何大勇、丁香乾

集装箱在实际的装载中常用约束条件如下：

1)方向限制：在装载中，货物的摆放方向受约束，例如有些货物的包装标有

向上的箭头代表必须按此方向装载。一般货物装载时的方向约束可归纳为三种约束，既任意旋转、水

平旋转、不能旋转。

2)承载能力限制：货物的承载能力由包装盒的结构和货物本身的性质决定。

有些货物不能摆放在其它货物之上，所以装载层数要受限制。

3)稳定性限制：货物在集装箱内不能窜动，以免相互间磕碰引起损坏。需要

用泡沫塑料填充空余空间或用包装带捆束以固定货物。另外应尽可能使集装箱重

心和其几何中心一致，以有利于运输和机械装卸作业。

4)货物编组：属于同一接受人的货物或货物类型相近的编成一组，便于装卸

作业。

5)装配隔离限制：某些货物不宜与其他货物混装，如食品和化工产品等。

6)某类货物整体运输对于机床等设备，有时需分解成各个部件运输，因此应

尽量组织一起装载发运。

7)装配优先级：按照货物的运到地点、期限或者保质期等情况确定装箱货物

的优先次序。

1.2 装箱问题分类

装箱问题涉及多学科、多领域的知识，在生产实践中广泛出现并亟待解决。

本文从不同角度把装箱问题分为以下几类：

1.2.1 按照装箱物体所属装箱空间对装箱问题的分类

1.一维装箱问题

例如：有 n 个零件需要加工，假定每个零件只需在一台机器上加工一次即可。设第i

个零件所需的加工时间为ia ，要求所有零件在规定时问 c 内全部加工完毕，试问如何能以最少数的机器和人力在规定时间内完成所需加工任务。规定所有机器的性能皆相同。

2.二维装箱问题

这类问题在实际中有着广泛应用。如应用于板类(金属板，木板，玻璃、大理石板等)切割行业，服装剪裁行业等中的下料问题；建筑业中的房间布局，工业中的模板布局(Template Layout)、新闻报纸、广告等版面布置，集成电路布图

设计及其它一些工程设计等

3.三维装箱问题

因此三维装箱问题可以看作是一维、二维装箱问题的一个泛化[2,3]。三维装箱问题有着广泛的应用背景，如运输行业的集装箱货物装载、飞机装舱、码头装货、列车装箱，机械行业中箱体和钟表等布局，航空、航天工业中导弹仓的布局，以及建筑、电子、造船业、纺织业等诸多领域。

2. 离线装箱问题

物品装载以前就已得到所有物品信息，之后统一处理所有物品的近似算法

称为离线(offline)装箱算法。这种情况下的装箱问题称为离线装箱问题。在现

代化的物流配送中，很多都要求按订单送货，因此物品的信息提前都是知道的。

该问题广泛地出现在铁路货车车厢装载、汽车车厢装载、轮船配载、集装箱装

载等情况中。分支定界方法[9]、遗传算法[10，11]和模拟退火方法[12]都是用来解决离线的装箱问题的常用算法。

目前常用的布局优化方法有数学规划法、图论法、启发式方法、进化计算等。目前较好的三维装箱算法是文献[15]中的level-strip 算法，渐进性能比可任意逼近 2.89。杨传民，陈少为等[16]通过全面枚举搜索方法研究大小相同的立方体的装箱优化。Mannchen[17]设计树搜索算法，理论上对三维箱体布局有效，但由于三维箱体布局为 NP 完全问题，随着布局箱体增多，解空间爆增，计算效率较低，因此启发式方法和进化计算仍为当前三维装箱领域的研究热点。

不论哪种情形都属于NP—Hard问题，其求解是极为困难的，因此目前还没有

一般性算法，绝大部分算法都是针对具体实例的启发式算法。

**2.2 复杂集装箱装配问题分类**

集装箱装配问题是一个非常具有实用价值的研究课题。如果分别从集装箱和

货物两方面考虑，根据现有文献，大致有四种装配情形，即单个集装箱序贯装配

与多个集装箱的并行装配、相同体积货物与不同体积的货物的装配。对于体积不

同货物的装配情形，Bortfeldt将只有少数几种体积不同货物但每种货物数量较

多情况称为弱差异情形(weakly heterogeneous)，反之多种体积不同的货物但每

种数量较少则称为强差异情形(strong heterogeneous)[20]。

1)单个集装箱装配情况

对于此类情况研究的文献比较多，一般先假定货物的体积与其运费相当，因

此问题转化为求集装箱的最大容积利用率。单集装箱装配又可进一步分为相同体

积货物和不同体积货物的装配情形。

2)相同体积货物的装配

Sculli和Hui、Han和George，针对同等体积大小的货物分别给出了启发式装

配方法。Scheithauer给出了基于动态规划前向策略的近似算法，对于100件左右

货物的装配，运算时间是可以接受的。宫佩珊针对单一产品且产品无摆放限制的

情况提出了一种递归方法。

3)不同体积货物的装配

对于体积大小不等的货物装配，大多数方法假定装配对象为弱差异情形，见Liu、Loh、Morabito、Ngoi、George等人论文。从概念上讲，弱差异情形下装箱的方法也适合于强差异情形，但根椐Bischoff分析，方法的性能取决于货物的种类和数量，同样数量达几百件的货物，如果把针对十几种体积规格的装配方法用来解决只有两三种体积规格的货物情况，效果并不见得理想。Bortfeldt出一种适用于弱差异情形的禁忌算法(Tabusearch algorithm)[21]。另外Gehring提出基因算法可以很好地解决强差异和弱差异货物的装配问题。

4)多集装箱并行装配情况

对于同种规格的多集装箱装配问题，一般要求所用集装箱的数量最少。Chen针对集装箱一般装配问题(用一定数量的集装箱装载给定的货物)给出了0-1整数线性规划模型，考虑了货物和集装箱的不同规格、货物的方向、放置因素并分析了一些特殊情况如单个集装箱装配、载重分布等。Ivancic等人给出了一种基于整数规划的三维装箱启发式算法，对于每个集装箱依次装配直至所有货物装完为止[22]。但是这种方法仅适用于同种规格的集装箱装配，而且由于变量以及约束条件随货物数量增加而迅速增多，从而使问题难于求解。Eley分别应用串行和并行策略设计了装配方法[23]，根据Ivancic等人设计的47个情景进行实验。实验结果显示，用这两种方法可以对其中14种情形得到优化解，但不足以说明孰优孰劣。值得注意的是两种方法对强差异货物情形都能得到很好的解。

2.4 问题的进化算法

近年来，随着包括遗传算法(GA)、进化规划(EP)、粒子群优化(PSO)、蚁群算法(ACA)[38,39]等、人工免疫(AI)[40，41]等技术的进化计算方法在机器学习、过程控制、经济预测、工程优化等领域的成功，如何应用这些方法来求解复杂的带有多个约束条件的多目标优化问题成为该领域研究的热点。这些基于种群的智能优化方法具有较高的并行性，尤其在求解多目标问题时，一次运行可以求得多个 Pareto 最优解，具有单目标优化方法不可比拟的优势。

遗传算法(GA)作为一种有效的全局并行优化搜索工具，具有简单、通用、鲁棒性强的特点，且无需过多的专业知识，近年来在求解最优化问题中得到了越来越广泛的应用。它的基本思想是将某种编码技术作用于称为个体的二进制串(也可以采用其它方式)，然后模拟由这些串组成的群体的进化过程，对这个群体进行选择操作、交叉操作、变异操作，通过寻求群体进化中的最优个体，得到所求问题的最优解，它的主要缺点是擅长全局搜索，而局部搜索能力不足，且容易出现早熟现象。用遗传算法解决复杂集装箱装载问题的研究较多，往往是将多种约束条件融入遗传操作的各个阶段，包括染色体编码、惩罚项和适应度函数等，有些还借助一定的启发式算法为基础。

2.4.1 遗传算法概述（复杂集装箱----胡瑞17页）

何大勇和姜义东[27,28]最早将三空间分割法引入三维装箱领域，将三空间与

三叉树的数据结构相对应，采用深度优先的方法[29]处理三叉树，通过将布局空

间依次分割，每次放入相对于当前布局空间来说是满足特定条件的最优布局块，

来完成不同大小的三维矩形物体的布局方案的确定。（复杂集装箱----胡瑞）

启发式算法

1. 按照先分层然后进行空间分割的思想
2. 采用深度优先的方法

集装箱装载问题以集装箱数量的有限和无限来划分可分成两类：一是集装

箱数量无限，盒子必须全部装完，要使所用的集装箱数量最少；二是集装箱数

量有限，盒子数量超过了集装箱的装载能力，要求被装载盒子的总体积达到最

大，使空间利用率最高。在实际中第二类问题较常见，所以在此分析第二类问

题。

目前常用的布局优化方法多为不带约束的简化布局问题，而现实生活中存

在着大量的约束条件。实际装载中单种货物数量一般较多，采用现有针对单个

物品的基于三空间的启发式算法存在装载效率和空间利用率低的问题。因此本

文采用同类型货物一次性装载的思想，提出了一种新的基于空间划分的启发式

策略，根据待布局空间块中货物装载方式的不同将剩余空间最多划分为六种空

间块。

针对具有货物底置位置、允许侧放方式、最大堆码层数等多约束条件的集

装箱装载问题和目前集装箱容积有效利用率普遍较低的情况，将这些约束考虑

到启发式规则中，根据装载中单种货物数量一般较多的实际情况，提出了一种

新的基于空间划分的启发式算法，并将其与遗传算法结合，进一步提出了混合

遗传算法求解多约束装箱问题。该算法已用于企业的实际装箱中，算例结果表

明，本文提出的方法是可行且有效的。

客观的说，遗传算法在理论和应用存在一些不足和缺陷。在理论上，它缺乏

深刻而又具有普遍意义的理论指导和数学分析模型，因此对遗传算法的评估都是

基于对比实验。利用遗传算法的空间利用率通常较高，但是耗时长；启发式算法

空间利用率虽然有待提高，但是耗时非常短。这是因为启发式方法较多的依赖于

对问题构造和性质的认识和经验而应用遗传算法求解问题时，在编码方案、适应

度函数及遗传算子确定后．算法将利用进化过程中获得的信息白行组织搜索。不

需要其他的先决条件或辅助信息。

从算法的比较可以看，单纯的利用遗传算法或是启发式算法都是不合理的，

因为企业需要的是：在可以接受的时间内，达到较好的稳定的装载效果。在实

际应用时，可根据具体问题的特点，先用基因遗传算法确定较有前途的若干种

装载方法，再借用启发式算法，确定以这几种方法为基础的最有装载方案，取

两种模型之长，避其之短，最终得到优化装载问题的解决方案。

由于采用以上基于六空间划分的启发式算法，仍然难以保证获得全局最优

解或次优解。遗传算法作为一种模拟自然进化过程的随机性全局优化概率搜索

算法，在求解优化问题中显示了优越的性能。因此本文将启发式算法与遗传算

法结合，进一步提出了求解多约束装箱问题的混合遗传算法。