

# 上海港外高桥港区现代集装箱码头 建设集成创新技术

包起帆, 吴 澎

(1. 上海国际港务(集团)有限公司, 上海 200082; 2. 中交水运规划设计院, 北京 100007)

**[摘要]** 在世界大港排行榜上, 上海港的集装箱吞吐量已从5年前的第10位跃升至目前的第3位, 外高桥现代集装箱码头的建成对其排名上升起了关键作用。文章介绍了上海港外高桥港区现代集装箱码头建设中的总体设计、工程技术、生产管理等诸多方面的集成创新成果。

**[关键词]** 上海港; 外高桥港区; 集装箱码头; 集成创新; 设计; 工程技术

**[中图分类号]** U65; U656.1\*35 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)02-0007-11

上海港外高桥港区一期多用途码头于1994年开始运营, 1998年改造成为专业集装箱码头。此后上海港开始了大规模建设集装箱码头的历程, 至2004年12月25日, 外高桥五期码头靠泊第一条大型集装箱班轮, 工程建设者用短短21个月的时间, 在长江口南岸又建成一座大型现代化集装箱码头。外高桥港区已建有15座大型集装箱专业泊位, 无论从建设规模, 还是从建设速度来看, 都是世界一流的。其背后的支撑是科学技术的进步, 尤其是技术集成和创新发挥了关键的作用。

为了更好地总结外高桥建设集装箱码头的成功经验和教训, 以提升我国筑港技术的进步和发展, 上海国际港务(集团)有限公司和中交水运规划设计院组织了专门的课题组, 联合众多国内科研机构 and 高等院校, 运用集装箱码头设计、建设和营运中积累的丰富经验, 发挥集体的智慧和力量, 开展了对现代集装箱码头建设集成创新技术的研究。

集成创新是随着科学技术的迅猛发展和市场需要的快速变化而逐渐演化形成的一种创新模式, 它通过技术集成、知识集成和组织集成过程的不断升级, 把当今世界的许多新知识、新技术创造性地集成起来, 在各要素的结合过程中, 注入创造性的思

维, 以满足发展的需要。

研究成果包括工程建设项目的总体设计创新、设计手段创新、工程技术创新、生产管理创新、装备技术创新和项目管理创新六大部分。

## 1 集成技术创新

### 1.1 总体设计创新

规划设计理念是开展设计工作基本思路的源泉, 是设计成果先进性的决定因素。现代集装箱港口总体设计规划要有先进性, 设计理念要有前瞻性。

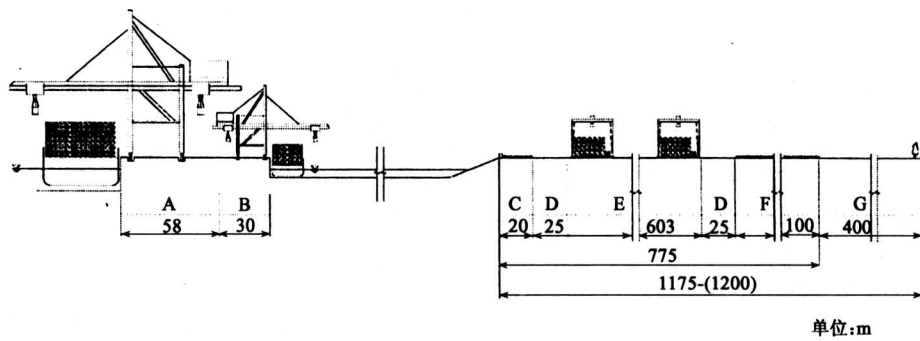
纵观世界港口发展趋势, 集装箱港口功能正在由传统的货物运输中心向物流服务平台发展, 向集国际商品、资本、信息、技术等一身的资源配置型港口发展, 港口物流服务也在不断扩展新的领域。外高桥集装箱港区规划设计充分考虑了上述因素, 主要体现在具有较强的可持续发展观点, 用规模经济的观点整合港口资源, 制定港口规划<sup>[1]</sup>。

1.1.1 采用了全新的功能横断面布置模式 总体设计采用了全新的现代集装箱港区功能横断面布置模式。典型断面布置如图1所示。其设计创新主要体现在: a. 布置第三代港口, 拓展港口物流服务

**[收稿日期]** 2005-05-16; **修回日期** 2005-11-16

**[作者简介]** 包起帆(1951-), 男, 浙江镇海市人, 上海国际港务(集团)有限公司教授级高级工程师;

吴 澎(1956-), 男, 北京市人, 中交水运规划设计院教授级高级工程师



- A—码头前沿作业地带（停船吨级：载箱量 250~7 200 TEU；泊位组岸线 900 m，通过能力 210~240 万 TEU/a 泊位组，或 32.2~35 万 TEU/100 m 岸线）；
- B—内河驳船码头前沿地带（停船吨级：载箱量 36~250 TEU；岸线 180~200 m，通过能力 10~12 万 TEU/a）；
- C—防洪通道、绿地、岸坡减负带（多种功能集合，一地三用）；
- D—港内道路（港内主干道宽度 15~30 m）；
- E—集装箱堆场（泊位组 900 m 岸线，15 200 平面箱位，通过能力 290~320 万 TEU/a）；
- F—绿地、共公地下管网（一地两用）；
- G—辅建区、港口物流园区。

图 1 全新的现代集装箱港区功能横断面布置模式

Fig.1 A bran-new functional transect layout for modern container terminals

的空间，为延伸港口产业链创造了基础性条件；b. 体现“自然、人与港口”和谐的主题，配置绿地，从港口环境的视角反映和谐、健康、高品质、多样化工作空间，从经济视角象征生机、无污染、可持续发展，丰富了港口气质；c. 布置了最经济、高效率、适应大小船作业、内河驳船转运的码头前沿作业地带；d. 提供充足的堆场平面箱位。

1.1.2 创立了高效运行的生产能力不平衡配置模式 总体设计创建了通过能力  $1\ 000 \times 10^4$  TEU (twentyfoot equivalent unit, 即标准箱) 量级集装箱港区的科学布置与港口高效率运行的生产系统能力不平衡配置模式。其主要创新体现在：

1) 选择船舶不误潮时作为港口高效率运行的控制节点。船时效率达国际先进水平（一般 225~270 move/船·h，最高达 529 move/船·h）。系统能力设计以 100% 发挥码头装卸能力为各系统通过能力的匹配原则，即：

$$P_{\text{信息}} > P_{\text{集疏}} > P_{\text{堆场}} > P_{\text{码头}}$$

不等式可最大限度降低港口生产随机性对码头装卸效率的影响，有利于保证大型集装箱船不误潮时（载箱量 6 000 TEU 量级船为 10 万美元/船天左右）。

2) 科学地开发水域、岸线、陆域资源，为港区可持续发展创造适度空间条件。优选码头前沿位置，保持河口岸滩深槽稳定，使码头港池内基本上无维护性疏浚量，为保证港口高效率运行奠定了基

础；有机疏散泊位组，减少与港区周边的冲突；填滩造地，保证足够的陆域纵深，形成人工环境与自然环境相和谐的港区。

3) 港城融合，港区扩展时空发展有序。依据河口自然条件和城市发展规划，有机地将泊位组规划为集装箱码头一、二、三、四、五期，分布在高桥嘴和 5 号沟两个区域，并随运量增长有序建设，形成 15 个标准泊位，通过能力达  $1\ 000 \times 10^4$  TEU 量级。

## 1.2 设计手段创新

信息技术的飞速发展不断为改进集装箱码头的设计手段提供了有力工具。集装箱码头生产系统是由若干个离散、随机事件组成的系统，传统的设计方法很难对系统各环节的改变所产生的影响作出量化的评价，因此，在设计阶段对设计方案的评价和完善，很大程度上要依靠对已建码头生产实践的经验总结。为了适应集装箱运输快速发展、船舶大型化、码头作业高效化等需求，在外高桥五期集装箱码头设计中，引进了虚拟仿真技术，建立了集装箱码头虚拟仿真模型。这个模型比在四期设计阶段采用的数字仿真模型能更全面地反映集装箱生产作业系统的全过程。

虚拟仿真技术是在计算机内建立集装箱码头的数字化模型，用动态图像显示码头建成后的运行情况，对不同的设计方案进行测试、分析和评价，经

反复修改后，提出最优的设计方案。

虚拟仿真模型的主要功能是对设计的集装箱码头生产系统进行仿真试验研究，根据集装箱运输的发展趋势和码头功能、作业效率等的发展趋势，预测、分析各设计方案的资源利用率和系统的生产能力，对不同的设计方案进行评价，选择优化方案。

为使模型能够更真实地反映拟建集装箱码头的生产情况，需建立集装箱码头工艺系统基本特征数据库，该数据库包含集装箱船舶到港规律、车辆进出闸口规律、船舶在港作业规律、装卸作业设备效率、码头岸线使用规律、水平运输规律等大量实测统计数据，并依据对实测数据的分析，建立各离散事件的数学模型。

集装箱码头虚拟仿真模型可反映系统主要行为特征的变量与系统结构参数之间的关系，采用排队论，从概率统计的角度分析和优化港口装卸工艺系统的过程性能，并对系统的动态特性进行描述。

在外高桥五期集装箱码头设计中，利用该模型进行了以下研究工作：

**1.2.1 集装箱堆场装卸工艺研究** 集装箱堆场采用轮胎式集装箱龙门起重机和轨道式集装箱龙门起重机的方案比较。船岸装卸采用岸桥，水平运输采用集装箱拖挂车和集装箱半挂车，堆场作业比较轮胎式场桥和轨道式场桥方案。以码头通过能力为主要评价指标，进行了综合分析、评价。为集装箱堆场采用轮胎式龙门起重机方案提供了依据。

**1.2.2 船舶柔性靠泊系统研究** 船舶柔性靠泊是指根据船舶到港情况、可使用岸线长度、船舶间距等确定船舶停泊位置。《海港总平面设计规范》中集装箱码头年泊位通过能力，是根据泊位有效利用率、设计船时效率、集装箱单船装卸箱量、装卸作业时间等参数计算得出的。当集装箱码头靠泊的船舶吨级相差较大，单船装卸箱量也相差较大时，较难判断上述各项参数的合理取值。本项研究对比分析了船舶柔性靠泊和按固定泊位靠泊的码头通过能力，提出了外高桥五期集装箱码头推荐方案的极限通过能力和合理通过能力。这项工作也为集装箱码头泊位组、设计船型组、码头岸线利用率等新概念积累了一定素材。

**1.2.3 码头前沿装卸区不同码头面宽度研究** 集装箱码头前沿宽度要满足集装箱装卸船作业及与码头水平运输顺畅连接的需要。外高桥港区集装箱码头均为栈桥式码头，码头宽度的确定既要满足生产

营运的需要，又不能建得过宽，造成浪费。外高桥集装箱码头建设过程中，在设计阶段，一般是通过调查已建码头生产营运的实践经验，预测分析未来集装箱运输和码头生产需求的可能变化，结合拟建码头前沿的平面布置，经分析、论证确定。外高桥一期码头面宽度为43 m，二期、三期的码头面宽度为50 m，四期码头的宽度为54.5 m。从这个演变过程可以从一个侧面看出，集装箱运输船舶大型化给集装箱码头作业的高效化不断提出新的要求。为了定量分析码头前沿宽度与影响码头作业效率诸因素的关系，在外五期码头设计中，采用虚拟仿真模型对三种码头面宽度（50 m，54.5 m和58 m）进行了仿真试验研究。通过对集装箱码头的宽度不同时，集卡在岸桥下的等待时间、排队数及集卡在码头前沿的滞留时间等因素的研究、分析，以及对集装箱船舶在港停时等的影响分析，为码头宽度方案的决策提供了依据。

**1.2.4 堆场区道路交通量分析** 堆场是码头运输货物的中转站，在码头系统中主要起调节和缓冲作用。由于装卸船的集装箱卡车和外埠集疏运卡车同时在堆场内进行装卸作业，所以堆场是码头各子系统中最为复杂的部分，堆场的水平运输系统也就成为影响码头整体作业效率和船舶在港时间的重要因素。为了解拟建码头在未来营运时堆场道路的交通流量情况，分析论证设计方案中堆场道路主尺度的合理性，选择典型工况对外五期集装箱码头总平面布置推荐方案进行了仿真试验和分析，分别得到纬1路~纬4路、经1路~经5路在此工况下的小时平均交通流量，为分析、确定堆场道路的主尺度提供了依据。

在设计中引入虚拟仿真技术的意义在于可以提高对集装箱码头设计方案的评价水平，同时提升了设计阶段选择设计方案的决策科学性。

本模型将集装箱码头的生产系统各环节进行集成仿真，应用于集装箱码头设计方案的评价和决策，在我国尚属首次。随着模型使用经验和生产实践经验的不断积累，以及计算机技术的不断发展，模型还将会得到不断完善，特别是在建立完善的设计方案的评价指标体系方面，还有许多工作可做。这也说明，虚拟仿真技术作为集装箱码头辅助设计手段，还处于不断成长的过程中。

### 1.3 工程技术创新

外高桥集装箱码头建设中，在快速地基加固技

术、半刚性基层沥青铺面结构应用于集装箱港区道路以及聚丙烯纤维混凝土的应用等方面取得了突破。

### 1.3.1 大面积粉细砂吹填成陆快速地基加固技术

外高桥港区堆场和道路的设计高程为 4.8~5.5 m, 港区场地的原始地面标高较低且起伏较大, 因此在对场地进行地基处理前首先在其上吹填了匀级配细砂层。形成港区陆域的吹填细砂层, 在吹填完成后多呈饱和、疏松状态, 如果不做适当加固处理, 回填粉细砂层不但存在承载力不足、在动载作用下液化等问题, 还将会影响港区将来的正常运营。另外, 港区吹砂前的原始地质、地貌情况十分复杂, 下卧软弱土层埋藏深且在不同区域厚度、高程差异较大。此外, 由于近年来人为活动的影响, 浅层部分区域还分布有一层厚度变化较大且工程地质性质很差的欠固结吹填软土层。

为解决港区陆域饱和疏松细砂地基和浅层欠固结吹填软土层的地基加固问题, 结合工程建设的具体工期、投资、荷载特征、地质构造以及上海港口建设和集装箱码头的营运实践, 在广泛调研的基础上, 通过室内试验研究、现场试验研究和数值模拟, 在不同区域实施了振动碾压法、无填料振冲法、低能量强夯联合降水法等地基加固施工技术, 满足了集装箱港区地基的技术要求。

在外四期 C1 区和外五期 A1 区粉细砂地基采用的无填料振冲加固法, 将该工法的适用范围由中粗砂扩展到了粉细砂。

在外四期 C2 区和外五期 B 区采用低能量强夯联合降水法加固地基, 一方面采用人工排水的方式来加速超孔压的消散, 另一方面采用由轻到重, 逐级加能, 轻重适度和少击多遍的夯击工艺, 严格控制单击夯击能和单遍夯击次数, 避免上层土体出现严重的结构破坏和液化, 并通过合理设置排水体系来加速超孔压的消散和土体固结, 通过逐级加能和遍数的增加来逐渐提高软土的强度, 增加加固深度, 从而有效地避免“橡皮土”等问题的出现。

1.3.2 半刚性基层沥青铺面结构在集装箱港区道路的应用 沥青铺面结构由于具有足够的力学强度, 一定的弹塑性变形能力和对轮胎的强附着力等工作性能, 因此能很好地承受流动机械、车辆荷载施加到路面的冲压作用力和剪切作用力, 使车辆在沥青铺面上行驶安全平稳、振动小、噪声低。使用期内沥青路面外观干净整洁、色深不刺眼、不扬

尘、清洗方便且维修工作较简单。半刚性基层沥青铺面应是现代化港口高等级道路堆场优先采用的结构形式。

外高桥集装箱港区道路沥青铺面结构的应用研究借鉴了高等级公路、机场跑道沥青铺面结构设计、施工的研究成果, 在调查分析和总结的基础上, 充分结合港口工程建设特点, 研究攻关, 在港区道路应用沥青铺面结构的技术上有了新的突破。

我国集装箱码头港内道路与堆场一般采用混凝土大板或混凝土联锁块铺面结构, 没有采用沥青铺面的工程经验。随着港口建设的发展, 港口装卸机械类型不断增多, 并日趋大型化。在集装箱码头的港区道路采用沥青铺面直接参照公路等相关规范的基本理论、材料参数及结构设计, 不能解决港区重型流动机械和多轮叠加作用下沥青铺面的破坏问题, 同样仅采用弯沉一项指标, 作为设计强度指标, 不能反映重型流动机械重复作用下的沥青铺面弯拉、剪切、开裂、推移等破坏现象。

研究工作围绕集装箱港口重型流动机械和轮轴多的特点, 重点研究沥青铺面结构的强度和高温稳定性。在大量调研、试验与理论研究的基础上, 就沥青铺面材料、结构厚度计算、拉剪应力验算、搭接处理、排水方案、施工工艺与质量控制等提出了系统的和具有创造性的设计方法, 为工程应用提供了依据。

由于港区道路堆场荷载的特殊性和技术等方面的原因, 在公路工程中应用较多的半刚性基层沥青铺面结构, 目前国内大中型港口的港内道路堆场中还没有应用的先例。外高桥集装箱港区率先在港内道路上采用沥青铺面, 其效益主要体现在缩短工程建设周期, 改善港口外观全貌, 减少港口大量流动机械轮胎磨损, 避免铺面使用期维修对港口正常运营造成的影响, 降低噪声、粉尘及白光反射污染, 提高作业人员舒适度, 提高港区作业效率和环境水准, 充分体现了以人为本的设计理念。

1.3.3 聚丙烯纤维混凝土在集装箱码头面层上的应用 国外对聚丙烯纤维混凝土的研究始于 20 世纪 60 年代, 国内的研究起步较晚, 且在工程实例中还没有应用于水工码头的先例。码头面层裂缝是港口工程建设需要解决的难题之一。

在外高桥港区集装箱码头的建设中, 为了减少水工码头面层的裂缝, 提高混凝土的耐久性, 采用现场试验的方法, 对 C30 和 C40 混凝土比较了磨耗

层后浇、真空吸水、掺加尼龙纤维、掺加聚丙烯纤维等不同措施的效果。通过分析对比混凝土的抗裂性能,抗冲击性、收缩性、劈裂强度,抗压强度,抗折强度,抗渗性能等主要指标,并对不同措施的经济性进行了分析。最终采用了掺加长度为38 mm,掺量为 $1\text{ kg/m}^3$ 的国产聚丙烯纤维方案。使聚丙烯纤维在水工码头面层混凝土中得到首次应用(三、四、五期码头共约 $20 \times 10^4\text{ m}^2$ ),增加了混凝土的强度和抗冲击,耐疲劳等性能,有效地减少了码头面层混凝土裂缝,提高了混凝土的耐久性。

**1.3.4 带攀梯防冲板鼓型橡胶护舷的发明** 为满足外高桥港区集装箱码头停靠大型集装箱船舶作业,同时也停靠长江驳船作业,满足不同水位期间有关人员上岸所用爬梯的安全性,也同时满足大型船舶防冲需要,在外高桥四期、五期集装箱码头设计中发明了带攀梯防冲板鼓型橡胶护舷,具有攀登功能,不易被靠泊的船只撞坏,使用安全可靠,保证高、低水位均可使用的功能。

#### 1.4 生产管理创新

外高桥集装箱码头建设的核心是要提升港口集装箱处理能力,促进集装箱码头核心竞争力的提高。

数字化的生产管理系统创新技术基本涵盖了港口集装箱作业的全过程,其中实时生产指挥系统属工艺创新,主要面对作业层人员;生产评价决策系统属管理创新,主要面对管理层人员;客户服务系统建立了港口信息化的基础平台,主要面对客户。

**1.4.1 实时生产指挥系统** 传统的集装箱生产工艺根据“作业线”来静态配置装卸机械,一组装卸机械只为指定的一条作业线服务,因此作业负荷随时间分布不均匀。传统工艺卸船和装船采用分段作业,卸船时集装箱卡车空车来重车去,装船时集装箱卡车重车来空车去,集卡利用率不高,浪费了宝贵的设备资源。

外高桥集装箱码头运用智能化模糊控制理论,融合现场操作和管理人员的智慧和经验,自主开发了先进的集卡全场智能调控软件,根据作业线需求的优先级,兼顾路程就近原则,自动给集装箱卡车发布动态调配指令,在不同的时间段为不同的作业线服务,使系统的整体装卸作业能力有了较大提高。

在垂直作业面,新的装卸工艺采用了装船和卸船同时作业的同倍位同步装卸技术,岸桥从船上卸

下一个集装箱后,返回时随即装上一个集装箱,实现了边装边卸,明显缩短了累计作业时间。同时集卡重车来重车归,空驶率明显降低。

传统的集装箱堆放工艺是同一条船的集装箱集中堆放,具有管理方便的优点,但造成作业集中,效率低下。新的全场智能堆放系统运用智能模糊控制理论,将集装箱按一定规则分散堆放,即根据场桥位置、集卡等候情况以及船名、航次、港口、箱型等分开堆放,有效提高了作业效率。

外高桥集装箱码头的闸口管理也从传统的人工校对转变为无人管理。闸口系统作为整个信息系统的有机组成部分,采用计算机学科相关领域最先进的技术,创新性地各分支技术整合,形成先进的、高度集成的、高度自动化的道口识别放行系统,并与码头生产管理系统实现无缝结合,推动了信息管理标准化的进程,极大地提高了作业效率。

**1.4.2 生产评价决策系统** 上海港要建成国际航运中心和集装箱枢纽港,必须适应全球的激烈竞争及发展趋势,要求集装箱码头管理人员迅速正确地码头生产状况做出评价、优化及决策。随着港口生产的不断发展和港口功能的不断提升,对决策质量的要求更高,决策时要考虑的因素更复杂,决策的速度也更快,因而对港口信息化决策水平的要求越来越高。

上海港集装箱码头生产多级优化管理系统,以系统的评价、优化及决策为目标,建立了4类14项生产评价指标,通过对码头各指标的评价,不断地根据码头实际作业能力和作业效率,对码头生产流程与状况提出完善措施和指导意见,进一步加强了信息流通和管理的有效性。正确的评价也大大提高了作业人员的作业积极性和作业效率。

同时该系统还具有预防式管理功能,即设定临界值并进行趋势分析。自动预警机制的引入提升了管理的质量。在实施自动报警的实践中,不断改进和完善了预警信息的发送方式,目前已做到E-mail发送、管理平台发送和短消息发送。

**1.4.3 客户服务系统** 在上海港EDI系统已成为运用比较成熟的技术。EDI系统主要是将与集装箱运输相关的各个环节,其中包括职能监督部门(如海关、商检)、外轮代理、船公司、货代、码头以及在集装箱流通过程中提供特殊性服务的部门或公司,形成一个独立的信息网络,使相互传送的信息可以安全、准确的到达目标部门。

外高桥集装箱码头的客户服务系统除传统的 EDI 信息服务外,还包括四大部分内容: Web Service 网站、自动帐单系统、无线 Java 查询和声讯服务。Web Service 技术主要运用在信息发布的过程中,由于码头所面对的客户对象非常多,每个客户所想得到的数据与信息也不尽相同,采用 Web Service 技术,可满足客户按照自己所需进行定制的要求,同时也提高了信息的准确性和实时性。自动帐单系统是根据客户的要求,由系统在后台自动生成客户所需要的帐单,并由系统直接发往客户的系统中。无线 Java 技术是把客户所关心的信息通过无线 Java 技术的开发,以图形化的形式展示给客户或管理人员,使客户或管理人员能得到正确的实时图形化信息。该系统可在具有 Java 平台的手机上构建客户端,充分利用集装箱码头公司的数据库系统,提供高效、方便、快捷和移动性强的各种信息查询服务。自动声讯服务系统是由系统向客户提供各类客户所关心的信息,加快客户对码头信息和集装箱状态信息的跟踪。

### 1.5 装备技术创新

1.5.1 双 40 英尺岸桥 当前世界集装箱码头岸边集装箱起重机的发展趋势是日益大型化、高速化和新型化。新型岸桥主要有以下两种:双小车岸桥和双 12.172 m (40 英尺,考虑专业通用习惯,以下仍采用非法定单位的英尺)岸桥。外高桥五期工程成功开发和应用了世界第一台双 40 英尺岸桥,它不同于单起升机构的双 40 英尺吊具,具有适应工况更多、起升更平稳、效率更高的优点。与新型双小车岸桥相比,双 40 英尺岸桥的理论生产率要高 25% 左右。双 40 英尺岸桥在外高桥五期工程的应用必将带动集装箱码头装卸技术的发展。

1.5.2 轮胎式集装箱龙门起重机新型防摇技术 通过对目前国内外减摇装置的形式和性能比较,在外高桥五期工程使用的场桥上首次应用了 8 绳双向防摇技术,增加了大车方向的防摇功能,大大减小了小车方向的晃动值,缩短了对箱时间,从而提高了作业效率和设备的安全性能。

1.5.3 新型起重机状态监测和管理系统 在外高桥五期工程的 12 台岸桥和 48 台场桥上均配置了新型起重机状态监测和管理系统,将起重机操作、地面控制管理以及公司层面的操作放在同一个网络系统中,使各有关方可及时了解工作状况和进度,具有管理、设备监测和故障诊断等综合功能,提高了

码头的管理效率。

1.5.4 无线数字集群通信 无线通信系统是集装箱码头高效运营的基础条件之一。外高桥集装箱码头无线通信平台建设,按照整体规划、分步实施的原则,采用 TETRA 系统组建上海港国际航运中心无线通信平台的数字集群分系统。在外高桥五期工程建设中,采用了 TETRA 单站集群的语音调度系统,将 TETRA 系统在我国的应用领域拓展到了港口行业,并为进一步应用奠定了基础。

1.5.5 大型设备防风锚锭装置 随着集装箱码头装卸设备的日益大型化,设备防阵风、防台风措施对码头正常运营和安全生产越来越重要。外高桥港区的大型机械选用了新型防风锚锭装置,采用了主动车轮马达轴上制动器+从动轮上的车轮制动器+新型锚锭装置+防风系固装置的多重保护方式,提高了设备在阵风及台风情况下的安全性。

1.5.6 自行式防汛钢闸门 外高桥集装箱码头布置在长江防汛堤外侧的合适水深处,堆场布置在防汛堤后侧,纵向道路穿过防汛堤将码头与堆场连成一体,同时在防汛堤开口处设置闸口以满足汛期防汛需求。上海地区传统的防汛闸门均采用人工合闸的方式。在外高桥港区首次开发应用了自行式防汛钢闸门,解决了大跨度高强钢闸门的结构型式、大荷载长距离无轨自动纠偏,驱动形式及行走机构,多点油缸液压系统及闸门密封等技术问题,提高了闸门的运行效率。

1.5.7 自动监控系统 雨水泵站计算机自动监控系统,将计算机自动控制技术和计算机信息处理及通讯技术应用到全港区雨水泵站排水控制系统,实现雨水泵站排水系统无人值班,全自动控制,把泵站运行状态及水位信息实时传输至中央控制室及管理部门,在雨季汛期为抗台防汛工作发挥积极的作用。

照明自动监控系统改变了传统的港区照明系统人工操纵,根据码头工作需要和天气状况采用计算机自动控制照明,从而节省了能源和劳动力。

供配电自动监控系统在外高桥集装箱码头的总变电所实施,主要通过智能化手段对港区和码头的电力运行参数、开关运行状况等进行遥测、遥信和遥控。

### 1.6 项目管理创新

在工程建设中开发和建立了工程项目信息管理系统。应用计算机技术和网络通讯技术,将数据管

理、事务处理、统计分析、多媒体信息处理、工作流程管理、远程数据传输等集成于系统平台，通过信息化应用，支持工程指挥部办公系统电子化，辅助项目管理决策，提供工程项目合同执行、工程进度和质量的动态管理，提升了工程指挥部精简高效的管理水平。

在工期紧迫和工程质量确保优质必须得到有效控制的前提下，通过同步流水作业、关键线路目标推进、交叉施工的有机结合组织实施等，将工程建设的时效性体现在工程进度管理中，创造了 20 个月完成外五期这样一个规模宏大、技术含量高、管理复杂的港口工程建设任务的奇迹。与此同时，将工程质量管理贯穿于工程决策、工程设计、工程招标、工程材料采购、工程施工、工程产品保养、工

程验收等七大环节和文明工地建设之中，努力确保工程建设质量上台阶。

在工程建设管理中，应用量清价定、银行保函、过程审价等创新性的管理方法，确保工程建设近百亿元的巨额资金安全运行，使工程投资得到有效控制。

## 2 外高桥集装箱码头的现代化水平

外高桥集装箱码头岸线总长 4 825 m，设计水深 -12 ~ -14.2 m，陆域面积 534 hm<sup>2</sup>，配有岸桥 57 台。外高桥集装箱码头基本情况见表 1。

新码头的陆续投产推动了上海港集装箱吞吐量的迅速提高，图 2 为外高桥集装箱码头完成的吞吐量与上海港集装箱总吞吐量的增长对比图。

表 1 上海外高桥集装箱码头基本情况

Table 1 Basic data of Shanghai Waigaoqiao container terminals

项目	外一期 (改造)	外二期	外三期	外四期	外五期
开工时间 (年月)	1997-07	1997-09	1999-10	2000-03	2003-03
完工时间 (年月)	1998-06	1999-08	2001-11	2003-01	2004-12
泊位数量/个	3	3	2	4	3
泊位长度/m	900	900	665	1 250 (+187)	1 110 (+190)
泊位水深/m	-12.0	-13.2	-13.2	-14.2 (-8.7)	-14.2 (-4.5)
码头面宽度/m	45	50	50	54.5+30	58+30
陆域纵深/m	553	1 200	1 020	1 200	1 220
数量/座	4	4	3	4	4
宽度/m	14×3 座 15×1 座	20×2 座 15×2 座	20×3 座	20×3 座 25×1 座	20×3 座 25×1 座
总长/m		242	422	820	1 084
平面箱位/只	6 434	14 554	7 746	16 528	19 083
陆域面积/10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	50	102.13	63.86	155	163
其中堆场/10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	21	49	26	55	76
绿化/10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>		17.5	13.3	31	40
岸桥数量/台	10		19	14	14
场桥数/台	36		61	48	48

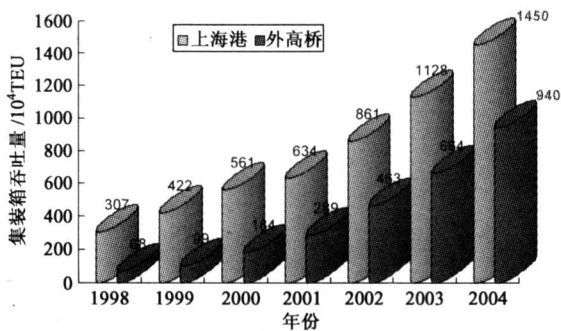


图 2 上海港及外高桥集装箱吞吐量增长趋势

Fig. 2 Uptrend for container throughput of Shanghai Port and Waigaoqiao Port Area

港区建设遵循集约化程度高、规模化、大型

化、多功能、多层次、结构合理的大港区的理念<sup>[2]</sup>，至 2004 年 12 月，外高桥集装箱港区已形成 1 000 × 10<sup>4</sup> TEU 量级的吞吐能力；依据本港区的区位和航线特点，可停靠目前运行的载箱量 8 000 TEU 量级大型集装箱船舶；内河集装箱驳船在码头可直接转运；码头陆域纵深中有 400 m 左右为港口物流园区用地，使港口物流活动在港内有机衔接，并将成为港口运营的组成部分。

各码头选用具有国际先进水平的数字化生产管理系系统，形成了一整套科学合理的装卸工艺、作业流程和智能调度系统的现代化管理理念。

由于实施动态配置管理，采用装船卸船同时作业的同倍位同步装卸技术和集卡全场智能调度控制

系统,明显提高了码头作业的船时效率。

集装箱运输因为具有便捷、安全、低廉、高效的优越性,所以在世界交通运输中得到了迅猛发展。2003年全球集装箱吞吐量排位前100位的港口共完成 $2.55 \times 10^8$  TEU,增速达13%,年净增 $3\ 020 \times 10^4$  TEU。前30位港口中增速最快的是深圳港(40%),净增箱量 $303.6 \times 10^4$  TEU,其次为上海港(32%),净增箱量 $275.8 \times 10^4$  TEU,在全球吞吐量增速、绝对增量数持续保持领先地位。在全球集装箱港口吞吐量排名中上海港居第三位<sup>[3]</sup>。

港口作为集装箱运输网络系统的关键节点,集装箱码头成为发展的核心点。上海港外高桥港区已经形成 $1\ 000 \times 10^4$  TEU量级的吞吐能力,作为一个港区位居全球首位。

1994年和1996年,中央两次提出要把上海建设成国际航运中心,这是一项重要的国家战略,建设航运中心的基础性条件必须把上海港建设成国际集装箱枢纽港。1996年上海港集装箱吞吐量为 $197.1 \times 10^4$  TEU,与国际集装箱枢纽港差距较大。外高桥集装箱码头的建成推进了上海港集装箱吞吐量的快速增长,从而为推动上海港在世界集装箱吞吐量排行榜地位从5年前的第10位上升到第3位,发挥了关键性的作用。同时新码头的陆续建成也引起了国际同行的关注,凡是参观考察外高桥码头的国际同行无不为之感叹,称新码头是国际上最现代化的码头之一,在技术上和装备上为把上海建成国际航运中心打下了基础。

外高桥集装箱码头的建成,推动了全国集装箱码头筑港技术的进步和发展。外高桥集装箱码头在建设中应用了大量的创新技术,并进行了系统集成,这些集成创新技术对推动全国港口同类码头的建设具有很好的借鉴作用,并一直得到全国同行的关注和好评。

### 2.1 码头基本参数比较

随着集装箱船舶的大型化,目前世界各主要集装箱枢纽港均采取措施迎接这一挑战,集装箱码头向着深水和大型的方向发展。目前世界最大型集装箱船舶总长度超过340 m,世界主要集装箱港口的码头单泊位岸线长度均已超过300 m,外高桥码头单泊位岸线长度为300~350 m,已经达到世界先进港口的水平,15个专业化集装箱泊位,均能满足国际干线班轮的靠泊要求。

陆域纵深尺度是反映港口适应快速发展、拓展

功能与推进环保对策的前瞻性的重要尺度。欧美等国港口土地资源相对丰富,欧洲主要港口的集装箱码头纵深一般是在500~700 m之间,单泊位陆域面积在15~26 hm<sup>2</sup>之间;北美主要港口的集装箱码头纵深更长一些,一般在750~1 200 m之间,单泊位陆域面积大多在30 hm<sup>2</sup>以上。

与欧美国家相比,亚洲主要港口的陆域资源普遍有限,早期建设的集装箱泊位纵深大多不超过400 m,例如香港港、新加坡港、高雄港,以及深圳港的蛇口与赤湾集装箱码头,单泊位陆域面积在10 hm<sup>2</sup>左右。

为适应集装箱船舶的大型化发展及港口平均装卸箱量的增加,近年来亚洲主要港口新建的集装箱码头面积也有所扩大,深圳盐田港区新建泊位的陆域纵深超过500 m,单泊位陆域面积达20 hm<sup>2</sup>以上;韩国釜山神仙台码头陆域纵深近750 m,单泊位陆域面积达26 hm<sup>2</sup>;上海港外高桥四期及五期码头陆域纵深达到了1 250 m,单泊位陆域面积达45 hm<sup>2</sup>,超过欧洲和北美国家的水平,见图3和图4。

水深条件也是集装箱码头的重要参数。香港、新加坡、盐田等港为天然深水良港,自然水深均超过-14 m,经过简单疏浚,航道及泊位水深达到或超过-15 m,能够满足目前最大集装箱船舶(8 000 TEU)全天候靠泊的要求,欧美地区港口最大水深基本也都在-14 m以上,能够满足6 000 TEU船舶正常进出。

上海港外高桥集装箱各码头泊位设计水深在-12~-14.2 m,但由于长江口航道正在治理,目前最浅水深仅为-9.5 m,大型集装箱班轮需乘潮进出,港口水深条件与其他主要国际集装箱港口存在一定差距。

### 2.2 码头设施比较

从单泊位配备岸桥台数来看,欧美人力成本相对较高,码头装卸桥配备较少,欧洲港口的单泊位配备岸桥在2~3台之间,北美港口单泊位配备一般仅有2台岸桥;而亚洲主要港口的配备相对较多,单泊位的岸桥配备一般为3~4台,盐田港三期单泊位配备岸桥已超过4台。外四期外五期的单泊位岸桥配备已达到4台,根据生产发展需要,未来岸桥配备将继续有所增加。

目前,世界主要集装箱港口均配备有先进的集装箱装卸桥,很多集装箱码头配备的岸桥外伸距超过55 m,可以满足22列排位的集装箱船接卸要求。



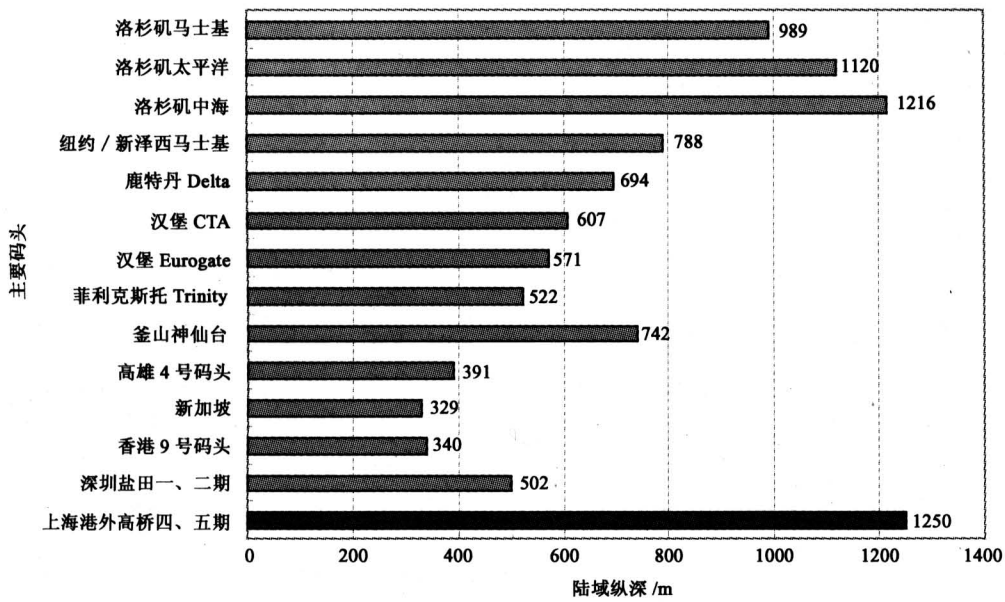


图 3 主要集装箱码头陆域纵深比较

Fig.3 Comparison of land depth among the main container terminals

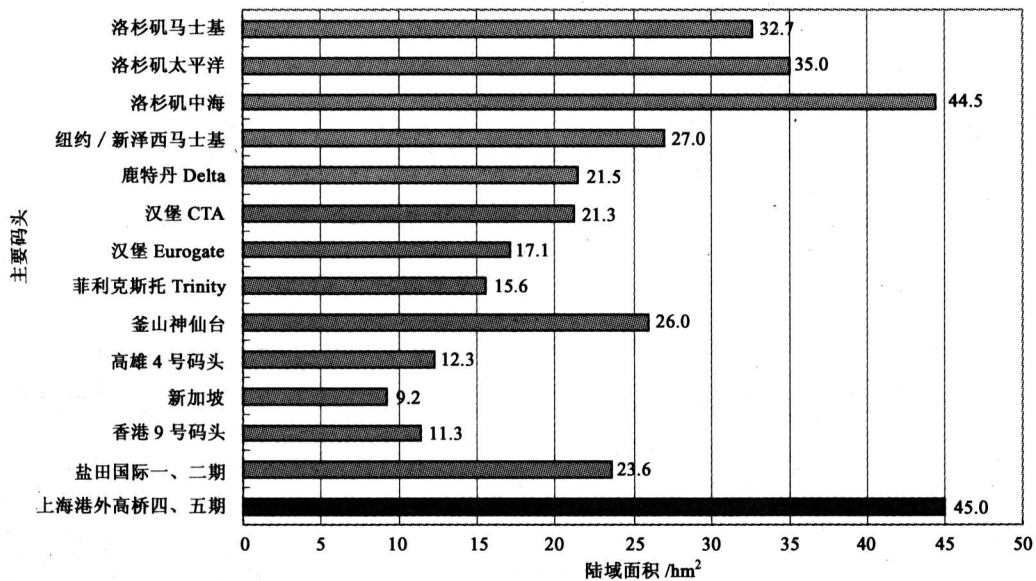


图 4 主要集装箱码头单泊位陆域面积比较

Fig.4 Comparison of land area per berth

外高桥四、五期配备岸桥的外伸距达到 63 m，起重量达到 61 t，是世界上外伸距最大的岸桥之一，可以满足目前乃至未来更大集装箱船舶的装卸要求。

### 2.3 生产效率比较

由于欧美等国码头资源相对富裕，因此其机械效率普遍不高，岸桥作业效率一般为 25 ~ 28

move/h。亚洲主要集装箱港口吞吐量增长迅速，而岸线资源较为紧张，港口生产十分繁忙，其岸桥作业效率很高，香港葵涌 HIT 码头岸桥作业效率平均为 34 move/h，深圳盐田港区在 32 move/h 左右，赤湾港区 30 ~ 32 move/h，蛇口港区也在 25 move/h 以上。外高桥码头的单机效率平均为 28 move/h，已达到国际先进水平行列，略低于香港、盐田和赤湾港。

社会集卡在港回转时间（进大门到出大门时间）是世界主要集装箱港口考核运营效率的主要指标之一。尽管世界各主要港口的陆域及道路条件存在差异，但是集卡在港回转时间一般均控制在 25 ~ 30 min/次之内。2004 年外高桥码头集卡在港平均回转时间达到 18 min/次，已远远高于国际先进港口的效率水平。

### 2.4 泊位能力比较

由于港口自然条件与需求发展速度上的差异，欧美港口的能力普遍较为富余，欧洲港口单泊位实

际吞吐量一般不超过  $40 \times 10^4$  TEU/a，北美港口不超过  $30 \times 10^4$  TEU/a，2003 年深圳盐田港区单泊位实际完成的集装箱吞吐量创造了  $100 \times 10^4$  TEU/a 的最高记录；香港葵涌码头平均单泊位集装箱吞吐量为  $65 \times 10^4$  TEU/a 左右；亚洲主要集装箱港口的单泊位吞吐量一般均在  $(50 \sim 65) \times 10^4$  TEU/a 之间。目前上海外高桥集装箱码头的单泊位实际完成吞吐能力在  $72 \times 10^4$  TEU/a 以上，单泊位完成量已达到或超过欧亚先进港口水平（见图 5）。

世界主要港口每百米岸线的吞吐量比较见图

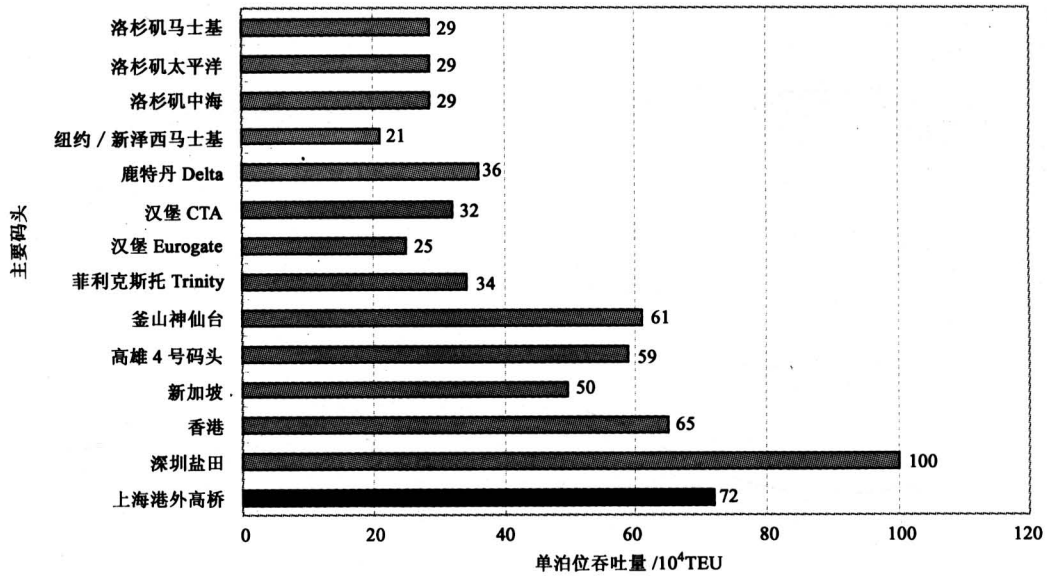


图 5 单泊位吞吐量比较

Fig.5 Comparison of throughput per berth

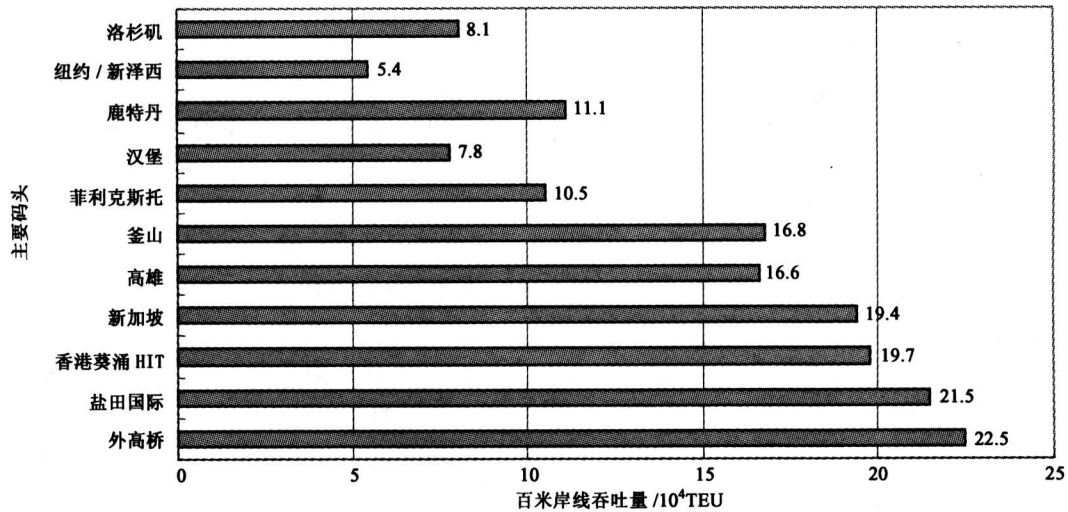


图 6 百米岸线吞吐量比较

Fig.6 Comparison of throughput per 100 m quay line

6, 其中亚洲港口的每百米岸线吞吐量普遍较高, 一般在  $(16 \sim 22) \times 10^4$  TEU 之间, 而欧美港口则为  $(5 \sim 11) \times 10^4$  TEU。上海外高桥集装箱港区单泊位的岸线长度略少于深圳盐田港区, 因而百米岸线的吞吐量最高, 达到了  $22.5 \times 10^4$  TEU。

### 3 结语

外高桥现代集装箱码头建设中的技术创新主要体现在总体设计、设计手段、工程技术、生产管理、装备技术和项目管理等方面。总体技术经国家权威部门检索, 达到了国际先进水平。建设过程中还申请了多项国家发明专利和实用新型专利, 这些具有自主知识产权的成果及在大型集装箱码头的成功应用, 标志着我国自行设计建造集装箱码头的能力和水平达到了世界先进水平。

目前, 在上海外高桥地区已建设了一至五期港区的 15 个泊位的现代化集装箱码头群, 每期工程的平均建设周期为 2 年。在此期间, 上海港的集装箱吞吐量从 1998 年的  $306 \times 10^4$  TEU 上升到 2004 年的  $1450 \times 10^4$  TEU, 平均每年增加  $191 \times 10^4$  TEU。外高桥建港工程充分发挥其装卸机械现代化程度高、效率高以及装卸工艺先进的优势, 为缓解上海港集装箱装卸能力不足起到很大的作用。实践证明, 外高桥集装箱码头采用了集成创新技术, 使工

程投资、质量和工期都得到了有效控制, 投产后生产运营良好, 不仅创造了显著的企业效益, 而且还对上海港集装箱运输的发展和上海国际航运中心的建设起到了积极的促进作用。

外高桥集装箱码头的建设带动了相关产业的发展, 推动了船舶代理、仓储、货运代理、集疏运等与港口业务相关的经济活动, 促进了就业, 具有显著的社会效益。

外高桥现代集装箱码头的集成创新技术, 提升了我国港口集装箱码头筑港技术的水准, 建成后的外高桥集装箱码头已经成为我国对外开放的窗口, 众多海内外的同行和船公司纷纷前来参观考察, 引起了普遍的关注和好评。这些创新技术必将推动我国港口集装箱码头建设的技术进步。

#### 参考文献

- [1] Tsinker G P. Port Engineering, Planning, Construction, Maintenance, and Security[M]. John Wiley & Sons, Inc, 2004
- [2] Cork S, et al. Vessels growth and the impact on terminal planning and development[A]. PIANC Proceedings 30th Congress[C]. Sydney, Australia, 2002
- [3] Top 100 Container Ports. Cargo Systems supplement, August, 2004

## Research on the Integrated Innovative Technology for the Modern Container Terminals of Shanghai Waigaoqiao Port Area

Bao Qifan<sup>1</sup>, Wu Peng<sup>2</sup>

(1. Shanghai International Harbour Administration (Group) Co. Ltd., Shanghai 200082, China;

2. China Communications Planning and Design Institute for Water Transportation, Beijing 100007, China)

[Abstract] Shanghai Port has leaped to the third on the list of global large ports from the tenth 5 years ago in terms of the volume of container handled. This is attributed mainly to the build-up of modern container terminals in Waigaoqiao port area. The paper introduces the integrated innovation achievements in such respects as the overall design, engineering, production management, etc., in building Waigaoqiao modern container terminals in Shanghai Port.

[Key words] Shanghai Port; Waigaoqiao Port Area; container terminal; integrated innovation; design; engineering