第21卷第2期
2007年4月
江苏科技大学学报(自然科学版)
Journal of Jiangsu University of Science and Technology(Natural Science Edition)
Vol.21 No.2
Apr. 2007

文章编号：1673-4807(2007)02-0016-04

灰色理论在造船工序作业计划预测中的应用研究

于　莉，马晓平
(江苏科技大学 船舶与海洋工程学院，江苏 镇江 212003)

摘　要：描述了传统造船工序作业计划管理的方法，并分析了目前工序作业计划制定方法存在的不确定性和局限性，将灰色理论的预测方法应用于造船工程项目中工序作业计划的制定，应用实例建立了分段工序作业时间的预测模型，并对模型进行了精度检验和模型精度指标评估，评价结果有效，有助于造船生产过程中更为精确的管理，提高造船企业的生产效率。

关键词：造船工程项目管理；灰色理论；预测；工序作业计划；工程进度计划
中图分类号：U673.2　　**文献标识码**：A

Application Research on Grey-theory in Forecast of Shipbuilding Process Operative Plan

YU Li, *MA Xiaoping*
(School of Naval Architecture and Ocean Eng., Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu 212003, China)

Abstract: The traditional shipbuilding operative plan is described. The uncertainty and limitation in the nowaday operative plan are analyzed. The forecast method based on the grey theory is adopted in the operative plan of the shipbuilding engineering project. A forecast model about the subsection operative plan is established. With the forecast model, the accuracy checking and the evaluation on the accuracy index are made. Results show that the evaluation is effective, and the theory is helpful for the accurate management in shipbuilding and the efficiency improving for the enterprise.

Key words: shipbuilding engineering project management; grey theory; forecast; process operative plan; project scheduled plan

0 引　言

工程进度计划是指安排每一项任务所需的时间，占用的资源。造船工序作业计划管理是造船工程管理的重要环节。这些计划均是在预定的自然、资源、技术、管理状态下制定出来的，在船舶建造实施阶段，大量的生产节点间关系复杂，返工的现象经常发生。这些状态可能会导致实际进度偏离预定计划状态。因此，有效的预测和合理安排工序作业计划，可以使造船工程项目管理更趋于合理高效。针对船舶

收稿日期：2006-07-10
基金项目：省重点实验室开放性基金项目
作者简介：于　莉(1978-)，女，湖北襄樊人，江苏科技大学硕士研究生。

建造过程中的不确定性，不确定系统研究方法被运用于造船工程项目管理中。常用的方法有3种：模糊数学、概率统计、灰色系统理论[1]。模糊数学着重研究"认识不确定"问题，其研究对象具有"内涵明确，外延不明确"的特点，主要凭经验借助于隶属函数进行处理；概率统计主要研究的是"随机不确定"现象，着重于考察"随机不确定"现象的历史统计规律，其出发点是大样本，并要求对象服从某种典型分布；灰色系统理论着重研究概率统计、模糊数学所不能解决的"小样本、贫信息、不确定"问题，并依据信息覆盖，通过序列生成需求现实规律。其特点是"少数据建模"。文中将灰色理论应用于造船工程项目计划的进度管理中去，对工序作业计划进行灰色预测。

1 灰色理论在工序作业计划预测中的分析

造船工程管理和计划的编制包括：选用方法、工具、场地、多少工料、什么标准和在什么时间制造等[2]。前面几个问题随着生产设计的深化将得到解决，而在什么时间内制造并制造好凭借监造工程的经验和工艺项目，编制阶段的工程粗计划，是一种期望计划，到了生产阶段再编制详细作业计划，依靠大量的调度手段组织实施完成，这种计划缺少量化，以概念来估计，如果和实际出入很大，将会造成调度时的被动。每个工序的持续时间是个确定值，但实际上工序时间是在一个范围内变化的量。

现代造船工程项目生产计划安排是根据所占用的资源，包括场地、关键设备、质量要求、物料/工时等。以过去积累的经验数据为依据应用统计技术，制定各项工序的标准时间，进而编制出接近实际进度的计划。当然计划编制时，为确保计划中每个节点的准时完成，计划的编制需要有一定的柔性，需要经验，计划的初期都留有可调整的柔性，计划的柔性过大、过小都会造成计划的不协调。因此产生的变化是个不确定量，也是个小样本事件，理论上的作业时间很少考虑各种突发因素的综合影响，建立在大量统计基础之上，把那些偶然性的因素剔除掉了。

现代造船生产中的工序作业计划，按区域作业对象特征来组织生产，以船体加工为例，分段的开工到分段的完工是建成立在统计基础之上的，大节点计划定制后，编制详细的作业计划，强调计划本身的协调过程。考虑气候、设备材料能否按期到货、员工技术能力、多条船同时作业、质量、精度要求、复杂程度等各种因素的影响，按区域/类型/阶段上的相似性，针对不同中间产品，统计投入的工时、物料，及劳动力资源，但是每个中间产品的结构不同，差异很大，各个不同中间产品折算到的工时/物料不同，不能精确到每个分段。

例如管系加工安装中，尤其机舱区域，由于辅助作业、装配时复杂程度的不同，加上管子的复杂，加工时间，形状、弯曲不同，波动很大，每个中间产品的工时/物量之间也有很大的差异，依据对以往物料/工时统计分析，采用均值或概率理论就有一定的局限性。

灰色预测[3]是指：运用GM(1,1)模型[4]对系统行为特征值的发展变化进行的预测；对于行为特征值中的异常值发生的时刻进行估计；对在特定时区发生的事件，做出未来时间分布的计算；实质是将"随机过程"当作"灰色过程"，"随机量"当作"灰色量"，并以灰色系统理论中的GM(1,1)模型为主进行处置的。对灰色量处置不是寻找概率分布规律，而是用数据处理方法来找数据间的规律。采用灰色理论对工序作业计划的时间进行预测，从而使作业计划的编制更精确，使理论值更接近实际值。

2 灰色理论在工序作业计划预测中的应用实例

几艘相类似的船舶相同区域的中间产品，它们实际完工的时间和理论偏差是较大的。可以假设为一个小样本事件，采用灰色理论预测工序作业计划，比采用其它方法更准确，因为工序的时间是个确定值，但是实际上各个工序的时间是在一个范围内变化的量，通过灰色预测理论可以对小批量数据进行灰色预测。因为灰色目标函数不是要求严格的最大值或最小值，而是最优范围内的解。

设 $\boldsymbol{X}^{(0)}=\{x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),x^{(0)}(4),x^{(0)}(5)\}=[5\ 6\ 7\ 8\ 9]$ 为几个不同分段相同区域和作业类型的工序的初始时间序列。

根据灰色 GM(1,1) 建模方法,生成 1—AGO 值(一阶累加生成模块) $\{x^{(1)}(k_i)\}$,$(i = 1, 2, 3, \cdots, n)$

$$x^{(1)}(k_i) = \sum_{i=1}^{n} x^{(0)}(k_i)$$

$$\boldsymbol{X}^{(0)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), x^{(1)}(4), x^{(1)}(5)\} = [5\ 11\ 18\ 26\ 35]$$

根据 $z^{(1)}(k) = 0.5[x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)] = [8\ 14.5\ 22\ 37]$

用一阶灰色模块为基础建立灰微分方程 $\frac{\mathrm{d}x^{(1)}}{\mathrm{d}t} + ax^{(1)} = b$

建立数据矩阵 $\boldsymbol{B}$ 为数组矩阵,$\boldsymbol{y}_N$ 为数据向量,a 为参数列

$$\boldsymbol{y}_N = [x_1^{(0)}(2), x_1^{(0)}(3), x_1^{(0)}(4), x_1^{(0)}(5)]^{\mathrm{T}} = [6\ 7\ 8\ 9]^{\mathrm{T}}$$

$$\boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z_{(1)}(3) & 1 \\ -z^{(1)}(4) & 1 \\ -z^{(1)}(5) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8 & 1 \\ -14.5 & 1 \\ -22 & 1 \\ -37 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{计算矩阵 } \boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B}$$

$$\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} -8 & 1 \\ -14.5 & 1 \\ -22 & 1 \\ -37 & 1 \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} \begin{bmatrix} -8 & 1 \\ -14.5 & 1 \\ -22 & 1 \\ -37 & 1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 2127.25 & -81.5 \\ -81.5 & 4 \end{pmatrix}$$

求 $(\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B})^{-1} = \begin{pmatrix} 0.00214 & 0.0436 \\ 0.0436 & 1.1395 \end{pmatrix}$

算出待定参数 $\hat{a} = (a, b)^{\mathrm{T}}$

$$\hat{a} = (\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B})^{-1}\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y}_N = \begin{pmatrix} 0.00214 & 0.0436 \\ 0.0436 & 1.1395 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -8 & 1 \\ -14.5 & 1 \\ -22 & 1 \\ -37 & 1 \end{pmatrix}^{\mathrm{T}} (6, 7, 8, 9)^{\mathrm{T}} =$$

$$\begin{pmatrix} 0.02648 & 0.01257 & -0.00348 & -0.03558 \\ 0.7907 & 0.5073 & 0.1803 & -0.4737 \end{pmatrix} (6, 7, 8, 9)^{\mathrm{T}} = \begin{pmatrix} -0.10119 \\ 5.4744 \end{pmatrix}$$

$a = -0.10119 \quad b = 5.4744$

建立微分方程 $\frac{\mathrm{d}x^{(1)}}{\mathrm{d}t} - 0.10119x^{(1)} = 5.4744$

则预测模型:取定 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$, $b/a = -54.1$,得 $\hat{x}^{(1)}(k+1) = 59.1\,\mathrm{e}^{0.10119k} - 54.1$

模型精度检验:求得模型与实际值如表 1 所示($k = 0, 1, 2, 3, 4$)。

表 1 计算值与实际值比较

Tab. 1 Comparison with calculation and real value

模型计算值 $\hat{x}^{(1)}$	实际值 $x^{(1)}$
5	5
11.29	6
18.256	7
25.961	8
34.48	9

检验模型还原值

取 $\hat{x}^{(1)}(0) = 0$,将 $\hat{x}^{(1)}$ 作 IAGO(累减生成),还原后模型计算值 $\hat{x}^{(0)}$,如表 2 所示。

表 2 还原后模型计算值

Tab. 2 Calculation value from reverted model

序号	实际原始值 $x^{(0)}(k)$	修正后的模拟值 $\hat{x}^{(0)}(k)$	残差 $q(k)$	相对误差 $\Delta(k)$
1	5	5	0	0
2	6	6.290	-0.290	4.83%
3	7	6.966	0.034	0.48%
4	8	7.740	0.260	3.25%
5	9	8.519	0.481	5.34%

后验差检验:是根据残差 $|q(k)|$ 的大小,考察残差(预测误差)较小的点出现的概率,以及与残差方差有关指标的大小。

$x^{(0)}(k)$ 的平均值:$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x^{(0)}(k) = 7$ (n 为数据的个数)。

残差数列 $q(k)$ 的平均值

$\bar{q} = \frac{1}{n-1}\sum_{k=2}^{n} q(k) = (0 - 0.290 + 0.034 + 0.260 + 0.481)/4 = 0.12125$ （$n-1$ 为残差数据的个数）计算原始数据 $x^{(0)}(k)$ 的方差 S_1^2，则 $(S_1)^2 = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}[x^{(0)}(k) - \bar{x}]^2 = 2$

预测误差（残差）$q(k)$ 的方差 S_2^2，则

$$(S_2)^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{k=2}^{n}[q(k) - \bar{q}]^2 = \frac{1}{4}\left[\begin{array}{l}(-0.290 - 0.12125)^2 + (0.034 - 0.12125)^2 + \\ (0.260 - 0.12125)^2 + (0.481 - 0.12125)^2\end{array}\right] = 0.171$$

则后验差比值 $C = S_2/S_1 = \sqrt{0.171/2} = 0.292$

小误差概率 $P = \{|q(k) - \bar{q}| < 0.6745 S_1\} = \{|q(k) - \bar{q}| < 0.953\} = 1.074 > 0.95$

后验差比值 $C = 0.292 < 0.35$ 与小误差频率 $P = 1.074 > 0.95$ 是后验差检验的两个重要指标。指标 C 越小越好，C 越小说明 S_1 大，以往的历史数据方差大、即摆动幅度大，规律性较差，这和造船生产的特性相符。S_2 小，说明残差数据方差小，或者说残差数据摆动幅度小，说明残差的离散程度小。C 小说明尽管原始数据很离散，而模型所得计算值与实际值之差不太离散。一个好的模型要求在 S_1 大的前提下，S_2 尽可能小。C 越小越好，一般要求 $C < 0.35$，最大不超过0.65。指标 P 越大越好，P 越大，说明残差与残差平均值之差小于给定值 $0.6745S_1$ 的点较多。一般要求 $P > 0.95$，不得小于0.70。按 P 和 C 的大小综合评判模型的精度，具体指标如表3。

表3　评判模型精度的具体指标

Tab. 3　Evaluation Index of model accuracy

预测精度等级	P	C
好	> 0.95	< 0.35
合格	> 0.80	< 0.50
勉强	> 0.70	< 0.45
不合格	< 0.70	< 0.65

因此根据以上建立的模型，预测此分段的持序时间大力气 $\hat{x}^{(1)}(k+1) = 59.1\,e^{0.10119k} - 54.1$

令 $k = 4$　则 $\hat{x}^{(1)}(5) = 59.1\,e^{0.40476} - 54.1 = 34.892$

令 $k = 5$　则 $\hat{x}^{(1)}(6) = 59.1\,e^{0.50595} - 54.1 = 44.427$

由灰色累减法反生成，得到初始问题的预测值 $\hat{x}^{(0)}(6) = 44.427 - 34.892 = 9.535$

利用灰理论建立的GM(1，1)模型的后验差检验结果 $C = 0.292 < 0.35$

$P = 1 > 0.95$ 说明误差在容许的范围内，通过此模型预测的结果评价为“好”。通过对历史数据的分析，可以看出第6次的，此项分段预测所需的时间为9.535，相比较其它的预测方法更为精确。这样在制定生产计划时就可以提高计划的精确性，也有助于提高工程项目[5]后期的各种计划制定的准确性，从而减少因生产中的各种不确定因素而带来的风险影响，减少造船工程项目的成本，提高企业的生产效率和利润。当然对于工期波动不大，而又有大量的经验数据，可以采用其它的预测方法，选择最适合的方法来处理，因情况而定。

3　结　语

采用灰色理论建立模型，运用实例计算和误差分析，可以根据以往少量的，无规律的经验数据来预测造船工程项目实施过程中工序作业的时间进度，结果会比其它传统的方法更为精确的组织船舶各生产阶段的计划，为实现船厂总体生产计划目标具有重要作用。

参考文献：

[1]　严智渊，孙磊．灰色系统实用程序[M]．江苏科学技术出版社，1989.

[2]　高介祜，郁照荣．现代造船工程[M]．哈尔滨工程大学出版社，2002.

[3]　刘思峰，郭天榜．灰色系统理论及其应用[M]．河南大学出版社，1991.

[4]　罗佑新，张龙庭，李敏．灰色系统理论及其在机械工程中的应用[M]．北京：国防科技大学出版社，2001.

[5]　高绍新．先进项目管理技术的理论方法及关键技术研究与应用[D]．大连理工大学，2001.

（责任编辑：顾　琳）