文章编号：1006-4729(2001)01-0027-05

自动化立体车库的库位排列及成本优化

潘耀芳
(上海电力学院 基础部,上海 200090)

摘　要：通过对自动化立体车库的分析研究,给出了优化自动化立体车库库位排列和造价成本问题的数学模型,为选择合理的车库排列提供了量化分析的科学依据.

关键词：自动化立体车库；排列；成本；优化
中图分类号：TP 271　　文献标识码：A

引　言

随着社会的发展,城市人口日益增多,楼房和车辆也越来越多,停车问题也就逐渐成为大城市的一大难题. 城市中有限的地面面积已无法提供足够的停车车位,于是向空间发展成为当前解决问题的一条重要途径,同时由于科学技术的发展,人们对自动化、信息化、智能化的要求越来越高,于是自动化立体车库就应运而生并逐渐发展起来了. 在设计制造车库时,需要考虑到占地面积、库容量、库位排列方式、造价及以后车库管理和经济效益等诸多因素. 如何能合理地解决这些问题,本文就此给出了解决问题的数学模型,为选择合适的车库排列提供了量化分析的科学依据.

1　自动化立体车库的实体模型

自动化立体车库种类有多种多样,单从外部形状就可分为：圆形立体车库、塔形立体车库、巷道式立体车库和传动链式立体车库等多种. 其中圆形立体车库相对其他几种矩形立体车库而言,其占地面积较大,这是因为它的面积利用率较低,许多面积被浪费,造价也相对较高. 以同样每层存放 8 辆中型车的车库为例,圆形立体车库占地面积为 226.98 m^2,而塔形立体车库占地面积只需 183.96 m^2. 平均每个库位要多用面积 5.38 m^2,所需材料也相应增多,造价自然就高. 因此,本文仅以典型的巷道式立体车库为研究对象. 图 1 就是一个多层多巷道排列的立体车库示意图,不同的是出入口位置不固定(有的在车库中间,有的在车库一角),巷道数、层数和库容量都不固定,至于立体车库各个部分的结构设计和控制方案亦可不同. 又因本文重点要研究在立体车库库容量相同的情况下,立体车库库位的不同排列方式对车库占地面积、造价及作业效率的影响,所以就选具有普遍性的巷道式立体车库作为车库的实体模型. 由于存取车是三维运动,即水平 X 方向、垂直 Y 方向和高度 Z 方向的运动,每个车库的通道数也不相同,即存取动作中 X 方向运动不同,而每个巷道停车库位排列相同,相应库位存取动作中 Y 和 Z 方向运动就相同,所以又可取单巷道式立体车库作为车库的实体模型,如图 2 所示.

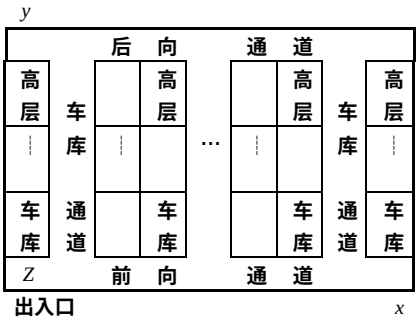


图 1　多层多巷道排列的立体车库示意图

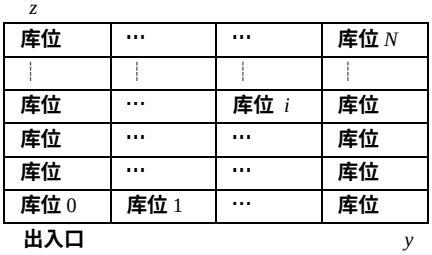


图 2　单巷道式立体车库实体模型

收稿日期：2000-11-28

2 自动化立体车库的数学模型

2.1 自动化立体车库成本核算

根据图 2 的单巷道立体车库模型,把其中的 y,z 坐标改为 l,h 向坐标,并对各库位进行了编号,如图 3 所示. 由此计算车库成本如下.

H

$(N_h\text{-}1)N_l$	…	…	N-1
⋮	⋮	⋮	⋮
$2N_l$	$2N_l$+1	…	$3N_l$-1
N_l	N_l+1	…	$2N_l$-1
0	1	…	N_l-1

出入口 l

图 3 各库位编号示意图

图 3 中设:

N ——车位总量;

L, w, h——库位的长、宽、高;

N_l ——l 向库位数;

N_h ——h 向库位数;

N_R ——巷道数;

w_R ——巷道宽;

C_f ——每平方米车库地面造价;

C_r ——单个巷道设备价格;

C_s ——每辆堆垛机价格,

N_s ——堆垛机数;

C_g ——每对导轨价格;

C_p ——单个库架及托盘价格;

C_c ——控制计算机总价格;

C_m——每年维修成本;

T ——车库寿命;

R ——折旧率;

C_y ——每个工人年工资价格;

N_o ——操作工人数.

1 建筑与结构成本 C_1 为

$$C_1 = C_f(2w + w_R)N_R N_l l \tag{1}$$

2 设备成本 C_2 为

$$C_2 = C_s N_s + N_R C_R + 2N_R C_g + NC_p + C_c \tag{2}$$

且 $$N = 2N_R N_l N_h$$

3 运行成本 C_3 为

$$C_3 = C_2 C_m \sum_{t=1}^{T}(1+R)^{-t} + N_0 C_y T \tag{3}$$

则车库总成本费用为

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = \sum_{i=1}^{3} C_i \tag{4}$$

由上述各式可得,在相同的硬件价格和库容量 N 下,要使车库总成本 C_T 最优化,即总成本要趋于最小($C_T \to C_{T\min}$),这就需要选取最优组合的巷道数 N_R,l 向库位数 N_l 和 h 向库位数 N_h,即转化为车库的排列问题. 当车库的巷道数 N_R 设置相同时,就简化为车库 l 向库位数 N_l 和 h 向库位数 N_h 的优化组合问题,从而成为单巷道立体车库的车库模型. 下面就来讨论此车库高宽比 r 值(设 $r = N_h / N_l$)的变化对车库总成本和作业效率的影响,从中得出最优化的 l 向库位数 N_l 和 h 向库位数 N_h 的组合.

2.2 自动化立体车库的目标函数

自动化立体车库是一个典型的随机离散排队服务系统,单巷道式立体车库可归纳为 M/D/1 型排队系统,目标函数定义为在一段时间内 n 次存取车辆运作的平均时间 t,即 $t = \sum t / n$ (t 为存取车时间,n 为存取车次数). 当存取车次数 n 相同时,目标函数转化为 n 次存取车运作的总时间 $\sum t$.

设: v_l, v_h——堆垛机 l 向(行走)和 h 向(升降)的速度,m/min;

t_l, t_h——堆垛机 l 向和 h 向加减速所需时间,min,设为常数;

t_0 ——到达库位后向里存入或往外取出车辆所需时间, min,设为常数;

l_i, h_i——第 i 个库位 l 向和 h 向位移,m.

由图 3 可得第 i 个库位坐标为

$$\begin{cases} l_i = l\left(i - \left|\dfrac{i}{N_l}\right| N_l\right) \\ h_i = h\left|\dfrac{i}{N_l}\right| \end{cases} \tag{5}$$

向第 i 个库位存入或取出车辆一次所需时间 t_i 为

$$t_i = t_0 + 2\max\left(\frac{l_i}{v_l} + t_l, \frac{h_i}{v_h} + t_h\right) \tag{6}$$

把式(5)代入式(6)得

$$t_i = t_0 + 2\max\left(\frac{l(i - |i/N_l|N_l)}{v_l} + t_l, \frac{h|i/N_l|}{v_h} + t_h\right) \tag{7}$$

按顺序存取方式存取 n 次所需总时间为

$$\sum t=\sum_{i=0}^{N-1} n_i t_i = \sum_{i=0}^{N-1} n_i\left[t_0+2\max\left(\frac{l_i}{v_l}+t_l,\frac{h_i}{v_h}+t_h\right)\right]= \sum_{i=0}^{N-1} n_i\left[t_0+2\max\left(\frac{l(i-|i/N_l|N_l)}{v_l}+t_l,\frac{h|i/N_l|}{v_h}+t_h\right)\right] \tag{8}$$

式中, n_i 为存取完 n 次后共存取车库中第 i 个库位的次数, 且有

$$\sum_{i=0}^{N-1} n_i = n \tag{9}$$

因此, 存取 n 次车辆所需的平均时间为

$$t=\sum\frac{t}{n} \tag{10}$$

由排队论可知, 对一个停车库而言, 车辆到达及存放时间都是随机离散的, 车流是符合 poisson 流分布, 在仿真时就取 poisson 流到达的时间间隔序列$\{t_n\}$为车辆存放时间, 至此就可以根据以上巷道式立体车库的数学模型, 对立体车库不同的高宽比 $r=N_h/N_l$ 来研究高宽比 r 与存取 n 次车辆的时间 $\sum t$ 之间的关系, 即立体车库 l 向和 h 向库位数 N_l, N_h 与 $\sum t$ 之间的关系.

3 微机仿真结果

根据自动化立体车库的数学模型, 对不同的库容量 N, 不同的车库排列方式, 以及公共场所和办公楼两种场所用车库进行了仿真计算, 得出存取 n 次车辆与存取所需时间 $\sum t$ 之间的结果如图 4~图 11 和表 1、表 2 所示. 图中r 表示车库的高宽比, N 表示库容量, ns 表示存车数, nr 表示取车数.

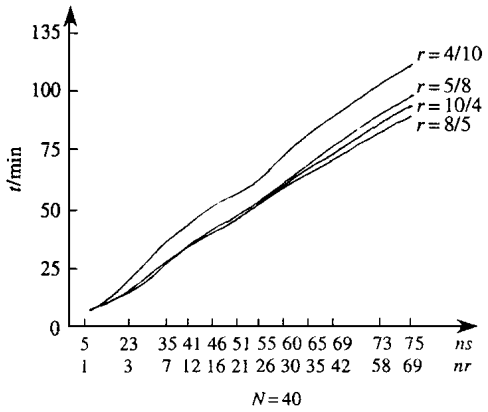


图 4 车位总量为 40 的办公楼用车库

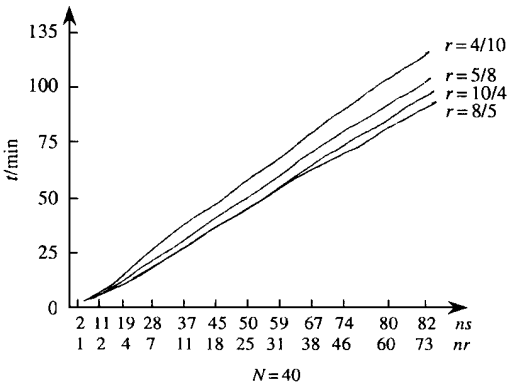


图 5 车位总量为 40 的公共场所用车库

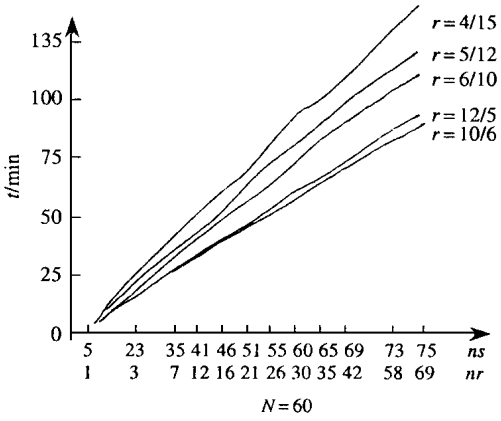


图 6 车位总量为 60 的办公楼用车库

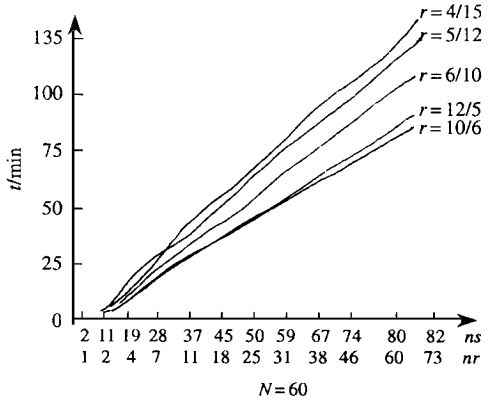


图 7 车位总量为 60 的公共场所用车库

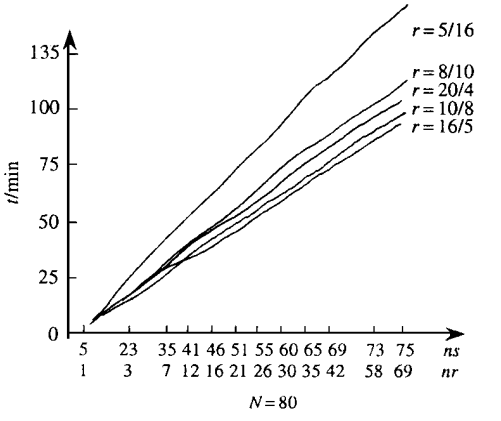


图 8 车位总量为 80 的办公楼用车库

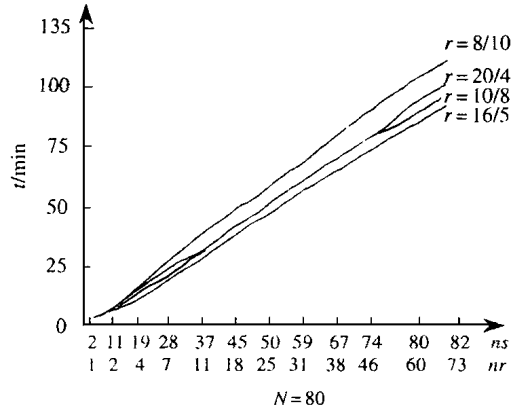


图 9　车位总量为 80 的公共场所用车库

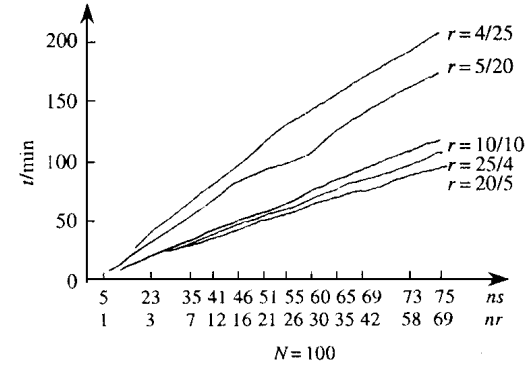


图 10　车位总量为 100 的办公楼用车库

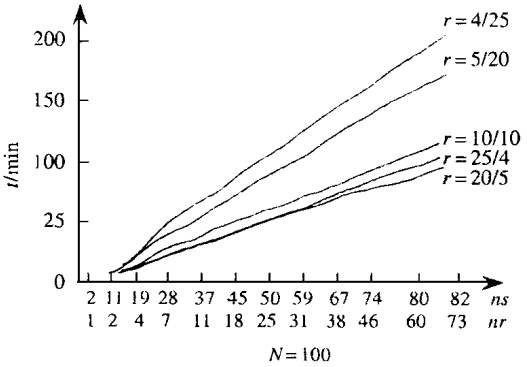


图 11　车位总量为 100 的公共场所用车库

表 1　高宽比 *r* 变化对存取总时间的影响

车位总量 (个)	高宽比 *r* 值 按∑*t* 由大到小排列				
40	2/20	4/10	5/8	10/4	8/5
60	4/15	5/12	6/10	12/5	10/6
80	5/16	8/10	20/4	10/8	16/5
100	4/25	5/20	10/10	25/4	20/5

表 2　库容量 *N* 变化对存取时间的影响

车位总量 (个)	办公楼用车库		公共场所用车库	
	∑*t*	∑*t*/*n*	∑*t*	∑*t*/*n*
40(*r*=8/5)	90.033	0.625	94.156	0.608
60(*r*=10/6)	90.033	0.625	94.156	0.608
80(*r*=10/8)	96.667	0.671	99.767	0.644
100(*r*=10/10)	110.733	0.769	115.211	0.743

4　结论分析

由以上图表分析可得出如下结论:

1　在相同的库容量 N、不同的库位排列方式中,最优的车库高宽比 r 在 12 h 内就可使每辆车节省 30%～48%的存取时间.

2　存取 n 次车辆的时间 $\sum t$ 与立体车库的高宽比 r 并不成线性关系,对每一固定的库容量 N,r 有一个值能使 $\sum t$ 最小. 当 r 大于此值时, $\sum t$ 随着 r 值增大而增大; 当 r 小于此值时, $\sum t$ 随着 r 值减小却增大,且变化趋势与库容量 N 无关. 比较不同的库容量 N 可知,这个使 $\sum t$ 达到最小的 r 值在 1.0 左右浮动. 虽然对不同的库容量 N 能使 $\sum t$ 最小的 r 值不同,但是立体车库的高宽比 r 取值较小时,即 l 向库位数 N_l 就相对较大,车库的占地面积较大,建筑成本 c_1 较高,将使车库的总造价 c_T 提高. 同时 r 取值较大时,车库的占地面积较小,造价较低,但车库的作业时间较长,作业效率较低. 因此,最好将立体车库的高宽比 r 值选在 0.5 ～ 2.0 之间,这样,立体车库的成本较低作业效率较高. 若单纯从节约占地面积考虑,则立体车库的高宽比 r 值可取得大一点,相反,则可取得小一点.

3　在存取同样数量车辆的情况下, $\sum t$ 随库容量 N 的增大而增大,且库容量 N 较大时,造价成本 c_T 较高. 因此,在满足需要的情况下,自动化立体车库的库容量 N 取较小值为优.

5　结束语

自动化立体车库目前在我国应用还较少,而我国城市人口普遍较多,自动化立体车库必将成为解决都市停车难问题的方法之一,因而解决造什么样的立体车库经济合理就显得比较重要,且本文对自动化立体车库的研究结果同样适用于自动化仓储系统,可广泛应用.

参考文献:

[1]　陆传赉. 排队论[M]. 北京: 北京邮电学院出版社, 1993, 5~20.

[2]　韩惠君. 系统仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985, 6~55.

[3]　Azadivar F. A Simulation-Optimization Approach to Optimum Storage and Retrieval Policies in an Automated Warehouse System. Proceedings of the 1984 Winter Simulation Conference[J], Dallas, Texas 1984, 207~214.

[4]　Bassan Y Roll, Rosenblatt M J. Internal Layout Design of a

Warehouse[J]. AIIE Transactions, 1980, (12): 317~322.

[5] Han M, McGinnis L, Shieh J, et al. On Sequencing Retrievals in an Automated Storage/Retrieval System. IIE Transactions[J]. 1987, (19).

[6] Perry R F, Hoover S F, Freeman D R. Design of an Automated Storage/Retrieval System Using Simulation Modeling[J]. Institute of Industrial Engineers. ICAW Proceedings, 1983, 57~63.

[7] Hwang H, Ko C S. A Study of Multi-Aisle System Served by a Single Storage/Retrieval Machine[J]. 1988, 26(11): 1727~1737.

Place Arrangement and Cost Optimization of Automatic 3D Park

PAN Yao-fang

(*Department of Basic Science, Shanghai University of Electric Power, Shanghai* 200090, *China*)

Abstract: According to the study of automatic 3D park, This paper gives a mathematical model of place arrangement and cost optimization of automatic 3D park, which provides the scientific base of quantitative analysis for selecting appropriate park arrangement.

Key words: automatic 3D park; arrangement; cost; optimization