

基于方位编码与基准约束的茶叶生产线快速构建*

何雪军¹ 王进¹ 王炳文¹ 陆国栋¹ 唐小林²

(1. 浙江大学流体传动及控制国家重点实验室, 杭州 310027; 2. 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究所, 杭州 310016)

摘要: 从三维层面考虑, 将茶叶生产线的设计作为装配建模问题进行处理。首先引入位置无关的平面图布置方法, 避免了设备位置的频繁调整, 降低设计人员的工作量。其次, 利用设备方位及连接关系编码, 获得设备的绝对与相对方位信息。最后, 通过基准约束自动实现设备的装配定位, 避免了手工设定, 从而提高工作效率。根据这一方法, 采用 VB 6.0 对 SolidWorks 进行二次开发, 编写了茶叶生产线布置程序 TPLLayout。实例运行结果表明, 系统界面友好、操作便捷, 极大地提高了茶叶生产线的设计效率, 降低了设计成本。

关键词: 茶叶生产线 快速构建 方位编码 基准约束

中图分类号: TH12; TS272.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0256-06

Quick Construction of Tea Production Line Based on Orientation Coding and Datum Constraints

He Xuejun¹ Wang Jin¹ Wang Bingwen¹ Lu Guodong¹ Tang Xiaolin²

(1. The State Key Lab of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

2. Hangzhou Tea Research Institute, China CO-OP, Hangzhou 310016, China)

Abstract: The design of tea production line was considered in a 3-D level, and it was transformed into an assembly modeling problem. At first, a position irrelevant plane layout method was introduced which made the frequent adjustment of devices' positions unnecessary, thus the workload of designers were relieved dramatically. Then, with the orientation coding of devices and their connection relations, absolute and relative orientation of devices were determined. Finally, datum constraints were exerted to devices which realize the assembling or positioning of devices automatically, rather than manual. According to this idea, by secondary development of SolidWorks, a program called TPLLayout was written by VB 6.0. The example showed that the system was user-friendly, and easy to operate, which improved the design efficiency dramatically, and the cost was reduced as well.

Key words: Tea production line Quick construction Orientation coding Datum constraint

引言

迄今为止, 茶叶生产线的设计与论证主要依靠平面样图。该方法通过一个平面俯视图和若干侧视图表达设备之间的连接情况。设计时, 需充分考虑客户需求、厂房结构及制茶工艺, 合理选用设备, 使接口匹配、避免干涉。该方法的不足在于设备方位

的调整较为繁琐, 容易使操作人员产生视力疲劳; 与此同时, 平面图不够直观, 不利于跨行业交流。

相比之下, 三维模型能够逼真地反映实际的物理设备, 不仅展示功能较强, 而且直观易懂、方便交流; 通过干涉检查, 还能减少设计失误。但在三维模型中, 设备之间的定位仍然需要手工添加, 其繁琐程度不亚于平面图。

本文将茶叶生产线的构建作为装配问题进行考虑。为了提高装配效率,Chang 研究了基于配合特征的装配件定位方法^[1];Ye、Ma 等研究了基于特征间联系的装配方法^[2-3],并在注塑模的半自动化设计中得到应用;Li 提出了一种支持快速装配建模的部件级参数化方法^[4];张刚等研究了面向装配的特征层次建模方法^[5];邵晓东等研究了装配约束向几何约束的转换方法^[6];还有的学者通过坐标变换^[7]、辅助特征^[8]、坐标系^[9]等实现自动化装配。但这些方法多针对零部件构成相对固定的装配,对于茶叶生产线这类设备构成复杂,组合情况多变的装配问题难以适用。为此,本文提出一种基于方位编码与基准约束的茶叶生产线快速构建方法。

1 总体方案设计

系统工作流程如图 1 所示。首先登记客户信息及相关需求,并与之后创建的设计资料建立关系,以方便数据的统一管理。其次,根据客户需求,确定生产线规模及各工序茶叶流量,据此选择关键加工设备的型号及数量。最后以关键设备为骨架,在考虑厂房结构的情况下,合理布置连接设备。本文只关注设备方位与连接次序,无需精确调整设备位置,从而减轻了设计者的工作量。借助平面图中的信息,通过算法进行三维映射,实现生产线模型的快速构建。若模型不符合要求,只需在平面图上修改即可。

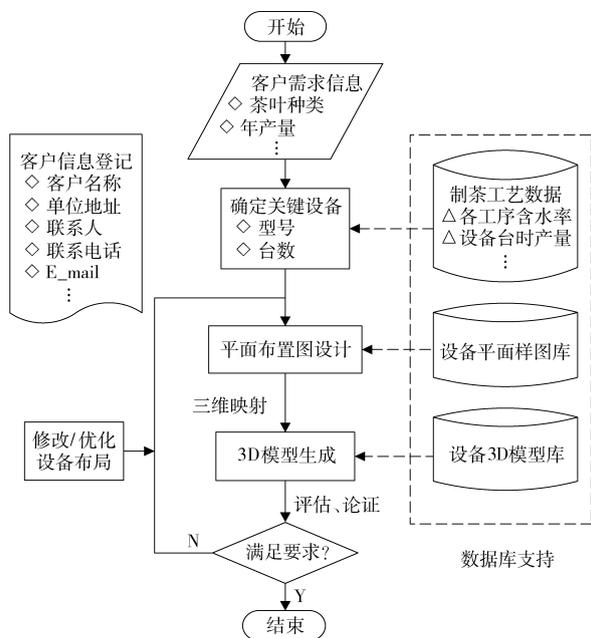


图 1 系统工作流程图

Fig. 1 Work flowchart of system

为实现以上功能,需要相关数据库的支持,为此,本文创建了设备的平面样图库、三维模型库等。这些数据库可根据需要扩展。

2 流量估算与关键设备选型

茶叶的生产具有强烈的季节性,在确定初制茶厂规模时,以春茶最高日产量占全年日产量的百分数作为计算依据,该数值一般在 3% ~ 5% 之间^[10],本文取 5%。

另一方面,在茶叶生产过程中,各工序下的茶叶含水率需控制在一定范围内。设鲜叶质量 m_f ,含水率 w_f ,经过某道工序后,质量和含水率分别变为 m_p 和 w_p ,若茶叶干物质没有损失,则存在关系

$$m_f(1 - w_f) = m_p(1 - w_p) \quad (1)$$

据此求得经过该工序后的茶叶质量为

$$m_p = m_f \frac{1 - w_f}{1 - w_p} \quad (2)$$

假定干茶年产量为 Q ,按 4 kg 鲜叶生产 1 kg 干毛茶计算,鲜叶的最高日吞吐量为 $4Q \times 5\% = 0.2Q$,再根据各工序的含水率,由式(2)容易算出各工序茶叶质量。查询工艺数据库中设备的台时产量,即可确定机器型号及数量,为生产线的设计提供参考。

3 茶叶生产线的快速构建方法

3.1 面向茶叶生产线快速构建的设备分类

茶叶初制机械可分为定型设备和可变设备。定型设备主要是杀青机、干燥机等关键处理设备,其尺寸基本定型,但允许有不同的系列;可变设备主要是各类输送机,典型的如平输机,其长度可变,主要用于设备之间的连接。定型设备按尺寸建模即可,而可变设备需要通过参数驱动。

另外,根据物料的进出方式,又可将设备按表 1 进行分类。设备类别不同,基准的定义亦有所区别。

表 1 设备分类

Tab. 1 Device classification

进出力方式	设备名称
前进后出 I	摊青机、斜输、立输、振动槽、杀青机、回潮机、连续理条机、干燥机等
多个出口 II	平输机、揉捻机组
进出口同侧 III	炒干机、辉干机
上进下出 V	解块机

3.2 设备方位及连接关系编码

在生产实践中,从美观角度考虑,设备之间一般按直角布置,即在俯视图上,设备的纵向只能平行或垂直于厂房的长度方向,而不能斜向布置。据此,定义设备的绝对方位编码如下:向右输送为 0,向上输送为 1,向下输送为 2,向左输送为 3。

其含义如图 2a,其中的箭头表示物料流向。按照这种定义,朝向相反的两台设备,其序号之和为

3,用于判断相邻设备的连接是否有误。

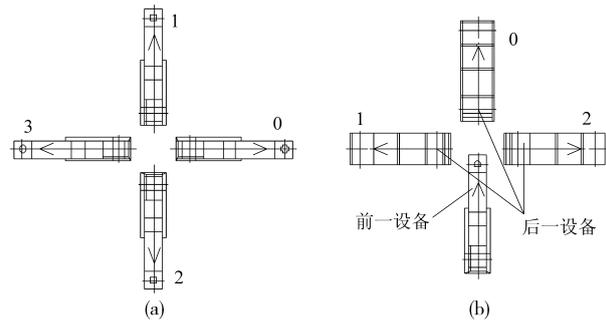


图2 设备方位及连接关系的定义

Fig.2 Definition of device orientation and their connection

(a) 设备方位编码 (b) 设备连接关系编码

对于设备与设备之间的连接,采用相对坐标描述更为方便。如图2b所示,相对于前一设备的物料流向,后一台设备的物料流向有3种情况,编码如下:继续向前为0,向左输送为1,向右输送为2。

在相邻两设备的绝对方位已知的情况下,其连接关系编码是唯一的,用矩阵 R 表示为

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & \times \\ 2 & 0 & \times & 1 \\ 1 & \times & 0 & 2 \\ \times & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

式中 $R_{i,j}$ ——方位分别为 i 和 $j(i, j \in \{0, 1, 2, 3\})$ 的两设备之间的连接关系编码

\times ——相应的连接关系不存在

反之,若已知相邻两设备的连接关系,以及前一设备的方位,亦可确定后一设备的方位,用矩阵 D 表示为

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 0 \\ 2 & 0 & 3 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

式中 $D_{i,j}$ ——前一设备的方位为 i ,连接关系为 $j(i \in \{0, 1, 2, 3\}, j \in \{0, 1, 2\})$ 时,后一设备的绝对方位

与矩阵 D 对应的组合情况如表2所示,前一设备用实线表示,后一设备用虚线表示,箭头为物料流向。

3.3 基准的定义及约束

在三维造型系统中,一般规定面的法向垂直并远离物体表面。作为绘图参考,基准面同样规定了面的法向,但在创建模型时,方位的选取因人而异,仅用系统参考基准难以统一表示模型方位。为此,

表2 设备方位的确定

Tab.2 Determination of device orientation

编码	0	1	2
0			
1			
2			
3			

本文引入一套自定义基准,如图3所示,主要包括:
 ①入口横向基准、出口横向基准:这两个基准分别位于设备的进、出口,其法向和物料的水平流向相同。
 ②水平基准:该基准与设备的底面重合,法向竖直向上。
 ③纵向基准:该基准与设备的纵向对称面重合,其法向由横向基准的法向量与水平基准的法向量之叉积确定。图3中的箭头代表基准面法向(下同)。

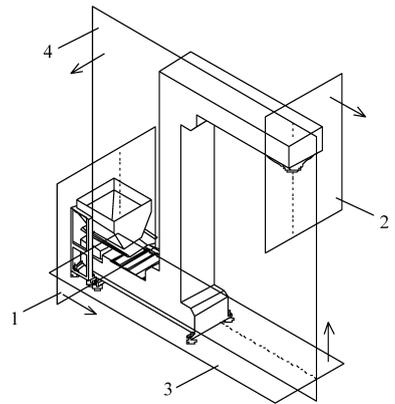


图3 设备基准面定义

Fig.3 Definition of device datum plane

1. 入口横向基准 2. 出口横向基准 3. 水平基准 4. 纵向基准

对于I类设备,编码为“1”(见表2中序号为1的列)的连接关系包括如下基准约束: Coincide (H_2, Top), Coincide_Against (L_1, IN_2), Coincide (O_1, L_2)。Top为装配体上视基准面,IN为入口横向基准,O为出口横向基准,H为水平基准,L为纵向基准,Coincide为基准面重合约束,重合的两个基准面法向相同。Coincide_Against为反向重合约束,重合的两个基准面法向相反。

下标1、2分别表示前一设备和后一设备。图4为Coincide_Against(L_1, IN_2)的实例。

其余编码的基准约束同理,只是配对的基准不同,法向亦有所区别。

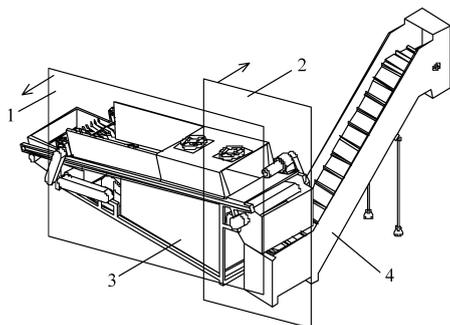


图 4 配合实例

Fig. 4 Mate example

- 1. 纵向基准 2. 入口横向基准 3. 前一设备 4. 后一设备

对于 II 类设备,以往复平输机为例,当前后设备呈直角布置时,平输机可分时段向两边出料,如图 5 所示。此时需定义“出口横向基准 2”,并在前一设备的纵向基准与平输机的“入口横向基准”之间施加距离约束。

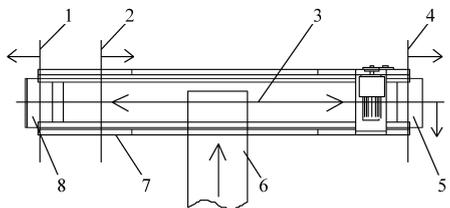


图 5 平输机的第 2 出口基准

Fig. 5 Second exit datum of horizontal conveyor

- 1. 出口横向基准 2. 入口横向基准 3. 纵向基准 4. 出口横向基准
- 5. 第 1 出口 6. 前一设备 7. 往复平输机(后一设备)
- 8. 第 2 出口

对于揉捻机组,由于输入和输出不在同一直线上,需要添加额外的纵向基准,如图 6 中的“纵向基准”用于出口定位,而“纵向基准 2”则用于入口定位。

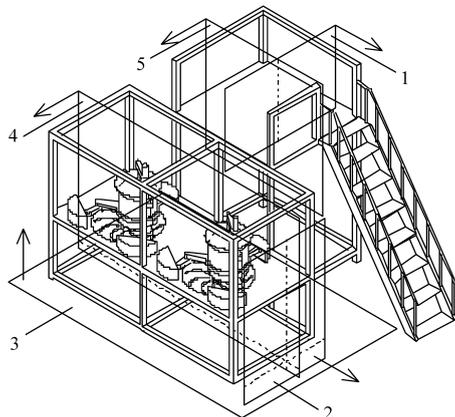


图 6 揉捻机组的纵向基准

Fig. 6 Longitudinal datum of rolling unit

- 1. 入口横向基准 2. 出口横向基准 3. 水平基准 4. 纵向基准
- 5. 纵向基准 2

III 类和 IV 类设备为 I 类设备的特殊情况,只是基准的位置不同,此处不再赘述。

3.4 位置无关的平面图布置方法

利用 VB 6.0 对 SolidWorks 进行二次开发^[11],建立了茶叶生产线布置系统 TPLLayout,其界面如图 7 所示。图中的平面样图为 PictureBox 控件^[12],所示大小与真实设备呈比例,使用时,只需给定设备的型号、方向,以及连接顺序,与其所处位置无关。图 8 为设备信息的修改界面,设备信息的记录采用 deviceData 结构:

Type deviceData

```

Index As Integer '设备序号
name As String '设备名称
directory As Integer '设备放置方向
left As Long '设备放置位置
top As Long '设备放置位置
prevIndex As Integer
'前一设备的序号
prevUseSecondOutput As Integer
'是否使用前一设备的第 2 出口?
    
```

End Type

3.5 从平面图到三维图的映射方法

在 SolidWorks 中,采用 AddMate3 函数添加配合^[13],配合基准的格式如下:

基准名称@ 零部件名称-零部件标识码@ 装配体名称

作为实例,图 4 中前一设备的纵向基准可表示为
“纵向基准@ 6CML75 型冷却机 - 1@ 装配体 1”

根据以上信息,三维映射的步骤如下:①根据生产线规模,计算各工序茶叶流量,确定加工设备的型号及数量。②设计平面布置图,用 deviceData 类型的数组 dvcData[] 记录各台设备的序号、方位、坐标等。③调用 SolidWorks,新建一个装配体,首先插入一个空白文件,默认为机架,然后从三维模型库中调出平面图上的设备,逐一插入装配环境。④自动装配:第一台设备相对装配环境的默认基准定位,其余设备相对已有设备定位,对属于不同分类的设备,分别调用各自的装配函数。由于设备可能重复插入,在装配前,需向前搜索设备列表,以确定当前设备的实例号。然后根据前后设备的方位编码,由矩阵 R 确定连接关系,并对相应的基准组合施加约束。⑤检查设备之间的接口情况,如发现问题,修改或新建设备,直到满足设计要求。

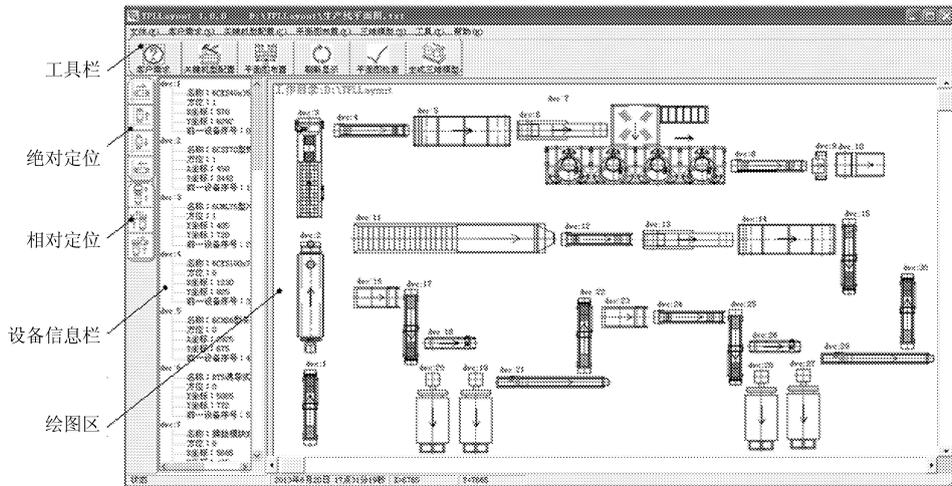


图7 系统界面及应用实例

Fig. 7 System interface and example

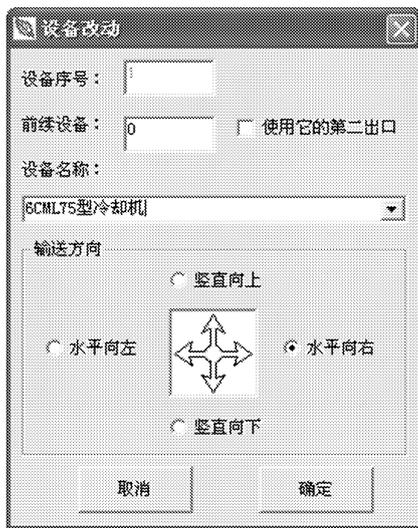
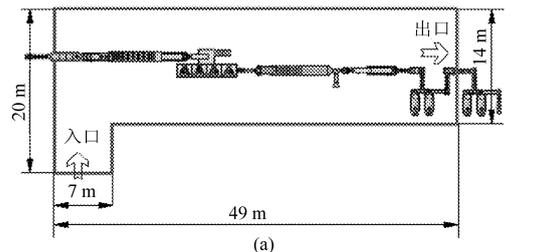
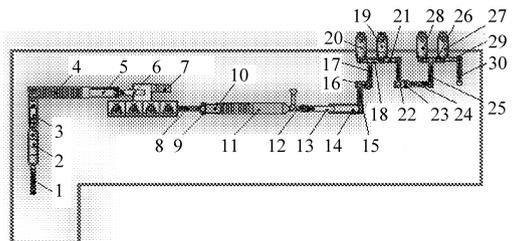


图8 更改设备信息

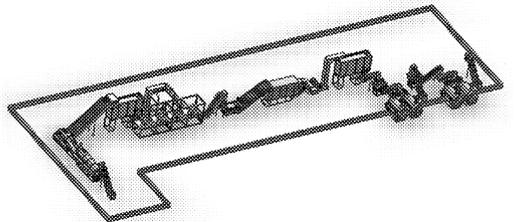
Fig. 8 Change of device information



(a)



(b)



(c)

图9 三维映射结果

Fig. 9 Mapping result of plane view to 3-D model

(a) 厂房尺寸及直线布置方案 (b) 设计方案2

(c) 设计方案3

1、4、8、12、15、17、22、24、25、30. 斜输 2. 杀青机 3. 冷却机
5、14. 回潮机 6、13. 立输 7. 揉捻模块 9. 解块机 10、21、
29. 振动槽 11. 干燥机 16、23. 计量装置 18、26. 往复平输机
19、20、27、28. 炒干机

第1台设备较为特殊,它的“前一设备序号”为0,该“0”代表装配环境,不是具体设备,因此,设备“1”相对“0”的连接关系不存在,设备“1”根据自身绝对方位“1”(见表3第3行)进行定位,其含义为:相对装配环境向上输送。

又如,“当前设备序号”为4的设备,其“前一设

4 应用实例

图9给出了程序运行实例。其中,图9a给出了厂房的形状及尺寸,左下方凸起处为鲜叶入口,右方为成品毛茶出口。从中可以看出,若主线采用直线布置,厂房的长度不足以容纳整条生产线。为此,将设备1~3向下弯折,序号17~30的炒干模块向上布置,得到图9b,此时已能容纳整条生产线(炒干机允许穿过墙体)。图9c给出了另一种布置方式,同样满足设计要求。

图7是与图9c对应的平面布置图。从设备序号可以看出整条生产线的走向。为呈现所有设备,从序号11和16开始另起一行,这对三维模型的生成不构成影响,体现了平面布置图的位置无关性。

表3为本实例对应的编码。其中,第2行“当前设备序号”从1到30连续排列,代表本实例中的30台设备;每台设备均有前继设备(表中第1行),但

表 3 应用实例对应的编码
Tab.3 Coding for application example

项目	编码																													
前一设备序号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18	20	21	22	23	24	25	26	26	28	29
当前设备序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
当前设备方位	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	2	0	1	0	0	2	0	2	2	0	1
连接关系	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	1	2	2	1	1	2	0	2	1	2	2	1	1

备序号”为 3,设备 3、4 的方位编码分别为 1、0,其含义为:相对装配环境分别向上、向右输送;另外,设备 3、4 之间的连接关系代码为 2(查询矩阵 R 确定),其含义为:从设备 3 的输送方向看,设备 4 拐向右方输送。

序号 19、20 的设备,其“前一设备序号”均为 18,这是由于设备 18 为往复平输机,分两路分别流向设备 19 和 20。其中,设备 20 相对于设备 18 定位(而非设备 19),设备 18 和 20 的方位编码分别为 0 和 2,查询矩阵 R 可知,设备 20 相对于设备 18 的连接关系编码为 2。设备 27、28 的“前一设备序号”均为 26,情况类似。

当采用图 7 中的“相对定位”工具插入设备时,需通过矩阵 D 确定设备的绝对方位编码。

在本实例中,通过程序自动添加了 88 个重合约

束及 2 个距离约束,整个装配过程耗时约 2.5 min。若采用人工装配,则至少需要几个小时,甚至更长。由此可见本方法的优越性。

5 结论

(1) 从用户角度考虑,通过方位编码描述设备的绝对方位;从装配建模角度考虑,通过连接关系编码描述设备之间的相对位置。为方便运算,给出了两种编码之间的换算矩阵 D 和 R 。

(2) 提出了位置无关的平面图布置方法,使用时,只需提取设备方位信息,无需对其位置作精确调整,因而减轻了设计人员的工作量。

(3) 通过基准约束,自动完成设备的装配与定位,从而加快了茶叶生产线的构建速度。

参 考 文 献

- 1 Chang Chao-Fan, Perng Der-Bauu. Assembly-part automatic positioning using high level entities of mating features [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 1997, 10(3):205 ~ 215.
- 2 Ye X G, Fuh J Y, Lee K S. Automated assembly modeling for plastic injection moulds [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2000, 16(10):739 ~ 747.
- 3 Ma Y S, Britton G A, Tor S B, et al. Associative assembly design feature: concept, implementation and application [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007, 32(5 ~ 6):434 ~ 444.
- 4 Li Guidong, Zhou Laishui, An Luling, et al. A system for supporting rapid assembly modeling of mechanical products via components with typical assembly features [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 46(5 ~ 8):785 ~ 800.
- 5 张刚,殷国富,邓克文,等. 面向装配的特征层次建模方法研究[J]. 计算机集成制造系统,2005,11(7):916 ~ 920. Zhang Gang, Yin Guofu, Deng Kewen, et al. Research on assembly-oriented feature-hierarchy modeling method[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(7): 916 ~ 920. (in Chinese)
- 6 邵晓东,殷磊,陆源,等. 一种基于特征的快速装配方法[J]. 计算机集成制造系统,2007,13(11):2 217 ~ 2 223. Shao Xiaodong, Yin Lei, Lu Yuan, et al. Rapid assembling approach based on assembly features [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007, 13(11): 2 217 ~ 2 223. (in Chinese)
- 7 田源,王欣,许滨,等. 基于 SolidWorks 二次开发的自动装配技术研究与应用[J]. 机械科学与技术,2012,31(5):703 ~ 707. Tian Yuan, Wang Xin, Xu Bin, et al. Research and application of automatic assembly technology based on secondary development of SolidWorks [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2012, 31(5): 703 ~ 707. (in Chinese)
- 8 刘钰,唐林. 基于辅助特征的平面杆系机构自动化装配[J]. 机械设计与制造,2009(12):65 ~ 67. Liu Yu, Tang Lin. Automation assembly of planar linkage mechanism based on auxiliary feature [J]. Machine Design & Manufacture, 2009(12): 65 ~ 67. (in Chinese)
- 9 平雪良,陶宇,叶晶,等. 基于坐标系的自动装配方法的研究与实现[J]. 机械设计,2011,28(11):11 ~ 14.
- 10 周仁贵,冯小辉,郑树立. 茶叶安全清洁化生产与茶厂规划[J]. 茶叶,2011,37(1):41 ~ 44. Zhou Rengui, Feng Xiaohui, Zheng Shuli. Factory design for clearer production of tea [J]. Journal of Tea, 2011, 37(1): 41 ~ 44. (in Chinese)
- 11 江洪,魏峥,王涛威,等. SolidWorks 二次开发实例解析[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- 12 郑海春,谢维成. Visual Basic 编程及实例分析教程[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- 13 易炳刚,汪雪. 基于 VB 的 SolidWorks 自动装配技术研究[J]. 机械工程与自动化,2013(1):94 ~ 96.