

# 浦东国际机场东移与九段沙生态工程

陈吉余, 李道季, 金文华

(河口海岸动力沉积与动力地貌国家重点实验室, 上海 200062)

**[摘要]** 浦东国际机场东移建在潮滩之上, 少占用了土地, 却也影响了长江河口的湿地生态环境。上海市非常重视市政工程建设与湿地环境保护的问题, 通过在长江河口的九段沙岛实施种青引鸟的生态工程, 补偿湿地被占用而失去的生态功能; 在九段沙中沙和下沙共引种芦苇 (*Phragmites communis*) 和互花米草 (*Spartina alterniflora*) 90 hm<sup>2</sup>。经过3年连续监测, 植物种群生长和扩散良好, 鸟类数量有所增长, 生态工程取得初步成功。

**[关键词]** 生态工程; 浦东国际机场; 九段沙; 长江河口

## 1 引言

浦东国际机场建设是以浦东开发为龙头, 把上海建设成为国际经济、金融、贸易中心的国家目标的需要。1995年这项工程通过规划、设计即将施工之际, 笔者根据多年长江河口研究、海岸带调查和国外滨海地区机场的考察, 提出将这个机场建在海堤之外、潮滩之上的建议。得到上海市领导部门采纳, 修订了方案, 向东移动于零米线(吴淞零点)上筑坝促淤, 3年围淤18.6 km<sup>2</sup>。新围的土地用于机场建设, 需要清除湿地绿滩, 环境的改变对候鸟迁徙带来了负面影响。为此, 于长江河口九段沙上实施生态工程, 使得机场湿地适时互补, 候鸟栖息环境置换。这项工程开创了世界机场建设与生态工程同时并举的先河, 也为国内大型基础建设与生态环境有效保护所少见。

## 2 浦东国际机场何以要东移

浦东国际机场是作为“一市两场、两位一体”的上海机场的一个组成部分。原规划位置在浦东江镇、施湾和南汇的祝桥、东海诸乡滨海地带海堤之内(图1); 设计规模: 年8000万人次旅客、年

500×10<sup>4</sup> t货邮的吞吐量; 用地面积近期工程为10.08 km<sup>2</sup>, 远期工程32.00 km<sup>2</sup>, 合计需要用地42.08 km<sup>2</sup> [1]。

上海土地资源严重短缺, 全市面积6340 km<sup>2</sup>, 除港澳特区外, 是全国最小的省市。近40年来城市迅速发展, 基本建设用地近1514 km<sup>2</sup>。为弥补土地量不足, 作了很大努力, 近40余年共围土了733 km<sup>2</sup> [2]。二者相抵, 土地资源增减严重的负平衡(图2)。

但是, 上海位于长江河口, 地理位置优越。长江以每年4.86×10<sup>8</sup> t泥沙输送海洋, 除一部分扩散外海, 沿岸流携带远扬外, 另一部分则沉积在拦门沙及水下三角洲地区。因而长江口的滩涂淤积后备的土地资源非常丰富。上海市沿海潮间带和潮下带的资源面积[3]如表1所示, 其中, 零米以上904.2 km<sup>2</sup>, 而分布于浦东和南汇的边滩面积即为187.9 km<sup>2</sup>。

根据上海市有丰富的滩涂资源, 而机场工程又需要占用大量土地, 提出浦东机场东移的建议[4]。其理由有下列数端:

- 1) 减少耕地的占用;
- 2) 滩涂广阔, 机场有发展余地;

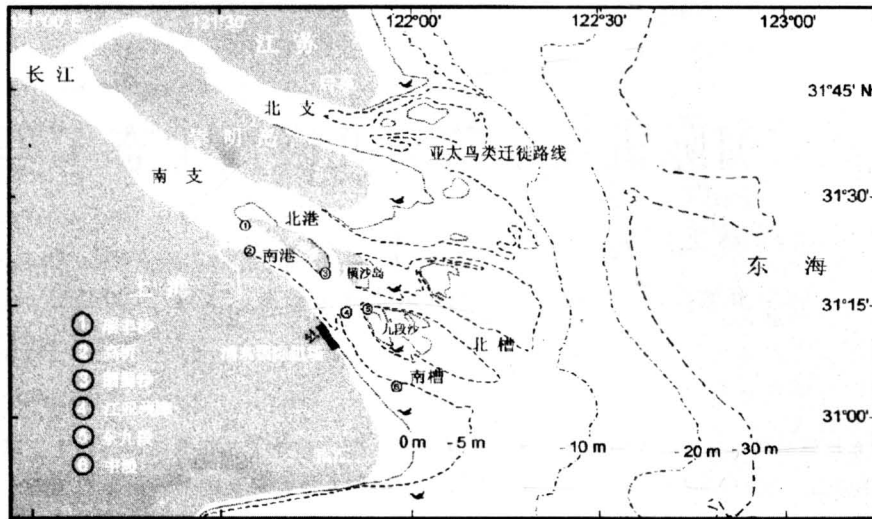


图1 上海国际机场与九段沙位置图

Fig.1 The sites of jiuduansha island and pudong international airport

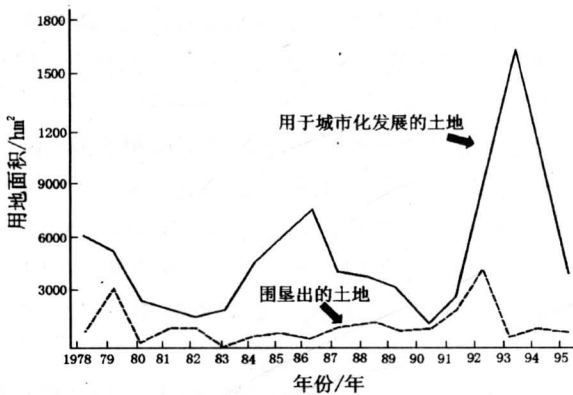


图2 上海市城市发展用地和围垦土地比较图 (1978-1995)

Fig.2 The comparison between the land reclaimed and the land used by Shanghai City

表1 上海市沿海潮间带和潮下带的资源面积

Table 1 The substantial land resource area along the Shanghai coast

地点	高程(理论基准面)/m	面积/km <sup>2</sup>
潮间带	>0	904.2
	0~-5	2 341.5
潮下带	5~10	3 112.0
	10~15	1 061.2
	15~20	711.5

- 3) 飞机起降没有高层建筑的影响;
- 4) 可以减少城市噪音;
- 5) 减少迁徙鸟对机场安全的隐患;
- 6) 符合长江河口的发育规律, 而且对河口治理有利。

国际上在海滨湿地上建机场的实例甚多。纽约的肯尼迪机场建于牙买加区的湿地上, 旧金山机场建于旧金山湾的滨海湿地上, 日本大阪的关西机场更是在 20 m 深的浅海中修建的。就是国内的澳门机场、香港新机场也都是辟山填海建成的。因此浦东国际机场建于潮滩之上是可行的, 也是有例可循的。

### 3 机场东移、利用潮滩, 符合长江河口的发育规律

机场东移方案, 即向海推移 700 m, 设计中第一期促淤造地 7 km<sup>2</sup>, 第二期 6 km<sup>2</sup>。这样大面积地利用潮滩湿地, 对长江河口会不会产生不利影响? 是一个众所关注的问题。根据我们对长江河口发育模式的研究: 长江口的南岸边滩不断淤涨外伸, 北岸则沙岛并岸, 靖江的马驮沙如此, 海门诸沙、启东诸沙亦复如此, 就是现在的崇明岛也有向北并岸的趋势。长江河口因此束狭了。2000 年前, 河口宽约 180 km, 现在启东嘴到南汇嘴为 90 km。河口河槽在束狭过程中加深, 三角洲相应向海伸

展<sup>[5]</sup> (图3)。

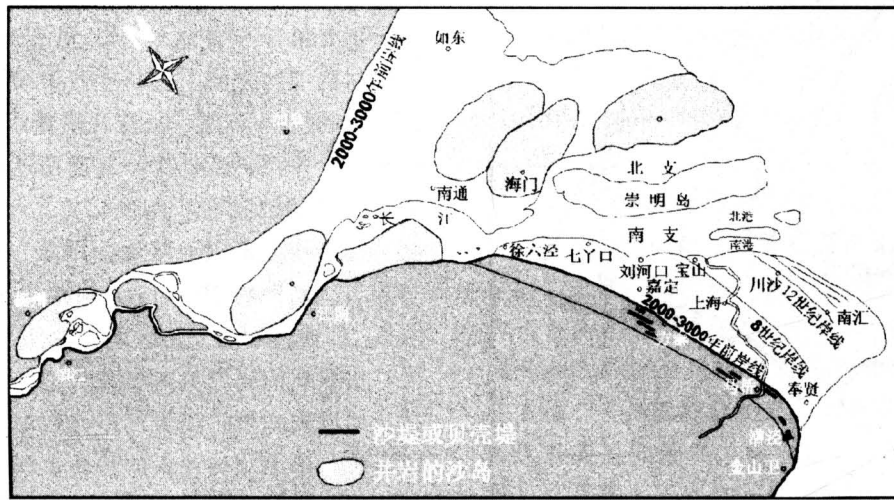


图3 长江河口发育模式

Fig.3 The diagram of development of the Changjiang Estuary

历史记录中的南边滩是不断向海伸展的。如图4所示,上海市西疆由沙冈、紫冈、竹冈组成的冈身地带,形成于公元前6000~3000年,公元前1000年岸线在周浦—南汇浦一线。公元800年岸线在川沙—南汇城一线<sup>[6]</sup>。元代小护塘,在清代经培高加固的钦公塘是18世纪的防海大堤。20世纪初的李公塘,1949年已卑薄颓圮,在此基础上重新修整,达到能抗11级台风标准,称之为人民塘(图4)。

近50年来,在人民塘外又修建了新建圩至胜利圩,前者在川沙境内,后者在南汇境内,其外又有三排吹泥工程。一重重的海塘,标志着南边滩外涨不同时期的岸线。近15年来,各等深线仍在外伸。

南岸边滩所在位置,恰在长江河口拦门沙、最大浑浊带地区。不仅长江带来的泥沙在此扩散,还受潮流带来的泥沙影响。盐淡水混合颗粒物聚沉,同时泥沙再悬浮也使这一地区的悬沙浓度增大。因此,这里的泥沙浓度高于上下游<sup>[7]</sup>,如图5所示。

长江河口边滩水沙运动有着明显的变化规律:在-2~-3.5 m范围内,存在着一个切变锋面,在这个锋面以上,水沙优势指向上游;在这个锋面向下,水沙优势向海;它们之间形成边滩环流<sup>[8]</sup>,有利于潮间带泥沙堆积。

南岸边滩冲淤变化,有如下的周期规律:风暴

周期:风暴来时,刷滩淤槽;风暴之后,边滩淤积;年周期:南边滩面向冬季盛行的东北风或偏北风,冬半年刷滩,夏半年则有利于潮间带淤积;长周期:在冲淤处于正平衡的情况下,滩涂向外淤涨。淤涨速率,新建圩外为20 m/a,石皮勒岸外为100 m/a。南岸边滩是上海市主要围海造地地区,也是重要的低滩促淤区域。促淤效果甚佳,如南汇人工半岛,三年促淤1333 hm<sup>2</sup>。目前正在南汇东滩进行4000 hm<sup>2</sup>的围海造地工程。

机场东移建于潮滩之上的建议被采纳后,一期围涂造10 km<sup>2</sup>,现已促淤造地18.6 km<sup>2</sup> <sup>[1]</sup>。

#### 4 九段沙生态工程研究和建设

机场东移虽然可以围涂造地,减少征用耕地,但是零米以上的潮间湿地被破坏也将带来负面影响。长江河口位处亚太鸟类迁徙路线的中部,是候鸟主要的驿站,滨海湿地是它们觅食的场所(图1),机场边滩湿地破坏也就破坏了候鸟觅食的一部分场所。

地区的发展要贯彻可持续发展的原则,要使发展和环境相协调,也就是我国传统所说的要“天人合一”。必须“在开发中保护,在保护中开发”。然而在实际的工程建设中,如何保持好环境,往往是很困难的事情。对于机场东移后带来的候鸟栖息地的破坏,就要给候鸟营造新的栖息地,用以减少鸟

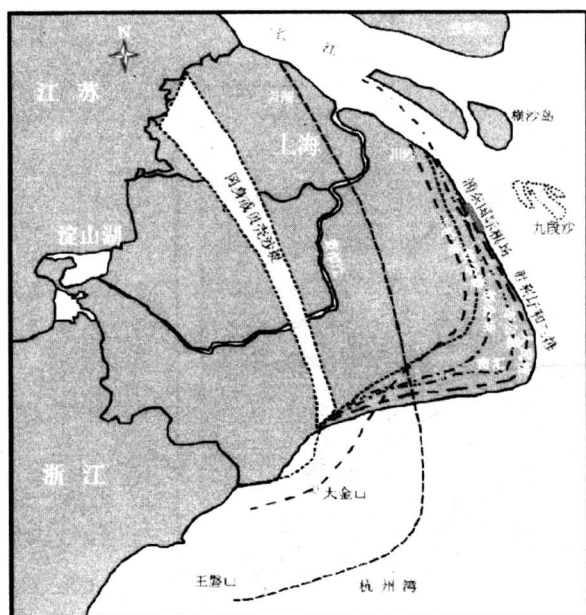


图4 长江河口南岸岸线变迁图

Fig.4 The shoreline changes of the South Bank of the Changjiang Estuary

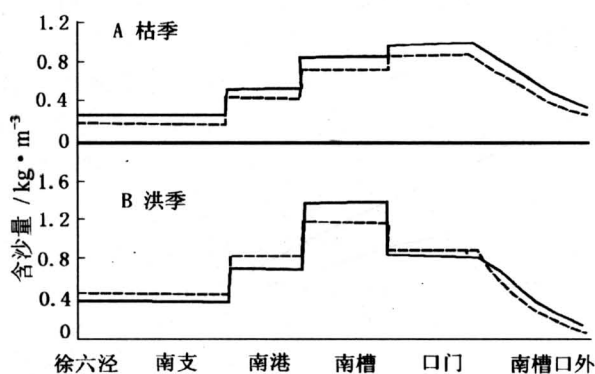


图5 长江南港最大浑浊带泥沙浓度分布图

Fig.5 The distribution of sediment concentration of turbidity maximum in the South Channel of the Changjiang Estuary

类对飞行安全的隐患。动态地保护湿地，保护生态环境，使大型工程建设和生态环境取得互补的效应是我们需要研究的重要问题。

通过查勘研究，选择九段沙作为种青、促淤、引鸟的基地。因为它距离机场最近，隔江相望，距离11 km。更重要的是：九段沙是一个新生的河口

沙岛，发展中的沙岛。

19世纪下半叶北港发展，南港恶化，从圆圆沙拖下的沙尾，直到拦门沙上段，并且不断扩大增高，是九段沙孕育之所在。20世纪20~30年代，沙尾与圆圆沙之间，被一个浅槽切开，九段沙初步形成。40~50年代，长江几次大水，使北槽-5 m线贯通，并且不断扩大。九段沙遂成为南、北槽之间的一个涨潮淹没、落潮出露的沙岛(图6)。目前，九段沙零米以上滩地面积为114 km<sup>2</sup>。其中大于3.5 m高滩约267 hm<sup>2</sup>，中滩2.5~3.5 m约287 hm<sup>2</sup>，低滩(0~2.5 m)约10 846 hm<sup>2</sup>。

按照我们研究的河口冲积型沙岛发育模式，它是从切滩堆积型转化为流路分歧堆积型的沙岛。一般而言，落潮顶冲沙头的沙岛，沙头逐年下移，沙尾则向下游伸展。位处最大浑浊带范围内的九段沙，在蚀积平衡过程中，沙头近年平均每年下移200 m左右，面积每年扩大2.2 km<sup>2</sup>。通过长江河口深水航道治理导堤的修建，有助于沙岛北岸滩坡的稳定；而鱼嘴的修建，则使江亚浅滩与九段沙的上沙联系在一起，九段沙头却上移了13 km。目前，九段沙出露的3块沙头，上沙沙头较高，上面有芦苇生长，中沙沙头较低，有当地的蔗草和海三棱蔗草生长，下沙相对较低，只有局部三棱蔗草群落生长。

据1996年调查，九段沙有湿地高等植物11种，底栖动物13种，同时邻近水域是长江口鱼、虾、鱼仔、稚鱼等水生生物的育幼场所。所以九段沙对于迁徙鸟而言，饵料是丰富的。九段沙位于候鸟迁徙路线上，调查所得，有46种候鸟迁徙过境，在此停息\*。

## 5 九段沙生态工程设计、施工和监测

九段沙上种青选草，需要根据它所处的自然环境的特点来决定。它处在长江河口盐淡水交会摆荡范围内。也就是河流淡水和微咸的河口水之间的界面在这里摆荡。九段沙上沙附近是盐水入侵常驻位置之所在，因而在横沙—九段沙头—浦东新区一线呈现出一个不连续或跃变的界线<sup>[9]</sup>。在地形上河口拦门沙从这里隆起，在沉积上是河槽相和拦门沙相的分野<sup>[10]</sup>。盐水入侵楔顶常驻、盐淡水间形成

\* 华东师范大学九段沙课题组(1996). 九段沙种青引鸟可行性研究

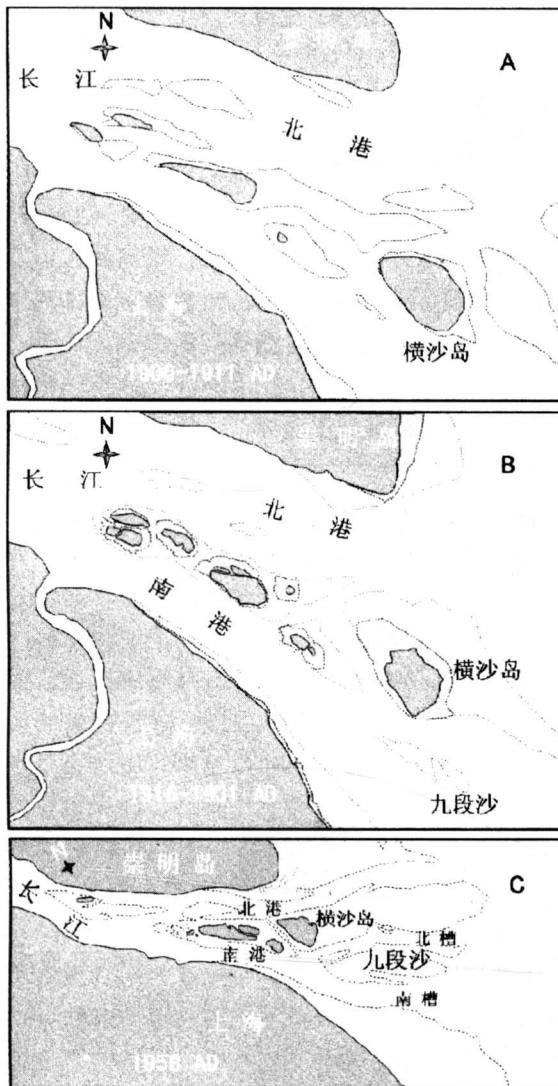


图 6 九段沙的演变

A. 1906 - 1911 吴淞—横沙水下地形图；

B. 1916 - 1931 九段沙初步形成；

C. 1958 年的九段沙

Fig. 6 The Different Stages of the Evolution of Jiuduansha Island

A. The submerged morphology map of Wusong and Hengsha (1906 - 1911); B. The Jiuduansha in early stage (1916 - 1931); C. Jiuduansha Island in 1958

了河口环流；泥沙运动悬沙随上层淡水浮托而外泄，底部泥沙随盐水入侵而上溯，河口水化学环境因界面的屏障过滤效应，使一些元素的含量急剧上

升<sup>[11]</sup>；而水生物也因屏障效应呈现出明显的骤变现象，如 1997 年 6 月 2 日蟹苗旺发之际，捕蟹船一线相连呈现界面之所在。因而，所选的草种要适宜于盐淡水交会界面附近的环境。据南槽测站资料，九段沙头夏季表底层的盐度为 0.03% ~ 0.929%。冬季盐度稍大的条件下，本地芦苇能生长茂盛；蔗草则植株不高，在 0.8 m 左右，或者更低，植株稀疏，且阻水不强，促淤较慢。中高滩选用当地芦苇是合适的，中低滩则选用美国互花米草较为合适，其植株密茂，盘根错节且不易冲蚀，对促淤有利。这种米草系 1978 年从美国 Georgia 的 Sapelo 岛泻湖沼泽中引种而来，在国内沿海推广成功。不过这种草的最适盐度为 1.5% ~ 2.8%。而这里的盐度较低，特别是洪季大量迳流下泻之际，常为淡水所据。通过调查研究，决定在中下沙选种在长兴岛驯化了的互花米草。

九段沙生态工程于 1997 年 4 月 13 日开始实施，5 月 6 日结束。5 月 28 日验收。在九段沙中沙和中、下沙毗连地带种植芦苇 40 hm<sup>2</sup>。互花米草 50 hm<sup>2</sup> (图 7)，植株之间距离为 1 m，每个植点种植秧苗 1 株，研究组进行跟踪观测<sup>\*\*</sup>。

种植第 1 年，成活率达 80%。插苗当月返青，3 个月 (即 1997 年 8 月)，芦苇苗长高至 0.65 ~ 0.85m，分蘖 10 株以上；互花米草长高至 0.75 ~ 1.3m，分蘖 8 株以上。8 月中旬，受到 9711 号强台风的侵袭，下沙低滩试种的 6 hm<sup>2</sup> 互花米草因其粉砂底质易受冲刷多数飘失，其余 90 hm<sup>2</sup> 芦苇和互花米草保存良好。1997 年底，种青半年，芦苇高达 0.7 ~ 1.5 m，分蘖平均 12 株以上，最多 32 株，互花米草则高达 0.9 ~ 1.6m，平均分蘖 27 株，最多达到 119 株，长势喜人<sup>\*\*\*</sup>。

种青两年，芦苇和互花米草已经工程范围内株叶长沸，芦苇高达 1.7 m，互花米草一般高达 1.5 ~ 2.0 m，生长最繁茂的地方可达 2.3 m。

1999 年为种青第 3 年，芦苇普遍高达 2 m，草丛中淤积粘重的淤泥，植被向外扩展 4 m。互花米草普遍高达 2 m，最高达 2.3 m。夏天全部被人割

\* 华东师范大学九段沙课题组(1997). 九段沙种青工程实施方案

\*\* 华东师范大学九段沙课题组(1997). 九段沙种青工程竣工小结

\*\*\* 华东师范大学九段沙课题组(1998). 浦东国际机场东移和九段沙生态工程研究

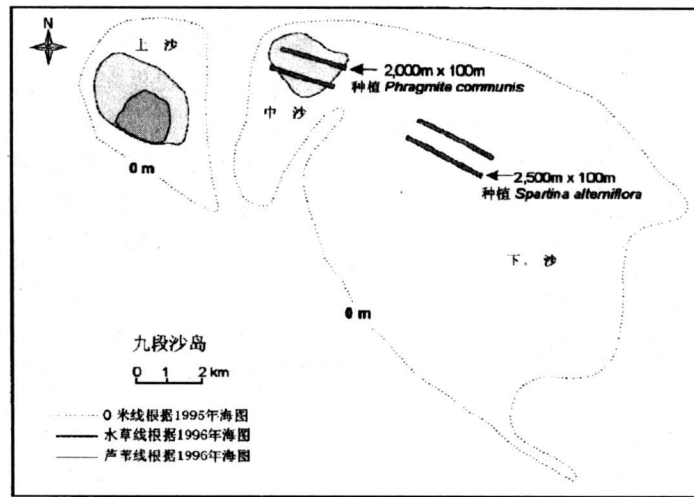


图7 九段沙生态工程施工位置图

Fig.7 The constructing sites of eco-engineering of Jiuduansha Island



图8 生态工程种植植物群落长势图

Fig.8 Vegetation communities on Jiuduansha Island after eco - engineering

光，秋季又生出新蘖，还成片外扩2 m。另一方面在种青外围50 m范围内，散布着斑点状的互花米草群落。因此，由内向外，从种青带到分蘖外扩带再到斑状群落带景观三重。显示着互花米草和芦苇在粉砂质粘土淤积带上，自然繁殖能力很强（图8）。

如上所示九段沙生态工程三年实施，反映出是一个“一年成活，两年长沸，三年外扩”的发展过程\*。

## 6 机场东移和九段沙生态工程的效益

### 6.1 经济效益

机场东移，使机场增加围出滩涂的土地18.6 km<sup>2</sup>，仅一期围海造地工程少征用耕地一项，就节约490 hm<sup>2</sup>，按当时征地费扣除围海造地各项费，

\* 华东师范大学九段沙课题组（1999）. 1999年九段沙种青工程促淤工作报告

就为机场建设节约  $3.6 \times 10^8$  元。

## 6.2 社会效益

(1) 减少了 5 000 户的搬迁,使望海路一条街得以保存下来。既节约了大量搬迁费用,也使得机场能够及时施工,从而保证了机场的完成期限。

(2) 给机场发展预留了空间。如前所述,机场附近自然淤涨速率为  $20 \text{ m/a}$ ,人工促淤  $600 \sim 700 \text{ m}$  宽度的潮间带,3 年全部淤平,反映出这里人工促淤速率高于自然淤涨速率 30 余倍。而且围堤之外,滩面重新塑造,滩地继续淤涨,给机场发展带来了新的空间。

(3) 机场外移,消除了高层建筑物对飞机起降的威胁。

(4) 机场外移,大大减轻了飞机噪声对城镇居民的干扰。大于 70 dB 的负荷等价平均感觉噪声水平分布基本在川南奉公路以东和近海范围<sup>[1]</sup>。

(5) 九段沙通过生物促淤,促进了沙体浮露成陆。目前淤积速率每年平均为  $0.2 \text{ m}$ ,并不很快。因为种青条带仅  $100 \text{ m}$  宽度,阻流消浪作用还不很强,在种青条带拓展以后,阻流消浪增强,促淤作用也将增强。根据上海边滩芦苇促淤强度,每年可达  $0.30 \text{ m}$  左右。

## 6.3 生态环境效益

(1) 减少滩槽物质交换,对维护航槽有利。长江口治理有一个重要原则:围垦明沙、稳定阴沙、减少活动沙,用以稳定航槽。九段沙种青促淤,起到稳定阴沙作用;种青固沙,减少活动沙,可以起到稳定航槽作用。另一方面,南港、北槽深水航道建设,也促进了九段沙的稳定。

(2) 增加了草滩面积,为迁徙鸟营造了理想的栖息地,也增加了可供觅食的饵料。据观测:种青 1 年,候鸟增加了 14%,3 年,候鸟可增加至 100%;高等植物增加了 1 种,底栖生物量增加 50%,物种增加 3 种。各种生物物种和生物量的增加,显著地增进了生物多样性的恢复和改善\*。

(3) 草滩面积增加也增加了邻近水域的营养物质,对河口生态环境有益,并增强了对长江口水质的净化作用。

## 7 大型工程建设和资源开发需要与环境保护相协调

社会经济的发展,生态环境的恶化是众所关注的问题。20 世纪 80 年代以来,可持续发展的概念

通过广泛的蕴酿达到了举世各国的认同\*。可持续发展的核心问题是“人与自然”和“人与人”之间的关系,它的主要表征是:(1) 不断满足当代和后代人的生产、生活和发展对于物质、能量、信息和文化的需求;(2) 代际之间应体现公正的原则去使用和管理属于全人类的资源和环境;每代人都要以公正的原则担负起各自的责任。当代人的发展不能以牺牲后代人的发展为代价。(3) 国际和区际之间应体现均富、合作、互补、平等的原则,去缩短空间范围内同代人之间的差距,以此去实现“资源生产—市场之间的内部协调和统一”;(4) 创造自然—社会—经济支持系统适量的外部环境,使得人类生活在一种更严格、更有序、更健康、更愉悦的环境之中,因此应当使系统的组织结构和运行的机制不断地被优化。以上的四点表征就是在可持续发展的运作中要贯彻发展—公平—合理—协调的基本原则。所以地区的发展是要健康地发展,协调地发展和持续的发展<sup>[12,13]</sup>。

上海社会经济的发展,贯彻了这个持续发展的原则。社会经济的发展,必然会遇到资源和环境之间出现的一系列矛盾,以及基础建设与土地资源之间的矛盾。上海市利用了长江带来的泥沙给土地资源补给的优势,拓展了空间资源。上海市关注湿地沼泽生物多样性在工程建设中所遇到的矛盾,从而在大型工程建设的同时,启动了生态工程的建设,使资源—生产建设—环境间得到合理而又协调地发展。大型市政建设工程与生态工程同步进行,在国内所少见。同时也开创了机场建设与生态工程建设的世界先例。上海国际机场东移与九段沙生态工程建设是对上海市在可持续发展问题上的一项探索工作,也是对解决资源与环境协调发展难题上的一项尝试性工程。

### 参考文献

- [1] 浦东国际机场建设指挥部. 浦东国际机场可持续发展研究与实践[M]. 上海: 同济大学出版社, 1998, 174
- [2] Chen Jiyu, Xu Haigen, Lu Jianjian etc. Exploitation of land resources on the sand shoals and tidal flats of the Changjiang estuary and sustainable development of Shanghai[A]. Proceedings of IEAS'97 and IWGIS'97 [C] Aug. 18~22. 1997, 1297~1303

\* 华东师范大学九段沙课题组, (1998). 九段沙生态工程鸟类学依据

- [3] 上海市海岸带和海涂资源综合调查报告[M]. 上海: 上海科技出版社, 1988, 4~7
- [4] 陈吉余. 将上海国际机场建造在海堤之外潮滩之上的建议[A]. 上海市科学技术协会高级顾问委员建议汇编[C], 1991, 88
- [5] Chen Jiyu, Yun Caixing, Xu Haigen. The model of development of the Yangtze River estuary during the last 2000 years [A]. Estuarine Comparisons [C]. Ed. by V.K. Kennedy, 1982. 655~666
- [6] 张修桂. 上海地区成陆过程研究中的几个关键问题[A]. 历史地理第十四辑[M], 上海: 上海人民出版社, 1999, 1~21
- [7] 李九发, 时伟荣, 沈焕庭. 长江河口最大浑浊带的泥沙特性和输移规律[J]. 华东师范大学学报, 1995
- [8] 朱慧芳. 河口切变锋引起的滩槽泥沙交换效应[J]. 长江流域资源与环境, 1995(1)
- [9] 陈吉余. 长江河口的自然适应和人工控制[J]. 华东师范大学学报, 1995
- [10] 恽才兴, 时伟荣, 何青. 长江口通海航道泥沙场动态分析[J]. 华东师范大学学报, 1995
- [11] 陈邦林, 韩庆萍, 陈吉余. 长江河口浑浊带化学过程[J]. 华东师范大学学报, 1995
- [12] 中国科学院持续发展研究组. 中国可持续发展战略研究报告[M]. 北京: 科学出版社, 2000, 12~13
- [13] Cicin-Sain B, Knechr R W. Integrated coastal and ocean management-concepts and practices [M]. Island press, Washington D.C. 1999. 84~88

## Eco-engineering of Jiuduansha Island Caused by Pudong International Airport Construction

Chen Jiyu, Li Daoji, Jin Wenhua

(The State Key Lab of Estuarine and Coastal Research,  
East China Normal University, Shanghai 200062, China)

[Abstract] Pudong International Airport were suggested to be constructed on the tidal flats of the south bank of the Changjiang estuary, which could save some land, but also make some wetland changes, affecting the estuarine ecosystem. Shanghai seriously considered the contradiction between wetland ecosystem protection and land use in engineering construction. A related ecological engineering had been done on the Jiuduansha Island to compensate the lost ecological functions. The eco-engineering started on April 13 and ended on May 6, 1997. 40 hm<sup>2</sup> of *Phragmites communis* and 50 hm<sup>2</sup> of *Spartina alterniflora* were planted in the middle part of Jiuduansha Island respectively to improve its ecosystem structure, which acquired good effects. This kind of synchronous construction of both airport and eco-engineering sets a precedent in the world.

[Key words] eco-engineering; Pudong International Airport; Jiuduansha Island, Changjiang estuary

## 中国科学家研制成功纳米级电缆

中国科学院固体物理研究所研究员, 纳米领域首席科学家张立德率领的研究小组, 成功合成出只有头发丝 5 万分之一细的纳米级同轴电缆, 为解决这一难题提供了有效途径。

同轴纳米电缆的内芯是直径仅有 10 nm 左右的碳化物, 外层包有氧化硅绝缘体。显微图片显示, 放大几十万倍后, 纳米电缆的直径仍只有普通电缆一般粗细, 而从截面看, 纳米电缆的内外层是一个同心圆。

研究人员此前已成功合成出多种同轴纳米电缆, 其内芯有导体、半导体和超导体, 性能各异, 成为世界上能制备同轴纳米电缆的少数几个研究小组之一。