

## 车身混合立体库的规划与设计原则探讨

张文华

江铃汽车股份有限公司 江西南昌

**【摘要】**随着汽车行业竞争激烈程度加剧，产品客制化、个性化、多样性丰富需求增加。焊装、涂装、总装生产工艺特点不同，从成本与效率角度考虑，焊装、涂装、总装的生产顺序将不同，各汽车厂都在研究降低工厂运行成本或者在有限的面积条件提高整体产能，将原来物流行业中高架仓库理念用于整车生产环节。本文结合某汽车厂车身混合立体规划建设经验进行探讨。

**【关键词】**白车身存储区；彩车身存储区；自动化立体库；预处理区

### Discussion on the planning and design principles of the body hybrid stereo library

Wenhua Zhang

Jiangling motors co.,ltd, Jiangxi Nanchang

**【Abstract】** As the competition in the automotive industry intensifies, the demand for product customization, personalization and diversity has increased. The production process characteristics of body, painting and final assembly are different. From the perspective of cost and efficiency, the production sequence of body, painting and final assembly will be different. Each automobile factory is studying to reduce the operating cost of the factory or improve the overall performance in limited area conditions. Production capacity, the original concept of high-rack warehouse in the logistics industry is used in vehicle production. This paper discusses the experience of ASRS in an automobile factory.

**【Keywords】** WBS White Body Storage; PBS Paint Body storage; ASRS Automated Storage / Retrieval System; Pretreatment area

#### 引言

传统汽车生产包含四大工艺冲压、焊装、涂装、总装，每个工艺流程与特点不一样，从成本与效率角度考虑，焊装、涂装、总装的生产顺序将不同。焊装车间生产优先考虑夹具切换频次，涂装车间优先考虑的颜色切换频次，总装车间生产同时兼顾装配高低工时需求等。因此白车身、彩车身在生产组织中要进行二次调整顺序满足涂装、总装生产需求，白车身、彩车身混合立体可以极大充分利用资源实现生产的柔性。

#### 1 车身混合立体库设计任务设定

##### 1.1 工艺缓存

经焊装车间调整线装配完成车门总成、引擎盖总成的车身一般称为“白车身 White Body”<sup>[1]</sup>，白车身总成随滑橇输送到涂装车间的存储与排序区统称为 WBS (White Body Storage)。涂装车间喷涂面

漆后的车身一般称为“彩车身 Paint body”，彩车身存储与排序区成为 PBS (Paint Body storage)。

将 WBS 与 PBS 库区混合设计，优化资源配置，能够使传统分开的设计运作的 WBS 与 PBS 共享资源，在实际生产时依据不同生产状态进行相互使用。

##### 1.2 总体目标设定

总体目标可实现 WBS、PBS 的 100%任意可调序，库内车辆可以按需求随时出库；为了确保库内有足够基础库存支持调序，库存数量需要结合工厂运行状态、复杂程度、管理模式等综合因素进行设定，满足涂装车间、总装车间调序、物料拉动前提下尽可能降低在制品库存。本文结合某汽车厂实际情况综合定义整个一体化混合立体库满足 2H 的 WBS 排序能力、2H 的 PBS 排序能力、3H 的 PBS 固化拉动总装物料策略。

同时兼顾焊装、涂装、总装三大车间在过程中

特殊状态，如设备紧急故障、物料临时短缺、错峰用电、错峰用餐等不可控因为，确保生产持续稳定，整个系统设计满足任意车间停线，其他两个车间可持续生产两小时的能力。

### 1.3 充分考虑生产运作过程中非标准业务需求

项目规划设计过程中需要对业务模式进行充分调研，避免遗漏了特殊业务模式，造成后期运作不顺畅。规划与设计考虑与车身混合立体库业务逻辑潜在关联有：

- 1) 新品样车经涂装车间喷涂后转试制车间，定义从涂装还是立体库临时拉出
- 2) 市场客制化的需求增加，过程中 SVO 物料不能完全 100%衔接上，立体库库位考虑 0.5H 的 SVO 车型占位需求
- 3) 商品驾驶室、售后电泳件（车门、引擎盖、翼子板、车身侧围总成等）
- 4) 涂装拒收白车身路线及返工后路径
- 5) 空滑橇紧急进出

### 1.4 匹配工厂整体产能及建设策略

本次项目分两期建设，一期满足 30JPH 的存储能力，采用 7 层 9 列 3 巷道立体库为核心，并设置相应的滚床输送线。二期满足 60JPH 的存储能力，二期在原有立体库的基础上，增加 2 个巷道，并设置相应的滚床输送线。满足白车身入库，白车身出库进入涂装、彩车身入库，彩车身出库入总装净输出能力 60JPH。

## 2 车身立体库库架区位置选择原则

由于车身立体库承担白车身缓存、白车身调序、彩车身缓存、彩车身调序等功能，规划位置选择选择在焊装、涂装、总装三个车间中心位置通过连廊进行双向互通。同时兼顾立体库库架区域多层整体标高超 20m，从厂房立面及整体协调性，优先推荐与涂装厂房贴建，建筑外观上与涂装厂房形成整体，

内部不同的温度、防尘、消防、公用等进行分割细分设计。另外立体库中的操作与涂装车间有着密切关联，缩减这两者之间的连廊距离，并且合并至立体库预处理区的连廊，从而起到缩减连廊建筑成本的作用<sup>[2]</sup>。

## 3 功能区规划定义原则

根据厂区内各车间之间的生产流程关系与总平面布置，结合节拍与功能需求车身混合自动化立体库大致分为如下几个区域：预处理区、库架区、PBS 固化区、空橇返回区。立体库各层功能初步定义如下：

1.5.1m 层为白车身入库层，也为通廊连接层

2.0m 层为白车身出库层，也为地面维修层及应急进出口层

3.12m 层彩车身入库层，也为涂装彩车身换橇层

4.8.6m 层为彩车身出库层

5.15.5m 层为空橇存储区

总体工艺流程如下：

立体库空滑橇进入白车身换橇站由焊装扫尾调整滑橇切换为立体库滑橇立体库滑橇带白车身经 5.1m 通廊进入预处理区的第二层进入库架区存储或通过升降机直通涂装。库内白车身调序后经 0m 层出库通过升降机至涂装 7m 层与涂装底漆滑橇进行换橇。与涂装底漆换橇后，立体空滑橇进入 12m 层接彩车身，12m 接彩车身直接通过预处理区 12m 进行彩车身入库，库内彩车身调序后经 8.6 层出库后通过升降机降至 5.1m 层，进入总装通廊 PBS 固化区。车辆经固化区到达总装内饰上线升降机转换至内饰滑板上，空橇返回至焊装换橇站。

物流量依据彩车身进库 60JPH 彩车身出库 60JPH、白车身进库 60JPH、白车身出库 60JPH。

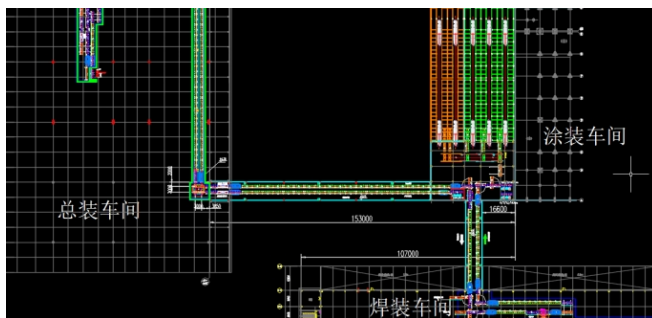


图 1 总平面图，立体库与涂装厂房贴建，通过通廊与总装、涂装连接

### 4 库架区设置

库架区中高层货架混合存储白车身、彩车身，白车身与彩车身库位完全兼容，库内白车身与彩车身可共享动态调整，也便于支持生产过程中遇到的极端问题。库架尺寸规划设计充分分析考虑，注意避免车身与滑橇和高层货架碰撞、摩擦。

#### 4.1 库位高度设计定义

库位高度设计需要考虑带车身滑橇放置在货架搁架上，伸缩叉准备取货及伸缩叉叉橇体抬高时两

种状态。货位单元净高度=搁架高度（货叉厚度+下降高度+安全间隙）+滑橇高度+工件（车身滑橇支撑面至顶盖高度）+抬起高度+安全间隙。如下图货位单元净高=330+420+1522+100+234=2606mm

#### 4.2 库位长度尺寸设计定义

同其他输送基本要求，车身不超出滑橇尺寸，且两端预留一定安全间隙，所以货架长度=滑橇长度+两端安全间隙=5400+212.5+212.5=5825mm

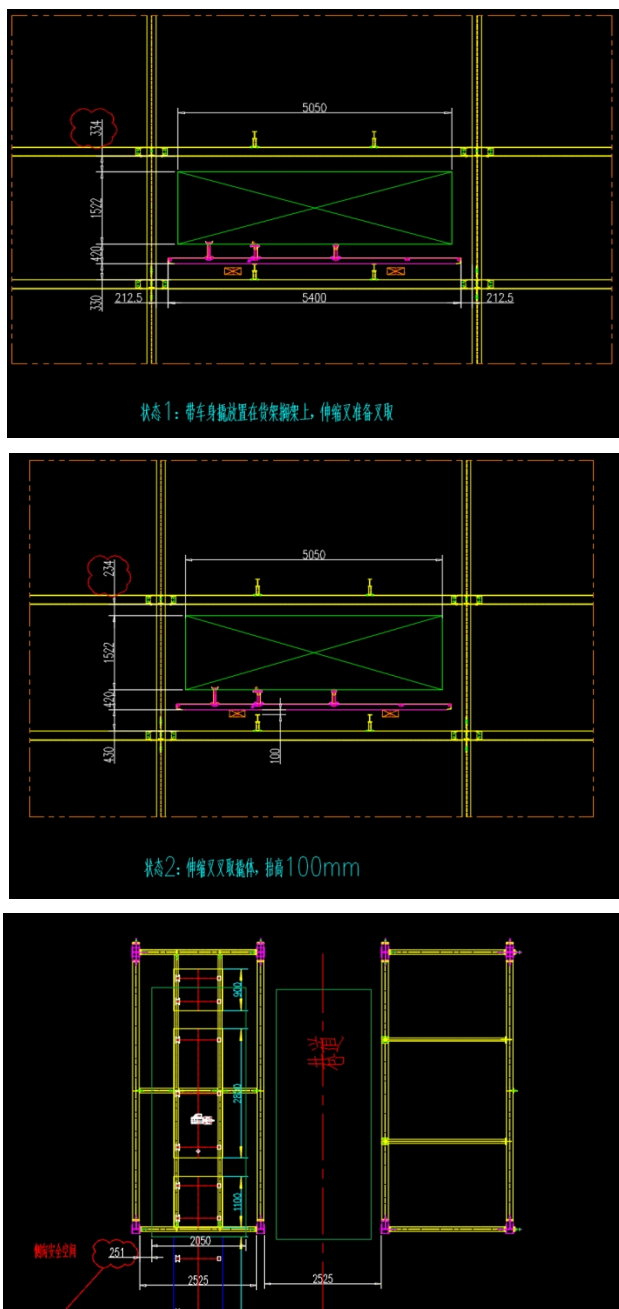


图2 图货位单元净高

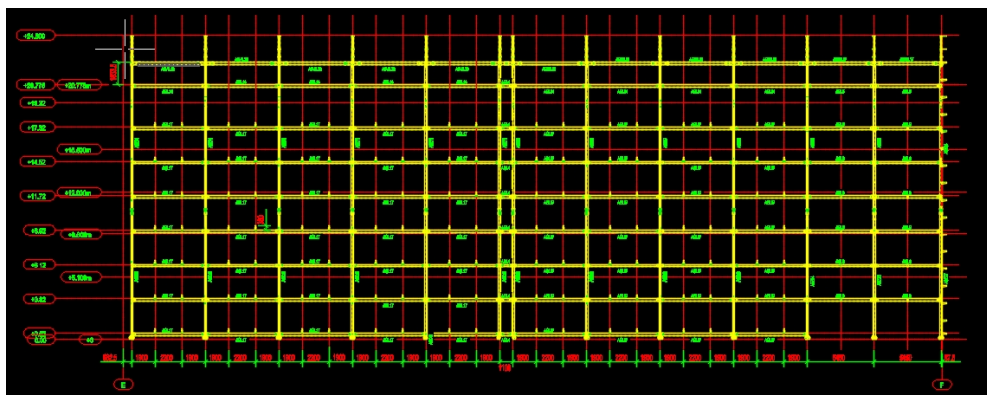
### 4.3 宽度尺寸定义

巷道与货架净宽度需求=工件宽度+两侧安全间隙通常以 200mm 进行细化设计计算校核

### 4.4 货架层列设计

目前行业内车身立体库单巷道货架考虑 9 层 9 列左右，具体依据各主机厂具体场地与货位尺寸进行初始规划设计定义，定义后依据高速堆垛机参数进行平均单一作业周期及平均复合作业周期能力计算。复合作业周期即假设高速堆垛机每个循环均带一次入库与出库的动作，以提高高速堆垛机运行效率，以提高设备整体利用率。如下相关参数（具体值仅参考）综合计算水平与垂直时间：堆垛机参数：  
堆垛机最大运行范围  $L = 61\text{ m}$   
堆垛机垂直运行最大范围  $H = 27\text{ m}$ （货架高度）  
货架(货位)行数 8 行

货架(货位)列数	10 列
货架层数	9 层
堆垛机运行高速	$V_{xh} = 160\text{ m/min} = 2.67\text{ m/sec}$
堆垛机运行低速	$V_{xl} = 5\text{ m/min} = 0.08\text{ m/sec}$
堆垛机运行加速度	$a = 0.7\text{ m/sec}^2$
堆垛机升降高速	$V_{yh} = 40\text{ m/min} = 0.67\text{ m/sec}$
堆垛机升降低速	$V_{yl} = 5\text{ m/min} = 0.08\text{ m/sec}$
堆垛机升降加速度	$a = 0.5\text{ m/sec}^2$
货叉伸叉高速	$V_{yh} = 70\text{ m/min} = 1.17\text{ m/sec}$
货叉伸叉低速	$V_{yh} = 40\text{ m/min} = 0.67\text{ m/sec}$
货叉伸叉行程	$\Delta X = 2.45\text{ m}$
货叉中心间距	$W = 2.2\text{ m}$
堆垛机数量	4 Sets
单台堆垛机服务的巷道数	1 Set



### 4.5 库架容量设计原则

在汽车生产线中，由于焊装、涂装、总装生产作息时间、产出与输入速度不匹配、短期设备故障停线等均会影响到整个生产线效率，因此设计立体库缓存量是非常有必要的。主要分如下几点进行规划设计，具体每个主机厂可结合产品复杂程度，生产运作模式差异进行调整应用。

- 1) 2H 的 WBS 调序能力，支持涂装颜色调序需求
- 2) 2H 的 PBS 调序能力，满足总装高低工时匹配调序需求
- 3) 2H 应对焊装、涂装、总装任何车间停线故障或者特殊生产作息安排
- 4) 0.5H 外件及 SVO 特殊需求库位占用同时应用仿真技术进行模拟运行，计算货架存取能力
- 5) 库外空橇运作区需要配合前面的 2H 应对焊

装、涂装、总装任意车间生产停线

### 5 库架形式选择

车身立体库架通常两种形式分别是传统物流行业采用的库架分离式和新库位合一的结构形式。

采用库位合一的结构形式，是目前立体库车库的发展趋势。采用先建设存车库，在车库钢构建设完成后，以钢构为基础建设外墙和屋面，使其满足建筑需要。库架立柱作为厂房立柱使用，兼容建筑功能，与建筑设计单位联合设计，使得设备-建筑一体化。

库架区型材采取热镀锌工艺，外观银白亮丽，长久防腐。

减少建筑投资，收缩建筑面积，空间资源利用率得到进一步提高。

钢结构载荷分析，同步考虑风载、雪载、地震等影响，提升车身立体库抗震抗灾能力。



## 6 经济收益

6.1 制造费用:  $282+465.16=747.16$  万/年

1) 设备投资: PBS+WBS 平面项目价格 10020 万元, 车身混合立体库投资目一期 5200 万元, 二期 2000 万元, 设备成本节省 =  $(10020-5200-2000)/10=282$  万元/年。

2) 建筑投资: 厂 PBS+WBS 区共计建筑面积 39342 m<sup>2</sup>, 车身混合一体化立体库两期共计 14434 m<sup>2</sup>, 建筑面积节省 =  $39342-14434=24908$  m<sup>2</sup>。PBS&WBS 钢平台下方兼容物流区功能, 根据工程科提供综合土建公用计算价格富山总装厂房单价为 3735 元/m<sup>2</sup>, 按照 10 年均摊, 每年节省 =  $24908/2*3735/10000/10=465.16$  万元

6.2 燃动成本: 118.69 万元/年

1) 车身立体库相比传统 PBS&WBS 区, PBS+WBS 用电功率总计 1683kw, 车身立体库的用电功率总计 689.35kw, 整体能耗节省 =  $1683/2-689.35=152.15$  kw, 电费 0.71 元/kwh, 富山去年下半年生产 174 天, 每班 8 小时, 每天 1 班, 每年节省 =  $152.15*174*2*8*1*0.71/1000=30.07$  万元。

2) 总装和焊装 WBS&PBS 钢平台下安装照明灯, 随着钢平台面积减少, 按照工厂照度 150lux 要求, 照明灯布置密度为每 2m<sup>2</sup>/1 盏灯, 每盏灯功率 36w, 电费 0.71 元/kwh, 富山去年下半年生产 174 天, 每班 8 小时, 每天 1 班, 每年节省 =  $24908/2*0.036*174*2*8*1*0.71/1000=88.62$  万元。

6.3 人工成本: 32.15 万元/年

1) 人数减少: 车身立体库 WMS 系统可自主完成白车身和彩车身生产调序, 无需工厂总装和焊装

安排调序人员操作调序。所以焊装与总装调序人员各减少 2 人。共计每年节约成本 =  $4*8=32$  万元

2) 工时减少: 采用车身立体库后, 1 个机械库位 = 1 个滚床, 设备总数下降 378 台, 维护工作量降低, 按照富山工厂总装设备 MTTR 为 0.2h, 共计节省工时 =  $378*0.2=75.6$ h。工人工时 20 元/h, 每年节省 0.15 万元。

最终年经济收益:  $747.16+118.69+32.15=898$  万元/年

## 7 结束语

一体化立体库在总装车间传统平面库基础上发展出来以自动化立体库为主的车身分配中心, 在整个汽车生产过程中起到了便捷存取, 根据订单灵活调配车身的高柔性功能<sup>[3]</sup>, 其所具有的独特优势有以下几个方面: 首先是能有效的调节汽车制造生产线的生产节拍, 最大程度的提升工厂生产产能与效率; 其次是一体化立体库的设计能有效的减少人工操作, 大大提升了工作的效率以及精密度; 最后便是一体化立体库的设计能有效的推动汽车制造企业的规模化发展, 并节约生产制造成本。

## 参考文献

- [1] 程长坤. 车身自动立体仓库在乘用车主机厂中的应用[J]. 《汽车制造业》. 2019 年第 17 期: 40-42
- [2] 王宝胜. 一体化车身自动化立体库的设计原则探讨[J]. 《科学与财富》. 2018 年第 12 期: 05-06
- [3] 张言葳. 自动化立体库在汽车生产中的优势与应用案例[J]. 《汽车知识》. 2022 年第 7 期: 19-21

收稿日期: 2022 年 9 月 2 日

出刊日期: 2022 年 10 月 25 日

引用本文: 张文华, 车身混合立体库的规划与设计原则探讨[J]. 电气工程与自动化, 2022, 1(3): 46-50  
DOI: 10.12208/j.jeca.20220031

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS