

摘要

赤潮是一种常见的海洋灾害，对海洋生态系统构成了巨大的威胁，也对沿海地区的经济和公共健康安全带来了严重影响。秦皇岛海域是我国北方半封闭性内海，本身具有水深较浅、表层流速和潮差较小的特征，使得其潮汐余流作用较弱，与外海的水体交换能力差，并且，一旦污染物进入这一海域，便不易扩散，易于形成高浓度的聚集区，为赤潮灾害的发生提供了温床。秦皇岛海域附近人口稠密、排污量大，从 2006 年至今，秦皇岛海域共记载了 64 起赤潮灾害事件，且多发生在暑期。因此，秦皇岛海域赤潮监测系统的研究不仅是海洋科学领域的重要组成部分，也是维护生态平衡、推动经济发展和保护公共健康的关键措施。

传统的赤潮监测方法例如人工现场监测、船舶巡测、飞机或无人机巡测以及静态监测站点，存在耗时耗力、检测覆盖范围有限、成本较高、不能快速响应以及受天气影响较大等缺点。目前常用的赤潮监测系统相关研究大多操作使用复杂、结果显示不明显。

本系统使用遥感卫星数据、监测站数据与浮标数据为数据源进行搭建，旨在对秦皇岛海域赤潮事件进行监测。为了使赤潮监测更加便捷、准确，同时为保护海洋环境做出贡献，通过分析赤潮的主要特征因子如营养盐、叶绿素浓度以及气候变化的影响，确定赤潮监测的关键因子。通过 React.js、UmiJS、Ant Design Vue 等前沿技术构建前端界面，并结合 Node.js、NestJS 等技术实现后端服务，整合为一个完整有效的赤潮监测系统，利用遥感技术和地面监测数据，构建了一个监测系统，系统包括能够实时的监测赤潮事件。通过对比 2022 年河北省海洋灾害公报所发布的赤潮灾害事件，验证了系统的准确性，赤潮识别率达到 91.6%，以此对 2023 年秦皇岛海域进行赤潮灾害监测。

关键词：海洋赤潮；监测系统；营养盐；叶绿素

ABSTRACT

Red tide is a common marine disaster that poses a huge threat to marine ecosystems and has a serious impact on the economy and public health and safety of coastal areas. The Qinhuangdao sea area is a semi enclosed inland sea in northern China, characterized by shallow water depth, small surface flow velocity and tidal range, which makes its tidal residual current weak and has poor exchange capacity with the outer sea. Moreover, once pollutants enter this sea area, they are not easy to diffuse and are prone to forming high concentration gathering areas, providing a breeding ground for the occurrence of red tide disasters. The area near Qinhuangdao is densely populated and has a large amount of pollution discharge. Since 2006, a total of 64 red tide disasters have been recorded in the Qinhuangdao area, mostly occurring during the summer. Therefore, the research on the red tide monitoring system in the Qinhuangdao sea area is not only an important component of marine science, but also a key measure to maintain ecological balance, promote economic development, and protect public health.

Traditional methods for monitoring red tide, such as manual on-site monitoring, ship patrols, aircraft or drone patrols, and static monitoring stations, have drawbacks such as time-consuming and labor-intensive, limited detection coverage, high cost, inability to respond quickly, and being greatly affected by weather. Currently, most commonly used research on red tide monitoring systems involves complex operations and unclear results.

This system will be built based on remote sensing satellite data, monitoring station data, and buoy data, aiming to monitor the red tide event in the Qinhuangdao sea area. In order to make red tide monitoring more convenient and accurate, and to contribute to the protection of the marine environment, the key factors for red tide monitoring were determined by analyzing the main characteristic factors of red tide, such as nutrients, chlorophyll concentration, and the impact of climate change. By using cutting-edge technologies such as React.js, UmiJS, Ant Design Vue, and combining

Node.js, NestJS, etc., a front-end interface is constructed, and back-end services are implemented to integrate into a complete and effective red tide monitoring system. Using remote sensing technology and ground monitoring data, a monitoring system is constructed, which includes the ability to monitor red tide events in real time. By comparing the red tide disaster events published in the 2022 Hebei Province Marine Disaster Bulletin, the accuracy of the system was verified, with a red tide identification rate of 91.6%. This was used to monitor the red tide disaster in the Qinhuangdao sea area in 2023.

Key words: Marine Red Tide; Monitoring system; Nutrients; Chlorophyll

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景和意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 国内外研究现状.....	3
1.2.1 国内赤潮遥感监测方法及监测系统研究现状	3
1.2.2 国外赤潮遥感监测方法及监测系统研究现状	6
1.3 研究内容.....	7
1.4 论文组织结构.....	9
第二章 秦皇岛海域赤潮监测特征因子分析	10
2.1 研究区域.....	10
2.2 数据来源.....	10
2.2.1 遥感数据	10
2.2.2 浮标数据	12
2.2.3 监测站数据.....	13
2.3 赤潮监测因子分析与确定	14
2.3.1 秦皇岛海域赤潮特征分析.....	14
2.3.2 赤潮发生期间营养盐特征变化分析.....	16
2.3.3 河流入海口监测站特征因子变化.....	16
2.3.4 营养盐与叶绿素浓度的关联分析.....	24
2.3.5 气候变化与叶绿素浓度的关联分析.....	27
2.3.6 监测因子	29
2.4 本章小结.....	29
第三章 秦皇岛海域赤潮监测系统研究	31
3.1 需求分析.....	31
3.2 监测系统的组成.....	31
3.2.1 监测系统的核心技术.....	31
3.2.2 UI.....	31
3.2.3 数据库.....	32
3.2.4 Antdv L7.....	33
3.3 监测系统的实现.....	33
3.4 本章小结.....	36
第四章 秦皇岛海域赤潮监测系统应用	37
4.1 2022 年秦皇岛海域赤潮监测结果	37

4.2 2023 年秦皇岛海域赤潮监测结果	42
4.3 本章小结.....	47
第五章 总结与展望	48
5.1 结论.....	48
5.2 工作内容.....	48
5.3 不足与展望.....	48
参考文献.....	50

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

赤潮是一种常见的海洋灾害，不仅对海洋生态系统构成了巨大的威胁，也对沿海地区的经济和公共健康安全带来了严重影响。赤潮会消耗水体中的氧气，导致缺氧环境，这对于一些水生生物极为致命，某些赤潮发生时会产生毒素，可以直接杀死海洋生物，导致生物多样性降低，长期可能会破坏海洋生态系统的结构和功能。在经济层面，赤潮对渔业和养殖业形成了严重威胁，造成巨大的经济损失，同时也影响了旅游业的发展。对人类健康的冲击则通过赤潮毒素的累积，导致食物中毒、皮肤病等健康问题，长期暴露甚至可能引发神经系统损害。

秦皇岛海域是我国北方半封闭性内海，本身具有水深较浅、表层流速和潮差较小的特征，使得其潮汐余流作用较弱，与外海的水体交换能力差，并且，一旦污染物进入这一海域，便不易扩散，易于形成高浓度的聚集区，为赤潮灾害的发生提供了温床。秦皇岛海域附近人口稠密、排污量大，从 2006 年至今，共记载了 64 起赤潮灾害，且多发生在暑期。2006 年，山海关附近海域和北戴河附近海域爆发了两次赤潮；2007 年 7 月到 9 月，秦皇岛山海关区、海港区附近海域共爆发了四次赤潮灾害；2009 年出现两次面积分别为 460km² 和 1000km² 的赤潮灾害；2010 年，爆发面积达 3350km² 的赤潮现象；2011 年，沿岸海域出现了四次赤潮灾害；2012 年，爆发了六次赤潮灾害；2014 年爆发六次赤潮灾害；2015 年，也发生了六次赤潮现象；2016 年共计六次赤潮灾害波及到秦皇岛沿岸海域；2017 年，秦皇岛市金梦海湾附近的海域也遭受了多次赤潮灾害的侵扰^[1]；2022 年 4 月到 2022 年 9 月，秦皇岛、曹妃甸和黄骅近岸海域曾不间断爆发了长时间的赤潮灾害，共计 12 次，面积达到了 823.2 平方公里，其中以秦皇岛海域最为高发。秦皇岛海域赤潮在过去几十年中呈逐渐增多的趋势，特别是在养殖区附近，由于营养物质的富集，赤潮发生的频率和强度逐渐增加^[2]。

高效的监测手段有利于赤潮的尽早发现和治理，秦皇岛海域赤潮的监测手段涵盖卫星遥感、现场监测、船舶实地巡测、飞机或无人机巡测以及静态监测站

点。然而，目前的监测手段存在着覆盖范围优先、成本较高、不能快速响应以及受天气影响较大等缺点。面对赤潮频发带来的严峻挑战，迫切需要构建更加完善的赤潮监测系统，增强数据分析和预警系统的能力。通过高效的监测手段，降低赤潮灾害事件对生态环境、海洋经济和公共健康带来的负面影响。

图 1-1 为秦皇岛近年赤潮事件信息。

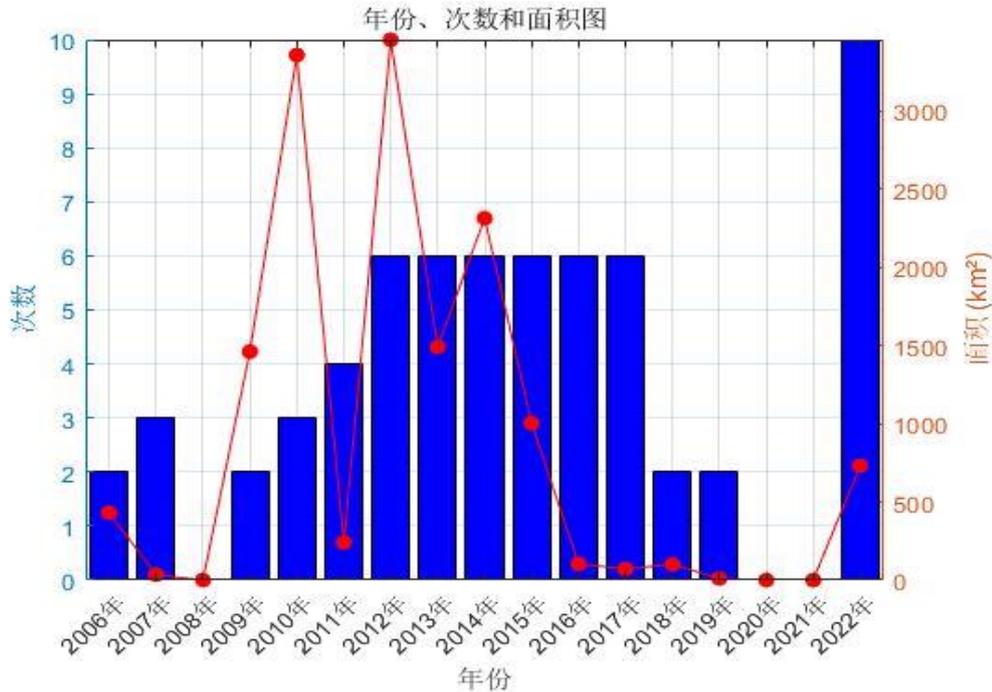


图 1-1 秦皇岛附近海域近年赤潮发生次数与面积图

Fig. 1-1 The frequency and area of red tide occurrences in the waters near Qinhuangdao in recent years

1.1.2 研究意义

秦皇岛海域作为我国北方重要的海洋生态区，开展赤潮监测研究具有重要的意义，特别是在保护生态系统、促进海洋经济发展和维护人类健康这三个方面。首先，有效的赤潮监测不仅对于保护珍贵的海洋生态系统至关重要，而且对于维护和改善水域环境质量具有深远的影响。及时准确的赤潮检测和预警系统能显著减少赤潮对海洋生物群落的破坏，有助于保护生物多样性，支持本土和迁徙物种的稳定和繁衍，有益于推进区域海洋生态的可持续利用。其次，赤潮的有效监测与管理直接关联到渔业资源的保障，有助于减轻由赤潮导致的经济损失，保护渔民的生计，并为沿海旅游业的稳健发展提供保障。秦皇岛作为一个旅游景点，

旅游业的繁荣与海域环境的健康状态密不可分，赤潮监测因而对于提升旅游者的游览体验，增强地区经济全面发展具有重要的促进作用。最后，建立和完善赤潮监测系统对人类健康具有重要意义，减少毒素通过食物链传递给人类的概率，保障沿海居民和消费者的食品安全和健康。因此，秦皇岛海域赤潮监测系统的研究不仅是海洋科学领域的重要组成部分，也是维护生态平衡、推动经济发展和保护公共健康的关键措施。

此外，系统的监测数据对科学研究的价值不可低估，它不仅有助于深化我们对赤潮成因和演变机制的理解，还能为开发更为有效的赤潮防控策略提供数据支撑。科学的赤潮监测数据为政府制定海洋环境保护政策和法规提供了重要依据，这些政策和法规是可持续管理海洋资源的基石。

1.2 国内外研究现状

赤潮监测是一项复杂且多维的科学活动，涉及多种方法和技术，例如环境因子监测、卫星遥感监测以及固定站点监测。在这些监测方法中，每一种都有其独特的重要性和应用背景。

本系统将使用遥感卫星数据、监测站数据与浮标数据为基础进行搭建，旨在对秦皇岛海域赤潮事件进行监测，实时跟踪赤潮爆发前后的环境因素变化，制作一个准确、便捷、高效的可视化监测系统。

1.2.1 国内赤潮遥感监测方法及监测系统研究现状

2000年龚强、韩玺山等人通过对辽宁近海的2次赤潮过程分析，研究了赤潮灾害与气候之间的关联，并对用NOAA气象卫星遥感资料监测赤潮的原理、优点和方法进行分析^[3]。2004年赵冬至在现场实测和室内培养的基础上，测定了12种不同叶绿素浓度的赤潮和非赤潮藻类水体光谱曲线，采用表征叶绿素荧光高度的两种模型方法，定量分析了SICF峰高和位置的变化与叶绿素浓度的关系，提出表征水体归一化SICF的优化荧光波段，并依据水色卫星荧光基线算法原理，采用藻类水体高光谱反射率曲线模拟了MODIS、MERIS和GLI的荧光波段，对比分析了三者的赤潮探测精度^[4]。2005年韦桂峰、唐丹玲探讨卫星遥感在研究海洋初级生产力分布和海洋赤潮监测上的应用^[5]。2009年，王云飞根据2003-2007

年在东海进行的五次航海期间收集的海洋光学和叶绿素浓度数据，结合相关文献资料，开发了东海海域生物光学算法^[6]。孙东结合机器学习、模糊数学、数据融合方法等理论，对赤潮监测数据的处理与分析方法进行了研究^[7]。2011年，雷惠对东海海域进行分析，建立了赤潮提取算法，分别利用实测数据和遥感赤潮数据对东海赤潮事件固有光学量参数进行对比分析建立了用以识别赤潮水体以及区分甲藻与硅藻类不同赤潮的算法模型，实现了对赤潮水体发生范围的准确识别^[8]。

2000年，孙强等通过 SeaWiFS 相关波段构建了微囊藻赤潮的三波段识别模型^[9]。之后，毛显谋的团队分析了东海实测水体光谱特性，得出一种基于 SeaWiFS 的可有效排除悬浮泥沙干扰的多波段差值比值方法探测赤潮^[10]。2006年，丘仲峰得出一个多波段差赤潮反演模型^[11]。2009年杜聪利用 Hyperion 星载高光谱数据和野外实验所获取的水质数据，经过对太湖水体光学特点分析，筛选出3个最优特征波段后建立了较高精度的三波段反演模型^[12]。同年，韦安娜基于高分五号卫星，对鄱阳湖的浑浊水体建立了三波段叶绿素 a 浓度反演模型。AVIRIS 成像仪覆盖光谱范围为 0.4~2.5 μm ，其采集到的遥感影像空间分辨率约为 20 米^[13]。在 2013年，徐晓晖及其团队依据东海水体的光谱数据，构建了一个赤潮判定模型，提出 $Rrs555/Rrs488 > 1.5$ 和 $Rrs678/Rrs667 > 0$ 的赤潮模型，识别结果与公报位置吻合^[14]。2014年 Xiulin Lou 等开发了一种新方法，利用 GOCI 数据，能够在高浑浊度水域准确区分赤潮^[15]。江彬彬于 2017年以 GOCI 卫星 555nm 的归一化离水辐射率为特征波段对东海赤潮进行提取^[16]。2019年，宋金玲等利用 MODIS 1B 遥感数据，采用波段比值法对秦皇岛海域的赤潮监测进行了应用^[17]。

2015年，吴彤用秦皇岛海域的现场光谱数据、营养盐实测数据和 MODIS L1B 影像数据为实验数据，通过线性回归分析的方法分别建立基于 MODIS 影像的营养盐浓度反演模型，经过精度对比分析，确定各项营养盐的最佳遥感反演模型^[18]。2016年，陈佩君对黄岐半岛海域赤潮高发区进行水环境调查，利用多元线性回归方法对活性磷酸盐和亚硝酸盐进行回归分析，得出亚硝酸盐对叶绿素 a 负向影响最大，为 -1.3^[19]。2020年，刘西汉等在曹妃甸周边海域分析了营养盐的时空分布特征、影响因素，评估水体营养状态和营养盐限制状况，得出营养盐限制状况具有季节差异，春季主要为 Si 限制，夏季主要为 P 限制^[20]。2021年，王丽莎等分析了渤海中部 Chl a 和营养盐的季节特征、影响因素及趋势变化，结果表明，营养盐呈现明显的 P 限制^[21]。2023年，杨安强等通过研究赤潮异弯藻对

营养盐变化的相应, 得出磷浓度是控制赤潮异弯藻生长的主要因子, 磷缺乏会限制有害藻华的生长^[22]。

2016年, 周秋怜等使用2016年7月22日到8月12日秦皇岛海域在线监测浮标数据, 分析了风暴潮爆发对赤潮的影响, 发现风暴潮结束之后, 该海域爆发了夜光藻赤潮, 盐度急剧下降, 从26.5降至24.5, 而叶绿素a的浓度则从5.2 $\mu\text{g/L}$ 上升至28.18 $\mu\text{g/L}$ 。这一变化表明风暴潮可能是导致夜光藻赤潮的关键因素之一。主要是因为风暴潮能够降低海水温度并增添营养物质, 这对夜光藻的触发至关重要。风暴潮引起海水充分混合, 提供了赤潮爆发所需的营养物质, 同时, 水温下降及随后的气象条件对赤潮的形成和持续发展也发挥了关键影响^[23]。

2011年, 陈芸芝分析了时间序列水色遥感图像融合技术, 以及如何利用这些技术进行赤潮信息提取与预测。研究成果包括以下几点: 通过多个传感器获取的水色遥感图像进行处理和光谱分析; 实现了水色遥感图像的有效融合, 并通过比较叶绿素浓度、叶绿素荧光强度以及443nm和667nm波段的遥感反射率数据, 发现不同传感器在同一天获取的数据在空间分布上互补, 保持了高度一致性。此外, 还探索了基于时间序列的水色遥感图像分析, 用于提取和研究赤潮信息; 开发了赤潮信息提取技术, 并将其应用于赤潮预报。最后, 开发了一个赤潮信息处理原型系统, 该系统整合了图像融合、赤潮光谱信号增强和时间序列数据分析等关键技术, 为使用多源时间序列水色遥感数据预测赤潮提供了一个有效的平台^[24]。2016年, 朱乾坤设计了基于C/S架构的赤潮遥感监测系统, 该系统能够自动识别和提取赤潮水体的光谱及其固有光学特性来监测赤潮信息^[25]。Zhang He团队研究了渤海叶绿素a、MODIS光谱反射率数据, 选择(B10-B8)/(B13-B8)作为赤潮指数, 其相关性高达0.7815^[26]。钱海明及其团队采用MODIS L1B数据做为基础, 结合ArcGIS, 将蓝藻遥感监测的核心技术融入系统模型中, 从而提升了巢湖蓝藻动态监测的结果^[27]。2018年, 朱星睿结合WebGIS, 设计了卫星赤潮遥感监测系统^[28]。2019年, 朱杭杰开发了一套基于Java EE与SuperMap的WebGIS系统^[29]。2021年, 贾旭东基于MODIS Level-2水色遥感数据, 开发了赤潮自动监测系统^[30]。同年, 魏月茹等将秦皇岛附近海域作为研究区域, 基于多源遥感影像并结合实测叶绿素a浓度进行了赤潮监测研究, 以叶绿素a浓度和海水反射率Rrs比值为判断依据, 并设置阈值分别为12 mg/m^3 、0.9, 判定整个赤潮发生过程的动态变化^[31]。

1.2.2 国外赤潮遥感监测方法及监测系统研究现状

1981年, Steidinger 和 Haddad 对佛罗里达西部水域中由甲藻引起的赤潮进行了成功识别^[32]。从 2002 年到 2012 年, 澳大利亚的研究员 David 和他的团队使用最大叶绿素指数算法, 通过 MERIS 卫星影像对大堡礁泻湖中的藻类 *Trichodesmium* 实施了为期十年的持续监测。观测结果的反演精度达到了 76%, 显示出较高的可靠性^[33]。Wonkook Kim 等使用 GOCI 卫星的影像数据, 构建了用于东北亚海域的叶绿素模型, 采用 OC3 算法进行开发, 并对其性能进行了验证^[34]。Jun Zhao 和 Hosni Ghedira 通过 HYCOM 模型的结果证实了赤潮的流动模式。HYCOM 数据和卫星导出的海面温度数据进一步表明, 赤潮可以在海上启动, 并通过底部的 Ekman 层在岸上进行平流。这里提出的案例研究表明卫星观测和数值模型研究赤潮其爆发和运动的优势^[35]。2017 年, Urquhart 等人提出了一种基于 MERIS 的算法来提取氰基有害藻类赤潮的面积^[36]。

在 1972 年, 美国 NASA 发射的陆地卫星 Landsat 为赤潮研究提供了新的机遇。1974 年, Strong 利用 Landsat 的第六波段数据首次对湖泊水体的赤潮现象进行了研究, 并引入了单波段遥感技术用于赤潮探测的概念。尽管这种方法开创了赤潮遥感研究的先河, 但在区分 II 类水体 (含有大量悬浮泥沙的水体) 中赤潮与正常水体时显示出了局限性, 因为该方法未能有效区分赤潮水体和正常水体^{[37][38]}。1983 年, Holligan 为 CZCS 卫星的 R1/R3 波段设定了阈值, 开创了利用反射比值监测赤潮的方法^[39]。1987 年, Vargo 研究了赤潮的分布面积^[40]。同年, Groom 和 Holligan 通过 AVHRR 研究了大西洋赤潮, 在 Strong (1974) 的工作基础上, 对 AVHRR 的 R1 波段设定阈值, 有效实现了颗石藻赤潮的单波段遥感提取^[41]。2003 年 Huang W, Lou X 研究了利用 NOAA AVHRR 和 Seastar SeaWiFS 传感器提取赤潮事件信息的算法。这些算法涵盖了基于沿海光谱特征的多波段比例算法、依赖于赤潮水体反射率和温度的海洋色温算法和神经网络技术的模型^[42]。2005 年, Takahashi 等通过 SeaWiFS 对赤潮水体进行反演^[43]。同年, Hu 及其团队使用 MODIS 数据研究了腰鞭毛藻赤潮, 他们的研究结果确认了荧光高度法的有效性^[44]。Gower 等^[45]利用最大叶绿素指数算法对加拿大西海岸的赤潮进行了反演研究, 结果表明 MERIS 在赤潮观测方面表现出较高的灵敏度和应用价值。2014 年, Suwisa^[46]利用便携式光谱仪在现场测量海面的光谱, 并在实验室分析了叶绿素 a (Chl a) 的浓度, 通过研究叶绿素 a 的吸收和反射特性与波长之

间的光谱关系，她确立了一个稳定的叶绿素 a 监测指标，研究发现，435nm、488nm、692nm 的三个波段与叶绿素 a 浓度有着显著的相关性，使用这个关系建立的反演模型对遥感影像进行分析时，反演结果与实测数据相符。Qi Wang^[47]结合多光谱卫星 HJ-CCD 的数据和同期的水体参数监测数据，研究选取与实测的叶绿素 a 浓度高度相关的可见光红色波段和近红外波段的比值作为模型的参数。基于这些参数，研究建立了线性和多项式两种模型，研究结果表明，使用这种波段比值进行反演是切实可行的，并且多项式模型在预测效果上表现更加。

Justic^[48]和 Dortch^[49]提出，当海域中的 DIN/DIP 小于 10 时显示出队溶解无机氮的相对限制，如果这是 DIN 的浓度小于 1 $\mu\text{mol/L}$ ，则达到溶解无机氮的绝对限制水平；反之，DIN/DIP 大于 22 则表现为磷酸盐的相对限制，如果 DIP 的浓度小于 0.1 $\mu\text{mol/L}$ ，则说明磷酸盐的绝对限制。

2017 年，Hu C, Murch B 开发了墨西哥湾东部湾赤潮监测系统，用户可以使用 Keyhole 在谷歌地球上导航，分析和覆盖其他产品^[50]。他还开发了一种 nFLH 数据产品，以便通过使用 MODIS 衍生的在 547nm 的绿色波段的遥感反射率对 nFLH 值的修改来最小化这种影响^[51]。

综上所述，当前针对秦皇岛海域赤潮现象的研究显示，相关海域营养盐中总磷、总氮与叶绿素浓度数值上的经验性关系分析不充分。此外，现有赤潮监测系统的相关研究大多操作使用复杂、结果显示不明显。

本研究将重点分析秦皇岛海域中营养盐与叶绿素浓度的相关性，并依托遥感卫星技术，开发并构建一套先进、高效的赤潮监测系统，旨在实时追踪、监测赤潮事件的发生，用以保护海洋环境。

1.3 研究内容

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/275003113333011242>