

应用计算机模拟方法辅助码头规划设计

彭传圣

(交通部水运科学研究所 北京 100088)

摘要：作为以量化结果辅助决策的有力工具之一，在发达国家，计算机模拟技术已经广泛应用于大型工程的规划设计领域。无论集装箱还是散货码头均属于比较复杂的服务系统，计算机模拟技术成为研究这类系统的重要手段。本文介绍了国内开发应用集装箱和煤炭码头计算机模拟模型，通过模拟试验研究回答其规划设计中面临的有关问题的几个案例。

关键词： 计算机模拟 码头 规划设计 决策支持

Application of Computer Simulation to Terminal Programming and Design

PENG Chuan-sheng

(Waterborne Transportation Institute, Beijing 100088)

Abstract As a powerful tool of decision-making support, computer simulation technology has been applied to programming and design area of huge construction projects to support decision-making in developed countries. Either container or bulk terminal is one of complex service systems, computer simulation technology become an important method to investigate these systems. Several examples to answer some questions faced during programming and design of some domestic container terminals by using results gained from experiments of computer simulation model developed for these terminals are presented in this paper.

Key Words computer simulation; terminal; programming and design; decision-making support

计算机模拟方法适用于研究难以建立数学模型的复杂系统，在建立系统模拟模型的基础上，通过输入模型不同的运作条件、在模型中采用不同的过程控制方法，得出相应的运作结果，建立系统运作条件、操作过程和管理方法与运作结果之间的量化关系，辅助实际和设想中的系统的相关决策。无论集装箱还是散货码头均属于比较复杂的服务系统，难以用直接的数学方法表示码头条件、操作过程和管理方法与运作结果的关系，计算机模拟技术成为有效研究这类系统，为其规划设计提供量化的决策支持的重要手段。国外一些著名的公司提供码头规划设计提供咨询服务时，均采用了计算机模拟研究手段^[1, 2]。

国内码头的规划设计中，也面临大量难以利用现行规范和借助现有经验回答的问题，开发模拟码头运作的计算机模拟模型，通过模拟试验得到的量化结果辅助决策，提高决策的科学性得到越来越多的重视。本文介绍国内应用计算机动画模拟方法研究有关码头规划设计

中问题的几个案例。

1 集装箱码头堆场作业方案选择

国内集装箱码头堆场通常采用轮胎式集装箱门式起重机(RTG)作业方式,一些码头由于堆场尺度的制约,为满足通过能力的要求,有意采用堆存密度更高的轨道式集装箱门式起重机(RMG)作业方式。同一集装箱码头堆场,不同堆场作业方式,码头基础以及作业设备的投资不同,码头运作也不同,方案比选时,设备数量成为重要因素^[3]。由于堆场设备的数量与码头的操作过程和管理方法密切相关,利用计算机模拟方法可以反映设备的配备要求。

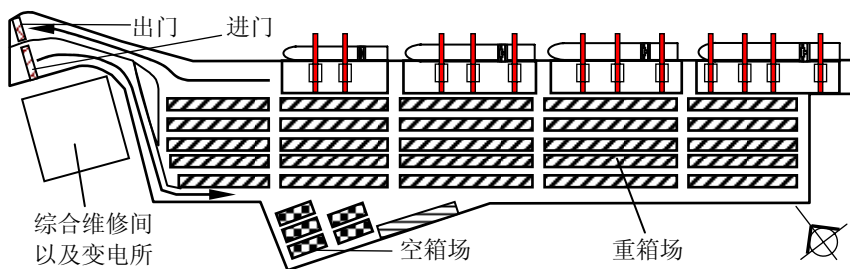


图 1 所示为

图 1 某集装箱码头堆场采用 RMG 作业方式的平面布置方案

国内某集装箱码头堆场采用 RMG 作业方式的平面布置方案,码头岸线总长 1202m,配置 12 台岸边集装箱起重机,图中横向布置 5 列、纵向布置 5 排,共 25 个集装箱重箱堆存区,每区堆存 9 列 6 层集装箱,相应的堆场采用 RTG 作业方式的平面布置方案,纵向布置 7 排集装箱重箱堆存区,共 35 个集装箱重箱堆存区,每区堆存 6 列 5 层集装箱。

为研究该码头规划设计中遇到的问题,建立了以船舶到、离港和集疏运车辆到、离港为边界,模拟码头内的各主要操作和管理过程,适应码头运作条件的变化的计算机动画模拟模型^[4]。考虑到 RMG 只能在轨道上移动,将 RMG 方案中布置于同一对

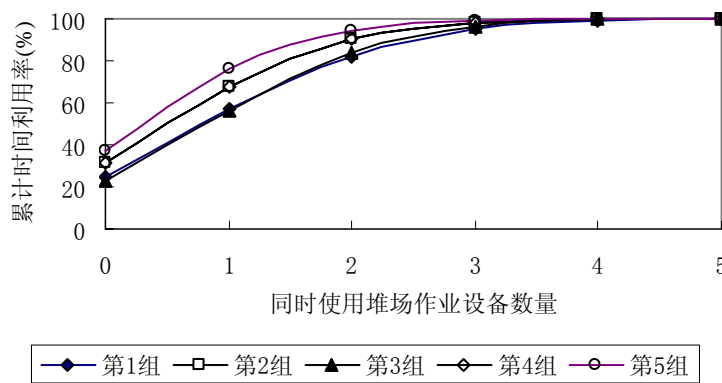


图 2 RMG 方案各组堆存区中不同数量堆场设备同时作业时间分布

起重机运行轨道之间的集装箱堆存区视为一组,由海侧向陆侧方向依次编组,共分成 5 组,此外,假设在每个堆存区上均配有 1 台轨道式集装箱门式起重机,以完成到该堆存区存取箱的车辆作业。在 150 万 TEU 年吞吐量(模拟研究结果证明这是在设定运作条件下本方案的极限通过能力)下,模拟试验所得各组堆存区中不同数量堆存区同时作业时间分布如图 2 所示,图中第 1 组和第 3 组以及第 2 组和第 4 组基本重合。这一结果表明,虽然每组堆存区中均存在所有堆存区同时进行存取箱作业的情况,但是时间极少,只要生产组织管理得当,不必每个堆存区均配置 1 台作业设备,每组配置 4 台,总计配置 20 台也是可以的。

图 3 所示为 RTG 方案在 110 万 TEU 年吞吐量(本方案的极限通过能力)下,模拟试验

所得不同数量堆场设备同时作业时间分布，结果表明如果在最繁忙时，所有设备均可用，则仅需配置 19 台 RTG。

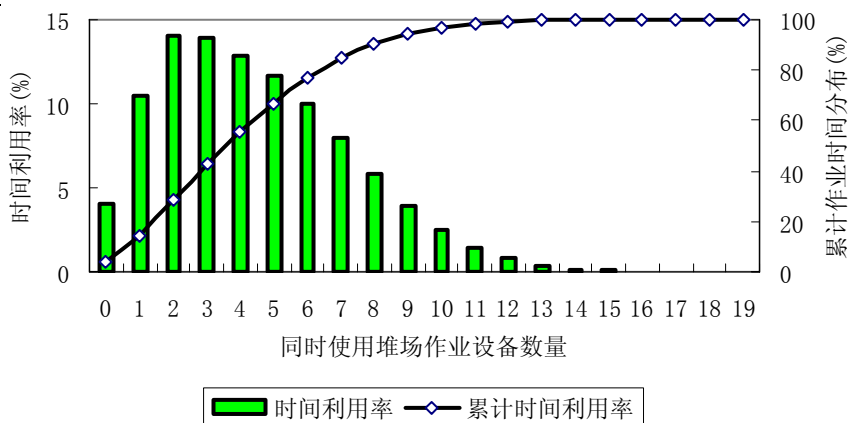


图 3 RTG 方案不同数量堆场设备同时作业时间分布

2 集装箱码头岸边集装箱起重机配置

岸边集装箱起重机是专业化集装箱码头的主要船舶装卸设备，由于其数量和性能是集装箱码头水平和能力的重要标志之一，而购置成本又较高，其配置历来受到港口的重视^[5]。岸边集装箱起重机的配置数量确定有很多种经验的方法，分别依据以 TEU 表示的台均年吞吐量、台均岸线长度或台均码头面积，国内通常与香港集装箱码头比较，认为每 100m 或者更少岸线长度配置 1 台岸边集装箱起重机才合适。其实对于具体的码头，岸边集装箱起重机的合理数量是与码头的运作条件、操作过程和管理方法密切相关的，单纯参照其它码头的台均年吞吐量、岸线长度或码头面积确定岸边集装箱起重机的数量是片面的。为综合考虑码头运作条件、操作过程和管理方法的影响，需要采用描述整个码头运作的计算机模拟模型，研究确定合理的岸边集装箱起重机数量^[5]。

上文研究堆场作业方案选择的码头，按照每 100m 岸线配置的 1 台的标准配置了岸边集装箱起重机，模拟试验表明，在堆场采用 RMG 方式时码头通过能力受到堆场容量的制约，达到极限通过能力时，岸

边集装箱起重机平均利用率仅为 35.6%，仍然有较大的利用潜力。图 4 所示为国内共配置 12 台或 8 台岸边集装箱起重机时，同时使用不同数量起重机的使用率和累计使用率，共配置 12 台起重机

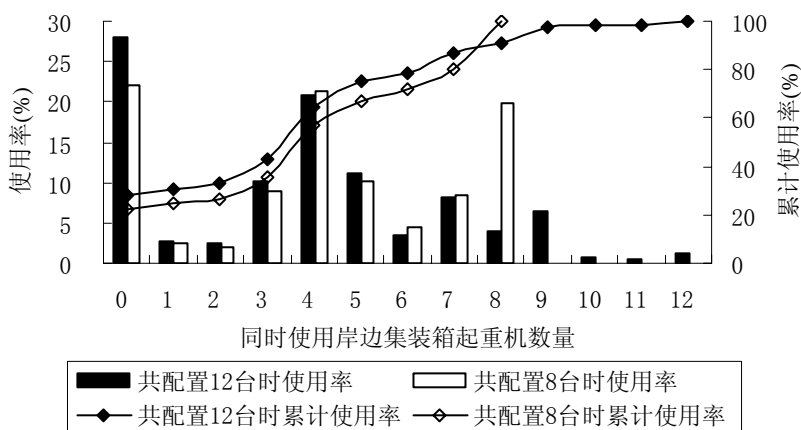


图 4 配置 8 台和 12 台起重机时起重机的利用情况

时，有 91.0%的时间内只要使用 8 台以下数量的起重机；共配置 8 台起重机时，同时使用 8 台起重机的时间占到 19.8%，起重机的平均利用率为 51.9%，仍然可以接受。

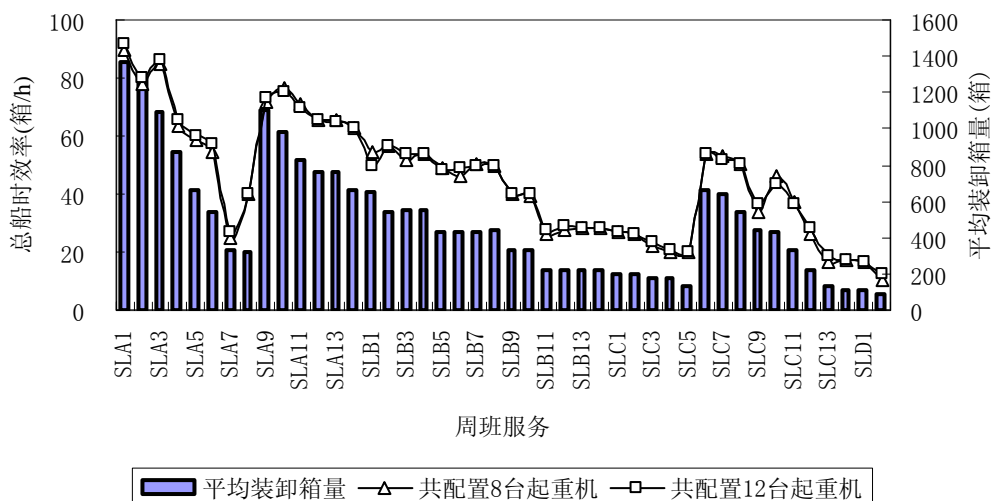


图 5 共配置 8 台和 12 台起重机时各周班服务船舶在港期间船时作业效率

在极限通过能力下，码头服务 44 个周班（8 个远洋、25 个近洋和 11 个沿海周班，各周班平均装卸箱量各不相同），图 5 所示为共配置 8 台和 12 台起重机时各周班服务船舶在港期间船时作业效率的变化，共配置 8 台与配置 12 台起重机码头运作效果相比较，大部分周班服务船舶在港期间船时作业效率有所降低，但是影响极其微小。这说明如果没有其它技术因素参与决策，该码头共配置 8 台起重机与配置 12 台起重机效果类似。

当前该码头配置 12 台起重机，能够适应在码头集装箱周转加快或者与后方堆场协同运

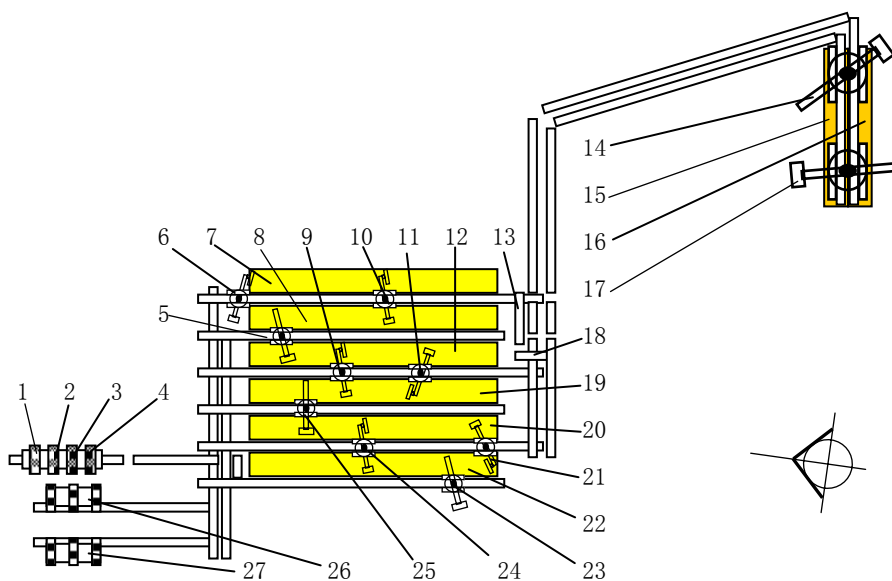


图 6 日照港原有煤炭码头平面布置示意图及设施或设备名称说明

- 1: 1 号螺旋卸车机 2: 2 号螺旋卸车机 3: 3 号螺旋卸车机 4: 4 号螺旋卸车机
- 5: 3 号堆料机 6: 6 号堆料机 7: 6 号堆场 8: 5 号堆场 9: 4 号取料机
- 10: 5 号取料机 11: 3 号取料机 12: 4 号堆场 13: 胶带机 6-2 14: 2 号装船机
- 15: 101 号泊位 16: 102 号泊位 17: 1 号装船机 18: 胶带机 6-3 19: 3 号堆场
- 20: 2 号堆场 21: 1 号取料机 22: 1 号堆场 23: 1 号堆料机 24: 2 号取料机
- 25: 2 号堆料机 26: 2 号翻车机 27: 1 号堆料机

作，将码头年通过能力提高到 200 万以上 TEU 的需要。

3 煤炭码头改扩建效果

某港原有煤炭码头平面布置示意图如图 6 所示，拥有 2 个 10 万吨级专用泊位，配备有 2 台双翻翻车机、3 台堆料机、5 台取料机、1 台堆取料机、2 台装船机、28 台胶带输送机以及相应的金属杂质分离、计量和取样设备。码头设计年通过能力 1800 万吨，2002 年实际吞吐量达到 2121 万吨。在生产实际中，码头形成一套不同于常规的运作管理方法，最主要的是完全满足按货主和煤炭品级分类分垛堆存的用户要求，大量采用位置和堆存容量均不定的临时垛位灵活进行煤炭堆存，以便有效利用堆场面积，此外，码头运作受天气和设备故障影响明显，到港火车有少部分不能翻车作业，只能由螺旋卸车机玩车卸车作业，运作管理比较复杂。

为适应我国西煤东运，北煤南调以及煤炭外贸出口量增长的需要，对原有码头进行了改扩建，以便进一步提高码头通过能力。图 7 所示为改扩建后的码头平面布置示意图，将原有

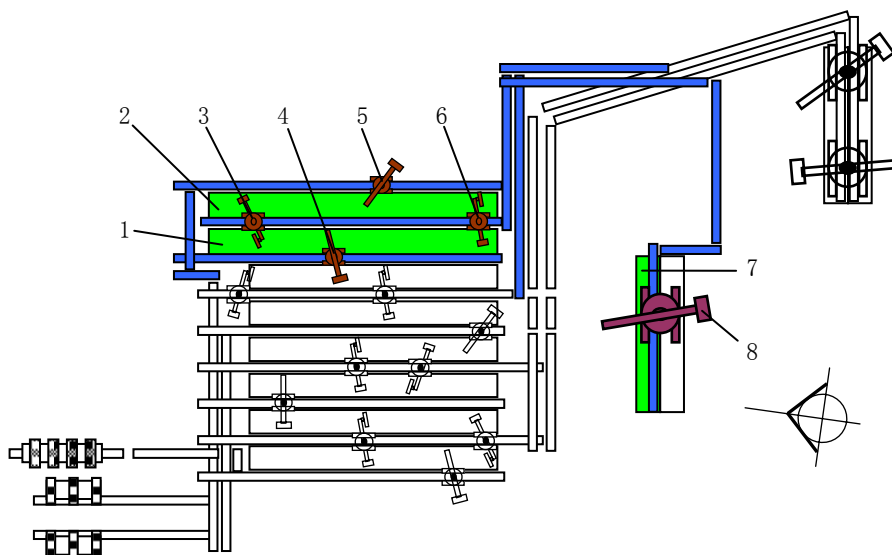


图 7 某港改扩建后的煤炭码头平面布置示意图

1: 5号堆场 2: 6号堆场 3: 8号取料机 4: 4号堆料机
5: 5号堆料机 6: 7号取料机 7: A号泊位 8: A号装船机

码头的胶带输送机 6-2 和 6-3 拆除，6 号堆取料机换成取料机，此外，如图中阴影部分所示，增加了 2 个堆场，2 台堆料机、2 台取料机、1 台装船机、1 个泊位以及 12 条胶带输送机构成新的码头装卸运输系统，以期提高整个码头的通过能力。

改扩建后的煤炭码头由于设备配置的制约，只有 5 号、6 号、7 号和 8 号堆场有能够到达 A 号泊位的装船作业线，1 号、2 号、3 号和 4 号堆场没有能够到达 A 号泊位的装船作业线，即如果船舶作业过程中不进行移泊，则通过 A 号泊位装船的煤炭只能堆存于 5 号、6 号、7 号和 8 号堆场上通过取料装船或者通过卸车装船作业线直取装船。加上依然采用不同于常规的运作管理方法，整个系统运作管理比较复杂，为此，建立了以船舶到港和离港以及火车到站和离港为边界，码头运作条件的表达适应码头设施的数量和位置的变化以及设备的数量、位置和性能的变化，描述了码头内的主要管理方法和操作过程，并报告反映码头服务水平的要素的量化结果，以便定量评估码头的运作条件、管理方法和服务水平之间的关系。

动画模拟模型^[6]。评估改扩建后码头的通过能力是该模型的应用之一。

在模拟模型建立后，应用该港提供的某一年时间（2001年11月~2002年10月，本文称为统计年，年吞吐量为2030万吨）的原有码头运作条件和统计结果对模拟模型进行了验证，在确认了模型的可靠性的基础上，应用该模型评估了改扩建后码头的通过能力。回答了下列2个问题（1）改扩建后的码头在统计年的码头运作条件下，码头的运作效果改善程度有多大；（2）改扩建后的码头提供与统计年原有码头同样的服务水平的前提下，码头的年吞吐能力能够达到多大。

利用建立的模拟模型，进行的以下3个试验可以回答有关问题：（1）原有码头模拟模型在统计年的运作条件下，年吞吐量2030万吨的模拟试验；（2）改扩建后码头在统计年的运作条件下，年吞吐量2030万吨的模拟试验；（3）改扩建后码头在统计年的运作条件下，年吞吐量2700万吨的模拟试验。

各模拟试验的船舶在港各状态平均时间如图8所示，图中“靠泊操作”指船舶开始由

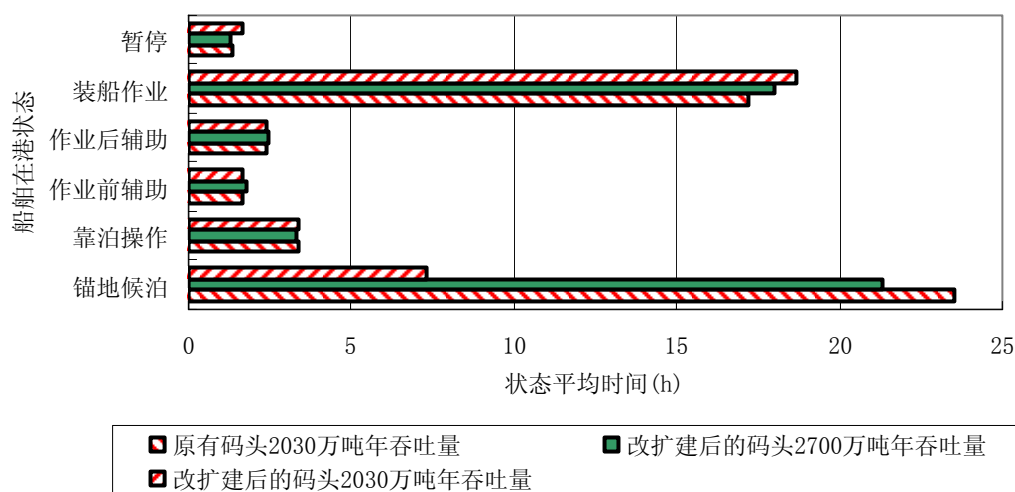


图8 有关模拟试验船舶在港状态平均时间

锚地向泊位运动并在泊位上靠停妥当的过程；“暂停”状态指靠泊操作过程中因天气影响造成的时间延误的状态。试验（1）、（2）和（3）的船舶平均在港总时间分别为49.52h、35.09h和48.19h。

试验（2）与试验（1）相比较，船舶平均在港总时间减少了14.43h，而且主要是船舶在锚地等候泊位的时间减少引起的效果。这说明改扩建后的码头如果在统计年的条件下运作，可以有效地减少船舶锚地等候泊位的时间，从而大大减少船舶在港总时间。试验（1）和（3）船舶平均在港总时间相当，各状态平均时间也接近，可以认为这2个试验表达的码头在相应的运作条件下，提供了相当的服务水平。因此，改扩建后的码头达到与原有码头统计年同样的服务水平，码头的年吞吐能力可达2700万吨。

各模拟试验码头有关设施和设备的平均利用率如表1所示，虽然改扩建后的码头在年吞吐量2700万吨时，装船机和泊位的利用率还低于原有码头统计年的水平，但是翻车机的

利用率加大，成为制约码头通过能力提高的因素之一，在进一步改扩建码头时，需要重点考虑卸车系统。

表1 有关模拟试验码头有关设施和设备的平均利用率(%)

设施设备	原有码头	改扩建后码头	改扩建后码头
	2030万吨年吞吐量	2030万吨年吞吐量	2700万吨年吞吐量
翻车机	42.08	42.46	55.35
装船机	43.54	28.55	37.12
泊位	63.94	45.73	59.68

为适应经济社会发展的要求和交通加快发展的形势，“十五”期间，沿海港口将建成164个深水泊位，新增吞吐能力3.4亿吨，其中新增69个集装箱泊位，新增吞吐能力1940万TEU，使得“十五”末，全国沿海港口深水泊位数增加到820个，总吞吐能力提高到17亿吨，其中集装箱专业化泊位达到152个，通过能力达到3735万标准箱，但是据预计届时沿海港口吞吐量将超过20亿吨，其中集装箱吞吐量将超过5800万TEU，依然面临吞吐能力不足的压力。随着内地经济的发展以及对内河运输的重视，内河已将面临同样的问题。因此，我国在今后一段时间内，除了改造现有码头，提升管理水平，进一步挖掘现有码头的潜力之外，需要大量建设新码头以适应运输发展的需要。在码头的规划设计阶段，如果应用计算机模拟技术，针对码头规划设计中遇到的问题，建立以船舶和集疏运车辆到港和离港为边界，详细描述了码头运作条件、操作过程和管理方法的码头运作模拟模型，则可以通过模拟试验，以量化的码头运作结果比较和评估不同码头规划设计方案，有利于码头规划设计的科学和理性决策，既可避免码头系统中的“瓶颈”因素制约码头效率的发挥，也可避免部分子系统能力过分冗余，造成的投资浪费，促进码头规划设计技术的进步，提高新建码头在未来运作中的竞争能力。

在当前国内大量规划建设新码头的情况下，计算机模拟技术能够也应该大有可为，应用也将会越来越广泛。

参 考 文 献

- 1 彭传圣. 集装箱码头规划设计中的计算机模拟. 交通运输工程学报. 2004(2): 66-70
- 2 彭传圣. 散货码头计算机动画模拟研究. 港口装卸. 2001(1): 1-6
- 3 陶其钧. 集装箱堆场机械选型配置研究. 港口装卸. 2002(1): 1-6
- 4 彭传圣. 天津港改扩建码头工程计算机模拟研究. 交通部水运科学研究所. 2002年7月
- 5 李冠声, 丁以中, 葛中雄, 林敦清, 迟莲芬. 上海港集装箱码头吞吐能力与设备配置优化. 中国港口. 2002(8): 25-26
- 6 彭传圣. 日照港煤炭生产计算机模拟系统开发项目报告. 交通部水运科学研究所. 2004年6月