20世纪40年代以来多时相中国大陆岸线提取方法及精度评估

侯西勇[1], 毋　亭[1,2], 王远东[1,2], 徐新良[3], 陈　晴[1,2], 于良巨[1]

(1. 中国科学院 烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 将大陆岸线分为自然岸线、人工岸线2大类以及11个二级类, 基于地形图与遥感影像, 结合野外考察工作建立详细的技术规范, 提取20世纪40年代以来6个时相的中国大陆海岸线; 针对提取的结果, 应用直接对比法计算实际误差, 基于地图学和遥感信息提取的理论计算"理论最大允许误差", 二者对比表明: 基于多源数据提取多时相岸线的技术方案可行, 多时相岸线的实际误差均远远低于"理论最大允许误差", 精度较优; 基于地形图提取的20世纪40年代和60年代时相岸线, 精度总体上低于基于30 m分辨率遥感影像提取的多时相岸线, 而且20世纪60年代时相受多源数据融合的影响而精度最低; 基于环境与灾害监测预报小卫星CCD数据提取岸线, 受影像畸变和几何纠正精度的影响, 精度略低于基于Landsat影像提取的结果, 但同样基于Landsat影像提取的岸线, 新近时相的精度明显优于早期时相。本研究可为岸线变化研究以及海岸带综合管理等提供有力的支持。

关键词: 中国; 大陆岸线; 遥感; 精度评估; 实际误差; 理论最大允许误差

中图分类号: K928.44　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3096(2014)11-0066-08

doi: 10.11759/hykx20131217001

在气候变化和人类活动对海岸带区域影响日益加剧的背景下, 海岸线变化已成为近年来国内外研究的热点问题[1-8]。基于遥感影像或地图资料提取的海岸线与真实世界中的海岸线之间存在偏差, 尤其是海陆边界具有瞬时性和动态性特征[7], 因此, 实际应用中多采用指示海岸线, 如, 平均高潮大潮线、瞬时高潮线、低潮线、干湿分界线等[9]。由于在野外现场, 以及在遥感影像、航空像片中很容易被辨别, 高潮线被认为是最好的水陆边界的指示[10]。而以制图为目的的高潮线与平均高潮线差距非常小[11-13], 所以国际上在绘制地形图或在研究应用中多采用平均高潮线作为海陆边界的指示, 国家海洋局908专项《海岛海岸带卫星遥感调查技术》中也将平均高潮线作为海水淹没陆地的分界线[14]。岸线提取受到地图比例尺、地图形变、影像畸变、投影与坐标系统差异等客观因素以及提取过程中人为判断等主观因素的综合影响而存在不确定性[11, 15], 因此, 国内外学者发展了特征点评估[16-17]和推论评估[8, 18]等方法分析岸线数据的精度, 其中, 特征点评估法反映实际的误差水平, 但所需的高精度参照数据获取的难度大、成本高, 所以应用较少, 尤其是针对于较大空间尺度的研究中未见应用; 推论评估法以误差形成、积累和传播的理论为基础, 计算过程方便而快捷, 所以应用广泛, 但是计算结果反映理论意义的综合误差, 并非真实的误差水平。

为研究新中国成立前夕至今中国大陆岸线的时空动态特征, 选择平均高潮线为指示海岸线, 并基于多时相的地形图与遥感影像提取20世纪40年代以来6个时相的中国大陆岸线。由于研究的空间范围广、时间跨度大、岸线类型与结构复杂, 不同时相的数据源也不一致, 对岸线信息提取和精度分析的技术方法提出了更高的要求。为保证多时相大陆岸线提取结果的可比性, 降低后续大陆岸线时空动态特征等研究中的不确定性, 本文探索和建立合理的多时相大陆岸线提取方法和技术规范; 对各时相岸线提取结果的精度(实际误差)进行定量评估; 从岸线提取的数据源和方法角度出发提出"理论最大允许误差"的概念及计算方法, 判断岸线的精度水平是否可接受。

收稿日期: 2013-12-17; 修回日期: 2014-06-26

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项—应对气候变化的碳收支认证及相关问题(XDA05130703); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14); 中国海洋发展研究中心科研项目(AOCZD20130-2)

作者简介: 侯西勇(1975-), 男, 山东泰安人, 博士、研究员, 主要从事海岸带土地利用变化、岸线变化、海岸带综合管理等方面的研究, 电话: 0535-2109196, E-mail: xyhou@yic.ac.cn

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1 大陆岸线提取方法

1.1 数据源

本文建立近 70 a 来中国大陆岸线时空演变数据集，数据源包括：1904~1945 年美国陆军制图局测绘的中国沿海 1∶25 万地形图 48 幅；中国沿海 1∶5 万和 1∶10 万地形图分别 275 幅、39 幅，于 1951~1972 年测绘，极少量区域无地图资料，以 20 世纪 60 年代 60 m 分辨率的 Landsat MSS 影像来补充；1990、2000 和 2010 年成像的 Landsat 影像数据，下载于美国地质勘探局网站(http: //glovis.usgs.gov)和马里兰大学全球土地覆盖研究部网站(Global Land Cover Facility, GLCF, http: //glcf.umiacs.umd.edu)；2012 年成像的 HJ-CCD(环境与灾害监测预报小卫星 CCD)数据，下载于中国资源卫星应用中心网站(http: //www.cresda.com)，可覆盖全国沿海。

1.2 大陆岸线分类系统

地形图中的海岸线为平均高潮线，目视极易判读。Guariglia 等指出[19]，基于遥感影像提取岸线，潮汐引起的判断误差在 IKONOS 等高分数据上非常显著，必须进行潮差纠正，而基于 30 m 分辨率影像提取海岸线，潮汐引起的判断误差普遍小于 1 个像元，不必进行潮差纠正。因此，在综合前人研究成果以及项目组实地考察的基础上，考虑 30 m 分辨率遥感影像的解译能力，将海岸线按照自然状态与人为利用方式分为 11 个类型(表 1)。

1.3 自然岸线解译原则

各类自然岸线的遥感判读标准及现场地貌特征如图 1 所示。

表 1 中国大陆岸线分类体系
Tab.1 Coastline categories of mainland China

分类标准	岸线类型	说明
自然状态	基岩岸线	位于基岩海岸的岸线
	砂砾质岸线	位于沙滩的海岸线
	淤泥质岸线	位于淤泥或粉沙泥滩的海岸线
	生物岸线	由红树林、珊瑚礁和芦苇等组成的岸线
人为利用	丁坝与突堤岸线	丁坝：与海岸成一定角度向外伸出，具有保滩和挑流作用的护岸建筑物；突堤：一端与岸连接，一端伸入海中的实体防浪建筑物
	港口码头岸线	港池与航运码头形成的岸线
	围垦(中)岸线	正在建设中的围海堤坝
	养殖围堤岸线	用于养殖的人工修筑堤坝
	盐田围堤岸线	用于盐碱晒制而围垦的堤坝
	交通围堤岸线	用于交通运输的人工修筑堤坝
	防潮堤岸线	分隔陆域和水域的其他海堤护岸工程(非养殖区、非盐田区，且交通功能不显著的海堤/海塘工程)

1.3.1 基岩海岸

常有突出的海岬和深入陆地的海湾，岸线较曲折，有明显的起伏状态和岩石构造，近岸水深较大，在 4-3-2 波段组合显示的 Landsat TM\ETM+及 HJ-CCD 影像上颜色较深，破波带呈亮白色，近岸礁石呈灰白色，分布散乱，且亮度不均，纹理粗糙；海岸植被根据不同的长势呈浅红色或暗红色，裸岩呈灰白色，建筑物的亮度较高，呈白色(图 1a)。在影像中，基岩岸线的位置应在明显的水陆分界线上[20]。

1.3.2 砂砾质海岸

砂砾质海岸一般比较平直，海滩上部因大潮潮水搬运，常常堆积成一条与岸平行的脊状砂砾质沉积(滩脊)，海岸线一般确定在现代滩脊的顶部向海一侧。在遥感影像上，干燥滩面呈亮白色，痕迹线处堆积有植物碎屑、杂物等，亮度较低，含水量较高的滩面亮度也较低(图 1b)；因此，砂质岸线的位置应取亮度发生转折的地方[20]。有陡崖的砂砾质海滩一般无滩脊发育，海滩与基岩陡岸相接，崖下滩、崖的交接线即为岸线；在遥感影像上，陡崖有明显的基岩海岸纹理，陡崖下滩面长期被海水浸没，显示为灰色或灰白色，纹理平滑(图 1c)；因此，在遥感影像上，砂质岸线的位置应取纹理形态变化处[20]。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.3.3 淤泥质海岸

主要受潮汐作用塑造的低平海岸，潮间带宽而平缓。淤泥质海岸向陆一侧一般植被生长茂盛，呈红色或暗红色，向海一侧植被较为稀疏呈浅红色或没有植被，裸露潮滩上多在树枝状潮沟发育(图 1d)；在影像中，植被茂盛与稀疏程度明显差异处即为淤泥质海岸线所在位置[20]。

1.3.4 生物海岸

在我国主要是红树林海岸、芦苇海岸和珊瑚礁海岸[20]，其中，珊瑚礁海岸主要分布在岛屿。红树林多分布于平均大潮高潮淹没的潮滩及河口区域，一般成片分布，具有向海延伸的能力，其向陆一侧边界即为高潮线位置(图1e)；在 4-3-2 波段组合的 Landsat 5 TM 影像中表现为红色，与陆地植被相比，颜色暗且形状不规则，与相邻的养殖区、陆生植被等的影像特征差异较为显著。芦苇多分布于北方淤泥质滩涂区域，由陆向海逐渐稀疏，在 4-3-2 波段组合的 Landsat TM 影像中也表现为红色，分布均匀而不规则，没有明显纹理，这类岸线确定在颜色变淡、斑块破碎程度明显变大处(图 1f)。

1.4 人工岸线解译原则

各类人工岸线在遥感影像上一般易于辨识，如图 2 所示。

港口码头岸线、围垦(中)岸线、养殖围堤、盐田围堤、交通围堤、防潮堤等岸线有类似的结构：人工构筑物向陆一侧不存在平均大潮高潮时海水可达的水域，其向海一侧的水陆分界线即是海岸线。向海延伸的丁坝与突堤，若其与陆地连接根部宽度不超过 2 个像元，则图上不予描绘，岸线直接从其根部穿过；若宽度超过 2 个像元，则以突堤中心线长度代表整个丁坝或突堤(图 2a)。

正在围填的区域，如果已经有闭合的矮坝，而且被围垦面积非常有限，则一般将矮坝作为岸线，即便其内部仍然为水体；围填区域的形状以及毗邻区域的地物类型等可辅助于判断围填的目的，以及是否可直接将矮坝视为岸线，例如，滨海建成区毗邻海域的围填、港口区海域的围填等，一旦封闭即可视为岸线(图 2c)。

跨海公路、特大桥一般不作为岸线来处理，因为下方水体并未被阻隔开；例如，胶州湾跨海大桥、杭州湾跨海大桥、铁山港跨海大桥等，但是，如果公路或桥已经将两侧的水体隔离开，则应视为岸线，遥感影像上公路或桥两侧水体的颜色和纹理等可作为主要的判断依据。图 2h 中公路两侧水体的影像色彩和纹理差异较大，故将公路定为岸线(威海荣成，向陆一侧为八河水库，向海一侧为桑沟湾天鹅湖，两侧水体已不再联通)。

1.5 特殊类型岸线的解译

1.5.1 河口岸线

由于海岸线在入海河口处是断开的，为保证岸线的连续性和海陆分界的拓扑关系，需人为规定河口岸线的位置，即，确定河海分界线的位置，主要原则包括：以最靠近河口的道路桥梁或防潮闸作为河海分界线；以河口区地貌形态来确定河口岸线，即以河口突然展宽处的突出点连线作为河海分界线；存在明显行政性界碑的，则根据界碑来确定。

1.5.2 陆连岛

有跨海公路与陆地相连的岛屿(如连云港西连岛)，仍视为岛屿，描绘大陆岸线时可直接穿过公路并沿岸线继续绘制；仅有狭窄水道与大陆相隔的岛屿，如，厦门岛，即便有比较多的公路或者桥梁，也仍视为岛屿。

1.6 岸线提取的技术环境

在 ArcGIS9.3 软件中，将 1990、2000、2010 年的 Landsat 影像和 2012 年的 HJ-CCD 数据按照 4-3-2 波段组合显示提取大陆岸线。20 世纪 40 年代和 60 年代时相大陆岸线提取，地图资料中的岸线清晰可辨，在岸线类型划分方面，主要参考岸线毗邻区域的地貌、地物等信息，以及岸线时空演变和岸线开发利用的基本规律加以综合判断。解译过程保证足够的采点密度，提取的线条与影像中目视可辨识的岸线精确吻合，整体及局部均无明显的错位，而且线条较平滑。岸线较曲折的区域，需加密采点，岸线较平滑的区域，采点密度可适当宽松。

2 大陆岸线实地测量

野外考察收集不同区域和不同类型海岸线的坐标数据，用于评估大陆岸线遥感提取和地图解译结果的精度。早期的实地考察也辅助于建立大陆岸线遥感解译的技术规范。2011 年 11 月~2013 年 10 月，共开展了 10 次野外考察，行程超过 1.63×10^4 km，覆盖沿海 10 省市(不含香港、澳门)的海岸带，获取 578 个 GPS 实测数据点。

2.1 GPS 接收机

用到两款 GPS 接收机。Trimble Juno SB，内置

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

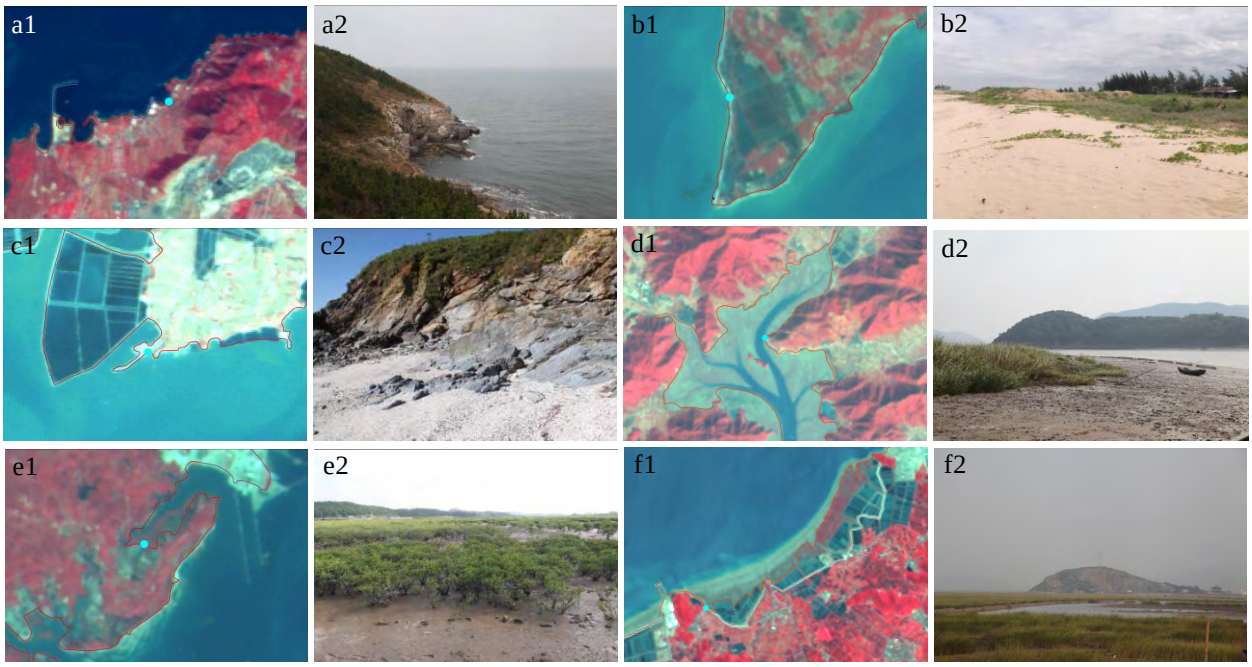

图 1　主要自然岸线的遥感判读标准及现场照片

Fig.1　Delineation of natural coastline and the photos

a1: 基岩海岸 HJ-CCD 影像，大连甘井子区; b1: 砂砾质海岸 HJ-CCD 影像，徐闻县角尾乡; c1: 有陡崖的砂砾质海岸 HJ-CCD 影像，大连庄河市; d1: 淤泥质海岸 Landsat 影像，宁波象山县; e1: 红树林海岸 HJ-CCD 影像，防城港市龙门镇; f1: 芦苇海岸 Landsat 影像，宁波象山县;a2, b2, c2, d2, e2, f2 分别是 a1, b1, c1, d1, e1, f1 中蓝色亮点位置的现场照片

a1: HJ-CCD image of rocky coast, Ganjingzi district of Dalian; b1: HJ-CCD image of sandy coast, Jiaowei village of Xuwen county; c1: HJ-CCD image of sandy coast with cliff, Zhuanghe county-level city of Dalian; d1: Landsat image of silty coast, Xiangshan county of Ningbo; e1: HJ-CCD image of mangrove coast, Longmen town of Fangchenggang; f1: Landsat image of reed coast, Xiangshan county of Ningbo; a2, b2, c2, d2, e2, f2 are photos taken at the highlight spots on imageries of a1, b1, c1, d1, e1, f1 respectively

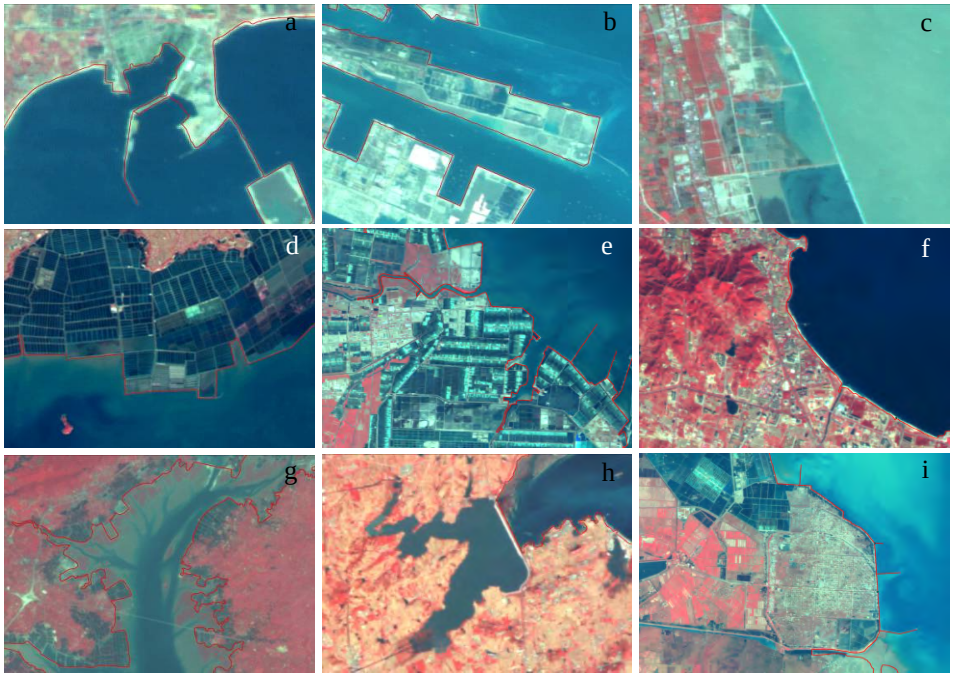

图 2　主要人工岸线的遥感判读标准

Fig.2　Delineation of artificial coastline

a: 丁坝突堤 HJ-CCD 影像; b: 港口岸线 HJ-CCD 影像; c: 围垦中岸线 HJ-CCD 影像; d: 养殖岸线 HJ-CCD 影像; e: 盐田岸线 HJ-CCD 影像; f: 交通岸线 HJ-CCD 影像; g, h: 跨海公路 Landsat TM 影像; i: 防潮堤 HJ-CCD 影像

a: HJ-CCD image of jetty and groyne; b: HJ-CCD image of harbor; c: HJ-CCD image of polder; d: HJ-CCD image of aquaculture; e: HJ-CCD image of salt pan; f: HJ-CCD image of embankment; g, h: Landsat TM image of overseas road; i: HJ-CCD image of tide barrier

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

GPS/SBAS 接收机和天线，后处理码差分精度 2~5 m，实时差分(SBAS)精度 2~5 m。Trimble GEO Explorer 6000 XT，能跟踪 GPS 和 GLONASS 卫星，并通过 SBAS 接收机实时地提交亚米级精度数据，也可通过后处理提交 50 cm 精度的数据。两款 GPS 接收机，以后者为主；野外测量时在岸线位置等待至少 60 s，卫星数量(至少 4 颗星)及数据输出精度稳定后，确认采集点坐标。

2.2 野外定点与测量

基岩海岸，多发育于隆起带的大陆边缘，如，辽东半岛、山东半岛、浙东-桂南隆起段等，基岩海岸广泛分布。受海陆长期作用影响，基岩海岸多被塑造出海蚀崖、海蚀阶地等地貌形态，且在潮间带有大粒径砾石分布，海蚀崖底部是基岩岸线位置所在[21]。野外海蚀崖底部可达性较差，可在海蚀崖顶部测点。

砂砾质海岸，多发育在上游与下游落差较大的入海河口两翼，以及基岩岬角之间的海湾顶部。无陡崖砂砾质海岸在现代滩脊的顶部向海一侧测点，或碎屑、贝壳碎片和杂物等分布的痕迹线处测点；有陡崖的砂砾质海岸则在崖下滩与崖的交接线处测点[21]。

淤泥质海岸，由潮汐作用形成，受上冲流的影响，滩面坡度平缓，滩面宽度可达数千米或更宽。潮上带有芦苇、碱蓬等植被[22]，但高潮线处植被极其稀疏，因此，在野外，一般在植被茂盛与稀疏程度明显差异处采点。

生物海岸，红树林及芦苇生长在潮滩上或海岸沼泽区，在大潮时会被淹没，因此，红树林及芦苇内边界即为高潮线位置，野外判断时，在此边界上采点。

人工岸线，丁坝突堤在向海一侧端点测点，港口码头、围垦中岸线、养殖、盐田、交通和防潮堤等人工构筑物则在向海一侧的水陆分界线处测点。

河口岸线，有防潮闸河口优先选择防潮闸处测点，无防潮闸河口则在最接近海水区域的桥梁处测点。在既没有防潮闸也没有桥梁的河流处，选择沿河固定人工建筑物，如港口、码头、交通围堤、防潮堤等位置测点。

3 大陆岸线提取精度评估方法

3.1 评估目标

受数据源、岸线定义、岸线提取方法与规范、野外判定与测量、多源数据融合等因素的影响，需要对 6 个时相大陆岸线的提取精度进行评估，确保其误差在可接受的范围之内，这是后续进行大陆岸线时空动态特征等研究的前提和基础，例如，在分析岸线变化速率时，需要基于误差值计算速率误差[8, 23-24]。具体涉及 2 个问题：一是计算实际误差水平和误差的最大允许值；二是评价实际误差水平是否可接受。

3.2 实际误差

采用直接对比法计算实际误差，最常见的方法是控制点对法。通过选择海岸线位置长期不变、稳定性较强的点为控制点，如，基岩岸线、防潮堤、道路岸线、河口处河闸等，计算影像或地图上此类特征点与实地 GPS 测量值之间的距离，用所有点对间距离的和或均方根误差评价岸线精度。为避免在遥感影像或地图上寻找和确认与野外实测点相对应的位置而导致的主观判断误差，采用如下方式计算：(1)为满足多时相岸线精度评估的需要，野外测量的目标包括现代岸线、过去时期岸线以及长期稳定的岸线位置；(2)对全部实测点进行分选，为 6 个时相分别建立精度评估的实测点集合，选择标准是排除实际发生了变化的实测点；(3)针对某一时相，计算实测点与提取的岸线之间的距离(点线距离)，从而得到一个距离数据序列，用该序列的平均值、标准偏差反映岸线提取误差的平均水平，并计算所有距离值平方和的平均值的平方根，对应等精度测量中的标准误差(均方根误差)，该值对测量中的较大及较小误差均比较敏感，能够较好地反映测量的总体特征。

3.3 理论最大允许误差

从地图制图学、遥感信息提取的角度出发，分析线要素信息提取过程误差生成、积累和传播的特征与规律，提出“理论最大允许误差”的概念，并确定其计算方法，用于判断实际误差是否可接受。

3.3.1 基于地图资料提取

Crowell 等[11]详述了海岸线变化研究中的误差与制图精度问题，在讨论基于地图资料提取海岸线时，采用美国国家海洋局第 49 号摄影测量与制图指南中所要求的海岸线定位误差不超过 0.5 mm 的标准，据此估算不同比例尺地图中的实地误差最大允许值为 0.5 mm 与地图比例尺的乘积，则 1∶5 万、1∶10 万和 1∶25 万地图上的误差阈值为分别不超过 25 m、50 m、125 m。

3.3.2 基于遥感影像提取

高山的研究表明[25-26]，遥感影像提取线要素地物的不确定性 P 与影像分辨率 a 之间存在如下近似

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

关系:

$$P=\frac{2\sqrt{2}}{3}\times a \quad (1)$$

据此计算, 30 m 和 60 m 分辨率遥感影像线要素信息提取的最大允许误差分别为 28.28 m 和 56.57 m。

综上所述, 20 世纪 40 年代时相岸线的理论最大允许误差为 125 m; 20 世纪 60 年代时相岸线的理论最大允许误差取 1∶5 万地图、1∶10 万地图和 60 m 分辨率遥感影像误差的最大值, 即 56.57 m; 1990、2000、2010 和 2012 年时相岸线的理论最大允许误差为 28.28 m。

4 大陆岸线提取结果的精度特征

在 GCS_Krasovsky_1940 椭球体、Albers 投影坐标系下, 针对每个时相进行计算, 得到岸线精度的 3 个基本统计量(表 2), 与理论最大允许误差进行对比, 表明:

1) 6 个时相的岸线提取结果, 平均值、标准偏差和均方根误差 3 个统计量均明显小于理论最大允许误差, 表明各个时相岸线提取的技术方案可行, 提取结果的精度均较优。

表 2 各时相岸线提取结果的实际误差

Tab.2 Results of shoreline accuracy assessment at different time

时相	控制点数量(个)	平均值(m)	标准偏差(m)	均方根误差(m)	理论最大允许误差(m)
20 世纪 40 年代	74	19.38	16.26	25.23	125.00
20 世纪 60 年代	129	22.68	16.51	28.01	56.57
1990	228	17.79	15.32	23.46	28.28
2000	245	16.67	14.61	22.15	28.28
2010	309	15.00	12.51	19.52	28.28
2012	304	15.32	12.73	19.90	28.28

2) 20 世纪 40 年代和 60 年代 2 个时相岸线的精度较低, 表明地形图提取岸线的精度总体上低于基于遥感影像的提取结果, 可能的原因在于测图及印刷的时间较为久远, 以及采用的岸线的定义和标准可能不统一等; 20 世纪 60 年代时相岸线精度是各个时相中精度最低的, 不同数据源之间成图比例尺、测量与成图时间、投影与坐标系、测量与制图技术等方面的差异, 以及地图图幅多、时间跨度大、几何纠正难度大等因素是主要的原因。

3) 基于遥感影像提取的 4 个时相岸线精度明显优于地图资料提取的结果, 精度水平从大到小排列, 依次为: 2010 年>2012 年>2000 年>1990 年, 整体趋势为较新时相的岸线精度高于较早时相, 但 2012 年大陆岸线的精度略低于 2010 年的, 主要原因在于 HJ-CCD 数据的单景覆盖范围广, 畸变可能较大, 而且, 其空间位置配准精度与 Landsat 数据相比存在较大的差距, 在使用前必须进行几何精校正。

5 结论

本文探讨了基于地图和多源卫星遥感数据提取多时相大陆岸线的方法和技术规范, 并发展了计算和评价岸线精度特征的方法体系, 主要结论如下:

1) 基于地图提取岸线, 精度主要受限于地图比例尺; 基于 Landsat 影像和 HJ-CCD 影像提取岸线, 野外实地考察与遥感信息提取的基本理论相结合, 建立详细的技术规范, 能够有效地控制岸线信息的误差在 1 个像元以内。

2) 单一时相岸线信息提取所用的数据源越复杂、源数据时间跨度越大, 则提取结果的精度水平越低; 基于遥感影像提取岸线, 精度明显优于基于地图提取, 但基于 HJ-CCD 影像提取的岸线精度逊于基于 Landsat 影像提取的结果。

3) 通过直接比较法计算岸线提取结果的实际误差, 以及从地图学和遥感信息提取的技术方法角度出发计算“理论最大允许误差”, 将二者比较用于判断岸线的提取结果是否可接受, 这是一种有效的、值得推广的精度分析方法。

参考文献:

[1] 高梅, 曾辉. 深圳市 1986-2020 年间海岸线动态变化特征及成因分析[J]. 热带地理, 2012, 32(3): 274-279.

[2] 姚晓静, 高义, 杜云艳, 等. 基于遥感技术的近 30 a 海南岛海岸线时空变化[J]. 自然资源学报, 2013, 28(1): 114-125.

[3] 武芳, 苏奋振, 平博, 等. 基于多源信息的辽东湾顶东部海岸时空变化研究[J]. 资源科学, 2013, 35(4):

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

875-884.

[4] 李秀梅，袁承志，李月洋. 渤海湾海岸带遥感监测及时空变化[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(2): 156-163.

[5] 孙晓宇，吕婷婷，高义，等. 2000-2010 年渤海湾岸线变迁及驱动力分析[J]. 资源科学，2014，36(2): 0413-0419.

[6] 徐进勇，张增祥，赵晓丽，等. 2000-2012 年中国北方海岸线时空变化分析[J]. 地理学报，2013，68(5): 651-660.

[7] Galgano F A, Douglas B C, Leatherman S P. Trend and variability of shoreline position[J]. Journal of Coastal Research, 1998, SI(26): 282-291.

[8] Romine B M, Fletcher C H, Frazer L N, et al. Historical Shoreline Change, Southeast Oahu, Hawaii; Applying Polynomial Models to Calculate Shoreline Change Rates[J]. Journal of Coastal Research, 2009, 25(6): 1236-1253.

[9] Boak E H, Turner I L. Shoreline definition and detection: A review[J]. Journal of Coastal Research, 2005, 21(4): 688-703.

[10] Shalowitz A L. Shore and sea boundaries[M]. Washington DC: U.S. Govt. Printing Office, 1964: 749.

[11] Crowell M, Leatherman S P, Buckley M K. Historical shoreline Change: error analysis and mapping accuracy[J]. Journal of Coastal Research, 1991, 7(3): 839-852.

[12] Mcbeth F H. A method of shoreline delineation[J]. Photogrammetric Engineering, 1956, 22(2): 400-405.

[13] Dolan R, Hayden B P, May P, et al. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs[J]. Shore and Beach, 1980, 48(4): 22-29.

[14] 王琳，徐涵秋，李胜. 厦门岛及其邻域海岸线变化的遥感动态监测[J]. 遥感技术与应用，2005，20(4): 404-410.

[15] Romine B M, Fletcher C H. A Summary of Historical Shoreline Changes on Beaches of Kauai, Oahu, and Maui, Hawaii[J]. Journal of Coastal Research, 2013, 29(3): 605-614.

[16] 刘善伟，张杰，马毅，等. 遥感与DEM相结合的海岸线高精度提取方法[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(5): 613-618.

[17] 金永福，郭伟其，苏诚. Google Earth 在海岸线修测调查中的应用研究[J]. 海洋环境科学，2009，28(5): 566-569, 593.

[18] Fletcher C, Rooney J, Barbee M, et al. Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii[J]. Journal of Coastal Research, 2003, SI(38): 106-124.

[19] Guariglia A, Buonamassa A, Losurdo A, et al. A multisource approach for coastline mapping and identification of shoreline changes[J]. Annals of Geophysics, 2006, 49(1): 295-304.

[20] 孙伟富，马毅，张杰，等. 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，2011，(3): 41-44.

[21] 夏东兴，段焱，吴桑云. 现代海岸线划定方法研究[J]. 海洋学研究, 2009, 27: 28-33.

[22] 庄振业，刘冬雁，刘承德，等. 海岸带地貌调查与制图[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(09): 25-32.

[23] Crowell M, Leatherman S P, Buckley M K. Shoreline change rate analysis: long term versus short term data[J]. Shore and Beach, 1993, 61(2): 13-20.

[24] Frazer L N, Genz A S, Fletcher C H. Toward Parsimony in Shoreline Change Prediction (I): Basis Function Methods[J]. Journal of Coastal Research, 2009, 25(2): 366-379.

[25] 高山. 铁路工程地质遥感图像解译质量分析[J]. 铁道工程学报, 2010, (8): 25-28.

[26] 高山. 铁路工程地质遥感调查中的图像解译质量分析[J]. 铁道勘察, 2010, (3): 24-27.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Extraction and accuracy evaluation of multi-temporal coastlines of mainland China since 1940s

HOU Xi-yong[1], WU Ting[1, 2], WANG Yuan-dong[1, 2], XU Xin-liang[3], CHEN Qing[1, 2], YU Liang-ju[1]

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Received: Dec., 17, 2013
Key words: China; mainland coastline; remote sensing; accuracy evaluation; actual errors; maximum allowable error

Abstract: According to technical manual established on the basis of topographic maps, remote sensing images and field surveys, six phases of coastline of mainland China since 1940s were extracted. The actual errors were calculated by comparing the coastline with field measurement data directly, and “maximum allowable error” was calculated according to the theories and techniques of line feature data extraction from topographic maps and remote sensing images. Furthermore, comparison between actual error and “maximum allowable error” was adopted to determine the acceptability and availability of the coastline by further studies. It shows that, the technical scheme established coastline extraction was effective, and the accuracies of mainland coastline in six phases were acceptable. Coastline in 1990, 2000, 2010 and 2012 extracted based on remote sensing images had higher accuracy than those in 1940s and 1960s extracted based on topographic maps. Coastline in 1960s had the lowest accuracy because of various data source and data fusion. Coastline in 2012 extracted based on HJ-CCD images had a little bit lower accuracy than coastline in 2010 extracted based on Landsat images. However, with respect to coastline in 1990, 2000 and 2010, which were all extracted based on Landsat images, the newer phase had higher accuracy than the older one. This study will provide good support for coastline change detection and integrated coastal zone management practice.

(本文编辑：李晓燕)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net