

# Research on Removal of Cloud Based on Remote Sensing Image of Sentinel-2

Aru Han<sup>1</sup> Jiquan Zhang<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

\*Corresponding author. Email: [zhangjq022@nenu.edu.cn](mailto:zhangjq022@nenu.edu.cn)

## ABSTRACT

Cloud cover is a serious impediment in land surface analysis from Remote Sensing images either causing complete obstruction with loss of information or blurry effects when being semi-transparent (clouds). While thick clouds require complete pixel replacement, cloud removal is fairly challenging as the atmospheric and land-cover information is inter-twined. In this paper, we address this problem and use the Sentinel-2 data and Sen2Three Processor, through progressive replaced with all "bad" pixels in an previous input image and "good" pixels in the subsequent scene to generate the composite output image, the spatio-temporal synthesis of the image at pixel level is realized. Before cloud removal, the image of cloud area is bright, the contrast is small, and the clouds obscure information about the features below; after cloud removal, the features are clearer, the pixel brightness value is reduced, the contrast is improved, and the cloud removal effect is better. The mean value and standard deviation of the image after cloud removal are both smaller, which indicates that the pixel brightness value in the image is reduced, the feature information covered by the cloud is recovered, the feature is relatively clear, and the contrast is improved, which is conducive to visual interpretation of the image and subsequent processing and analysis. Experimental results showed that this process could effectively remove the haze and efficiently improve the traditional methods of images pre-processing. In addition, it is improved the quality and precision of the images greatly.

**Keywords:** Cloud Removal, Sentinel-2, Sen2three, Spatio-temporal synthesis

## 基于哨兵-2 遥感影像的云去除研究

阿如汗<sup>1</sup>, 张继权<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 东北师范大学环境学院, 东北师范大学自然灾害研究所, 长春130024, 中国

\* 通讯作者. 电子邮箱: [zhangjq022@nenu.edu.cn](mailto:zhangjq022@nenu.edu.cn)

## 摘要

云层覆盖是遥感图像地表分析的一个严重障碍, 它会完全障碍(厚云)并丢失信息, 也会是半透明(云)时的模糊效果。虽然厚云需要完全的像素替换, 但由于大气和土地覆盖信息是相互缠绕的, 因此去云相当具有挑战性。本文针对这一问题利用哨兵-2 影像数据和 Sen2Three 处理器, 通过逐步替换先前输入图像的所有“坏”像素和随后的场景中的“好”像素来生成合成输出图像, 实现像素层面的影像时空合成。结果发现, ① 去云前影像中云区影像偏亮, 对比度小, 云层掩盖了下面地物的信息; 而去云之后地物比较清晰, 像元亮度值降低, 对比度提高, 去云效果较好。② 去云后影像的均值和标准差都变小, 标准差和均值的变小说明结果影像中像元亮度值降低, 被云遮盖的地物信息得到恢复, 地物比较清晰, 对比度有较好的提高, 有利于影像的目视解释和后续的处理和分析。实验证明, 该过程能够有效地去除云, 提高在传统方法中图像预处理的效率, 在一定程度上提高了图像的质量与精度。

**关键字:** 云去除、哨兵-2、Sen2three、影像时空综合

## 1. 引言

遥感 (Remote Sensing) 图像对于各种具有挑战性的任务至关重要, 例如识别建筑物的足迹<sup>[1]</sup>、检测暂时分离的场景中的变化<sup>[2]</sup>或空中场景中的语义分割<sup>[3]</sup>。这类图像常常被部分或完全阻挡的云层所困扰。这对遥感专家来说是相当烦人的, 尤其是在观察像巴黎这样一年中大部分时间都是阴天的城市时。使用欧空局哨兵-2 号传感器, 全球用户可以随时免费获得遥感光学图像。由于空间光学传感器和地面目标之间存在云层, 光学传感器的遥感反射率数据会受到影响。因此, 云的去除了至关重要。否则, 由云影响反射率数据得到的产品的正确性可能会受到怀疑。因此, 它显然需要一种自动技术来检测和移除场景中的阴暗区域, 并用底层场景的整洁绘制来代替它们。

根据云的厚度, 人们提出了许多去除厚云和薄云的方法。多图像融合<sup>[4]</sup>是一种典型的利用图像的无云区域代替另一图像中相同的云覆盖区域的算法。该算法一般应用于厚云及其阴影的去除。对于薄云去除, 算法主要利用单一图像。同态滤波 (HF) 算法<sup>[5]</sup>将薄云过滤为低频分量。然而, 地面特征的低频分量可以被不必要地过滤掉。小波分析方法<sup>[6]</sup>将图像分解为多尺度频域的分量。可以保留地面目标的低频细节。暗对象减法<sup>[7]</sup>假设图像中总有一些反射值为零的暗像素。由于云的存在或影响, 暗像素变得不完全暗。然而, 暗像素的选择可能是主观的。周丽雅等<sup>[8]</sup>认为薄云属于低频区, 地物实体属于高频区, 只要去除低频区就可以实现薄云的去除。刘洋等<sup>[9-11]</sup>提出了基于多幅图像叠加和多传感器数据融合的方法 (时间平均法)。该方法利用多幅图像云层叠加取最大值, 采用同一地区不同时间多幅图像的信息来去除云区干扰。除以上方法外, 还有基于多光谱信息的遥感图像去云法<sup>[12]</sup>、气溶胶光学深度估算法<sup>[13]</sup>、HIS 变换法<sup>[14]</sup>、面向对象方法、马克洛夫随机场法<sup>[15]</sup>、主成分法<sup>[16]</sup>、自动云层评价法<sup>[17]</sup>等。以上所论述的方法虽然简单易行, 但由于去云效果的不理想并不能直接应用到哨兵-2A 遥感影像薄云去除中。

为了得到更好的去除薄云的遥感影像图, 本文提出一种基于像素层面的时空合成影像。具体方法为输入某区域一定时间序列内的影像数据, 通过特定的筛选条件逐像元地用高品质像素点替换品质差的像素点, 最终得到高品质合成影像。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 研究区

本文研究区是 2017 年毕拉河“5.02”特大森林火灾的火烧迹地。2017 年 5 月 2 日, 在毕拉河林业局北大河林场发生特大森林火灾, 火烧迹地面积为 115km<sup>2</sup>, 受损森林面积 82.82km<sup>2</sup><sup>[17]</sup>。根据 Google

Earth 高分辨率影像目视解译, 得到了火烧迹地土地利用类型图 (图 1b)。毕拉河林业局位于内蒙古鄂伦春自治旗大兴安岭东南坡, 地理坐标范围 122°40'36"-123°55'00" E, 北纬 49°00'37"-49°54'49" N, 总面积为 4716.46 km<sup>2</sup> (图 1a)。本区属寒温带大陆性季风气候, 冬季寒冷漫长, 夏季短暂多雨, 四季昼夜温差大。年平均气温 1.1℃, 年平均降水量 479.4mm, 降水期以 7~8 月为主, 占全年降水量的 50%~60%。

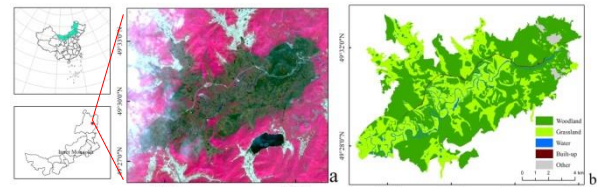


图 1 a. 研究区假彩色影像图 (影像飞行日期 2017 年 5 月 25 日) b. 研究区土地利用类型图

### 2.2. 遥感数据

哨兵系列卫星属于欧洲共同体全球环境与安全监测 (哥白尼) 的一个重要项目<sup>[18]</sup>。目前, 已发射“哨兵-2A”和“哨兵-2B”两颗光学遥感卫星。这两颗卫星将通过联网提供全球对地观测服务。联网后, 卫星回访周期为 5 天, 将对全球 84°N-56°S 范围内的所有物体进行地球观测<sup>[19]</sup>。Sentinel-2A 光学遥感卫星自 2015 年 12 月起在欧空局网站上提供免费数据共享, 在遥感应应用领域引起广泛关注<sup>[20]</sup>。数据包括覆盖可见光、近红外和 SWIR 范围的 13 个光谱带, 以及分别包含 4 个、6 个和 3 个波段的 10 m、20 m 和 60 m 的 3 个空间分辨率, 具体光谱信息见表 1。哨兵-2A 卫星 LIC 遥感数据是从哥白尼科学中心网站下载的 (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)。

表 1 哨兵-2 光谱信息

哨兵-2 波段	分辨率 (m)	中心波长 (nm)	波段宽度 (nm)
Band1-Costal aerosol	60	443	20
Band2-Blue	10	490	65
Band3-Green	10	560	35
Band4-Red	10	665	30
Band5-Vegetation Red Edge	20	705	15
Band6-Vegetation Red Edge	20	740	15

Band7-Vegetation Red Edge	20	783	20
Band8-NIR	10	842	115
Band8A-Vegetation Red Edge	20	865	20
Band9-Water vapor	60	945	20
Band10-SWIR-Cirrus	60	1375	30
Band11-SWIR	20	1610	90
Band12-SWIR	20	2190	180

## 2.3. 研究方法

### 2.3.1. Sen2Three——影像时空综合

Sen2Three 是 Sentinel-2 数据的最新插件，将多幅经过大气校正的 Sentinel-2 L2A 图像进行时空合成的 3 级处理器，其中的 L2A 是由 Sen2Cor 生成的。可生成基于像素层面的时空合成影像。具体方法为输入某区域一定时间序列内的影像数据，通过特定的筛选条件逐像元地用高品质像素点替换品质差的像素点，最终得到高品质合成影像。Sen2Three 将某些地理区域（瓦片）的 2A 级图像的时间序列作为输入，并通过逐步替换先前输入图像的所有“坏”像素和随后的场景中的“好”像素来生成合成输出图像。本文输入 2017 年 5 月 25 日和 2017 年 4 月 15 日采集的云层覆盖以及 2017 年 6 月 14 日的无云图像。

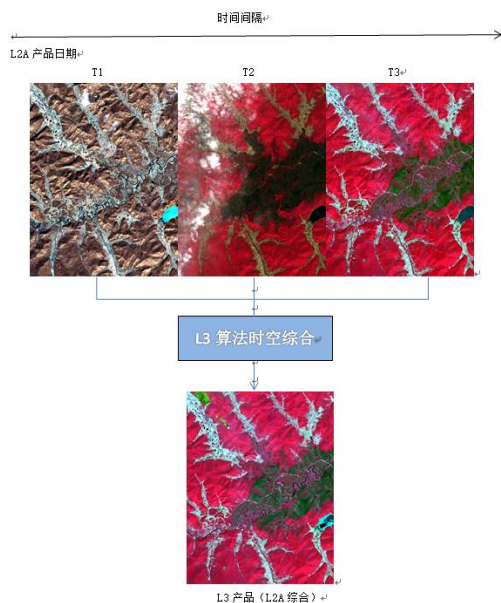


图 2 算法思路

### 2.3.2. 指标评价

本文选用了 2 个定量指标对去云处理后的影像质量进行评价，分别为灰度平均值和标准差。

#### (1) 灰度平均值 $\bar{G}$

灰度平均值<sup>[21]</sup>是统计影像中全部像素灰度值的平均。灰度值的高低代表着影像的亮度，当灰度值较高时，所对应的是影像高亮部分。一般情况下，云噪声主要分布在影像高亮区。因此，对薄云影像进行去云处理，灰度值会下降，图像亮度会降低，说明云噪声得到一定的削弱。灰度均值可用来衡量去云效果图中所含有的信息量。灰度平均值  $\bar{G}$  的计算公式为：

$$\bar{G} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i,j)}{M \times N} \quad (1)$$

式中  $\bar{G}$  表示灰度平均值， $M \times N$  表示影像的尺寸， $f(i,j)$  表示影像上  $(i,j)$  处的像素灰度值。

#### (2) 标准差 $\omega$

标准差<sup>[22]</sup>是对影像的像素灰度级离散程度的描述，用来衡量影像的对比度。若标准差越大，则反映像素灰度级分布越离散、不同地物之间的对比度变大，影像所包含的信息量更丰富；若标准差越小则表明像素灰度级分布更集中、地物之间的对比度较小，影像中的信息量减少。利用标准差定量的评价去云处理后的影像对比度。标准差  $\omega$  的计算公式为：

$$\omega = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - \bar{G}]^2}{M \times N}} \quad (2)$$

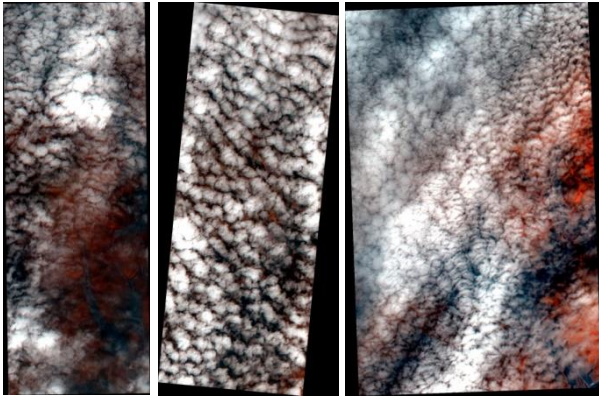
式中  $\omega$  表示灰度标准差， $M \times N$  表示影像的尺寸， $f(i,j)$  表示影像上  $(i,j)$  处的像素灰度值。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 主观评价

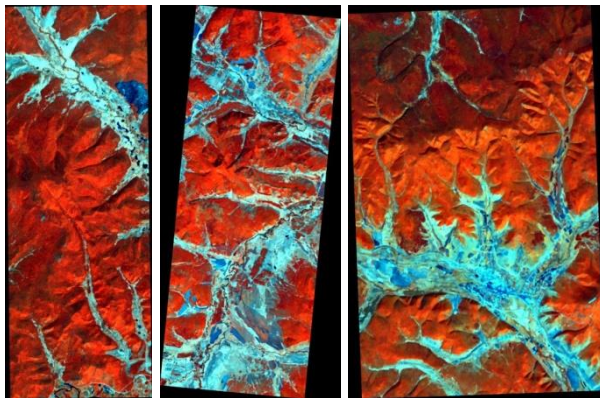
#### 3.1.1. 目视效果

本文在研究区哨兵-2 遥感影像上根据云层薄厚、范围大小的不同选择 A、B、C 三处有云区域进行去云处理实验。图 3(A)、图 3(B)和图 3(C)为去云处理前影像，图 4(A)、图 4(B)和图 4(C)为去云处理后影像。目视分析去云前后影像的变化发现：去云前影像中云区影像偏亮，对比度小，云层掩盖了下面地物的信息；而去云之后地物比较清晰，像元亮度值降低，对比度提高，去云效果较好。从影像中可以发现，清晰的遥感影像是进行遥感解释和分析的基础，影像越清晰，影像的价值应用的才越充分，然而云层的存在不仅严重影响了地物信息的准确辨别，而且干扰了影像后期的分析和处理。



A B C

图3 去云处理前哨兵-2影像



A B C

图4 去云处理后哨兵-2影像

### 3.1.2. 灰度值比较

如图5所示，Sen2Three影像时空综合法去云处理后的结果与去云处理前的图像波段散点分布极为相似，本文算法处理之后的像素点相对有云图都在左下方，遥感图像的平均值变低，并且平均灰度级降低。由于云层减少和灰度补偿的缘故。两者形状类似，平均灰度越低，证明去云效果越明显。

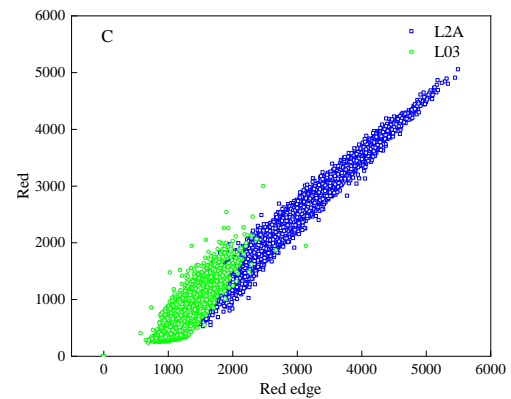
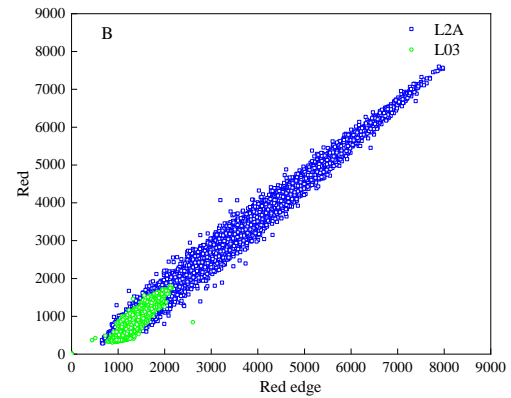
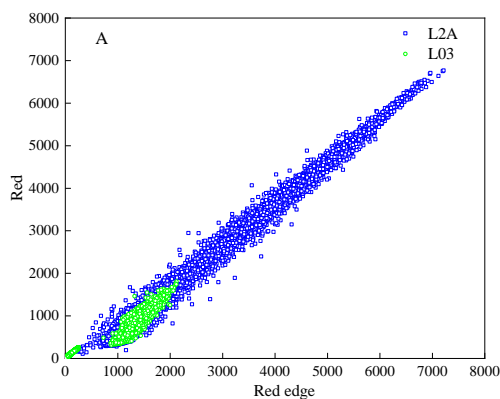


图5 红光、红边波段散点图 [有云图像(蓝)、Sen2Three法结果图(绿)]

### 3.2. 统计评价

表2比较去云处理前后影像的R、G、B波段各统计指标值的变化情况，可以得到去云后影像的均值和标准差都变小。标准差和均值的变小说明结果影像中像元亮度值降低，被云遮盖的地物信息得到恢复，地物比较清晰，对比度有较好的提高，有利于影像的目视解释和后续的处理和分析。因此，去云后结果影像信息的丰富度实际上是增加的。

表2 去云效果图的客观评价指标

影像	均值			标准差		
	R	G	B	R	G	B
A(前)	4256.1	4339.3	4131.4	1036.9	1128.9	1076.3
A(后)	3189.9	3058.9	2941.9	428.37	430.62	414.39
B(前)	4454.2	4588.9	4303.6	1141.6	1247.08	1191.60
B(后)	3178.93	3009.39	2904.63	417.95	434.94	420.57
C(前)	3899.67	3964.88	3742.29	635.56	677.23	653.07

C(后)	3234.48	3131.70	3027.46	614.88	625.58	604.15
------	---------	---------	---------	--------	--------	--------

#### 4. 结论

本文针对遥感影像云噪声问题提出了基于时空综合影像的薄云去除法。该法首先输入研究区的L2A级时间序列的影像，并通过逐步替换先前输入图像的所有“坏”像素和随后的场景中的“好”像素来生成合成输出图像，有效地去除薄云噪声，对全图覆盖薄云和部分覆盖薄云的影像都有较好的处理效果。通过对实验结果的目视分析和精度评价，证明了本文所采用的薄云去除方法对于哨兵-2 遥感影像确实能够达到有效去除薄云的目的。

#### 致谢

本研究得到了国家自然科学基金国际（地区）合作与交流项目（41961144019）的资助。

#### 参考文献

- [1] E. Maggiori, Y. Tarabalka, G. Charpiat, P. Alliez, Can Semantic Labeling Methods Generalize to Any City? The Inria Aerial Image Labeling Benchmark, Igarss IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE, 2017.
- [2] H. Lyu, H. Lu, L. Mou, "Learning a transferable change rule from a recurrent neural network for land cover change detection," Remote Sensing, 2016, pp. 506. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8060506>
- [3] N. Audebert, B. Le Saux, S. Lefvre, "How useful is region-based classification of remote sensing images in a deep learning framework?," in IGARSS, July 2016, pp. 5091-5094. DOI: <https://doi.org/10.1109/igarss.2016.7730327>
- [4] C. Pohl, and J. L. Van Genderen, "Review rticle multisensor image fusion in remote sensing: oncepts, methods and applications", International journal of remote sensing, 1998, pp. 823-854. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311698215748>
- [5] L. I. Voicu, H. R. Myler, A. R. Weeks, "Practical considerations on color image enhancement using homomorphic filtering", Journal of Electronic Imaging, 1997, pp. 108-113. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.251157>
- [6] Y. Du, B. Guindon, J. Cihlar, "Haze detection and removal in high resolution satellite image with wavelet analysis", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, pp. 210-217. DOI: <https://doi.org/10.1109/36.981363>
- [7] P. S. Chavez, "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data", Remote Sensing of Environment, 1988, pp. 459-479. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)
- [8] 周丽雅,秦志远,殷小龙,等.小波变换在遥感图像薄云处理中的应用分析.信息工程大学学报, 2011, pp. 708-712. DOI: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-0673.2011.06.014>
- [9] 刘洋,白俊武.遥感影像中薄云的去除方法研究.测绘与空间地理信息, 2008, pp. 120-125. DOI: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5867.2008.03.039>
- [10] Tseng D C . Automatic Cloud removal from multi-temporal SPOT images. Applied Mathematics and Computation, 2008, pp. 584-600. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2008.05.050>
- [11] K. Lai, J. Chen, C. Lin, B. Zhi, Patch-based information reconstruction of cloud-contaminated multi-temporal Images. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 2014, pp. 163-174.
- [12] 王润,刘洪斌,宫瑞.多光谱遥感图像去云方法.计算机与现代化, 2005, pp.13-15. DOI: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-2475.2005.06.005>
- [13] S. Liang, H. Fang, M. Chen, Atmospheric correction of landsat ETM +land surface imagery-part I: methods. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, pp. 2490-2498.
- [14] 樊厚春.遥感图像薄云去除研究. 北京:中国科学院遥感应用研究所, 2004.
- [15] Q. Cheng, H. Shen, L. Zhang, Q.Yuan, C. Zeng, Cloud removal for remotely sensed images by similar pixel replacement guided with a spatio-temporal MRF model. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, pp. 54-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.015>
- [16] H. Li, L. Zhang, H. Shen, A principal component based haze masking method for visible images. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2014, pp. 975-979. DOI: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2013.2283792>
- [17] A. De Santis, E. Chuvieco, Burn severity estimation from remotely sensed data: Performance of simulation versus empirical models. Remote Sens. Environ. 2007, pp. 422-435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.022>

- [18] ESA Communications. Sentinel-2 ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. Paris: ESA Communications, 2015.
- [19] M. Drusch, U. D. Bello, S. Carlier, O. Colin, V. Fernandez, F. Gascon, Hoersch, B.; Isola, C.; Laberinti, P.; Martimort, P. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sens. Environ.* 2012, pp. 25–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- [20] Y. Du, Y. Zhang, F. Ling, Q. Wang, W. Li, X. Li, Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Remote Sens.* 2016, pp. 354. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8040354>
- [21] 赵孟银. 遥感影像去云方法研究. 天津: 天津科技大学, 2016.
- [22] 曹敏洁. 遥感图像厚云及其阴影去除技术研究. 桂林: 广西师范大学, 2015.