所缓和。

5 龙口市海岸带变化驱动力分析

驱动力，指变化的原因，是海岸带变化的动力源。驱动力分析可将海岸带变化研究由概貌推向内部，由表层描述推向本质研究，为人类科学干预海岸带变化提供理论依据。

5.1 海岸带变化驱动机制的宏观理论分析

地球系统将地球的大气圈、水圈、岩石圈和生物圈视为一个相互作用的大系统，而海岸带是地球系统中唯一的固态、液态和气态三相接触带，是这四大圈层之间相互作用最活跃的界面，成为地球系统最有生机的一部分。因此，海岸带变化是陆地、海洋、大气和人类活动等各种动力因素相互作用和相互影响的结果，有着深刻的动力机制，揭示了地球系统中自然界面过程和人类活动的耦合联动机理，如图 5-1 所示。

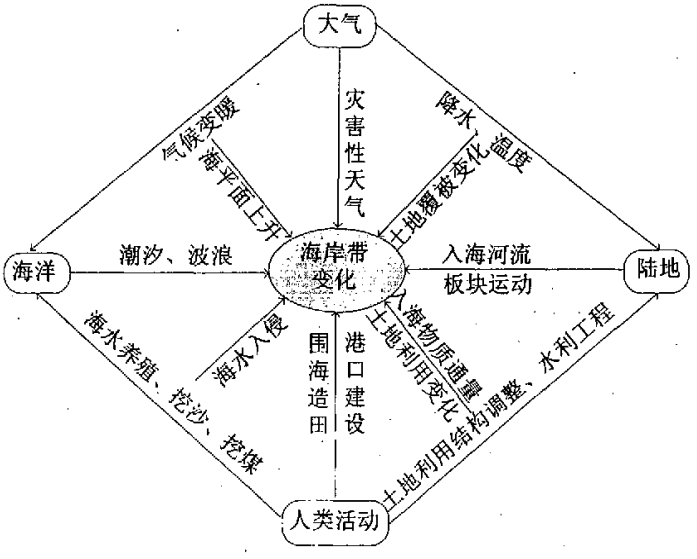


图 5-1 海岸带变化驱动机制示意图

首先，海岸带作为陆地系统、海洋系统、大气系统等各种自然系统的融合地带，对于大范围的各种自然过程变化所引起的波动是十分敏感的。从陆地系统角度来看，河流作为陆地和海洋交融的接口，其入海部分不仅是海岸带的组成部分，

而且从内陆带来的泥沙对海岸带的变化起着推波助澜的作用；从海洋系统角度来看，以它产生的波浪和潮汐为主导因子所构成的动力，通过对海岸的不断侵蚀改变着海岸带的容貌；从大气圈的活动来看，由于全球变化所引发的海平面上升势必对海岸带产生巨大影响，同时，灾害性天气也会对海岸带产生灾难性破坏；岩石圈及其风化产物本身就是海岸带的主要组成部分，而且大地板块的不断运动又会直接造成海岸带的变迁。

第二，自从有了生物，地球系统的发展演化进入一个全新的时代，随着人类的出现，人类活动对地球系统的影响也越来越深刻。人类文明已从内陆文明走向海洋文明，海岸带成为人类活动最为集中的地带之一，人们正以各种各样的直接或间接的方式影响着海岸带的演化。自二战以来，随着爆炸性的人口膨胀，快速的工业化和城市化进程，各种信息、技术的飞速发展，人类活动在经济利益驱动下对海岸带的影响在速度、广度和深度上也愈演愈烈，成为海岸带演变不可忽视的另一驱动因素。例如，人类通过修建港口、围海造田等活动直接改变陆地与海洋的自然界线；又通过对大型河流修建水利工程、过量开采地下水、海水养殖、盲目开采海岸带资源以及人为造成的沿海地区土地利用/土地覆被的变化等活动，引起入海物质通量、海岸边界动力条件等发生巨大变化，给海岸带的环境和生态系统产生重大影响。

5.2 龙口市海岸带变化驱动过程分析

目前普遍认为，海岸带的长期变化（几十年到几个世纪）可能是受环境系统变化的影响（气候、岩石圈和海平面的变化），而短期变化（几年到几十年）的基本驱动力是人类活动的影响。龙口市海岸带长期以来基本处于稳定状态，只是近十几年来随着经济的迅速发展，发生了较大变化，时间尺度上属于年间的小尺度变化，人类活动是其重要的变化应力，是目前影响该区海岸带演变的最根本因素。自然因素是在海岸带平衡状态遭到人为破坏后，通过对海岸带的重新塑造而进一步推动海岸带的变化。

5.2.1 驱动因素分析

海岸带是一个自然——人文综合体，其变化是一个相当复杂的过程，同时受

到自然、经济、社会等众多因素的影响。这些因素在不同时期、不同地区对海岸带变化的作用，包括作用方式和作用强度各有不同。龙口市海岸带在1984-2004年间的变化是在自然因素、经济因素、人口因素、技术因素、政策因素等驱动下发生的（如图5-2所示），各种因素的驱动作用主要表现在：

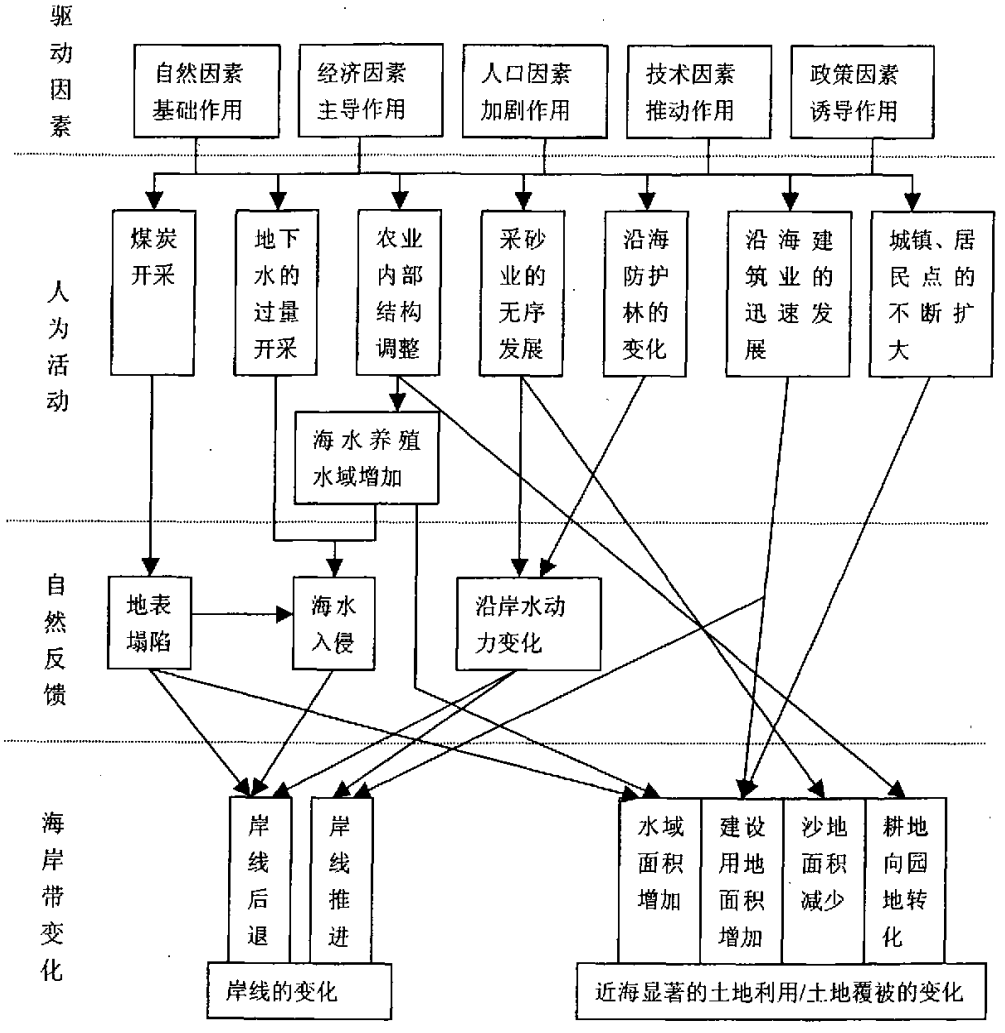


图5-2 龙口市海岸带变化各种因素驱动过程

（1）自然因素　海岸带的自然因素包括滨海堆积平原、海滩、沙地、水下岸坡等地质地貌条件，气温、降水、风等气候条件，水温、潮汐、波浪等海洋水文条件，以及矿产、渔业、港口等海岸资源条件等。自然因素在研究期间对该区海岸带变化的驱动作用主要表现在两方面，一是基础作用，任何人为活动都是建

立在一定自然基础条件上的，例如，无序采砂是导致龙口市海岸带变化的一个重要的人为因素，但这是建立在龙口市海岸属于砂质海岸这一自然条件上的；二是反馈作用，虽然自然因素由于其变化速率和频率较社会经济因素显得迟钝和缓慢，在一个较短的时间里，难以通过自身的变化直接驱动海岸带发生变化，但是任何事物都是在动态的平衡中发展的，一旦海岸带原有的平衡状态被人为活动破坏，为了快速寻求新的平衡，一些自然因素便对人为活动做出一定的反馈，必然导致海岸带的某些方面发生变化。

（2）经济因素　龙口市海岸带自然资源丰富，交通便利，人文条件优越，是整个龙口市经济发展的桥头堡，因此经济因素是龙口市海岸带变化最为重要的驱动因素，对海岸带的变化起着一种主导作用。这种主导作用主要表现在：一方面是社会行为驱动，国家或政府为了发展国民经济，在海岸带修建大面积港口设施和其它沿海工业建筑（如南山集团北海开发区），开采沙、煤等海岸资源，致使海岸带发生明显变化；另一方面是个体行为驱动，个体农民在价值观念取向诱导下，通过调整农业内部结构使海岸带发生一定变化。

（3）人口因素　人口作为社会因素中最重要、最具活力的一个独特的因素，也是海岸带变化的一个驱动因素。人类伴随着人口数量的增加、生活质量的提高、迁移运动（城市化）等，一定程度上必然会直接导致或加剧海岸带的某种变化。如人口增加就会直接导致居住用地扩大而使海岸带的土地利用方式发生变化，同时还由于对淡水资源压力的增大造成地下水的进一步过量开采，而加剧海水入侵。

（4）技术因素　技术发展的水平和应用程度直接影响着海岸带开发和利用的广度和深度，技术的进步也会带来海岸带的变化。一般来讲，技术进步包括狭义和广义两种形式，狭义技术进步的特点是，技术进步的结果对海岸带要素或资源本身形状进行了改变，如技术进步使原本无力开垦的滩涂、盐碱地等变成耕地或其它形式的用地；海水养殖技术的进步，使海岸带的水域面积增大，并加剧了海水入侵，造成更多的海岸带土地盐碱化。广义的技术进步，并不要求资源本身的改变，或者说并不直接体现在生产因素上，它提高的是整个经济的效率。这种技术进步的效果是通过经济资源配置的优化——即经济管理的进步来实现的，它改变的是经济活动中各类海岸带资源形成生产过程的组织形态或相互结合的状

态，包括宏观上的资源配置优化及微观上的企业有效经营管理这两个相辅相承的方面。

（5）政策因素　任何一种自然资源开发活动都是在一定的文化背景和制度条件下进行的，海岸带资源也不例外，文化和制度的外在约束性作用对人们的海岸带资源开发利用形式产生重要的影响。上世纪 90 年代初，全国经济处于从计划经济向社会主义市场经济转轨时期，经济过热，加上土地管理失控，全国普遍出现“开发区热”、“房地产热”、及城市的“大规划热”等现象，使得各项建设占用大量耕地，龙口市海岸带内的龙口、龙港经济开发区，处于整个龙口市改革开放的最前沿，这种社会行为表现的更为明显。同期，海岸带各种资源的开采开发也暂时进入一种无序地开发状态，破坏了自然发展规律而使海岸带发生了巨大变化。到 90 年代后期，国家和地方开始注意到这种经济发展方式的盲目性，出台了一系列关于保护耕地、节约资源、持续发展等政策和措施，使一些破坏海岸带的行为得到一定程度的遏制。

总之，龙口市海岸带在自然条件基础上，科学技术推动下，政策因素诱导下，以经济效益为导向，以人类活动和自然因素反馈为主要驱动方式，较短的时间内发生了较大的变化。

5.2.2 人为活动驱动因素定量分析

人类活动是龙口市海岸带变化最根本的驱动力，在自然、经济、社会等各种因素综合影响下，对海岸带变化的驱动主要体现在：港口和各种沿海建设用地的迅速发展，农业内部结构的调整，采砂、采煤等采矿业的无序发展等方面。这些定性的分析仅是对海岸带内部机制探索的“扫描”，给定量分析构建了基本轮廓，为将海岸带变化人为驱动力研究推向纵深，拟对其作进一步定量分析。

海岸线的变化只有在龙口港和南山集团北海开发区附近的向海推进是人为活动直接造成的，而其它区段的变化基本上都是在人为破坏其平衡状态后，随着各种自然条件为寻求新的平衡而对人为活动做出的反馈作用下发生的，这种驱动变化难以量化，因此本文只做了海岸带土地利用变化与各种人为因子之间的定量分析。

5.2.2.1 分析方法

典型相关分析（canonical correlation analysis）是 Hotelling 提出的，揭示的是两组多元随机变量之间的关系，这两组随机变量中一组是自变量，另一组是标准变量。具体操作方法是：在第一组变量中提出一个典型变量，在第二组变量中也提出一个典型变量，并使这一典型变量组合具有最大的相关；然后再在每一组变量中提出第二个典型变量，使得在与第一个典型变量不相关的典型变量中，这两个典型变量组合之间的相关是最大的，将此过程继续进行，直至两组变量间的相关变量被提取完毕为止。典型相关分析的基本思想和主成分分析相似，也是降维，即把原来较多变量转化为少数几个典型变量，通过较少的典型变量之间的典型相关系数来综合地描述两组多元随机变量之间的相关关系，是近年来开始普及的一种新型的多元统计分析方法，非常适合 LUCC 研究，被广泛认为是定量判别 LUCC 驱动力的有力工具[91-92]。本文采用这种方法对龙口市海岸带土地利用变化人为驱动因素进行定量分析，数据处理及分析流程如图 5-3。

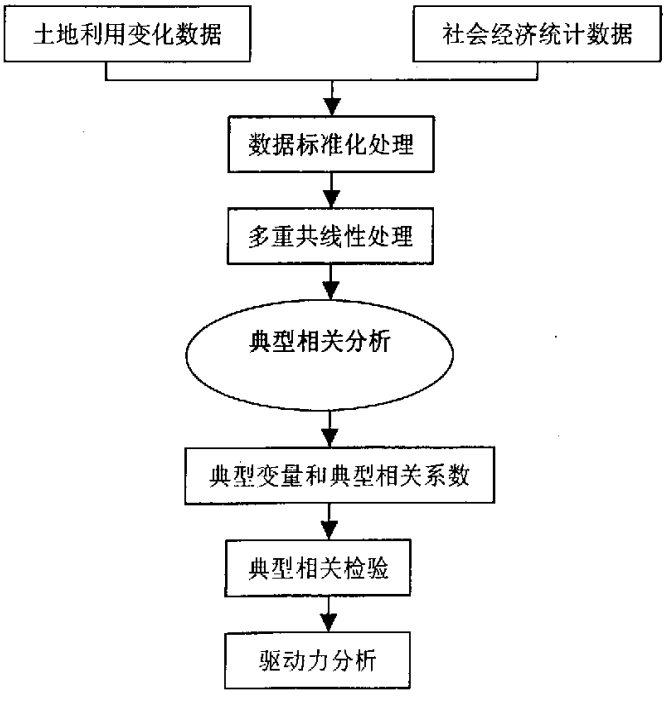


图 5-3 土地利用变化驱动力典型相关分析流程图

5.2.2.2 数据准备

典型相关分析需要大量的样本数据，而研究区范围较小，仅涉及龙口市沿海的诸由、羊岚、徐福、中村、龙口、海岱、黄山馆7个乡镇，样本数量较少，为此，本文将研究时段分为1984-1992年、1992-1996年、1996-2000年、2000-2004年以及1984-2004年五个不同的时段，并分别统计这五个时段每个乡镇的各种土地利用类型数据和社会经济统计数据，将同一乡镇不同时段的统计数据作为不同的样本，这样既补充了样本不足的缺陷，又在一定程度上体现了各种驱动力在整个研究期间随时间的变化，使分析结果更符合客观实际。最终得到35个样本，基本达到典型相关分析的样本要求，样本数据中标准变量组 Y 表征各种土地利用类型，包括耕地、园地、林地、建设用地、水域、沙地和滩涂7种；自变量组X表征影响土地利用特征的各种社会经济统计数据，共选取了15个变量，进入计算的数据为各个研究时段初末数据的差值。

由于土地利用变化涉及到的社会经济驱动因子比较复杂，而且土地利用各种类型本身之间也相互影响、相互制约，所以这些变量之间可能存在着高度的自相关性，即存在多重共线性问题，这对分析精度影响很大，因此在进行典型相关分析之前，必须对各种数据进行标准化和多重共线性处理。通过共线性分析，自变量组中的年末总人口、城市化水平、农村经济总收入、农民人均纯收入、粮食总产量、粮食单产量、果品总产值、有效灌溉面积、农业机械总动力和海水产品等10个社会经济变量进入分析，同时把滩涂从标准变量组中排除。

5.2.2.3 运行结果

大型社会科学统计软件SPSS12.0中的子程序宏指令CANCORR可直接对数据进行典型相关分析，将经过标准化和去除多重共线性的土地利用变化数据和社会经济变化数据载入Canonical子程序，打开Syntax窗口，输入调用典型相关分析的宏语句：

```
INCLUDE 'D:\CHENGXU\SPSS12\CANONICAL CORRELATION.SPS'.
CANCORR SET1 = Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 Y6 Y7 Y8 Y9 /
        SET2 = X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7/.
```

用光标选择这些命令使其被阴影覆盖，再选择 Syntax 窗口 Run 菜单下的

Selection，即开始运行典型相关分析，得到运行结果表 5-1 和表 5-2，分别为典型变量间的典型相关系数和典型载荷。由于同一随机变量组内各典型变量之间的样本协方差为零，不同组不对应的典型变量间的样本协方差也为零，使得分析变量组 Y 和变量组 X 之间的关系转化为只需分析从两组中提取出的相对应的典型变量之间的关系，典型载荷的统计含义就是这种转化关系的反映，它作为典型相关分析的主要结果，体现了两个变量组之间的相关程度。

表 5-1　　典型相关系数表

	典型变量 1	典型变量 2	典型变量 3	典型变量 4	典型变量 5	典型变量 6
典型相关系数	0.887	0.745	0.716	0.607	0.365	0.239

表 5-2　龙口市海岸带土地利用的典型载荷

标准变量 Y 土地利用类型	典型变量 1	典型变量 2	典型变量 3	典型变量 4	典型变量 5	典型变量 6
耕地	0.361	-0.286	0.128	-0.737	0.030	0.826
园地	-0.456	0.282	0.667	0.466	0.198	0.103
林地	0.243	-0.292	-0.211	-0.298	-0.636	-0.037
建设用地	-0.586	0.390	0.675	0.100	0.178	-0.088
水域	0.804	0.197	0.276	-0.223	-0.434	-0.005
沙地	0.489	-0.739	-0.147	-0.389	-0.119	0.168
自变量 X 社会经济驱动因子变化						
总人口	0.190	0.083	0.428	-0.285	0.464	0.350
城市化水平	0.464	-0.141	0.565	0.014	-0.241	-0.369
农村经济总收入	0.682	0.758	0.901	-0.286	-0.226	0.179
农民人均纯收入	0.387	0.189	0.854	0.742	0.321	-0.214
粮食总产量	-0.066	0.058	-0.040	-0.291	0.016	-0.031
粮食单产量	-0.246	0.079	0.218	0.656	-0.024	-0.562
果品总产量	0.352	0.172	0.856	-0.260	0.028	-0.483
有效灌溉面积	-0.079	-0.165	-0.016	0.498	0.280	0.237
农业机械总动力	0.128	0.370	-0.127	0.333	0.251	-0.613
海水产品	0.877	0.524	-0.264	0.013	-0.015	0.084

5.2.2.4 运行结果检验

典型相关分析统计意义检验的一般方法是考察其典型相关系数，即相对应的

典型变量之间的相关性。图 5-4 给出了 6 个典型变量的典型相关系数，可见相对应的典型变量之间的关系较为密切，前 4 个典型变量对应的相关系数都在 0.60 以上。

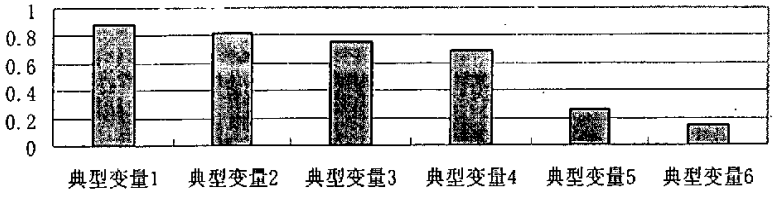
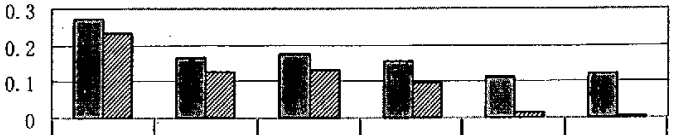


图5-4 典型相关系数

冗余度分析是检验典型相关分析结果的另一种方法，可判定典型变量的有效数目，它结合两方面判断典型相关分析结果的有效性，一是目标变量组被其自身典型相关变量解释的百分比，二是目标变量组被其对立的解释变量组的典型变量解释的百分比，将两者进行对比即可揭示目标变量组被自变量组解释的程度，从而根据结果判定所提取的典型变量的有效数目。冗余度分析结果（图 5-5）表明：第一、第二、第三和第四个典型变量被社会经济统计因子变量解释的比例较高，分别有 0.826%、0.745%、0.726%和 0.634%的信息被解释，因此认为前 4 个典型变量作为解释变量对于相应因变量变化的解释都具有一定的专业分析意义。



	1	2	3	4	5	6
Set-Y 典型相关性被其自身典型变量解释的比重	0.271	0.164	0.176	0.154	0.113	0.122
Set-X 典型相关性被其对立典型变量解释的比重	0.232	0.127	0.131	0.095	0.015	0.007

图 5-5 冗余指数分析

5.2.2.5 运行结果分析

雷达散点图可直观反映每一典型变量体现的土地利用类型与相应的驱动因子之间的相关关系，根据典型相关分析及其检验结果，做出前四个典型变量的典

型载荷雷达散点图（如图 5-6）。

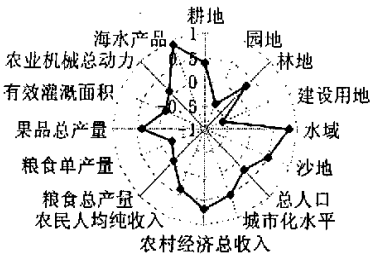


图5-6-a 第一典型变量的典型载荷

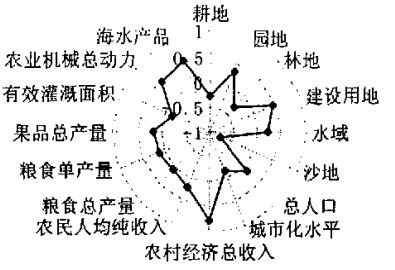


图5-6-b 第二典型变量的典型载荷

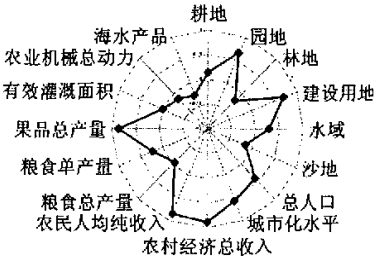


图5-6-c 第三典型变量的典型载荷

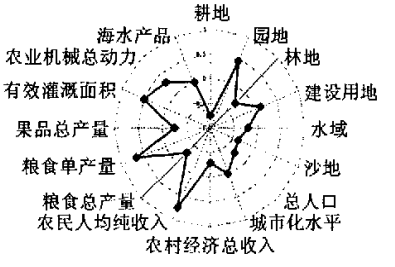


图5-6-d 第四典型变量的典型载荷

图 5-6　典型变量的典型载荷雷达散点图

从图 5-6 和表 5-2 可以看出：第一典型变量将水域从其它用地类型中分离出来，其典型载荷为 0.804，与其对应的解释变量有海水产品和农村经济总收入，典型载荷分别为 0.877 和 0.682，表明海水养殖、经济发展是龙口市海岸带水域面积增加的一个主要驱动力。1984 年，龙口市海水养殖水产品量仅有 250 吨，到 90 年代水产业有了较大发展，特别是海水养殖技术的突破，加之海水养殖能够带来丰厚的利润，导致海水养殖业突飞猛进，到 2004 年海水养殖水产品达到 118599 吨，是 1984 年的 474.4 倍。因此，在经济的刺激和技术的推动下，人们在沿海地区大量的挖坑围塘，引进海水，发展养殖，使水域面积不断扩大，导致沿海土地利用方式发生转变。

第二典型变量将沙地从其它用地类型中分离出来，其典型载荷为-0.739，与其对应的解释变量主要是农村经济总收入，典型载荷为 0.758，二者呈负相关，表明经济发展是龙口市海岸带沙地面积减少的主要驱动力。龙口市海岸带的物质

组成主要是粗砂，由于二氧化硅含量较高，成为制造玻璃的上等原料，上世纪七十年代至八十年代，当地政府尚能组织有序地少量开采，进入九十年代后，随着市场经济的快速发展，采砂业失去了控制，大量优质的砂矿被开采，使海岸带沙地面积锐减。

第三典型变量将园地和建设用地分离出来，典型载荷分别为 0.667 和 0.675，相应的解释变量有农村经济总收入、果品总产量和农民人均纯收入，典型载荷分别为 0.901、0.856 和 0.854，表明经济发展和农民生活水平提高是园地和建设用地增加的主要驱动力。上世纪八十年代末期至九十年代中期是果品产业的大发展时期，龙口市水果产量从 1990 年到 1996 年增加了 257089 吨，平均每年增加 42848.2 吨，沿海许多农户为了经济利益，调整农业内部结构，致使大面积的耕地转化为园地。改革开放以来，龙口市国民经济持续高速发展，2004 年国内生产总值达到 172.2 亿元，是 1984 年的 11.6 倍，海岸带作为整个龙口市经济发展的前沿地带，建设的步伐不断加快。龙口港至屺姆岛之间修建大面积港口设施，据统计，20 年来港口面积扩大了 600 倍；另外，龙港经济开发区一带发展的大规模工业园区，以及北部沿海的南山集团北海开发区，蚕蚀周围大量农田，使建设用地面积不断扩大。随着人民生活水平的提高，增加了对住宅用地和商业用地的需求。据统计，全市人均住房面积 1984 年为 15.7m^2，2004 年为 27.7 m^2，增加了 12.0 m^2；全市房屋竣工面积 1994 年为 23.7 万 m^2，到 2004 年增至 252.6 万 m^2，年平均增长率达到 22.9 万 m^2，因此，为了满足人们更高的生活需要，建设用地也在以居住用地和商业用地的方式迅速增加。

第四典型变量将耕地从其它土地利用类型中分离出来，典型载荷为-0.737，与其相应的典型解释变量是农民人均纯收入和粮食单产量，典型载荷分别为 0.742 和 0.656，说明这两个因子是耕地减少的主要驱动力。粮食单产的提高使得农民用较少面积的耕地就可以保证最基本的吃饭问题，这样就腾出更多的土地发展其它农业以增加农民收入。因此，粮食耕作技术的提高和农民收入的增加使农民对土地耕作的依赖性减小，土地使用向多元化方向发展，使得大量耕地流向其它地类。

通过以上分析可以看出，四对典型变量分离出的社会经济驱动因子比较真实地反映了龙口市海岸带土地利用变化的主要人为驱动，基本符合当地土地利用变

化的实际情况，分析结果具有一定的可信度。

5.2.3 自然因素对人为活动的反馈作用分析

虽然人为活动是 20 年来龙口市海岸带变化的根本原因，但是自然界始终处于一个动态的平衡中，如果人为活动破坏了这种平衡，自然界就必然会寻找新的平衡，寻找的过程就迫使原有环境自然因素的组成和结构发生变化，从而进一步导致整个海岸带环境的变化（这里主要指海岸线和沿海土地利用方式的变化），我们把这种过程就称为自然因素对人为活动的反馈作用。

5.2.3.1 沿岸水动力的变化

龙口市海岸线的变化，除龙口港附近的海岸线是由于人为建设直接引起的向海推进外，其余岸线的进退变化都是在人类活动打破海岸的平衡状态后，沿岸水动力在寻找新的平衡过程中发生的。对于由松散沉积物构成的海岸带而言，如果没有人为因素的影响，海岸带剖面呈动态平衡状态，即海岸带上任何一点的侵蚀速度和堆积速度是相等的，这就意味着海岸带将保持长期稳定。当这种平衡剖面被人为破坏后，海水的侵蚀作用力和堆积作用力就出现不平衡，有些地带发生侵蚀，而有些则发生堆积，从而导致海岸带发生变化。侵蚀与堆积的空间分布与采砂点位置、波浪波射线与海岸的夹角有密切关系。

龙口市海岸带采砂点主要分布在海岸带的上半部位和岸滩，当这部分的砂矿被开采后，波浪将会把潮间带中下部的泥沙搬运到上部及岸滩附近堆积，而下部的泥沙又会被搬运到水下岸坡一带堆积，形成新的平衡剖面。龙口市沿海波浪的波射线与当地主导风向基本一致，主要为 S，其次为 NNE，与海岸线形成不同的夹角，当夹角在 45 度左右时，该海岸带以侵蚀作用为主，反之则以堆积作用为主，公式如下：

$$L = \frac{k}{2l}\sin\ 2\alpha$$

式中，L 为泥沙侵蚀距离，l 为水下岸坡角至岸边的垂直距离，α 为波射线与岸线交角，k 为比例系数。

5.2.3.2 海水入侵

海水入侵是由滨海地区陆地地下水水位下降而引起的海水侵染地下水的现象，也是海岸带自然因素对人为活动做出的一种重要反馈，亦为影响海岸带变化的主要因素之一。自八十年代初期，龙口市沿海便发现海水入侵现象（图 5-7）：1984 年海水侵染面积为 64.5Km^2；直到 90 年代中后期，海水侵染面积一直呈上升趋势，1997 年最大，达到 108.6 Km^2；之后，海水入侵得到控制，处于稳定状态，2004 年突然降低至 72 Km^2。龙口市海岸带海水入侵的主要诱导因素是沿海平原区连年超采地下水，地下水位低于当地海平面，导致海水倒灌引起的。其次是砂矿的无序开采，使沿海防护堤——岸滩的高度降低、宽度变窄，防潮功能下降，高潮期由激浪形成的海水大量渗入到陆地，使岸滩附近的陆地盐碱化。另外，海水养殖排灌不当也导致海水渗入到陆地，引起一定程度的陆地盐碱化。

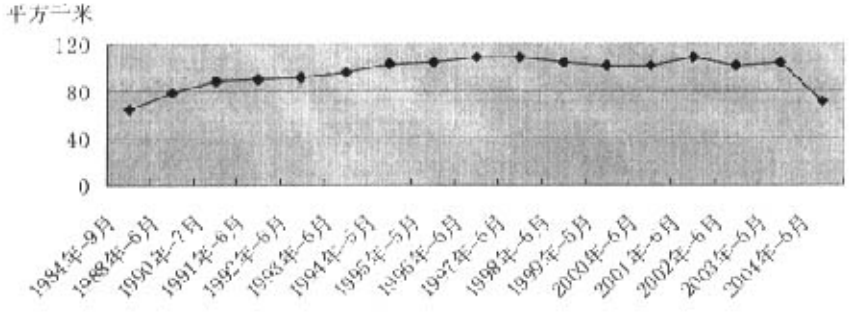


图5-7　1984-2004年龙口市海岸带海水入侵

海水入侵的结果使得岸滩附近的农田、果园和防护林向陆地退缩，海岸线向陆地移动，如图 5-8 所示。龙口市海岸线的进退变化各段表现不同，为此，本文又详细分析了 1984-2004 年南山集团北海开发区以东、北海开发区至龙口港之间和龙口港以南 3 段海岸带的海水入侵状况。南山集团北海开发区以东海岸带的海水入侵一波三折（图 5-9a），以 1994 年和 1998 年为转折点，在 1994 年之前呈下降趋势，1994 年到 1998 年明显上升，1998 年又缓慢呈波浪式下降；同期该海岸段海岸线的变化是先进后退（图 4-4），以 1994 年为界，之前海岸线向海推进，之后向陆退缩，2000 年后基本稳定。北海开发区至龙口港之间海岸带的海水入侵有升有降（图 5-9b），但在 2003 年之前总体趋势是上升的；同期该段海岸线是持续后退的（图 4-5）。龙口港以南海岸带的海水入侵（图 5-9c）明显以 1994 年

为界，之前持续上升，之后缓慢下降；同期该段海岸带的海岸线是先退后进（图4-7），一开始向陆退缩，1992年转退为进，海岸线向海推进。综合三段海岸带的海水入侵和海岸线的进退变化，不难看出海岸线变化与海水入侵之间有一定关系，当海水入侵严重，海水侵染面积扩大时，海岸线一般会向陆退缩；当海水入侵减缓，面积缩小时，海岸线一般向海推进。

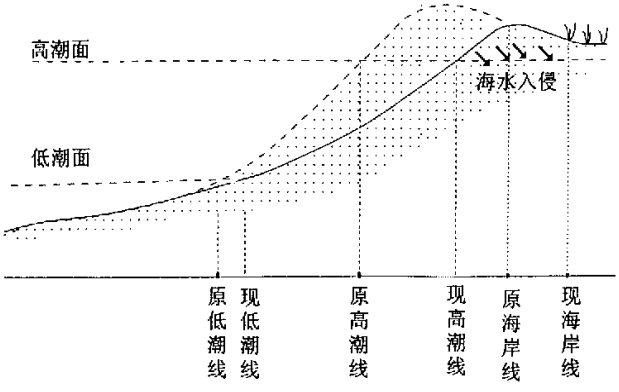


图 5-8 海水入侵与海岸带剖面变化图

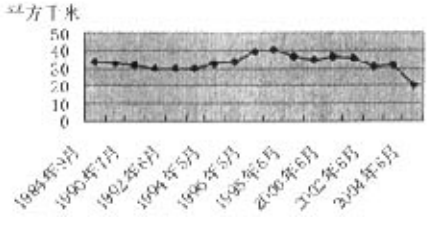


图5-9a 北海开发区以东海水入侵

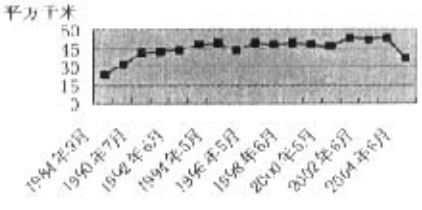


图5-9b 北海开发区至龙口港海水入侵

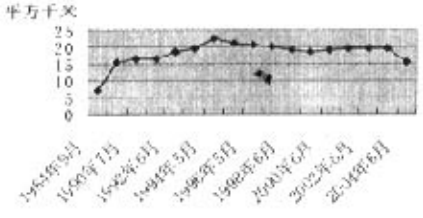
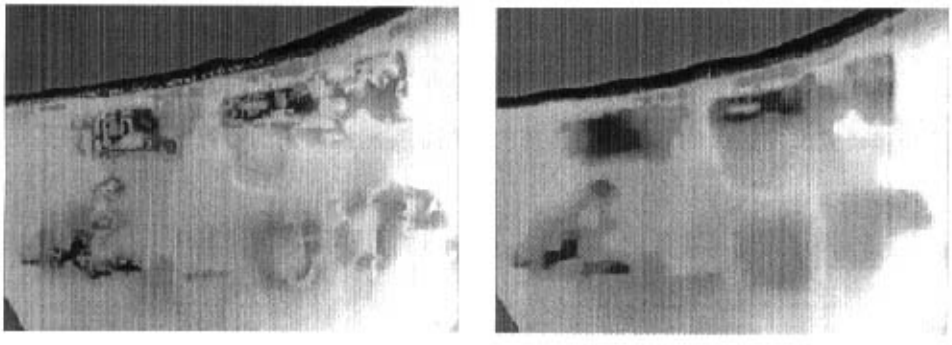


图 5-9 龙口市海岸带分区海水入侵状况

5.2.3.3 地表塌陷

龙口市北部平原海岸带煤炭资源丰富，是全国最大的滨海型煤炭生产基地，

煤炭的开采促进了龙口市的经济发展，但同时也给海岸带带来严重的资源和环境问题。煤矿的长期开采造成地表塌陷，重度塌陷深度一般在 5-9 米之间，轻度塌陷一般在 2-3 米之间。图 5-10 为 1996 年和 2004 年龙口北皂煤矿和梁家煤矿的部分塌陷 DEM 图，1996 年到 2004 年塌陷深度由轻度塌陷转变为重度塌陷，塌陷范围由局部塌陷演化为连片塌陷，塌陷现象日益严重，已成为影响龙口市海岸带变化的一个不可忽视的重要因素。轻度塌陷区凸凹不平，形成岗、坡、洼相间的复杂微地貌，一定程度上影响该地区的土地利用；深度塌陷区常年积水，致使海岸水域面积近几年来急剧扩大。目前塌陷区至海岸之间的地面标高仅有 1.5-3.6 米，比塌陷前降低了 2-3 米，这种状况如果不加以控制，任其继续塌陷，有可能与海平面齐平，甚至低于海平面，引起海水严重入侵，海岸线向陆后退，将整个塌陷区吞噬，如附图 5 所示。这种可能性是非常大的，因为龙口煤矿的开采重点已经转移到海底。



1996 年塌陷状况　　2004 年塌陷状况

图 5-10　龙口市北皂煤矿和梁家煤矿 1996 年和 2004 年的部分塌陷 DEM 图

6. 结论与展望

6.1 结论

本文以龙口市海岸带动态监测为全文主线，以 RS、GIS 集成应用为主要技术手段，辅以地学知识的支持，综合应用多时相遥感影像数据、水文统计数据、社会经济统计数据等多元信息，从遥感专题信息提取、动态变化分析和驱动因素分析三个角度，对龙口市海岸带变化的相关内容进行了系统研究。得到结论：