

基于测绘学角度探讨海岸线及其测定方法

刘焱雄^{1,2}, 陈义兰^{1,2*}, 杨龙^{1,2}, 高珊^{1,2}

(1. 自然资源部第一海洋研究所, 山东青岛 266061;
2. 自然资源部海洋测绘重点实验室, 山东青岛 266590)

摘要: 海岸线是陆海统筹基础地理信息的关键要素, 其科学精准的确定对海岸带管理具有重要的意义。本文系统梳理了目前我国海岸线定义、分类以及测定方法, 对比分析了传统痕迹海岸线测量和基于潮汐模型的海岸线测定的结果, 并进一步讨论了我国海岸线定义、分类及界定存在的分歧和问题。基于我国海岸线测量存在的问题以及在理论和实践上的进步, 建议海岸线定义为多年大潮平均高潮面与海岸交接形成的海陆分界线, 建议基于测绘学的海岸线测定采用联合潮汐模型和 DEM 的确定方法。本文认为基于测绘学的海岸线定义和测定方法, 能为我国提供基准统一、精确客观的海岸线。

关键词: 测绘学; 海岸线; 平均大潮高潮线; 潮汐模型

中图分类号: P711

文献标志码: A

文章编号: 1671-6647(2024)03-0425-12

doi: 10.12362/j.issn.1671-6647.20240102001

引用格式: 刘焱雄, 陈义兰, 杨龙, 等, 2024. 基于测绘学角度探讨海岸线及其测定方法[J]. 海洋科学进展, 42(3): 425-436. LIU Y X, CHEN Y L, YANG L, et al, 2024. Discussion on the determination of the coastline based on surveying and mapping[J]. Advances in Marine Science, 42(3): 425-436.

海岸线既是陆海分界线也是陆海连接的纽带, 有着特殊的地理特征和丰富的自然资源。海岸线的类型、位置、走向和形态变化是海岸带自然环境过程、人类活动综合作用的结果与反映, 不仅体现海岸带环境特征及演变态势, 也反映海岸带经济社会发展、生态环境变化与政策导向之间的博弈关系(毋亭等, 2016)。因此, 海岸线的分类和确定对海岸带管理、生态保护、海洋过程研究有着重要的意义。近几十年来, 我国海岸带地区经济快速发展, 但在自然环境和人类剧烈活动的双重作用下, 海岸带区域也出现了生态退化、环境恶化、资源衰退等问题(张云等, 2019), 保护和开发的矛盾日益凸显。为了解决矛盾, 应对海岸线保护和管理的严峻形势, 国家和地方制定了海岸线保护和利用管理的办法, 对海岸线的分类和测定方法给出了规定。但是在具体的海岸线测定实施中, 依据现有的规范, 测量者对海岸线定义、分类及界定的理解产生分歧, 导致测定的海岸线位置存在不确定性。这种不确定为海岸线的管理带来困扰, 不能很好地解决在管理实践中存在的陆海分界不清、实际用途与规划不符、职能交叉以及利益主体错综复杂等问题(王厚军等, 2021)。所以, 有必要在现有基础上进一步理顺我国海岸线定义和科学确定, 为解决海岸线保护和开发的矛盾提供基础支撑。

海岸线的位置和类型是我国陆海统筹基础地理信息的必要部分, 它应是科学唯一的, 且具有权威性。海岸线位置测定是测绘专业范畴, 需要从国家和专业层面确定统一的海岸线测定技术, 从而

收稿日期: 2024-01-02 网络首发日期: 2024-05-20

资助项目: 国家自然科学基金项目(42104035); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(2023Q05)

作者简介: 刘焱雄(1968—), 男, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事海洋测绘方面研究. E-mail: yxliu@fio.org.cn

*通信作者: 陈义兰(1974—), 女, 正高级工程师, 硕士, 硕士生导师, 主要从事海洋测绘方面研究.

E-mail: chenylan@fio.org.cn

(陈靖 编辑)

实现海岸线位置科学精准的确定。本文从测绘学专业角度出发,在分析和讨论目前海岸线定义、分类和确定方法的基础上,提出了科学海岸线及其测定方法,为海岸线定义、测定和管理提供解决思路,为确定全国统一空间基准的海岸线提供技术参考。

1 海岸线定义与分类

1.1 海岸线定义

长期以来,我国围绕海岸线有多种不同的定义和描述。1959年的海道测量规范规定海岸线系多年大潮高潮时形成的实际痕迹线,1990年赵明才等认为该规范定义的“多年大潮高潮”缺少严密性,提出了以“平均大潮高潮痕迹线”作为海岸线的定义(赵明才等,1990)。《海道测量规范》中定义海岸线为“多年大潮平均高潮位时海陆分界痕迹线”(中国人民解放军海军参谋部,2022a),《中国海图图式》中规定海岸线为“平均大潮高潮时水陆分界的痕迹线”(中国人民解放军海军参谋部,2022b),《国家基本比例尺地图图式》中规定海岸线为“海面平均大潮高潮时的水陆分界线”(全国地理信息标准化技术委员会(SAC/TC 230),2017)。这些国家标准中对海岸线的定义从理论上确定了海岸线主要由潮汐决定,是多年大潮平均高潮面(Mean High Water Springs, MHWS)与陆地的交界线,但是大部分标准和研究以痕迹线代替这个交界线。

1.2 海岸线分类

我国对海岸线的分类一般根据海岸线所在潮间带的底质特征与海岸线空间形态来进行,但因目的和需求不同,并没有形成完全统一的分类体系。我国近海海洋综合调查与评价专项办公室2007年出版的《海岸线修测技术规程(试行版)》将海岸线分为自然岸线、人工岸线和河口岸线(国家海洋局908专项办公室,2007)。随着海岸线保护和管理需求的增加,2017年原国家海洋局出台了《海岸线保护与利用管理办法》及《海岸线调查统计技术规程(试行)》,将海岸线分为自然岸线和人工岸线,其中自然岸线包括砂质岸线、淤泥质岸线、基岩岸线、河口岸线和具有自然海岸形态特征和生态功能的岸线(王厚军等,2021)。2018年,浙江省根据管理实践出台了地方标准《海岸线调查统计技术规范》(浙江省海洋资源环境标准化技术委员会,2018),将海岸线分为自然岸线、人工岸线和河口岸线。其中,自然岸线包括基岩岸线、砂砾质岸线、淤泥质岸线和红土岸线等类型,人工岸线包括海堤、防潮闸、码头、船坞、道路等人工构筑物组成的岸线。2019年自然资源部印发了《全国海岸线修测技术规程》^①,将海岸线分为自然岸线、人工岸线和其他岸线,并规定了不同岸线的界定方法(表1)。2019年山东省在《全国海岸线修测技术规程》的基础上依据本省管理情况发布地方标准《海岸线调查技术规范》(山东省海洋标准化技术委员会,2019),将海岸线分为自然岸线、人工岸线和其他岸线。其中,自然岸线包括基岩岸线、砂(砾)质岸线和粉砂淤泥质岸线;其他岸线包括河口岸线、具有自然岸滩形态和生态功能的海岸线。以上海岸线分类的不同点主要集中在河口岸线和生态修复岸线的分类归属,有的把这两种岸线归为其他岸线类,有的将其归为自然岸线类。《海岸线保护与利用管理办法》规定了海岸线的分类保护和自然岸线的保有率控制制度,要执行这个规定,海岸线必须要有一个清晰的分类原则。所以,从管理层面,海岸线的科学清晰分类是很有必要的。目前山东省和浙江省发布了地方标准,对本省的海岸线调查和分类给出了分类原则,其他省基本则遵循《全国海岸线修测技术规程》的分类原则。海岸线分类原则兼顾了岸线的自然属性和管理需求,但是无论归属哪一类,在测绘学上都不应影响海岸线位置的确定。

^①自然资源部,2019.全国海岸线修测技术规程(自然资办函〔2019〕1187号).

表1 《全国海岸线修测技术规程》规定的海岸线分类体系和界定方法

Table 1 The classification system and definition method of coastline specified in *National Technical Regulations for Coastal Line Surveying*

一级类	二级类	界定方法
自然岸线	基岩岸线	在多年平均大潮高潮位时海陆分界的痕迹线或者陡崖的基部。
	砂质岸线	砂质岸线一般比较平直, 海滩上部常常堆成一条与岸平行的脊状砂质沉积, 称滩脊, 海岸线一般界定在滩脊顶部向海一侧。
	泥质岸线	根据多年大潮平均高潮位时海陆分界的痕迹线, 以及海岸植被、植物碎屑、贝壳碎片等分布的痕迹线综合分析界定。
	生物岸线	红树林岸线和海草床岸线界定方法参照砂质岸线或泥质岸线, 珊瑚礁岸线界定方法参照砂质岸线或基岩岸线。
人工岸线	填海造地	填海造地工程外边界围堤采用直立式或斜坡式结构的, 海岸线原则上应界定在多年平均大潮高潮位时海陆分界痕迹线处, 为便于实测和后续管理, 也可界定在堤顶外边缘线处。
	围海 构筑物	原则上以围海养殖与盐田区靠陆一侧的外边缘线进行界定。 对于顺岸布局的透水构筑物, 向陆一侧存在平均大潮高潮时海水能达到水域, 海岸线界定在平均大潮高潮位时海陆分界的痕迹线处; 对于采用透水方式构筑物, 海岸线界定在构筑物与陆域连接处。
其他岸线	河口岸线	按照以下顺序进行界定: 以已明确的河口海陆分界线作为河口岸线; 以河口区域的历史习惯线或者管理线作为河口岸线; 以河口区域最靠近海的第一条拦潮闸(坝)或第一座桥梁外边界线作为河口岸线; 以河口突然展宽处的突出点连线作为河口岸线。
	生态恢复岸线	生态恢复岸线的位置原则上按照整治修复工程后形成的岸线位置进行界定。

2 基于测绘学的海岸线测定

2.1 传统痕迹岸线测定技术

《海道测量规范》(中国人民解放军海军参谋部, 2022a)中规定海岸线“以平均大潮高潮时所形成的实际痕迹进行测绘”, 即以测量的痕迹线来代替海岸线。痕迹岸线测定分为2个步骤: ①痕迹线的识别和界定。经过几十年的积累, 各类海岸线的痕迹线的界定在已有的规程中给出了具体的界定方法(表1)。②根据判定的位置进行实地测量。痕迹线大概位置判定以后, 测绘人员根据判定的位置采用实地测量方法沿着痕迹线按一定距离或取特征点逐点测量, 将点连成的线就是痕迹岸线。这种测量人工成本高、周期长、实施困难且具有一定的危险性, 不能满足海岸线快速更新的要求。随着遥感技术的不断发展, 遥感测量的快速性弥补了实地测量在效率方面的不足, 因此, 许多学者研究了利用遥感影像提取海岸线的方法, 通过在影像上识别痕迹线来替代人工实地测量(孙伟富等, 2011; 麻德明等, 2020; 张翔等, 2021)。但是, 大量的研究表明, 对遥感影像进行痕迹线判读时依然受主观因素影响较大, 有些痕迹线模糊的区域无法从遥感影像上识别出来, 导致提取的海岸线没有明确精度指标, 其误差不能满足测绘规范的要求(于彩霞等, 2015)。因此, 遥感影像方法目前主要应用于痕迹明显的岸线长周期监测研究。

2.2 基于潮汐模型和DEM的海岸线测定技术

从海岸线定义来看, 确定海岸线就是确定多年平均大潮高潮面的位置。基于潮汐模型和DEM的海岸线测定技术采用构建的潮汐模型确定平均大潮高潮面的准确位置, 从而确定海岸线的唯一位

置。采用此方法提取海岸线，首先采用卫星测高和验潮站数据建立海岸带区域精密潮汐模型，计算平均大潮高潮面，并结合海面地形模型确定平均大潮高潮面和 1985 国家高程基准的关系；然后建立该区域基于 1985 国家高程基准的数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)；最后从 DEM 中提取 MHWS 的高程值的点位并连接成连续的线就是海岸线。简言之，就是联合潮汐模型和 DEM 的方法确定海岸线，具体流程见图 1。平均大潮高潮面的位置提取精度和潮汐模型、DEM 的精度有关，因此，要测定高精度海岸线位置，需得到高精度的平均大潮高潮面的高程值和海岸带区域的 DEM，这涉及沿海精密潮汐模型、垂直基准转换模型和 DEM 的构建技术。

国内外基于潮汐模型和 DEM 获取海岸线的技术在不断地发展中形成了成熟的方案和实践经验。国际上，美国早在 20 世纪就已经采用 DEM 结合潮汐模型获取海岸线，尤其是采用先进的 LiDAR (Light Detection and Ranging) 技术建立 DEM 结合潮汐模型获取海岸线 (Woolard et al, 2003; Robertson et al, 2004)。美国地质调查局在 2005 年成功实践了采用 LiDAR 技术进行地形测量并提取数字海岸线数据的方法 (Harris et al, 2005)。目前，美国普遍采用结合 LiDAR 和垂直基准转换软件 VDatum 的方法进行海岸线提取 (Sukcharoenpong, 2010)。国内对这种技术的应用也随着国际同步开展，并对涉及的潮汐计算和基准转换关键技术进行了深入研究。针对我国的潮汐特点，暴景阳等 (2013)、于彩霞 (2015)、黄辰虎等 (2016) 和 Huang 等 (2019) 开展了平均大潮高潮面的计算。暴景阳等 (2013) 研究了平均大潮高潮面的计算方法并进行了算法比较，于彩霞 (2015) 针对平均大潮高潮面概念只存在于半日潮类型海域的问题，扩展包含日潮类型的回归大潮，完善了“平均大潮高潮面”概念和算法。诸多学者对垂直基准转换模型关键技术进行了研究，取得了重要的成果并应用于工程实践 (赵建虎等, 2015; 暴景阳等, 2016; 董江等, 2019; 丁仕军等, 2019; 江海建等, 2019; 陈远鸿等, 2022; 柯灏等, 2022)。在理论研究和实践基础上，山东、浙江、广东、广西等沿海省区建立了沿海精密潮汐模型和垂直基准转换模型，为海岸线的精确测定提供了高精度基础模型。同时，DEM 结合潮汐模型提取海岸线的探索和实践工作也取得了较好的成果 (申家双, 2011; 冯磊等, 2021; 宫元, 2022)。申家双 (2011) 研究了精密潮汐模型、垂直基准转换方法，建立了海岸带陆海 DEM，并据此提取海岸线，给出的精度分析结果表明提取的海岸线和人工岸线重合度较好。近十几年来，LiDAR 技术以其低成本、高效率、高精度的优势成为我国海岸带测绘的主要技术，国内已逐步将 LiDAR 技术结合潮汐模型应用于海岸线测定 (倪绍起等, 2013; 于彩霞, 2015; 姜怀刚, 2020)，获取了高精度的海岸线，为我国海岸线测量模式的转型升级提供了先进的技术方法。而且 LiDAR 获取的数据还可以对海岸线附近的物进行分类，从而有助于海岸线类型的确定。

2.3 两种方法典型岸线比较

目前，海岸线的测定方法主要采用以上两种方法，但两种方法测定的岸线位置会有所不同。从理论上讲，基于潮汐模型的海岸线测定方法是客观的，测定的岸线位置是确定的；实地测量的痕迹岸线位置随着海岸线类型、岸线走向、地貌特征以及判定依据的不同存在差异 (党亚民等, 2012)，利用卫星遥感方法获得痕迹岸线也受局部地形、气象引起的水位变化以及判定依据不同的影响，位置存在较大的不确定性，所以二者测定的海岸线位置的差异不确定，会因海岸线类型、岸滩地形等

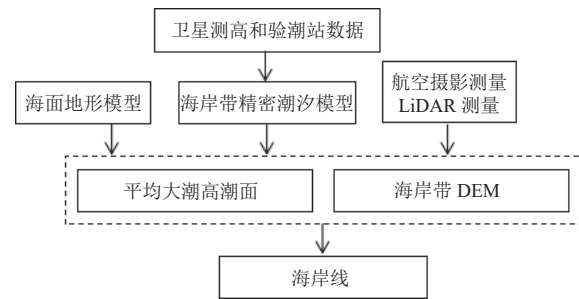


图 1 基于潮汐模型和 DEM 的海岸线测定流程
Fig. 1 Flow chart of coastline extraction based on the tidal model and DEM

呈现不同的位置差异。按照 2.2 节的技术方法利用研究区(山东和广西部分区域)数据建立沿海潮汐模型, 结合 1:10 000 比例尺 DEM 提取了研究区的平均大潮高潮线。于 2019 年和 2020 年分别在山东和广西两地按照不同岸线类型测量了 210 段典型岸段的痕迹岸线, 将其和平均大潮高潮线进行了位置比对, 比对偏移结果见表 2。

表 2 210 段典型岸段实测痕迹岸线和平均大潮高潮线位置比对

Table 2 Comparison of measured shoreline and average high tide line positions

岸线类型	偏移值/m	
	平均值	标准方差
基岩岸线	4.42	3.45
砂质岸线	7.18	6.76
泥质岸线	6.19	5.58
生物岸线	2.35	1.27
人工岸线	3.85	3.89

以下针对 5 种典型海岸线类型, 分析了两种方法在测定岸线位置时的差异。通过比较这两种方法的精度、效率及适用性, 旨在为海岸线精准测定与管理提供科学依据, 促进海洋资源的合理利用与环境保护。

1) 基岩岸线

图 2 为基岩岸线的比较, 研究区位于山东。红色线为采用 DEM 和潮汐模型确定的平均大潮高潮线, 绿色点为多年平均大潮高潮面在基岩海岸形成的痕迹岸线实测点。基岩岸线一般分为直立陡崖和坡度较缓的基岩岸滩。岩石表面受到波浪的反复冲击及海水浸泡, 颜色存在差异, 人工测量根据这种色差识别界定痕迹岸线。图 2 的岸滩为既有陡崖也有相对较缓的坡度的基岩岸滩, 可以看出, 痕迹岸线高于平均大潮高潮线, 不同位置的痕迹点和平均大潮高潮线的平面位置相差不同, 最大的位置差 9 m, 这种不同和痕迹的主观识别有关。实施基岩岸线的痕迹线测量危险性较大, 且一般很难到达, 实测困难, 效率较低, 而采用基于平均大潮高潮线的方法不会存在这些问题, 且更客观。

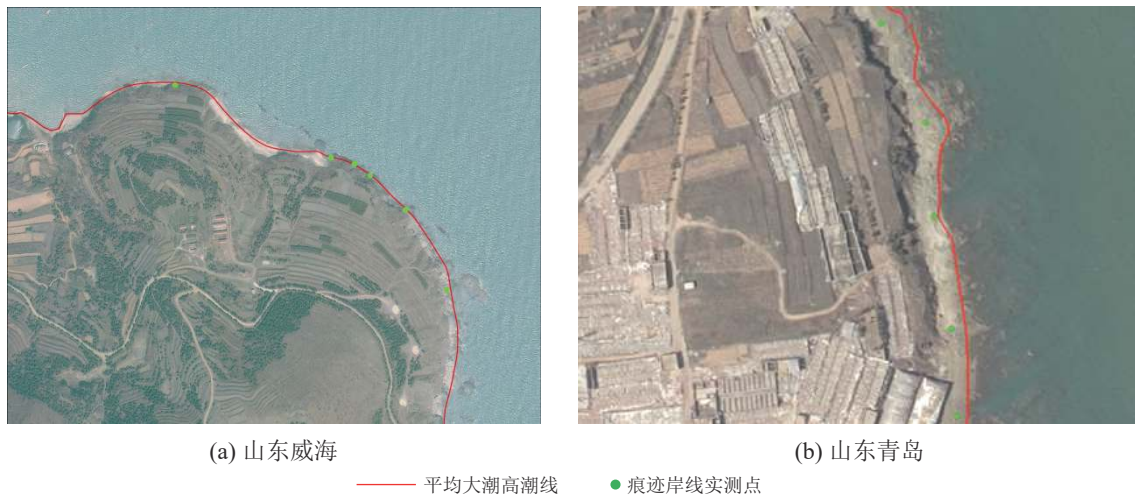


图 2 基岩岸线比较

Fig. 2 Comparison of bedrock shorelines

2) 砂质岸线

图 3 为砂质岸线的位置比较, 图 3a 研究区位于山东, 图 3b 研究区位于广西。砂质岸线一般比较平直, 海滩上部常常堆成一条与岸平行的脊状砂质沉积, 称滩脊。痕迹海岸线一般界定在滩脊顶

部向海一侧，滩脊顶部没有明确的痕迹线，不同的人判定的位置不一样，属于比较难确定的岸线。由图3可知，砂质岸线的痕迹岸线高于平均大潮高潮线，而且不同位置的平面位置差距也不同，二者位置最大相差14 m。在小范围内平均大潮高潮线的高程是相等的，而实测的痕迹点高程不尽相同，主要是由人工识别的主观性导致。

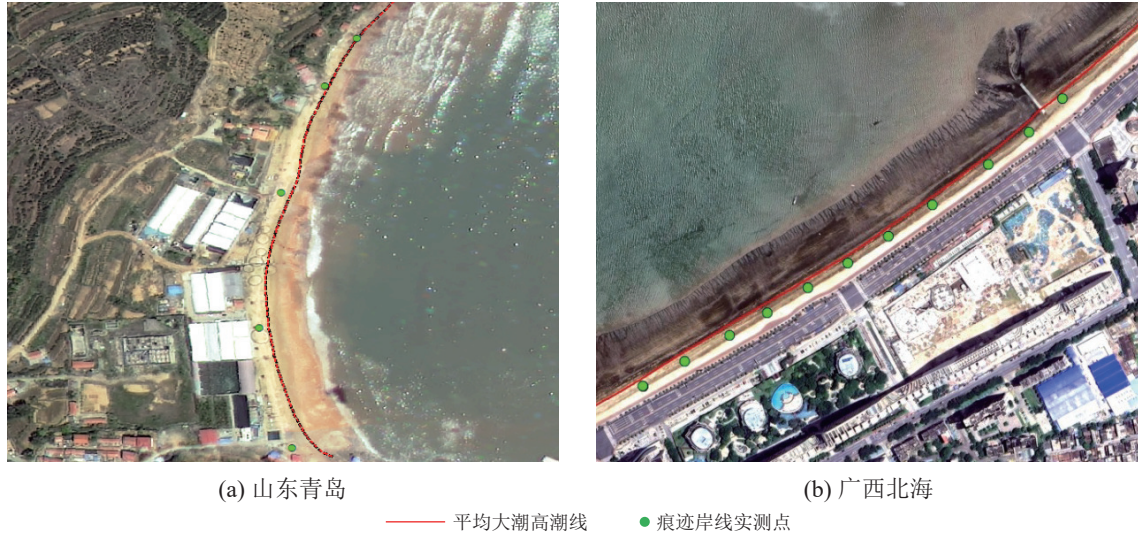


图3 砂质岸线比较

Fig. 3 Comparison of sandy shorelines

3) 泥质岸线

图4为泥质岸线的比较，图4a研究区位于山东，图4b研究区位于广西。泥质海岸是由潮汐作用塑造的低平海岸，潮间带宽而平缓，滩面宽度可达数千米甚至更宽。以海岸植被、植物碎屑、贝壳碎片等分布的痕迹线来综合界定海岸线，痕迹线零散且一般不是太明显，受主观影响较大，也属于比较难界定的海岸线类型。而基于平均大潮高潮线确定的海岸线和DEM精度相关，由于泥质海岸坡度平缓，即使0.1 m的高程误差也会导致岸线的平面位置误差较大，图4中二者位置最大相差5 m。所以在泥质海岸，采用平均大潮高潮线确定海岸线，DEM精确测定尤为重要。

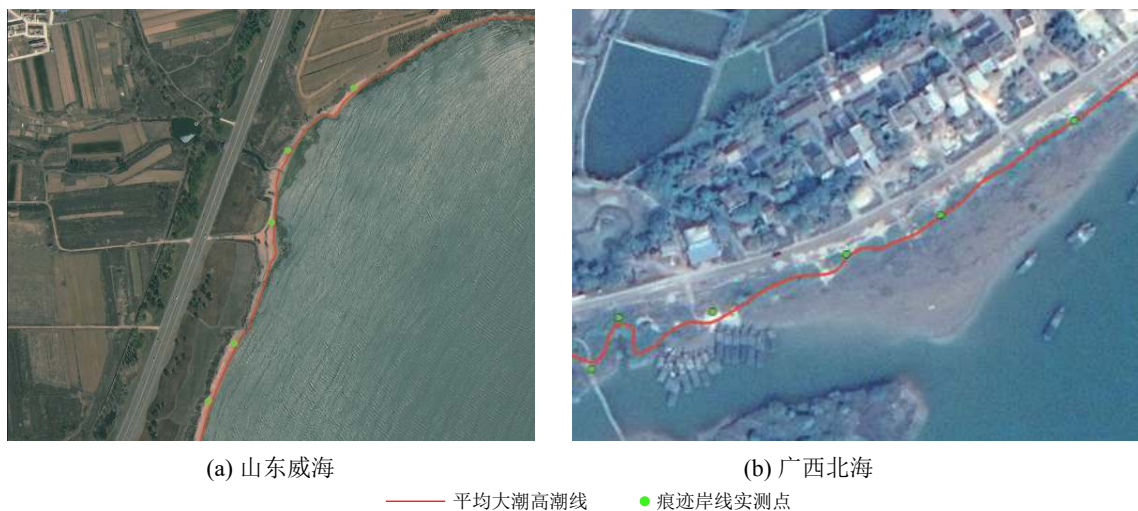


图4 泥质岸线比较

Fig. 4 Comparison of muddy shorelines

4) 生物岸线

图 5 为我国珍贵的生物岸线——红树林岸线的比较, 研究区位于广西。红树林生长在潮滩上或者海岸沼泽区, 能被平均大潮高潮淹没, 其内边界即为高潮线位置, 红树林岸线界定一般在红树林内边界上。图 5 的绿色点位为沿着红树林内边界测量的点位, 红色线为依据 DEM 提取的平均大潮高潮线, 二者大部分位置都能一致, 说明两种方法界定的红树林岸线位置比较一致。

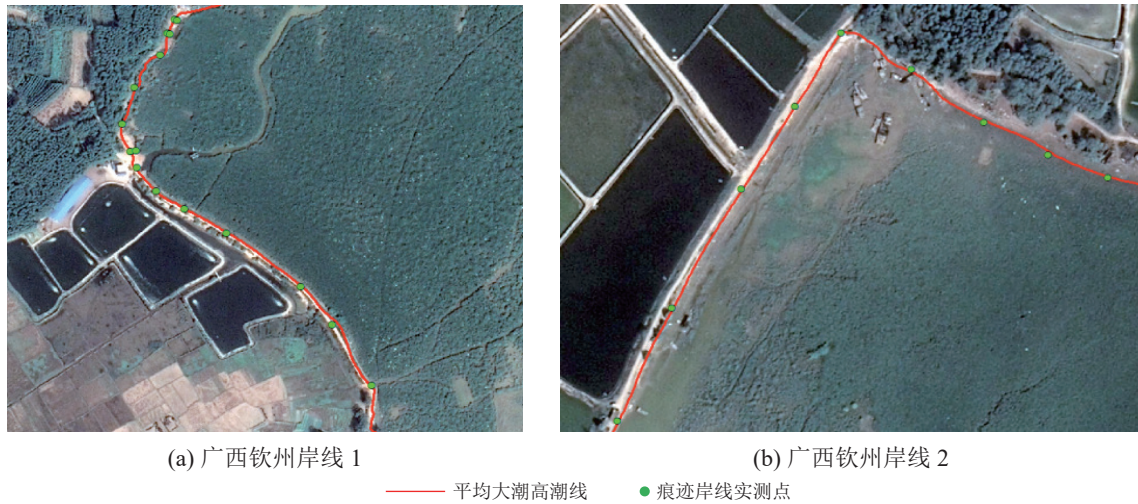


图 5 生物岸线比较

Fig. 5 Comparison of biological shorelines

5) 人工岸线

图 6 为人工岸线(海堤)的岸线比较, 图 6a 研究区位于山东, 图 6b 研究区位于广西。可以看出, 对于人工构筑物岸线, 尤其是坡度较陡和直立式的防波堤和码头, 两种测量方法获取的岸线在图上平面位置基本一致。即使二者测量的高程出现不一致, 因为受陡坡的影响, 平面位置也较为一致。但是在缓坡人工段, 由于实测点位还是位于海堤顶部, 造成实测和平均大潮高潮线位置差距较大。



图 6 人工岸线比较

Fig. 6 Comparison of artificial shorelines

针对上述不同岸线类型测量结果与图像对比分析可知,对于自然岸线,由于受到上冲流影响,痕迹岸线位置通常位于平均大潮高潮线之上。采用两种方法获取的砂质岸线和泥质岸线位置相差较大且具有不确定性,主要原因有两个:一是砂质岸线和泥质岸线的痕迹不易判断,受人工识别主观影响较大;二是砂质和泥质潮滩的地形平缓,DEM的高程误差会导致提取的平均大潮高潮线平面位置误差较大。基岩岸线也有偏差,主要原因是部分痕迹线位置无法到达测量。相比之下,红树林生物岸线位置偏差相对较小。对于人工岸线,特别是陡峭防波堤和码头,实测位置与基于潮汐模型计算的平均大潮高潮线平面位置基本一致。

实际测量中,砂质岸线和泥质岸线的痕迹线界定由于主观判断差异而存在较大争议。基岩岸线也因其主观判定和测量位置不可到达而存在位置的争议。红树林岸线和陡峭人工岸线的位置争议相对较小,因为这两种岸线的痕迹岸线确定性强,两种测量方法确定的岸线平面位置也较一致,从而验证了基于潮汐模型的岸线测定方法的准确性。

河口岸线也是重要的岸线类型,鉴于其自然变迁、历史背景及管理复杂性,我国河口岸线的现行确定原则主要基于河口形态或管理需求(表1),而非海岸线定义。因此,河口岸线的确定既不能采用痕迹岸线,也不能采用潮汐模型。本文建议河口岸线的划定仍按照现有规范的规定执行,以确保其科学性和合理性。

3 讨论

3.1 海岸线定义的讨论

“海岸线是多年大潮平均高潮位时海陆分界痕迹线”这个定义强调了海岸线是痕迹线。这种描述性定义给出了海岸线识别和确定的方法,即根据潮汐在海岸地区造成的痕迹来确定海岸线的位置。将海岸线定义为痕迹线就必须采用这个痕迹线作为岸线,但是在实践中,很多痕迹线并不明显、连续、唯一,有一定的宽度,难以辨认(于彩霞,2015),受主观判断影响较大,导致痕迹岸线位置容易因人为因素发生变化,造成海岸线位置识别的不确定。所以把海岸线定义为痕迹线会导致地图上的海岸线不唯一,甚至无法确定,给海岸线的管理和利用带来不便。

从测绘学科角度来看,地形要素的几何和物理意义的表达必须准确、唯一。因此,有学者提出,在测绘学中不宜将痕迹岸线作为海岸线(党亚民等,2012)。例如,在以测绘地理信息为主要内容的《国家基本比例尺地图图式》标准中,海岸线的定义并未涉及痕迹线。海岸线的定义应既能体现科学性,又能为实际位置的确定提供理论依据。

科学海岸线定义应具有以下特点:①海岸线理论定义明确且一致;②要有科学的测定方法,能体现并实现海岸线的定义;③根据定义确定的海岸线位置具备准确性和唯一性,不应因测量人员和测量技术的差异而发生明显变化。我国将“平均大潮高潮线”作为海陆分界线已基本达成共识,但是针对具体定义,有两点值得商榷:①关于“时”的问题,于彩霞等(2015)认为,平均大潮高潮不应涉及某一时刻的问题,在定义中不能采用“时”。海岸线的定义来源于潮汐,潮汐本身存在时空变化,所以海岸线本身存在“时”的概念。但目前的定义中的“时”代表的是“时刻”,表达的是瞬时,而海岸线的定义中“平均”代表这个岸线是长时间尺度的,和平均低潮面、平均高潮面等潮汐面类似,是以历年来描述的,而不是“时刻”。定义中加上“多年”的限定是为了表达海岸线形成过程的长期性,我们认为“多年”和“平均”的说法已经表达了海岸线的定义中“时”的概念,不应再加上“时”。②关于痕迹线的问题,痕迹线虽然接近于多年大潮平均高潮线,但是它只代表潮汐在海岸地区造成的痕迹,是实地判定的依据,理论上不能体现海岸线的真正内涵,测绘学上不能作为唯一严格的界定规则,故不能代表多年平均大潮高潮线。

综上所述,从潮汐理论和测绘学出发,本文建议将海岸线定义为多年平均大潮高潮面与海岸交接形成的海陆分界线,即多年平均大潮高潮线。

3.2 海岸线测定技术讨论

传统的痕迹岸线作为我国长期以来确定海岸线的依据,对海岸线监测和管理起了重要的作用,对痕迹岸线的测绘也有很成熟的应用。痕迹岸线的测定是先判别界定再测量,其关键在痕迹的判别上。从表1可知,痕迹岸线的界定方法涉及多类学科,比较复杂。有的依据痕迹线的自然形态,例如基岩岸线;有的结合岸线形态和潮滩底质类型综合判定,如砂质和泥质岸线;有的依据管理需求,例如围海;有的给出了模糊的双重标准,例如填海造地的界定。痕迹岸线的判定尤其是对自然岸线的判定需要现场测量者有相应的地学、生态学知识,以及对管理需求的理解和判定经验,这个特点导致不同的判定者给出的岸线位置不一样。痕迹岸线测量虽然采用的是测绘技术手段,但是其界定和识别的复杂导致岸线最终的位置确定不唯一,且无法准确评定其精度,在地图接边时,海岸线往往不能准确接边,无法满足测绘专业性要求。所以,依据痕迹测量的岸线显而易见的主观性和不唯一性在基础地理信息表达层面存在缺陷,从理论和测绘学层面来说无法直接满足基础地图测绘对地形要素的要求,也对海岸线的管理造成困扰。

基于潮汐模型和DEM的海岸线测定方法是基于潮汐理论和DEM构建理论,有明确的理论方法和模型,精度可评估,并在实践中证明了该方法的准确性,不论是理论还是实践都发展得较为成熟。该方法确定的海岸线在基准上是统一的,在位置上是唯一的,在精度上是确定的,准确地体现了海岸线的理论定义。其测定的岸线是客观的海岸线,能体现海岸线自然特征和科学内涵,可为海岸线变迁分析和管理提供客观真实的数据,是目前国际上实施国家统一海岸线测绘的主要方法。该方法测定的海岸线精度受潮汐模型和DEM精度的影响较大,我国海域潮汐性质复杂,海岸带区域地形各异,岸线类型丰富,要采用该方法测定高精度的海岸线,需要对潮汐模型和DEM构建的技术方法和精度给出详细的规定。

从实际比对结果来看,痕迹线无法完全替代平均大潮高潮线,二者在不同岸线类型的位置差异不定。无论从理论方法还是实际比对结果,基于精密潮汐模型和DEM确定的海岸线都是科学的结果,效率高,更新迅速,尤其对自然岸线的测定更有优势。以往将痕迹岸线作为海岸线是受制于过去的技术水平,随着我国沿海精密潮汐模型、垂直基准转换模型和高精度DEM建立技术的成熟,我们建议基于测绘学的表达基础地理信息要素的海岸线确定主要采用联合潮汐模型和DEM的海岸线位置测定方法,并采用现场实地判定或者遥感手段来判定海岸线类型。

鉴于目前测定海岸线的技术标准只包含了痕迹岸线的测量,建议尽快制定测绘行业的海岸线测量规范。将基于潮汐模型联合DEM测量海岸线的方法纳入规范,对基于测绘学的海岸线位置测定方法进行规范和统一。例如,对潮汐模型结合DEM建立的方法、精度、适用性以及更新频率进行规定,并给出不同岸线类型测量方法的适用性,从而实现我国海岸线测量模式的逐步转型升级,为获取统一的全国海岸线提供技术支撑。

尽管理论上不建议将痕迹岸线作为国家基础地图上的海岸线,但是在具体测量实践中,某些岸线的痕迹线确定性强,例如特定的人工岸线,生物岸线等,和潮汐模型测定的岸线较一致,能准确测定海岸线的位置,这类痕迹岸线可以和潮汐模型确定岸线的方法互为补充,但是需要在规范中对两种方法的适用范围以及精度给出具体要求。另外,痕迹岸线可以为海岸线性质的确定提供参考,也可以用于海岸线长时间序列的遥感监测研究,或者为某些特定管理需求提供支撑,所以这两种测定岸线的方法根据需求可以并存。

4 结 语

本文在详细分析现有海岸线定义、类型和测定方法的基础上,考虑我国海岸线测量技术在理论和实践上的进步,从测绘学对地理信息要素的几何和物理意义的科学表达需求出发,建议海岸线定义为多年平均大潮高潮面与海岸交接形成的海陆分界线。从测绘专业对地理信息要素的客观性及精确性需求出发,建议海岸线的测定主要采用基于潮汐模型和DEM的确定方法。该方法具备理论基础,且能在实践中真实、准确地实现海岸线的理论定义。基于测绘学的海岸线定义和测定方法,既能体现海岸线理论涵义,实现海岸线作为基础地理信息要素的准确性和唯一性,又兼顾海岸线的自然属性和管理需求,可以为海岸线管理提供基础地理信息特征,从而为我国海岸线保护和利用提供支撑。

参考文献 (References):

- 暴景阳, 许军, 关海波, 2013. 平均大潮高潮面的计算方法与比较[J]. 海洋测绘, 33(4): 1-5. BAO J Y, XU J, GUAN H B, 2013. The algorithms for calculation of the mean high water spring and their comparison[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 33(4): 1-5.
- 暴景阳, 翟国君, 许军, 2016. 海洋垂直基准及转换的技术途径分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 41(1): 52-57. BAO J Y, ZHAI G J, XU J, 2016. Vertical datums and their transformation approaches for hydrography[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 41(1): 52-57.
- 陈远鸿, 杨志敏, 2022. 深圳海域垂直基准面的建立与统一转换[J]. 城市勘测, (5): 125-129. CHEN Y H, YANG Z M, 2022. Establishment and unified conversion of vertical datum in Shenzhen Sea Area[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, (5): 125-129.
- 党亚民, 程鹏飞, 章传银, 等, 2012. 海岛礁测绘技术与方法[M]. 北京: 测绘出版社. DANG Y M, CHENG P F, ZHANG C Y, et al, 2012. Surveying and mapping technology of island and reef[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press.
- 丁仕军, 陈建忠, 2019. 山东省陆海无缝垂直基准的初步实现及其应用[J]. 测绘通报, (增1): 293-297. DING S J, CHEN J Z, 2019. Preliminary building and application of seamless vertical datum of land and sea in Shandong Province[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, (Suppl.1): 293-297.
- 董江, 2019. GNSS潮位测量及海洋无缝垂直基准面模型构建[D]. 武汉: 武汉大学. DONG J, 2019. GNSS tidal measurement and establishment of marine vertical datum model[D]. Wuhan: Wuhan University.
- 冯磊, 许欣欣, 2021. 联合DEM和平均大潮高潮面的海岸线确定方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 44(2): 182-184. FENG L, XU X X, 2021. Study on the method of combining DEM and mean high water springs in coastal line determination[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 44(2): 182-184.
- 宫元, 2022. 基于潮汐模型和DEM分析法的海岸线提取研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学. GONG Y, 2022. Research on coastline extraction based on tidal model and DEM analysis[D]. Fuxin: Liaoning Technical University.
- 国家海洋局908专项办公室, 2007. 我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程(试行本)[M]. 北京: 海洋出版社. 908 Special Office of the National Oceanic Administration, 2007. Technical specification for coastline repair and survey for comprehensive survey and evaluation of China's offshore oceans (trial version)[M]. Beijing: Ocean Press.
- 黄辰虎, 冯义楷, 欧阳永忠, 等, 2016. 半日潮特征海域平均大潮高潮面的计算方法[J]. 海洋测绘, 36(2): 21-25. HUANG C H, FENG Y K, OUYANG Y Z, et al, 2016. An algorithm for calculating mean high water springs at semidiurnal tide sea waters[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 36(2): 21-25.
- 江海建, 董斌斌, 施紫鹏, 2019. 广东省统一深度基准项目的设计研究[J]. 地理空间信息, 17(7): 48-52. JIANG H J, DONG B B, SHI Z P, 2019. Design and research of unified depth datum project in Guangdong Province[J]. Geospatial Information, 17(7): 48-52.
- 姜怀刚, 2020. 基于LiDAR的海岸线提取及性质识别技术[D]. 郑州: 中国人民解放军战略支援部队信息工程大学. JIANG H G, 2020. Lidar-based coastline extraction and nature recognition[D]. Zhengzhou: Information Engineering University.

- 柯灏, 赵建虎, 周丰年, 等, 2022. 联合大地水准面、海面地形和潮波运动数值模拟的长江口陆海垂直基准转换关系[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 47(5): 731-746. KE H, ZHAO J H, ZHOU F N, et al, 2022. Establishment of sea-land vertical datum transformation for hydrography combining with geoid, sea surface topography and numerical simulation of tidal wave motion in the Yangtze Estuarine Waters[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 47(5): 731-746.
- 麻德明, 刘焱雄, 金永德, 等, 2020. 面向对象的无人机遥感影像海岸线提取方法研究[J]. 海洋科学, 44(10): 46-51. MA D M, LIU Y X, JIN Y D, et al, 2020. Research on object-oriented method of extracting coastline from unmanned aerial vehicle remote sensing image[J]. Marine Sciences, 44(10): 46-51.
- 倪绍起, 张杰, 马毅, 等, 2013. 基于机载LiDAR与潮汐推算的海岸带自然岸线遥感提取方法研究[J]. 海洋学研究, 31(3): 55-61. NI S Q, ZHANG J, MA Y, et al, 2013. Natural coastline extraction based on airborne LiDAR data and tidal estimation[J]. Journal of Marine Sciences, 31(3): 55-61.
- 全国地理信息标准化技术委员会(SAC/TC 230), 2017. 国家基本比例尺地图图式: GB/T 20257—2017[S]. 北京: 中国标准出版社. National Geographic Information Standardization Technical Committee (SAC/TC 230), 2017. Cartographic Symbols for National Fundamental Scale Maps: GB/T 20257—2017[S]. Beijing: China Standard Press.
- 山东省海洋标准化技术委员会, 2019. 海岸线调查技术规范: DB37/T 3588—2019[S/OL]. [2023-12-25]. <http://hyj.shandong.gov.cn/zwgk/fdzdgg/tzgg/201906/P020210615590150440144.pdf>. Shandong Provincial Marine Standardization Technical Committee, 2019. Specification for Coastline Survey: DB37/T 3588—2019[S/OL]. [2023-12-25]. <http://hyj.shandong.gov.cn/zwgk/fdzdgg/tzgg/201906/P020210615590150440144.pdf>.
- 申家双, 2011. 海岸带等水位线信息提取与垂直基准转换技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学. SHEN J S, 2011. Research on technology of equal waterline information extraction and vertical datum transformation in coastal zone[D]. Zhengzhou: Information Engineering University.
- 孙伟富, 马毅, 张杰, 等, 2011. 不同类型海岸线遥感解译标志建立和提取方法研究[J]. 测绘通报, (3): 41-44. SUN W F, MA Y, ZHANG J, et al, 2011. Study on establishment and extraction of remote sensing interpretation marks for different types of coastlines[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, (3): 41-44.
- 王厚军, 袁广军, 刘亮, 等, 2021. 海岸线分类及划定方法研究[J]. 海洋环境科学, 40(3): 430-434. WANG H J, YUAN G J, LIU L, et al, 2021. Effective methodologies for coastline classification and delimitation[J]. Marine Environmental Science, 40(3): 430-434.
- 毋亭, 侯西勇, 2016. 海岸线变化研究综述[J]. 生态学报, 36(4): 1170-1182. WU T, HOU X Y, 2016. Review of research on coastline changes[J]. Acta Ecologica Sinica, 36(4): 1170-1182.
- 于彩霞, 2015a. 基于LiDAR数据的海岸线提取技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学. YU C X, 2015a. Study on technologies for shorelines abstraction based on LiDAR[D]. Zhengzhou: Information Engineering University.
- 于彩霞, 许军, 黄文骞, 等, 2015b. 海岸线及其测绘技术探讨[J]. 测绘工程, 24(7): 1-5. YU C X, XU J, HUANG W Q, et al, 2015b. Discussion on the mapping of coastline[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 24(7): 1-5.
- 张翔, 王霄鹏, 黄安齐, 等, 2021. 基于遥感影像提取山东半岛复杂海岸线及海岸线多年变迁研究[J]. 海洋湖沼通报, (2): 171-181. ZHANG X, WANG X P, HUANG A Q, et al, 2021. Extraction of complex coastline feature and its multi-year changes in Shandong Peninsula based on remote sensing image[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, (2): 171-181.
- 张云, 宋德瑞, 赵建华, 等, 2019. 中国大陆海岸线变迁分析和评价[M]. 北京: 科学出版社. ZHANG Y, SONG D R, ZHAO J H, et al, 2019. Analysis and evaluation of coastline changes in China[M]. Beijing: Science Press.
- 赵建虎, 董江, 柯灏, 等, 2015. 远距离高精度GPS潮汐观测及垂直基准转换研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 40(6): 761-766. ZHAO J H, DONG J, KE H, et al, 2015. High precision GPS Tide measurement method in a far distance and transformation model for the vertical datum[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 40(6): 761-766.
- 赵明才, 章大初, 1990. 海岸线定义问题的讨论[J]. 海岸工程, 9(3/4): 91-99. ZHAO M C, ZHANG D C, 1990. Discussion on the definition of shoreline[J]. Coastal Engineering, 9(3/4): 91-99.
- 浙江省海洋资源环境标准化技术委员会, 2018. 海岸线调查统计技术规范: DB33/T 2106—2018[S/OL]. [2023-12-25]. <https://max.book118.com/html/2018/0928/6032130031001221.shtm>. Zhejiang Provincial Marine Resources and Environment Standardization Technical Committee, 2018. Specification for coastline survey statistics: DB33/T 2106—

- 2018[S/OL]. [2023-12-25]. <https://max.book118.com/html/2018/0928/6032130031001221.shtm>.
- 中国人民解放军海军参谋部, 2022a. 海道测量规范: GB 12327—2022[S]. 北京: 中国标准出版社. Navy Staff Department of the Chinese People's Liberation Army, 2022a. Specifications for hydrographic survey: GB 12327—2022[S]. Beijing: China Standard Press.
- 中国人民解放军海军参谋部, 2022b. 中国海图图式: GB 12319—2022[S]. 北京: 中国标准出版社. Navy Staff Department of the Chinese People's Liberation Army, 2022b. Symbols, abbreviations and terms used on Chinese charts: GB 12319—2022[S]. Beijing: China Standard Press.
- HARRIS M, BROCK J, NAYEGANDHI A, et al, 2005. Extracting shorelines from NASA airborne topographic LiDAR-Derived digital elevation models[R]. U. S. Department of the Interior and Geological Survey.
- HUANG C H, WU M P, SUN W K, et al, 2019. Improving the definition and algorithms of China's coastline considering the diversity of tidal characteristics[J]. *Marine Geodesy*, 42(4): 382-405.
- ROBERTSON W, WHITMAN D, ZHANG K, et al, 2004. Mapping shoreline position using airborne laser altimetry[J]. *Journal of Coastal Research*, 20(3): 884-892.
- SUKCHAROENPONG A, 2010. Review of U. S. tide-coordinated shoreline[D]. Columbus: The Ohio State University.
- WOOLARD J W, ASLAKSEN M, LONGENECKER L J, et al, 2003. Shoreline mapping from airborne LiDAR in Shilshole Bay, Washington[C]//Proceedings of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS), U. S. Hydrographic Conference.

Discussion on the Determination of the Coastline Based on Surveying and Mapping

LIU Yanxiong^{1,2}, CHEN Yilan^{1,2}, YANG Long^{1,2}, GAO Shan^{1,2}

(1. *First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China;*

2. *Key Laboratory of Oceanic Surveying and Mapping, MNR, Qingdao 266590, China*)

Abstract: The coastline is a key element of basic geographic information for land-sea coordination, and its scientific and accurate determination is of great significance for coastal zone management. This study systematically reviews the definition, classification, and surveying methods of the coastline, compares and analyzes the results of traditional trace coastline measurement and coastline measurement based on the tidal model. We further discuss the differences and problems in the definition, classification, and determination of the coastline. Based on the problems in the coastline measurement and the progress in theory and practice, we propose that one can define the coastline as the boundary line between the sea and land formed by the intersection of the multi-year average high tide surface and the coast, and suggest that one can use a joint tidal model and DEM determination method for determining the coastline based on surveying and mapping. The definition and surveying methods of coastline based on surveying and mapping proposed in this study can provide the unified, accurate and objective coastlines.

Keywords: surveying and mapping; coastal line; mean high water line; tidal model

Received: January 2, 2024 **Online:** May 20, 2024