

文章编号: 2095-2163(2023)10-0121-06

中图分类号: TP301

文献标志码: A

小批量物料生产安排中趋势预测研究

付思源, 姜惠娟

(甘肃中医药大学 信息工程学院, 甘肃 定西 743000)

摘要: 目前许多电子产品制造企业在多品种小批量的物料生产中, 事先无法知道物料的实际需求量, 因此, 合理地安排物料生产非常重要, 以多元线性回归算法在小批量物料生产安排中的趋势预测为研究目标, 通过构建多元线性回归模型, 预测物料的生产计划安排。分析模型的可靠性、适用性和可推广性等关键问题, 为小批量物料的生产安排提出了新思路, 为生产资料的生产安排与工作计划、时间和库存系统以及服务水平等方面的有效结合提供参考。

关键词: 小批量物料; 多元线性回归; 物料生产安排

Research on trend prediction in production scheduling of small batch materials

FU Siyuan, JIANG huijuan

(College of Information Engineering, Gansu University of Chinese Medicine, Dingxi Gansu 743000, China)

【Abstract】 At present, many electronic product manufacturing enterprises cannot know the actual demand of material in advance in the production of multi-varieties and small batches, so it is very important to arrange material production reasonably. In this paper, we propose a method to forecast the material production arrangement by establishing a multi-linear regression model. The reliability, applicability and generalizability of the model are analyzed. This paper gives a new idea for the production arrangement of small batch materials and provides reference to the production arrangements and the integration of production work plan, time, and inventory systems and service level.

【Key words】 small batch material; multiple linear regression; material production arrangement

0 引言

生产计划不但要以市场需求和客户个性化的要求来确定, 还要根据企业制造资源的实际能力和库存、生产进度、销售单价等动态变化来调整, 制造过程的优化和监控成为提高企业核心竞争力不可回避的环节。

随着市场竞争的激烈, 工厂品种不断增多, 批量不断减少, 紧急订单频繁发生订单无法及时交货, 部门之间互相指责, 因循守旧无法带来突破等诸多问题暴露。市场变了、客户需求变了, 类似生产安排存在诸多研究难点。孔继利^[1]在考虑搬运时间的多品种、小批量混流制造系统批量加工模式的优化与资源调度时, 提到多品种、小批量混流制造已被众多

企业接受, 成为主流生产模式, 尤其在工业品领域存在大量的定制化需求产品。在生产模式方面, 徐文杰^[2]对均衡排产进行尝试研究发现, 产能、物料、需求都是生产计划的强约束条件, 而小批量多品种生产模式会增加这些约束条件的变化频率, 很难做到均衡生产。在生产计划方面, 在陈坤明^[3]的柔性排产研究可以看到, 大批量型产品在柔性流水线排产需要一系列算法进行辅佐, 而小批量产品的计算方法更为复杂。刘宝红在需求预测和库存计划^[4]认为, 计划是供应链的引擎, 计划的好坏决定了运营的好坏, 这是当前很多工业品制造业的共识。因为小批量多品种的生产模式和产品的复杂结构, 需要计划参与做更多的分析、决策、沟通和协调工作。追求精益生产的过程中, 就是尽量消除每个环节浪费,

基金项目: 2022年度甘肃省高等学校创新基金项目(2022B-126); 甘肃省教育科学“十三五”规划2020年度一般课题(GS[2020]GHB4588); 2020年甘肃省教育厅高等教育教学成果培育项目(甘教高[2020]8号); 甘肃中医药大学定西校区2020年度教育教学改革项目(2020XJJG17)。

作者简介: 付思源(1980-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 计算机应用技术、数据挖掘; 姜惠娟(1979-), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 计算机网络与信息安全、医学数据挖掘。

通讯作者: 付思源 Email: 35273625@qq.com

收稿日期: 2023-05-10

让制造流动起来。另外,库存不是最低才是最好,而是能够合理达到公司策略和目标才是最好。正如可持续运营管理研究趋势和展望^[5]里提到,企业的发展不仅仅是内部保持竞争力,还需要从内部运营到外部运营,营造从客户端到供应商端,以及到供应商的下游供应整个产业链的健康运营。

电子产品制造企业面临的问题是:在多品种小批量的物料生产中,事先无法知道物料的实际需求量;企业希望运用数学方法,分析已有的历史数据建立数学模型,帮助企业合理地安排物料生产。

1 相关概念和理论基础

1.1 小量物料多品种生产模式与生产计划相关概念

进入工业时代以后,由机器替代人力,大批量生产作为主流生产模式大面积使用,当时人们的需求更多趋向于从无到有,从少到多。随着物资的丰富,人们的需求升级为从有到优,更多元化的需求被提出被鼓励。越来越多的企业将根据客户需要的商品做出不同调整,导致产品设计的种类增加,定制类的产品增长。

小批量多品种产品生产的特征主要有:

(1) 预测:多种产品各自预测;

(2) 订单:订单批次多,每批次数量少,客户需求不稳定;

(3) 产品:产品种类多,客户定制需求多样化;

(4) 物料:物料需求多变,小批量采购,单一货源,供应商响应周期长;

(5) 生产:生产规模小,产品不定期轮番上场,均衡生产难以实现;

(6) 库存:制品占用量大。

鉴于小批量多品种的生产模式特征,该生产方式将会面对较大挑战。不同的订单共享资源、抢占资源,需要决策优先序。定制化需求时间不同,使得生产时间存在不确定性,周期不足的项目为了响应市场紧急需求需占用更多资源。按订单生产方式(Make To Order, MTO),通常是订单决定采购和生产。对客户而言的交货期,包含了合同处理时间、采购物料时间、生产时间、包装理货时间、安排发货时间和物流运输时间。整个供应链响应周期增长,与客户所想要的更快更高效满足需求之间存在差距。小批量多品种生产模式没有清晰的排产规则,对计划工程师的经验依赖较大,不同的计划工程师会有不同的排产模式,而难以用标准界定其是否合理。同时,生产计划的核心价值在于平衡,平衡交付需求

与生产成本,平衡生产人员的利益与公司的利益,平衡有限的资源与无限的需求。

1.2 小批量多品种生产计划相关理论

1.2.1 不同销售环境的生产方式

根据不同的市场环境与公司策略选择恰当的生产模式,是生产计划非常重要的决策之一。

小批量多品种的主流生产方式有以下几种:

(1) 备货生产型(Make To Stock, MTS):适合于稳定持续需求的标准品生产备货;

(2) 订单生产型(Make To Order, MTO):适合于需求不稳定的产品;

(3) 订单装配型(Assemble To Order, ATO):适合模块结构的产品,可提前备好组件,订单来后进行组装;

(4) 订单设计型(Engineer To Order, ETO):适合定制化产品,研发根据销售和客户确认的需求进行设计,再根据设计稳定进行生产。

1.2.2 物料供应策略

(1) 拉动式采购(Just In Time, JIT):拉动式采购又称为准时化采购,基本思想是要求供应商按时按量送货。其特点为:小批量、多批次交货、提前期短、交货期准、质量稳定。

(2) 供应商管理库存(Vendor Manage Inventory, VMI):VMI就是根据库存的最低水位、最高水位和需求预测,由供应商自主地安排补货。该策略的核心是工厂与供应商共享信息互相信任,降低信任成本,即供应链上的库存节点越少,供应链的总库存就越低。

(3) 安全库存(Safety Stock, SS):库存按照作用分类,可以划分为周转库存、调节库存和安全库存。尤其是小批量多品种的生产模式,市场需求的多变以及物料供应的复杂程度都可以依托安全库存来降低风险。

1.2.3 需求预测方法

(1) 预测分析瀑布图。瀑布图又称作梯形图,将特定时间段的需求和实际数值按照不同颗粒度放在瀑布图里进行分析,可以直观对比每一期的预测和实际数据的偏差,并且识别需求趋势的变化。

(2) 新产品预测德尔菲专家法。当新产品缺乏历史数据来预测未来需求时,适合使用德尔菲专家法进行预测。由各个相关业务部门推举一位接口人组成专家团,专家团里各成员匿名进行预测,将数据汇总进行评审。如此反复多轮,得出一组预测数据。

(3) 移动平均法。移动平均法是选取一段时间的历史需求来预测未来一段时间的需求。如果每期历史数据需求权重采用一样的话,就可称为简单移动平均;当采用不同的权重时,就可称为加权移动平均。选取较长的时段,则预测相对平滑但是灵活性较低;而选取较短的时段,则受近期变化影响较大,灵活性高,但是波动明显。

(4) 线性回归法。给定由 d 个属性描述示例 $x=(x_1;x_2;\dots;x_d)$,其中 x_i 是 x 在第 i 个属性上的取值,线性模型通过属性的线性组合来进行预测的函数,即:

$$f(x) = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_dx_d + b \quad (1)$$

其中, b 为常数项, w_1, w_2, \dots, w_d 为偏回归系数。

上述公式中 w 与 b 是未知的,通过均方误差来进行求解,即最小二乘法。在线性模型中最小二乘法就是试图找到一条直线,使所有样本到直线的欧式距离之和最小。

2 实验结果分析

2.1 实验环境及数据来源

该文以 2022 年“高教社杯”全国大学生数学建模竞赛^[6] E 题附件的数据为研究对象。利用 EXCEL 对附件中数据进行分析处理,整理出 284 种物料 177 周的信息,进而整理出每个物料的总频次,总需求量,销售单价和销售额,见表 1,然后依据表 1 中的数据信息使用 python 绘制每周需求量的趋势折线图。

表 1 构建模型指标基本条件

Tab. 1 Index conditions of model construction

物料编码频次	总需求量	销售单价	销售额	频次
6004020503	3 011	224.333	675 466.66	1 224
6004020374	1 099	271.672 5	298 565.33	612
.....
6004010256	1 585	1 270.29	2 013 409.65	955
6004010254	1 094	1 092.4	1 195 086.02	464

上述的数据有多个变量,若以两个变量为例:查找物料需求量与生产趋势之间的关系,如图 1 所示;查找物料频数与生产趋势之间的关系,如图 2 所示。绘制一个散点图,通过散点图观察两个变量之间是否有相关关系。将众多具有一定相关性的变量,重新组合成一组新的综合指标。



图 1 物料编码和需求量图

Fig. 1 Material coding and demand diagram



图 2 物料编码和频次图

Fig. 2 Material coding and frequency diagram

2.2 物料生产计划

选择 6 种应当重点关注的物料,(从物料需求出现的频数、数量、趋势和销售单价等方面考虑),建立物料需求的周预测模型(以周为基本时间单位预测物料需求量),通过对附件中的历史数据进行分析,并利用历史数据对预测模型进行评价。

要求得到重点关注的物料,最基本的方法可以把物料需求出现的频数、数量、趋势和销售单价中几个特征进行加权;对各个参数指标归一化处理;异质指标同质化,由于各项指标的计量单位并不统一,因此使用其计算综合指标前,先要进行标准化处理,即把指标的绝对值转化为相对值,从而解决各项不同指标值的同质化问题。另外,正向指标和负向指标数值代表的含义不同(正向指标数值越高越好,负向指标数值越低越好),因此对于正向负向指标需要采用不同的算法进行数据标准化处理。

根据有限评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法,在现有的对象中进行相对优劣的评价。TOPSIS^[7]法是一种逼近于理想的排序法,是多目标决策分析中一种常用的有效方法,又称为优劣解距离法。该方法只要求各效用函数具有单调递增(或递减)性即可。

实验所采用的数据集是某电子厂 2019 年 1 月~

2022年5月6种重点关注物料(6004010321、6004020503、6004020656、6004020374、6004020622、6004010250)的需求量和销售单价,这里以6004020503物料为例,展示数据集中的内容,输出结果见表2。通过物料编码和需求量和频次的考虑,最终得到的6种重点关注的物料其编码见表3。

从表3的综合得分中选取排序前6的物料为重点关注物料,再次通过物料编码和需求量和频次的考虑,最终得到的6种重点关注的物料,编码分别是:6004020503, 6004010256, 6004010252, 6004020918, 6004010321和6004021055。

表2 TOPSIS评价法计算结果

Tab. 2 Results of TOPSIS evaluation method

索引	正理想距离(D+)	负理想距离(D-)	综合得分指数	排序
6004020503	0.386 176 125	0.003 367 829	0.008 645 569	1 845
6004020503	0.388 122 998	0.001 575 33	0.004 042 434	2 298
6004020503	0.388 122 853	0.001 575 361	0.004 042 515	2 297
6004020503	0.384 228 682	0.005 272 386	0.013 536 255	1 770
6004020503	0.387 473 553	0.002 142 855	0.005 499 91	2 091
6004020503	0.385 526 537	0.003 998 01	0.010 263 821	1 823
6004020503	0.383 579 391	0.005 913 668	0.015 182 988	1 756
6004020503	0.388 122 271	0.001 575 693	0.004 043 369	2 296
6004020503	0.384 877 096	0.004 633 608	0.011 895 972	1 812
6004020503	0.384 876 95	0.004 633 661	0.011 896 111	1 811
6004020503	0.388 770 848	0.001 103 846	0.002 831 283	2 392
6004020503	0.387 472 826	0.002 143 352	0.005 501 189	2 090
6004020503	0.386 174 665	0.003 368 315	0.008 646 838	1 844
6004020503	0.382 929 513	0.006 556 782	0.016 834 436	1 708
6004020503	0.388 770 415	0.001 104 78	0.002 833 676	2 391
6004020503	0.388 770 27	0.001 105 151	0.002 834 625	2 390
6004020503	0.386 175 003	0.003 361 484	0.008 629 445	1 847
6004020503	0.388 121 883	0.001 562 012	0.004 008 407	2 308
6004020503	0.386 174 713	0.003 361 776	0.008 630 196	1 846
6004020503	0.378 386 634	0.011 076 713	0.028 440 963	774
.....
6004020503	0.386 173 395	0.003 369 29	0.008 649 349	1 843
6004020503	0.388 121 306	0.001 563 437	0.004 012 056	2 305
6004020503	0.386 822 26	0.002 748 814	0.007 056 001	1 884
6004020503	0.388 120 14	0.001 579 27	0.004 052 535	2 294
6004020503	0.388 119 996	0.001 579 716	0.004 053 676	2 292
6004020503	0.386 821 827	0.002 749 582	0.007 057 967	1 883
6004020503	0.388 768 867	0.001 109 582	0.002 845 968	2 388
6004020503	0.383 576 65	0.005 915 027	0.015 186 53	1 755
6004020503	0.386 821 682	0.002 749 862	0.007 058 683	1 882
.....

表3 六种物料 TOPSIS 评价法计算

Tab. 3 TOPSIS evaluation results on six kinds of materials

索引	正理想距离(D+)	负理想距离(D-)	综合得分指数	排序
6004010252	0.107 970 048	0.281 978 184	0.723 116 971	3
6004010256	0.376 849 132	0.014 753 448	0.037 674 543	130
6004010321	0.228 984 437	0.160 677 89	0.412 351 615	9
6004020503	0.374 488 739	0.014 968 075	0.038 433 209	117
.....
6004020918	0.379 372 389	0.015 992 588	0.040 450 188	98
6004021055	0.362 572 76	0.028 393 347	0.072 623 55	54

建立物料需求的周预测模型时,需要先用 excel 把不同的物料种类筛选出来,然后取一种物料来构建模型。预测模型里最基本的是可以建一个一次函

数,就是自变量是不同的时间,因变量是需求量。通过简单线性回归,涉及一个自变量和一个因变量,得到某种物料的趋势预测,如图3所示。

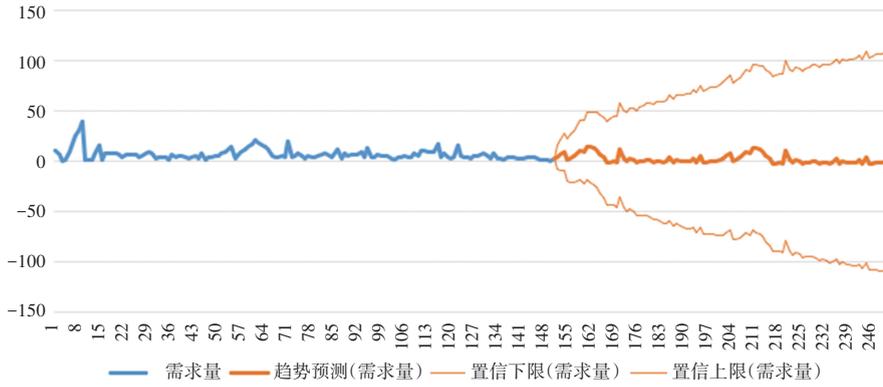


图 3 某种物料全周期趋势预测图

Fig. 3 Trend prediction of some material in the whole cycle

多元线性回归模型通常用来研究一个因变量依赖多个自变量的变化关系,该模型可以用来描述物料需求和变量之间的随机线性关系,运用式(1)中,物料的变量 x_1, x_2, \dots, x_n 与物料需求量 $f(x)$ 建立函数,将相同的回归概念扩展到多个自变量。表 2 中数据存在 3 个因变量,在二维平面上可视化 3 个因变量之间的关系,确定这些点的最佳拟合函数。先得到多维度线性回归某一种物料的趋势预测图,把参数频数、周次和需求量带入线性回归方程式(1),得到 6 种物料总需求量趋势预测图,如图 4 所示。



图 5 六种物料频次趋势预测图

Fig. 5 Frequency trend prediction of six kinds of materials

将模型得到的周需求量与预测的周需求量进行对比,通过剔除物料信息中不重要且和其他信息高度相关的物料信息逐步回归,直到既没有显著的信息选入回归方程,也没有不显著的信息从方程中剔除,最后得到的物料信息集合是最优化的。

物料计划通过产品生命周期来定位产品未来的需求,进行资源调整。物料需求数据管理从分月或分季度的粗放式管理逐渐调整为颗粒度更小的按周按日管理,使整个供应链条的各环节能更精准的了解上游的需求。

2.3 结果分析

按照物料需求量的预测值来安排生产,可能会产生较大的库存,或者出现较多的缺货,给企业带来经济和信誉方面的损失。因此,按照独立需求和多品种小批量生产的特点,结合运营实际需要,以及公司信息管理系统实际情况发展,以生产计划业务和重点产品为重点,按照需求的需要,做到对后续相应的生产计划系统改良的推广。企业希望从需求量的预测值、需求特征、库存量和缺货量等方面综合考虑,以便更合理地安排生产。

以生产计划制定类问题为例:题目中给出的考虑内容包括需求量的预测值、需求特征、库存量和缺

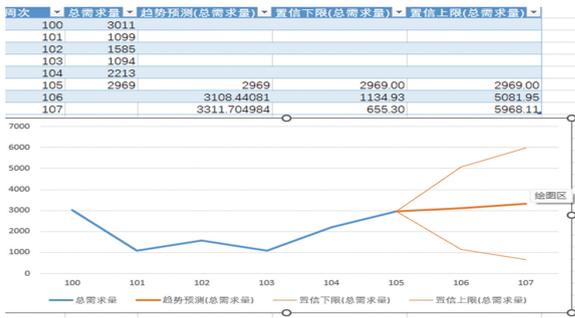


图 4 六种物料总需求量趋势预测图

Fig. 4 Trend prediction on total demand of six kinds of materials

采用以周为单位的预测颗粒进行,根据需求历史的期数不同,模型使用 101~104 周的数据预测了 106~109 周的频次趋势,对比原有的预测,来测算最合适的选择。同时用表 4 中优劣解距离法(TOPSIS)将数据带入此预测模型,得到如图 5 所示 6 种物料频次趋势预测图。

表 4 优劣解距离法(TOPSIS)分析结果

Tab. 4 Analysis results of TOPSIS

项	信息熵值 e	信息效用值 d	权重
日期	0.98	0.02	0.08
需求量	0.813	0.187	0.749
销售单价	0.957	0.043	0.171

货量,要求至第177周为止,使得平均服务水平不低于85%;使用目标函数和约束条件,采用需求量的预测值作为生产值。具体模型如下:

$$d(x, y_i) = \sum_{k=1}^{177} |x_k - y_k| \quad (2)$$

$$d_{\min} = \min[d(x, y_i)]$$

其中 $x = 1, 2, 3, \dots, n$, 则 x 认定为 d_{\min} 对应的 y_i 物料。

表5 物料6004020503周生产计划、实际需求、库存、缺货量及服务水平表

Tab. 5 Week production plan, actual demand, inventory, shortage and service level of material 600402050

周	生产计划/ 件	实际需求/ 件	库存量/ 件	缺货量/ 件	服务 水平
101	12	11	12	0	1.00
102	12	27	0	3	0.89
103	15	16	0	7	0.58
104	15	13	0	5	0.64
105	15	0	10	0	1.00
106	12	4	21	0	1.00
107	12	17	16	0	1.00
108	12	28	0	0	1.00
109	15	17	0	5	0.72
110	15	24	0	13	0.43

将原始数据带入式(2),得到表5服务水平相关数据。由表5可知,6004020503物料在101~110周期间,有7周服务水平达到了70%以上,模型预测效果较好,但仍有3周服务水平出现突减的情况。查阅该物料周需求量数据后发现,造成服务水平波动较大的原因是其周需求数量突增,使得生产计划数和库存量无法满足实际需求。通过对后续周预测值的拟合数据试验,发现该模型随着周数的增长,模型通过训练数据的更新进行自适应成长,拟合程度逐渐增进,可达成模拟精度较高的周预测模型。

3 结束语

多品种小批量的物料被加工的重度度介于单件

生产和大量生产之间,一般采用混流生产。使用MRP实现物料相关需求的计划,实现客户个性化特征对生产过程中物料、零部件、成品的拉动需求。由于产品设计和工艺设计采用并行工程处理,物料消耗定额很容易确定,成本很容易降低。另外,由于生产品种的多样性,对制造过程中物料的供应商有较强的选择要求,所以外部物流的协调性很难控制。对于生产计划,在实施过程中需要控制,取得实际生产进度与计划偏离的信息,分析偏离信息,以便能纠正偏差,确保生产计划如期完成。

本文以多元线性回归算法在小批量物料的生产安排中的趋势预测为研究目标,通过构建一个多元线性回归模型,来预测物料的生产计划安排。采用SPSS数据分析软件中优劣解距离法(TOPSIS)算法建立了数据分析,分析并阐明了采用多元线性回归预测生产安排的现实性,用所提供的物料需求量历史数据,建立与时间序列相关的预测模型,为企业提供合理的生产计划,通过验证具有较高的正确性和实用性,为小批量物料的生产安排提出了新思路,该预测模型具有一定的推广价值。

参考文献

- [1] 孔继利,贾国柱. 考虑搬运时间的多品种小批量混流制造系统批量加工模式的优化与资源调度[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(11): 2801-2807.
- [2] 徐文杰. 基于均衡化的多品种小批量产品定排产研究[J]. 机械制造, 2017, 55(631): 85-88.
- [3] 陈坤明. 生产计划柔性排产[J]. 物流工程与管理, 2017, 39(5): 148-150.
- [4] 刘宝红. 需求预测和库存计划一个实践者的角度[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020: 8-69.
- [5] 刘军军,冯云婷,朱庆华. 可持续运营管理研究趋势和展望[J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40(8): 1996-2007.
- [6] 2022年全国大学生数学建模竞赛试题[EB/OL]. [2022-10-22].
- [7] 刘浩然,汤少梁. 基于TOPSIS法与秩和比法的江苏省基本医疗服务均等化水平研究[J]. 中国全科医学, 2016, 19(7): 819-823.