

OHT 搬运系统防阻塞调度策略

刘晓斌, 周炳海

(同济大学 机械与能源工程学院, 上海 201804)

摘 要: 为有效解决 300 mm 半导体晶圆制造工厂搬运系统整合式布局运行过程中的阻塞现象, 提高搬运系统的运行效率, 构建了 OHT(高空提升运输)搬运系统防阻塞调度策略. 首先, 充分考虑 OHT 搬运系统中各搬运设备之间的相互影响, 以搬运完工时间最小为优化目标, 建立数学模型. 然后, 提出无等待轨道设计(NWL)和基于检测点的空车运行策略(CBCP)避免装卸点阻塞. 结合第 K 短路径法和时间约束集概念, 构建 OHT 搬运系统防阻塞策略(VCAP), 并将其运用于 OHT 搬运系统的具体调度, 设计 OHT 搬运系统防阻塞调度方法. 最后进行仿真实验及对比分析, 结果表明本文提出的防阻塞调度策略是有效可行的.

关 键 词: OHT(高空提升运输); 搬运系统; 调度; 阻塞

中图分类号: TP 29 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2015)02-0176-06

Vehicle Congestion-Avoidance Policy of Overhead Hoist Transport Systems

LIU Xiao-bin, ZHOU Bing-hai

(School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China. Corresponding author: ZHOU Bing-hai, professor, E-mail: bhzhou@tongji.edu.cn)

Abstract: To solve the congestion emerging in the process of tool-to-tool transportation in the united layout of 300 mm semiconductor wafer fabrications and improve the transport efficiency, a vehicle congestion-avoidance policy was proposed for scheduling overhead hoist transport (OHT) system. Firstly, a mathematical model, which considers the interrelationship of all the OHTs in the system, was built with an optimal objective function of minimizing completion time. Then a no-wait loop designing (NWL) conception and a checkpoint-based circulation policy (CBCP) were represented as a resolution of vehicle congestions. Next, the vehicle congestion-avoidance policy (VCAP) was structured by combining the K -shortest-route algorithm with time constraint sets, which was used to form a scheduling method without vehicle congestions. Finally, simulation experiments were designed and carried out to evaluate the proposed policy. The results indicate that the congestion-avoidance policy is feasible and effective.

Key words: overhead hoist transport (OHT); transport system; scheduling; congestion

半导体制造系统具有工艺过程复杂、生产周期长、多重入流、系统不确定性大等特点, 是当今最复杂的离散制造系统之一^[1]. 在 300 mm 晶圆制造工厂中, 晶舟多次往返于清洗、氧化、沉淀、蚀刻等工艺过程间, 系统中可能同时有多达 50 000 个晶舟等待数百种设备进行加工^[2-3], 因此, 高效的自动物料搬运系统(automated material handling systems, AMHSs)对于提升晶圆制造系统的整体

性能有很重要的意义. 高空提升运输(overhead hoist transport, OHT)实现了晶圆在各加工区间快速稳定的搬运且不占用洁净室地面空间, 成为晶圆制造工厂应用最广泛的搬运工具^[4].

300 mm 半导体晶圆制造工厂建设耗时, 设施昂贵, 若搬运系统设计和运营不当, 极易引起晶舟的搬运延迟和机器的闲置, 进而影响整个晶圆工厂的有效产出. 调度规则的设计在 OHT 搬运系统

性能优化中举足轻重,近年来诸多国内外学者针对该问题进行了较深入的研究^[5-11].这些文献大多针对单一 Interbay 或 Intrabay 搬运系统的车辆调度进行研究,而不是针对整合式布局环境下的大规模搬运问题.同时,以往文献中多数将车辆调度简化为指派问题,对于 OHT 小车运行过程可能出现的路径冲突、车辆阻塞问题鲜有提及;然而,对于 OHT 搬运系统运行策略的研究,一方面应充分考虑资源分配以达到调度的最优化,另一方面也应切实进行路径规划,才能确保调度的合理性.

为了有效解决半导体晶圆制造工厂搬运系统整合式布局运行过程中的运输阻塞问题,提高 OHT 搬运系统的综合效率,本文在充分考虑搬运系统中各搬运设备间相互影响的基础上建立数学模型,引入时间约束集进行路径规划,结合无等待轨道的设计和基于检测点的空车运行策略,构建 OHT 搬运系统防阻塞调度策略,最后进行大量仿真分析以验证其可行性和有效性.

1 问题描述

目前在 300 mm 半导体晶圆制造工厂中最常见的 AMHS 系统采用的是脊柱型布局,根据生产工艺的不同,将相似工艺的加工设备放在同一制程区间 (Bay) 内,Intrabay 搬运系统负责 Bay 内的物料搬运;Interbay 搬运系统负责 Bay 间的物料搬运.系统内搬运工具采用 OHT 小车,小车以晶舟为单位运输晶圆,一个晶舟容量为 25 片晶圆. OHT 小车在轨道上单向行进,小车轨道位于加工设备的装卸端口 (port) 之上,在搬运过程中,通过升降装置将晶舟从设备的装卸端口送达 OHT 小车或者由 OHT 小车装载到设备的装卸端口.典型的 OHT 搬运系统布局如图 1 所示.

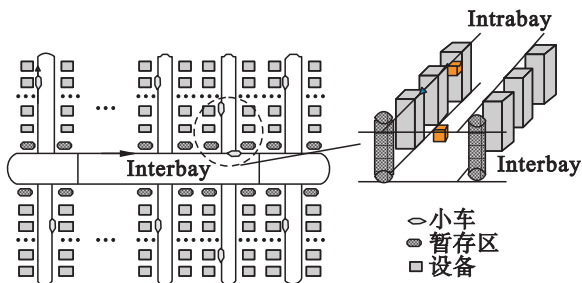


图 1 OHT 搬运系统布局示意图

Fig. 1 Layout of OHT system

为有效描述 OHT 搬运系统调度问题,现作如下假设:① 每辆 OHT 小车每次只能搬运一个晶舟;② 系统轨道单向、不可逆、不可更改;③ 小车

搬运任务的起止时间是未知的,在调度过程中确定;④ 小车只能在节点处即工站或暂存区 (stocker) 驻停,进行装卸或等待;⑤ 小车匀速运行,忽略运行起止的加速度影响;⑥ 同一时刻,任一节点只允许一辆小车进行装卸作业,后一辆小车必须在前一辆离开后方能进入;⑦ 在 OHT 搬运系统运行过程中,以下两种情况可以触发小车指派过程: a. 晶舟触发 (lot selects vehicle, LSV), 当某一晶舟在相应机器或存储柜的装卸端口等待搬运时,其向系统发出搬运请求,系统根据调度规则指派某一空闲小车到达起始点,装载晶舟,完成搬运; b. 车辆触发 (vehicle selects lot, VSL), 新出现某一空闲小车时,系统会搜寻待搬运晶舟,并根据调度规则将最合适的搬运任务指派给该小车,小车前往装载晶舟,完成搬运;⑧ OHT 搬运系统运行中,小车分为三种状态: a. 当小车没有搭载任何晶舟且没有被指派给任何搬运任务时,其状态为空闲 (idle vehicle); b. 当空闲小车被指派给某一搬运任务,则其状态变为取件 (retrieval vehicle); c. 当取件小车到达搬运起始点,装载待搬运的晶舟后,小车状态变为送件 (delivery vehicle); 当送件小车到达目的地卸载晶舟后,其状态又变回空闲.

2 数学建模

为清晰描述本文的调度问题,定义以下符号:

i	表示待搬运晶圆批次即晶舟编号;
N_v, j	表示系统中 OHT 小车总数及编号;
L, Z	表示路径中弧段的数目及编号;
N, n	表示路径中节点的数目及编号;
e_i	表示晶舟 i 提出搬运请求的时间点;
$P_{i,j}^u$	$P_{i,j}^u = G(N, P)_{i,j}^u$ 表示 OHT 小车 j 搬运晶舟 i 的静态第 u 短路径;
D_z	表示路径 L_z 的长度;
v	表示 OHT 小车在轨道上的运行速度;
$T_{i,j,z}^L$	表示 OHT 小车 j 搬运晶舟 i 时在路径 L_z 上的时间占用;
$T_{i,j,n}^N$	表示 OHT 小车 j 搬运晶舟 i 时在节点 N_n 上的时间占用;
$t_{s,z}^L$	表示 OHT 小车在路径 L_z 的运行时间;
$(t_{i,j,z}^L)^{in/out}$	表示 OHT 小车 j 搬运晶舟 i 时进入/离开路径 L_z 的时间;
$(t_{i,j,n}^N)^{in/out}$	表示 OHT 小车 j 搬运晶舟 i 时进入/离开节点 N_n 的时间;
$t_{d,n,i,j}^N$	表示 OHT 小车 j 搬运晶舟 i 时在节点 N_n 处的作业时间. $t_{d,n,i,j}^N = T_{V_u}$ 或 0 , T_{V_u} 为小车在节点处的装卸时间;

$\text{Adj}(L_z)_{VO}$	$\text{Adj}(L_z)_{VO} = \{u\}$ 表示路径 L_z 的开始/结束节点为 N_u ;
$\text{ArcAdj}(N_u)_{VO}$	$\text{ArcAdj}(u)_{VO} = \{z_1, z_2\}$, 表示以 N_u 为进入/离开节点的路径的集合;
$T_{i,j}^N \langle S \rangle$	表示节点的可行准入时间约束集. 其中 $T_{i,j}^N \langle S \rangle = \{T_{i,j,1}^N \langle S \rangle, T_{i,j,2}^N \langle S \rangle, \dots, T_{i,j,\varphi(i,j)}^N \langle S \rangle\}$, $\varphi(i,j)$ 表示 $T_{i,j}^N \langle S \rangle$ 元素数目;
$T_{i,j}^N \langle L \rangle$	表示节点的可行离开时间约束集. 其中 $T_{i,j}^N \langle L \rangle = \{T_{i,j,1}^N \langle L \rangle, T_{i,j,2}^N \langle L \rangle, \dots, T_{i,j,\omega(i,j)}^N \langle L \rangle\}$, $\omega(i,j)$ 表示 $T_{i,j}^N \langle L \rangle$ 元素数目;
$T(P_{i,j}^u)$	表示 OHT 小车 j 沿第 u 短路径完成晶舟 i 搬运所需时间.

由假设②可知, OHT 小车必须沿着 AMHS 轨道路径运行, 其行走的轨迹需满足路径与节点之间的相互连接关系, 该路径约束表示如下:

$$P_{i,j}^u = G(N_i^j, L_i^j)^u, \quad (1)$$

$$N_i^j = \{N_{n1}, N_{n2}, \dots, N_{n\theta}\}, \quad (2)$$

$$L_i^j = \{L_{z1}, L_{z2}, \dots, L_{z(\theta-1)}\}, \quad (3)$$

$$\text{Adj}(L_{zx})_1 = \{N_{nx}\}, x \in [1, \theta-1], \quad (4)$$

$$\text{Adj}(L_{zx})_0 = \{N_{n(x+1)}\}, x \in [1, \theta-1]. \quad (5)$$

由假设④和⑤可知, OHT 小车在每节轨道上保持相同的运行速度, 只有在轨道节点才能停车进行装卸及等待, 且在节点的驻留时间必须符合晶圆生产工艺相关要求, 因此小车运行的时间约束表示如下:

$$T_{i,j,nx}^N = [(t_{i,j,nx}^N)^{\text{in}}, (t_{i,j,nx}^N)^{\text{out}}], \quad (6)$$

$$(t_{i,j,nx}^N)^{\text{out}} \geq (t_{i,j,nx}^N)^{\text{in}} + t_{d,nx,i,j}^N, \quad (7)$$

$$T_{i,j,zx}^L = [(t_{i,j,zx}^L)^{\text{in}}, (t_{i,j,zx}^L)^{\text{out}}], \quad (8)$$

$$(t_{i,j,zx}^L)^{\text{out}} \geq (t_{i,j,zx}^L)^{\text{in}} + \frac{D_{zx}}{v}, \quad (9)$$

$$(t_{i,j,nx}^N)^{\text{in}} \geq (t_{i,j,z(x-1)}^L)^{\text{out}}. \quad (10)$$

由假设⑥可知, 多辆 OHT 小车不能在同一时刻占用同一节点进行作业, 后一辆小车必须等待前一辆离开后并能进入, 即小车必须在节点的可用时间区间内进入节点, 并在该时间区间内完成相应的操作, 所以模型有如下装卸点约束:

$$t_{i,j,nx}^N \langle S \rangle = (t_{i,j,nx}^N)^{\text{in}} = (t_{i,j,\text{ArcAdj}(nx)_0}^L)^{\text{out}}, \quad (11)$$

$$t_{i,j,nx}^N \langle L \rangle = (t_{i,j,nx}^N)^{\text{out}} = (t_{i,j,\text{ArcAdj}(nx)_1}^L)^{\text{in}}, \quad (12)$$

$$t_{i,j,nx}^N \langle S \rangle = t_{i,j,n(x-1)}^N \langle L \rangle + t_{s,\text{ArcAdj}[n(x-1)]_1 \cap \text{ArcAdj}(nx)_0}^L + T_{Vu}. \quad (13)$$

OHT 搬运系统调度目标是从所有满足约束条件的调度方案中找到合适的小车及相应的路径, 使得搬运任务的结束时间最早, 即

$$\text{Tr}_{i,j} = (t_{i,j,n\theta}^N)^{\text{out}} - (t_{i,j,n1}^N)^{\text{in}}, \quad (14)$$

$$\text{WT}_{i,j} = (t_{i,j,n1}^N)^{\text{in}} - e_i, \quad (15)$$

$$\min(T(P_{i,j}^u)) = \min(\text{Tr}_{i,j} + \text{WT}_{i,j}). \quad (16)$$

综上所述, 整合式布局环境下 OHT 小车调度

问题是式(16)为目标函数, 以式(1)~(15)为约束条件的非线性规划问题.

3 防阻塞策略

虽然 OHT 小车无需经过暂存区(Stocker)转运而能直接进行设备到设备的搬运, 但由此造成更多的路径冲突和车辆阻塞, 降低了搬运效率, 进而影响到整个晶圆厂的有效产出. 针对这一问题, 本文提出小车防阻塞策略(vehicle congestion-avoidance policy, VCAP)并用于 OHT 搬运系统的调度过程.

目前的 300 mm 晶圆生产车间内, OHT 小车沿着 AMHS 系统的固定轨道单向运行, 每段路径能允许多辆小车依次通过, 但不允许多辆小车并行或超越情况的发生. 当系统中小车数量较多, 搬运载荷增加时, 传统轨道设置极易导致小车阻塞现象的频繁发生, 取件小车或送件小车都可能被途中正在进行装卸的小车阻挡, 造成运送时间增加进而导致晶圆加工操作延迟. 为了消除装卸点阻塞对搬运系统造成的影响, 本文提出如图 2 所示的无等待轨道设计(no-wait loop designing, NWL)改进设想. 在该设计下, 当取件小车或送件小车到达目的机器时, 小车经过扫描点(checkpoint)确认后进入相应的边轨(side-track)进行装卸作业, 在其装卸过程中, 经过该段路径的后续车辆无需驻停等待.

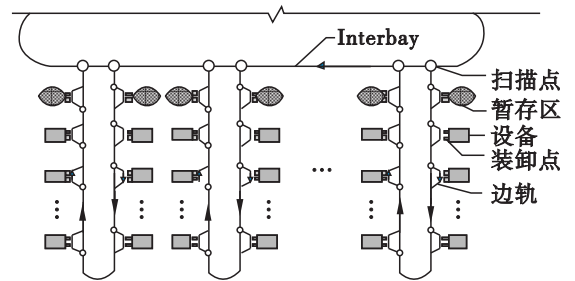


图 2 无等待轨道设计
Fig. 2 No-wait loop designing

为了在满足系统搬运需求的前提下提高响应速度, 同时尽可能减少车辆阻塞, 本文提出一种 OHT 搬运系统基于检测点的空车运行策略(checkpoint-based circulation policy, CBCP), 具体描述如下.

所有已被指派任务的小车按照系统调度沿最短路径运送晶舟, 所有空闲小车均匀速在 Interbay 轨道上循环运行, 不得驻停, 直到其被指派给某一搬运任务. 在小车运行过程中, 每一个其经过的节

点会有扫描点 (checkpoint) 对其进行扫描, 符合以下任一条件的小车将被准予进入相应的 Intrabay_i : ① 小车为送件状态且目的地在 Intrabay_i ; ② 小车为取件状态且目的地在 Intrabay_i ; ③ 小车为空闲状态, Intrabay_i 中在阈时间 T_i 内将有晶舟加工完毕需要搬运且当前无空闲小车; 如果 Intrabay_i 中的某一 OHT 小车不符合上述三个条件中的任意一个, 则该小车必须离开 Intrabay_i , 在 Interbay 轨道上循环运行等待调度。

引入时间约束集进行路径规划, 预测小车下一步路径状况, 结合 NWL 和 CBCP, 将防阻塞策略运用到 OHT 小车调度过程, 基本步骤如下。

步骤 1 更新 OHT 搬运系统状态, 查看是否生成新的搬运任务及新的空闲小车, 否则停止;

步骤 2 生成搬运任务 i , 确定搬运任务的初始点 N_a 和终止点 N_b , 令 $j=0$;

步骤 3 令 $j=j+1$, OHT 小车 j 的搬运开始节点为 N_c , 令 $u=0$;

步骤 4 令 $u=u+1$, 生成从节点 N_c 经过初始点 N_a 到终止点 N_b 的第 u 短路径, 记为 $P_{i,j}^u = G(N_i^j, L_i^j)^u$;

步骤 5 计算 $t_{i,j,1}^N \langle S \rangle$ 和 $t_{i,j,1}^N \langle L \rangle$;

步骤 6 令 $n=n+1$, 计算 $t_{i,j,n}^N \langle S \rangle$ 和 $t_{i,j,n}^N \langle L \rangle$;

步骤 7 若 $n < N$, 返回步骤 6, 否则进入下一步;

步骤 8 根据不同的调度规则所考虑的不同因素计算目标函数 $Z(P_{i,j}^u)$;

步骤 9 若 $u < U$, 返回步骤 4, 否则进入下一步;

步骤 10 计算 $Z(P_{i,j}^{u*}) = \min Z(P_{i,j}^u)$, $u \in [1, U]$;

步骤 11 若 $j < M$, 返回步骤 3, 否则进入下一步;

步骤 12 计算 $Z(P_{i,j*}^{u*}) = \min Z(P_{i,j}^{u*})$, $j \in [1, M]$;

步骤 13 确定搬运小车为 j^* , 搬运路径为 $P_{i,j*}^{u*} = G(N_i^{j*}, L_i^{j*})^{u*}$, 生成调度方案, 更新路径和节点时间约束集;

步骤 14 算法结束, 完成调度。

4 仿真实验

使用 eM-Plant 仿真软件构建 AMHS 模型, 在主频 1.6 GHz、内存 3 GB、Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU 的便携式计算机上进行仿真实验, 对不

同调度方法下得出的 AMHS 性能参数进行比较分析。

为有效评价各调度方法的性能, 定义以下指标。

1) 等待时间 (waiting time, WT): 表示从晶舟提出搬运请求到相应取件小车到达搬运起始点的时间长度. WT 表征晶圆制造系统的空闲率, 该值越小, 调度策略越好;

2) 搬运时间 (transport time, TT): 表示送件小车从搬运起始点到搬运结束点的时间长度. TT 表征物料搬运系统的运行效率, 该值越小, 说明调度策略越好;

3) 运送总时间 (delivery time, DT): 表示从晶舟提出搬运请求到晶舟被送达目的地的时间长度, 包含 WT, TT 及装卸时间. DT 表征物料搬运系统的响应速度和搬运效率, 该值越小, 说明调度策略越好;

4) 有效产出 (throughput, TH): 表示系统中完成搬运的晶舟数量, 该值越大, 说明调度策略越好;

5) 及时率 (due date satisfaction, DDS): 表示在规定时间内完成所有加工步骤的晶舟的百分比, 该值越高, 说明调度策略越好;

6) 在制品库存 (work in process, WIP): 表示系统中在制品库存水平, 该值越小, 说明调度策略越好。

4.1 NWL 布局对搬运效率的影响

分别构建传统整合式布局及 NWL 布局 AMHS, 采用 STT 调度规则运行 AMHS, 进行仿真实验对比. 定义搬运任务的到达率 λ 服从正态分布 $N(\mu, \sigma)$, $\mu = 720 \text{ lots} \cdot \text{h}^{-1}$, $\sigma = 20 \text{ lots} \cdot \text{h}^{-1}$, 小车数量 N_v 分别设定为 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 和 100 辆, 系统中 Bay 的数目 $N_{\text{Bay}} = 12$, 每个 Bay 中工站的数目 $N_M = 10$. 每个实验预热时间 20 个仿真日, 运行 240 个仿真日, 重复 5 次. 仿真结果如图 3 所示。

由图 3 可见, 传统布局下, 随着小车数量的增加, WT 曲线在逐渐下降后呈小幅上升的趋势, 可见小车数目未达到资源饱和状态前, 搬运任务的响应时间随小车数目增加而缩短, 当小车到达一定数目之后, 车辆阻塞和路径冲突现象增多导致 WT 增加. 而在 NWL 布局下, 即便系统中车辆已经达到满足搬运需求的数目, WT 均值依然保持平稳, 表现优于传统布局方式. 观察两种布局下的 TT 曲线, 随着车辆数的增加, NWL 布局下 TT 值的增长也较传统布局下缓慢. 在 WT 和 TT 的复合作用下, 传统布局下搬运任务平均完成时间 DT 随着小车数量的增加先下降后上升, 在车辆

数目超过 60 之后,虽然车辆数继续增长,搬运效率却反而下降. 而 NWL 布局下,搬运效率则如预期随着车辆数目的增加而逐渐提升然后保持平稳,实验结果表明 NWL 布局在搬运效率方面优于传统布局.

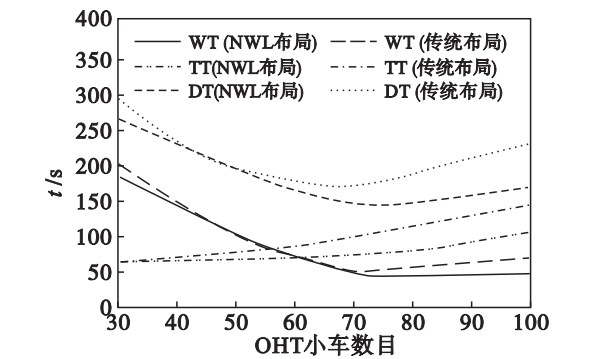


图 3 传统整合式布局与 NWL 布局下 AMHS 性能对比
Fig. 3 Performance comparison between the traditional AMHS configuration and the NWL-AMHS.

4.2 防阻塞策略的有效性

为了验证本文所提的防阻塞策略的有效性和可行性,设计仿真实验,将 AMP 调度方法(adaptive multi-parameter based dispatching policy)^[8]、HABOR 调度方法(Hungarian algorithm-based OHT reassignment)^[11]与 MAMP(modified AMP),MHABOR(modified HABOR)进行对比. 其中,MAMP 为 AMP 结合 VCAP 的改进方法,MHABOR 为 HABOR 结合 VCAP 的改进方法.

AMHS 车辆调度问题的实质是利用有限的资源完成尽可能多的任务,表征资源限度的小车数目与表征任务繁忙程度的晶舟到达率都对 AMHS 性能有较大影响. 将 N_v 设为 50, 70 和 90 三个级别, λ 的均值 μ 分别设为 360, 720 和 1 080 (lots \cdot h $^{-1}$),各调度方法将分别用于表 1 所示

表 1 9 种仿真场景		
Table 1 Nine simulation scenarios		
场景	晶舟到达率/(lots \cdot h $^{-1}$)	小车数目
1	360	50
2	360	70
3	360	90
4	720	50
5	720	70
6	720	90
7	1 080	50
8	1 080	70
9	1 080	90

9 种场景进行实验. $N_{\text{Bay}} = 12, N_{\text{M}} = 10$, 每个实验预热时间 20 个仿真日,运行时间 240 个仿真日,重复 5 次. 仿真结果如图 4 所示.

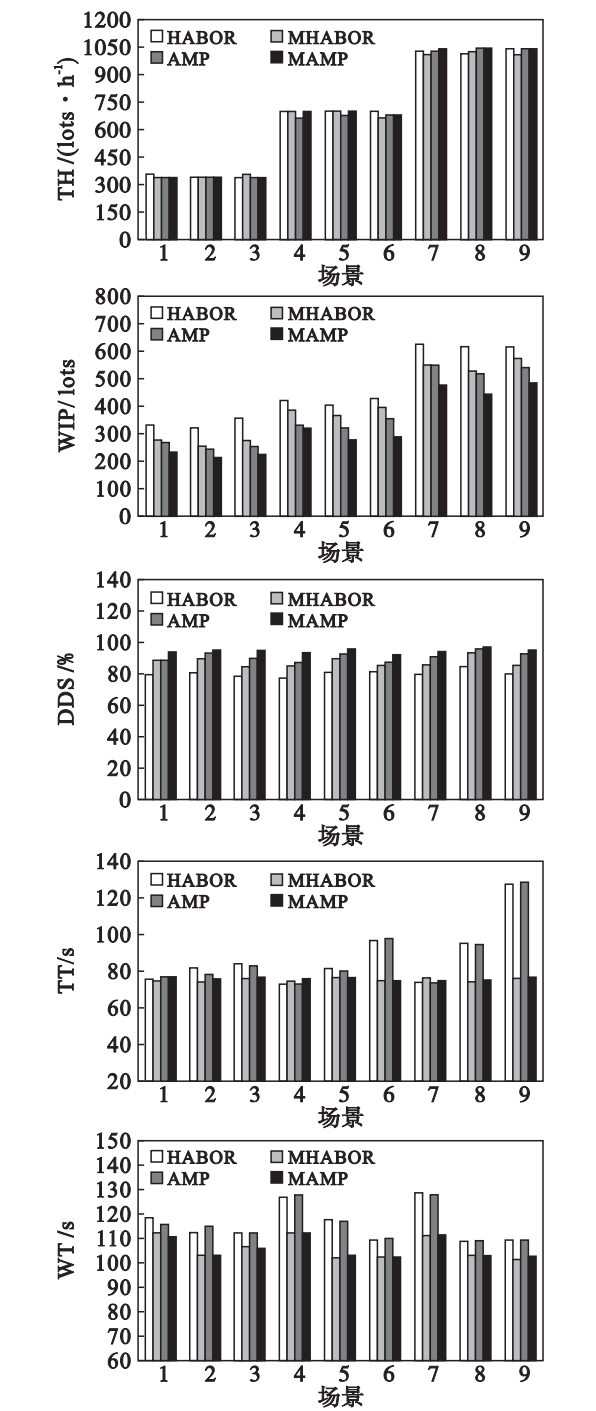


图 4 4 种调度方法在 9 种场景下的指标对比
Fig. 4 Comparison of indices under 4 different dispatching rules in 9 different scenarios

由图 4 可知,在不同的晶舟到达率下,4 种方法都能够满足系统的搬运需求,虽然 4 种方法在 9 种场景下 TH 指标的表现没有较大差异,但 MHABOR 和 MAMP 在 WIP 和 DDS 指标上的性能明显优于 HABOR 和 AMP,这表明 VCAP 在后

两种调度方法中的运用能够通过减少车辆阻塞和路径冲突,缩短晶舟等待时间,提高准时到达率,进而降低系统的在制品库存水平. 运用 HABOR 和 AMP 进行调度时,当晶舟到达率处于较高水平时,车辆数目越多,TT 平均值越高;而 WT 平均值随着搬运任务的增多而提高. 相反,用 MHABOR 和 MAMP 调度方法时,TT 保持较平稳的水平,在晶舟到达率为 $1\,080\text{ lots}\cdot\text{h}^{-1}$,车辆数 90 时,VCAP 的运用使得 TT 值分别下降高达 40.4% 和 40.3%. 由此可见 VCAP 能够有效提高搬运效率.

4.3 防阻塞策略的稳定性

为了证实防阻塞策略的稳定性,选取 4.2 中表现最好的调度策略 MAMP,在不同规模的 OHT 搬运系统中进行仿真实验, $N_v=70,N_M=10$,分别令 $N_{\text{Bay}}=8,12,16$,令 $\mu=360,720,1\,080\text{ lots}\cdot\text{h}^{-1}$,每个实验均在 20 个仿真日预热后运行 240 个仿真日,重复 5 次. 仿真结果如图 5 所示.

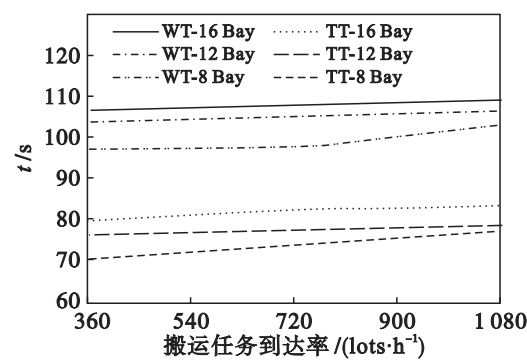


图 5 不同规模 OHT 搬运系统的 MAMP 性能
Fig. 5 Performances of MAMP in different OHT systems.

由图 5 可知,在晶圆到达率一定时,随着 OHT 搬运系统内 Bay 数量的增加,搬运路径变得更长更复杂,因而 WT 和 TT 的值都随之增大. 对比搬运系统高负载率时的 TT 值,OHT 系统规模较小时优于系统规模较大时的表现,说明在 OHT 轨道范围较小的情况下,搬运效率并没有受到车辆阻塞的明显影响. 在相同规模的 OHT 搬运系统中,随着晶圆到达率的增大,WT 和 TT 都随之提高,但是数值波动在可以接受的范围之内(5% ~ 10%),而且随着 N_{Bay} 的增大,WT 和 TT 曲线的上升幅度均逐渐趋缓,这表明该方法适用于复杂系统的物料搬运调度.

5 结 论

本文在充分考虑搬运系统中各搬运设备间相

互影响的基础上建立数学模型,提出无等待轨道的设计和基于检测点的空车运行策略,引入时间约束集进行 OHT 小车路径规划,从而构建了 OHT 搬运系统防阻塞调度策略(VCAP). 仿真实验结果表明 VCAP 能够在避免车辆碰撞和路径冲突的基础上获得较高的搬运效率. 对于不同繁忙程度及不同规模的 OHT 搬运系统,结合 VCAP 的调度方法具有良好的适应性,证明该调度策略适用于复杂系统的物料搬运调度.

参考文献:

[1] Agrawal G K, Heragu S S. A survey of automated material handling systems in 300 mm semiconductor fabs[J]. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 2006, 19(1): 112–120.

[2] Montoya-Torres J R. A literature survey on the design approaches and operational issues of automated wafer-transport systems for wafer fabs[J]. *Production Planning & Control*, 2006, 17(7): 648–663.

[3] Chung S L, Jeng M. An overview of semiconductor fab automation systems[J]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2004, 11(1): 8–18.

[4] Nazzari D, McGinnis L F. Analytical approach to estimating AMHS performance in 300 mm fabs[J]. *International Journal of Production Research*, 2007, 45(3): 571–590.

[5] Govind N, Roeder T M, Schruben L W. A simulation-based closed queueing network approximation of semiconductor automated material handling systems[J]. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 2011, 24(1): 5–13.

[6] Kuo C H, Huang C S. Dispatching of overhead hoist vehicles in a fab intrabay using a multimission-oriented controller[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006, 27(7/8): 824–832.

[7] Wang K J, Lin J T, Weigert G. Agent-based interbay system control for a single-loop semiconductor manufacturing fab[J]. *Production Planning & Control*, 2007, 18(2): 74–90.

[8] Wu L H, Mok P Y, Zhang J. An adaptive multi-parameter based dispatching strategy for single-loop interbay material handling systems[J]. *Computers in Industry*, 2011, 62(2): 175–186.

[9] Im K, Kim K, Park T, et al. Effective vehicle dispatching method minimising the blocking and delivery times in automatic material handling systems of 300 mm semiconductor fabrication[J]. *International Journal of Production Research*, 2009, 47(14): 3997–4011.

[10] Guan X, Dai X. Deadlock-free multi-attribute dispatching method for AGV systems[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, 45(5/6): 603–615.

[11] Kim B I, Shin J, Jeong S, et al. Effective overhead hoist transport dispatching based on the Hungarian algorithm for a large semiconductor FAB[J]. *International Journal of Production Research*, 2009, 47(10): 2823–2834.