



浙江水利水电学院

Zhejiang University of Water Resources and Electric Power

本科毕业设计（论文）

(2024 届)

不同国家卫星遥感在水文领域的最新进展及应用综述

学 院: 测绘与市政工程学院

专 业: 遥感科学与技术

学 号: 2023b560xx

学生姓名: 张三

指导教师: 李教授

提交日期: 2026 年 1 月

声明及论文使用的授权

本人郑重声明所呈交的论文是我个人在导师的指导下独立完成的。除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写的研究成果。

论文作者签名：

年 月 日

本人同意浙江水利水电学院有关保留使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以上网公布全部内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

论文作者签名：

年 月 日

摘要

这里是摘要正文。小四号，宋体，行距为固定值 20 磅，段首行空两个字符。论文的开本为 A4 纸，上、下、右边边距为 28mm、左边（即装订边）边距 30mm。

摘要内容的第二段，测试缩进和行距是否正常。行距设置为固定值 20 磅。

关键词：关键词 1；关键词 2；关键词 3

Abstract

Here is the English abstract. Font size is small 4, Times New Roman. The line spacing is fixed at 20pt.

This is the second paragraph of the abstract to test indentation and line spacing.

Keywords: Keyword1; Keyword2; Keyword3

目 录

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 引言 | 1 |
| 第一章 国外卫星遥感技术进展 | 2 |
| 1.1 美国水文遥感卫星 | 2 |
| 1.1.1 TRMM/GPM 降水监测卫星 | 2 |
| 1.1.2 SMAP 土壤湿度卫星 | 2 |
| 1.2 欧洲 Sentinel 系列卫星 | 3 |
| 1.2.1 Sentinel-1 雷达卫星 | 3 |
| 1.2.2 Sentinel-2 光学卫星 | 3 |
| 1.3 本章小结 | 4 |
| 第二章 国内卫星遥感技术进展 | 5 |
| 2.1 中国气象卫星系统 | 5 |
| 2.1.1 风云系列气象卫星 | 5 |
| 2.1.2 降水观测能力 | 5 |
| 2.2 高分系列对地观测卫星 | 6 |
| 2.2.1 高分一号卫星 | 6 |
| 2.2.2 高分三号 SAR 卫星 | 6 |
| 2.3 遥感数据处理方法 | 7 |
| 2.3.1 大气校正 | 7 |
| 2.3.2 水体提取精度评估 | 7 |
| 2.4 应用案例分析 | 8 |
| 2.4.1 太湖水体监测 | 8 |
| 2.5 本章小结 | 9 |
| 参考文献 | 10 |
| 致谢 | 11 |

引言

随着科学技术的快速发展，遥感技术已成为地球观测和资源环境监测的重要手段。特别是在水文领域，卫星遥感技术凭借其宏观视野、高时空分辨率和全天候观测能力，为水资源管理、洪涝灾害监测、水环境评估等提供了重要的技术支撑。

近年来，美国、欧洲、中国、日本等国家相继发射了多颗水文遥感卫星，在降水监测、土壤湿度反演、地表水体提取、蒸散发估算等方面取得了显著进展。这些技术突破不仅丰富了水文学的研究手段，也为全球水资源管理提供了新的解决方案。

然而，不同国家的卫星遥感技术在传感器类型、数据质量、应用领域等方面各有特点。系统梳理和比较分析这些技术进展，对于推动我国水文遥感技术发展、提升水资源管理水平具有重要意义。

本研究旨在通过文献综述与案例分析相结合的方法，系统总结不同国家卫星遥感在水文领域的最新进展，分析各国技术特点与应用实践，为我国相关领域的发展提供参考和借鉴。

第一章 国外卫星遥感技术进展

1.1 美国水文遥感卫星

美国在水文遥感领域处于世界领先地位，拥有完善的卫星体系和丰富的应用经验。NASA（美国国家航空航天局）和 NOAA（美国国家海洋和大气管理局）是主要的卫星运营机构。

1.1.1 TRMM/GPM 降水监测卫星

热带降雨测量任务（TRMM）卫星于 1997 年发射，配备降水雷达和微波成像仪，首次实现了热带地区降水的三维结构探测。2014 年，全球降水测量（GPM）卫星作为 TRMM 的继承者成功发射，监测范围扩展至全球，时空分辨率显著提升^[1]。

表 1-1 对比了 TRMM 和 GPM 卫星的主要技术参数。

表 1-1 TRMM 与 GPM 卫星主要技术参数对比

| 技术参数 | TRMM | GPM |
|--------|----------|----------|
| 发射时间 | 1997 年 | 2014 年 |
| 监测范围 | 南北纬 35° | 南北纬 65° |
| 空间分辨率 | 5 km | 5 km |
| 时间分辨率 | 3 小时 | 3 小时 |
| 降水探测精度 | 0.5 mm/h | 0.2 mm/h |

1.1.2 SMAP 土壤湿度卫星

土壤湿度主被动卫星（SMAP）于 2015 年发射，结合 L 波段雷达和辐射计，可提供 9 公里分辨率的全球土壤湿度数据，为农业干旱监测和洪水预报提供了重要支撑。

1.2 欧洲 Sentinel 系列卫星

欧空局（ESA）的哥白尼计划（Copernicus）是目前全球最大的对地观测计划之一。Sentinel 系列卫星为水文应用提供了丰富的免费数据资源。

1.2.1 Sentinel-1 雷达卫星

Sentinel-1 携带 C 波段合成孔径雷达（SAR），具有全天候、全天时观测能力，在洪水监测、湿地制图等方面具有独特优势。其 6 天重访周期为动态水体监测提供了高频数据^[2]。

如图1-1所示，Sentinel-1 卫星的 SAR 成像原理使其能够穿透云层进行观测。



图 1-1 Sentinel-1 SAR 卫星成像示意图

1.2.2 Sentinel-2 光学卫星

Sentinel-2 携带多光谱成像仪，空间分辨率达 10-20 米，5 天重访周期，为地表水体提取、水质监测提供了高质量数据。其红边波段对水生植被识别具有重要价值。

归一化植被指数（NDVI）是遥感中常用的植被监测指标，其计算公式如下：

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (1-1)$$

其中，NIR 表示近红外波段反射率，RED 表示红光波段反射率。NDVI 的取值范围为 $[-1, 1]$ ，植被覆盖区域的 NDVI 值通常在 0.2 至 0.8 之间。

对于水体识别，常用的归一化水体指数（NDWI）计算公式为：

$$\text{NDWI} = \frac{\text{GREEN} - \text{NIR}}{\text{GREEN} + \text{NIR}} \quad (1-2)$$

1.3 本章小结

国外卫星遥感技术在传感器性能、数据质量、应用深度等方面处于领先地位。美国强调业务化运行和全球监测能力，欧洲注重数据开放共享和多任务协同，为全球水文研究提供了重要数据支撑。

第二章 国内卫星遥感技术进展

2.1 中国气象卫星系统

中国气象卫星事业起步于 20 世纪 70 年代，经过多年发展，已建立起由极轨和静止轨道气象卫星组成的完整业务观测体系。

2.1.1 风云系列气象卫星

风云系列卫星是中国自主研制的气象卫星系统，包括风云一号、二号、三号、四号等多个系列，在天气预报、气候监测、防灾减灾等领域发挥着重要作用。

表2-1列出了主要风云系列卫星的技术参数。

表 2-1 风云系列主要卫星技术参数

| 卫星名称 | 轨道类型 | 发射时间 | 空间分辨率 |
|--------|------|--------|------------|
| 风云一号 D | 极轨 | 2002 年 | 1.1 km |
| 风云二号 H | 静止 | 2018 年 | 1 km (可见光) |
| 风云三号 D | 极轨 | 2017 年 | 250 m |
| 风云四号 A | 静止 | 2016 年 | 500 m |
| 风云四号 B | 静止 | 2021 年 | 500 m |

2.1.2 降水观测能力

风云卫星搭载的微波成像仪和降水测量雷达可以有效监测降水分布。根据雷达方程，降水强度 R 与雷达反射率因子 Z 之间存在经验关系：

$$Z = aR^b \quad (2-1)$$

其中， a 和 b 是经验系数，对于层云降水，典型取值为 $a = 200$ ， $b = 1.6$ 。

2.2 高分系列对地观测卫星

高分系列卫星是中国高分辨率对地观测系统的重要组成部分，为水资源管理、环境监测等提供高质量遥感数据。

2.2.1 高分一号卫星

高分一号（GF-1）卫星于 2013 年发射，搭载 2 米全色和 8 米多光谱相机，以及 16 米多光谱宽幅相机，幅宽达到 800 公里。

如图2-1所示，高分系列卫星的不同传感器组合可以满足多种应用需求。



图 2-1 高分系列卫星覆盖能力示意图

2.2.2 高分三号 SAR 卫星

高分三号（GF-3）是中国首颗 C 波段多极化合成孔径雷达卫星，于 2016 年发射。其雷达成像分辨率最高可达 1 米，具有 12 种成像模式。

SAR 成像的基本原理基于多普勒效应，目标的径向速度 v_r 与多普勒频移 f_d 的关系为：

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} \quad (2-2)$$

其中， λ 为雷达波长。对于 C 波段 SAR，波长约为 5.6 cm。

通过距离-多普勒算法，可以实现二维高分辨率成像。成像分辨率 ρ 与合成孔径长度 L_{SA} 的关系为：

$$\rho_{azimuth} = \frac{L_{antenna}}{2} \quad (2-3)$$

其中， $L_{antenna}$ 为天线物理长度。

2.3 遥感数据处理方法

2.3.1 大气校正

遥感影像在获取过程中受到大气散射和吸收的影响，需要进行大气校正。基于辐射传输方程，地表反射率 $\rho_{surface}$ 的计算公式为：

$$\rho_{surface} = \frac{\pi(L_{sensor} - L_{path})d^2}{E_{sun} \cos \theta_s T_{down} T_{up}} \quad (2-4)$$

其中：

- L_{sensor} : 传感器接收的辐亮度
- L_{path} : 大气路径辐射
- d : 日地距离（天文单位）
- E_{sun} : 太阳光谱辐照度
- θ_s : 太阳天顶角
- T_{down} : 大气下行透过率
- T_{up} : 大气上行透过率

2.3.2 水体提取精度评估

遥感水体提取结果需要进行精度评估。表2-2列出了常用的精度评价指标。

其中，TP、TN、FP、FN 分别表示真正例、真负例、假正例和假负例的数量。

Kappa 系数的详细计算公式为：

表 2-2 遥感分类精度评价指标

| 评价指标 | 计算公式 | 理想值 |
|------------|-----------------------------------|-----|
| 总体精度 (OA) | $(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$ | 1.0 |
| 用户精度 (UA) | $TP / (TP + FP)$ | 1.0 |
| 生产者精度 (PA) | $TP / (TP + FN)$ | 1.0 |
| Kappa 系数 | $(P_o - P_e) / (1 - P_e)$ | 1.0 |
| F1 分数 | $2TP / (2TP + FP + FN)$ | 1.0 |

$$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (2-5)$$

其中, P_o 为观测一致性概率, P_e 为期望一致性概率:

$$P_o = \frac{TP + TN}{N} \quad (2-6)$$

$$P_e = \frac{(TP + FP)(TP + FN) + (TN + FP)(TN + FN)}{N^2} \quad (2-7)$$

N 为样本总数。

2.4 应用案例分析

2.4.1 太湖水体监测

利用高分一号和风云三号卫星数据, 可以实现对太湖水体的动态监测。图2-2展示了多时相水体变化。



图 2-2 太湖水体多时相遥感监测

水体面积的变化率可以用以下公式计算:

$$\Delta A(\%) = \frac{A_t - A_0}{A_0} \times 100\% \quad (2-8)$$

其中， A_0 为初始时刻水体面积， A_t 为 t 时刻水体面积。

2.5 本章小结

中国已建立起完整的卫星遥感体系，风云系列气象卫星和高分系列对地观测卫星在水文监测、灾害预警等方面发挥着重要作用。国产卫星的空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率不断提升，为水资源管理提供了可靠的数据支撑。通过综合应用多源遥感数据和先进的处理算法，可以实现对水体的精确监测和动态分析。

参考文献

[1] 张三. 论水利水电工程的发展[J]. 水利学报, 2023, 10(1): 10-15.

[2] 李四, 王五. 毕业设计指南[M]. 北京: 高等教育出版社, 2024.

致 谢

在本论文即将完成之际，我要衷心感谢我的导师李教授在课题研究和论文撰写过程中给予的悉心指导和大力支持。导师严谨的治学态度和敬业精神将激励我在今后的学习和工作中不断进取。

同时，我要感谢实验室的各位同学在研究过程中给予的帮助和建议。正是在大家的共同努力下，本研究才得以顺利完成。

最后，我要感谢我的家人一直以来的理解、支持和鼓励，他们是我不断前进的动力源泉。