

集成生产控制系统 —管理·分析·设计

(美) D. D. 比德沃思 J. E. 贝利 著
葛巧琴 邱成悌 孙淑昭 译
吴天林 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要论述信息过程和信息流的功用、生产计划、库存分析和进度计划。全书分生产控制的任务、生产控制信息流、工程计划、预测、总体计划和生产作业计划、库存分析和控制、材料需用量计划、有限资源的进度计划、进度和进度安排、人员安排问题等十章，并附有四套计算机程序。

本书可供计算机系统设计应用人员、有关专业的大专院校师生和企业管理人员参考。

INTEGRATED PRODUCTION CONTROL SYSTEMS
Management, Analysis, Design David D. Bedworth James
E. Bailey John Wiley & Sons, Inc. 1982年

*

集成生产控制系统——管理·分析·设计

葛巧琴 邱成悌 孙淑明 译

吴天林 校

责任编辑 杨其眉

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 印张13¹/₂ 355千字

1992年2月第1版 1992年2月第一次印刷 印数：0001—1500册

ISBN 7-118-00931-8/F·49 定价：12.40元

译 者 的 话

生产控制系统旨在保证产品质量、提高生产效率和降低物质消耗。D.D.比德沃思 (Bedworth) 和 J.E.贝利 (Bailey) 合著的《集成生产控制系统》一书,为达到上述目标提供了一系列的理论和方法,并为电子计算机应用于生产控制过程提供了定量分析的基础,是一本有价值的参考书。

该书分生产计划、库存分析和进度计划三大部分。涉及到生产控制系统信息流、计划、预测、进度安排、库存控制、人员安排等内容,其中不少内容在国内专业书刊中较少涉及。书末还附有四套计算机程序,为读者运用该书的一些方法带来了很大方便。除第一章以外,各章均设有习题和参考文献,给读者自学和研究生产控制系统的有关问题提供帮助。但应指出:本书是针对美国制造业领域论述的,希读者结合我国具体情况参考使用。

参加本书翻译的有邱成悌 (第一章至第四章)、葛巧琴 (第五章至第八章)、孙淑昭 (第九章至第十章)。在翻译过程中曾得到潘良隸、崔少林的热情帮助,在此表示感谢。由于水平有限,错误在所难免,敬请读者批评指正。

译 者

前 言

当前,制造领域中正在经历着一场变革,这在十年前是无法预计的。提高生产效率和减少浪费已成为美国亟待解决的问题之一。通过机械化和自动化(采用微处理机、数字控制的加工中心、机器人、实时控制和其它的革新方法),使生产率获得普遍提高,这就需要有一个更完善的生产控制方法。采用集成数据库概念的实时计算机系统能够更及时了解与生产过程有关的决策。定量的方法,甚至在目前尚有许多人认为是深奥莫测的。然而,如果使计算机辅助制造系统确实能发挥其效能,则定量方法就变得十分需要。这就是编写本书的出发点。在现代化制造中,集成生产控制系统为分析和改善生产率提供了面向计算机的量化基础。本书的主题包括:信息处理和信息流程、生产计划、库存分析和进度计划。

本书不仅可供定量管理或工业工程专业大学三年级和四年级学生教材,也可用作非定量管理或工业工程专业的学生攻读硕士学位的预备教材。要求数学方面的先行知识主要是概率论、统计学、高等代数。在某些章节中还用到线性规划的经典优化方法和微积分的基本知识,如果使用少量的补充资料,即使不具备运筹学知识或微积分知识,本书也能适用。有些管理学科倾向于选用本书作为预科教材,而不采用运筹学课程。

本书分为三大部分(生产计划、库存分析和进度计划),共有十章。如果已具备了先行知识,则在半年中可修完全部内容。生产计划部分包括网络计划和分析、预测和总体计划。库存分析是根据传统的经济订货或生产数量模型而提出的系统面向材料需用量计划的方法。进度计划中所涉及的内容,其深度已超过目前大多数生产控制方面的教科书。如果计算机辅助制造确实有效,那末

本书所涉及的内容是有价值的。若以内容的连续性来考虑，在第三章“工程计划”之后应紧接第八章的内容“有限资源的进度计划”。但在本书中将其分成工程计划和进度计划。

本书中提供和介绍了四套计算机程序：PREDICTS、BED-SEAS、RESALL 和 BABALB。它们分别应用于增长型和周期型预测、按照季节性指数作季节型和增长型预测、工程中多种有限资源的分配和确定关键路线，以及确定多品种生产线平衡的最优解。上述计算机程序是在 UNIVAC 1110 计算机上开发、用 ASCII FORTRAN 77 编写的（在附录 B～E 中给出）。在 IBM 兼容机上开发的采用 FORTRAN IV 编写的有关的源程序或程序磁带，可从亚利桑那州大学的作者那里获取。此外，本书还介绍了最优化和统计模型计算机程序的使用。

本书中第三、四、六和八章中的某些内容来源于 D.D. 比德沃思编写的《Industrial Systems (1973)》，在此表示感谢。

我们要真挚地感谢文诺特·沙尼 (Vinod Sahney)、杰伊·米勒 (Jay Miller)、约翰·埃斯塔斯 (John Estes)、约翰·菲尔特 (John Field) 和格伦·邓兰普 (Glen Dunlap)，他们为本书提供的主要材料和收集的意见与评论是非常有价值的。对于为本书作过贡献的其它人员，在此一并表示感谢。工业工程的工作人员为本书的编写创造了良好的环境，有幸与他们共事是一件愉快的事。这里，还需特别感谢书稿打字员埃利诺·林顿伯格 (Elinor Lindenberg)。

目 录

第一章 生产控制的任务	1
1.1 生产控制组织活动	2
1.2 生产控制系统	3
1.3 系统的计划和分析	6
1.4 简单案例——模拟	7
1.5 本书内容概要	12
第二章 生产控制信息流	14
2.1 概述	14
2.2 人工生产控制信息系统	16
2.3 计算机实时生产控制	24
2.4 车间信息处理的硬件设备	27
2.5 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)	32
2.6 成组技术	33
2.7 参考文献	35
第三章 工程计划	36
3.1 网络计划技术的发展	37
3.2 定义	40
3.3 关键路线法(CPM)	41
3.4 计划评审技术(PERT)	52
3.5 网络的随机性	59
3.6 工程监控:生产线平衡	62
3.7 CPM 案例	67
3.8 参考文献	73
3.9 习题	74
第四章 预测	81
4.1 概述	81
4.2 定义	84
4.3 时间序列预测法	86
4.4 应用回归法的增长分析	88
4.5 应用指数平滑法的增长分析	99

4.6 季节性分析	110
4.7 PREDICTS——时间序列分析的计算机程序	113
4.8 预测的误差分析	116
4.9 对博克斯-詹金斯 (Box-Jenkins) 方法的评述	119
4.10 案例	120
4.11 参考文献	127
4.12 习题	128
第五章 总体计划和生产作业计划	136
5.1 概述	136
5.2 定义	140
5.3 总体计划的经验方法	142
5.4 总体计划的最优化方法	148
5.5 生产计划的参数法	155
5.6 生产作业计划的编制	159
5.7 绪论	165
5.8 参考文献	166
5.9 习题	166
第六章 库存分析和控制	170
6.1 概述	170
6.2 定义	176
6.3 ABC 库存系统	177
6.4 外购件的 EOQ 模型	181
6.5 库存订货策略	188
6.6 自制件的 EMQ 模型	189
6.7 EOQ 和 EMQ 方法的缺点和改进措施	194
6.8 不确定型库存的模型	198
6.9 案例	203
6.10 参考文献	211
6.11 习题	212
第七章 材料需用量计划	215
7.1 概述	216
7.2 定义	218
7.3 MRP 如何工作	219
7.4 多品种生产的例题	226
7.5 MRP 的批量估计概念	227
7.6 案例分析	229

7.7 参考文献	236
7.8 习题	236
第八章 有限资源的进度计划	240
8.1 定义	242
8.2 单一资源的分配	243
8.3 多种资源的分配	254
8.4 资源平衡	256
8.5 用数字计算机分析资源	258
8.6 生产线平衡问题	267
8.7 海尔吉逊-伯尼 (Helgeson-Birnie) 方法	270
8.8 区域法	276
8.9 随机的多品种生产线平衡——一种计算机方法	279
8.10 案例分析	284
8.11 参考文献	291
8.12 习题	291
第九章 进度与进度安排	295
9.1 概述	295
9.2 定义	297
9.3 用一台加工机械进行 n 项任务时的进度安排问题	298
9.4 在 m 台加工机械上进行 n 项任务时的进度安排问题	314
9.5 案例分析	330
9.6 参考文献	336
9.7 习题	336
第十章 人员安排问题	340
10.1 概述	340
10.2 定义	342
10.3 工作班安排问题	343
10.4 对各工作班内变化的需求进行安排	357
10.5 案例分析	364
10.6 参考文献	370
10.7 习题	371
附录A 正态曲线下的面积	373
附录B BEDSEAS计算机程序	375
附录C PREDICTS计算机程序	382
附录D RESALL计算机程序	399
附录E BABALB计算机程序	414

第一章 生产控制的任务

正规的生产控制最早主要应用于制造业中。生产控制的目的始终是为了在产品的生产过程中能有效地利用有限资源，以便满足顾客的需求和为投资者创造利润。资源包括生产设施、人力和材料。限制或约束是指资源的可用性、交货期限和管理政策。

制造部门中生产控制的任务是有效地利用有限资源。自第二次世界大战以来才开始将生产控制的职能如计划、预测、进度安排和库存控制等应用于其它非制造业。因而，在装配生产线上调度装备的有效方法，同样可用于医院中，如安排许多病人进行X射线的检查。制造部门所发展的库存控制方法，同样可在银行和百货商店中使用。销售预测是为了能更好地制订制造厂的远景计划，也可以为医院扩建时确定病床数目。本书仅阐述制造过程的生产控制。事实上，它的应用领域是十分广阔的。

在第一次世界大战中由 H.L.甘特 (Henri L.Gantt) 创立的人们熟知的甘特图或称横道图，它是描述进度计划的一种简单方法。在第三章将可以看到，甘特图为研究和传递复杂关系提供了一种简单的方法。用图来表明有关作业何时可开始，并能满足优先次序的约束和合理利用有限资源。管理科学的最主要功能是简化复杂问题的能力。在解决实际问题的过程中，使问题复杂化的人必定要失败。而应用甘特图和提出直观求解方法的人将必然能取得成效，其事业也将受到奖励。希望读者在学习这类直观方法的同时致力于发展直觉的判断能力。

在任何企业中，生产控制的作用是提高生产效率。生产效率的正确定义是产品和生产服务的价值与生产中所用资源的价值之比。如果机器或工人待工，或者因机器不合用，使零件仍存放在仓库内，均会造成资源的浪费。生产控制的任务是正确地协调人

力、设备和材料的有效性，从而减少这类浪费。由于拥有过多的库存或过大的生产能力，致使损失巨额资金甚至破产的实际例子是常见的。虽然可以采取改进设计或采用更有效的生产方法来提高生产效率，但是任何一个制造和管理部门能够而且应当通过智能生产控制来提高生产效率。

1.1 生产控制组织活动

总之，生产控制活动的任务是说明生产、销售和财务的矛盾客观性，然后，通过有关的生产计划和库存策略来协调这些矛盾。车间工人的职责是执行进度计划，显然，都喜欢较松的进度计划。这样即使设备发生故障、工人缺勤或出废品时也能够按计划完成。销售部门的任务是保证最大的货运量和及时交货。因此，对于销售人员就喜欢有大量的库存物资，特别是成品的库存。财务部门的任务是使设备、人力和库存占有的资金最小，这样，财务人员必然倾向于装备一般的车间和较小规模的库存。总体组织的任务是寻求企业各部门相互间矛盾的平衡。

为此，需要考虑的问题是：企业中的生产控制活动应该怎样合理地设置？需要向生产主管人员、销售人员和审计人员报告否？对于不同的制造厂和服务部门对上述问题的回答可能是不同的。事实正是如此，因为生产控制具有多种职能，因此，必须有组织地将其设置在最能够实现职能的地方。对于一个公司或许应该设置集中的生产控制，以便能及时地协调矛盾。集中控制部门负责确定需求预测和季度生产数量，以及监督和控制销售、货运量和原材料采购，并负责确定人员和加班时间。至于具体的加工单和采购单则由各个具体部门负责，以便根据动态变化情况作出较理想的近期调整。另外，由于基层部门能掌握每一时刻的情况，所以，具体的更详细的车间计划由基层管理部门负责制订，如规定生产的顺序和选定使用的设备等。最好是把各种生产控制活动合理地设置在接近于制订理想决策所需要的信息来源处，从而使决策能够全面地兼顾到各种职能（即生产、销售和财务）。

关于生产控制机构是否合理，可按下列几个方面来衡量。若是最佳的生产控制机构，必然对下面这些问题已作了周全的考虑。

1. 计划、进度安排和库存管理的一切活动是否均已明确和作了部署？

2. 制订决策的人员是否清楚地知道他们的任务、决策目标、需要的信息以及制订决策的方法和步骤？

3. 制订决策的人员是否具有准确和及时的信息系统？

4. 当发生意外情况时，是否具有一个系统能及时地识别和迅速作出特定的决策？

5. 所有交互的组织活动是否符合生产控制的职能，这些活动会不会不执行或破坏有关的决策？

如果以上这些问题均能够完满地解决，这样的生产控制职能就组织得很理想。因此，现在的关键在于制订决策的人们是否已经掌握制订有效决策所必须具备的技术知识。本书的主题是向读者提供有价值的技术知识。

1.2 生产控制系统

在第二章中提出的生产控制与整个制造厂的关系主要是表明生产控制系统的输入和输出必要信息流。正因为生产控制的职能之间是相互联系的，所以生产控制的各个组成部分也具有复杂的交互关系，如图 1.1 所示。显然，某个组成部分的决策会影响到其它部分。例如进度计划，不致于因材料的短缺而影响到生产进度的办法是增加材料的库存。这样，当然可以简化进度安排的活动，但是却增加了库存占有的资金。另外，也可以采用推迟交货期的办法来保证预期交货。这样虽然能较容易地符合进度计划，但是会引起顾客的不满。因此，生产控制活动是一个系统，而且必须把它们视为一个整体。生产控制的目标应该是企业的目标，只求生产资源不闲置或库存费用最小或所有产品均能如期交货的观点是不正确的。合理的决策应该全面地考虑生产、销售和库存，而不能只是一种职能最优。

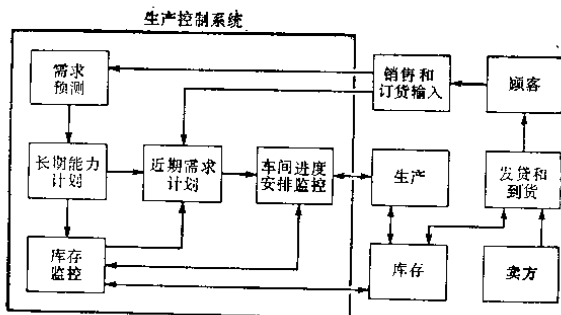


图1.1 生产控制的操作系统

图 1.1 中的循环活动代表了生产控制系统。系统的起点是顾客，按逆时针方向循环。需要讨论的是图中标明生产控制系统大框内的活动。本节只是作一般介绍，在后面章节中再作详细讨论。

需求预测是生产控制活动的起始点，对于每类产品或服务必须进行未来的需求预测。预测是有时间界限的，因为从发出原材料订货单到把这些材料加工成零件直到成品发运通常需几个月的生产提前期，这种情况的预测为几个月，这段时间称为预测期。在有些情况下，预测一年到二年的销售情况是比较容易的。通常交货期在预测期中占的比例相当大。所谓交货期是指收到客户的订货单到交货之间的一段时间。但是，对于某些还谈不上有实际订货单的情况要得到精确的预测是非常困难的。然而，如果没有精确的预测，也就不可能完成长期的生产能力计划。

生产控制活动的第二步是生产能力计划。必须知道用多少人力、安排多少加班时间和拥有多少库存才能够经济地满足实际的需求。如果所需的生产能力和库存不足，就无法满足需求，以致会失去顾客。如果拥有过多的生产能力和库存，会造成资金的严重积压。如果产品方向不对路，既不能满足顾客的需要又使产品无销路。因此，没有合理的准确预测，就不会有长期的生产能力

计划。

生产能力计划考虑的内容之一是库存的拥有量。对周期性变化需求的常用计划是生产量比滞销期的需求量大，因此增加了库存。当需求增加时，用库存来满足需求。所以，不同周期的库存是变化的。而且按照加工单生产的数量也随着库存变化而变化。库存监控实质上是把实际拥有的库存同需要的数量作比较的活动。因此，生产能力计划的决策会影响库存控制。

生产能力计划输出的第二项活动是近期需求计划。确定从粗加工到最后装配生产的近期需要，是对库存控制决策的响应。实质上是考虑近期生产能力和目标、现有库存、现有库存与需要的库存之差。然后，确定总进度计划，规定每个生产部门在下周或下月的任务。这一阶段在很大程度上可以弥补预测的不准确性和适应生产能力计划的变化。对于急需的或产量大的项目可以采用加上红色标记来表示急需。对于产量可以减少的项目一般比较容易处理，因为对库存的影响相对小些。还可以对加班时间或生产能力不足作调整。因此，在生产能力计划的大范围内是有一定的柔性。活动的输出是近期需求计划或总进度计划。

总进度计划并没有考虑到车间情况的动态变化。如果工人缺勤或机床发生故障，就必须改变进度安排。如果发生零件报废或工具暂时性失效，也必须调整进度安排。因为总进度计划只是规定每个部门每周的生产任务，并未规定怎样完成任务，这正是车间计划活动的任务。在每个工作班开始时，车间负责人必须思考一下，总进度计划中那些任务与他有关，以及需要那些资源，于是就安排工作班的任务、完成加工单所指定的任务的次序和所需的资源。再把有关的生产控制决策传达到生产工人。

由此可见，生产控制活动是一连串相互关联的活动，它们的作用如同一个系统。确定不同计划期的决策并具有不同的精度。为满足最终目标这些活动全是必须的。这样，才能充分地利用有限资源、满足顾客的需求并为企业创造利润。

1.3 系统的计划和分析

对于如图 1.1 所描述的, 这类部门间具有交互关系的任何复杂系统, 如果以达到整个企业有利, 并不是某个部门有利, 也是以企业有利为目标。就要求有一个系统的计划和分析的方法。

传统的系统方法(又称运筹学)是生产控制系统设计的一种方法。方法的步骤如下:

1. 确定系统的目标。
2. 确定系统的结构和明确系统的约束边界。
3. 确定组成这个系统的主要部分。
4. 按照总系统详细地研究各个部分。
5. 把经过分析的各部分综合成系统。
6. 按照有关的性能指标测试系统。
7. 重复步骤 2 到 6 改善系统的性能。

在本书中曾多次应用这类方法处理部门间具有交互关系的问题。对于具有丰富经验的专门人员当然已熟知这些步骤, 但是读者还应该通过以下几个方面来掌握这类方法。

1. 面向网络工程的工程总成本最小(第三章)。
2. 确定预测误差最小的预测模型的参数(第四章)。
3. 满足随机波动性需求预测的库存、加班和缺货等费用的平衡(第五章)。
4. 评审库存策略使订货和库存保持费用最小(第六、七章)。
5. 确定最大生产率的工作岗位任务的指派(第八章)。
6. 统筹安排任务和人力, 以便减少待工时间、在制品储备和缩短完工期(第九、十章)。

对于方法中的步骤 7 有必要再作一些说明, 因为改善系统性能采取措施的费用可能会远大于改善后所获得的经济效益。譬如, 某公司为改善预测方法, 聘请闻名的咨询单位承担改进工作, 假设需花费 250000 美元, 经改善后可能取得的效益是每年 10000 美元。究竟是否需要作改善? 多数认为不必要。因此, 在考虑系

统性能改善前必须进行全面的经济分析。为了进一步说明系统方法，在 1.4 节中列举了一个简单案例，案例中应用图 1.1 中提出的概念和有关的假设及设定的数据。

1.4 简单案例——模拟^①

图 1.1 简单地描述了生产控制操作系统中各个组成部分的交互关系。为了表明系统在改善后的情况，利用计算机模拟一个略经修改的系统并有设定的数据和假设的内部策略。通过此案例能说明用这个方法研究生产控制系统是能从改善性能的角度提出一些观点。

模拟的生产控制系统如图 1.2 所示^②，内部规则如下（这些规则仅用于说明问题，并不是在任何情况下都是如此）。

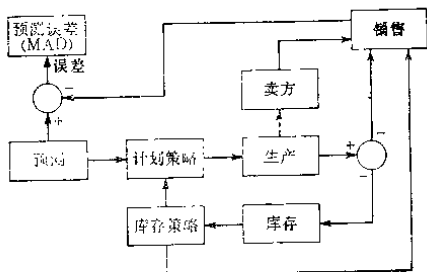


图1.2 模拟的生产控制系统

1. 按照 N 个相邻时期的数据的平均值作为预测值。时期数列中的最后一个数据是作预测的周期之前一个周期的数值。换句话说，移动平均法是一种预测技术。预测提前期为一个周期。例中 N 取为 4，6 和 8。

2. 进度计划的决策是预测值乘一偏差。例中所采用的偏差

① 本节中介绍的某些概念在后面章节中作更详细的介绍。目的并不在于全面地介绍预测、计划和库存分析，在此只是说明其间的交互关系。

② 案例中“库存”是指成品库存。

因子是 0.8, 1.0 和 1.2。设定因子 1.0 表示预测正确, 另外两个因子则表示预测是乐观的或是悲观的。

3. 利用库存来满足需求, 在任何时期库存高于规定的安全库存。例中安全库存为 0, 5 或 10 单位。当任何周期中的生产量和库存的总和还不能满足销售需要时, 可把任务转包给外厂完成。当任何周期中销售量小于生产量时, 库存增加。

根据以上的预测、进度计划和库存策略可知, 每类策略均有三种可能性。因此, 共有 27 种参数的组合。当给定一组已知数据, 在这些决策参数的组合中必然有一组可能是最优的。按照 50 个周期的预测数据, 评审每种组合确定:

1. 最优系统总成本的参数组合。
2. 最优生产进度决策费用的参数组合。
3. 最优库存策略费用的参数组合。
4. 预测误差最小的最优预测参数。

在分析中还需用到下列资料:

1. 在一个周期或部分周期时间内库存项目的保持费用为 2 美元/项目。
2. 项目的卖方供应价为 15 美元/项目。
3. 项目的生产费用为 10 美元/项目。

按照表 1.1 中 A 组数据模拟的结果见表 1.2。表中的金额美元值为 50 个周期的累计费用。假设生产进度费用是外购和生产费用的总和, 库存费用包括贮存在库内的和用作销售的两部分项目的费用之和。

在预测周期内的平均绝对偏差称为预测的 MAD 误差。

$$MAD = \sum_{i=1}^m \frac{(X_i - \hat{X}_{i-1})}{M}$$

式中 X_i ——周期 i 的实际数值;

$\hat{X}_{i-1}$ ——从前面周期得到的预测值;

表1.1 案例数据: A组数据是相对稳定的。B组数据是A组数据与相应的周数时间之和形成增长型数据

时间周期	预测需求 数组A	预测需求 数组B	时间周期	预测需求 数组A	预测需求 数组B
1	10	11	26	12	38
2	12	11	27	8	35
3	13	16	28	6	34
4	7	11	29	9	38
5	9	14	30	9	39
6	15	21	31	10	41
7	9	16	32	12	44
8	5	13	33	14	47
9	11	20	34	8	42
10	13	23	35	6	41
11	16	27	36	10	46
12	12	24	37	9	46
13	9	22	38	11	49
14	12	26	39	11	50
15	7	22	40	14	51
16	9	25	41	13	54
17	9	26	42	12	54
18	15	33	43	8	51
19	5	23	44	5	49
20	8	28	45	15	60
21	3	24	46	12	58
22	10	32	47	11	58
23	12	35	48	7	55
24	13	37	49	9	58
25	15	40	50	10	60

$$\hat{X}_{t-1} = \sum_{i=t-N}^{t-1} \frac{X_i}{N}$$

由表 1.2 中的结果可知:

1. 最小总成本的参数组合得到的成本为 4880 美元。此时的进度偏差因子为 1.0, 安全库存为零和预测期限 N 为 8。正如第四章中所指出的, 平均法是预测相对稳定数据的一个有效方法。进度偏差因子为 1.0 正说明预测的准确性。 N 值为 8, 也符合第四章所指出的, 在这类情况应有较大的 N 值。

2. 最小生产费用是 4565 美元, 这时的进度因子为 1.2。这是必然的, 因为生产量愈高就可使比生产费用高 50% 的外购费