

# 第十四届“东风日产杯”清华IE亮剑全国工业工程应用案例大赛

## 中国标动核心部件数字化精益车间设计与仿真

Design and Simulation for Digital Lean Enabled Workshop of CEMU Key Parts



北京交通大学  
BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY



参赛队员： 高雪 赵雨晴

杨淳亮 王译晨

指导教师： 李琦 马靖

# CONTENTS

Part 1 整体概述  
General Introduction

Part 2 调研与现状分析  
Investigation & Analysis

Part 3 概念设计  
Conceptual Design

Part 4 详细设计  
Detailed Design

Part 5 建模与仿真  
Modeling and Simulation

Part 6 案例总结  
Summary



# Part 1

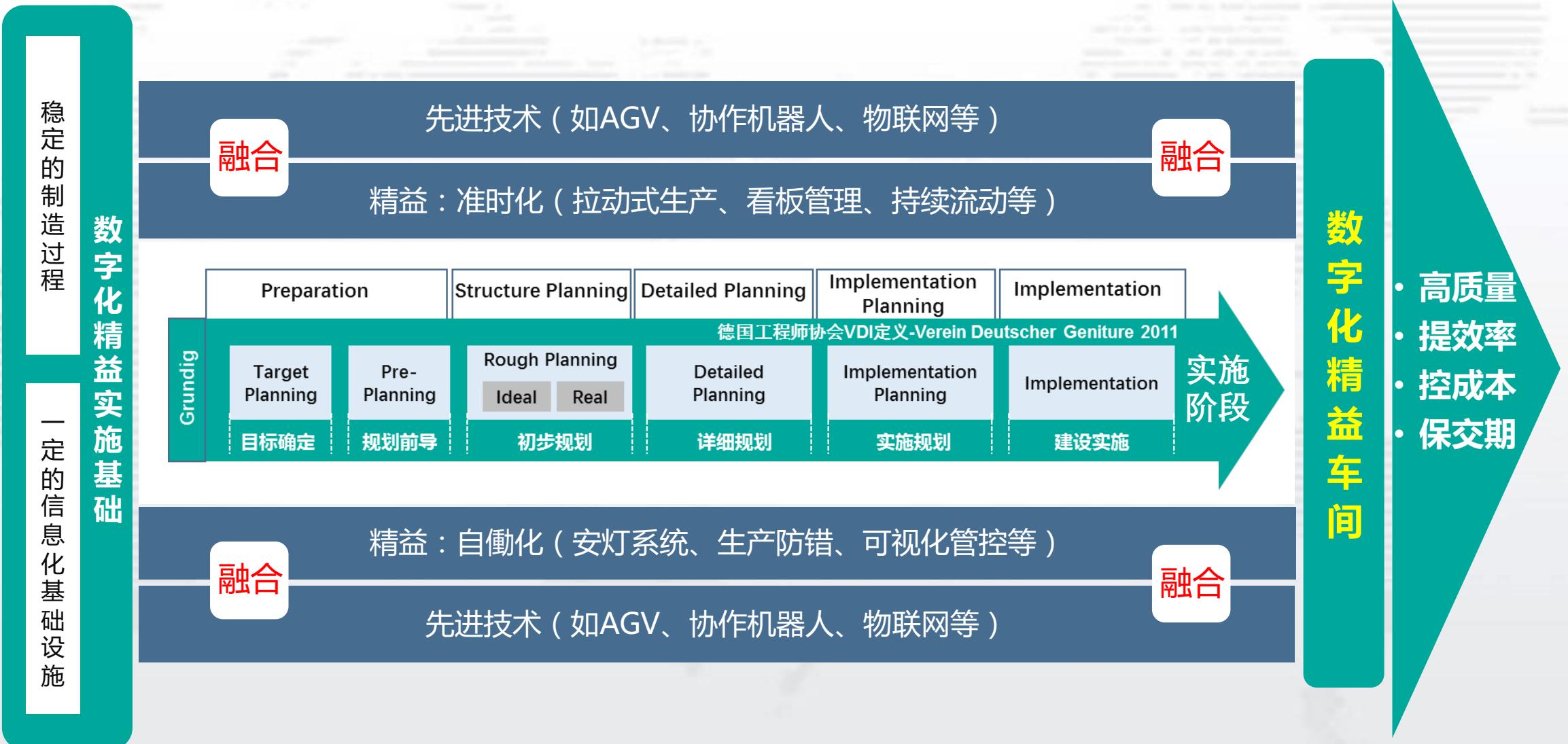
整体概述  
General Introduction





# 1.1 整体规划方法论

## OVERVIEW DESIGN STRATEGY



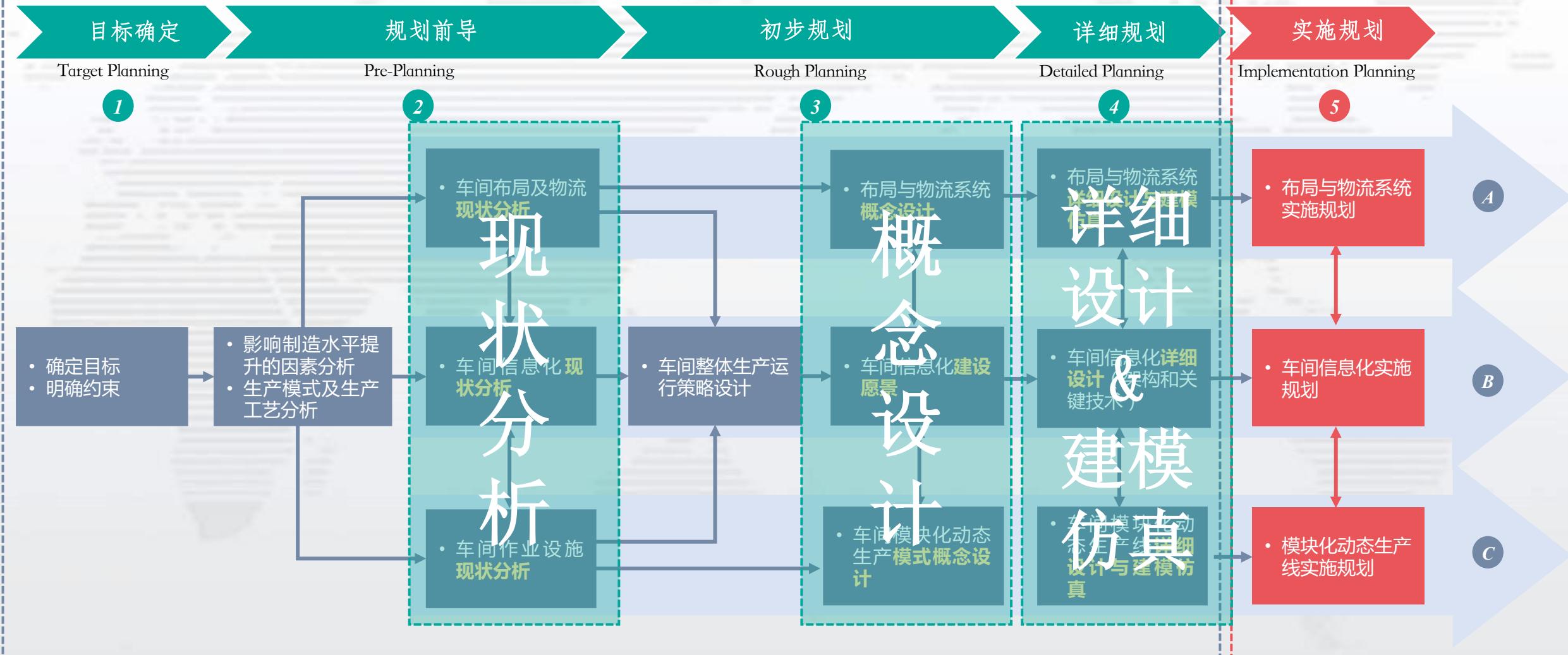


## 1.2 整体设计思路

### OVERALL DESIGN ROADMAP



工厂/车间规划五个大的阶段（德国工程师协会VDI定义-Verein Deutscher Geniture 2011）



## Part 2

项目调研与现状分析  
Investigation & Analysis





## 2.1 主要影响因素概述

INTRODUCTION OF MAIN INFLUENTIAL FACTORS



围绕**重点问题**提升**标动核心部件**电气车间制造水平

### ✓ 整体生产特点概述

- 多品种变批量，生产周期较长，存在可重入式生产；
- 结构较复杂，生产要求高，可自动化工艺环节相对较少，大多以手工作业为主；产品附加值高，对人员技能要求高。
- 采用批次加工批次转运生产方式。

### ✓ 物流系统现状概述

- 物流分级不明确
- 物流路线较混乱
- 物料配送不准时
- 物料堆积较严重
- 物料容器不标准

轨道交通



影响制造水平提升的主要因素及现状概述

1

2

3

5

4

### ✓ 生产布局现状概述

- 布局特征不明显，布局模式不清晰
- 布局不合理导致物料搬运距离较长
- 设施和物料摆放不合理，有待优化

### ✓ 车间信息化现状概述

- 具有一定信息化实施基础，已经实施了ERP系统，关键数据采集率不高；
- 生产过程数字化程度较低；
- 作业过程管控手段比较单一；
- 生产追溯和评价不够精细化；

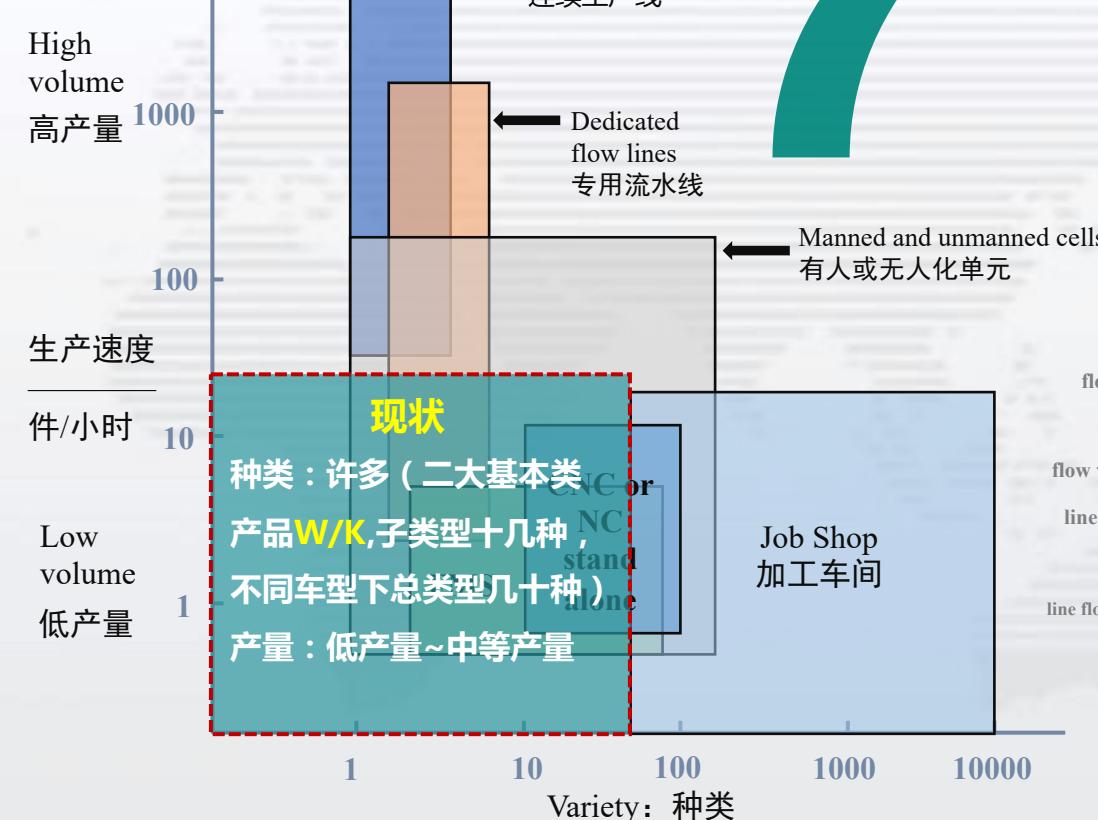
### ✓ 作业设施现状概述

- 物料容器标准化程度不高；
- 物流设备自动化程度较低；
- 传统固定工位组装，柔性高，组装过程多以手工作业为主
- 测试过程自动化程度较高
- 组装过程使用工具较为传统



## 2.2 整体生产模式分析

### PRODUCTION MODEL ANALYSIS



种类	产量
很多 very many	许多 Many 低产量 Low volumes
若干个 One or a few of each	许多 Many 中等 Medium volumes
若干 Several	若干 Several 高产量 High volumes
单一 One	单一 One 很高产量 Very high volumes

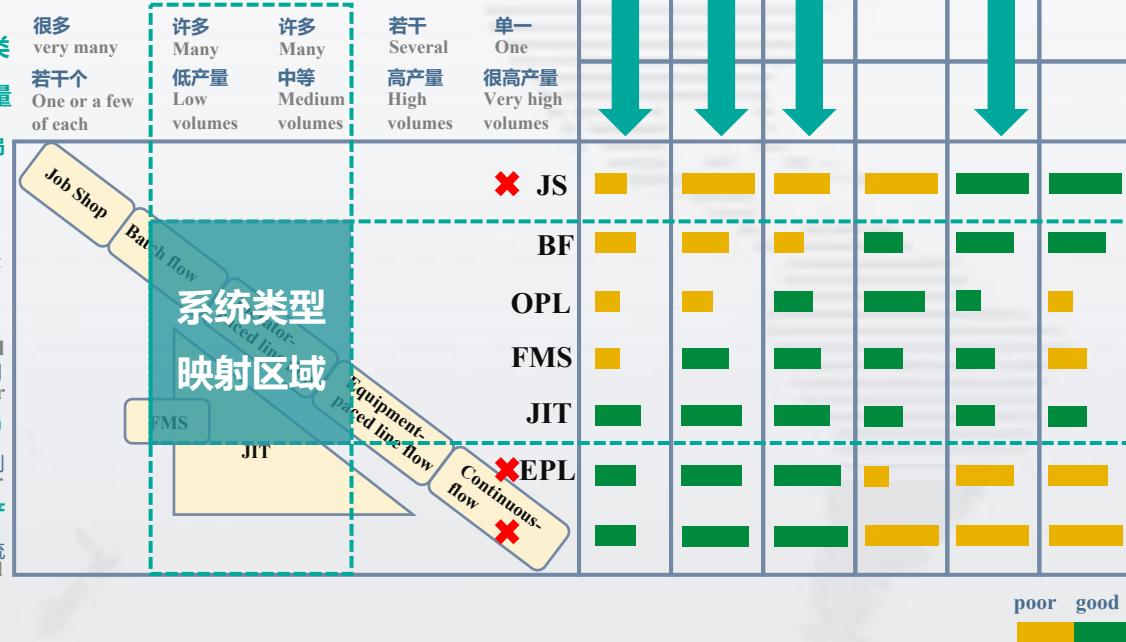
**功能布局或工艺布局**  
functional layout  
物料流经常变动  
flow extremely varied

**单元布局**  
cellular layout  
物料流随模式变动  
flow varied with patterns

**流动式生产/产品布局**  
line flow operator paced  
物料流大部分很规则  
flow mostly regular

**流动式生产/产品布局**  
line flow equipment paced  
物料流动很规则  
flow regular

**连续流生产**  
continuous flow  
刚性物料流  
flow rigid





## 2.3 生产工艺分析

### PRODUCTION PROCESS ANALYSIS



#### W类产品生产工艺分析



以W1产品为例



## 2.3 生产工艺分析

### PRODUCTION PROCESS ANALYSIS



#### K类产品生产工艺分析

5  
K3动态  
测试区

特殊测试  
工艺

工艺时间长

W/K类产品绝缘耐压  
测试区  
(>1h)

3  
K类产品常温老化区  
(>50h)

1  
班组物料  
周转区

7  
K类  
包装区  
K1/K2  
大修区  
K3大修区

K1/K2/K4  
组装区

2  
K3组装区  
4

工艺时间长

可重入工艺  
环节



20km

转运距离太长



其他厂区

整体生产工  
艺不连续

以K3产品为例

Part 2 : 项目调研与现状分析

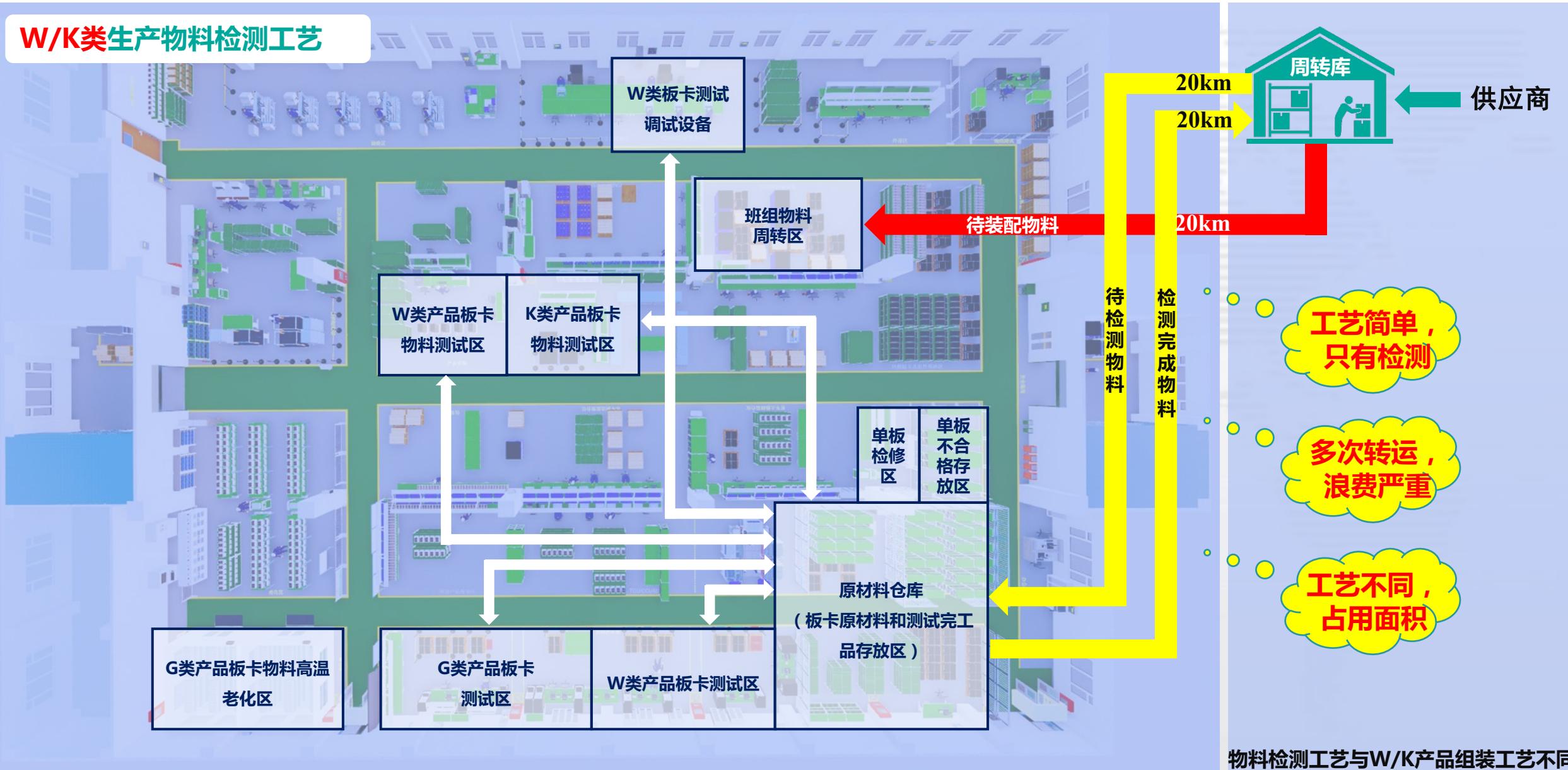


## 2.3 生产工艺分析

### PRODUCTION PROCESS ANALYSIS



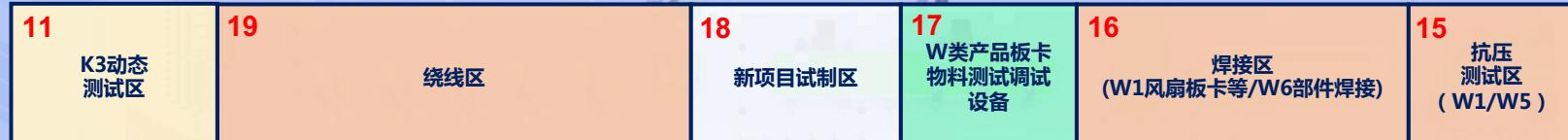
#### W/K类生产物料检测工艺





## 2.4 布局现状分析

### LAYOUT ANALYSIS



原材料仓库



28  
质检办  
公室

图例

W类产品

K类产品

物料检测

其他区域



0  
周转库

20km



没有明显布  
局特征

存在浪费和  
冗余移动

增加了制造  
循环时间

物料堆积  
较为严重

存在部分  
布局约束

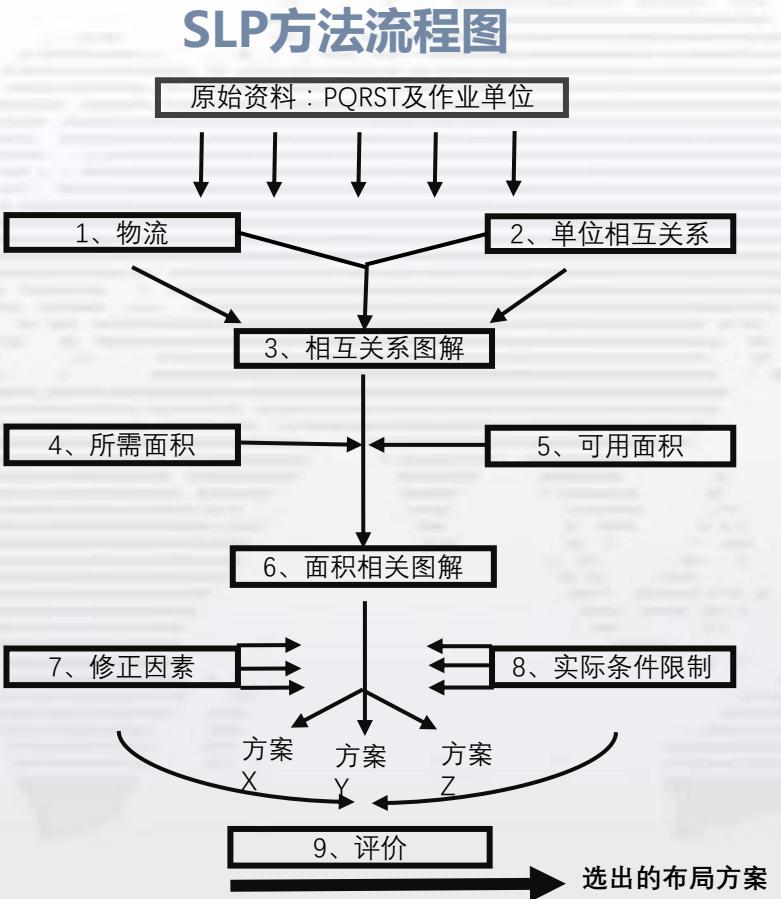


## 2.4 布局现状分析

### LAYOUT ANALYSIS



#### ● 基于SLP的布局分析



#### 各作业单位之间的物流强度

序号	作业单位对（路线）	物流强度
1	0-1	435880000.00
2	1-13	283626.17
3	6-13	248242.50
4	1-2	210381.98
5	1-9	175761.60
6	6-23	170548.08
7	2-5	145305.60
8	7-10	117334.00
9	9-23	101218.00
10	6-20	99862.08
11	4-13	91998.90
12	2-21	70057.00
13	6-7	56898.66
14	10-20	40302.92
15	2-22	27609.12
16	3-13	26974.08
17	11-27	23016.44
18	3-10	22067.64
19	13-27	20805.92
20	4-16	16987.08
21	4-23	14858.94
22	4-7	14328.96
23	1-20	13664.60
24	11-25	13589.10
25	8-27	12975.36
26	4-20	10821.86
27	8-25	8796.06
28	3-9	8618.40
29	6-16	8574.12
30	13-25	8255.52
31	8-10	6730.64
32	9-27	6468.06
33	13-16	5018.91
34	9-25	2799.09
35	1-26	2379.78
36	1-12	1048.32
37	10-26	784.68
38	1-14	640.05
39	14-12	587.04
40	1-15	517.83
41	14-15	310.56
42	9-26	260.04

#### 物流相关图



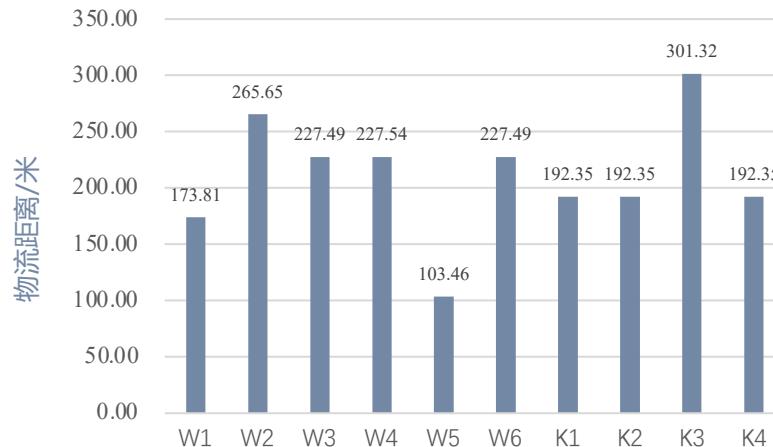


## 2.4 布局现状分析

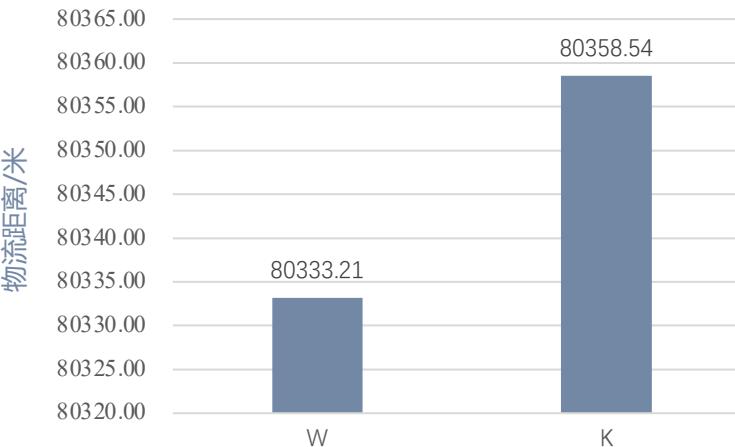
LAYOUT ANALYSIS

### ● 布局相关指标分析

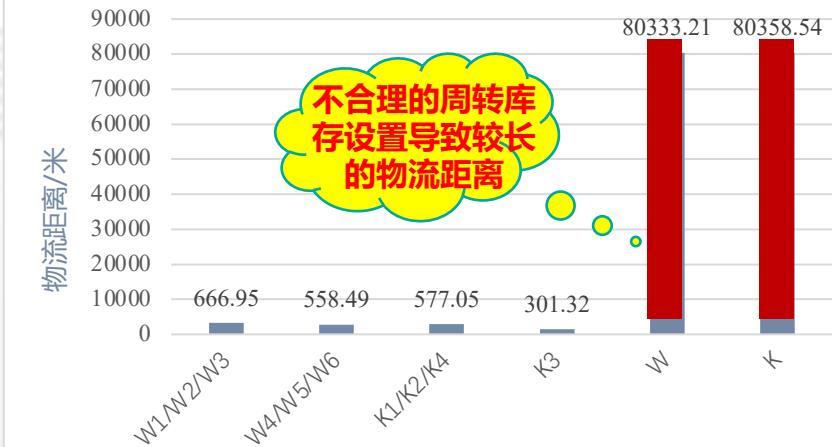
W/K类产品组装工艺物流距离



W/K类产品关键物料检测工艺物流距离



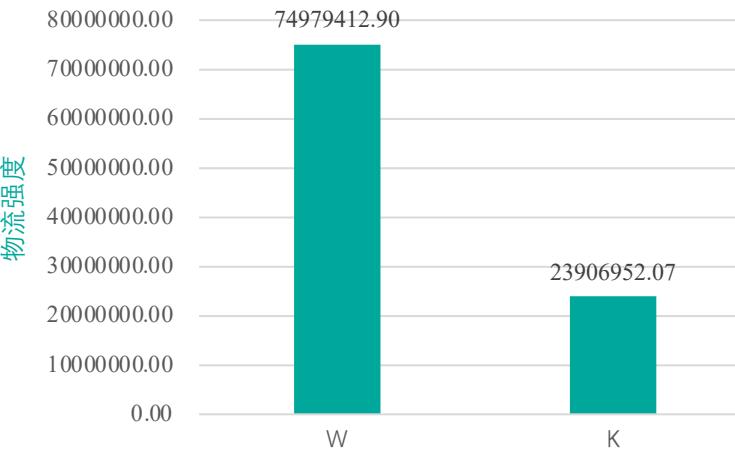
W/K类产品组装及关键物料检测物流距离



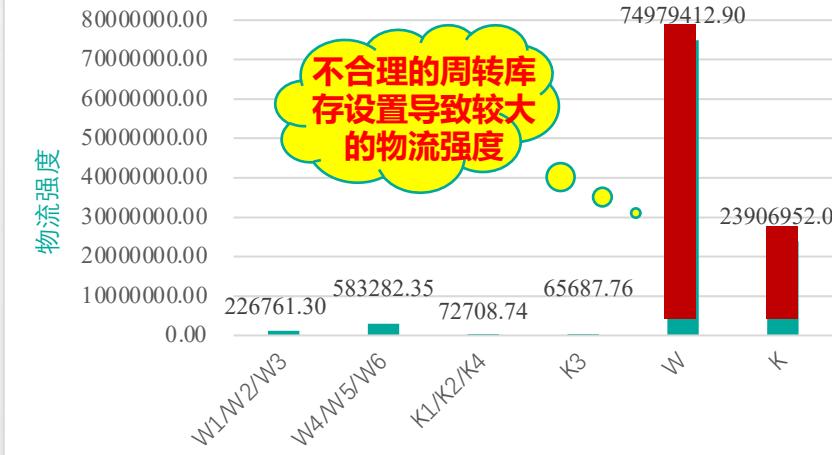
W/K类产品组装物流强度



W/K类产品关键物料检测物流强度



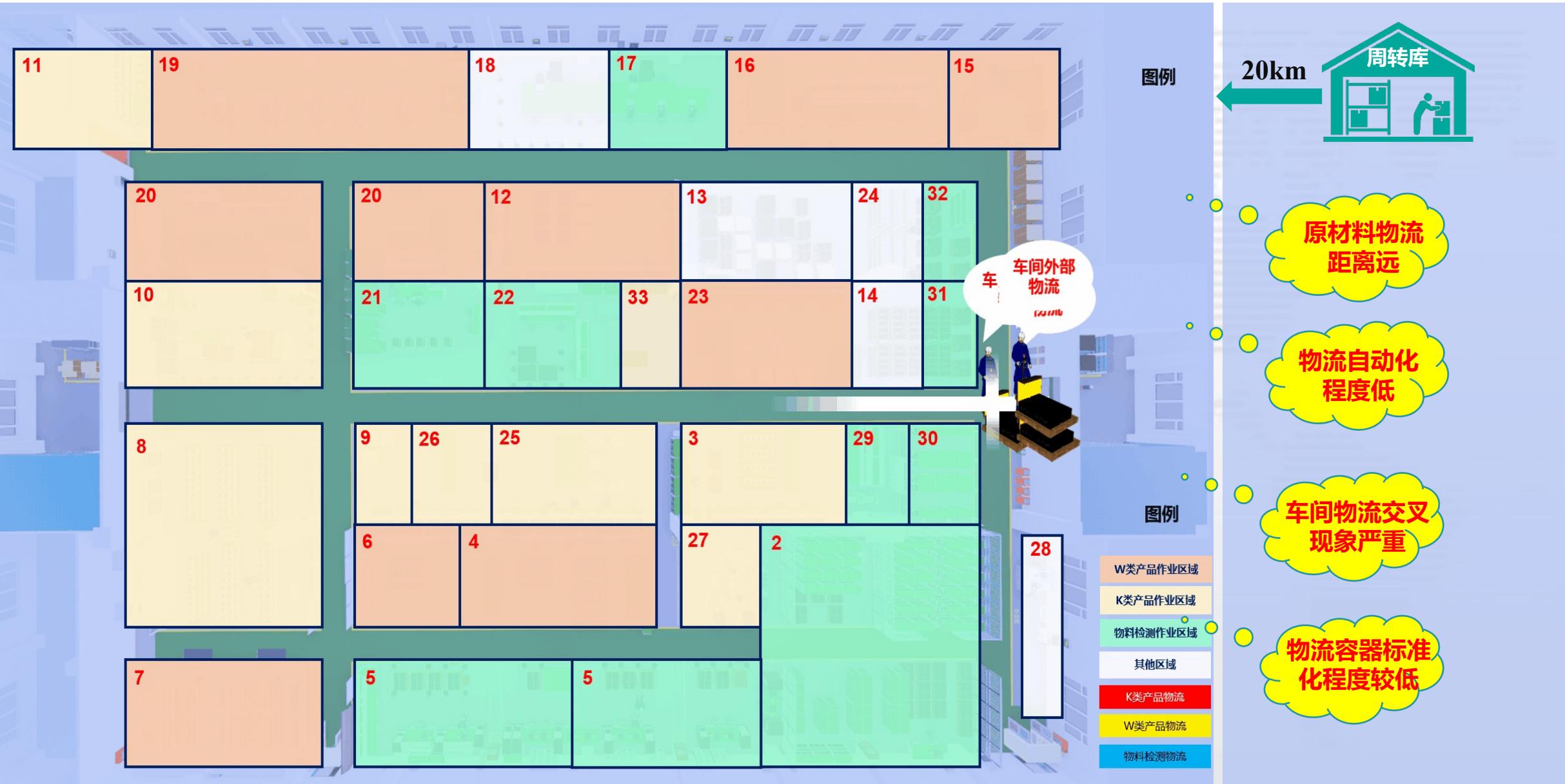
W/K产品组装及关键物料检测物流强度





## 2.5 物流现状分析

### LOGISTICS ANALYSIS



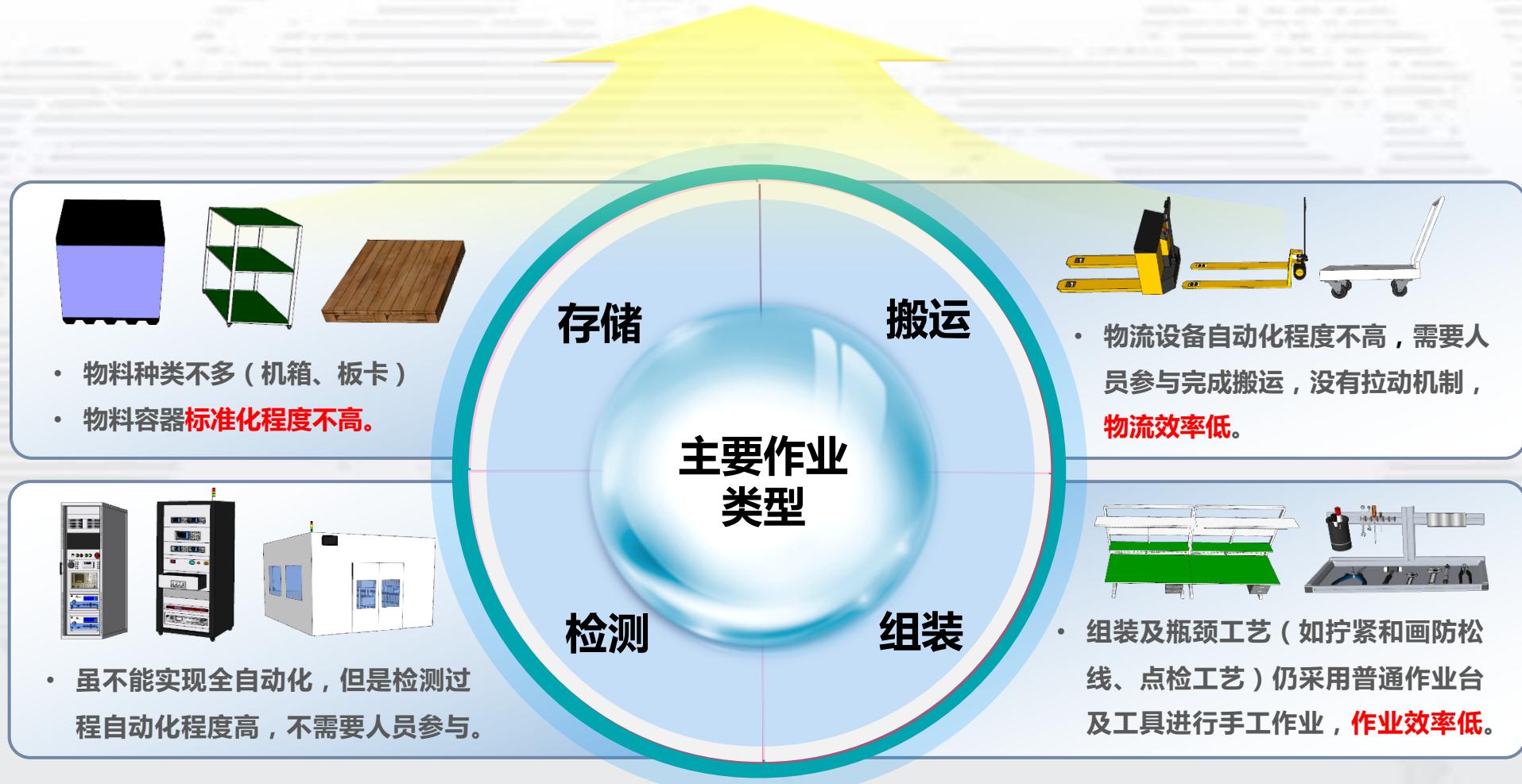


## 2.6 作业设施现状分析

OPERATION FACILITIES ANALYSIS



### 改善作业设施，提升生产效率





## 2.7 车间信息化现状分析

### WORKSHOP INFORMATIONIZATION ANALYSIS





- 多品种变批量生产需求；
- 生产周期较长，存在部分时间较长的特殊工艺；
- 存在可重入式生产工艺；
- 各作业单位内部及之间都采用**批次流（非单件流）的推式生产方式**；
  
- 布局较为混乱，**没有明显布局特征**；
- 布局不合理，导致**搬运浪费**；
- 物流分级与职责不明确，**物流路线存在较多交叉**；
  
- **物流容器标准化程度较低。**
- **物流设备自动化程度低**，推动式导致物料配送不准时，物料堆积现象明显；
- 组装作业及瓶颈工艺仍采用普通作业台及工具进行作业，**组装作业效率低**；
  
- 工艺系统和ERP系统功能较为完备；
- **缺少物流信息系统**，物流准时化程度低；
- **管控系统功能较为简单**，不能满足较为数字化精益管控需求；

## Part 3

概念设计  
Conceptual Design



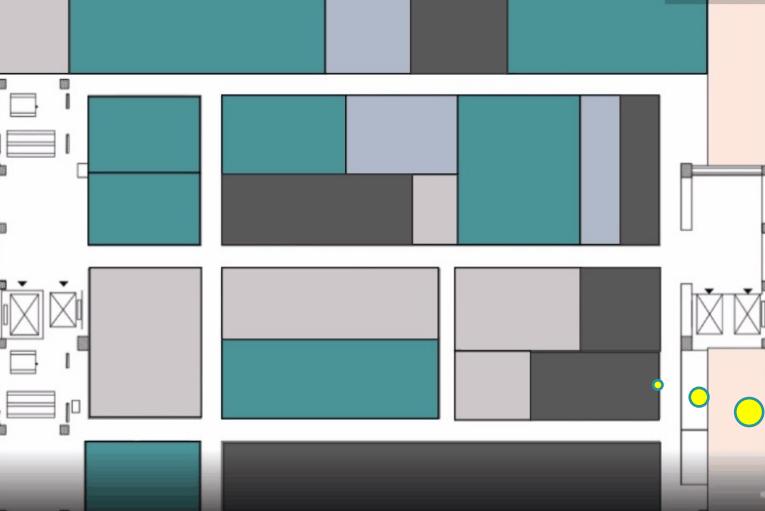
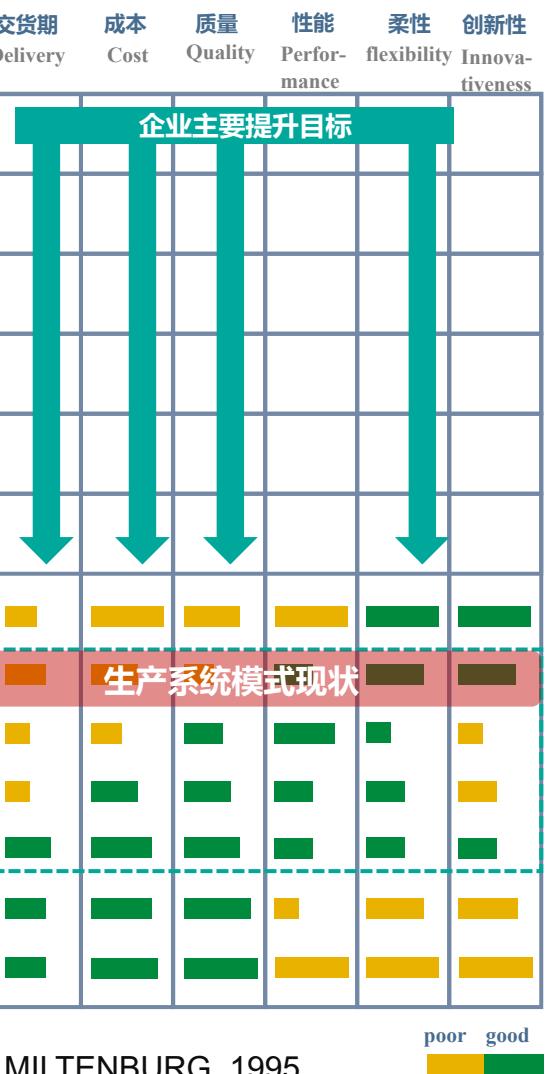


# 3.1 生产模式选择

## PRODUCTION MODEL SELECTION

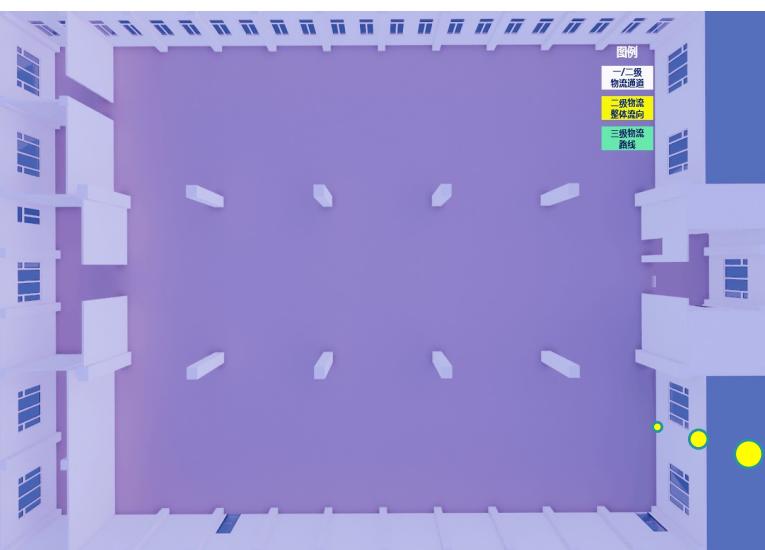


	车间现状	优化设计
生产模式	整体采用批次流 (Batch Flow)	功能区之间采用批次流，功能区域内部采用准时化单件流
布局模式	无明显布局特征，以工艺布局为主	车间整体以产品原则为主布局特征，功能区域内采用单元布局
物流模式	物流路线不固定，物流模式较混乱	各功能区内部和各功能区之间的物料流动相对规则，各级物流功能与模式相对清楚。



改善后，车间整体以产品原则为主要布局特征，各功能区域内部按照单元布局原则，可以采用U型布局、直线型布局等精益化单元化布局方式。

**布局模式概念设计**



按功能分为一级、二级和三级物流。一级为原材料和成品物流，二级为在制品物流，三级为各功能区内部物流。一级和二级采用AGV进行搬运和批次流动，三级

**物流模式概念设计**



质量、效率、成本、交期

## 数字化精益车间

### 准时化

拉动生产  
看板管理  
持续流动

- 基于实时派工单的准时化分拣与配送；
- 基于AGV自动化搬运，提高搬运效率；
- 基于生产作业派报工的物料搬运拉动；
- 基于UWB技术的生产物流自动跟踪。

### 看板管理

- 在标准物料容器上，配置水墨标签，显示当前批次物料的订单批次、数量、型号、当前所在工艺及完工状态、后续生产工艺及位置、批次整体完工度，实现看板管理。

### 持续流动

- 在组装作业区域内部，通过构建不同类型的流水线实现单件流动式生产，替代原有的批次组装批次流动模式；
- 通过AGV实现不同批次在制品在不同作业区域之间的持续流动；

### 自働化

异常呼叫  
生产防错  
可视管控

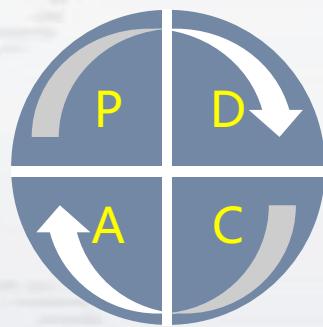
- 建设以Andon系统为核心的异常呼叫机制，设置物料、质量、设备等其他类型的Andon系统，同时具备生产停止功能。

### 生产防错

- 主要围绕产品的组装工艺，提炼防错项，并从作业方法、防错技术和防错装置等角度出发，建立较为全面的防错机制及系统。

### 可视管控

- 围绕车间生产管理与控制的功能与目标，基于可视化技术及管控一体化技术实现对工艺指导、设备状态、产品跟踪、生产效能等可视化管理与控制功能。



- 整体服从产品原则布局
- 功能区内部主要服从单元布局

信息化基础设施

稳定的制造过程

合理的车间布局

多能工作业员

标准化作业

.....



## Part 4

详细设计  
Detailed Design



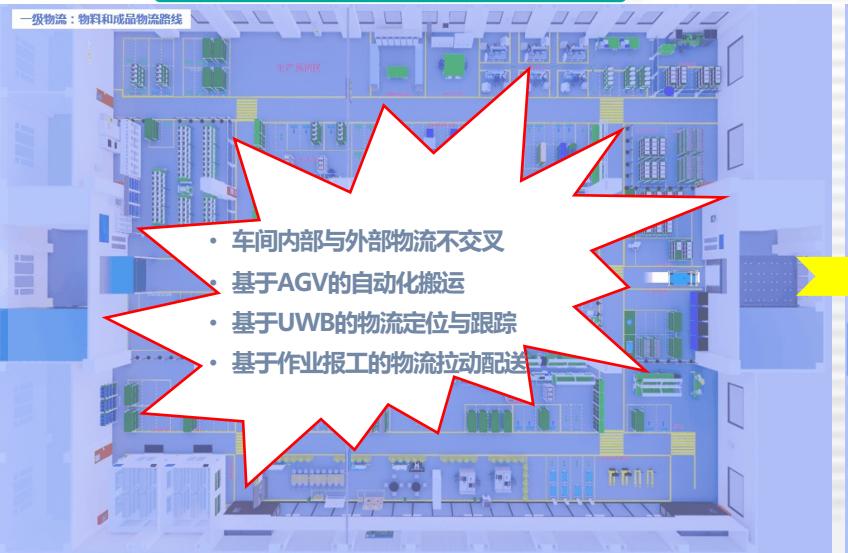


# 4.1 物流系统详细设计

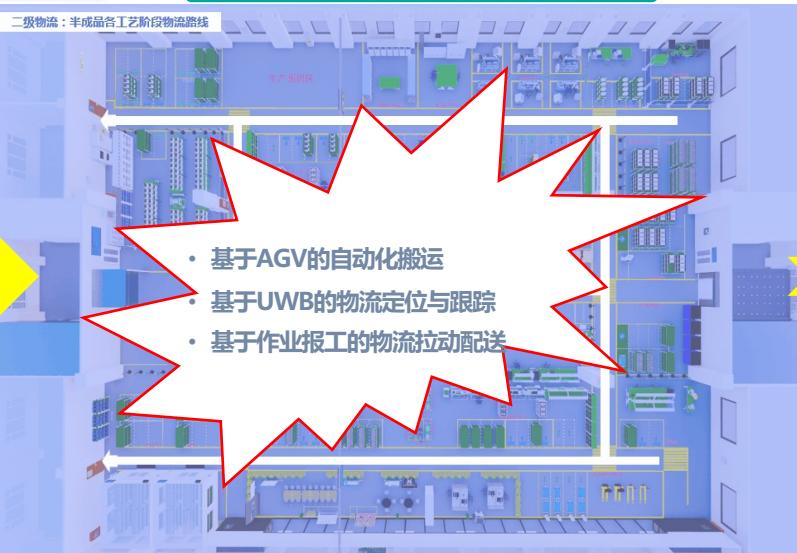
## LOGISTICS SYSTEM DESIGN

### ● 物流模式与物流容器详细设计

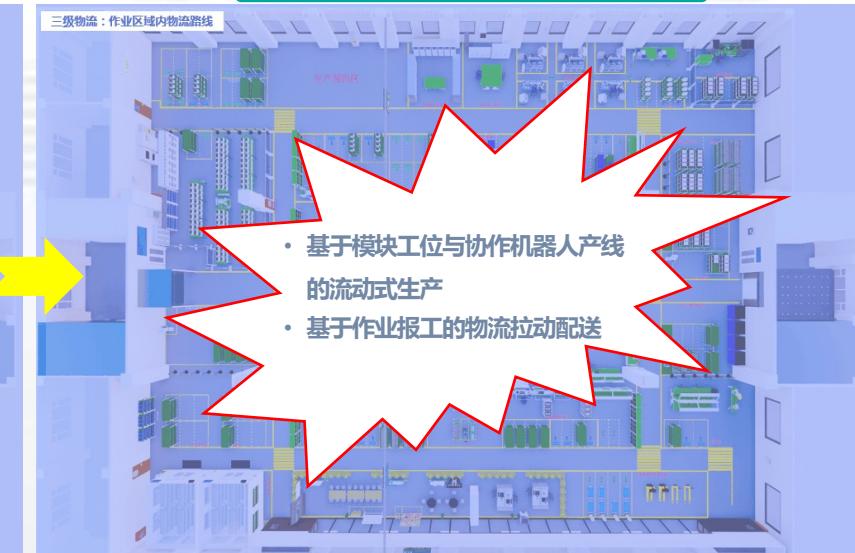
一级物流模式及整体路线 (物料+成品)



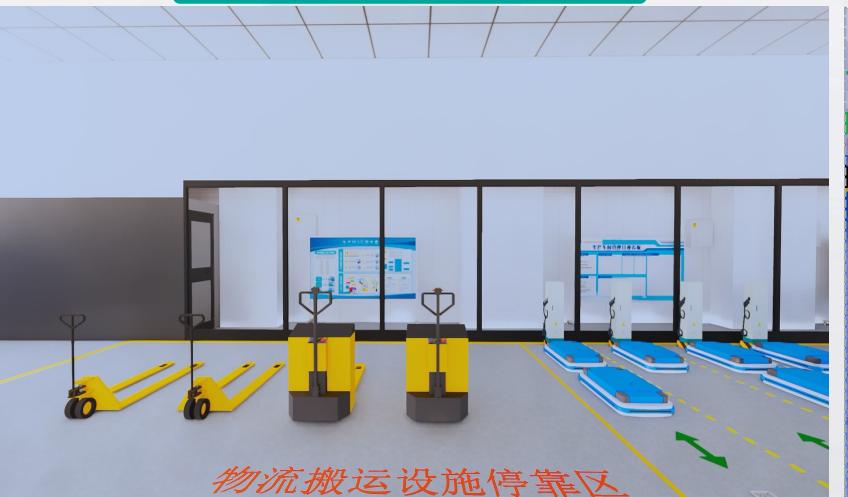
二级物流模式及整体路线 (在制品)



三级物流模式及整体路线 (作业区域内)



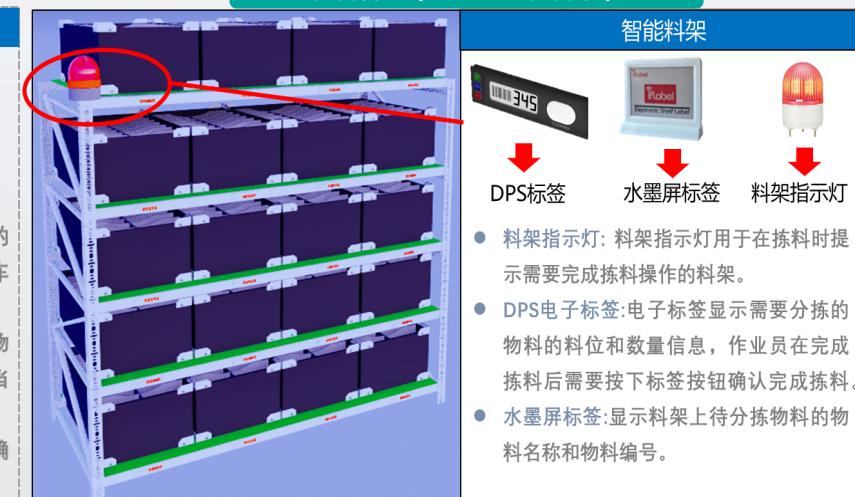
搬运设施 (AGV)



物流容器 (智能物料转运车)



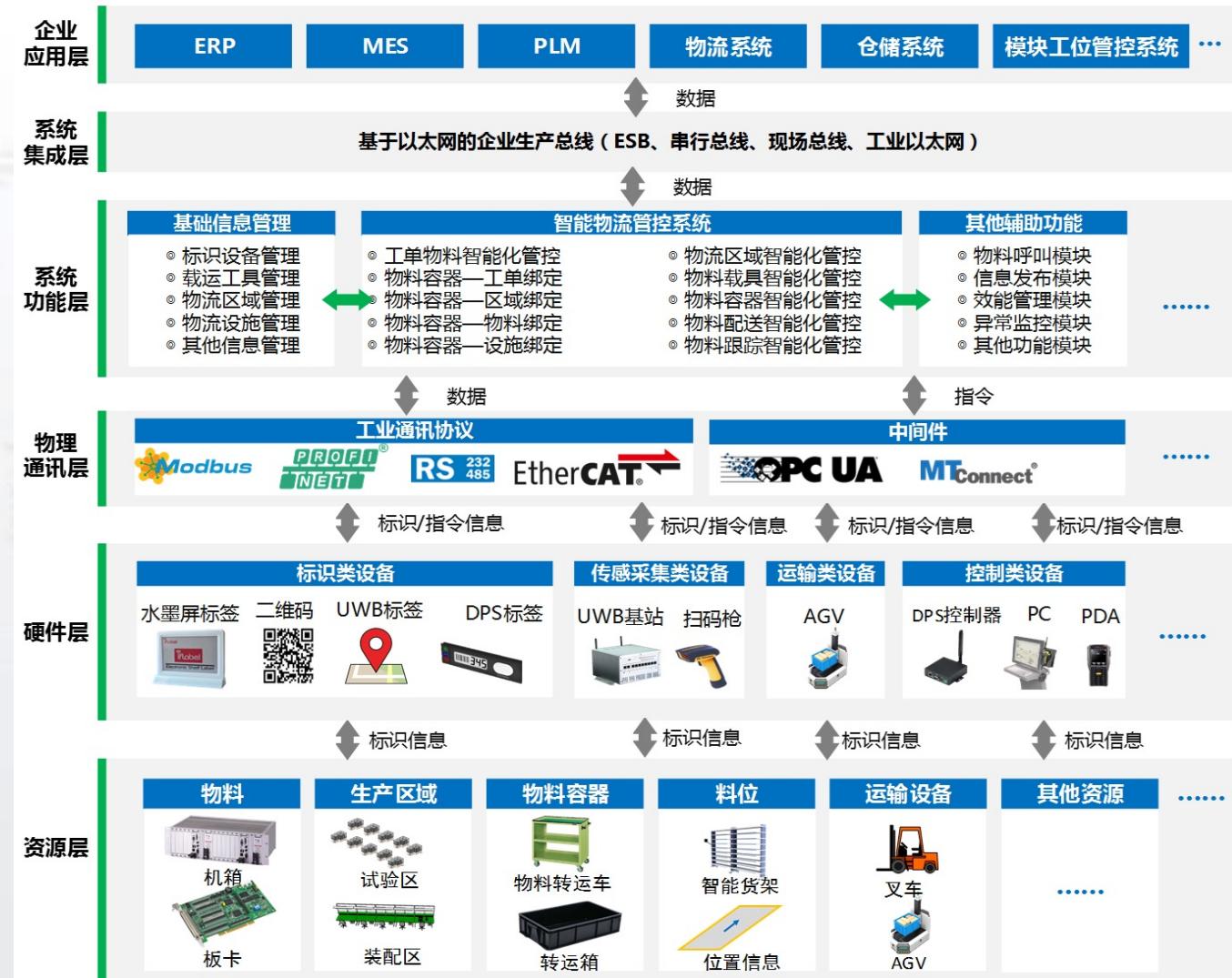
物料容器 (线边电子物料架)



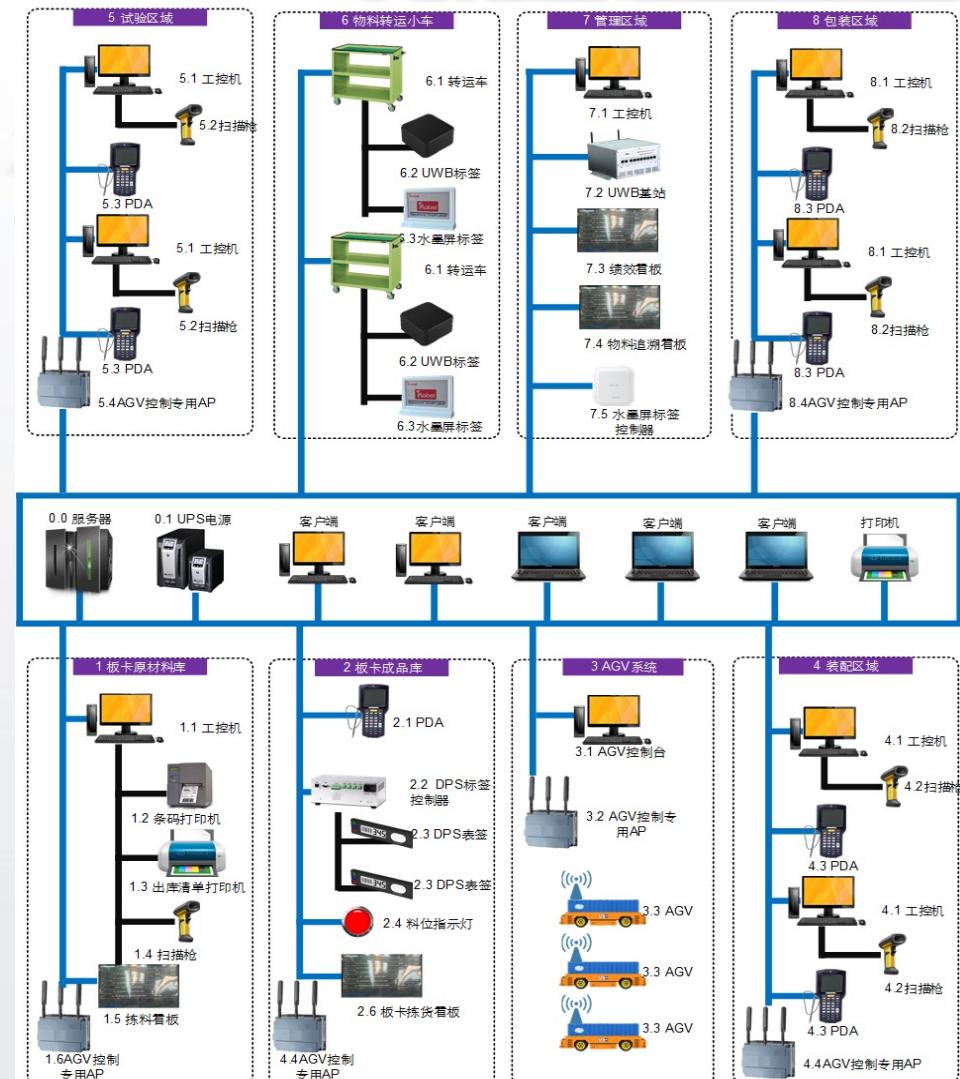
# 4.1 物流系统详细设计（物流管控系统）

## LOGISTICS SYSTEM DESIGN

### ● 物流管控系统详细设计



数字化物流系统-功能架构图



数字化物流系统-硬件架构图



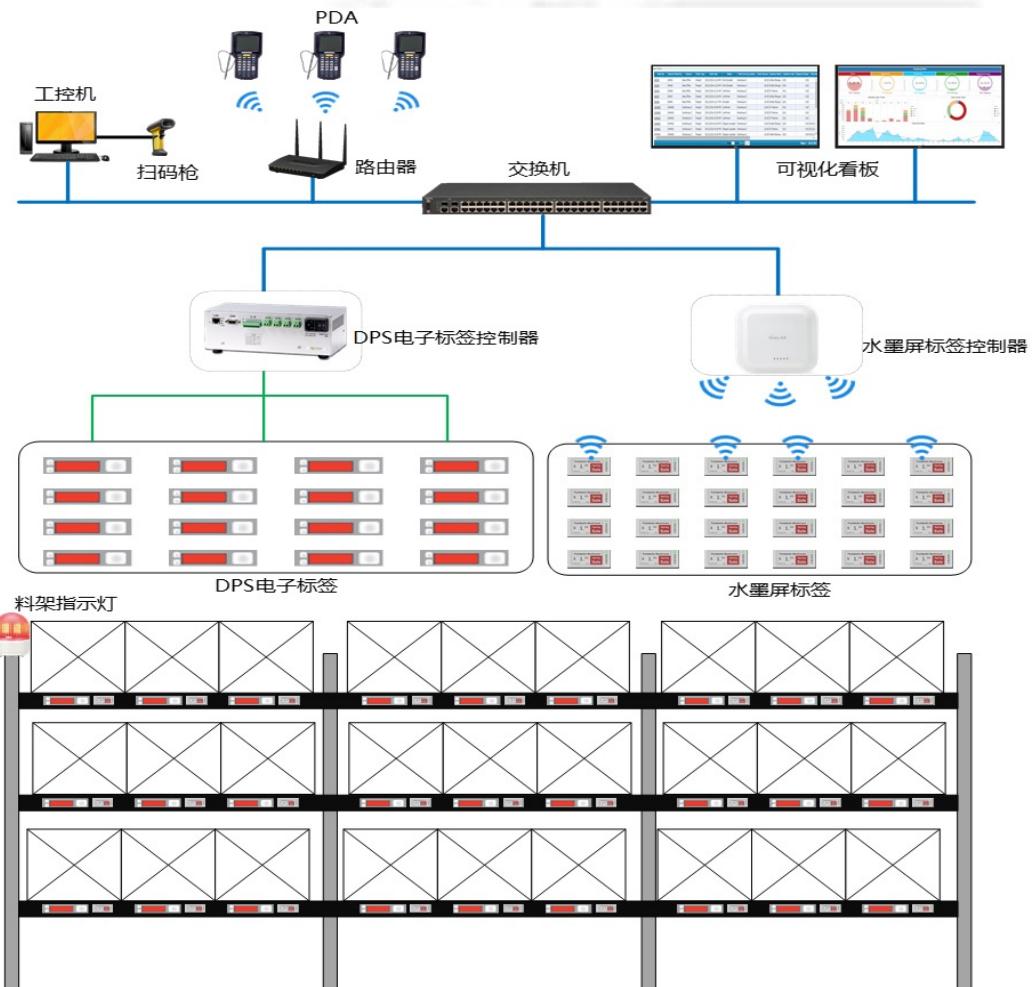
# 4.1 物流系统详细设计(仓储管控系统)

## LOGISTICS SYSTEM DESIGN

- 仓储管控系统详细设计



数字化物流系统-仓储功能架构图



数字化物流系统-仓储硬件架构图



## 4.2 作业设施设计（组装）

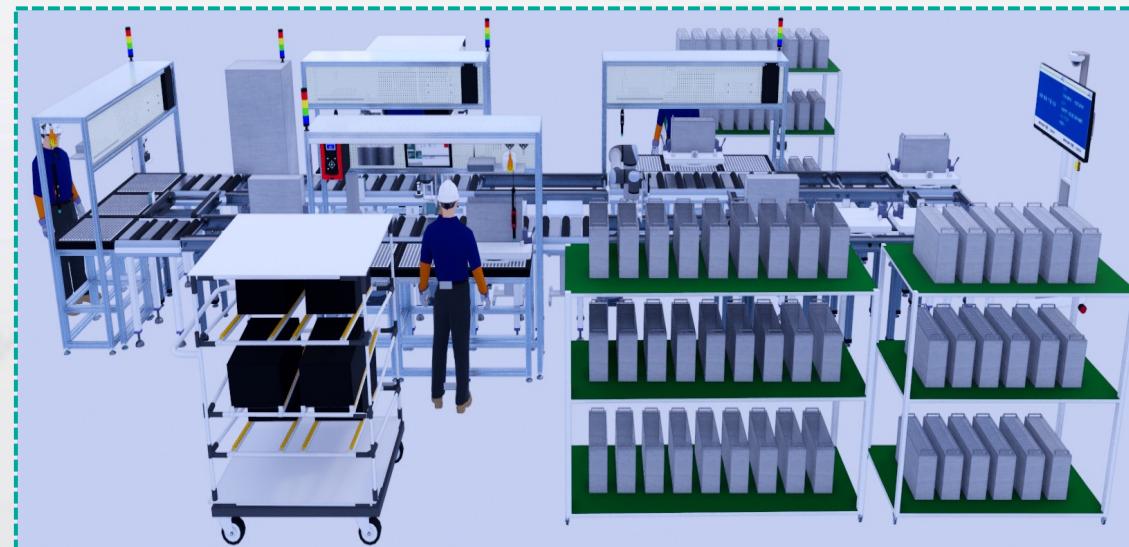
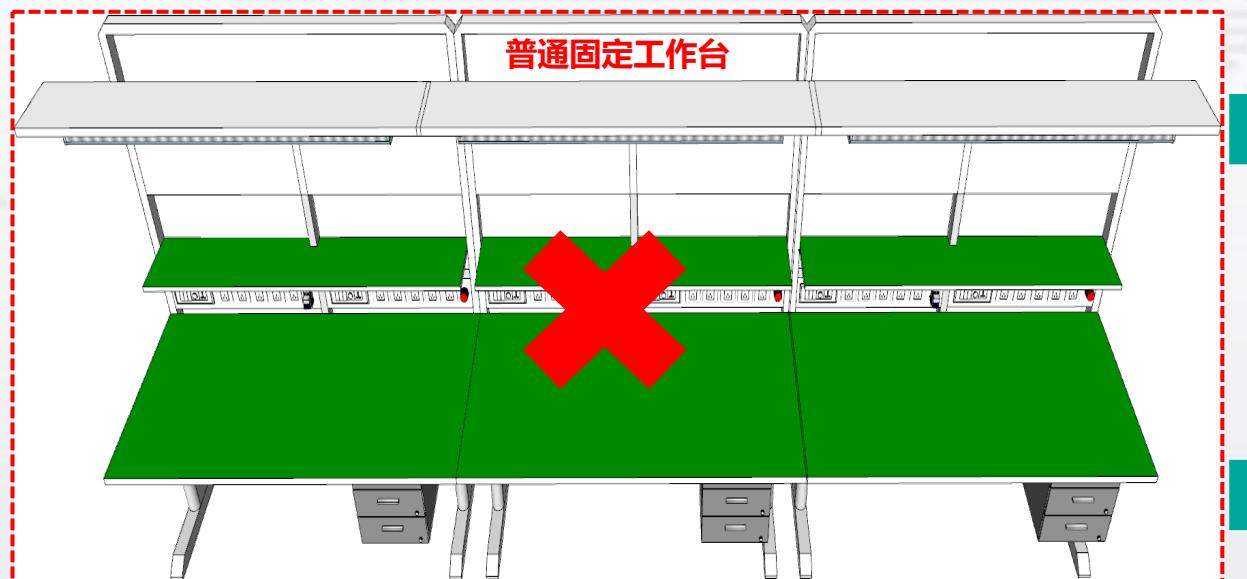
### OPERATION FACILITIES DESIGN



- 主要围绕**组装作业设施**进行优化设计

1. 基于模块化工位的装配线（针对作业周期较短、产量小的产品工艺）

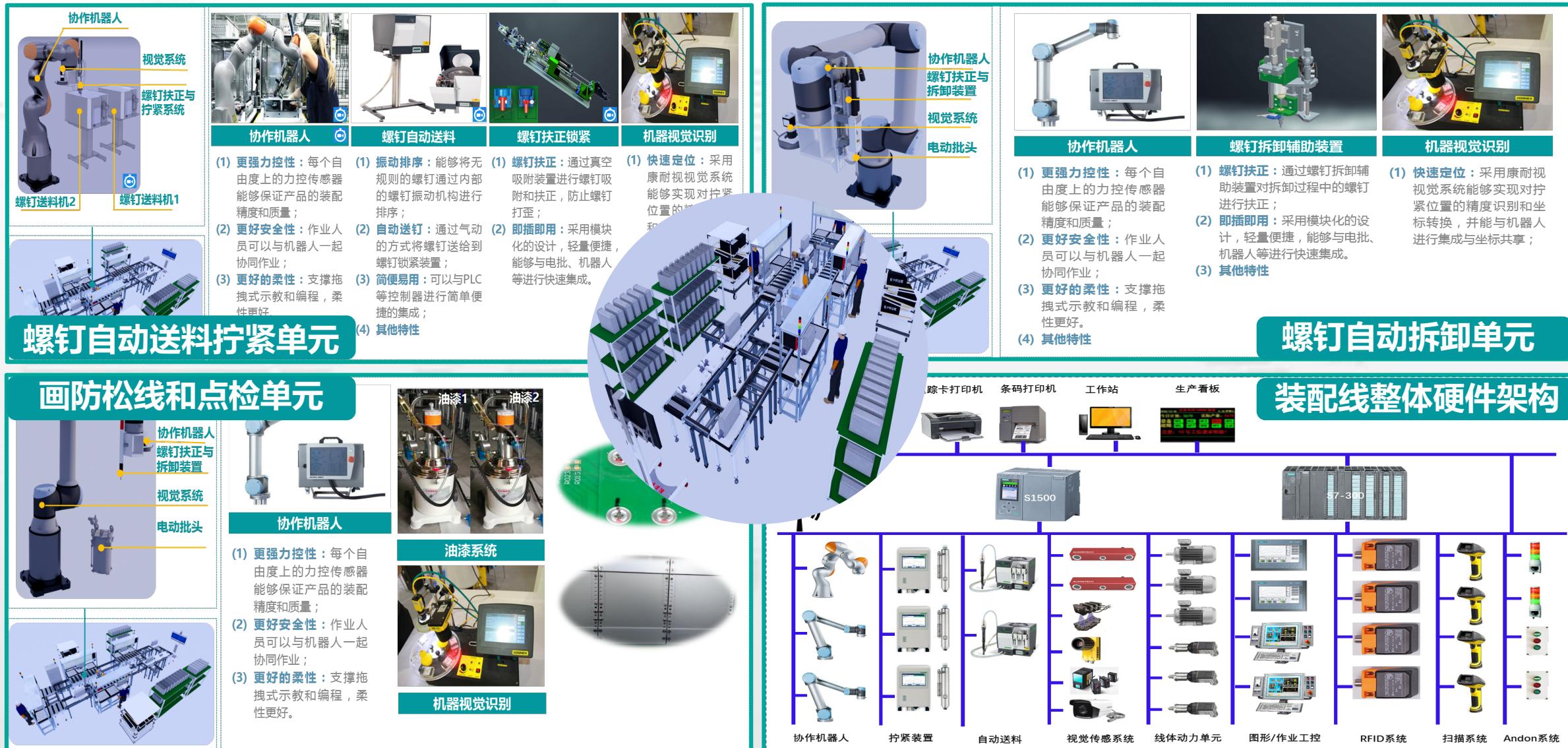
2. 基于协作机器人的混流柔性装配线（针对作业周期较长、产量较大的产品工艺）



## 4.2 作业设施设计（组装）

### OPERATION FACILITIES DESIGN

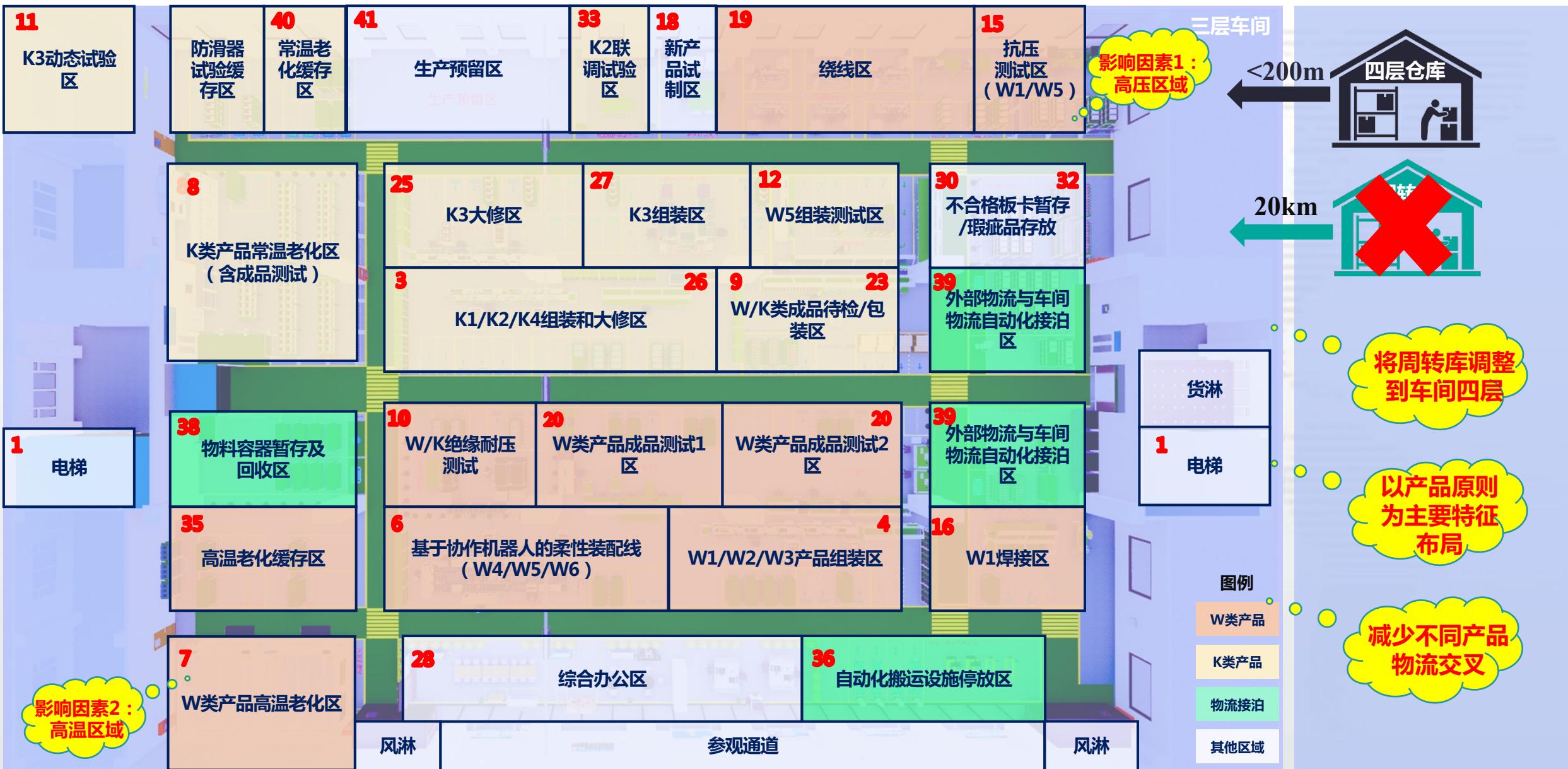
#### ● 基于协作机器人的混流柔性装配线（主要工艺单元设计）





## 4.2 布局详细设计（布局方案）

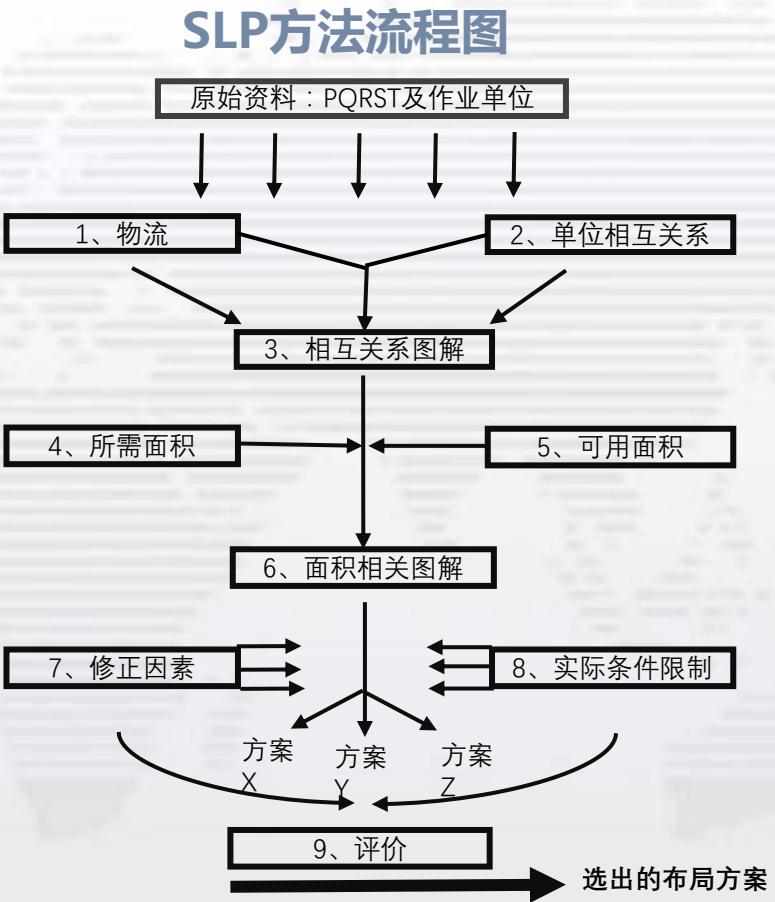
LAYOUT DESIGN





## 4.3 布局详细设计 (SLP分析)

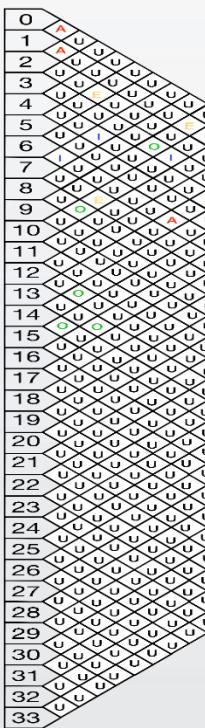
LAYOUT DESIGN



### 各作业单位之间的物流强度

序号	作业单位对 (路线)	物流强度
1	0-1	435880000.00
2	1-13	283626.17
3	6-13	248242.50
4	1-2	210381.98
5	1-9	175761.60
6	6-23	170548.08
7	2-5	145305.60
8	7-10	117334.00
9	9-23	101218.00
10	6-20	99862.08
11	4-13	91998.90
12	2-21	70057.00
13	6-7	56898.66
14	10-20	40302.92
15	2-22	27609.12
16	3-13	26974.08
17	11-27	23016.44
18	3-10	22067.64
19	13-27	20805.92
20	4-16	16987.08
21	4-23	14858.94
22	4-7	14328.96
23	1-20	13664.60
24	11-25	13589.10
25	8-27	12975.36
26	4-20	10821.86
27	8-25	8796.06
28	3-9	8618.40
29	6-16	8574.12
30	13-25	8255.52
31	8-10	6730.64
32	9-27	6468.06
33	13-16	5018.91
34	9-25	2799.09
35	1-26	2379.78
36	1-12	1048.32
37	10-26	784.68
38	1-14	640.05
39	14-12	587.04
40	1-15	517.83
41	14-15	310.56
42	9-26	260.04

### 物流相关图





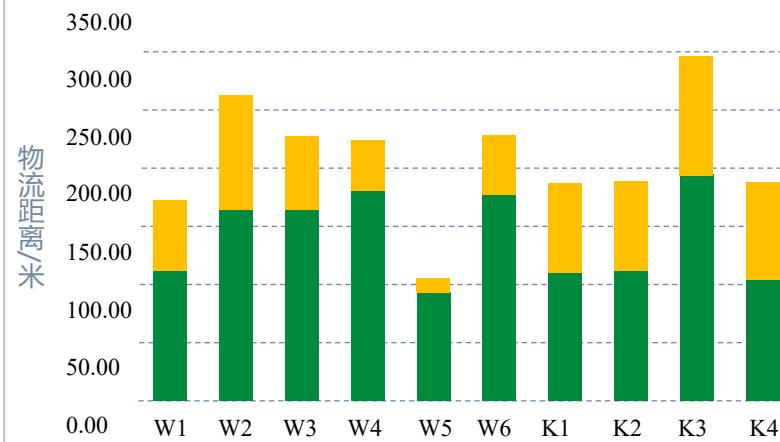
## 4.3 布局详细设计

### LAYOUT DESIGN

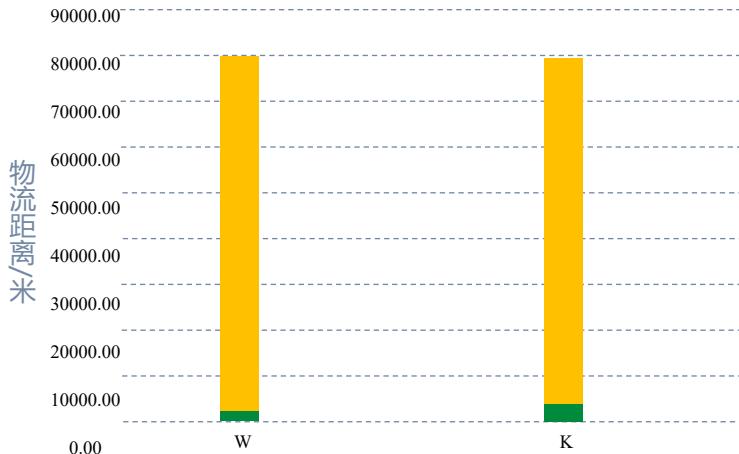


#### ● 布局指标计算与对比

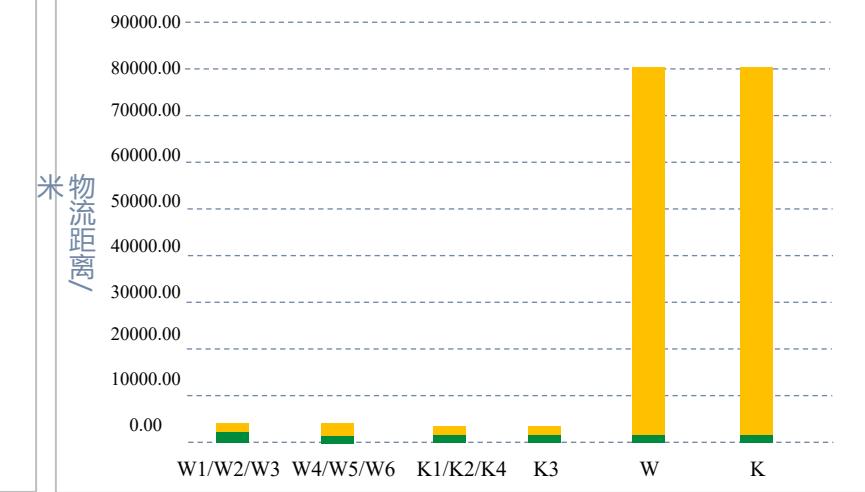
W/K类产品组装物流距离对比



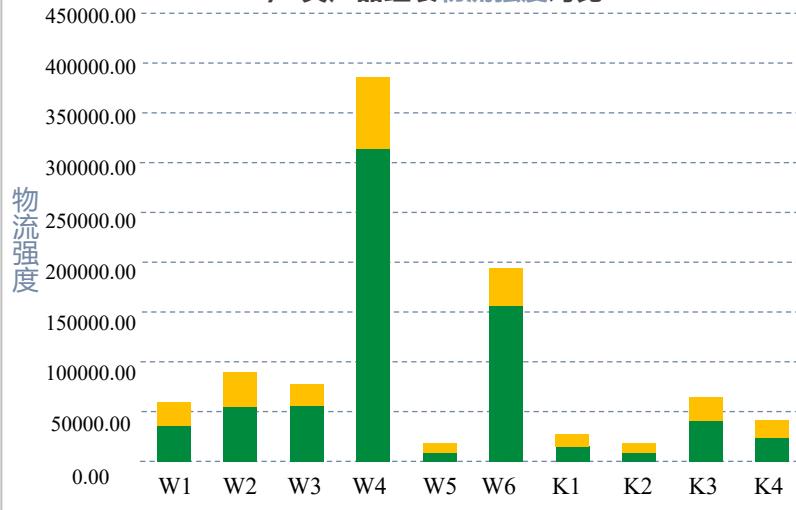
W/K类产品板卡物料检测物流距离对比



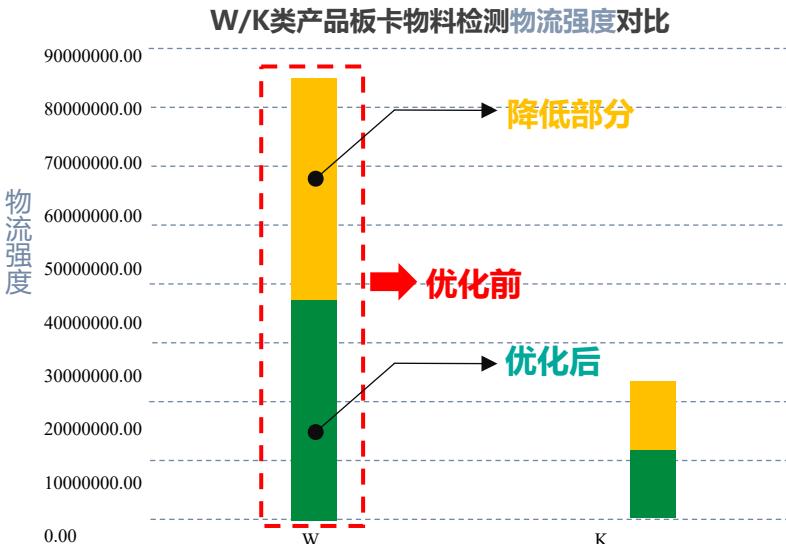
W/K类产品组装及板卡物料检测物流距离对比



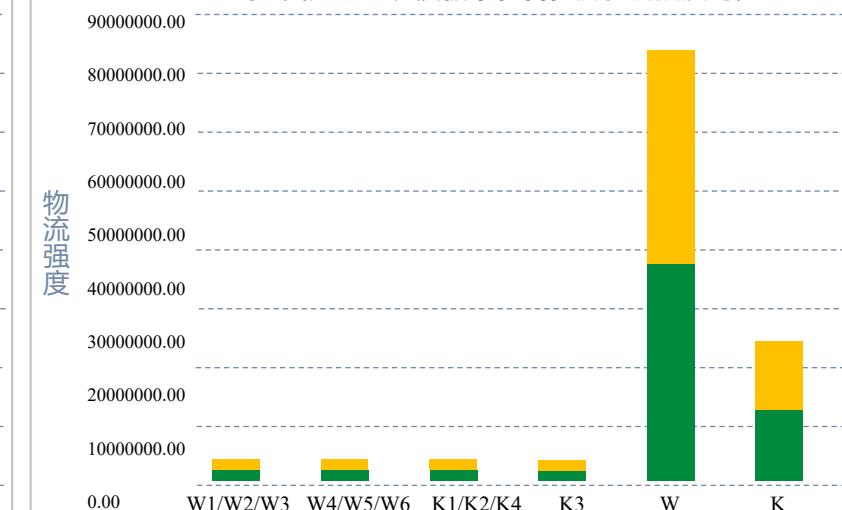
W/K类产品组装物流强度对比



W/K类产品板卡物料检测物流强度对比



W/K类产品组装及板卡物料检测物流强度对比



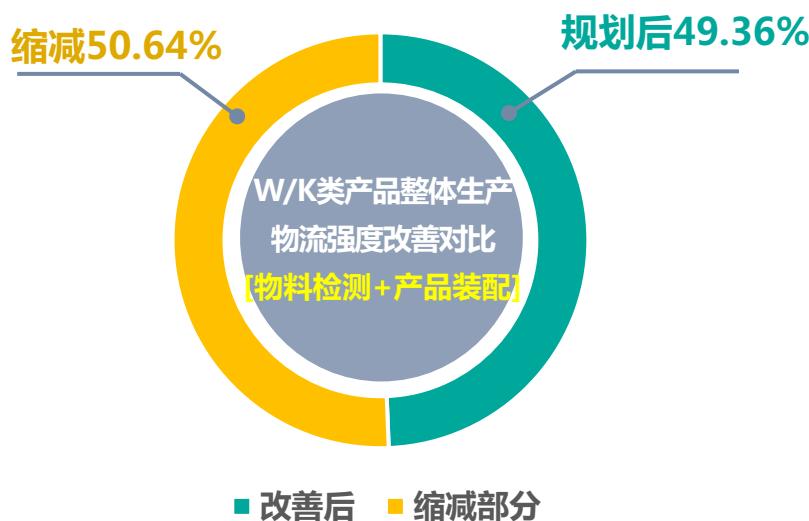
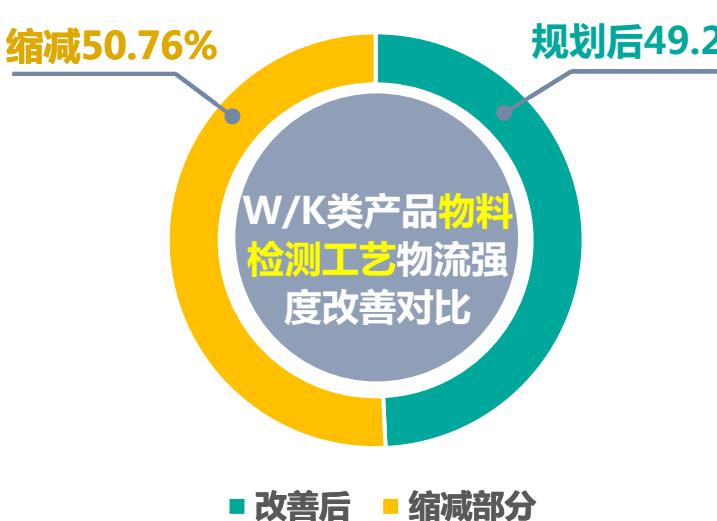
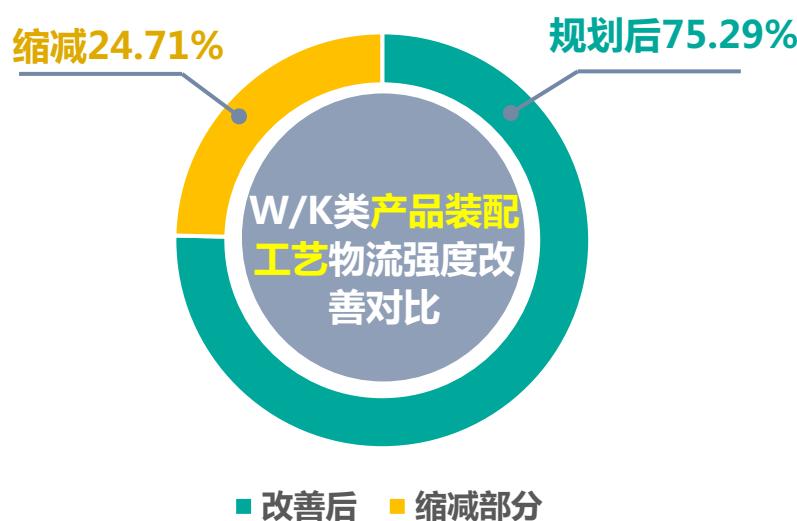
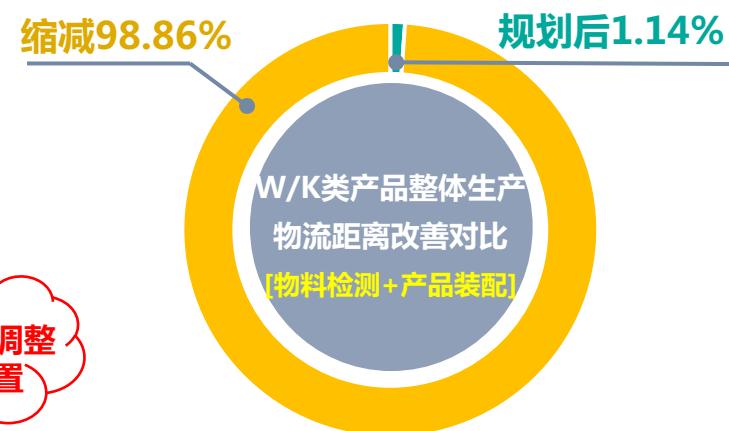
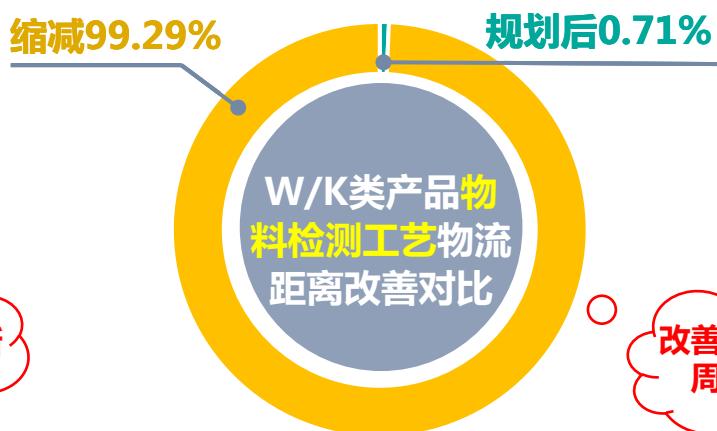
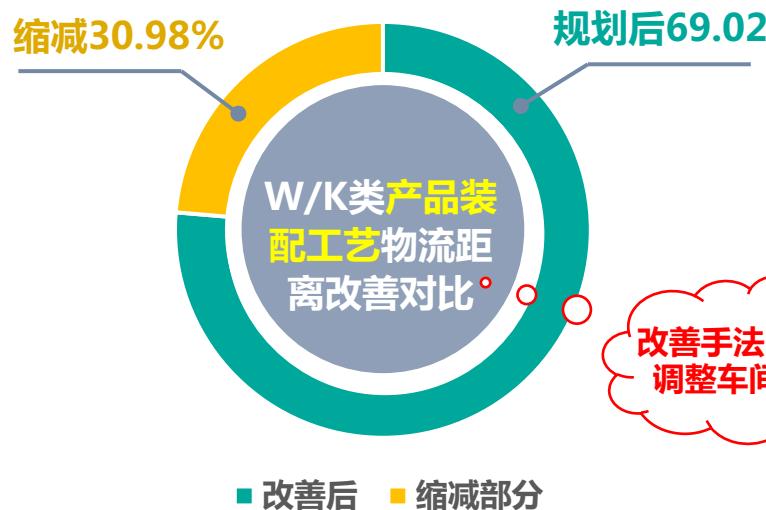


## 4.3 布局详细设计

LAYOUT DESIGN



### ● 改善前后布局指标对比分析





## 4.4 作业管控设计

### OPERATION MANAGEMENT & CONTROL



- 以组装工艺为核心的作业管控设计





## 4.4 作业管控设计

### OPERATION MANAGEMENT & CONTROL



#### ● 以组装工艺为核心的作业管控设计

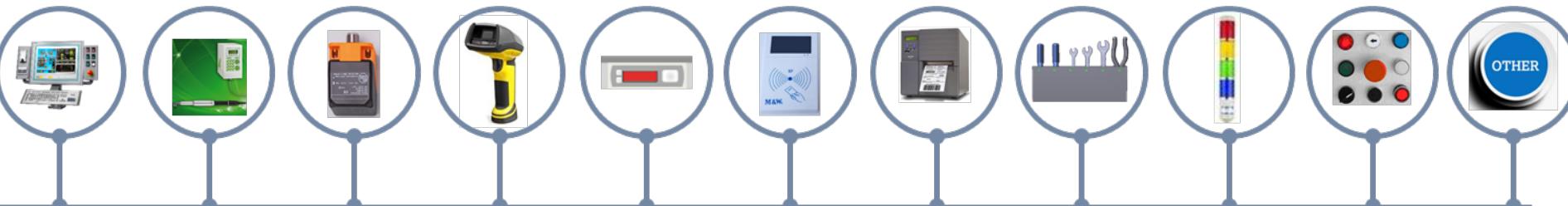


模块化数字精益工位

Digital Lean Enabled Modular Workstation



触摸一体工控 电动扭力枪 RFID 扫描枪 DPS标签 身份授权设备 条码打印机 智能工具盒 报警灯 信号操作面板 其他



#### 实时采集数据

产品信息	工具信息
物料信息	工时信息
质量信息	人员信息
计数信息	其他信息

#### Key Function

自働化防错与系统化跟踪

匹配式推送与目视化管理

#### 知识规则

物料清单	编码规则
产品BOM	设备驱动
工艺数据	人员权限
生产规范	其他数据

作业工具防错

自互检防漏

物料错装防错

物料信息防漏

物料漏装防错

看门狗校验

齐套物料防错

作业时间监测

作业顺序防错

生产异常呼叫

生产质量防错

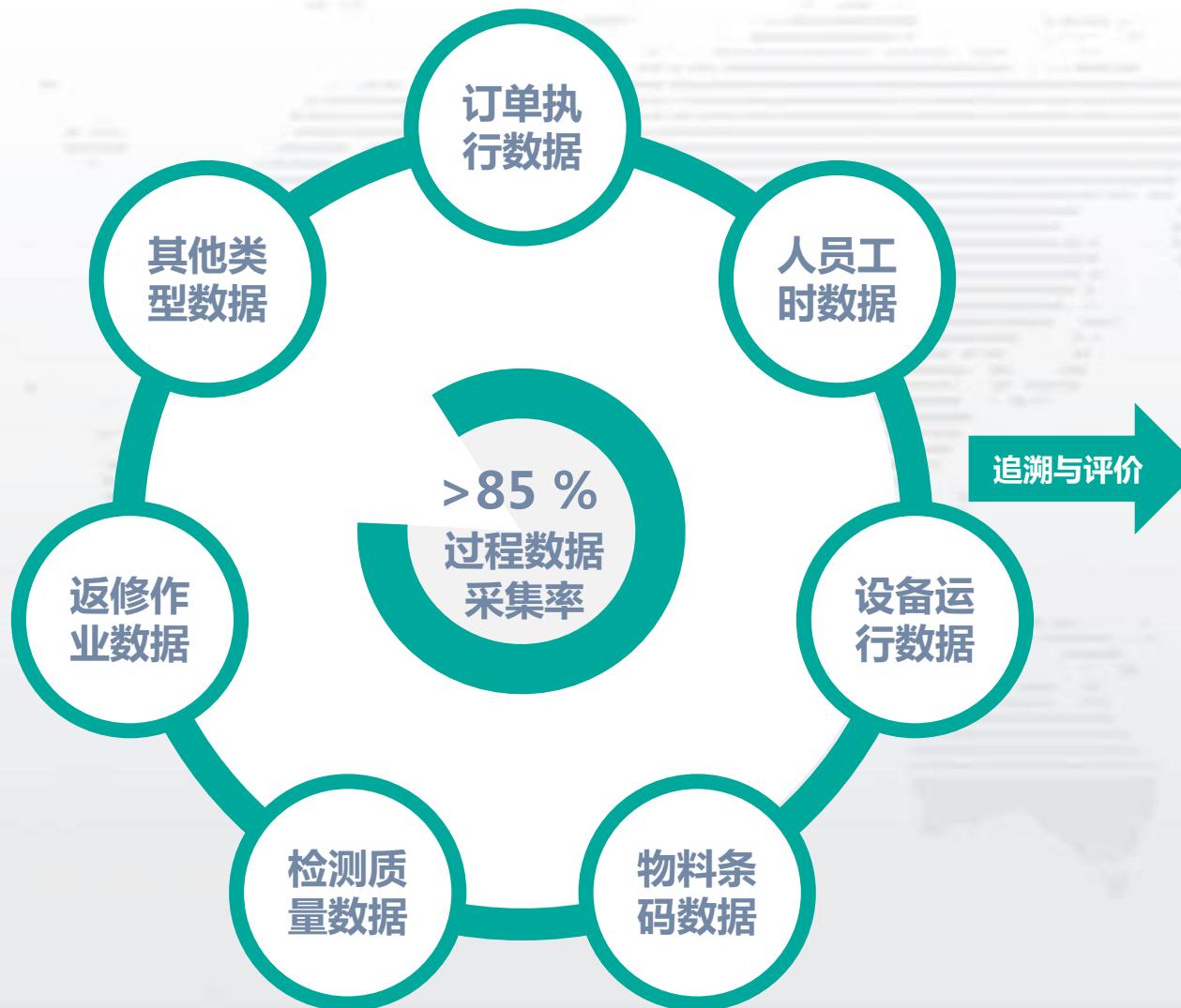
其他生产防错



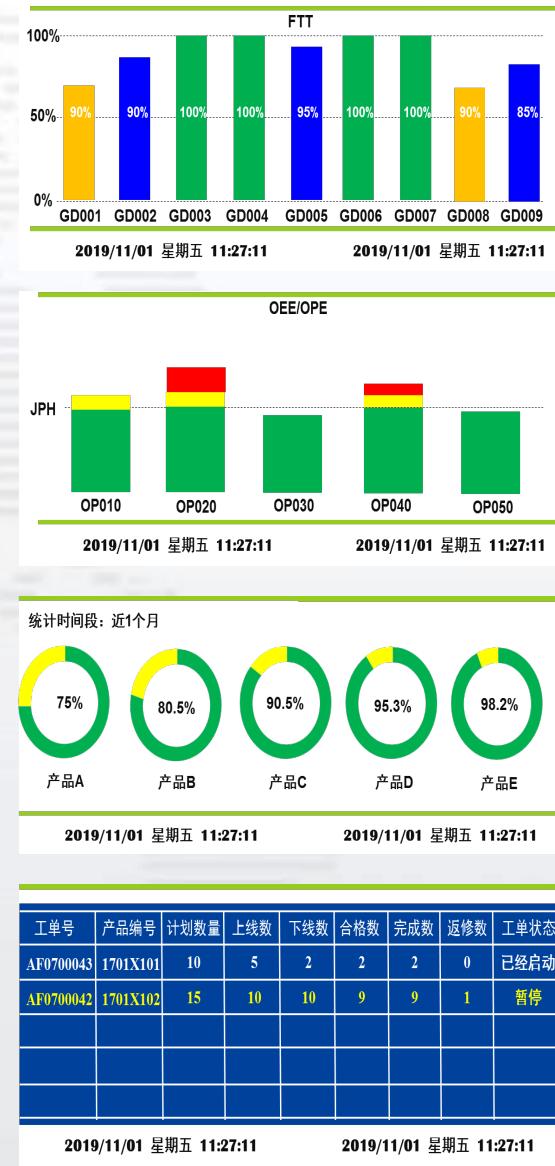
## 4.4 作业管控设计

### OPERATION MANAGEMENT & CONTROL

- 以组装工艺为核心的作业管控设计（系统效能评价）



评价指标	缩写词
生产效率	Efficiency
设备综合效率	OEE
总体人工效能	OPE
生产平衡率	Balancing Rate
单位小时产能	UPH
单位人时产能	UPPH
一次性合格率	FTT
订单准时完成率	Order Fill
其他类型指标	Other KPI



## Part 5

建模与仿真  
Modeling and Simulation



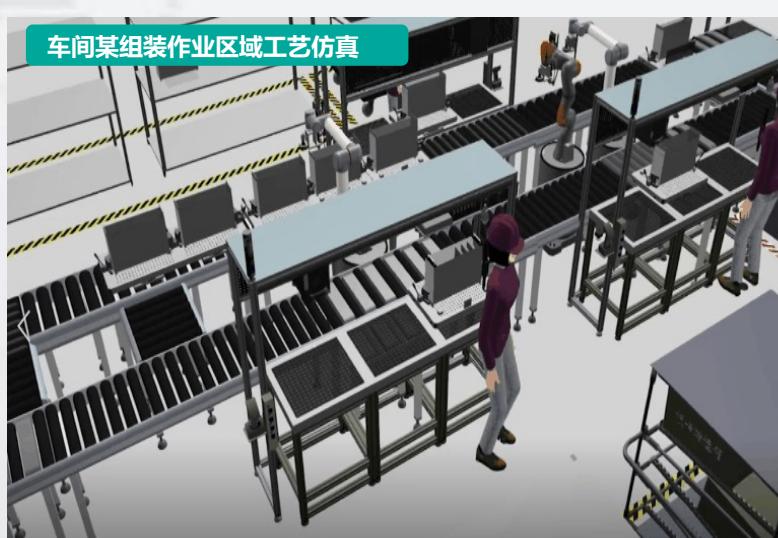
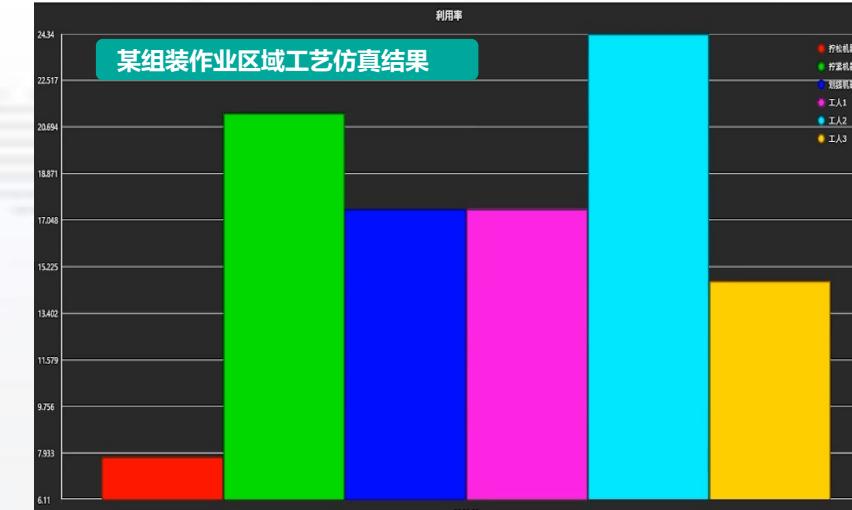
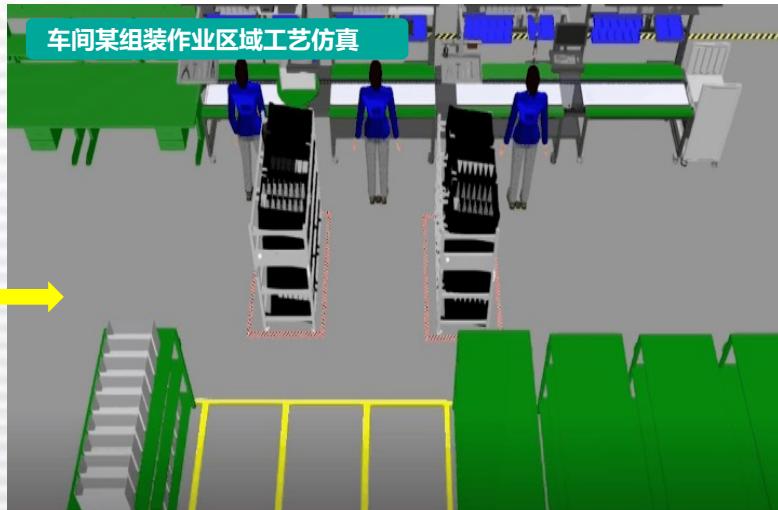


## 5.1 建模与仿真

MODELING & SIMULATION



### ● 建模与仿真（工艺与数字孪生仿真）



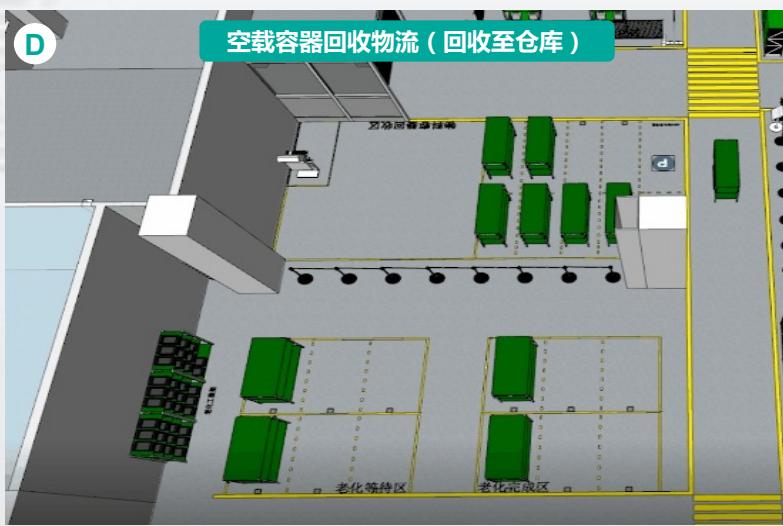
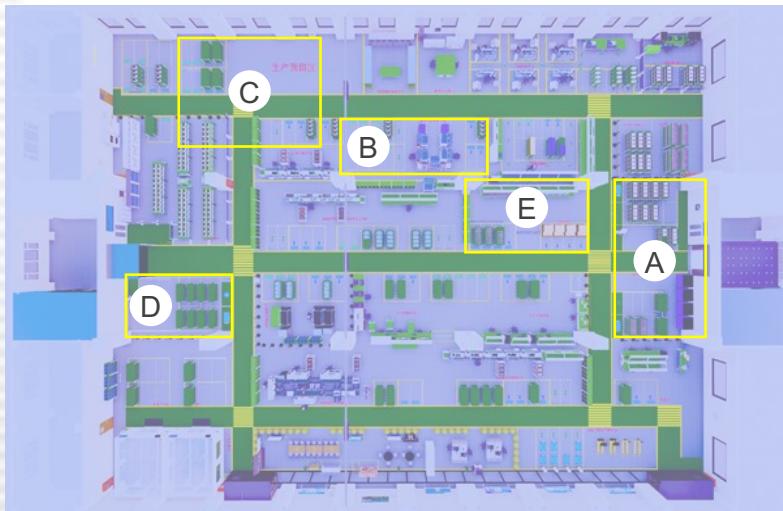
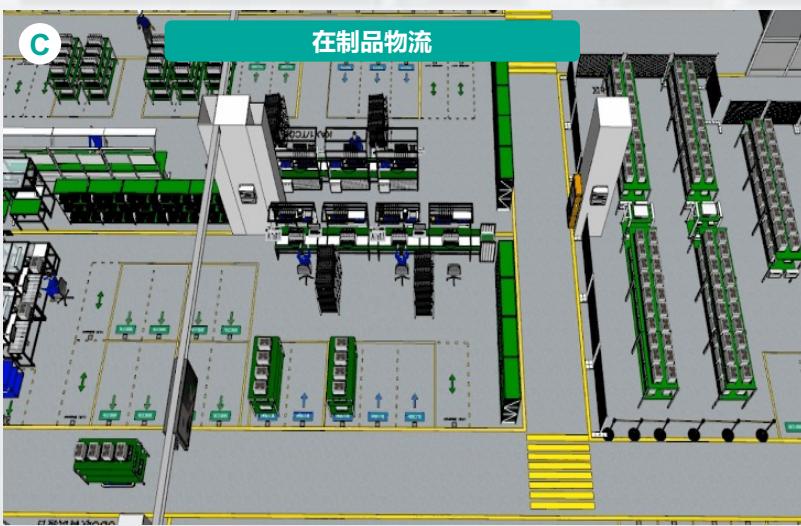


# 5.1 建模与仿真

MODELING & SIMULATION



## ● 建模与仿真（物流流程仿真）





## 5.1 建模与仿真

### MODELING & SIMULATION



#### ● 虚拟体验与关键技术验证

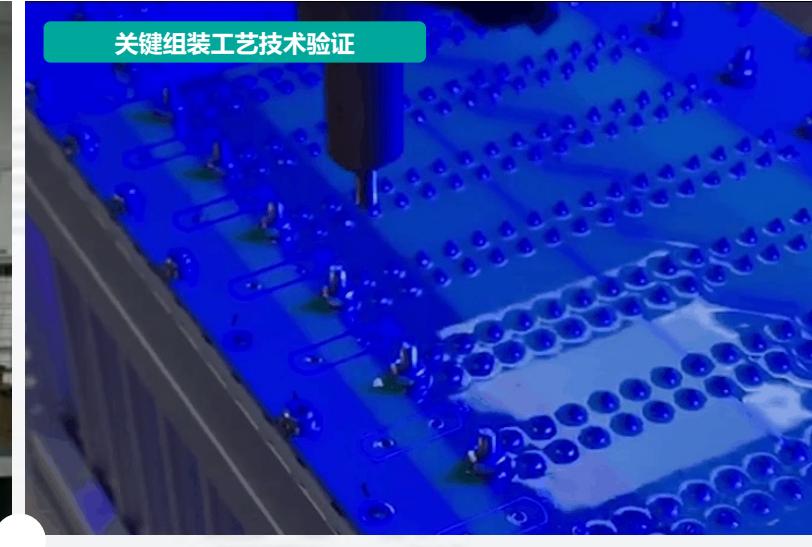
基于VR的三维建模与虚拟体验验证



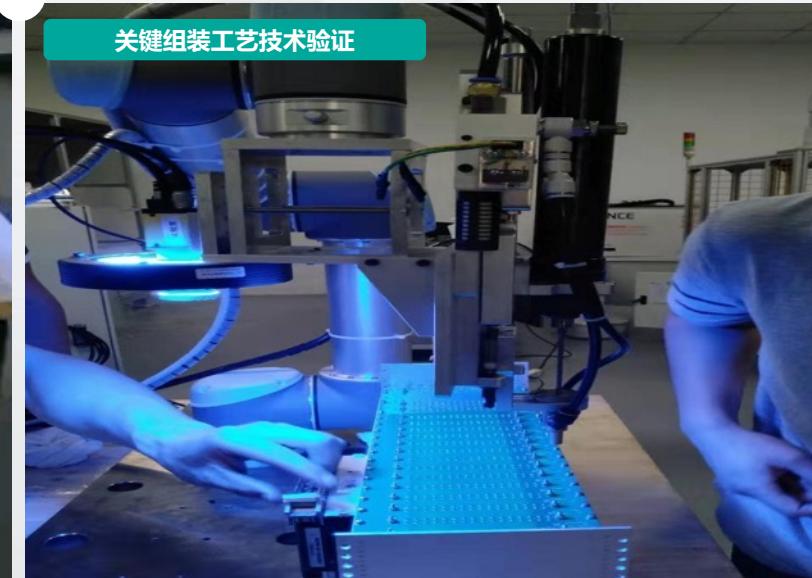
关键组装工艺技术验证



关键组装工艺技术验证



关键组装工艺技术验证



## Part 6

案例总结  
Summary





### 提高标动核心部件制造水平



生产模式优化

物流布局优化

作业设施优化

作业管控优化

- **生产模式**：整体采用数字化精益生产理念，车间各工艺功能区域之间-基于AGV的批次流；车间工艺功能区域内部-单件流。
- **作业设施**：基于模块化工位的流水线和基于协作机器人的混流柔性装配线能够提高整体的组装效率。
- **车间布局**：车间整体以产品原则为主要布局特征，各功能区内部按照单元布局原则，通过调整周转库位置和车间布局，从整体上能够减少搬运距离与物流量，使得布局更加精益合理。
- **物流系统**：按功能分为一级、二级和三级物流。一级为原材料和成品物流，二级为在制品物流，三级为各功能区域内部物流。一级和二级采用AGV进行搬运和批次流动，三级物流主要采用流水线进行单件流动。
- **作业管控**：数字化物流及储存系统能够提高物料的分拣效率，保证物料的准时化配送。组装作业管控系统增加了组装作业过程管控手段，能够提高组装作业过程数字化水平，使得生产追溯和评价更加精细化。

# THANK YOU!

---

感谢各位专家！