

沥青砼路面机械化施工系统资源优化配置(I)^{*}

——系统资源的静态配置

卢亦昭, 郭小宏

(重庆交通学院 道路工程系, 重庆 400074)

摘要: 笔者利用排队论, 对沥青砼路面机械化施工系统的“拌和-摊铺”子系统的系统服务强度、系统成员数量与施工成本的关系进行了讨论, 并运用计算机对此模型进行求解, 得出了静态配置的模型。

关键词: “拌和-摊铺”子系统; 静态配置; 机械费成本

中图分类号: U415.2 文献标识码: B 文章编号: 1001-716X(2003)01-0041-04

在高速公路的沥青砼路面施工中, 由拌和站、摊铺机、压路机和运料汽车(以下简称料车)组成的机械化施工系统被广泛运用于路面基层和面层的施工中。该系统的机械化程度较高, 十分讲究系统内部的性能配置。如果仅仅凭借已有经验和定性认识来进行机械的搭配, 而没有对机械资源配置作更深入的定量分析, 将造成机械生产效率低下, 机械闲置较多, 导致施工成本提高。而实际情况是每吨拌和料的机械台班费用随着料车运距, 拌和机、摊铺机、压路机以及料车各自的技术参数和数量的变化, 以及这些机械在生产过程中的相互作用和相互制约关系而发生着变化。因此, 对该系统的生产要素进行深入分析, 特别是对系统服务强度、机械数量、施工成本进行分析研究, 使我们确定的施工方案既在技术上具有先进性, 又在经济上具有合理性, 是十分有意义的。

1 研究思路

高速公路的沥青砼路面机械化施工系统主要由“拌和-摊铺”、“摊铺-压实”两大子系统串联而成。实际施工中在对机械进行选配时, 首先是根据工程量和工期选定合适的主导机械—拌和机, 再根据其他机械应保证主导机械生产率的原则, 选定摊铺机和压实机械。这3种机械一旦选定, 其数量一般就不会再调整了。而料车的随机性较大, 往往根据具体的工况来选定。由于料车仅出现在拌和-摊铺子系统中, 因此我们以下主要研究“拌和-摊铺”子系统。料车的数

量确定了, 整个系统的配置也就完成了。

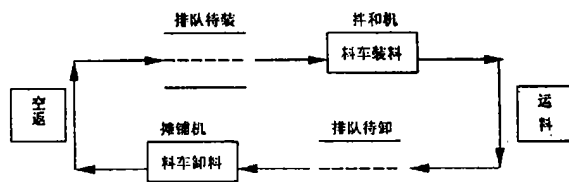


图1 “拌和-摊铺”机械化施工系统逻辑简图

图1所示, “拌和-摊铺”系统机械化施工的理想运行过程应该是: 当一辆料车在拌和机处装车完成驶离后, 就刚好有一辆料车空返回到此处进行装车; 当一辆料车在摊铺机处卸料完成驶离后, 就刚好有一辆车来到此处进行卸料。这样, 整个系统运行既经济又高速。但在实际施工过程中, 该系统的运行状态受机械性能、机械操作人员的技术水平、机械的组合配套、自然环境等多种因素的共同作用, 使该系统带有较强的随机性。因此, 我们提出以排队论为工具, 较为精确地描述该系统施工作业过程, 以评价与优化系统, 提高系统生产率, 降低施工成本。

在对拌和机、摊铺机和料车的运行规律用数理统计方法分别进行分析后得知(因篇幅所限, 在此不再累述详见文[1]), 料车的到达为泊松流, 拌和机和摊铺机对单台汽车的服务时间均服从负指数分布。

同时, 由于系统的机械化程度较高, 为分析方便, 在此施工成本仅考虑机械台班费, 则我们进行系统服务强度与机械数量分析的目的就是使每吨拌和料所

* 收稿日期: 2002-06-14

作者简介: 卢亦昭(1978-), 女, 重庆市人, 硕士生, 从事公路机械化施工与管理方面的研究

包含的机械台班费用最少, 最终目标是兼顾在拌和机、摊铺机和料车的机械利用率都较高、料车排队数量不太多的情况下, 每吨拌和料的机械费用成本最小。

这样, 运用排队论知识, 整个施工系统可以看成是由 2 个顾客源有限(料车数量不会无限多)的排队系统所构成的随机服务系统, 当拌和机的数量为 1 台时, 则各自为单服务台闭合式排队系统; 当其数量大于 1 时(一般也最多为 2), 则视具体施工组织情况, 可为多服务台闭合式模型或为多个单服务台闭合式模型。同理, 摊铺机处也同样处理。运用各自模型下的参数, 便可建立最终的施工成本函数。

2 建立模型

2.1 几点假定

- (1) 料车运距应大于 1km。
- (2) 开工一段时间(不大于 1h)后, 系统即进入正常稳定的施工状态。
- (3) 系统由于机械事故、原料短缺等原因引起的工作中断情况除外。
- (4) 为简单起见, 当拌和机、摊铺机的数量大于 1 台时, 其型号和工作参数均相同。
- (5) 该系统的主要机械为拌和机。

2.2 系统状态参数

设:

q ——料车载重(t); V_b ——拌和机成品料仓单斗容量(m^3); γ ——拌和料的松方容重(t/m^3); t'_1 ——拌和机卸一斗料的时间(min); t_1 ——拌和机装一车料的平均装料时间(min)。

$$t_1 = \frac{q}{\gamma \cdot V_b} \cdot t'_1; \quad (1)$$

t_2 ——汽车一个工作循环平均运料时间(min);
 t_3 ——汽车一个工作循环平均卸料时间(min);
 t_4 ——汽车一个工作循环平均空返时间(min);
 t'_3 ——摊铺机摊铺一车料的时间(min); L ——料车一个循环的运距(km); v ——料车一个循环的平均运料速度(km/h); t ——料车一个作业循环所用平均时间(min)

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = t_1 + t_3 + \frac{2L \cdot 60}{v}; \quad (2)$$

m ——料车数量(辆)。

又设:

C_b ——拌和机台班费(元/台班); C_l ——摊铺机台班费(元/台班); C_c ——料车台班费(元/台班);

Q_0 ——拌和机理论生产率(t/h); Q_s ——拌和机实际生产率(t/h)。

2.2.1 系统到达率和服务率

(1) 料车到达流强度 λ (辆/小时)

$$\lambda = 60/t \quad (3)$$

(2) 拌和机单位时间内的平均装车数 μ_1 (“拌和机—料车”排队系统服务率)(辆/小时)

$$\mu_1 = \frac{1}{t_1} \cdot 60 = \frac{1}{\frac{q}{\gamma \cdot V_b} \cdot t'_1} \cdot 60 = \frac{60 \cdot \gamma \cdot V_b}{q \cdot t'_1} \quad (4)$$

(3) 摊铺机单位时间内的平均摊铺车数 μ_2 (“摊铺机—料车”排队系统服务率)(辆/小时)

$$\mu_2 = \frac{1}{t'_3} \cdot 60 = \frac{60}{t'_3} \quad (5)$$

2.2.2 排队系统服务强度 ρ

$$\rho_i = f(\lambda, \mu_i) \quad (i = 1, 2) \quad (6)$$

2.2.3 系统内料车数为零时的概率 P_0

$$P_{0i} = g(m, \rho_i) \quad (i = 1, 2) \quad (7)$$

2.2.4 系统排队等待服务的平均车数 L_{qi}

$$L_{qi} = h(m, \rho_i, P_{0i}) \quad (i = 1, 2) \quad (8)$$

注: (6)、(7)、(8)式中, 1 代表“拌和机—料车”排队系统, 2 代表“摊铺机—料车”排队系统。具体公式视实际施工组织情况, 按单服务台、多个单服务台或多服务台取定。限于篇幅, 详细的公式参见有关排队论书籍或参考文献[3], 此不再一一列出。

2.2.5 料车因排队等待所损失的时间 t_d

$$t_d = L_{q1} \cdot t_1 + L_{q2} \cdot t'_3 = \left[m - (1 - P_{01}) \cdot \left(1 + \frac{1}{\rho_1} \right) \right] \cdot t_1 + \left[m - (1 - P_{02}) \cdot \left(1 + \frac{1}{\rho_2} \right) \right] \cdot t'_3 \quad (9)$$

2.3 技术经济指标的拟定与优化

2.3.1 机械联合作业系数(机械利用率):

$$(1) \text{ 拌和机利用率 } K_b: K_b = (1 - P_{01}) \times 100\% \quad (10)$$

$$(2) \text{ 摊铺机利用率 } K_l: K_l = (1 - P_{02}) \times 100\% \quad (11)$$

$$(3) \text{ 料车利用率 } K_c: K_c = \left[1 - \frac{t_d}{t_d + t} \right] \times 100\% \quad (12)$$

2.3.2 拌和机台班实际产量 Q_s (t /台班)

$$Q_s = 8K_b K_s Q_0 (1 - P_{01}) = 8K_s Q_0 (1 - P_{01}) \quad (13)$$

式中, K_s 为拌和机的时间利用系数, 一般取 0.97—0.99; 8 表示每个台班工作时间为 8h

2.3.3 施工系统总的机械台班费 C (元/台班)

$$C = C_b + C_l + m \cdot C_c \quad (14)$$

2.3.4 每吨拌和料的机械费用成本 C_d (元/t)

$$C_d = \frac{C}{Q_s} = \frac{C_b + C_l + m \cdot C_l}{8K_s Q_0 (1 - P_{01})} \quad (15)$$

2.4 “拌和-摊铺”系统负荷水平及机械数量变化与施工成本的关系

2.4.1 施工成本是否存在最优解

一般地,当我们在进行机械组配时,拌和机已选定,其生产率 Q_0 以及运距 L 已经知道,每吨拌和料的台班费用成本 C_d 仅是料车数量 m 和其载重 q 的函数。由于同时进行料车型号和数量的组配较为繁杂,限于篇幅,将另文讨论。本文仅讨论在 q 一定的情况下,每吨拌和料的机械成本随着 m 的变化而变化的情况。显然,总台班费 C 随着 m 的增加而增加,台班产量 Q_s 也随着 m 的增加而增加,那么当 m 为多大时, C_d 最小呢? 换言之,是否存在一个最优的汽车数量 m^* ,使 C_d 达到最小呢(或接近最小)?

显然料车数量的范围为 $1 \leq m \leq +\infty$, 当料车数量 m 很小时(最小为 1), 拌和机处于无车可装的时间较多,拌和机的台班费用损失很大,系统的生产能力被极大地限制了,此时系统的生产能力由料车决定,而 Q_s 将远小于 Q_0 , 从而使每吨拌和料的成本较高;反之,当料车数量很多时,拌和机不停地工作,系统的台班产量受到拌和机的理论产量制约,当 m 很大时,系统的台班产量 Q_s 基本保持不变,而系统的台班总费用 C 随着 m 的增加而直线增加,从而造成每吨拌和料的机械费用成本 C_d 也较高。可见,从理论上,最优解 m^* 是存在的。

2.4.2 施工成本最优解的算法

由式(15)可知,这样的函数关系式比较复杂,且 C_d 不是 m 的连续函数,用常规求导的方法来寻求最优解 m^* 显然是行不通的,但我们仍可以通过试算的方法来求得。而且若利用 MATLAB 数学软件,运用多项式回归的方法进行模拟,我们就能更方便地解决这一问题,不仅减少计算量,而且更加直观。步骤如下:

(1) 首先,设定几个 m 值,求出其对应的 C_d 作为初始数据点。

(2) 利用 MATLAB 的 polytool 函数,对这些初始数据点按最小二乘法的原理进行多项式拟合,精确地拟合成一维高次函数 $C_d = a_n m^n + a_{n-1} m^{n-1} + \dots + a_1 m + a_0$ (n 为拟合的阶数);同时还一并显示出其交互式图形,即可以直接在图形上进行直观地预测,从而求出最优解 m^* 。值得说明的是,本算法利用初始数据点很好地解决了高阶函数对多极值的取舍问题。虽然图中直接得到的是一个极值,但由于(1)式中初始数据点就

已确定出了工程实际的极值所对应的 m 的大致范围,在这一范围中,仅有一个极值,所以这一极值就是最值,即我们所寻求的最优解 m^* 。

3 运用示例

某施工单位进行高速公路某标段路面的施工,总长 25km,路面宽 24m,以基层为例,基层厚度为 20cm,其压实后的容重为 2.26 t/m^3 ,最大含水量为 7%,松铺系数为 1.3。料车从拌和机到摊铺机的单程运输距离为 12km,该施工队现有设备为:稳定土拌和机一台,理论生产率为 300 t/h ,成品料仓的单斗容量为 $q = 2.2 \text{ m}^3$;料车载重 16t。拌和机台班单价为 6500 元/台班;摊铺机为 4600 元/台班;料车为 500 元/台班,按使每吨拌和料的机械费用成本最低,进行料车数量的组配。

3.1 求解过程

(1) 首先求出 $m = 15, 20, 25, 30, 35, 40$ 的各项经济指标。

(2) 由这些初始数据点(15, 13.14), (20, 11.57), (25, 11.05), (30, 11.21), (35, 12.04), (40, 12.96), 用 MATLAB 进行模拟,试算后得出三阶多项式较接近实际,初步定出最优值 m^* 所在的区间。拟合图如图 2:

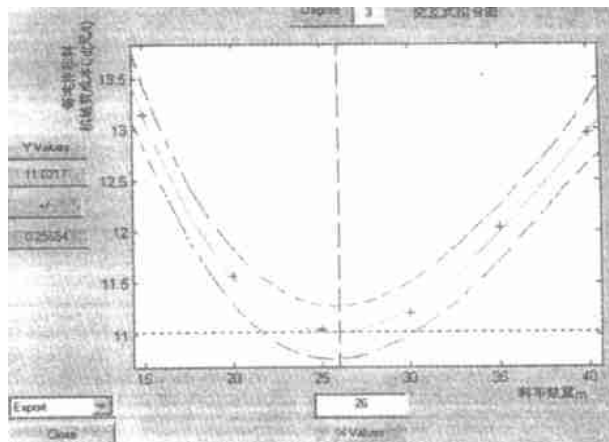


图 2 料车数量与每吨拌和料机械费用成本之间的交互式拟合图

(3) 从交互式拟合图中可以看到,最优的 m^* 在 (25, 30) 之间,再利用此图比较 m 为 26, 27, 28, 29 时的 C_d , 精确得出 $m^* = 26$ 此时的 $C_d = 11.02$ (元/吨)。

(4) 求出 $m^* = 26$ 时的其它技术经济指标:

3.2 计算结果分析

通过对比不同 m 下的结果,我们可以发现:当料车数量较少,如为 15 辆时,固然料车的利用率很高,达到 96%,但拌和机和摊铺机的利用率仅有 50%—60%,其台班费用损失很大,系统的生产能力

被极大地限制了,且每吨拌和料的成本较高;而当料车数量很多时,如为 40 辆时,拌和机和摊铺机的利用率都达到了 99% 以上,系统的生产能力发挥到了极至,而料车的利用率却不足 50%,系统的台班总费用 C 随着 m 的增加而直线增加,从而造成每吨拌和料的机械费用成本 C_d 仍然较高.而 $m=26$ 时,每

吨拌和料的机械费用成本最低,而且其机械利用率和系统实际生产能力都达到了令人满意的程度.相比 $m=15$ 和 $m=40$ 的时候,仅基层就可以节约 70—80 万元.若加上上面层的三层,节约的总费用就更加可观了.可见,合理进行料车的组配对施工成本的控制有着重要意义.

表 1 不同料车数量下的各项技术经济指标

m	拌和楼处料车排队长 L_{q1} (辆/小时)	摊铺机处料车排队长 L_{q1} (辆/小时)	料车因排队等待所损失的时间 t_d (min)	拌和机台班利用率 K_b	摊铺机台班利用率 K_t	料车台班利用率 K_l	拌和机实际生产率 Q_s (t/h)	每吨拌和料的机械费成本 C_d (元/吨)	该标段基层的施工成本 (万元)
15	0.65	0.33	2.51	59%	51%	96%	177	13.14	496
20	1.52	1.02	6.45	76%	66%	91%	228	11.57	437
25	3.36	2.00	13.65	89%	80%	82%	267	11.05	417
30	6.41	3.83	26.12	97%	91%	71%	291	11.21	423
35	10.92	7.11	45.84	99%	97%	58%	297	12.04	454
40	15.68	11.53	68.86	100%	99%	48%	300	12.96	489

(备注:基层共需要拌和料 $10^{3 \times 25 \times 24 \times 0.2 \times 2.26 \times (1+7\%)} \times 1.3 = 377239(t)$)

表 2 始终按最小运距配置料车时各运距的技术经济指标

m	拌和楼处料车排队长 L_{q1} (辆/小时)	摊铺机处料车排队长 L_{q2} (辆/小时)	料车因排队等待所损失的时间 t_d (min)	拌和机台班利用率 K_b	摊铺机台班利用率 K_t	料车台班利用率 K_l	拌和机实际生产率 Q_s (t/h)	每吨拌和料的机械费成本 C_d (元/吨)	该标段基层的施工成本 (万元)
26	3.87	2.42	16.02	91%	82%	80%	273	11.02	416

4 结 语

以上以数理统计和排队论为工具,对单台机械和系统的运行规律作了较深刻的描述,并且运用计算机对系统的运作进行模拟,对一系列经济技术指标进行优化,得出了机械资源静态配置的最优方案,克服了过去仅仅凭借经验对机械资源进行配置的缺陷,初步提出了对路面施工中“拌和-摊铺”系统进行资源配置的基本思路和方法.但是,本模型只是涉及了影响系统配置的可量化的内部因素:机械间的组配情况,而对于无法预测或无法避免的外部因素,如暴风骤雨、机械操作人员的临时调换等是很难量化的,因而也未能包含在上述模型中.这样,由此得出

的解宜作为施工管理人员对路面工程机械化施工系统设计的初步指导,要想使资源的优化配置真正得以实现,还需结合外部因素等进行综合考虑,做出适当的调整和进一步优化.

参考文献:

[1] 郭小宏,郭嘉银,杜真德.高等级沥青砼路面机械化施工的理论与实践(Ⅲ)[J].重庆交通学院学报,1994,14(1):56-65.
[2] 廖正环,郭小宏,刘燕.高速公路机械化施工与组织管理[M].北京:人民交通出版社,2001.
[3] 钱颂迪.运筹学[M].北京:清华大学出版社,1999.
[4] 李涛,贺勇军,刘志俭,等.Matlab 工具箱应用指南-应用数学篇[M].北京:电子工业出版社,2001.

Optimal resources disposition of the Mechanized asphalt concrete pavement construction system(Ⅰ)

——Static optimal disposition of the system

LU Yi-zhao, GUO Xiao-hong

Department Highway Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: This paper discusses the relation of traffic intensity, member- amount and construction- cost of the “mixing- paving” system that is one part of the mechanized asphalt concrete pavement construction system by applying Queuing Theory. In the mean time, it puts forward the method to solve the mathematical model easily by using the computer.

Key words: “mixing- paving” subsystem; static optimal disposition; cost of the machines