

建筑与生产设备协同视角下食品加工厂设计研究

张纪柏

华商国际工程有限公司, 北京 100069

[摘要]食品加工厂的设计要实现建筑空间和生产设备两个系统之间的深度配合,二者匹配得越好,生产效率越高,食品安全性越好,运营维护成本越低。文章从建筑与生产设备协同的角度出发,对食品加工厂建筑空间与设备布局衔接、功能分区与工艺流程匹配、设备运输安装和检修空间预留、人流物流与设备运行流线组织四个方面存在的问题进行了系统的梳理,并根据这些问题提出了以设备尺度优化建筑空间尺度、以工艺流程重构功能分区、以预留设备运输安装通道和检修更新空间、以人货分流梳理生产操作和设备运行流线这四项协同设计策略。研究目的在于给食品加工厂建筑设计提供建筑和设备协同的方法论参考。

[关键词]食品加工厂;建筑设计;生产设备;协同设计;空间布局

DOI: 10.33142/aem.v8i7.20303

中图分类号: TS254.8

文献标识码: A

Research on the Design of Food Processing Plants from the Perspective of Collaborative Construction and Production Equipment

ZHANG Jibai

Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100069, China

Abstract: The design of food processing plants should achieve deep coordination between the building space and production equipment systems. The better the match between the two, the higher the production efficiency, the better the food safety, and the lower the operation and maintenance costs. Starting from the perspective of collaboration between architecture and production equipment, this article systematically sorts out the problems existing in the connection between building space and equipment layout, functional zoning and process matching, reserved space for equipment transportation, installation and maintenance, and organization of personnel, logistics and equipment operation flow lines in food processing plants. Based on these problems, four collaborative design strategies are proposed: optimizing building space scale with equipment scale, reconstructing functional zoning with process flow, reserving equipment transportation and installation channels and maintenance update space, and sorting production operations and equipment operation flow lines with personnel and goods separation, in order to provide a methodological reference for the coordination of architecture and equipment in the design of food processing plant buildings.

Keywords: food processing plant; architectural design; production equipment; collaborative design; spatial layout

引言

食品加工厂属于建筑空间和生产设备紧密相连的工业建筑类型。建筑给设备提供安装载体和运行环境,设备的尺寸和布局又反过来影响建筑的空间尺度和结构选择,两者互相制约、互相依存。食品工厂规划是一个系统的工程,它要把产品的工艺和流程、卫生标准和功能分区、生产设备和设施、产能和效率、交通和物流等许多因素综合起来考虑。但是,在目前的设计实践中,建筑设计和工艺设备设计常常是在两个不同的专业、不同的阶段进行的,建筑方案确定在前、设备选型安排在后的情况也十分普遍。

车间布置设计以工艺为主导专业,在设备、土建、电力、自控仪表、水、暖等多专业配合下完成。建筑空间与设备需求不能达成有效的协同机制,会造成空间浪费、操作不便、流线混乱等状况,进而对工厂运行效率以及食品安全造成影响。本文从建筑和生产设备协同的角度出发,研究食品加工厂建筑设计的优化途径。

1 食品加工厂建筑设计特点

食品加工厂的建筑设计不同于一般的工业建筑,其特点是由食品生产的卫生安全、环境控制和工艺流程所决定的。卫生安全上,食品加工厂要依照清洁程度来划分作业

区域。GB 14881-2025 中规定了清洁作业区、准清洁作业区、一般作业区三级划分,并且必须用物理分隔(隔墙、独立门窗、缓冲间)来保证隔离。不同洁净等级区域之间要设缓冲室、风淋室等防止交叉污染的设施。布局要符合工艺流程的要求,防止交叉污染。分区逻辑贯穿于建筑设计全过程,总平面、车间平面、材料选用、构造节点均应以卫生安全为起点。

食品加工厂对于温湿度、洁净度、通风换气等环境参数都有一定的要求。清洁作业区、准清洁作业区的层高不小于 4m,满足通风、设备安装、人员操作的空间需要。普通车间顶面不小于 3m,蒸煮间等高温区不小于 5m,保证通风和操作空间。建筑围护结构、空调净化系统、给排水设施的设计要与设备运行要求相适应。

食品加工厂空间组织要按照生产工艺的顺序来安排。按照原料、验收、预处理、加工、熟制/杀菌、冷却、内包装、外包装、成品的顺序进行布局,形成单向流动,不能有交叉或者倒流的情况出现。建筑设计要给这个流程赋予连续、顺畅的空间载体,保证物料在生产过程中流动的路径最短、最直接。

2 食品加工厂建筑与生产设计现状及问题

2.1 建筑空间与设备布局衔接不足,生产操作空间受限

建筑空间和生产设备之间衔接不畅,在目前食品加工厂的设计当中,属于最常见的一种问题。很多工厂在设计之初没有对设备的尺寸、操作半径、安装方式有充分的认识,造成建筑空间和设备的实际需求存在较大的差距。车间的空间要与生产相适应,一般情况下,生产车间内加工人员人均拥有的面积,除设备外,应不少于 1.5m^2 。但是,在实际的项目当中,由于设备安装之后操作空间被严重压缩的情况时有发生。设备之间、设备与墙壁之间留有一定的通道或工作空间,该空间的大小以生产经营人员完成生产作业(包括清洗消毒),不致因为衣服或者身体的接触而污染食品为原则,一般其宽度不小于 0.6m。但是最低要求常常被忽略,在实际的设计中,操作人员转身困难、清洁工具不能伸入设备间隙等现象时有发生。另一方面建筑层高没有考虑到设备高度和顶部管线的综合考虑。厂房层高确定时要考虑设备设施本身的尺寸,基础、顶部突出部分的尺寸、顶部输送管道或提升设备安装高度、生产操作和设备检修的高度等。

2.2 建筑功能分区与生产工艺流程匹配度不高

建筑功能分区同生产工艺流程相适应,才能保证生产效率 and 食品安全。生产设备的布置要符合产品生产工艺流程的要求,防止交叉污染。但是,在实际工作中,建筑功

能分区同工艺流程相脱离的情况比较普遍。部分工厂的建筑方案确定在先,工艺流程和设备布置在后,造成功能分区不能真正服务于生产工艺。厂房和车间应根据产品特性,按照生产工艺流程布置,划分为一般作业区、准清洁作业区、清洁作业区,各区域之间物理隔离清楚,防止人流、物流、气流交叉。但是很多已有的工厂改造项目中,由于建筑空间先天的限制,不同的洁净等级区域不能达到有效的物理隔离,清洁作业区(熟制后段、内包装、无菌灌装)需要保持正压通风(压差 $\geq 5\text{Pa}$),防止低洁净区空气倒灌——在以自然通风为主的旧厂房中几乎不可能做到^[1]。车间面积、空间净高应根据产品种类、生产能力来确定,车间内应有足够使用空间,便于设备安装、清洁消毒、物料存储和人员操作。功能分区和工艺流程不匹配会加大物料转运距离和次数,还会产生交叉污染。

2.3 设备运输、安装及检修空间考虑不足

设备运输、安装、检修所占空间,是食品加工厂建筑设计中常常被忽略的方面。大型生产设备的进厂、就位和日后检修,对于建筑的门洞尺寸、通道宽度、楼面荷载、吊装条件等都有具体的要求。根据设备大小和结构来确定设备安装、检修、拆卸所占空间和面积。但是很多工厂在设计阶段没有留出足够的空间,设备进场时发现大门尺寸不够、通道转弯半径不够、楼面承载力不能满足要求。考虑设备可以顺利进出车间,经常搬动的设备应设在设备附近有大门或孔,大门宽度比最大设备宽 0.5m。对于通过楼层的设备,在楼面上应设吊装孔,多层楼面的吊装孔应设在每层相同位置。厂房中应有一定的面积和空间供设备检修及拆卸用。设备起吊运输高度应大于运输线路上最高设备高度。但是由于缺少对设备全生命周期需求的预估,设备检修时常常需要临时拆墙、破顶,不但会加大维修费用,还会干扰正常的生产秩序。

2.4 人流、物流与设备运行流线交叉干扰

流线组织属于食品加工厂设计当中最为困难的问题之一。食品生产要保证原料、人员、成品、废弃物各不相干,防止交叉污染。总平面布置要符合厂区内、外的交通运输要求,按照食品生产的特性来安排人员、物流流线以及各个功能区,各区的功能、人行和物流通道都要有明显的标识。但是人流、物流和设备运行流线交叉干扰的现象非常普遍。人流经过二次更衣、风淋、洗手消毒等缓冲流程后进入物流区,物流区设双门互锁传递窗(带紫外消毒),禁止人员和物料交叉折返。但是许多工厂的生产操作人员通道和物料运输通道没有严格的划分,原料入口、成品出口、废弃物出口三个出口独立分开的要求没有得到执行^[2]。

食品加工区各个车间应设有人流、物流专用通道并保持分隔,出入各个生产车间的原料、包装容器或者材料、废弃物等应设置专用物流通道。流线交叉会加大食品安全隐患,还会造成设备运行受人活动影响,从而降低生产效率。工艺布局设计中的人流物流设计原则,即进入洁净区操作人员与物料不能共用一个入口,在实际设计中由于空间限制而被忽略。

3 建筑与生产设备协同的食品加工厂设计策略

3.1 基于设备尺度与操作需求优化建筑空间尺度

建筑空间尺度的确定要以设备实际尺寸和操作要求为基础,不能照搬标准化的建筑模数。层高确定要考虑到设备自身高度、设备基础高度、顶部管道和桥架空间、操作和检修净空等各个方面。清洁作业区和准清洁作业区的层高不小于 4m;对装有大型立式设备或者顶部输送系统的车间,层高应在此基础上再加高。高温、高湿的煮制间等间要适当提高工作间厂房的高度,并且增设天窗进行通风排气和采光。柱网尺寸的选择要和设备布置方案共同优化。柱网间距要与建筑模数一致,柱网宽度、长度和柱距的选择要依据生产的规模和工艺标准。车间跨度一般为 9m、12m、15m、18m、24m 等,根据生产线排列方式及设备操作距离来定。设备间距不小于 0.8m,主通道不小于 1.2m,设备离墙不小于 0.8m,在建筑平面设计中应作为刚性约束加以落实。不同食品品种因为设备尺寸、布局方式的不同,对建筑空间尺寸要求也不同(表 1)。

3.2 围绕工艺流程重构建筑功能分区与空间序列

建筑功能分区要按照工艺流程来组织,用物料流向作为线索来组织空间序列。按照原料、前处理、加工、包装、成品的顺序布置,形成单向流动。原料入口和成品出口完全分开,没有交叉。在平面布置上,应根据清洁程度将车间分为清洁作业区、准清洁作业区和一般作业区,三区隔墙+门+缓冲间完全隔离,不得直接相通,设压差梯度(清洁区>准清洁>一般)。清洁作业区(高风险)为正压、高洁净、独立密闭;准清洁作业区为相对正压;一般作业区为常压。不同的洁净度区域的人流、物流不能交叉,该原则应当成为功能分区的基本准则。在空间序列上,从原料入口到成品出口要形成一个连续的、单向的、不折返的流动路径^[3]。食品工厂有爆炸危险的甲、乙类车间应单独设置,采用敞开式或者半敞开式。多层厂房应按楼层划分

方法来确定各个楼层的作业单位,用垂直运输设备实现楼层间物料的流转。建筑功能分区的重新划分要为工艺流程的改进服务,而不是相反。

3.3 预留设备运输安装通道与检修更新空间

设备运输、安装和检修所必需的空间应在建筑设计阶段进行系统的预留。总平面设计时要规划设备运输专用通道和卸货场地,保证大型设备可以顺利运抵安装位置。建筑单体方面,大门宽度比最大设备宽 0.5m;不经常检修的设备可以在墙上开设安装孔。对于通过楼层的设备,在楼面上应设置吊装孔,多层楼面的吊装孔应设在同一层相同位置。底层吊装孔附近应设置大门,方便进出。在车间内部,设备之间或者设备与墙之间的净距离大小没有统一的规定,但是设计者需要根据布置的要求、设备的大小、设备上连接管线的数量、管径的粗细、检修的频繁程度等因素,结合生产经验来确定安全距离。厂房中应有一定的面积和空间供设备检修及拆卸用。车间布置一旦施工完成就很难再进行调整,因此在设计时必须充分考虑。兼顾当前生产需求和未来的发展,预留一定的扩展空间,采用模块化设计思想,便于后期设备更新、产能扩大。该理念应该贯穿到建筑的设计过程中。

3.4 人货分流,梳理生产操作与设备运行流线

流线组织的主要原则就是“人货分流、洁污分离”。生熟分开、洁污分离、人流物流分流这 12 个字应当成为流线设计的基本准则。在总平面图上原料入口、成品出口、废弃物出口三处分别独立设置。厂区总平面应按地形、地质、气象等自然条件来布置。在车间内,洁净生产区应设专用走人通道和运送物料的通道。人流道上只准走人不准运物,物流道上只准运物不准走人。进入洁净区操作人员及物料不得共用一个入口。应该分别设立操作人员入口和物料入口通道。每个进行单元操作的洁净室至少设两个门,进出操作人员和物料的门分开。在流线方向上,人流由清洁度高向清洁度低的区域流动,污水流向由清洁区、准清洁区、一般区依次流出,不得逆流^[4]。厂房和车间应根据产品特点,按生产工艺流程布局,不同区域物理分隔清楚,防止人流、物流、气流交叉。独立设置各种流线通道、物理隔离不同的洁净区域、合理规划流向方向,可以有效地消除流线交叉造成的食品安全隐患和运行管理障碍。

表 1 不同食品品类加工设备尺度与建筑空间需求对照

食品品类	典型设备高度	建议层高	建议柱距	设备间距要求	吊顶净空要求
烘焙食品	2.5-4.0m(旋转烤炉)	≥6.0m	≥8.0m	两侧≥1.2m	≥0.8m(排烟管道)
饮料加工	3.5-6.0m(灌装塔)	≥8.0m	≥9.0m	两侧≥1.5m	≥1.0m(管道桥架)
乳制品	3.0-5.0m(发酵罐、均质机)	≥7.0m	≥8.0m	两侧≥1.5m	≥0.8m(CIP 管道)
肉制品加工	2.8-4.5m(斩拌机、烟熏炉)	≥6.5m	≥8.0m	两侧≥1.2m	≥0.8m(排烟管道)
传统酿造	3.0-5.0m(发酵罐)	≥6.0m	≥7.5m	两侧≥1.0m	≥0.5m(通风管道)

4 结语

食品加工厂设计属于建筑空间同生产设备深度协作的系统工程。本文从建筑和生产设备协同的角度出发,对目前食品加工厂在空间尺度、功能分区、检修空间、流线组织四个方面存在的问题进行了分析,并提出相应的协同设计策略。研究表明,建筑和生产设备的协同设计要贯穿于食品加工厂设计的全过程,建筑空间尺度要以设备尺度和操作要求为依据,功能分区要按照工艺流程重新组织,运输安装和检修空间要系统预留,人流物流要与设备运行流线严格分开。只有把设备需求当作建筑设计的主要输入条件之一,而不是被动地适应于它,才能真正达到建筑空间和生产设备有机融合的目的。未来研究可以进一步探究数字化建模与仿真技术对建筑-设备协同设计的影响,

也可以对不同种类的食品差异化设计方案做系统的归纳。

[参考文献]

- [1]王晓霞.智能化技术在食品冷链建筑运维中的应用[J].食经,2026(11):137-139.
- [2]位周洋.集群型食品冷库监控系统的设计与实施[D].吉林:吉林建筑大学,2025.
- [3]黄旭.H 食品产业园建设项目施工风险管理研究[D].安徽:安徽财经大学,2024.
- [4]朱庆龙.某现代预制菜食品加工厂的建筑电气设计探讨[J].江西建材,2023(8):177-178.

作者简介:张纪柏(1989—),男,汉族,山东省肥城市人,高级工程师,硕士研究生,研究方向为食品加工项目工艺设计及厂房设计。