



基于GIS的淤泥质潮滩侵蚀堆积空间分析

作者: 李恒鹏 杨桂山

通过野外滩地长期水准详测资料, 利用地理信息系统的GRID和TIN模块产生潮滩高程、坡度、二维剖面、侵蚀与堆积分布图, 并获取测点所在位置的高程、坡度和侵蚀量。对获取的数据及空间分布图进行分析, 结果表明: 侵蚀主要发生在-7m以上的岸坡和潮滩, 堆积主要出现于广阔的深水岸坡和部分高滩, 侵蚀速率以滩前深槽岸坡最快, 年侵蚀率达17.9cm/a, 并呈加速趋势, 海岸线向陆后退速率为31m/a, 侵蚀、堆积的闭合深度约为-9.5m。空间分布表现为自北而南的3个明显分带, 即潮滩轻微侵蚀区, 滩前深槽岸坡强烈侵蚀区和深水岸坡缓积区, 东西向比较, 东部、中部侵蚀大于西部。

基于GIS的淤泥质潮滩侵蚀堆积空间分析 李恒鹏 杨桂山 (中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008) 摘要: 通过野外滩地长期水准详测资料, 利用地理信息系统的GRID和TIN模块产生潮滩高程、坡度、二维剖面、侵蚀与堆积分布图, 并获取测点所在位置的高程、坡度和侵蚀量。对获取的数据及空间分布图进行分析, 结果表明: 侵蚀主要发生在-7m以上的岸坡和潮滩, 堆积主要出现于广阔的深水岸坡和部分高滩, 侵蚀速率以滩前深槽岸坡最快, 年侵蚀率达17.9cm/a, 并呈加速趋势, 海岸线向陆后退速率为31m/a, 侵蚀、堆积的闭合深度约为-9.5m。空间分布表现为自北而南的3个明显分带, 即潮滩轻微侵蚀区, 滩前深槽岸坡强烈侵蚀区和深水岸坡缓积区, 东西向比较, 东部、中部侵蚀大于西部。关键词: 地理信息系统; 空间分析; 数字高程模型; 淤泥质潮滩; 侵蚀与堆积中图分类号: P208; P931 文献标识码: A 海岸侵蚀、堆积与海岸滩涂资源开发利用、工程防护息息相关。受未来可能的海平面上升影响, 海岸侵蚀、堆积模式将发生较大变化, 加剧的侵蚀灾害日益引起人们重视。为及早防止未来可能加剧的海岸侵蚀灾害, 研究目前海岸侵蚀、堆积空间模式无疑是必不可少的基础性工作。目前, 国内对海岸侵蚀和堆积模式已有较多的研究报道, 主要从3个方面进行研究, 包括: 海岸剖面的实测研究、海岸均衡态研究和海岸数值模拟研究 [1]。海岸剖面实测研究受断面较少的影响, 很难做到量化; 海岸均衡模式有较为成熟的理论体系, 但是只适应于封闭沙质或基岩海岸, 在自然条件下, 环境因素是不断改变的, 海岸均衡剖面处于不断破坏和不断恢复的过程, 能否建立均衡剖面取决于环境因子变化幅度、因子变化时间尺度和均衡剖面建立的时间尺度。尤其对于淤泥质潮滩, 生物作用复杂, 是否存在均衡剖面、均衡的形态如何以及均衡剖面的发育过程现在还没有定论 [2-5]。数字模拟在计算机发展的推动下发展较快, 但是对泥沙流的数学描述、沉积的物理、化学和生物动力过程有待于进一步深入 [6-8]。本文选取典型区, 通过野外潮滩高程详测, 以地理信息系统为手段, 从详测点的统计特征、二维剖面、侵蚀堆积的空间分布, 以及海岸线变化4个角度探讨了长江三角洲南岸海岸侵蚀、堆积的空间分布模式。目的在于: (1) 探索利用地理信息系统空间分析功能研究滩地形态演变的方法。(2) 分析上海奉贤滩地的侵蚀、堆积分布模式及规律, 认识该区的海岸侵蚀灾害。1 研究区概况 研究区位于杭州湾北岸 (图1), 长江三角洲南缘, 奉贤县境内。滩地高程在4m以下 (吴淞基面), 滩宽较窄, 约为0.2~1.3km左右, 潮滩外分布有深槽, 水深达-8m。受杭州湾束窄地形的影响, 东海潮波进入后急剧收缩, 能量迅速积聚, 潮差自东向西增高, 接近或大于4m, 为强潮海岸。潮型为半日潮, 涨潮历时小于落潮历时。水文测验涨潮流向270° N~E° 285, 落潮71° N~E° 101, 与岸线平行, 呈往复流 [9], 潮流接近潮滩, 水深变浅, 方向渐转向垂直于海岸。波浪以风浪为主, 一般情况下, 波浪不大, 年平均波高 $H_{1/10}$ 为0.4m, 全年平均波高 $H_{1/10}$ 大于1m者占7%~8%。虽然平均波高较小, 但台风期间出现大浪的最大波高可达4~6m。该区潮滩发育主要受杭州湾高能潮波以及长江巨量泥沙的影响, 其形成仅最近数千年的事, 当时长江南岸沙嘴伸展到某一阶段, 反曲沙洲形成以后, 这里脱离浅海的条件, 转化为海湾的形式。随着形态的转变, 动力条件也发生转化, 自舟山群岛而来的涨潮流因地形的影响逐渐增强, 而长江水流因沙嘴的伸展对湾内影响逐渐减弱, 杭州湾北岸随着涨潮强度的增加而向后塌陷, 一直到宋末元初坍到现在海岸附近 [10]。图1 研究区地形和位置示意图 Fig.1 Location and topography feature of study area 目前, 该段海岸冲淤主要受制于长江口泥沙供应量的变化, 这种变化与南汇嘴滩地的淤长存在某种周期反对应关系。当南汇嘴及芦潮港岸滩淤长, 大量泥沙沉于该岸滩时, 则进入杭州湾沿岸的泥沙将减少, 湾内即受冲刷, 反之, 芦潮港及南汇嘴受冲刷杭州湾奉贤岸段将淤长, 这种周期约为25年左右。自1987年以来, 南汇嘴前端淤积向东南偏转, 芦潮港滩地开始淤长, 奉贤岸段0m线滩地受冲刷后退。2 研究方法 2.1 潮滩地形监测方法 潮滩侵蚀、堆积空间分析是通过2个时段地形水准详测来实现的, 高程采用吴淞基面, 水准测量时间分别为1990年11月和1998年11月, 监测范围为整个奉贤滩地及临近水下地形, 东西向长35km, 南北向宽5km, 包括海堤以外到高程-10m处。测点间距视地形起伏而定, 南北向为80~300m间隔, 其中滩地测量间隔在100m以内, 水下地形测量间隔为100m~300m不等, 东西向测点为300m~500m间隔, 测点总数为1373

个。测量垂直分辨率为cm, 测量精度可以满足滩地形态演变研究。2.2 空间分析方法 将测点数字化成图, 坐标采用北京坐标系(公里网)。空间分析在Vertical Mapper1.5环境下进行, 利用Tin模块(Triangular Irregular Network)进行高程插值分析, 建立1990年和1998年高程、坡度栅格图(Grid), 使2年的图处于同样的坐标体系和网格分辨率, 网格边长为0.05km。将高程栅格图按高程进行分类划分, 得出潮滩及水下地形高程等值线图, 了解该区滩地的详细形态特征; 然后利用栅格运算工具对2年的高程栅格图像做减法运算, 从而得到该区地形变化栅格图, 即侵蚀、堆积分布栅格图; 再用高程散点图和侵蚀与堆积分布栅格图、坡度分布栅格图分别作叠加分析, 获取各点的侵蚀、堆积量与坡度值; 导出数据, 利用统计与绘图软件Origin5.0分析侵蚀堆积的统计特征、侵蚀与堆积和高程、坡度的关系。图2潮滩演变空间分析流程图 Fig.2 Framework of spatial analysis to the tidal-flat 为了分析该区滩地的演变模式, 需要分析滩地的侵蚀、堆积的空间分布、二维剖面和标准潮位的变化。利用侵蚀、堆积的栅格图建立侵蚀与堆积等值线图, 分析侵蚀、堆积的空间分布。选取受人为影响小的剖面, 分别与2年的高程图叠加获取剖面高程数据, 建立标准剖面的二维变化图, 研究潮滩演变的规律。海岸线的进退量可以通过比较2年DEM上标准潮位线(平均高潮位、平均潮位、平均低潮位)的变化而定。整个分析过程如图2所示。3 结果与分析 3.1 测点统计分析 图3是测点侵蚀、堆积量和高程、坡度的关系, 纵坐标为1998年和1990年的高程差, 即1990~1998年累积侵蚀、堆积量, 正为堆积, 负为侵蚀, 横坐标分别为高程(a)和坡度(b)。垂直线MLT(Mean Low Tide Level, 0.26m)代表平均低潮位高程, MT(Mean Tide Level, 1.98m)代表平均潮位高程, MHT(Mean High Tide Level, 3.58m)代表平均高潮位高程, 以上潮位均取芦潮港站1990~1999年的10年平均资料。水平线为侵蚀、堆积的分界线, 其上测点均有堆积现象, 其下为侵蚀点。测点侵蚀、堆积量、坡度值均为1998年测点图和侵蚀堆积、坡度栅格图叠加分析而获得, 在分析过程中, 去除丁坝和港口等人为影响突出的测点, 力求使分析能够反映该区潮滩演变的基本状况。图3 侵蚀、堆积量与高程(a)、坡度(b)的关系 Fig.3 Relationship between erosion-deposition and elevation (a), slope (b) 由图3a可以看出, 堆积区分布高程范围较窄, 集中于-7~-9.5m高程范围内的深水区, 8年累积堆积量在0~1.79m之间; 一小部分分布于平均潮位以上的高滩区, 累积堆积量在0~1.31m之间, 其中, 平均潮位以上绝大多数测点累积堆积量在0~0.27m之间。侵蚀区高程分布范围较广, 分布于不同高程的岸坡, 其中平均潮位到平均高潮位(高程为1.98~3.58m)的大量测点累积侵蚀量在0~1.31m之间, 以0~0.52m之间的测点最多; 平均低潮位到平均潮位的绝大多数测点表现为侵蚀(高程0.26~1.98m), 累积侵蚀量为0~1.57m, 并呈现自平均潮位到平均低潮位侵蚀量增加的趋势, 这将导致岸坡变陡; 平均低潮位到-7m水深处, 累积侵蚀量约为1~3m, 极少数可达4m, 为侵蚀最强烈的地区, 侵蚀量以-4m高程处最大, 向深水 and 低潮滩方向减少, 这导致高程-4m以下的岸坡坡度减小, 高程-4m以上的岸坡坡度增大, 岸前深槽向岸逼近; 高程-7m以下的水下地形区, 累积侵蚀量较小, 侵蚀量主要在1.5m以内, 且该区侵蚀测点远少于堆积测点数。同时考虑不同区域侵蚀与堆积测点, 将分布于平均潮位以上、平均潮位和平均低潮位之间、平均低潮位到-7m水深之间、高程在-7~-10之间的测点分别求均值, 概括各区侵蚀、堆积的总体特征, 得出以下结论: 平均潮线以上的潮滩, 以侵蚀为主, 侵蚀量为0.23m, 年侵蚀率为2.8cm/a。平均低潮位到平均潮位, 侵蚀量较大, 达0.52m, 年侵蚀率为6.5cm/a。平均低潮位到-7m高程的岸前深槽区, 为侵蚀最强烈的地区, 平均可达1.43m, 年侵蚀率为17.9cm/a。高程-7m以下的深水岸坡, 以堆积为主, 平均堆积量为0.43m, 年堆积率为5.3cm/a。由图3b看出, 堆积区主要集中于坡度小于0.1°的平缓地区, 侵蚀区分布于坡度0.1°~1.0°的区域, 侵蚀量与坡度呈正相关, 回归分析得出以下相关关系: $Y=0.062-0.12X$ (3-1) 式中 Y为年侵蚀、堆积率, 单位m, 正为堆积, 负为侵蚀, X为坡度, 相关系数为-0.75, 置信度达到了0.0001的检验标准。由侵蚀、堆积和坡度的关系可以推断, 如果岸坡的侵蚀、堆积过程导致坡度减小, 岸坡侵蚀区域减弱, 如果岸坡的侵蚀、堆积过程导致坡度变大, 岸坡形态将更有利与侵蚀, 侵蚀呈加剧趋势。3.2 标准剖面分析 奉贤海岸剖面以滩面较窄, 岸坡坡度大, 深槽逼岸为特征。动力特征表现为强劲潮流和泥沙补给不足。当北岸强潮流向湾内推进, 流向偏向垂直海岸的方向, 因岸坡陡峭, 流速暴涨, 底层流速大, 水流垂直紊动强, 对滩前陡坡产生强烈侵蚀, 上凹岸坡的波折点向陆移动, 岸坡后退; 落潮流因岸坡陡亦表现为加速快, 把侵蚀的泥沙带入动力影响较小的平缓深水岸坡。图4是在奉贤潮滩东西部选取的潮滩断面, 在1998年和1990年的DEM图上重新取样获得的潮滩演变剖面图, 三号塘剖面(a)位于潮滩的西部, 滩面稍宽, 有高滩分布, 三团港站剖面(b)位于潮滩的东部, 滩面较窄, 目前基本上没有高滩。图4 1990和1998年奉贤县潮滩海岸二维地形剖面比较 Fig.4 Comparison between 1990's profile and 1998's profile 由奉贤西部三号塘剖面图看出, 从1990年到1998年的8年间, 高程在0.26m(平均低潮位)以上的低、中、高潮滩, 坡度较小, 侵蚀量较小, 1998年潮滩高程比1990年略低; 高程在0.26~-7m的滩前海岸, 坡度最大, 侵蚀量亦最大, 陡坡因侵蚀向岸逼近, 且坡度进一步增大, 结合前面侵蚀、堆积量和坡度的关系可以推测, 该区侵蚀呈加剧趋势; -7m以下地形坡度趋于平缓, 大多数岸坡表现为微淤。由奉贤东部的三团港剖面图看出, 1990~1998年的8年期间, 高程在0.26m以上的低、中、高潮滩, 坡度大于三号塘剖面, 侵蚀量亦较大, 1998年潮滩高程与1990年潮滩高程相比, 滩面被大量刷低, 已经没有高滩; 高程0.26以下的岸坡和三号塘剖面呈现一致的趋势, 即滩前深槽逼岸, 侵蚀加剧, -7m以下为微淤为主的平缓岸坡。从剖面整体来看, 奉贤潮滩物质的运移特征表现为潮滩和滩前陡坡侵蚀, 侵蚀物在深水岸坡堆积, 侵蚀、堆积量在-9.5m基本平衡, 岸坡在-8m以上变化较大, 自-8m高程线以下, 岸坡变化随堆积量逐渐减少而减小, 地形趋于稳定。结合图1(a)侵蚀、堆积与高程的关系也可知, 堆积主要集中于-9.5m以上的深水岸坡, -9.5m以下堆积量较小。如果从泥沙的输入、输出平衡角度来分析海岸的均衡态 [11], 可以认为该区闭合深度为-9.5m(吴淞高程)。

3.3 侵蚀堆积的空间分布 图5是利用1998年和1990年的高程栅格图做减法运算, 并按照侵蚀、堆积量划分不同等级, 建立奉贤县滩地及水下地形侵蚀、堆积分布图。该区侵蚀、堆积特征表现为东西向带状分布, 自北到南可分为明显的3个带: 侵蚀潮滩分布带、强烈侵蚀深槽岸坡带和呈轻微堆积的水下岸坡带。从1990年到1998年潮滩累积侵蚀量一般在0~2m, 其中西部累计侵蚀量低于中部、东部, 为0~1m, 中部、东部的不少地区达1~2m。低潮滩的前沿深槽区为该区侵蚀最强烈的地区, 和滩前深槽岸坡因侵蚀而后退有关, 大部分地区累积侵蚀量为2m以上, 一些深槽地带侵蚀量超过2.5m, 呈不连续分布。滩前深槽强烈侵蚀区在西部距岸线较远, 中部和东部距岸线相对较近, 尤其东部目前已无高滩存在, 深槽逼岸, 致使东部侵蚀比西部更加剧烈, 累积侵蚀量大于2.5m的地带几乎连为一体, 对

海岸带的发展造成极大的危害。广阔的水下地形都有轻微的堆积, 大部分地区8年累积堆积量为0~1m 以内, 东西向差别不大, 累积堆积量高于1的高值区成斑块状分布, 其分布位置和岸前深槽区的侵蚀高值区相对应, 这种分布的相关关系和深槽区强烈侵蚀导致的潮流含沙量增加有关。奉贤潮滩的侵蚀、堆积特征主要受杭州湾的潮流动力控制, 潮波在湾口向湾内传播的过程中, 由于北岸水深, 岛屿少, 传播的速度比南岸快, 潮波由湾口向西推进, 水面变窄, 流速增加, 潮流因加速挟沙能力增加, 形成侵蚀流。近年来, 南汇嘴向东南方向淤长, 长江泥沙流对杭州湾的影响减少, 使该区潮流的侵蚀能力进一步增强。奉贤县低滩前沿有深槽分布, 因水深增加, 潮流流速大, 在向滩地运动过程中, 岸坡较陡, 水深急剧变浅, 流速增加, 高能潮流对潮滩形成强烈的侵蚀, 表现为岸坡后退和滩面的刷低, 形成该区的潮滩侵蚀带和强烈侵蚀深槽带。强烈侵蚀的泥沙随退潮潮流带入水下岸坡, 产生堆积, 形成广阔的水下岸坡微淤带。

3.4 标准潮位变化分析 海岸侵蚀导致岸线后退, 潮滩淹没, 由于海岸线随潮位变化而向陆和海摆动, 为合理估算海岸线的长期变化, 采用多年平均标准潮位线, 及多年平均潮位, 多年平均高潮位和多年平均低潮位。奉贤县没有潮位站分布, 这里选取临近的芦潮港站潮位资料估算, 利用1990~1999年共10年的潮位资料计算出多年平均潮位、多年平均高潮位和多年平均低潮位的高程, 在1990和1998年的DEM图中内插相应高程的等高线即标准潮位线的分布位置。由于围垦以及滩地刷低, 海堤以外的一些滩地已低于平均潮位, 所以计算海岸线变化采用多年平均低潮位的变化。在1998年低潮位线上每隔2km取一个样点, 计算其到1990年平均低潮位线的垂直距离, 最后将所有的样点位移量求和平均算出该区平均低潮位8年间向陆地后退了252m, 年平均速率为31m。图5 奉贤滩地及水下地形的侵蚀堆积分布(正为堆积, 负为侵蚀)

Fig.5 Distribution of erosion and deposition on the Fengxian tidal-flat (+deposition, -erosion)

4 结论 通过对奉贤潮滩长期水准详测, 利用GIS的空间分析方法对奉贤淤泥质潮滩海岸侵蚀、堆积进行分析, 可归纳以下结论: 潮滩侵蚀、堆积的空间分布南北向呈明显3个带, 自北而南为潮滩轻微侵蚀带, 滩前深槽岸坡强烈侵蚀带和深水岸坡缓积带, 其中高滩地因侵蚀刷低趋于消失, 深槽岸坡因强烈侵蚀而向岸逼近。1990年到1998年的8年期间, 平均低潮位向陆地后退了252m, 年平均速率为31m/a。侵蚀、堆积东西向分布特征表现为: 潮滩东部、中部侵蚀比西部剧烈, 目前东部基本上没有高滩, 面临深槽逼岸的危险, 给沿岸工程带来极大的危害。潮滩侵蚀、堆积速率和高程、坡度密切相关。侵蚀、堆积速率在不同高程的分布表现为: 位于平均潮位以上的潮滩, 侵蚀堆积都有分布, 以侵蚀为主, 平均年侵蚀速率为0.28 cm/a; 平均潮位到平均低潮位的潮滩, 绝大多数地区为侵蚀区, 平均年侵蚀速率略大, 达6.5cm/a; 平均低潮位到-7m高程的岸前深槽区, 为侵蚀最强烈的地区, 平均年侵蚀率可达17.9cm/a; 高程-7m以下的深水岸坡, 以堆积为主, 平均年堆积速率5.3cm/a。侵蚀、堆积速率和坡度的关系表现为: 坡度大的岸坡, 侵蚀量越大, 堆积越少。这一关系揭示出滩前深槽岸坡因坡度增大, 侵蚀呈加剧趋势。奉贤潮滩物质的运移特征表现为潮滩和滩前陡坡侵蚀, 侵蚀物在深水岸坡堆积, 自高潮滩到-9.5m水深处, 侵蚀、堆积量基本平衡, 如果一泥沙的输入、输出平衡角度来分析海岸的均衡态, 那么该区均衡剖面的闭合深度约为-9.5m(吴淞高程)。

致谢: 施雅风院士对本文的完成给予指导, 高俊峰副研究员和奉贤水文站张富来站长曾在收集资料和资料分析中给予大力帮助, 在此深表感谢。参考文献(References): [1] Li Hengpeng, Yang Gui shan. Response of coast to sea-level rise: a review of study methods [J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 16 (5) : 598-603. (In Chinese) [李恒鹏, 杨桂山. 海平面上升的海岸形态响应研究方法与其进展 [J]. 地球科学进展, 2000, 16 (5) : 598-603.] [2] Bruun P. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two- and three-dimensional usages [J]. Journal of Coastal Research, 1988, 4 (4) : 627-648 [3] Roger N. Dubois. A re-evaluation of Bruun's rule and supporting evidence [J]. Journal of Coastal Research, 1992, 8 (9) , 618-628. [4] Wang Ying, Wu Xiaogen. Sea level rise and coast erosion [J]. Acta Geographica Sinica, 1995, 50 (2) : 118-127. (In Chinese) [王颖, 吴小根. 海平面变化与海滩侵蚀 [J]. 地理学报, 1995, 50 (2) : 118-127.] [5] Ji Zixiu, Jiang Zixun, Zhu Jiwen, et al. Impacts of sea level rise on coastal erosion in the Changjiang delta and North Jiangsu coastal plain [J]. Acta Geographica Sinica, 1993, 48 (6) : 516-526. (In Chinese) [季子修, 蒋自巽, 朱季文等. 海平面上升对长江三角洲和苏北滨海平原海岸侵蚀的可能影响 [J]. 地理学报, 1993, 48 (6) : 516-526.] [6] Zhang Haiwen, Tao Jianhua. Numerical modeling of sand beach evolution around coastal structures under the action of nearshore wave and currents [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2000, 22 (1) : 117-123. (In Chinese) [张海文, 陶建华. 近岸波、流作用下结构物附近海岸演变的数值模拟 [J]. 海洋学报, 2000, 22 (1) : 117-123.] [7] Cao Zhude, Wang Jiafen. Numerical simulation of sand transport by wave and tide [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1993, 15 (1) : 107-118. (In Chinese) [曹祖德, 王佳芬. 波浪掀沙、潮流输沙的数值模拟 [J]. 海洋学报, 1993, 15 (1) : 107-118.] [8] Fan Shejun, Yu Zhiying. The dynamic process and erosion-deposition pattern of tidal flat: a case as Lianyungang tidal flat, I, II [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1997, 19 (3) : 67-85. (In Chinese) [樊社军, 虞志英. 淤泥质岸滩侵蚀堆积动力机制及剖面模式, 一以连云港地区淤泥质海岸为例, I, II [J]. 海洋学报, 1997, 19 (3) : 67-85.] [9] Cao Peikui, Dong Yongfa, Yan Suzhang, et al. Basic characteristics of the tidal flat on the north coast of Hangzhou bay [J]. Oceanologia and Limnologia Sinica, 1989, 20 (5) : 412-421. (In Chinese) [曹沛奎, 董永发, 严肃庄等. 杭州湾北岸高能潮滩的基本特征 [J]. 海洋与湖沼, 1989, 20 (5) : 412-421.] [10] Chen Jiyu, Wang Baocan Yu Zhiying. Developments and Evolution of China's Coast [M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Press, 1989. 81-96. (In Chinese) [陈吉余, 王宝灿虞志英等. 中国海岸发育过程和演变规律 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989, 81-96.] [11] Chen Xiqing, Chen Jiyu. A study of closure depth on the profiles of the Changjiang deltaic coast: on the fundamental problems associated with Bruun Rule and its application [J]. Acta Geographica Sinica, 1998, 53 (4) : 27-26. [陈西庆, 陈吉余. 长江三角洲海岸剖面闭合深度的研究, —Bruun法则及其应用的基本问题 [J]. 地理学报, 1998, 53 (4) : 27-26.] The Spatial Analysis of Erosion and Deposition of Tidal Flat by GIS Li Heng-peng, YANG Gui-shan (Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China)

Abstract: Key word:

关键词: 地理信息系统; 空间分析; 数字高程模型; 淤泥质潮滩; 侵蚀与堆积

[所内链接](#) | [友情链接](#) | [联系方式](#) | [网站地图](#) |

2005 中国科学院地理科学与资源研究所 版权所有