

厦门湾城市化过程的人口资源环境与发展调控

林桂兰^{1,2}, 左玉辉¹

(1. 南京大学环境学院污染控制与资源化国家重点实验室, 南京 210093;

2. 国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005)

摘要: 首先剖析城市化过程 PRED 演变的“五律协同”原理和 PRED 演变轨迹的数学概念模型, 在此基础上提出海湾地区城市化过程 PRED 演变的“六位一体”宏观调控模型及其指标体系和灰度评估模型; 然后从规划的角度设计海湾地区“六位一体”的调控方案框架, 通过“六位一体”指标的评估和调控, 确保海湾地区 PRED 遵循“五律协同”原理有序协调地演进; 最后以厦门海湾为例。厦门城市已进入较高级的发展阶段, 第一产业已基本为第二、第三产业所替代, 海湾资源的开发利用相当密集, 湾内有中华白海豚、文昌鱼等海洋珍稀物种, 还有以红树林为代表的海洋生态湿地; 经分析评估, 其城市化过程 PRED 演变“六位一体”的灰度值为 75.725; 保持 PRED 协调演进应加强调控的主要方面是: 保护重要的生态源和陆海之间的生态廊道、防止深水港口岸段和航道的淤积、“控源导流”缩减陆源污染、塑造海湾特色景观和岛链景观、保持港口航运业和滨海旅游业的主导作用并选择性地发展临海工业和海洋新兴产业等。

关键词: PRED 调控; 城市化过程; 海湾地区; 厦门湾

1 引言

PRED (Population, Resource, Environment, Development) 是当今世界人地关系的四大焦点问题, 并且人地关系矛盾的协调过程自古到今一直是地理学和其他相关科学重点研究的综合课题^[1,2]。资源是基础支撑, 环境是限制条件, 人口是主要作用力, 发展是宗旨, 其理论轨迹符合逻辑斯谛 (Logistic) 方程^[3], 四者的协调性关系到一个地区的社会经济可持续发展程度。目前研究的区域大多在陆域范畴, 如中国西部干旱区 PRED 可持续度模型^[4]、流域地区 PRED 系统的模型分析和综合评价^[5]、基于熵变机制的湖泊地区 PRED 调控^[6]、水资源调配中的 PRED 综合论证^[7]等。海湾因生物生产力高和资源富集, 且有海港之交通便利而处于经济全球化的门户区位, 如果其地形、气候、水文等立地条件适宜人类聚居, 很快就成为人口和经济密集区, 并沿着海湾形成城市带或城乡绵延带。在此过程中, 海湾资源的开发利用方式逐步从比较单一的水产捕捞、水产养殖、航运交通向多元化、多层次的临海工业、滨海旅游业等转变, 并且随着陆地资源不断减少, 有些还被填海造地作为陆域空间的拓展。而海湾由于湾口狭窄, 具有半封闭体系的地理特征, 受陆海交互作用、气候变化以及海洋灾害 (如台风风暴潮) 等的影响, 其资源环境呈现出明显的敏感性和脆弱性。例如, 福建湄洲湾作为深水港湾, 在人类持续活动的影响下, 出现了海域污染和生态退化的问题: 海岸带人工开发地块数量多且规模大, 植被破坏严重, 生境系统同质性高而异质性低; 海湾无机氮、活性磷、石油类污染物增多, 因海湾深入内陆, 风浪小, 海水复氧能力低, 与外海海水的交换周期长, 导致海水水质严重下降; 海陆交互影响, 区域的生物生产力大大降低^[8]。又如, 深圳海湾因城市建设和临海工业、港口建设需要, 潮滩被大片围填造陆, 导致海湾纳潮量减少 15.6%, 西部港区浅滩 5 m 等深线以上

收稿日期: 2006-10-23; 修订日期: 2006-11-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(40576024) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40576024]

作者简介: 林桂兰 (1965-), 女, 博士研究生, 研究方向为资源与环境体系的调控与规划。E-mail: lglxmcn@126.com

面积从1987年的558 km²扩展为624 km²；深槽水道向海退缩，宽度变窄；近岸水域污染严重，赤潮频发，红树林湿地减少31.6%^[9]。因此城市化过程中海湾资源开发引起的次生资源环境问题将成为城市发展的制衡因素，解决问题的关键在于如何保持PRED的有序性和协同性。

2 城市化过程PRED演变的“五律协同”

2.1 PRED演变的“五律协同”过程

黄明知等^[4]认为，PRED系统的5个典型因素为人口P、资源R、环境E、制度S和技术A，并通过对中国历史上的古楼兰王国、印度、加拿大、俄罗斯、沙特阿拉伯、伊拉克、以色列、日本等国家或地区PRED的对比得出结论：人口过多或过少可能促进或阻碍一个国家或地区的经济发展，自然资源的丰缺、地理环境的优劣在很大程度上也会增加或降低经济可持续发展的难度，只有制度才是最终制约PRED系统的决定因素，而技术则是潜在的生产力，只有在完善的制度下才能转化为社会生产力。实际上，制度属于社会系统范畴，每个国家或地区根据各自的实际情况和文化背景会产生不同的制度；纵观PRED的演进历史，其支配规律可以概括为五类^[10, 11]：自然规律、社会规律、经济规律、技术规律和环境规律（简称“五律”，five rules）。人类依据规律制定相应的规则，对应于“五律”，有“五则”（five regulations），即自然法则、社会规则、经济规则、技术规则、环境规则；其中自然法则属于非智力行为的规则。显然，偏离规律的规则是发展的离心力，背离规律的规则是发展的阻力，只有顺应规律的规则才是发展的动力。

乔标、方创琳^[12]认为，城市化过程包括4个层面：人口城市化（农业人口向非农业人口转换、人口向城市集中）、空间城市化（城市地域范围的不断推进和扩展、城市数目的增加）、经济城市化（农业活动向非农业活动的转换、经济结构的优化和升级）、社会城市化（城市生活方式、价值观念、城市文化的渗透、扩散和传播）。Knapp B认为^[13]，城市化过程或者从初次产业开始积累呈螺旋式上升发展，或者接受邻近地区的产业辐射，其主导产业一般从劳动密集型向资本密集型和技术密集型逐渐迈进。当经济足够发达的时候，则开始进入知识经济产业（管理、教育、科研、金融、保险、贸易等）的增长阶段，同时劳动密集型生产将被逐渐转移出去，资本和技术密集型产业将成为城市发展的支撑。在这个过程中，会伴随着资源（能源）的消耗、环境的下降、生态的退化，而后随着人类生产技术的进步和科学的发展，人与自然的不断地进行交互协调。Pasche M^[14]认为，城市化水平与生态环境存在着倒“U”型的演变规律；方创琳等^[15]认为，城市化与生态环境交互耦合过程必须遵循“耦合裂变律、动态层级律、随机涨落律、非线性协同律、阈值律和预警律”六大定律。归纳起来，城市化过程的“五律协同”模式如图1。

海湾地区的高生物生产力和高资源富集以及高区位场势（具有内陆和海外的双向腹地），决定其在城市化过程中的自组织趋势将向高级阶段演进，PRED的协调度关系到其发展速度和可持续程度。城市化起步以前，海洋资源环境系统处于自然状态，人类的活动形式主要是初级的渔业生产、舟楫运输，对海湾的地形地貌、水动力条件、生态环境影响甚微，相当于人类嵌入“生态链”中的某个环节而形成复合系统；城市化快速起步以后，人口快速聚集，人类的活动形式逐渐社会化，主要表现为大规模高密度的水产养殖、发展临海工业、临海旅游业和港口航运业等，这相当于“生态链”中的某个环节过分扩张；随着活动范围和强度不断扩张，自然资源环境系统不断萎缩，“瓶颈”不断出现，例如资源紧缺、人类活动污染物累积等，导致发展受限制；这就是PRED的一个典型“S”型轨迹周期。这时人类不得不调整生产生活方式，以寻求“状态跃迁”，出现新一轮的“S”型发展，并且在新一轮的发展中，人类的认识水平和科技水平有所提高，必

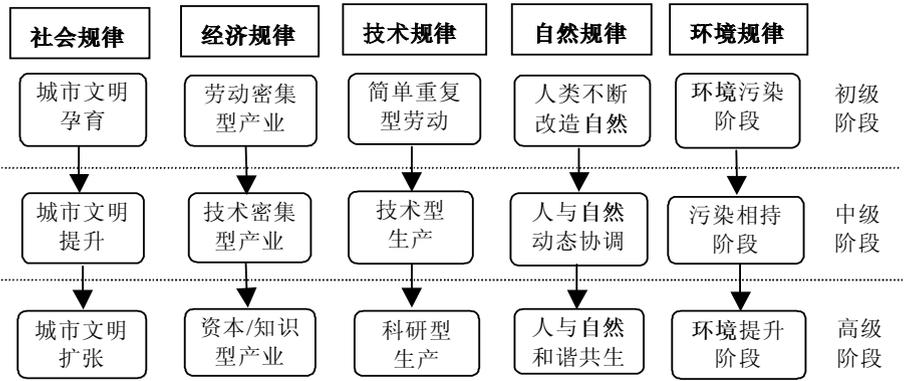


图 1 城市化过程的“五律协同”框架

Fig. 1 Theory of synergism of five rules in the urbanization process

然对海湾的港口资源、水产资源、旅游资源、空间资源等进行优化整合，追求以最低的资源消耗和环境代价获取较高的经济产值。

2.2 PRED 演变轨迹的数学概念模型

城市化起步以后，人类的生产和生活活动将成为城市所在海湾资源与环境演变的主要驱动力，PRED 的关系主要体现在城市化过程的动力因素和限制因素之间的动态平衡点的不断跃变。根据具有多重定态、且在跃迁中具有滞后效应的数学模型^[16]：

$$dx(t)/dt = a - bx + rf(x) \tag{1}$$

式中：参数 a 代表城市化的速度， x 代表影响城市化进程的因素， b 为 x 的衰退速度， r 为 x 以 $f(x)$ 的形式进行恢复的速度。

影响城市化进程的因素，例如人口、资源、环境、经济、科技、文化、体制等，其演变形式大多呈“S”型规律，因此 $f(x)$ 一般采用 Hill 函数： $f(x) = x^q/(x^q + h^q)$ ；其中 q 为形状参数，取值越大，S 型曲线越陡峭； h 为半饱和常数。

首先，考虑城市化进程资源和环境相互作用，资源减少和环境退化的演变轨迹模型可表示为^[17]：

$$dR/dt = \alpha R(1 - R/R_{\max}) - \beta RE^q/(E^q + E_d^q) - H \tag{2}$$

式中： R 为资源存量， R_{\max} 为自然资源最大储量， α 为资源的再生率， E 为环境状态， E_d 为环境半饱和常数， β 为环境限制下的资源损失率， H 为城市化发展对资源的消耗速度。

$$dE/dt = E_0 - \delta RE \tag{3}$$

式中： E_0 为城市化对环境的污染和破坏程度，与人口、科技、文化、体制等相关； δ 为资源对环境污染和破坏的消纳速度， δR 为环境的修复速度。

其次，考虑城市化过程中受资源环境的限制，人口增长轨迹模型可表示为^[3]：

$$dp/dt = r(1 - P/K) \tag{4}$$

式中： $P = K/(1 + ce^{-rt})$ ， $c = (K - P_0)/P_0$ ， r 为人口的内禀自然增长率， P 为人口数， P_0 是 t_0 时刻的人口数， K 是资源环境的限制容量。

上述 (2) (3) (4) 数学概念模型是目前城市化过程 PRED 演变轨迹的高度概括，经济、科技、文化、体制等其他要素的演变轨迹模型亦可类推。

3 海湾地区城市化过程 PRED 调控

3.1 基于“五律协同”的调控理念

海湾地区是一个整体的综合系统，在其城市化过程中离不开“五类规律”的作用，

显然，只有顺应“五律协同”关系才能获得最快的发展动力。根据上述 PRED 演变轨迹的数学概念模型可知，PRED 之间是相互关联、相互影响的，任何单要素的调控不可能调到真正意义上的调控，因此从可操作性出发，选择以“生态、安全、健康、景观、文化、经济”六个方面（简称“六位一体”，integration of six factors）作为调控指标(图 2)；其与“五类规律”的相互关系如图 3。其中，海湾之生态、安全、健康是第一层次的，属于海湾人口、资源、环境协调发展的基础保障；海湾之景观、文化内涵是第二层次的，是在生态、安全、健康的基础上融进了海湾自然和人文特色、经过历史积淀而逐渐发展的；海湾之经济价值是第三层次的，是建立在海湾之生态、安全、健康基础之上，在一定意义上融汇了海湾之景观、文化特色而表现出来的海湾生产力的价值。该调控方案把 PRED 的人口、资源、环境过程蕴含于调控指标中，旨在从结果把握过程、追溯动因，从宏观规划的战略高度控制海湾地区人口资源环境的演变。当某一方面较其他方面处于较低位态时，表明该海湾 PRED 有某个环节不协调，需要寻找动因加以改善。

为使该“六位一体”调控指标具有可操作性，需进一步通过相关性和主成分分析筛选评价指标，构建海湾“六位一体”的灰色评估模型。由于文化、景观、生态等要素难

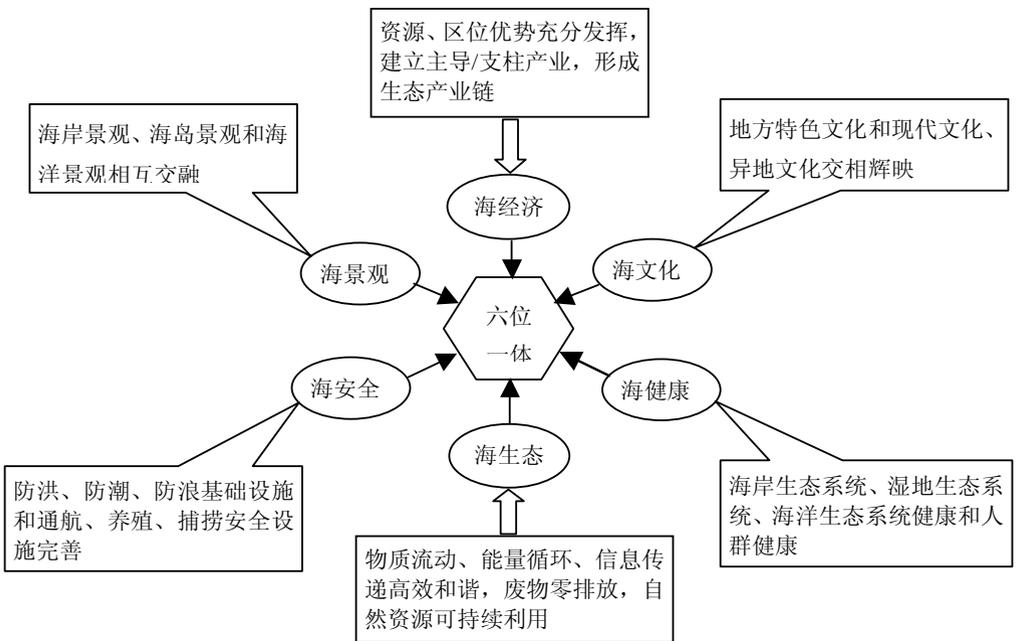


图 2 城市化进程中海湾复合系统“六位一体”内涵

Fig. 2 Connotation of integration of six factors in complex bay-system in the urbanization process

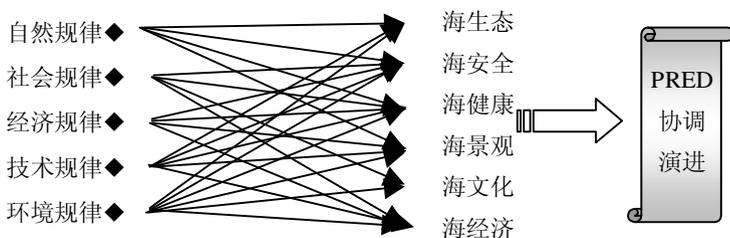


图 3 “五律协同”与“六位一体”的关系

Fig. 3 Relationship between synergism of five rules and integration of six factors

以用量化的数字反映其面貌和本质，也由于其中筛选的诸多评价因子无明确的外延边界，只能基于评价者的主观判断，因此采用模糊综合评价，即首先采用层次分析法及专家咨询法等计算指标体系中各评价指标的权重，并对各评价指标数据采用极差标准化和专家级分法标准化^[18]进行处理，以解决不同指标间不可比的问题，然后在确定因子的评价等级标准和权重的基础上，运用模糊集合变换原理，以隶属度描述各因素及因子的模糊界限，构造模糊评价矩阵，通过两个层次的复合运算，最终确定评价对象所属的等级(表1)。

3.2 “六位一体”调控方案设计

前面的分析可知，城市化 PRED 的演变过程即不断增多的人口不断地索取自然资源、并不断地向环境排放污染物，因而海湾 PRED 调控的宗旨即协调海湾资源的有限性与人类发展对资源需求的无限性之间的矛盾，协调人类改变海湾生态环境的快速性与生态环

表 1 海湾城市化过程中 PRED“六位一体”指标体系

Tab. 1 Evaluation index of six functional factors of PRED in the bay urbanization process

准则层		指标层		评估等级				备注
名称	权重	名称	权重	差	中	良	优	模糊评价, 分为优良中差四个等级
海生态 S _e	0.12	岸线曲折率 (%) S ₁₁	0.20	20	40	60	80	反映生物生境特征、水动力作用特征等
		自然岸线比率 S ₁₂	0.20	20	40	60	80	自然岸线比人工岸线更具生态服务价值
		物种多样性指数 S ₁₃	0.30	低	中	高	很高	生态平衡最重要的指示指标之一
		保护区覆盖率 (%) S ₁₄	0.30	20	40	60	80	反映生境的特殊性和受保护的状态
海安全 S _s	0.18	防洪/防潮/防浪能力 S ₂₁	0.30	较差	一般	较完善	完善	海湾安全的基本指示指标
		风险、污染预防能力 S ₂₂	0.20	较差	一般	较强	强	反映海湾抵御干扰和破坏的能力
		海岸侵蚀稳定性 S ₂₃	0.25	较差	一般	较稳定	稳定	沿岸泥沙运移, 反映海岸工程活动稳定性
		滩槽冲淤稳定性 S ₂₄	0.25	较差	一般	较稳定	稳定	海域泥沙运移, 反映海上活动安全情况
海健康 S _h	0.28	水质功能区达标率 (%) S ₃₁	0.40	40	60	80	100	参照《海水水质标准》
		沉积物质量达标率 (%) S ₃₂	0.30	40	60	80	100	参照《海洋沉积物质量》
		生物受污染状况 S ₃₃	0.30	严重	污染	轻微	无	采用贝类/鱼类/甲壳类等受污染情况作为指示
海景观 S _v	0.12	海岸海岛景观美感度 S ₄₁	0.20	较差	一般	较好	好	对海岸、海滩地形地貌美学特征的定性评价
		海水海面景观美感度 S ₄₂	0.20	较差	一般	较好	好	海水颜色/涨落波动/海岛地形地貌等美学特征
		人工构筑物景观美感度 S ₄₃	0.30	较差	一般	较好	好	临海人工建筑特征及其与周围谐配程度
		滨海旅游区覆盖率 (%) S ₄₄	0.30	20	40	60	80	反映滨海自然与人文景观的价值和开发程度
海文化 S _c	0.12	海文化多样性指数 S ₅₁	0.35	较差	一般	较多	多	多层次/角度的文化特色, 体现文化的丰富程度
		海文化的历史积淀 S ₅₂	0.40	较差	一般	较深厚	深厚	海文化历史底蕴的定性评价, 体现文化特色
		海文化公众参与性 S ₅₃	0.25	较差	一般	较好	好	体现各种文化的公众认同度与参与程度
海经济 S _{ec}	0.18	海洋经济多样性 S ₆₁	0.25	较差	一般	较多	多	水产/港航/旅游/工矿/药业/能源等的构成
		主导产业及产业链 S ₆₂	0.35	未突显	凸显	形成链	多链	产业结构的优化调整程度以及产业链的状况
		海洋综合效益 (元/km ²) S ₆₃	0.40	较差	一般	较好	好	经济效益、生态效益与社会效益的综合评价

注：准则层的指标权重一方面用于体现其重要性，另一方面用于进行不同海湾 PRED 的协调度比较时作模糊定量统计，这时可把评估等级按优、良、中、差以 90、75、60、45 分计算。

境调节恢复的缓慢性之间的矛盾，防止海湾资源、环境发生灾变而限制或阻碍人类的发展。而资源和环境的量化调控相对是比较困难的，如果从规划的角度进行开发利用过程的调控，这无疑将是比较可行的。规划是在一定时期内通过对社会经济发展需求作出预测的基础上对海湾资源的开发利用进行空间和时间上的统筹部署，规划的实施是可持续发展战略的有效工具^[19]，并且美国经济学家 Pearce 认为城市发展与资源环境存在着相应的时序特征^[20]。按照上述“六位一体”的调控目标，调控方案与步骤设计如图 4。

首先，在海洋功能区划阶段，进行重要的资源和环境系统识别，从海陆相互衔接的协调性出发，优化城市岸段、生产岸段、生态岸段的海岸功能格局以及生产用海、生态用海的海域功能格局；其次，在海域使用总体规划阶段，从“五律协同”原理出发，预测海湾城市化进程的社会经济发展趋势，对海洋产业结构和空间布局根据资源定位、海陆衔接的原则进行优化整合，对连接海陆之间和海湾内外的重要生态廊道和生态嵌块进行保护性的开发利用；最后，进行相关行业的调控和规划，选择具有优势的主导/支柱产业构建生态产业链，加强产业之间的关联，实现行业之间的彼此共生协调发展。这样通过各种规划的有序实施以及“六位一体”指标体系的评估和反馈、调整，使海湾城市化过程 PRED 逐步达到“六位一体”的规划目标（规划目标随城市化的不同阶段不断提升）。

4 厦门海湾案例分析

4.1 研究区域 PRED 演变过程概况

厦门湾原是一个沿着断裂活动带发育的山地河谷，全新世全球性海侵时河谷沉溺而形成今日的海湾，湾口外的大、小金门岛、浯屿岛、大担、二担等诸岛屿环绕形成天然屏障，湾内又有鼓浪屿、鸡屿、青屿、猴屿、大屿、火烧屿等岛屿屹立，形成湾内潮汐通道的分叉汇合。厦门自然景观与人文景观俱佳，素有“海上花园”和“中国的夏威夷”之美誉；厦门海湾具有天然的深水航道、港口岸线以及广阔的腹地；厦门海域既有中华

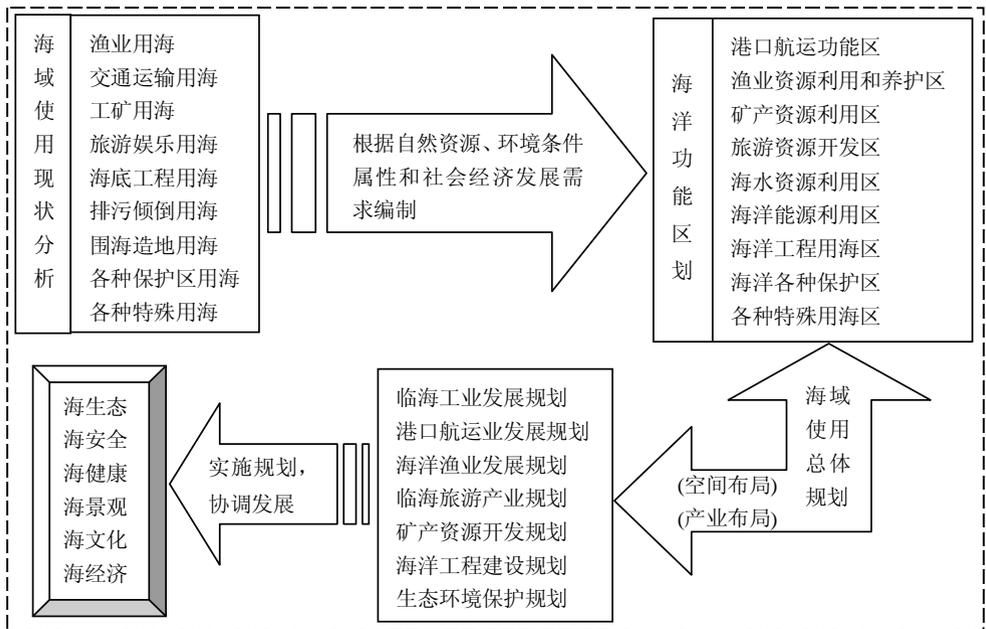


图 4 “六位一体” 调控方案

Fig. 4 Controlling schedule of integration of six factors

白海豚、文昌鱼等海洋珍稀物种，又有成群的白鹭以及鸟类（候鸟）栖息，还有以红树林为代表的海洋生态湿地。湾内的厦门岛、鼓浪屿为厦门城市主城区，环湾周边自西向北到东依次分布有漳州市的招银开发区、厦门市的海沧区、集美区、同安区、翔安区，人口约230万人。厦门城市定位为“现代化国际性港口及风景旅游城市”，城市发展已进入较高级阶段，第一产业已基本为第二、第三产业所替代，2005年三次产业比例为2.0:55.6:42.4（厦门市2005年统计公报），按常住人口计算，人均GDP 5584美元。从“五律协同”作用原理出发，预测厦门海湾城市的终极人口规模在400万人之内（限制因素为土地资源 and 淡水资源），海洋经济的发展导向将是港口航运业、滨海旅游业、休闲渔业和高新技术科技产业（资源基础、科技基础和社会基础决定）。

4.2 研究区域“六位一体”指标评估结果及调控重点

厦门海湾“六位一体”指标评估结果及其分析说明如表2。

由表可计算出，厦门海湾 PRED “六位一体”灰色评估得分 75.725。以此结果追溯动因，可以发现限制厦门海湾 PRED 协调演进的主要因子有自然海岸的大量人工化、海水水质问题、滩槽（航道）的淤积等。自然海岸被钢筋水泥所替代，降低潮间带对陆地地表漫流污染物的自净能力，鸟类等湿地生物群落的生境受损、海陆生态廊道被阻断；海

表 2 厦门海湾 PRED“六位一体”指标评估

Tab. 2 Evaluation index of six functional factors of PRED in Xiamen Bay

准则层		指标层		灰度评估得分 (标准化处理)	评估结果 分析与说明
名称	权重	名称	权重		
海 生 态 S _e	0.12	岸线曲折率 (%) S ₁₁	0.20	90	自然岸线长度与湾口直线长度之比约 1:11.3
		自然岸线比率 S ₁₂	0.20	45	厦门湾自然岸线几乎为人工岸线所替代 ^[21]
	物种多样性指数 S ₁₃		0.30	75	厦门湾已记录物种 5713 种 ^[22]
	保护区覆盖率 (%) S ₁₄		0.30	75	中华白海豚/文昌鱼/白鹭自然保护区，面积约 330 km ²
海 安 全 S _s	0.18	防洪/防潮/防浪能力 S ₂₁	0.30	90	达到城市防浪、防潮标准的岸段超过 70%
		风险、污染预防能力 S ₂₂	0.20	75	较多的监测、管理、技术、救助保障措施
	海岸蚀淤稳定性 S ₂₃		0.25	75	多为人工岸，陆域来沙较少，但存在海域来沙、波浪侵蚀
	滩槽冲淤稳定性 S ₂₄		0.25	60	河口以及海域来沙、各潮汐通道的潮流流速差异等因素
海 健 康 S _h	0.28	水质功能区达标率 (%) S ₃₁	0.40	60	四类和劣四类水质海域占 50% 以上*，有时发生赤潮
		沉积物质量达标率 (%) S ₃₂	0.30	75	沉积物基本达标，重金属污染和有毒污染轻微 ^[23]
	生物受污染状况 S ₃₃		0.30	75	采样贝类/鱼类/甲壳类等未发现重金属和有毒污染*
海 景 观 S _v	0.12	海岸海岛景观美感度 S ₄₁	0.20	75	基岩、红树林、人工海岸，沙滩，泥滩等，视觉较好
		海水海面景观美感度 S ₄₂	0.20	75	港航景观、海岛景观较好，养殖已基本退出
	人工构筑物景观美感度 S ₄₃		0.30	75	临海楼房、亭台建筑与周围比较谐配
	滨海旅游区覆盖率 (%) S ₄₄		0.30	90	东侧海域、鼓浪屿、火烧屿等岛屿周边海域均为旅游区
海 文 化 S _c	0.12	海文化多样性指数 S ₅₁	0.35	75	渔业文化、航海文化、滨海休闲文化等
		海文化的历史积淀 S ₅₂	0.40	75	妈祖文化、梭船/龙舟民俗文化、“海丝”文化等源远流长
	海文化公众参与性 S ₅₃		0.25	90	海上运动、滨海旅游、海鲜美食等均非常普及
海 经 济 S _{ec}	0.18	海洋经济多样性 S ₆₁	0.25	75	港航、旅游、水产、海水利用等海洋经济形式
		主导产业及产业链 S ₆₂	0.35	75	港口航运业、旅游业为主导，形成初步产业链
	海洋综合效益 S ₆₃		0.40	75	厦门海湾海洋产业产值较高，生态效益、社会效益较佳**

* 依据《厦门市海洋环境质量公报》；**无统计数据来源，国内横向比较的主观评估结果。

水水质环境问题将直接影响海洋生物并通过食物链影响人类、也影响人类的亲水活动本性,进而影响滨海旅游的发展;滩槽冲淤变化将直接影响航道的稳定和船舶的通航安全、影响岸滩稳定等。根据“现代化国际性港口及风景旅游城市”的定位和发展趋势,厦门海湾 PRED 的宏观调控应侧重以下几个方面:

(1) 保护厦门海湾的重要生态源,保护重要的自然生态海岸和海域,维护陆海之间的生态廊道。加强红树林岸段、沙滩岸段、鸟类(候鸟)湿地的保护以及中华白海豚、文昌鱼、白鹭自然保护区的保护和生态修复,维系海湾的生物多样性,保持厦门海湾生态系统的完整性和生态过程的可持续性。

(2) 摸清厦门海湾的陆域泥沙来源和海域泥沙来源,借助数模或物模掌握各潮汐汉道分流比和冲淤变化趋势以及沿岸输沙趋势,与海港工程、海岸防护工程、海堤改造工程以及填海造地工程进行有机地结合,防止海岸侵蚀和深水岸段/航道的淤积,保障汇水区的排洪能力和海岸地区的防潮/防浪能力,保证厦门海湾的安全性。

(3) 弄清厦门海湾的污染源及其污染物性质。对城市工业尾水和生活污水严格实施达标排放,对汇入厦门海湾的九龙江流域、同安东西溪流域、马銮湾汇水区、杏林湾汇水区、东坑湾汇水区的区域尾水借鉴“控源导流”和生态工程处理(如结合都市渔业适当地进行海藻养殖、重要湿地的生态修复、特别是九龙江入海垃圾的拦截处理)相结合的模式,禁止船舶在湾内排污,实现海域水质的全面达标,保障生态系统和人群的健康。

(4) 塑造海岸带和海岛景观,遵从景观生态学原理,从系统上综合协调陆域山体、海岸、岛屿、礁石、植被、水体、海面动象(如船舶、游艇)、天象等景观元素的关系,自然景观与人文景观有机结合,兼顾景观的时相变化(昼夜、季节),使西海域的海港景观、东海域的海峡景观、南海域的湾口景观、同安湾的海湾景观、马銮湾/杏林湾/东坑湾的湿地景观、明珠镶嵌的岛链景观,与滨海城市景观交相辉映。

(5) 体现海洋与厦门发展历史的关系,把当地传承已久的闽南文化以及有关海的故事、传说、节庆仪式等有机地融入滨海旅游和休闲娱乐活动之中,把厦门地方钓船/梭船建造文化、海上丝绸之路文化等融入滨海景观设计中,展现海港、商贸往来以及抗御海上侵略的历史,使厦门海文化的历史和特色得到不断的宣扬。

(6) 加强港口航运和滨海旅游业的优势地位及其辐射带动作用,选择性地发展临海工业和海洋新兴产业,完善海洋经济体系。在传统渔业退出的同时,发展高科技渔业和高附加值渔业,例如都市休闲渔业、工厂化养殖业等,以缓解沿海渔民的转产转业和经济来源问题。

5 结论

海湾是人类通向海洋的桥头堡,具有面向外海和内陆的双向辐聚作用,其人口、资源、环境与发展问题迫切需要强有力、可操作的理论和方法体系作为指导。“五律协同”原理剖析了海湾地区城市化过程 PRED 的支配规律及其有序协调演进的机制,“六位一体”调控指标体系及其灰度评估模型、调控规划方案为海湾城市化过程 PRED 的有序协调演进提供了可操作的调控手段。由于海洋经济体系(特别是跨行政区域的海湾)目前还没有统计核算制度,相关指标和目标难以量化,但该调控理论和方法可提供一种比较全面的理念和导向,通过不同城市化程度的代表性海湾地区之间“六位一体”的协调度比较和调控,保证 PRED 的各个影响因素不超出限制阈值,使 PRED 演变轨迹保持在其逻辑斯谛数学概念曲线的上升范围内,并且不同海湾的 PRED 特色将得以彰显。

参考文献 (References)

- [1] Fang Chuanglin. Recent progress of studies on man-land relationship and its prospects in China. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(suppl.): 21-32. [方创琳. 中国人地关系研究的新进展与展望. *地理学报*, 2004, 59(增刊): 21-32.]
- [2] Mao Hanying. *Man-earth System and Regional Sustainable Development*. Beijing: China Science & Technology Press, 1995. 48-60. [毛汉英. 人地系统与区域持续发展研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 48-60.]
- [3] Zhang Zhiqiang. The method for regional PRED system-analysis and decision making. *Geographical Research*, 1995, 14(4): 62-68. [张志强. 区域 PRED 的系统分析与决策制订方法. *地理研究*, 1995, 14(4): 62-68.]
- [4] Zhou Zhe, Xiong Heigang, Han Qian. Progress of study on Chinese regional P-R-E-D system. *Arid Land Geography*, 2004, 27(2): 266-272. [周哲, 熊黑钢, 韩茜. 中国区域 PRED 系统研究进展. *干旱区地理*, 2004, 27(2): 266-272.]
- [5] Chen Rui, Wang Jian, Wang Yunlin et al. Sustainable development evidence research of Keriya River Valley PRED System. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2005, 25(12): 13-19, 33. [陈锐, 王俭, 汪云林等. 克里雅河流域 PRED 系统的可持续发展实证研究. *系统工程理论与实践*, 2005, 25(12): 13-19, 33.]
- [6] Zhang Yi, Deng Hongbing. A study on the PRED system and optimize regulation of lake zone. *Journal of Central China Normal University (Natural Sciences)*, 2006, 40(2): 282-286. [张毅, 邓宏兵. 湖区 PRED 系统及其优化调控问题研究. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 40(2): 282-286.]
- [7] Chen Jianyao, Yu Jingjie, Liu Changming. A PRED synthetic analysis approach to regional water resources use and transfer. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(3): 302-308. [陈建耀, 于静洁, 刘昌明. 水资源调配中 PRED 综合论证的初步研究. *地理学报*, 2000, 55(3): 302-308.]
- [8] Zhang Mu. A study on the degraded gulf ecosystem of the coastal area: taking the case of Meizhou Gulf. *Fujian Geography*, 2001, 16(2): 5-8. [章牧. 海岸带海湾生态系统生态退化的研究: 以湄洲湾为例. *福建地理*, 2001, 16(2): 5-8.]
- [9] Guo Wei, Zhu Dakui. Reclamation and its impact on marine environment in Shenzhen, China. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 2005, 41(3): 286-296. [郭伟, 朱大奎. 深圳围海造地对海洋环境的影响分析. *南京大学学报(自然科学版)*, 2005, 41(3): 286-296.]
- [10] Huang Mingzhi, Luo Ronggui, Zhang Shoufeng. A five-factor analysis model for the sustainable development of typical PRED system. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(2): 159-162.
- [11] Zuo Yuhui. *Re-thinking on Theory System of Environmental Science*. Beijing: Higher Education Press, 1999. [左玉辉. 环境学理论架构的再思考. 北京: 高等教育出版社, 1999.]
- [12] Zuo Yuhui. *Environmental Science*. Beijing: Higher Education Press, 2002. [左玉辉. 环境学. 北京: 高等教育出版社, 2002.]
- [13] Qiao Biao, Fang Chuanglin. The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and eco-environment and its application in arid area. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3003-3009. [乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用. *生态学报*, 2005, 25(11): 3003-3009.]
- [14] Knapp B. *Economic growth and regional development*. In: *Systematic Geography*. London, 1986.
- [15] Pasche M. Technical progress, structural change, and the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 2002, 42: 381-389.
- [16] Fang Chuanglin, Yang Yumei. Basic laws of the interactive coupling system of urbanization and ecological environment. *Arid Land Geography*, 2006, 29(1): 1-8. [方创琳, 杨玉梅. 城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律. *干旱区地理*, 2006, 29(1): 1-8.]
- [17] Chen Liujun, Fang Fukang. On the mechanism of catastrophic shift in natural resource and environmental system. *Complex Systems and Complexity Science*, 2004, 1(2): 1-8. [陈六君, 方福康. 自然资源环境系统的突变机制. *复杂系统与复杂性科学*, 2004, 1(2): 1-8.]
- [18] Zuo Wei, Wang Qiao, Wang Wenjie et al. Study on regional ecological security assessment index and standard. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18(1): 67-71. [左伟, 王桥, 王文杰等. 区域生态安全评价指标与标准研究. *地理学与国土研究*, 2002, 18(1): 67-71.]
- [19] Forbes D. Planning for performance: requirements for sustainable development. *Habitat Intl.*, 1996, 20(4): 445-462.
- [20] Pearce D. *Economics of Natural Resources and the Environment*. New York: Harvester Wheatsheaf, 1990. 215-289.
- [21] Lin Guilian, Zuo Yuhui. Cumulative ecological effects assessment on resource exploitation and utilization in bay. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(3): 432-440. [林桂兰, 左玉辉. 海湾资源开发的累积生态效应. *自然资源学报*, 2006, 21(3): 432-440.]
- [22] Huang Zongguo (ed.). *Diversity of Species in Xiamen Bay*. Beijing: China Ocean Press, 2006. [黄宗国 主编. 厦门湾物种多样性. 北京: 海洋出版社, 2006.]
- [23] Zhang Yuanbiao, Lin Hui. Concentrations and distributions of DDTs, HCHs and PCBs in surface sediments of Xiamen sea areas. *Journal of oceanography in Taiwan Strait*, 2004, 23(4): 423-428. [张元标, 林辉. 厦门海域表层沉积物中 DDTs、HCHs 和 PCBs 的含量及其分布. *台湾海峡*, 2004, 23(4): 423-428.]

PRED Regulation of Xiamen Bay in the Process of Urbanization

LIN Guilan^{1,2}, ZUO Yuhui¹

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Environment School of Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China)

Abstract: Population, resource, environment and development (PRED) is a focus question of human-earth relationship and an everlasting subject of geographic research. The theory of synergism of five rules in PRED and conceptual mathematical model of PRED evolution trajectory were analyzed, then the controlling macro-model of integration of six factors and its grey index assessment system in bay area were proposed whereby. Also the regulation programs for PRED of bay area evolved in a well-ordered way was devised. The synergism of five rules, refers to the coupling of natural rule, social rule, economic rule, environmental rule and technical rule. The integration of six factors means organizing of ecotype, safety, health, landscaping, culture and profit. The reciprocity of synergism of five rules and integration of six factors is interdependent.

Take the Xiamen Bay as an example. The city of Xiamen has reached a highly developed stage, whose first industry has nearly been replaced by the secondary and tertiary industries, but oceanic species like Chinese dolphin, lancelet, etc. and mangrove wetland were preserved. The grey assessment result of integration of six factors is 75.725, indicating that main limiting factors of PRED in the Xiamen Bay are artificial coastline, seawater pollution and shipping channel siltation. The focus of PRED regulation should be: protect coastal eco-source, prevent port and shipping channel from silting, curtail pollution from land, improve landscape of coastline and islands, keep the predominance of sea transportation industry and travel industry and expand to new & high-tech oceanic industries.

The study shows that the theory of synergism of five rules and integration of six factors brings a general idea and oriental guide for PRED in bay area, and planning foreseeingly on resource utilization and environmental protection is an exercisable controlling means. Based on the continually comparison and adjustment of six factors among several representative bays, each factor of PRED will keep in a well-ordered way, the conceptual mathematical curve of PRED evolution trajectory will keep ascending, and the distinction of PRED of each bay will be revealed.

Key words: PRED regulation; urbanization process; bay area; Xiamen Bay