度也基本都大于基性岩的吸收深度,低发射率带位置均出现在 10.9 μm 附近。从各标本的矿物组成及表 3 中矿物的低发射率带位置来看,样本在 9~13 μm 区域低发射率带原本应出现在 10 μm 处,而实际出现在 10.9 μm 处,引起其低发射率带向长波方向移动的原因是部分硅氧四面体中的 Si 原子被 Al 置换。对于基性岩,其铁镁质矿物含量较高也是引起低发射率带向长波方向位移的原因之一。表 4 中花岗岩样品谱带深度明显比其他样品的浅,并且与辉绿岩样品光谱特征相似,这可能与两者的共生状态有关。从样品化学成分及矿物组成来看,玄武岩、辉绿岩样品中方解石杏仁体含量较多,挥发分较高, CO_3^{2-} 含量也相对较高,而钙质胶结物和粘土矿物的存在则会导致 11.3 μm 处 CO_3^{2-} 基团内部基谐振动谱带的出现。玄武岩、辉绿岩样品中 Al、Fe、Mg 的含量高,而通常 Al 替代 Si 会引起谱带向长波方向移动,并且随着镁离子含量的增加,低发射率谱带也会向长波方向移动。因此,玄武岩、辉绿岩样品在 11.8 μm 附近小的低发射率带很可能是由 CO_3^{2-} 基团内部基谐振动向长波方向移动的结果。此外,在 12.8 μm 附近辉绿岩跟玄武岩样品存在一个低发射率带,而其他 3 个样品没有,可能与岩石中所含的镁铁矿物有关。

总之,样本中 SiO_2 和 Al_2O_3 的含量是决定样品发射光谱曲线形态的主要因素;而 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 等由于含量低,对光谱曲线形态的作用没有前两者之大,只是对曲线有一定的影响。同时低发射率带与 SiO_2 含量有较为明显的关系:酸性岩中 SiO_2 含量高,Si-O 基团振动引起的低发射率带波谷深;基性岩中 SiO_2 含量低,Si-O 基团振动引起的低发射率带波谷相对较浅。基于此,可以大致区分超基性、基性、中性以及酸性岩。同时低发射率带深度也受其他因素影响,花岗岩样本的两个低发

射率带深度都比较浅,这可能是其与辉绿岩的共生状态引起微量元素相互交换^[16]有关。

6 结论

(1) 研究区岩石的热红外光谱曲线形状大体相似。

(2) 在包络线分析基础上进行光谱低发射峰的定量分析,有利于比较仅靠光谱曲线很难区分的光谱特征差异。

(3) 对发射光谱两个主要低发射峰进行了定量分析,发现岩石的矿物组成、蚀变特征及共生状态对其波谱曲线形态有较大的影响。

(4) 把遥感光谱定量分析的两个谱域(9 μm 附近和 11 μm 附近)延伸到全谱域(8~14 μm)将有助于对区内岩石和矿物发射光谱特征及其影响因素的进一步了解,利于开展通过遥感数据提取和识别岩石信息等工作。

致谢: 衷心感谢浙江大学农业信息科学与技术中心、浙江省农业遥感与信息技术重点研究实验室提供的实验条件和无私帮助!

参考文献:

- [1] 吴的昭,田庆久,季峻峰,等. 遥感地球化学研究[J]. 地球科学进展,2003,18(2):228-235.
- [2] 邢立新,刘嘉宜. 岩石反射波谱与其化学成分关系研究[J]. 遥感技术与应用,1999,14(3):24-29.
- [3] 甘甫平,王润生,马嵩乃,等. 光谱遥感岩矿识别基础与技术研究进展[J]. 遥感技术与应用,2002,17(3):140-147.
- [4] 傅碧宏. 遥感岩石学的研究及其进展[J]. 地球科学进展,1996,11(3):252-258.
- [5] 丑晓伟,傅碧宏,郑建京. 干旱区热红外多光谱遥感岩石地层信息提取与分析方法研究[J]. 科学通报,1994,39(18):1693-1695.
- [6] 傅碧宏,丑晓伟. 利用热红外多光谱遥感技术提取和识别岩

石、矿物信息[J]. 遥感技术与应用, 1994, 9(1): 56 - 61.

[7] 丑晓伟, 傅碧宏, 郑建京. 沉积岩石信息的热红外多光谱遥感探测及有效性评价[J]. 遥感技术与应用, 1996, 11(1): 7 - 13.

[8] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

[9] Farmer V C. The Infrared Spectra of Minerals[M]. Beijing: Scientific Press, 1982.

[10] 傅碧宏, 丑晓伟. 塔里木盆地柯坪隆起典型沉积岩类的热红外光谱特征研究[J]. 沉积学报, 1994(4): 96 - 101.

[11] 徐元进, 胡光禧, 张振飞. 包络线消除法及其在野外光谱分类中的应用[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(6): 11 - 14.

[12] Clark R N, Roush T L. Reflectance Spectroscopy: Quantitative Analysis Techniques for Remote Sensing Application[J]. Journal of Geographical Research, 1984, 89(7): 6329 - 6340.

[13] 浦瑞良, 宫 鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 51 - 52.

[14] Michalski J R, Kraft M D, Diodrich T, et al. Thermal Emission Spectroscopy of the Silica Polymorphs and Coniderations for Remote Sensing of Mars[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30(19): PLA2. 1 - PLA2. 4.

[15] 闫柏琨, 王润生, 甘甫平, 等. 热红外遥感岩矿信息提取研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(10): 1116 - 1126.

[16] 董传万, 徐夕生, 闫 强, 等. 浙东晚中生代壳幔相互作用的新例证——新昌儒岙辉绿岩 - 花岗岩复合岩体的年代学与地球化学[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1303 - 1312.

An Analysis of Emissivity Characteristics of Typical Igneous Rocks in Xinchang Area

LI Xiang, YU Le, DONG Chuan - wan, ZHANG Deng - rong
(Department of Geosciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The analysis of the characteristics of rocks and minerals constitutes the physical foundation of remote sensing exploration and rock recognition. In order to understand the spectral features more completely, the authors tested five different igneous rock samples from Xinchang area and analyzed their emission spectra. On the basis of emission characteristics of normal minerals and radicals, the authors analyzed the curves and obtained the location, depth, width, depth/width ratio, area and symmetry of the low emission bands by using the continuum removal method. The relationship of composition, alteration characteristics and associations of minerals to remote sensing spectral characteristics as well as its formation mechanism are also discussed in this paper.

Key words: Igneous rocks; Emissivity spectra; Spectral features; Remote sensing; Continuum removal

第一作者简介: 李翔(1983 -), 男, 硕士在读, 主要从事遥感地质解译、蚀变信息提取方面的研究。

(责任编辑: 刁淑娟)

=====

(上接第 67 页)

information such as white mud ground, water body, shadow and vegetation. With principal component analysis, band ratio and threshold segmentation techniques, the information of iron staining and hydroxyl alteration in Qangdoi area of western Tibet was extracted. In accordance with the obvious anomalous areas, the reference spectra were built up. The method of spectral - angle mapper was used to remove the pseudo - anomaly information. In conjunction with the characteristics of linear structure in the study area, the metallogenic prognosis was carried out and, as a result, the prospect areas were delineated. The method for metallogenic prognosis proposed in this paper is fairly flexible and effective, and can provide a reference and effective way for speeding up the geological exploration work in future.

Key words: Principal component analysis; Threshold segmentation; Alteration information; Ore - forming structure; Spectral - angle mapper

第一作者简介: 龙晓君(1973 -), 女, 博士研究生, 主要研究方向为地理信息系统和 3S 综合应用技术。

(责任编辑: 刘心季)