



国内核电厂大件码头总体设计要点

张 俊, 夏悟民, 白 帆, 陈伟良, 杨云兰, 李秀英

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 从总平面布置、吊卸工艺和结构形式等方面对国内已建和正在实施的核电厂大件码头设计方案进行介绍, 并总结大件码头总体设计的思路和要点, 供核电厂大件码头设计参考。

关键词: 核电厂; 大件码头; 总平面布置; 吊卸工艺; 结构形式

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)04-0126-06

Key points of general layout design for nuclear power plant' heavy cargo wharf

ZHANG Jun, XIA Wu-min, BAI Fan, CHEN Wei-liang, YANG Yun-lan, LI Xiu-ying
(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: This paper expounds the design schemes for the nuclear plants' heavy cargo wharves built and being under implementation in China from the aspects of general layout, unloading process and structure types, and summarizes the train of thought and key points of overall design of the heavy cargo wharf, to serve as reference for the design of the nuclear plants' heavy cargo wharves.

Keywords: nuclear power plant; heavy cargo wharf; general layout; unloading process; structure type

自 1985 年 3 月我国开工建设第一座核电厂以来, 截至 2013 年 6 月, 已有 6 个核电厂投入运营, 12 个核电厂 (其中 2 个为内陆核电厂) 处于在建或规划中。各厂均在厂址附近建设或设计了专用的大件码头以满足核电厂大件设备的吊卸运输需要。

本文结合若干个核电厂大件码头的设计案例, 从总平面布置、吊卸工艺以及结构形式等方面对大件码头的总体设计要点进行了分析。

1 大件码头总体设计

1.1 大件设备规格

国内核电厂机组有多种类型, 通常单台核电机组核岛和常规岛的设备大约 100 余件, 质量和尺度不等, 大件运输时按照控制性大件设备来分析。国内核电厂机组类型和对应的控制性大件设备最大质量见表 1。

表 1 各核电厂机组类型和最大设备质量

核电厂	机型	单件设备最大质量/t
岭澳、宁德、红沿河、阳江、防城港、方家山	CPR1000	< 600
秦山二期、三期	CNP650、CANDU6	362
大亚湾	M310	< 400
田湾	VVER-1000	< 400 (550)
台山	EPR	< 600
昌江	CNP-600	< 550
福清	1 [#] ~ 4 [#] CPR1000, 5 [#] 、6 [#] ACP1000	369
三门、海阳、徐大堡、陆丰、咸宁、桃花江	AP1000	760
石岛湾	AP1000 (4 台)、CAP1400 (2 台) 和高温气冷堆 (1 台)	760

下面以目前的主流机型 AP1000 机型和 CPR1000 机型为例, 列出控制性设备清单 (表 2)。

收稿日期: 2014-06-22

作者简介: 张俊 (1984—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口与航道工程总平面专业设计工作。

表 2 AP1000 机型和 CAP1000 机型控制性设备				
机型	最重件	最长件	最宽件	最高件
AP1000 机型	蒸汽发生器,质量 742 t, 长 24.83 m,宽 5.97 m,高 6.56 m	除氧水箱, 质量 275 t, 长 43.46 m,宽 5.3 m,高 5.3 m	冷凝器水泵电机, 214 t, 长 9.36 m,宽 7.72 m,高 9.34 m	冷凝器水泵电机, 214 t, 长 9.36 m,宽 7.72 m,高 9.34 m
CPR1000	蒸汽发生器 净质量 370 t, 长 21.1 m,宽 6.2 m,高 5.2 m	主行车梁,净质量 62 t, 长 42.6 m,宽 2.5 m,高 3.5 m	370 t 龙门吊车,净质量 93 t, 长 10 m,宽 8 m,高 5 m	反应堆压力容器筒体,净质量 280 t, 长 10.6 m,宽 6 m,高 6.4 m

1.2 大件吊卸运输方式

大件设备通常从货源地利用船舶转运至厂址附近的大件码头,经机械设备吊卸,再通过重型平板运输车或车组运输至厂址。结合大件设备的规格,对大件码头和运输公路的要求如下。

- 1) 大件码头:吊卸设备具有 1 000 或 500 吨级起吊能力,码头面设计荷载约为 65 kN/m²;
- 2) 运输道路:满足二级公路路基承载能力,路面宽度不小于 9 m。

考虑到国内港口普通件杂货码头设计荷载一般在 20~30 kN/m²,不能满足核电厂大件吊卸运输的使用荷载要求,且需建设长距离的大件运输

道路,另外核电厂分期实施建设周期长(通常 10 a 以上),综合考虑大件码头建设成本、管理维护成本和使用的便利性,目前核电厂均自建大件码头和进场道路。

1.3 大件运输船型

核电厂设备沿海运输可选用 3 000 吨级驳船,内陆运输可选用 1 000 吨级驳船。考虑到 5 000 吨级以下海运船舶尺度相差不大,通常选用 5 000 吨级甲板驳,辅以拖轮航行和靠泊。近期的徐大堡核电厂出于安全考虑,调整为深舱驳运输大件(选用 4 200 t 深舱驳,采用运营水深进行港池和航道水深设计)。国内核电厂选用的大件运输船舶情况见表 3。

表 3 大件运输船型						
核电厂	大件运输船型	总长 <i>L</i> /m	型宽 <i>B</i> /m	型深 <i>H</i> /m	满载吃水(运营吃水) <i>T</i> /m	备注
浙江三门	5 000 t 甲板驳	92.0	26.0	5.5	3.8	设计船型
	拖轮	36.20	9.20	4.45	3.5	兼顾船型
山东石岛湾	5 000 t 甲板驳	85.0	25.0	5.5	3.8	设计船型
辽宁徐大堡	4 200 t 深舱驳	97.15	15.00	7.20	5.7(4.5)	设计船型
	拖轮	36.20	9.20	4.45	3.5	兼顾船型
江苏田湾	3 000 DWT 驳船	60.0	22.0		3.0	设计船型
	2 600 HP 拖轮	36.00	9.80		3.5	兼顾船型
广东陆丰	3 000 DWT 杂货船	108.0	16.0	7.8	5.9	设计船型
	3 000 吨甲板驳	75.0	16.2	4.8	3.8	兼顾船型
	巡逻船	27.0	6.2		2.5	兼顾船型
福建宁德	5 000 t 甲板驳	81.0	20.0	6.0	4.1	设计船型
咸宁	1 500 吨级驳船	75.0	13.0	3.5	2.6	设计船型
	3 000 吨级驳船	90.0	16.2	4.5	3.5	兼顾船型
桃花江	1 000 吨级甲板驳	67.5	10.8		2.0	设计船型

1.4 大件码头平面布置考虑因素

大件码头平面布置需综合考虑自然条件、大件运输道路的距离、厂区分期实施方向、建设条件、工程费用等因素^[1]。

通常,平面布置根据以下原则展开:

- 1) 结合通航条件,大件码头选址在距厂址最

近的海边或者江边,力求最大限度地利用水运,缩短公路运输距离,如田湾核电厂、咸宁核电厂和桃花江核电厂。

- 2) 大件码头通常选择在水深条件良好处,节省港池和航道疏浚费用;若水深不足,通常利用乘潮水位进港。

表 4 大件码头布置考虑因素

因素	评估内容
自然条件	是否满足大件运输船舶通航和作业条件:水深、风、浪、流、泥沙
大件运输道路	配套的大件运输道路长度愈短愈经济
核电厂区分期实施方向	宜避免后期工程的大件运输穿过已运行的厂区
建设条件	地质条件、大件码头能否先期建设
工程费用	大件码头通常在一期工程时建设,一次性投入的成本越低越优

3) 沿海厂址的大件码头优先考虑结合取水导流堤或者排水导流堤布置在导流堤外侧,考虑利用导流堤对波浪形成掩护及利用导流堤作为大件运输道路,如海南昌江、辽宁徐大堡核电厂大件码头。

4) 厂址附近水深和波浪条件良好时,为避开大件码头对取排水构筑物的影响,也可考虑从护岸处建设外伸引桥或引堤布置大件码头,如石岛湾、三门和陆丰核电厂。

5) 厂址附近水深条件差时,考虑利用取水或排水明渠作为进港航道,大件码头布置在厂区护岸或取、排水导流堤根部附近处,即港池方案,如处于前期的漳州、庄河核电厂。

6) 大件码头宜布置在核电厂址扩建末端侧(即后期工程处),避免后期工程中大件运输时穿过已运行的厂区,如徐大堡核电厂。

国内若干个核电厂大件码头布置实例和特点见表 5 和图 1~6。

1.5 大件设备吊卸工艺选取

大件设备水运上岸的吊卸方式主要有 3 种:机械吊卸、滚装船舶载车自运和斜坡道牵引拖拉。

水运滚装上岸方式是将固定绑扎好大件设备的重型平板运输车或车组利用可抽灌压舱水的甲板驳船运输至上岸码头,通过滚装跳板自行上岸。斜坡道牵引拖拉方式是在斜坡道码头和船舶衔接处铺上合适的垫块,将船和斜坡道连成一条滚动平台,利用陆域的卷扬设备,采用拖拉的方法,使大件设备在滚动件上移动,将大件设备移动到平板运输车上运至现场。

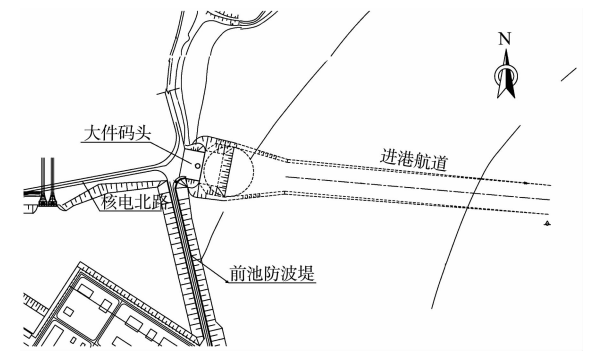


图 1 田湾大件码头平面布置

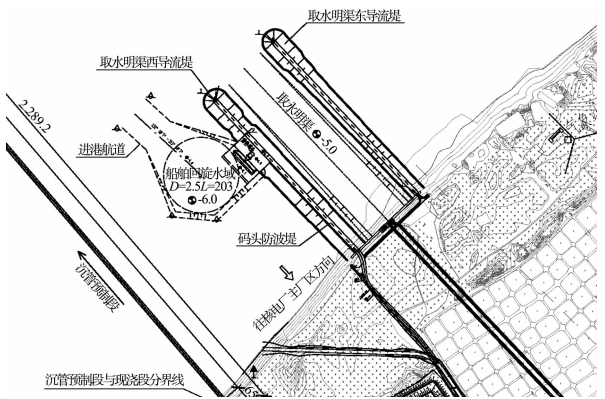


图 2 昌江大件码头平面布置

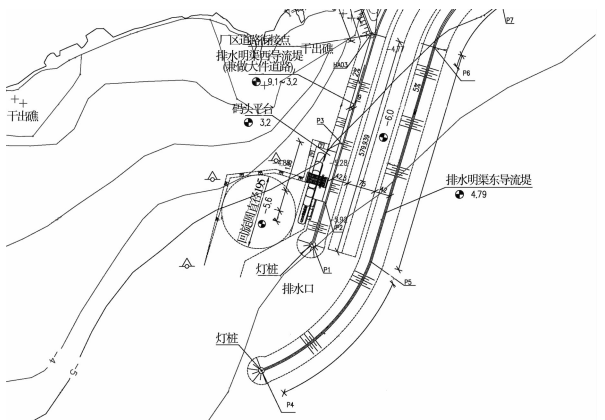


图 3 徐大堡大件码头平面布置

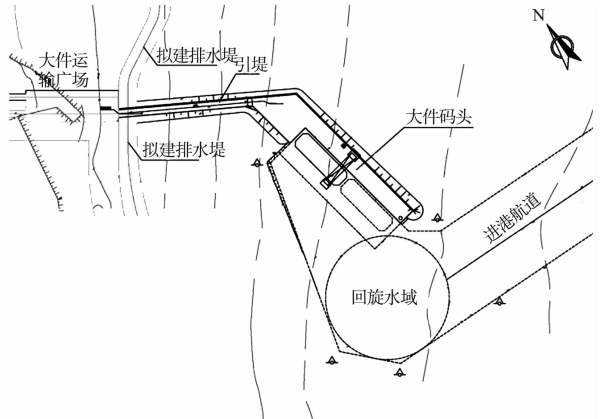


图 4 石岛湾核电厂海域工程平面布置

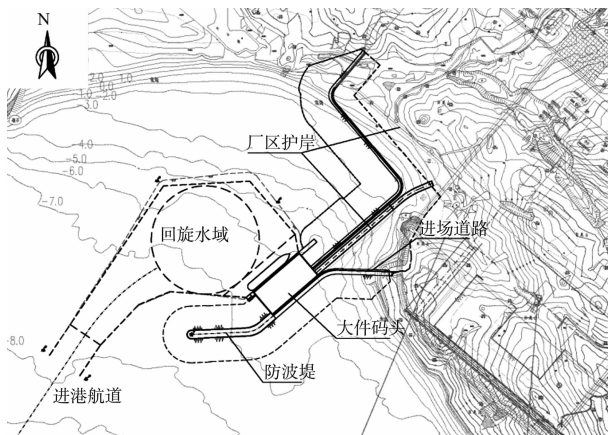


图 5 陆丰大件码头平面布置

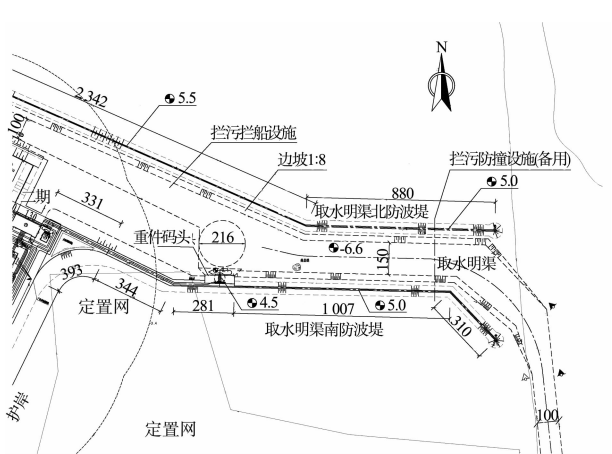


图 6 漳州大件码头平面布置

表 5 大件码头平面布置实例		
项目	大件码头布置方案	备注
田湾	厂区外护岸处(取水隧洞侧),长航道	长隧洞+取水明渠取水,取水明渠远离厂区,一期工程的排水明渠导流堤仅 10 m,近岸排放,大件码头独立于取排构筑物
昌江	取水明渠西导流堤外侧,利用导流堤作为大件运输道路,码头至厂区道路长约 1 km	明渠取水、沉管排水
徐大堡	排水明渠导流堤外侧,利用导流堤作为大件运输道路,码头根部至厂区道路长约 300 m	厂址扩建末端位于排水明渠后方
石岛湾	护岸处外伸一道约 185 m 引堤,单独建设大件码头	大件码头位于核电厂址扩建末端,近岸水深条件好,波浪条件好
三门	垂直护岸外伸一道 125 m 引桥,单独建设大件码头	大件码头独立于取排构筑物
陆丰	厂区后方西防洪堤外侧,建设外伸式引桥,内侧建设大件码头,通过 319.1 m 运输道路与厂区相接	大件码头独立于取排构筑物
漳州	利用取水明渠作为进港航道,大件码头布置在取水导流堤内侧根部	近岸水深浅且淤泥后,若单独建设大件码头需要建设 2.5 km 的引桥或航道

考虑到核电厂分期建设、大件设备分期分批次分厂加工订货,不能集中运输,且可抽灌压舱水的甲板驳船租赁费用高,吃水深,航道水深难以满足,大量的滚装运输经济性较差;斜坡道牵引拖拉需要对每件设备进行拖拉方案设计,操作繁琐,时间花费较多,安全性能相对较低;目前国内核电厂的大件运输大多采用机械吊卸的方式。

大件设备机械吊卸可通过特种运输船或重吊船自身带有的起重设备、码头装备固定起吊设备或租用起重船(浮吊)和陆上移动式起重设备来实现,国内核电厂通常在大件码头装备固定起吊设备^[1-2]。目前已建的和在建的核电厂大件码头配备的固定起吊设备类型主要有:固定式全回转起重机、桅杆式起重机和固定桥式起重机(表 6),对应的作业特点分析见表 7。

表 6 已建和在建的大件码头吊卸设备		
项目	吊卸工艺	说明
徐大堡、三门	固定桥式起重	2 台(单台主钩额定起重能力 4 500 kN,副钩 2 000 kN)
石岛湾	固定桥式起重	额定起重能力 6 500 kN
	滚装	同时建设有 30 m 的滚装泊位
秦山	桅杆式起重	额定起重能力 4 000 kN
田湾	固定式全回转起重	额定起重能力 4 000 kN,后续改造为 5 500 kN
宁德	固定式全回转起重	额定起重能力 5 000 kN
阳江、台山	固定式全回转起重	额定起重能力 6 000 kN
大亚湾、岭澳核电厂	临时租用浮吊	建有 5 000 吨级货船码头,未配套吊卸设备
昌江	固定式全回转起重	额定起重能力 5 500 kN
陆丰	固定式全回转起重	额定起重能力 9 000 kN
咸宁、桃花江	桅杆式起重	额定起重能力 9 000 kN

表 7 常用吊卸工艺作业特点分析

项目	特点	优点	缺点
固定式全回转起重机	卸船作业时驳船平行码头岸线停靠，通过固定式全回转起重机的起升、俯仰和回转操作，将大件设备从驳船上吊起，卸至停放在码头上的重型平板运输车或车组上	360°回转、作业范围大、起重能力大，作业移船次数少，使用性能安全可靠、作业灵活、起重量大、运营效果好	码头宽度要求较宽（需取 40 m），设备自重较大，造价较高，是同等规格固定桥式起重机或桅杆式起重机的 2.2 倍左右
固定式桥式起重机	吊机横跨驳船，在停泊水域前方和码头上增设墩台和立柱	可靠性高，起重能力大，维修保养工作量小，易于实现自动化操作	作业不方便，移船作业多，影响内河航道通行和防洪
桅杆式起重机	卸船作业时船平行码头岸线停靠，靠其扒杆仰俯吊运大件，并配合移船作业。	经济性好，拆卸相对容易，可考虑租用	移船作业较多，对码头结构适应性较差，后方占地面积大

以上吊卸工艺均能满足安全吊卸大件设备的需要。固定式全回转起重机使用方便，受到更多核电厂的青睐；固定桥式起重机和桅杆式起重机具备较大的经济优势。相对而言，固定桥式起重机需考虑桥侧基础对通航和水流的影响，不太适用于内河、利用明渠作为港池以及与其它码头共用港池的情况。

1.6 大件码头结构形式选择

相对其它货种码头，大件码头具有码头等级

较低、竖向荷载较大的特点。

大件码头结构形式通常结合吊卸设备和运输设备的荷载和地质条件确定。通常重型平板运输车队要求码头面承受 65 kN/m² 的均布荷载。地基承载力良好时大件码头通常选用重力式沉箱结构；软土地基时通常选用桩基结构，其中码头作业平台可选择高桩梁板或高桩墩台结构，起重机基础选用高桩墩台结构。国内已建的或在建的核电厂大件码头结构形式见表 8。

表 8 已建或在建的大件码头结构形式

项目	结构形式	说明
田湾	作业平台采用重力式空心方块结构，起重设备基础选用重力式沉箱结构	强风化岩面在码头设计底高程以下 2 ~ 3 m
徐大堡	作业平台和起重设备基础采用重力式沉箱结构	强风化岩面在码头设计底高程以下 1 ~ 3 m
三门	作业平台采用桩基梁板排架结构，固定设备基础采用桩基墩台结构，桩基采用 φ1 000 mm 混凝土管桩	码头前沿设计底高程以下 25 ~ 50 m 遇中风化岩
石岛湾	作业平台和海侧起重设备基础采用重力式沉箱结构陆侧起重设备基础采用桩基墩台（φ1 200 mm 钻孔灌注桩）	作业平台及海侧起重设备基础处码头设计底高程以下 4 ~ 6.5 m 遇全风化或中风化岩；陆侧起重设备基础处码头设计底高程以下 - 14 m 左右遇中风化岩
陆丰	作业平台和起重设备基础采用重力式沉箱结构	持力层埋深较浅，表层为细砂，其下为中粗砂、残积土、全风化或强风化花岗岩
咸宁	作业平台和起重机基础均采用高桩墩台结构（φ1 000 mm 钢管桩和钻孔灌注桩）	码头顶面至原泥面高差 8 ~ 25 m，主要持力层为标贯击数较高的粉质粘土、粉砂及中砂，原泥面以下 35 m 遇中砂
桃花江	作业平台采用高桩梁板结构，起重机基础采用高桩墩台结构（选用 φ1 200 mm 和 φ1 800 mm 钻孔灌注桩）	码头顶面至原泥面高差 10 ~ 14 m，原泥面以下 6 ~ 20 m 遇中风化岩

2 结论

- 1) 宜结合核电机型的发展，发展沿海和内陆大件运输的专用运输船型，打造标准化的大件码头，满足安全运输大件的需要。
- 2) 大件码头的使用时间少，宜适当降低码头的设计标准，利用乘潮水位和运营吃水进港，降

低工程成本。

- 3) 大件运输的临时性决定了在大件吊卸运输完毕后，很多大件码头就此闲置，为最大限度地发挥码头的经济效益，设计时可考虑与地方共建共运营，后续增加一些机械设备，将码头改建成材料码头或其它进、出口码头。

4) 新建大件码头时, 宜结合核电厂总体布置(取排水构筑物 and 护岸) 以及分期建设方向进行大件码头的平面布置。

5) 固定式全回转起重机、桅杆式起重机和固定桥式起重机为核电厂大件设备吊卸上岸的成熟方案, 可视使用要求、外部条件和成本控制等选取。鉴于核电厂最大件设备数量有限, 最大件滚装上岸、其它件吊装上岸也是降低大件码头投资的一个思路, 建议业主尝试推广并积累经验。

6) 大件码头等级低、船舶荷载小, 吊卸设备和流动机械的竖向荷载大。宜根据码头面荷载分

布分区域进行结构设计, 并根据地质条件选择结构形式。

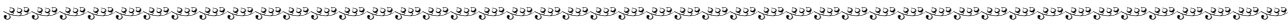
参考文献:

[1] 张俊, 李秀英, 杨云兰, 等. 滨海核电厂海域工程总平面布置设计要点[J]. 水运工程, 2014(2): 135-140.

[2] 罗自力. 重大件码头设计浅析[J]. 水运工程, 2000(3): 16-19.

[3] 刘鑫, 温洪涌. 多种卸船工艺在核电厂重件码头设计中的应用[J]. 中国水运, 2012, 12(3): 216-217.

(本文编辑 郭雪珍)



(上接第 119 页)

5 结 论

本文考虑场桥的转场、作业量均衡等因素提出了混堆模式下多箱区场桥的联合调度模型, 设计了改进的遗传算法对模型进行求解。通过算例表明, 基于文中模型与 IGA 对多箱区内场桥联合调度, 能够在可接受时间内得出高效率并且节约型的调度方案, 可以对堆场中场桥调度计划的制定提供决策支持。

模型假设每个任务作业时间已知, 实际操作中进场箱的选位、出场箱上层箱子倒箱后的落位都会对后续作业造成影响, 后续的研究方向是将场桥的多箱区调度与堆存位置选择进行集成优化, 实现堆场计划的一体化。

参考文献:

[1] 李建忠, 丁以中, 王斌. 集装箱堆场空间配置模型[J]. 交通运输工程学报, 2007(3): 50-55.

[2] 郑红星, 杜亮, 董健. 混堆模式下集装箱堆场箱位指派优化模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12(1): 153-159.

[3] 王展, 陆志强, 潘尔顺. 堆区混贝的堆场场吊调度模型与算法[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(1):

182-188.

[4] 郑红星, 于凯. 基于混合遗传算法的混堆箱区内场桥调度研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(5): 150-158.

[5] Xi G, Shell Y H, Wen J H, et al. Dynamic yard crane dispatching in container terminals with predicted vehicle arrival information[J]. Advanced Engineering Informatics, 2011, 25(3): 472-484.

[6] 赵磊, 胡志华, 李淑琴. 基于作业量均衡的集装箱堆场箱区场桥作业调度[J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35(1): 69-74.

[7] Amir H G, Yugang Y, René D K, et al. An exact method for scheduling a yard crane [J]. European Journal of Operational Research, 2013, 235(2): 431-447.

[8] Cheng J L, Min C, Mitsuo G, et al. A multi-objective genetic algorithm for yard crane scheduling problem with multiple work lines[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2014(5): 1 013-1 024.

[9] He J L, Zhang W M, Huang Y F, et al. An efficient approach for solving yard crane scheduling in a container terminal [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Science, 2013, 18(5): 606-619.

(本文编辑 武亚庆)