

铁路货运箱式托盘的标准选择

潘驰, 邸斌, 郭志达

(大连交通大学, 大连 116028)

摘要: **目的** 促进铁路集装箱化发展, 寻求铁运车辆与集装箱容器的最优适配度, 研究箱式托盘的最佳尺寸型号。 **方法** 首先计算5种铁路棚车车型对国际通用的3种标准平托盘的装载效率, 然后以1200 mm × 1000 mm为底面, 利用递阶优化算法为铁路棚车选择装载效率最高的箱式托盘尺寸标准。 **结果** 通过对铁路棚车载盘效率的分析发现, 5种车型($P_{50}, P_{60}, P_{61}, P_{64}, P_{70}$)对1200 mm × 1000 mm平托盘的载盘效率均在82%以上, 具有稳定的载盘效率; 对于 $P_{50}, P_{60}, P_{61}, P_{64}$ 型棚车, 1200 mm × 1000 mm × 760 mm型箱式托盘载盘效率最高, 各种类型箱式托盘对 P_{70} 棚车的载盘效率接近。 **结论** 最适合铁路棚车使用的箱式托盘尺寸为1200 mm × 1000 mm × 760 mm。

关键词: 托盘标准; 递阶优化算法; 铁路棚车; 载盘效率

中图分类号: TB485.3; TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)09-0049-05

Standard Choice for Railway Freight Box Pallet

PAN Chi, DI Bin, GUO Zhi-da

(School of Management, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

ABSTRACT: This work aimed to study the box pallet size suitable for railway boxcars, in order to promote the containerization of railway and seek for the optimal goodness of fit between the railway boxcars and the containers. First, the loading efficiency of the three kinds of common pallets in the society by five kinds of railway boxcars was calculated, and then the box pallet size with the highest loading efficiency was chosen for the railway boxcars based on the pallet of 1200 mm × 1000 mm using the hierarchical optimization algorithm. Analysis of the loading efficiency of railway boxcars showed that the loading efficiency of 1200 mm × 1000 mm pallet by all five boxcars ($P_{50}, P_{60}, P_{61}, P_{64}, P_{70}$) was above 82%, and the loading efficiency was stable. For the $P_{50}, P_{60}, P_{61}, P_{64}$ types of boxcars, the 1200 mm × 1000 mm × 760 mm box pallet had the highest loading efficiency, while for P_{70} , the loading efficiency of all types of box pallets was similar. The box pallet size of 1200 mm × 1000 mm × 760 mm was the most efficient tray for railway boxcars.

KEY WORDS: pallet standards; hierarchical optimization; railway boxcar; load efficiency

《铁路“十二五”发展规划》中明确提出, 大力发展集装箱和集装箱化运输技术, 推广托盘、集装袋等单元化装载运输方式, 提高铁路集装箱化运输比重, 不断完善铁路物流标准化体系^[1]。铁路机械化水平的提升, 必然要求集装单元标准化, 因此, 托盘作为最小的集装单元具有不可忽视的重要作用。在装卸搬运过程中, 叉车与标准化托盘的配合使用可以超过至少10名

装卸工人的搬运效率, 叉车与标准化托盘的配合使用不仅可以提高作业效率, 缩短作业时间, 还能在很大程度上保证货品质量, 提高铁路物流服务品质^[2], 因此, 对铁路货运托盘标准化的研究迫在眉睫。

国内外托盘的应用现状及标准化情况, 对铁路实施托盘标准化及集装箱化运输起到重要作用^[3]。铁路的国际运输及多式联运业务也对铁路托盘标准化提出

收稿日期: 2015-09-10

基金项目: 中国铁路总公司2013科技研究开发计划-重点课题(2013X009-B); 辽宁省教育厅项目(L2013194)

作者简介: 潘驰(1978—), 男, 辽宁营口人, 硕士, 大连交通大学副教授, 主要研究方向为物流工程。

了明确要求^[4]。喻乐对铁路托盘标准化问题进行了分析,推荐1200 mm×1000 mm型平托盘为标准化托盘^[5];Kocjan W和Holmstrom K通过对国际托盘标准的研究,提出了符合各国发展的国际托盘标准^[6];Hande Yaman和Alper Sen通过对现有市场流通的托盘的使用标准进行分析,得出了适合铁路和企业发展集装化的托盘标准^[7];宋瑞等人对国内外托盘标准现状进行了分析,指出了铁路托盘标准选定的原则,按照铁路托盘标准选定的原则择优选取了1200 mm×1000 mm型托盘规格为标准化托盘,汪志立等推荐1200 mm×1000 mm型托盘规格为标准化托盘^[8-9];王德占、何世伟在关于铁路托盘运营管理的探讨中,介绍了托盘的基础理论和铁路利用托盘运输的优势^[10];陈葆亮择优推荐了2种托盘尺寸,并分别图示了2种托盘所适应包装货物的码盘图谱^[11];王宴平等在提高铁路装卸机械化水平的研究与对策中,对铁路装卸现状进行了分析,指出托盘标准化和包装标准化是解决效率低下的有效方法^[12]。基于上述的研究,文中对铁路棚车的托盘标准进行分析。

1 铁路棚车用平托盘标准的选择

棚车是铁路货运中的通用车辆,具有封闭的车体结构,主要用以装运贵重和怕日晒雨淋的货物、零担货物以及各种袋装、箱装等货物。铁路棚车用托盘标准应优先考虑国际通用平托盘标准,即1200 mm×1000 mm,1200 mm×800 mm和1100 mm×1100 mm^[13]。这3种托盘已成为我国企业使用的主力盘型,企业与铁路运输使用相同或相似的托盘标准,能够减少转换环节,节省物流时间,同时也便于实现机械化作业。

铁路棚车托盘标准选择的依据是棚车车箱内的载盘效率。车厢内装载效率越高,平均分摊到每件货物上的运输费用也就越低。文中针对对目前铁路通用的5种棚车车型(P₅₀,P₆₀,P₆₁,P₆₄,P₇₀)进行箱式托盘的载盘效率分析,首先确定箱式托盘的底面尺寸,即3

种标准平托盘在5种棚车车厢底面的载盘个数,选择每种车型中的最优载盘效率对应的标准平托盘规格尺寸,再利用标准平托盘尺寸进一步选择箱式托盘的高度,这种选择方式有利于最大化地利用车厢空间容积率,达到摆放箱式托盘数目最多的目的。

对铁路棚车载盘效率的分析见表1,可以看出,5种棚车车型对1200 mm×1000 mm托盘的载盘效率均在82%以上,具有稳定的载盘效率;1200 mm×800 mm托盘的载盘效率都在80%到86%之间,稳定性略逊于前者;1100 mm×1100 mm托盘的载盘效率均在79%以下,载盘效率较低。相比之下,从载盘效率来考虑,1100 mm×1100 mm托盘不适合铁路棚车集装单元化的发展。

从总体上分析,当载盘效率最高时的托盘为1200 mm×1000 mm托盘标准时的棚车车型为P₅₀和P₆₁;当载盘效率最高时的托盘为1200 mm×800 mm托盘标准时的棚车车型为P₆₀和P₆₄,其中P₇₀对1200 mm×1000 mm和1200 mm×800 mm托盘标准的载盘效率一致。虽然,1200 mm×800 mm托盘标准在P₆₀和P₆₄车型中的载盘效率高于1200 mm×1000 mm托盘标准的载盘效率,但其相差幅度大约为1个百分点,优势不是很明显。相比载盘效率之后的另一个考虑指标是载盘个数,载盘个数越少,需要完成的操作作业就越少,可以节省铁路物流装卸搬运时间。比较5种常见车型对1200 mm×1000 mm和1200 mm×800mm托盘标准的载盘个数,可以发现5种常见车型对1200 mm×1000 mm托盘标准的载盘个数较少,均在26~32之间,即1200 mm×800 mm托盘标准在P₆₀和P₆₄车型中的载盘效率较高,但是其载盘个数比1200 mm×1000 mm托盘标准高,最少的载盘个数需要32个,和1200 mm×1000 mm托盘标准的最大载盘个数一样。可以说1200 mm×1000 mm托盘标准不仅载盘效率高,而且需要完成的操作次数也较少,因此,从提高铁路棚车载盘效率,提高物流装卸搬运效率和降低物流成本的角度来看,推荐我国应该选用1200 mm×1000

表1 棚车对3种国际标准托盘的载盘效率
Tab.1 Boxcar loading efficiency of the three kinds of international standard pallets

车型	装载尺寸/mm		A(1200 mm×1000 mm)		B(1200 mm×800 mm)		C(1100 mm×1100 mm)		最高载盘 效率托盘
	长	宽	载盘个数	载盘效率/%	载盘个数	载盘效率/%	载盘个数	载盘效率/%	
P ₅₀	13 020	2850	26	84.08	32	82.79	22	71.74	A
P ₆₀	15 470	2830	30	82.23	38	83.33	28	77.39	B
P ₆₁	15 140	2830	30	84.02	36	80.66	26	73.43	A
P ₆₄	15 466	2796	30	83.25	38	84.36	28	78.35	B
P ₇₀	16 087	2793	32	85.46	40	85.46	28	75.40	A,B

mm托盘标准作为铁路棚车托盘标准。

2 基于递阶优化算法的托盘(箱式托盘)标准论证

铁路棚车优化装车的目标是合理有效地利用铁路棚车的装载容积,在铁路棚车容积和箱式托盘长宽高尺寸一定的情况下,实现棚车内装载的箱式托盘有效利用率最高。上一节通过比值法计算选取效率最高的托盘,选取了1200 mm × 1000 mm型托盘标准作为箱式托盘的底面标准尺寸,箱式托盘能够最大效率地利用棚车箱内空间,同时,通过在车厢内的紧密摆放,能够保持车厢内的货物稳定,防止货物倒塌。国内通行的以1200 mm × 1000 mm为底面尺寸的箱式托盘主要有1200 mm × 1000 mm × 760 mm和1200 mm × 1000 mm × 1050 mm 2种规格尺寸,因此,文中将通过递阶优化算法^[14]来算取上述2种箱式托盘在5种铁路棚车车厢中的容积利用率,择优选取适用于铁路棚车的标准化箱式托盘。

2.1 递阶优化算法阐述

递阶优化算法是一种解决装箱问题的简便算法,装箱问题(BP)是一个经典的组合优化问题。组合优化又称离散优化,它通过数学方法去寻找离散事件的最优编排、分组、次序等^[15]。托盘在车厢内摆放方式复杂,需要对其进行优化计算,铁路货物装载优化的实质就是寻找一个合理的装车方案,使车厢内装载货物最多,车厢空间利用率达到最优。

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中: $\mathbf{L}$ 为摆放个数矩阵; l_{ij} 为沿车厢内各方向摆放箱式托盘的最大数量,摆放方向是沿着车厢*i*方向摆放箱式托盘*j*边,其中*i* ∈ [1, 2, 3], *j* ∈ [1, 2, 3]。令*X*, *Y*, *Z*分别表示棚车车厢的长、宽、高;*a*, *b*, *c*为箱式托盘的长、宽、高,则 $\left\{\frac{x}{a}\right\} = l_{11}$, $\left\{\frac{y}{b}\right\} = l_{12}$, $\left\{\frac{x}{c}\right\} = l_{13}$, $\left\{\frac{y}{a}\right\} = l_{21}$, $\left\{\frac{y}{b}\right\} = l_{22}$, $\left\{\frac{y}{c}\right\} = l_{23}$, $\left\{\frac{z}{a}\right\} = l_{31}$, $\left\{\frac{z}{b}\right\} = l_{32}$, $\left\{\frac{z}{c}\right\} = l_{33}$,“{ }”表示向下取整,为箱式托盘的数量。

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式(2)中: $\mathbf{R}$ 为剩余长度矩阵; r_{ij} 是沿车厢内各方向摆放箱式托盘的最大数量后剩余的的长度,摆放方向是沿着车厢*i*方向摆放箱式托盘*j*边的最大箱数 l_{ij} 后,在车厢*i*方向的剩余长度,即 $X \bmod a = r_{11}$, $X \bmod b = r_{12}$, $X \bmod c = r_{13}$, $Y \bmod a = r_{21}$, $Y \bmod b = r_{22}$, $Y \bmod c = r_{23}$, $Z \bmod a = r_{31}$, $Z \bmod b = r_{32}$, $Z \bmod c = r_{33}$ 。为达到车厢内有效容积利用率最高,需要找出最小的 r_{ij} ,当车厢的剩余空间最少时即为最优解。“mod”为取余符号,表示摆放最大数量的托盘后,车厢的剩余长度。算法的具体步骤如下:

1) 如果箱式托盘的3条边*a*, *b*, *c*在车厢的3条边*X*, *Y*, *Z*中的至少一条无法摆放时,此时,就停止计算,否则,按照以下步骤继续计算。

2) 取 $\min\{r_{ij}, i \in [1, 2, 3], j \in [1, 2, 3]\}$,假设 r_{11} 为剩余长度中最小的值, r_{11} 代表的是车厢的剩余长度,摆放方向是在车厢的*X*方向上摆放 l_{11} 个箱式托盘边*a*后的车厢剩余长度。根据 l_{ij} 的定义可知,定有 $r_{11} < a$,且有 $r_{11} = X - al_{11}$ 。若在矩阵 $\mathbf{R}$ 中存在2个或2个以上的 r_{ij} 为最小者时,则优先选取 r_{ij} 对应车厢的边最短的摆放。

3) 取 $\min\{r_{ij}, i \in [2, 3], j \in [2, 3]\}$,假设 r_{22} 为剩余长度中最小的值, r_{22} 代表的是车厢的剩余长度,摆放方向是在车厢的*Y*方向上摆放 l_{22} 个箱式托盘边*b*后的剩余长度。根据定义可知定有 $r_{22} < b$ 和 $r_{22} = Y - bl_{22}$ 。若在矩阵 $\mathbf{R}$ 中存在2个或2个以上的 r_{ij} 为最小者时,则优先选取 r_{ij} 对应车厢的边最短的摆放。

4) 取 $\min\{r_{ij}, i \in [3], j \in [3]\}$,按上述步骤当 r_{22} 为剩余长度中最小时,即再在 $\mathbf{R}$ 矩阵中再划掉第2行和第2列,此时剩下的只有 r_{33} 唯一元素。 r_{33} 代表的是在车厢的剩余长度,摆放方向是在车厢的*Z*边上摆放 l_{33} 个箱式托盘边*c*后的剩余长度,根据定义可知定有 $r_{33} < c$ 和 $r_{33} = Z - cl_{33}$ 。综上所述,在车厢中已摆放完成的箱式托盘数量为 $l_{11} \times l_{22} \times l_{33}$ 。

5) 分割车厢中剩余的未摆放空间,重新返回第1步开始继续进行优化,最后优化到无法再装入任何箱式托盘为止,此时,把几次的装箱数进行累加,最后累加的结果即为最优装箱数,进而通过累加的箱式托盘数量来计算车厢空间利用率^[16]。

2.2 算例

已知棚车P₆₀车型的车厢内的长宽高(*X*, *Y*, *Z*)分别为15 470, 2 830, 2 750 mm,箱式托盘的长宽高(*a*, *b*, *c*)分别为1200 mm, 1000 mm, 760 mm,车内空间利用率100%时不超重,通过上述递阶优化算法计算。

第1次优化,计算 l_{ij} 和 r_{ij} 结果如下:

$$L = \begin{bmatrix} 12 & 15 & 20 \\ 2 & 2 & 3 \\ 2 & 2 & 3 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} 1070 & 470 & 270 \\ 430 & 830 & 550 \\ 350 & 750 & 470 \end{bmatrix}$$

取R中的最小元素,相应的边X摆放c边, $l_{13}=20$,然后划去第1行、第3列,在剩余的元素中最小者为 $r_{31}=350$,相应的Z边摆放a边, $l_{31}=2$,剩余的元素中只有 $r_{22}=830$,故在边Y摆放b边, $l_{22}=2$ 。第1次优化箱式托盘装车数为 $n_1=20 \times 2 \times 2=80$ 。

剩下的棚车车箱容积可分割成3部分:其中2部分X和Z的余量 $r_{13}=270, r_{31}=350$,因a,b,c三边均无法摆放,所以优化停止。另一部分的三边依次为X=15 470,Y=830,Z=2750,满足优化条件,故进行二次优化。

第2次优化,计算 l_{ij} 和 r_{ij} 结果为:

$$L = \begin{bmatrix} 12 & 15 & 20 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2 & 2 & 3 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} 1070 & 470 & 270 \\ 830 & 830 & 70 \\ 350 & 750 & 470 \end{bmatrix}$$

取R中的最小元素,相应的边Y摆放c边, $l_{23}=2$,然后划去第2行、第3列,在剩余的元素中最小者为 $r_{31}=350$,相应的Z边摆放a边, $l_{23}=2$,剩余的元素中只有 $r_{12}=470$,故在边X摆放b边, $l_{12}=15$ 。第2次优化箱式托盘装车数为 $n_2=15 \times 1 \times 2=30$ 。

剩下的棚车车箱容积可分割成3部分:因X,Y,Z

的三边余量分别为 $r_{12}=470, r_{23}=70, r_{31}=350$,所以a,b,c3边均不能摆放,故停止计算。载盘个数 $n=n_1+n_2=80+30=110$,棚车P₆₀车厢容积有效利用率达83.33%。

如果箱式托盘的长宽高分别为1200,1000,1050 mm,车内空间利用率为100%时不超重,现利用上述递阶优化算法计算。

第1次优化,分别计算 l_{ij} 和 r_{ij} 的结果为:

$$L = \begin{bmatrix} 12 & 15 & 14 \\ 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} 1070 & 470 & 770 \\ 430 & 830 & 730 \\ 350 & 750 & 650 \end{bmatrix}$$

取R中的最小元素 $r_{31}=350$,相应的边Z摆放a边, $l_{31}=2$,然后划去第3行、第1列,在剩余的元素中最小者为 $r_{12}=470$,相应的X边摆放b边, $l_{12}=15$,剩余的元素中只有 $r_{23}=730$,故在边Y摆放c边, $l_{23}=2$ 。第1次优化箱式托盘装车数为 $n_1=15 \times 2 \times 2=60$ 。

剩下的棚车车箱容积可分割成3部分:因X,Y,Z的三边余量分别为 $r_{12}=470, r_{23}=730, r_{31}=350$,所以a,b,c三边均不能继续摆放,故停止计算。

载盘个数 $n=60$,棚车P₆₀车厢容积有效利用率达62.79%。同理,利用递阶优化算法计算铁路棚车其他车型对于2种托盘的载盘效率,并选取最优箱式托盘的结果见表2。

表2 棚车对2种箱式托盘的载盘效率
Tab.2 Boxcar loading efficiency of the two kinds of box pallets

车型	装载尺寸/mm			A(1200 mm × 1000 mm)		B(1200 mm × 800 mm)		最高载盘效率托盘
	长	宽	高	载盘个数	载盘效率/%	载盘个数	载盘效率/%	
P ₅₀	13 020	2850	2700	78	71	52	65.4	A
P ₆₀	15 470	2830	2750	110	83.33	60	62.79	A
P ₆₁	15 140	2830	2819	90	67.96	60	62.59	A
P ₆₄	15 466	2796	2705	110	85.76	60	64.63	A
P ₇₀	16 087	2793	3452	128	75.26	96	77.99	B

由表2可以看出:P₅₀,P₆₀,P₆₁,P₆₄车型在箱式托盘标准为1200 mm × 1000 mm × 760 mm时,其各载盘效率达到最高,载盘效率都在68%以上,能够提升车厢内部空间利用率,最大化地利用了棚车的车厢空间,因此,可以把1200 mm × 1000 mm × 760 mm箱式托盘标准作为铁路棚车集装单元标准化推荐尺寸。

3 结语

铁路货运托盘标准选择是铁路提高装卸搬运能力的前提和基础,标准化的托盘与叉车的配合使用能够快速完成装卸搬运作业,提高作业能力,节约装卸

车时间,节省物流成本。文中分别对铁路棚车使用的平托盘与箱式托盘的标准进行探讨,利用效率优先和递阶优化算法,并结合基础物流模数与铁路通用棚车的实际尺寸,推荐了最优化的平托盘标准尺寸1200 mm × 1000 mm及箱式托盘标准尺寸1200 mm × 1000 mm × 760 mm,使得棚车各种车型达到了车辆装载率最高,节省作业时间,提高了兼容性的目标。

参考文献:

[1] 齐振. 高速铁路开展快捷货物运输可行性分析[J]. 交通世界:运输车辆,2013(3):97—98.
QI Zhen. Feasibility Analysis of Carrying out Fast Freight

- Transportation in High Speed Railway[J]. Transport World: transport vehicle, 2013(3):97—98.
- [2] 吴清一. 标准化是单元化物流的基础—论单元化物流之二[J]. 物流技术与应用, 2013, 18(7):104—106.
WU Qing-yi. Standardization is the Basis of the Unit Logistics[J]. Logistics & Material Handling, 2013, 18(7):104—106
- [3] 张锦. 铁路推行托盘集装化运输的探讨[J]. 铁道技术监督, 2012, 40(5):35—37.
ZHANG Jin. Study of Railway Pallet Transportation[J]. Railway Technical Supervision, 2012, 40(5):35—37.
- [4] 任建伟, 章雪岩, 张锦, 等. 托盘共用系统调度多情景规划模型[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(7):1788—1798.
REN Jian-wei, ZHANG Xue-yan, ZHANG Jin, et al. The Model of the Scheduling of the System Scheduling in the Pallet Pool System[J]. System Engineering Theory and Practice, 2014, 34(7):1788—1798.
- [5] 喻乐. 铁路托盘运输发展政策措施的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
YU Le. Research on Development Policy Measures of Railway Pallet Transportation[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008.
- [6] KOCJAN W, HOLMSTROM K. Computing Stable Loads for Pallets[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 270(2):980—985.
- [7] YAMAN H, SEN A. Manufacturer's Mixed Pallet Design Problem[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 186(2):826—840.
- [8] 宋瑞, 何世伟, 张瑞鹏. 中国铁路托盘的标准化问题研究[J]. 物流技术, 2008, 27(11):1—4.
SONG Rui, HE Shi-wei, ZHANG Rui-peng. Study on Standardization of Chinese Railway Pallet[J]. Logistics Technology, 2008, 27(11):1—4.
- [9] 汪志立, 王久龙, 陈志强. 联运通用平托盘试验方法标准研究[J]. 包装工程, 2014, 35(11):139—144.
WANG Zhi-li, WANG Jiu-long, CHEN Zhi-qiang. Standard Test Method for Transport of Disk Utility[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11):139—144.
- [10] 王德占, 何世伟. 铁路托盘运输经营模式的研究[J]. 物流技术, 2008, 27(9):10—14
WANG De-zhan, HE Shi-wei. Research on Railway Pallet Transportation Operation Mode[J]. Logistics technology, 2008, 27(9):10—14
- [11] 李杨, 李光. 基于SolidWorks的托盘结构有限元分析及优化设计[J]. 包装工程, 2011, 32(19):1—4.
LI Yang, LI Guang. Finite Element Analysis and Optimal Design of Pallet Structure Based on Solid Works[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19):1—4.
- [12] 王宴平. 提高铁路装卸机械化水平的研究及对策[J]. 铁道运输与经济, 2010, 32(6):86—89.
WANG Yan-ping. Research and Countermeasures of Improving the Mechanization Level of Railway Loading and Unloading[J]. Railway Transportation and Economy, 2010, 32(6):86—89.
- [13] 李太平. 论我国物流托盘标准的选择——基于货运列车载盘效率角度[J]. 物流技术, 2007, 26(3):93—95.
LI Tai-ping. Which Pallet Standard Should Be Selected in China—Based on the Tray Efficiency[J]. Logistics Technology, 2007, 26(3):93—95.
- [14] 向丽. 递阶优化问题理论及其算法研究与进展[J]. 控制与决策, 2001, 16(6):854—858.
XIANG Li. Advances in Theory and Algorithms of Hierarchical Optimal Problem[J]. Control and Decision, 2001, 16(6):854—858.
- [15] 何建佳, 徐福缘. 基于元胞自动机的自旋玻璃离散优化[J]. 系统工程, 2011(7):91—98.
HE Jian-jia, XU Fu-yuan. Discrete Optimization of the Spin Glass Based on the Element of Automaton[J]. Systems Engineering, 2011(7):91—98.
- [16] 王哲, 刘俊. 铁路同类货物装箱优化模型与算法[J]. 铁道科学与工程学报, 2011, 8(5):107—112.
WANG Zhe, LIU Jun. Optimization Model and Algorithm of the One-kind-goods Loading Problem on the Railway[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2011, 8(5):107—112.