

# 黄河三角洲潮沟形态特征时空分布数据集 (1998–2018)的研发

牟奎南<sup>1,2</sup>, 宫兆宁<sup>1,2\*</sup>, 邱华昌<sup>1,2</sup>

1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048;

2. 北京市城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地, 北京 100048

**摘 要:** 潮沟是陆海生态系统交互作用的主要通道, 具有高度的时空动态性。潮沟形态特征的时空分布具有明显的时空异质性, 研究成果对合理构筑沿海工程设施和保护滩涂资源等具有重要的理论意义和科学价值。作者以黄河三角洲为研究区, 基于1998–2018年20景Landsat TM/OLI卫星数据(云量<10%), 使用异质背景下潮沟网络的精准提取算法提取潮沟, 并利用潮沟快速自动分级算法对潮沟进行分级处理后, 利用GIS空间分析功能, 提取5年研究区潮沟形态特征参数, 生成1998–2018年潮沟形态特征时空分布数据集。该数据集包括1998、2004、2008、2013和2018年黄河三角洲的以下数据: (1) 潮沟分布数据; (2) 潮滩最大分布范围数据; (3) 潮沟密度核密度分布数据; (4) 潮沟分汉率核密度分布数据; (5) 非通道路径长度分布数据。其中, 栅格数据的空间分辨率为30 m。数据集存储为.shp和.tif格式, 共包含120个数据文件, 数据量为81.4 MB(压缩为1个文件, 14.8 MB)。

**关键词:** 潮沟网络; 形态特征参数; 时空分异规律; 黄河三角洲; 长时间序列

**DOI:** <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.02.09>

**CSTR:** <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.02.09>

**数据可用性声明:**

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志(中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2022.01.09.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.01.09.V1>。

## 1 前言

潮沟作为潮滩上典型的地貌单元, 是一种发育在潮间带, 由海洋动力形成的潮汐水道。作为潮滩与外界进行物质、能量和信息交换的重要通道, 潮沟对潮水的分配以及泥沙的供应都起着至关重要的作用, 是塑造潮滩地形的主导驱动力, 也是盐沼植被分布格局形成的重要驱动力, 直接影响了滨海湿地生态环境的变化和盐沼植被的空间分布特征。

黄河三角洲区域发育了密集的潮沟体系, 在自然和人为活动的综合影响下, 潮沟的形

收稿日期: 2022-02-10; 修订日期: 2022-05-26; 出版日期: 2022-06-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部(2017YFC0505903); 国家自然科学基金(41971381)

\*通讯作者: 宫兆宁, 首都师范大学, [gongzhn@cnu.edu.cn](mailto:gongzhn@cnu.edu.cn)

数据引用方式: [1] 牟奎南, 宫兆宁, 邱华昌. 黄河三角洲潮沟形态特征时空分布数据集(1998–2018)的研发[J]. 全球变化数据学报, 2022, 6(2): 234–240. <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.02.09>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.02.09>.

[2] 牟奎南, 宫兆宁, 邱华昌. 黄河三角洲潮沟形态特征时空分布数据集(1998–2018)[J]. 全球变化数据学报[DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.01.09.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.01.09.V1>.

态特征复杂易变，具有高度的时空异质性。自 1996 年黄河改道以来，研究区内开展的大量沿海工程及互花米草的入侵，使原有的平衡被打破，潮沟的生境栖息地功能受到严重影响，最终可能会导致盐沼湿地生境的丧失并增加区域内洪涝风险。因此，开展黄河三角洲潮沟形态特征参量长时序的时空分布规律研究，进一步认识在自然活动和人类活动影响下潮沟系统形态特征的演变过程和规律，成为积极应对滩涂资源开发、入侵物种管控、沿海工程防护的关键环节。受黄河三角洲湿地复杂下垫面难以进入以及潮沟形态变化频繁等因素的限制，传统的实地测量方法无法有效开展。因此相较于点尺度的野外测量，遥感技术具有覆盖范围大、重访周期短且成本低等优势，可以解决海岸带复杂地理环境与自身复杂网络结构所导致的潮沟网络形态特征表征难的问题。

本数据集是以黄河三角洲为研究区，通过对 20 景 Landsat TM/OLI 遥感数据的深入挖掘，得到 1998–2018 年潮沟形态特征空间分布数据集。

2 数据集元数据简介

《黄河三角洲潮沟形态特征时空分布数据集（1998–2018）》<sup>[1]</sup>的元数据见表 1。

表 1 《黄河三角洲潮沟形态特征时空分布数据集（1998–2018）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	黄河三角洲潮沟形态特征时空分布数据集（1998–2018）
数据集短名	TidalCreekYRD_1998–2018
作者信息	牟奎南，首都师范大学资源环境与旅游学院，moukuinan@163.com 宫兆宁，首都师范大学资源环境与旅游学院，gongzhn@cnu.edu.cn 邱华昌，首都师范大学资源环境与旅游学院，qiu_huachang@163.com
地理区域	黄河三角洲入海口处河口湿地
数据年代	1998–2018
时间分辨率	年
空间分辨率	30 m
数据格式	.tif、.shp
数据量	81.4 MB（压缩为一个文件，14.8 MB）
数据集组成	1998–2018 年黄河三角洲潮沟分布数据、潮滩最大分布范围数据、潮沟密度核密度分布数据、潮沟分汉点核密度分布数据、潮沟非通道路径长度分布数据
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2017YFC0505903）；国家自然科学基金（41971381）
数据计算环境	ArcGIS、ENVI
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据集和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 <sup>[2]</sup>
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

### 3 数据研发方法

本文选取了 1998–2018 年 20 景可用的质量较好的(云量<10%)Landsat 系列卫星数据,具体包括 12 景 Landsat-5 TM 影像、8 景 Landsat-8 OLI 影像、1 景 SPOT-6 影像和 1 景 GF-1 PMS。Landsat 系列卫星数据的 Level-1 产品从美国地质调查局遥感图像数据库获得<sup>1</sup>,高分系列卫星数据从中国资源卫星中心获得<sup>2</sup>。对影像进行辐射定标、大气校正和几何校正等预处理。基于谷歌地球引擎(Google Earth Engine, GEE)平台,结合背景均一化和线状特征增强的潮沟自动提取算法<sup>[3,4]</sup>提取潮沟,在手动增补后获得完整的潮沟数据。利用潮沟快速自动分级算法对潮沟进行分级处理<sup>[4]</sup>。研究区内涨落潮频繁,叠加同一年份高低潮位暴露出的潮滩面积,获得研究区潮滩最大分布范围。

潮沟密度( $D$ )用单位面积潮滩上潮沟的总长度表示<sup>[5]</sup>。计算方法见公式(1),

$$D = \Sigma L / A \quad (1)$$

式中, $\Sigma L$ 为潮滩上潮沟的总长度, $A$ 为潮滩面积。

分汊率( $R$ )<sup>[6]</sup>通常用单位面积潮滩上潮沟的交汇点个数来表示。计算方法见公式(2),

$$R = \Sigma N / A \quad (2)$$

式中, $\Sigma N$ 为潮滩上潮沟交汇点的个数, $A$ 为潮滩面积。

将潮沟密度及潮沟分汊率进行核密度分析,以探究潮沟形态特征数据的分布状况。

非通道路径长度定义为集水区内所有点到潮沟系统的最小坡度距离<sup>[7]</sup>。本文划定集水区的方法与 Chiról 对集水区边界确定方式相结合,即向岸一侧为围垦区边界,向海一侧为潮沟末梢顶点的连线,在相邻潮沟密集的中上段,通过相邻潮盆等距确定。为了定量描述潮沟集水区的非通道路径长度,研究常使用平均归槽长度(Overmarsh Path Length, OPL)来评估其排水效率<sup>[5,8]</sup>。

### 4 数据结果及验证

#### 4.1 数据集组成

本数据集由以下几个数据组成:

- (1) 1998–2018 年黄河三角洲潮沟分布数据;
- (2) 1998–2018 年黄河三角洲潮滩最大分布范围数据;
- (3) 1998–2018 年黄河三角洲潮沟密度核密度分布数据;
- (4) 1998–2018 年黄河三角洲潮沟分汊率核密度分布数据;
- (5) 1998–2018 年黄河三角洲非通道路径长度分布数据。

#### 4.2 数据结果

基于以上公式,利用 20 景 Landsat TM/OLI 卫星影像,得到 1998–2018 年黄河三角洲潮沟形态特征分布数据集,该数据集的空间分辨率为 30 m,总大小为 81.4 MB。

图 1 展示了研究区潮沟核密度和分区域潮沟密度。研究区内潮沟密度总体呈现逐渐增

<sup>1</sup> <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

<sup>2</sup> <http://www.sasclouds.com/chinese/home>.

长的趋势，但增长趋势逐渐放缓。

I 区域在黄河改道后潮沟密度从 1998 年的  $0.92\text{ km/km}^2$  下降至 2004 年的  $0.56\text{ km/km}^2$ ，在 2008 年后潮沟密度维持在  $0.88\text{--}0.93\text{ km/km}^2$ 。II 区域潮沟密度在改道后由 1998 年的  $0.69\text{ km/km}^2$  降低到 2004 年的  $0.56\text{ km/km}^2$ ，2004 年后潮沟密度增大，由  $0.56\text{ km/km}^2$  增长至 2008 年的  $0.80\text{ km/km}^2$ ，2008–2013 年为互花米草快速扩增期，潮沟密度迅速增大，由  $0.80\text{ km/km}^2$  增长至  $1.17\text{ km/km}^2$ ，增长率为 46.25%。2013–2018 年为互花米草缓慢扩增期，潮沟密度增加至  $1.18\text{ km/km}^2$ ，增长率仅为 0.85%。III 区域潮沟密度逐年增大，从 1998 年的  $0.94\text{ km/km}^2$  增长至 2008 年的  $1.42\text{ km/km}^2$ 。在 2008 年后围垦结束后，潮沟密度处于较稳定阶段，维持在  $1.50\text{--}1.65\text{ km/km}^2$ 。

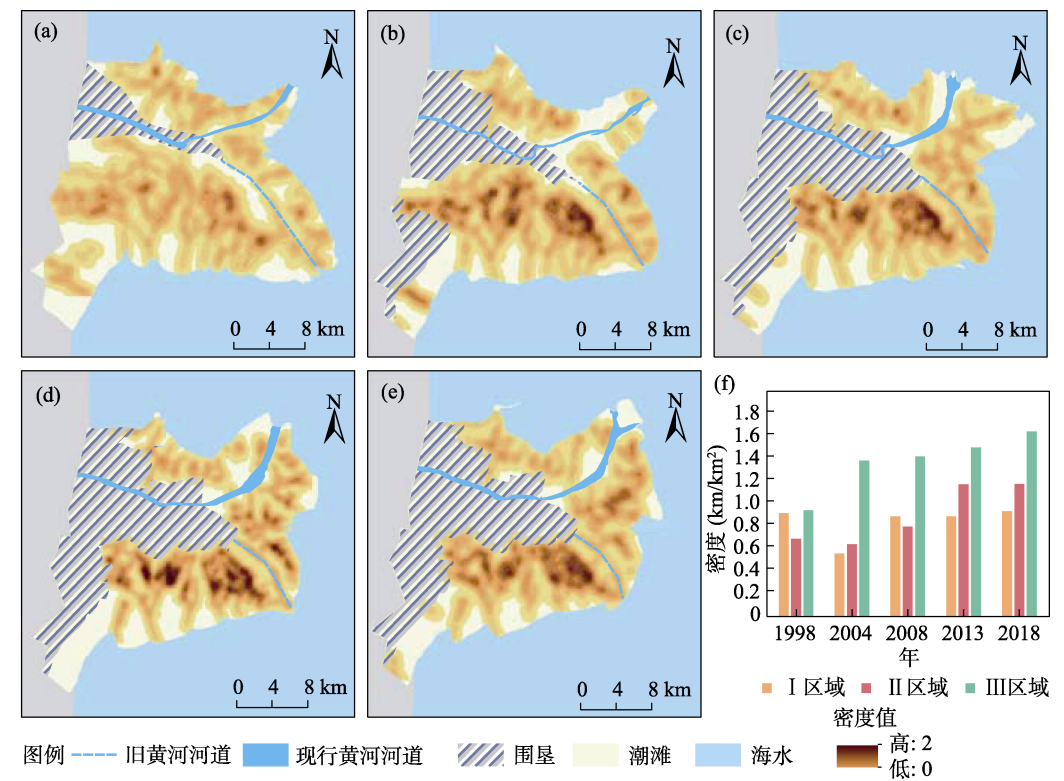


图 1 研究区潮沟核密度图: (a) 1998 年, (b) 2004 年, (c) 2008 年, (d) 2013 年, (e) 2018 年, (f) 分区域潮沟密度统计

图 2 为研究区潮沟分汊点核密度和分区域潮沟分汊率。I 区域分汊率较小且较为稳定，受黄河改道影响，潮沟分汊率由 1998 年的  $0.32\text{ 个/km}^2$  下降到 2004 年的  $0.17\text{ 个/km}^2$ ，2008 年后基本维持在  $0.3\text{ 个/km}^2$  左右。II 区域潮沟分汊率由 1998 年的  $0.15\text{ 个/km}^2$  下降到 2004 年的  $0.13\text{ 个/km}^2$ ，2004 年后随着潮沟系统的不断发育演化，潮沟分汊率逐渐增大。由于 II 区域生长了大量互花米草，在一定程度上能够促进潮沟分汊发育<sup>[9]</sup>，并且 2008–2013 年为互花米草快速扩张期，潮沟分汊率增长程度最大，由  $0.32\text{ 个/km}^2$  增长至  $0.61\text{ 个/km}^2$ ，增长率达到 90.63%。III 区域潮沟快速发育，使潮沟分汊率逐渐增大，湿地恢复使潮沟分汊率快

速增大,由1998年的0.36个/km<sup>2</sup>增长到2008年的1.09个/km<sup>2</sup>,湿地恢复后潮沟分汊率逐渐增加至较稳定状态。

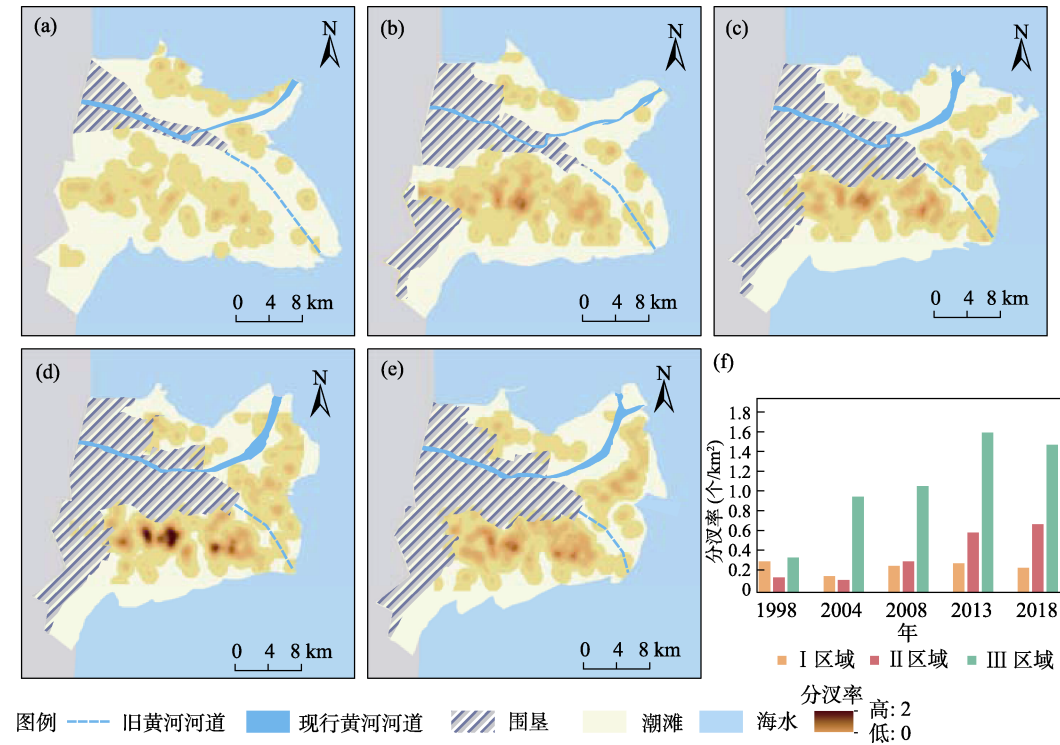


图2 研究区潮沟分汊点分布图: (a) 1998 年, (b) 2004 年, (c) 2008 年, (d) 2013 年, (e) 2018 年, (f) 分区域潮沟分汊率统计

图3所示为研究区主要潮沟平均归槽长度分布和分区域主要潮沟平均归槽长度统计结果。I区域受改道影响,潮沟大量减少,潮沟系统平均归槽长度增大,从1998年的259.9 m增加到2004年的328.4 m,排水效率降低。在调水、调沙实验后潮沟快速发育,潮沟系统平均归槽长度减小至2008年的312.1 m。在2008年后由于新进入海口的淤积作用使潮滩面积增大,潮沟系统平均归槽长度增大至347.1 m。2013年后,随着互花米草的扩张,潮沟系统平均归槽长度略有降低,减少到326.4 m。

II区域在2006年建成了侧弯丁坝,使丁坝南北两侧潮沟平均归槽长度发生较大差异<sup>[9]</sup>。

在2006年侧弯丁坝建成后,丁坝北侧潮沟系统平均归槽长度由2004年的366.3 m增大到2008年的388.1 m;但随着互花米草的快速扩增,使潮沟系统平均归槽长度不断降低,到2013年平均归槽长度达到283.9 m,随着潮沟系统的继续发育和互花米草的持续扩张,平均归槽长度在2018年时降低至251.7 m。丁坝南侧潮沟系统平均归槽长度由2004年的349.8 m降低到2008年的252.1 m,并且随着丁坝南侧潮滩受到海水的侵蚀作用,潮滩面积逐渐缩小,该区域平均归槽长度也逐渐减小,由2008年的252.1 m降低至2013年的236.7 m,最终降低至2018年的197.5 m。III区域在黄河改道后,原黄河入海口处由淤进转为侵

蚀，并且湿地恢复工程使原本距离潮沟较远的滩面被围垦，因此潮沟系统平均归槽长度不断减小，从 1998 年的 281.3 m 降低至 2018 年的 208.9 m。

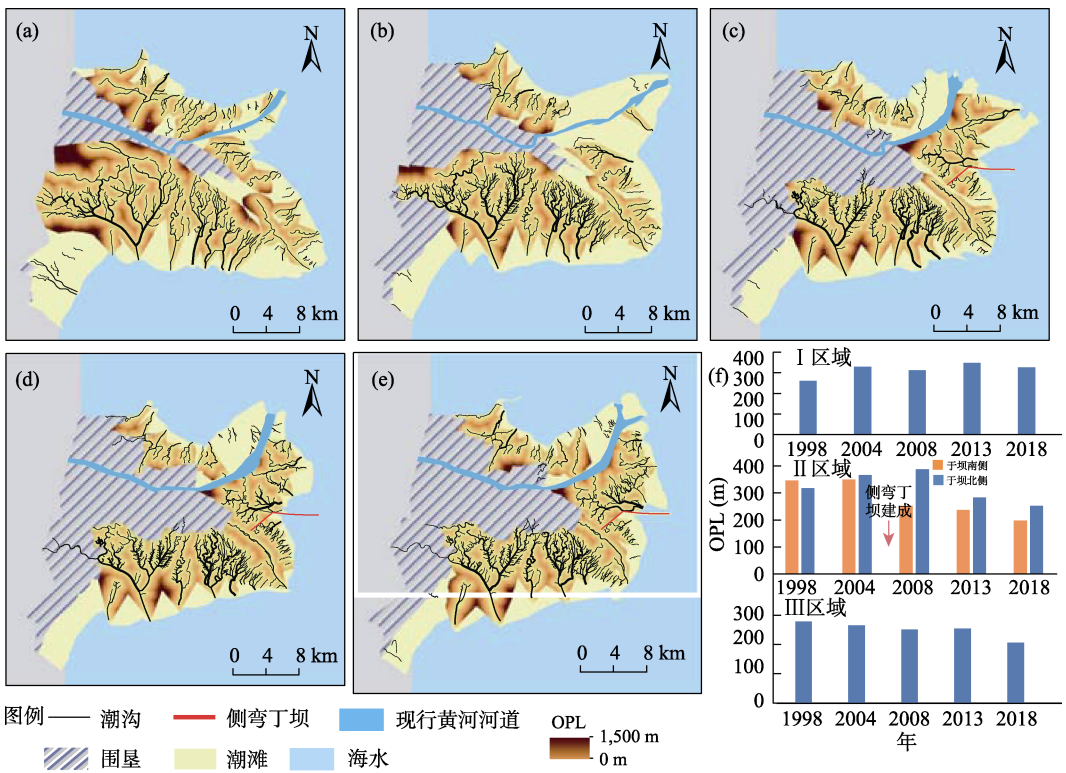


图 3 主要潮沟平均归槽长度：(a) 1998 年，(b) 2004 年，(c) 2008 年，(d) 2013 年，(e) 2018 年，  
(f) 各年份主要潮沟平均归槽长度统计图

4.3 数据结果验证

根据研究区范围随机生成 500 个随机点，并以 1998、2004、2008、2013 和 2018 年的 Google Earth 及 SPOT-6 和 GF-1 PMS 高空间分辨率卫星影像为底图对随机点所属的地物类型进行目视判读，潮沟总体提取精度达到 85%。由于 Landsat 影像分辨率较低，异质背景下潮沟网络的精准提取算法能够提取出的潮沟数量有限，因此在手动增补后获得完整的潮沟数据。在研究区内，潮沟自动分级的节点分类的正确率为 92%，错分的节点没有对潮沟分级结果产生影响，潮沟分级结果经目视检查均未发现错误，正确率为 100%。

5 讨论和总结

本研究利用 20 景 Landsat TM/ OLI 卫星影像，得到 1998–2018 年黄河三角洲长时序 30m 分辨率潮沟形态特征分布数据集。从结果上来看，在不同时期和不同异质背景环境下，潮沟的密度、分汊率、非通道路径长度等形态特征呈现明显的时空异质性。研究区内潮沟形态特征大多处于缓和的稳定状态，增长速度开始放缓。黄河改道导致平均归槽长度增大，侧弯丁坝建设使丁坝南北两侧潮沟平均归槽长度发生较大差异，互花米草的快速扩张使平



均归槽长度不断降低。通过分析近 20 年来黄河三角洲潮沟形态特征时空分布特征, 可为充分理解黄河三角洲潮沟的演变机制以及黄河三角洲的管理提供科学依据, 为黄河流域生态保护和高质量发展的国家重大需求提供数据支持。

**作者分工:** 宫兆宁对数据集的开发做了总体设计并最后审定并对论文撰写提出了修改意见; 邱华昌参与采集数据; 牟奎南完成了数据处理并撰写了数据论文等。

**利益冲突声明:** 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

## 参考文献

- [1] 牟奎南, 宫兆宁, 邱华昌. 黄河三角洲潮沟形态特征时空分布数据集 (1998–2018) [J]. 全球变化数据学报[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.01.09.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.01.09.V1>.
- [2] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [3] 王启为, 宫兆宁, 关鸿亮等. 异质背景下黄河三角洲潮沟的遥感提取方法[J]. 应用生态学报, 2019, 30(9): 3097–3107.
- [4] Gong, Z. N., Wang, Q. W., Guan, H. L., *et al.* Extracting tidal creek features in a heterogeneous background using Sentinel-2 imagery: a case study in the Yellow River Delta, China [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2020, 41(10): 3653–3676.
- [5] Marani, M., Belluco, E., D’Alpaos, A., *et al.* On the drainage density of tidal networks [J]. *Water Resources Research*, 2003, 39(2): 1040.
- [6] Horton, R. E., Htrata, T. Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology [J]. *Journal of the Japanese Forest Society*, 1955, 37(6): 257–262.
- [7] Lohani, B., Mason, D. C., Scott, T. R., *et al.* Extraction of tidal channel networks from aerial photographs alone and combined with laser altimetry [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(1): 5–25.
- [8] Chiról, C., Haigh, I. D., Pontee, N., *et al.* Parametrizing tidal creek morphology in mature saltmarshes using semi-automated extraction from lidar [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 209: 291–311.
- [9] 牟奎南, 宫兆宁, 邱华昌. 黄河三角洲潮沟网络形态特征的时空分异规律及其发育过程[J]. 地理学报, 2021, 76(9): 2312–2328.