

工业建筑设计原理

刘 鸿 滨



清华大学出版社

工业建筑设计原理

刘 鸿 滨

清华大学出版社

目 录

引言	1
一、工业建筑发展简况	1
二、工业建筑的特点	1
第一章 单层厂房的平剖面设计	3
第一节 平剖面设计与生产工艺的关系	3
一、与工艺流程的关系	3
二、运输工具和厂房的关系	7
三、生产工艺的特殊要求	11
第二节 厂房结构的特点和选型	14
一、厂房结构的特点	14
二、结构柱网的选择	14
三、厂房结构的选型	17
四、结构构件的标准化、定型化	27
第二章 多层厂房的平剖面设计	30
第一节 工艺和多层厂房平剖面设计的关系	31
一、生产流程的影响	31
二、工艺特点的影响	33
第二节 交通枢纽和生活辅助用房的布置	36
一、联系各层车间的楼梯间	36
二、联系各层车间与生活间的楼梯间	37
第三节 多层厂房的层数、宽度和层高	40
一、层数	40
二、多层厂房的宽度和层高	40
第四节 多层厂房的柱网和结构选型	45
一、柱网尺寸和布置形式的选择	45
二、多层厂房结构选型	47
第三章 生产环境的设计	52
第一节 厂房的天然采光	52
一、天然采光设计的质量	52
二、天然采光方式	52
第二节 厂房的自然通风	55
一、厂房方位和间距	57
二、合理选择厂房平、剖面形式	57
三、合理布置热源	58

四、保证进风口和排风口的必要面积和气流畅通	58
五、合理选用通风天窗	58
第三节 恒温车间的设计	61
一、平面布置	62
二、剖面设计	63
三、气流组织	63
四、空调机房的布置	64
第四节 洁净车间的设计	64
一、车间洁净度的标准	65
二、尘源和防尘净化措施	65
三、建筑类型和平、剖面设计	69
第五节 生活间的设计	72
一、生活间的组成内容及设备布置	72
二、生活间的布置方式	75
三、生活间的柱网尺寸	76
第四章 工厂总平面设计	77
第一节 总平面建筑设计的原则	80
一、满足工艺流程的要求	80
二、合理进行功能分区	83
三、合理组织人流	85
四、节约用地	87
五、合理考虑发展和扩建	91
第二节 全厂性行政福利建筑的布置及绿化	91
一、全厂性行政福利建筑的布置	91
二、厂前区的布置方式	92
三、厂区绿化及美化	94
第五章 工业建筑的建筑艺术处理	96
第一节 建筑群体设计	96
一、体形空间的总体设计	96
二、体形空间的重点处理	98
第二节 个体建筑设计	103
一、体形设计	103
二、墙面设计	108
三、室内设计	116
附录	118
附录 I、吊车及电梯资料	118
一、吊车资料	118
二、电梯资料	119
附录 II、单层厂房定位轴线	121

附录Ⅲ、建筑设计防火规范（节录）122

附录Ⅳ、天窗的通风性能参考数据128

附录Ⅴ、天窗的构造详图132

 一、矩形天窗132

 二、下沉式天窗133

附录Ⅵ 单层厂房外墙构造135

附录Ⅶ 公路及铁路设计资料135

 一、厂内道路主要技术标准135

 二、窄轨铁路139

主要参考文献141

引 言

一、工业建筑发展简况

现代工业建筑体系的发展已有二百多年的历史，但第二次世界大战以后的数十年内进步最大，更显示出自己独有的特征和建筑风格。工业建筑起源于工业革命最早的英国；随后，在美国、德国以及欧洲的几个工业发展较快的国家大量厂房的兴建，对工业建筑的提高和发展起了重要的推动作用。

本世纪初期，苏联在伟大的十月社会主义革命胜利以后，经过短期经济恢复就开始了规模空前的工业建设。在建设的集中规划和管理、设计的标准化、构件生产工厂化和施工机械化等方面，都显示出其特点和优越性，提高了设计和施工的速度和质量。

解放前，我国的工业企业残缺不全，寥寥可数，且具有鲜明的半封建半殖民地性质：工厂集中在沿海几个大城市，主要是外国原料加工的轻工业和机修厂，工业布局使城市卫生恶化，厂房简陋，工人劳动条件极差。

解放后，经过几个五年计划的努力，新建和扩建了大量工厂和工业基地，包括钢铁、机械制造、汽车、拖拉机、造船、飞机、石化、电力、煤炭、原子能、轻纺等等，在辽阔的内地和少数民族地区也兴建了一批新的工业基地。现在，在全国已经初步形成了比较完整的工业体系。

在这样大规模的工业建设实践中，我国工业建筑设计力量也迅速壮大，设计水平有了很大提高，设计中贯彻了“坚固适用、经济合理、技术先进”的设计原则。我国自己设计的工业建筑一般都能满足工业生产对建筑提出的要求，采用了各种先进的建筑技术，降低了造价，加快了建设速度。可以预见，今后，在把我国建设成为四个现代化的社会主义强国的伟大实践中，工业建筑必将得到更大发展；因此，在建筑设计工作者的面前，摆着艰巨而光荣的任务。

二、工业建筑的特点

工业建筑和民用建筑一样，具有建筑的共同性质，但是因为工业建筑为生产服务的使用要求和民用建筑为生活服务的使用要求有很大差别，所以工业建筑又具有自己的特点。各种工业生产提出很多民用建筑设计中不常遇到的问题：如厂房承受巨大的荷载，沉重的撞击和震动，厂房内有生产散发的大量余热和烟尘，空气湿度很高或有大量废水，有各种浸蚀性液体和气体，以及很高的噪音等等。又如有些工厂为了保证产品的质量要求，厂房内须保持一定恒温恒湿条件，或有防爆、防尘、防菌、防辐射等要求。此外，近代工业生产还必须设置各种与厂房有关的运输设备，因而设计工业建筑时应充分考虑这些特点，结合具体情况加以合理解决。

在工业发展的初期，由于生产规模不大，建筑技术不发达，生产都是在简单的单跨或只有少数几个跨间的建筑中进行。这些厂房以侧墙上的窗口采光，在生产散发余热的厂房中，在屋顶设置气楼以通风，生产运输则只能利用人力小车。随着生产的发展与建筑技术的进步，人们在跨间内安放了吊车以搬运笨重的物料。由于生产规模的扩大，单跨的厂房在面积上远不能满足生产要求，于是人们将一些单跨建筑并连在一起，并在屋顶上安置玻璃或将气楼安上玻璃以采光，并安装了内部排水系统，逐渐形成现代复杂的多跨厂房。在生产的不断发展中，仍然不断提出新的要求，如恒温恒湿、无尘等等。为了适应这些新的要求，出现了所谓“密闭厂房”，它不需天然采光和自然通风，因而没有侧窗和天窗，建筑结构简化了，更易于控制生产所要求的条件，也可以节约能源。此外，由于生产工艺技术不断发展，工艺变革和设备更新的周期逐年缩短，为了适应这一要求就出现了所谓“灵活厂房”，它们在平面布局、柱跨度和间距大小、结构选型、地面设计等方面都采取了相应措施以满足灵活性的要求。

从以上简单的发展过程可以看出，工业建筑的设计与建造都须遵循一条重要的原则，即：设计工业建筑应紧密结合生产的各种主要要求进行，这些新提出的工艺要求不断促进建筑技术和设计工作的发展，而建筑技术和设计工作的提高又为满足生产要求提供了更大的可能性。因此，工艺和建筑二者应该是统一的，任何片面地强调某一方面的要求，都可能给另一方面造成不良后果。

第一章 单层厂房的平剖面设计

由于工业生产工艺差异较大，工业建筑的类型很多，为了便于掌握工业建筑设计的一般规律，通常按厂房的层数、建筑特点或生产特点分类。例如：按层数可分为单层厂房、多层厂房和层数混合的厂房；按建筑特点可分为一般厂房、密闭厂房、成片联合厂房等；按生产特点可分为重型厂房、轻型厂房、热加工厂房、恒温厂房等等。

单层厂房在使用、建筑和结构方面有以下特点：

单层厂房对生产工艺适应性大，既可组织较小空间生产小型产品，又可组织较大空间生产大型、重型产品。建筑上便于组织大面积联合厂房（十几万平米甚至几十万平米），结构上便于采用大跨度（30米以上）、大柱距（12米以上）。采用水平运输方式，选择运输工具和方式比较灵活，有利于工艺变化更新。

地面可承受较大荷载，重型设备可以单独设置基础，并能比较自由地构筑地坑、地沟等地下构筑物。

可以利用其屋顶设置天然采光和自然通风天窗，有利于在不采用人工照明和机械通风的情况下组织较大跨度和多跨的大面积厂房。

单层厂房的主要缺点是占地多和屋面面积较大，建筑空间不够紧凑等。

由以上特点可以看到单层厂房具有不少优点，因此各国实践中得到广泛采用，如冶金、机械、建材、纺织等工业部门许多车间都采用单层厂房。

第一节 平剖面设计与生产工艺的关系

一、与工艺流程的关系

生产某一产品的加工步骤和顺序称为工艺流程，它是设计厂房平剖面的主要依据，直接影响平面上生产工段相互关系和顺序，影响各工段对空间尺寸的要求。

现以机械制造厂的机械加工装配车间、棉纺织厂和火力发电厂为例，说明工艺流程和平剖面设计的密切关系。

机械加工装配车间的工艺流程如图1—1所示。这类车间一般包括机械加工和装配两部分，原料是铸、锻件等金属毛坯，经车、铣、刨、镗、钻、磨等加工过程，使之成为产品中的零件，然后运至装配工段装配成部件或直接总装成机械产品。机械加工工段之前应有毛坯库；机械加工工段和装配工段之间一般设中间库。根据产品的种类和大小，这类车间的平面一般有以下几种组合方式：

1. 直线布置：厂房由若干个跨间平行组成，工艺流程顺跨间直线进行，其顺序为毛坯库、机械加工、中间库、总装配。零件可直接用吊车运送到加工和装配工段，生产路线简捷。这种布置方式适用于生产规模不大，吊车负荷较轻的车间，具有建筑结构简单，扩建方便等优点（图1—2,a）。

2. 平行布置：厂房由若干个跨间平行组成，总装配工段布置在一侧，该跨间一般采用较

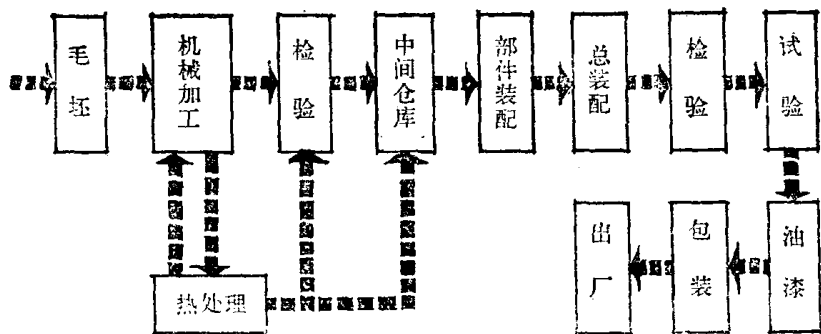
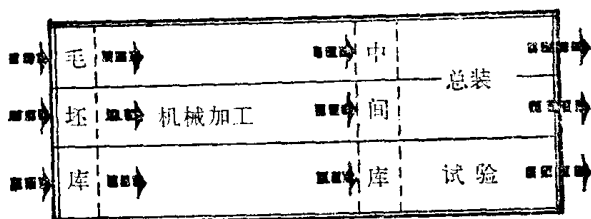


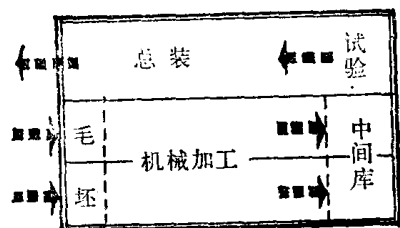
图 1-1 机械加工装配车间工艺流程

大跨度和吊车设备。整个流程呈马蹄形，运距较长，须采用传送带、平板车或其它越过跨间的运输设备，建筑结构上与前一种基本相同（图1-2,b）。

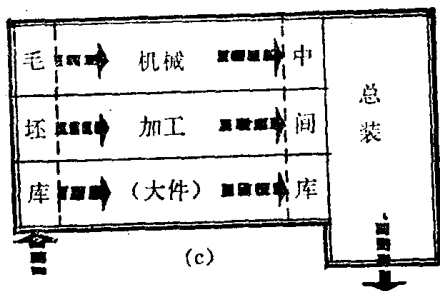
3. 垂直布置：装配工段布置在与加工工段相垂直的横向跨间内。零件从加工工段到装配工段的运输路线较短捷，并可按装配线的顺序安排在不同跨间内进行加工，但须设有越跨运输设备。由于跨度互相垂直，建筑结构较为复杂，但由于对工艺生产和运输上有利，大、中型车间仍常采用（图1-2,c）。



(a)



(b)



(c)

图 1-2 机械加工装配车间平面组合方式

以上三种布置方式一般都不设隔墙将各工段隔死，如中间库、毛坯库等处使用上须分隔时只采用高度不大的透空钢制或玻璃隔墙。因此，这类厂房内部空间都是统仓式，柱子屋顶等结构一般都暴露在室内，跨间与跨间之间在空间上是相通的。机械制造车间内景见图 1-3。

棉纺织厂分纺部和织部二部分。纺部是把棉花加工成纱（线），织部是把纺部的成品纱加工成布。纺织生产工艺流程如图1-4：

棉包从原棉仓库进入分级室进行分级松包，使原棉自然松解和得到适当的回潮率后进入开清棉车间；在这里压紧的棉块经过开清棉联合机充分的开松、混合，同时清除其中的杂质

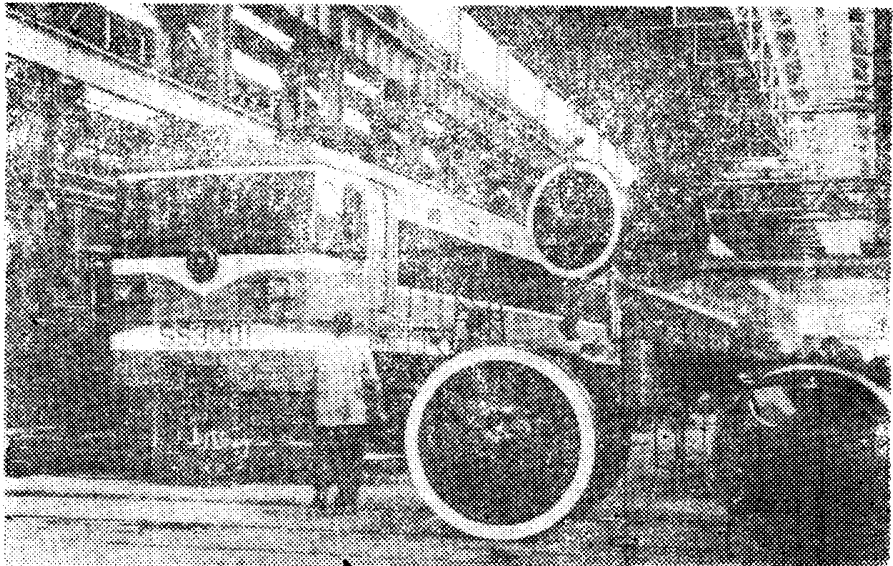


图 1—3 机械制造车间内景

和部分短纤维，做成棉卷。然后，送入梳棉、并条、粗纱车间，由梳棉机进一步除去杂质和短纤维，并把纤维梳顺加工成棉条，由并条机将6—8根棉条并合，使棉条粗细更加均匀、纤维更加平行伸直，再经过粗纱机把棉条牵伸成粗纱。然后，将粗纱送入细纱车间，经过细纱机牵伸成细纱，即纺部的成品。根据用途可分成经纱、纬纱和售纱。经纬纱送入经纬纱室供织部用，售纱则经络筒、摇纱、打包后直接入库。

经纱从经纬纱室进入络整车间，在这里经纱经过络筒机卷绕在筒子上，然后筒子经过整经机将纱卷绕在经轴上，存入经轴室以备送浆纱车间。浆纱后的织轴经过穿筘送入织布车间，同时纬纱由经纬纱室送入织布车间。最后通过织布机织成坯布，再送入整理车间，经过检验后，即可打包送入成品库。

从以上所介绍的纺织工艺流程可以看到其加工程序复杂，顺序严格，连续性强；单件运

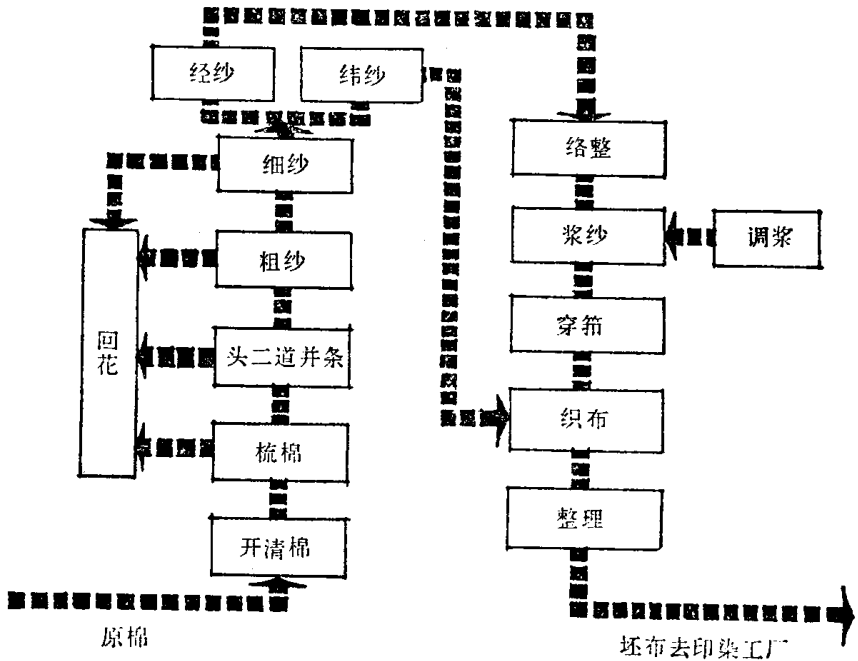


图 1—4 棉纺织工艺流程

输重量不大，但总运输量较大；不少工序之间联系密切，但由于各种原因又须隔开，如清花车间飞花多、防火要求高，应和梳并粗车间隔开，织布车间噪音很大应和其它车间隔开，多数车间要求保持一定温湿度，而要求标准又不相同等等。

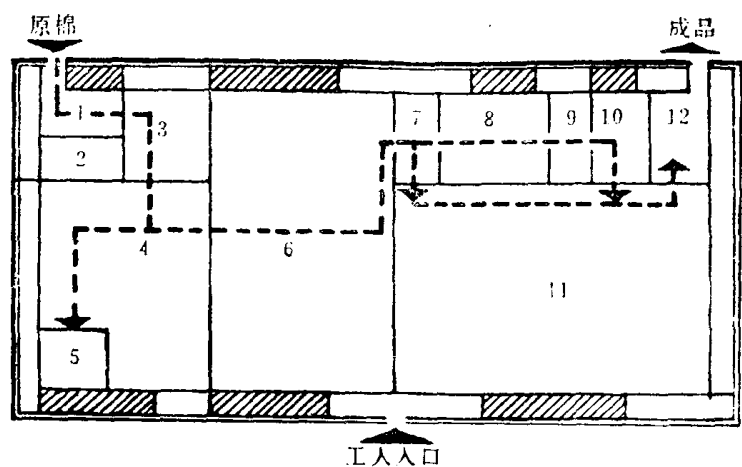


图 1—5 棉纺织厂平面示意图

1—分级室 2—回花室 3—清花车间 4—梳并粗车间 5—精梳车间 6—细纱车间 7—经纬纱室
8—络整车间 9—浆纱车间 10—穿筘车间 11—织布车间 12—整理车间

图1—5为锯齿形屋顶纺织厂实例。平顶附属房屋（包括空调机房）布置在四周，中间部分为锯齿形屋顶，布置各主要生产车间，其目的是将恒温恒湿的车间包在中央，以减少或没有外墙，从而简化建筑隔热构造措施。图中箭头所示为其工艺流程。锯齿屋顶纺织厂内景如图1—6所示。

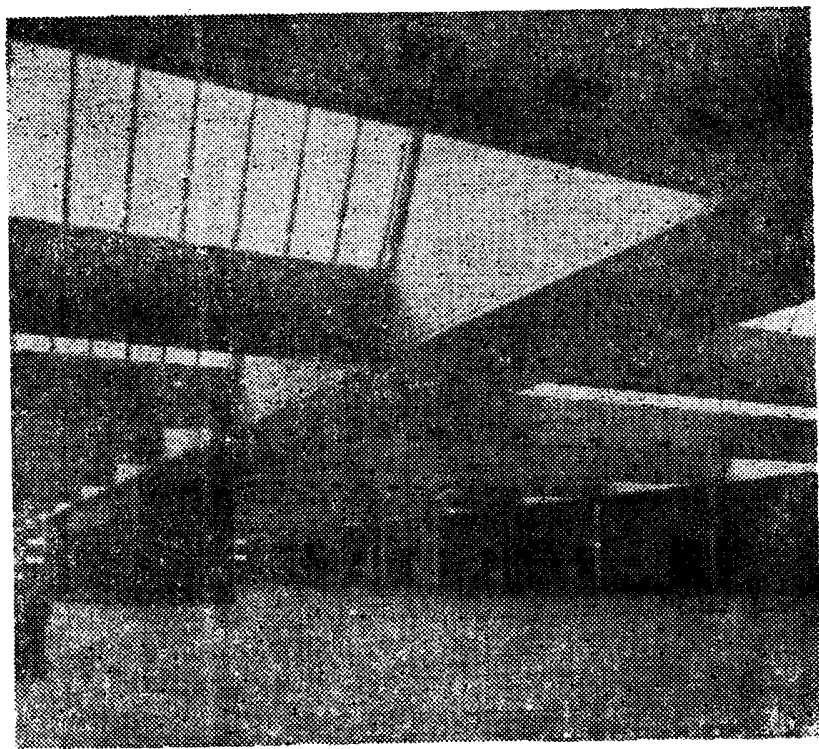


图 1—6 锯齿形屋顶纺织厂内景

火力发电厂的工艺流程如图1—7所示。主要设备为锅炉和汽轮机、发电机。加热锅炉的

燃料为煤，加热对象为水。煤从堆煤场经输煤栈桥运至储煤斗（煤斗间上部），经球磨机磨成煤粉吹入锅炉燃烧。水经除氧（在除氧间），高压加热后送进锅炉。锅炉产生高压蒸汽送至汽机间推动汽轮机带动发电机转动发电，废汽经冷凝器冷却成水后再送回水箱循环使用。锅炉排出炉灰和烟为废料，亦须除尘和处理运出厂外。发电机发出的电经变压器输入电网供用户使用。

根据以上工艺特点，一般火力发电厂的平剖面分为四个跨间，即煤斗间（上部为煤斗，下部为球磨机房），锅炉间，除氧间，汽机间，如图1—8所示。

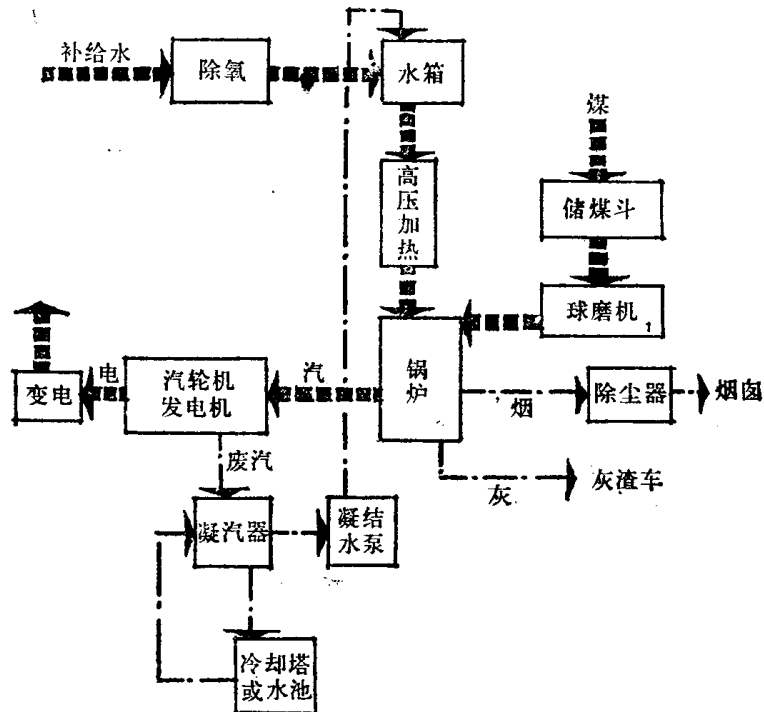


图 1—7 火力发电厂工艺流程

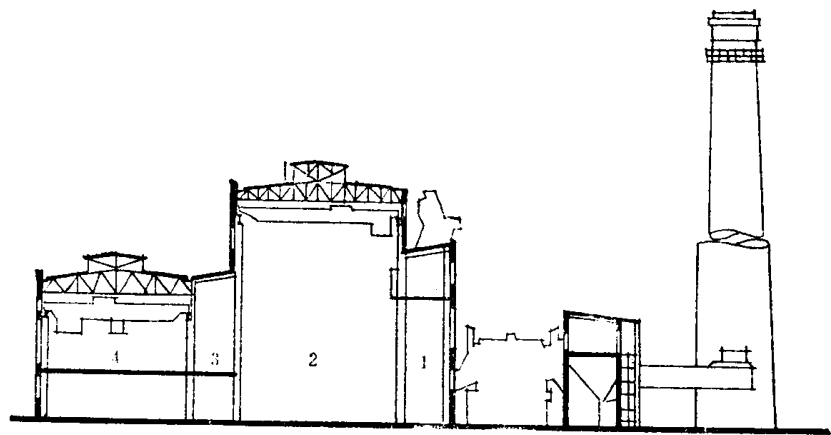


图 1—8 火电厂典型剖面示意

1—煤斗间 2—锅炉间 3—除氧间 4—汽机间

从以上三例可看到，工艺流程是确定厂房平剖面方案的重要因素，由于工艺流程不同，不论厂房的平剖面和外形，还是车间内部空间，差别都相当大。

二、运输工具和厂房的关系

根据生产工艺要求厂房内部须布置各种运输设备，以减轻工人劳动强度和提高生产效率。

厂房内运输工具的种类很多，近年来不少国家在这方面有不少革新。运输工具的选择主要应根据生产特点、运输物品的类别和运输要求，但由于不少运输工具和厂房结构直接相关，所以也应结合厂房建筑结构综合考虑。

运输工具种类虽很多，但从它和土建的关系看，可分为以下三类：

1. 支承在柱上的运输工具

采用得较普遍的是桥式吊车和梁式吊车。桥式吊车由一对桥架和在桥架上行走的小车组成，整个吊车沿着桥架两端的轨道运行。轨道则铺设在由柱子牛腿支承的吊车梁上。桥架上小车沿着桥架行走，小车上设有电动卷扬机以钢丝绳起吊物件。桥式吊车的起重量可由5吨到数百吨，并有各种特殊类型，如钢锭脱模吊车、装料吊车、铸锭吊车、抓料吊车等等（图1—9）。

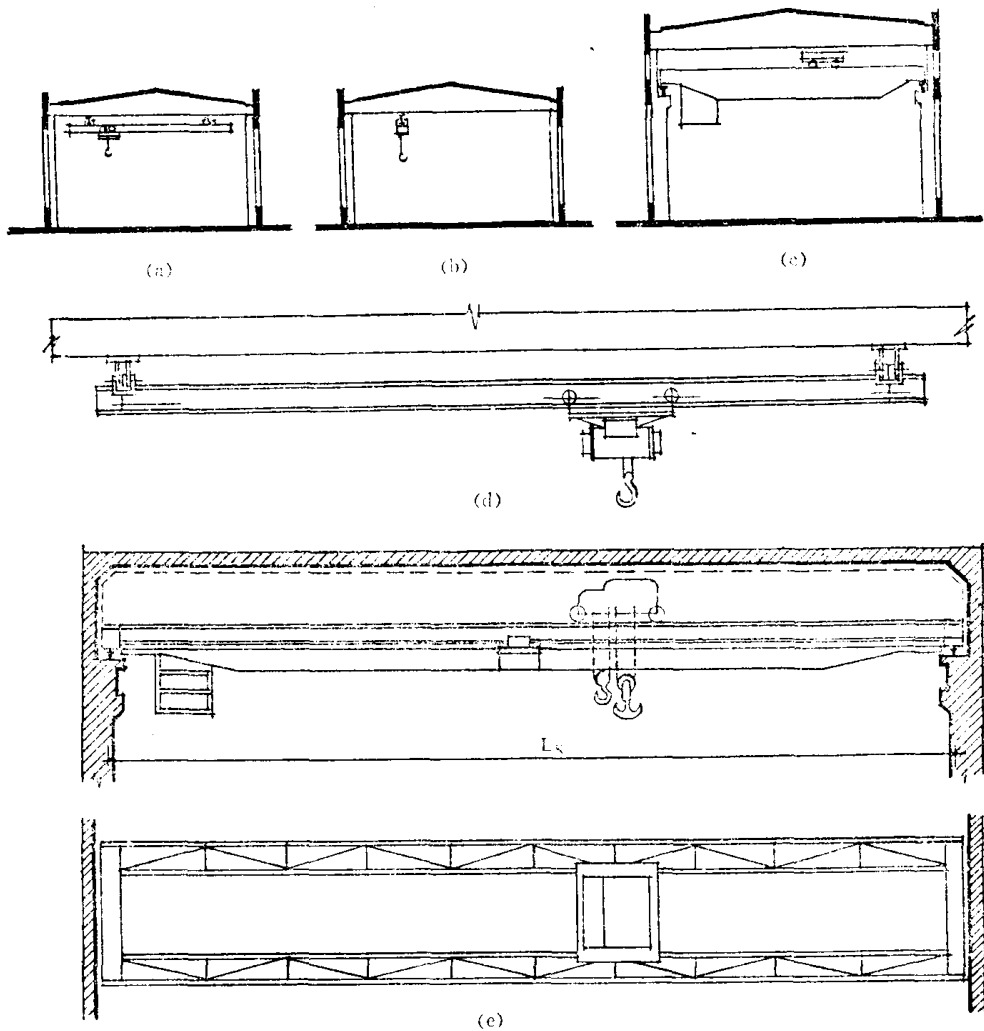


图 1—9 桥式吊车、梁式吊车和单轨吊车
a—悬挂式梁式吊车 b—单轨吊车 c—桥式吊车 d—悬挂式梁式吊车 e—桥式吊车

与桥式吊车相类似的有梁式吊车，但后者起重量在5吨以下。它无桥梁，一般仅有简单的一根工字钢梁，梁上设有起重小车，其运行方式与桥式相同。

桥式与梁式吊车的轨道一般只能顺建筑跨间铺设，桥架运行方向只能顺着建筑跨间，因此采用这类吊车时生产流程的运行方向和跨间方向一致，如生产流程方向与建筑跨间垂直，

则须采用其它如平车、悬臂吊车等运输工具以解决跨间与跨间之间的横向运输。

由于吊车的起重量大，支承轨道的吊车梁的跨度不宜过大，一般采用 6 米，特殊需要时才采用 9、12 米或更大的柱距。

由于吊车运行时的动力作用，厂房结构必须考虑到桥架、小车的行走和刹车以及起吊物件的重力三个方向的受力作用，设置必要的结构支撑系统，以加强整个厂房结构的刚度。

2. 悬挂在屋顶结构的运输工具

前面提到的梁式吊车因其起吊重量在 5 吨以下，也常将其轨道固定在屋架下弦的节点上。此外，常见的悬挂式运输工具是单轨吊车和运输链。

单轨吊车：一般起重量为 1~3 吨，它只有一根工字钢轨道，常悬挂在屋架下弦，工字钢轨上安有起重小车沿着轨道运行。因此，这种吊车在厂房内可自由地转弯，以适应生产流程的要求。其特点除起重量较轻外，就是它的服务面积局限在沿单轨一条较窄的带形地段（图1—9）。

运输链：和单轨吊车一样，也只有一根工字钢轨，但它是环形闭合的。轨道一般悬挂在屋架下弦，其上挂着一条闭合的链，链上挂着许多吊具，物件由吊具承载，链则由总的电动机带动沿轨道运行。轨道可自由转弯和升降。因它有许多吊具，且又不停地运行，故适于大批量生产的连续性运输，如汽车、拖拉机装配车间，图1—10。

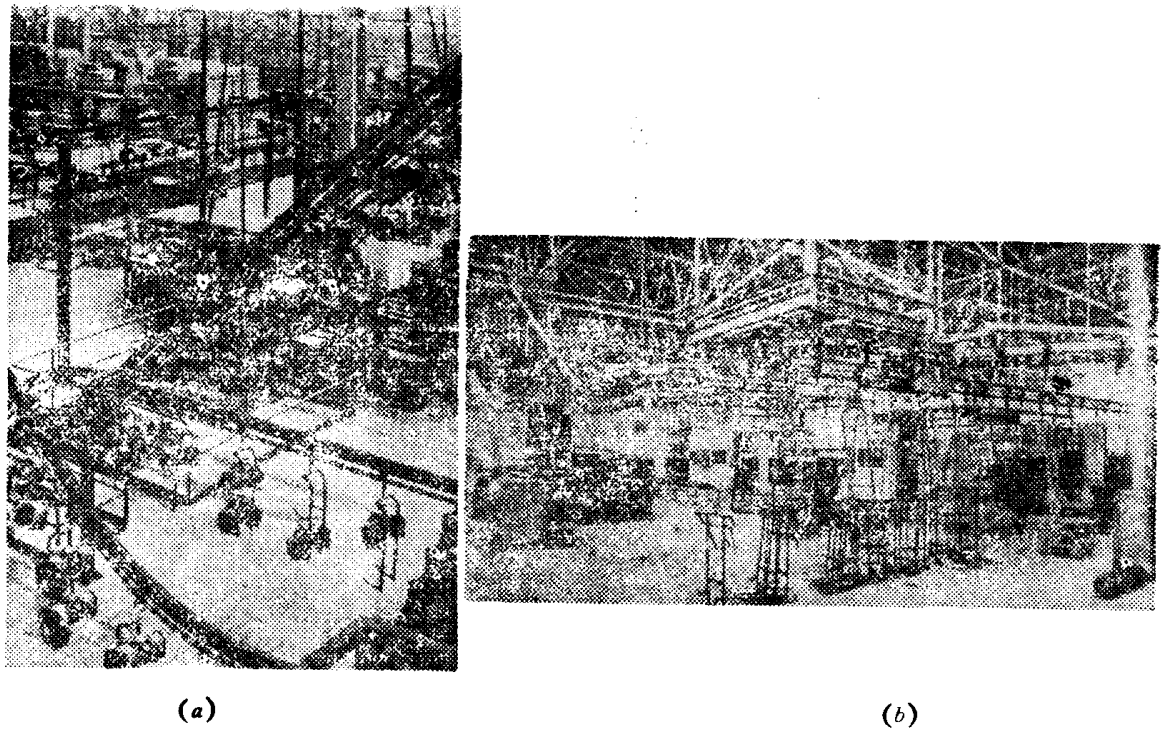


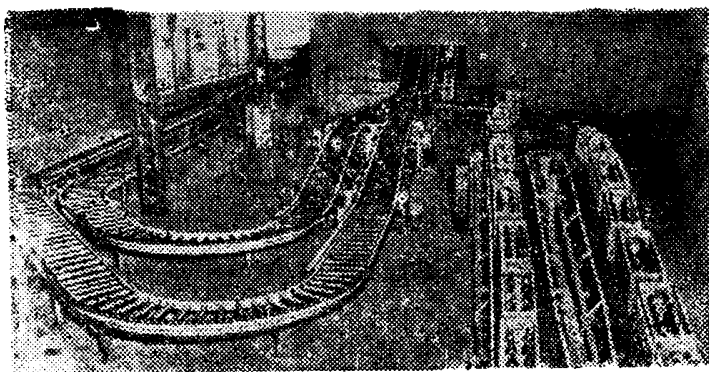
图 1—10 运输链实例

采用这类运输工具的生产，其工段与生产流程的布置与厂房跨间的方向的关系不很严格。为了便于变更生产，一般常采用方形柱网，以便生产流程能较自由地改变方向而不须改变厂房结构。

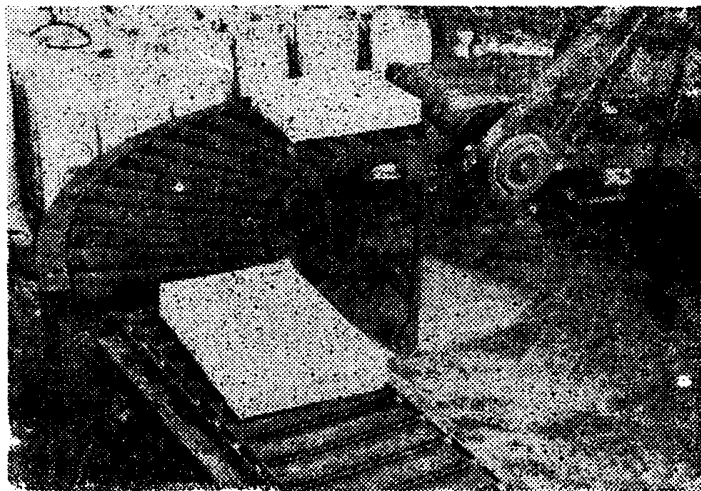
采用悬挂式吊车时，还应注意屋盖结构型式的合理选用。一般宜加强屋架下弦水平面上的刚度，不应选用下弦刚度小的屋架型式，如下撑式屋架。

3. 其它形式的运输工具

这类运输工具主要是直接在地面上运行或架空在地上的支架上运行，一般运输常用电瓶车、叉车、汽车等。运输量大或单件重量大时常采用门架式吊车，但多用于厂房外的露天库。如须连续性运输则可采用皮带式、辊道式等运输设备。运输对象如为粉粒状材料则可采用压缩空气管道运输。图1—11为辊道式和链板式运输机的几个实例。



(a)



(b)



(c)

图 1—11 辊道式和链板式运输机

这类运输设备和厂房的主要结构构件的关系不大，一般自己有支架系统，荷载直接传送给地面或其自身的支架基础。其主要优点是荷载不传递给建筑结构，布置灵活，便于工艺更新，有利于大批量生产的机械化与自动化。因此，国外工厂中得到越来越广泛的应用，这是厂房设计革新很重要的有利因素之一。

一般运输设备的选定由工艺设计人负责，但厂房的建筑设计人员不仅应掌握这些运输设备的特点，配合工艺设计相应解决好与运输设备有关的问题，如结构选型、平面布局、车间

空间的合理利用等；而且还应从总体设计方案的角度对运输设备的选用和布置加以审议，从建筑的角度提出意见以确保总体方案先进合理。例如某厂房因生产要求，其跨度为60米，需有起重量20吨的运输设备，设计仍按惯例采用了桥式吊车。结果起重量虽仅20吨，但由于桥式吊车跨度为60米，桥式吊车自重就达200吨。这200多吨的荷载都传给厂房的所有吊车梁和柱子上，这就是总体方案不合理的一个实例。

三、生产工艺的特殊要求

某些生产工艺或本身排出大量余热和烟尘，如铸造车间、炼钢车间；或生产要求保持一定温湿度或最高含尘量，以保证产品的质量，如纺织厂、精密机械制造、无线电原件生产等。前一种情况，散热排热是厂房平剖面设计中的主要矛盾。图1—12是铸造车间常见的几种平面形式。单件或小批量生产、机械化程度不高、面积不大的铸造车间通常将原料、浇注和造型等跨间平行布置成矩形平面（图1—12，a），其跨数根据规模不同分为三跨、两跨或单跨，一般不宜超过三跨，以利自然通风。

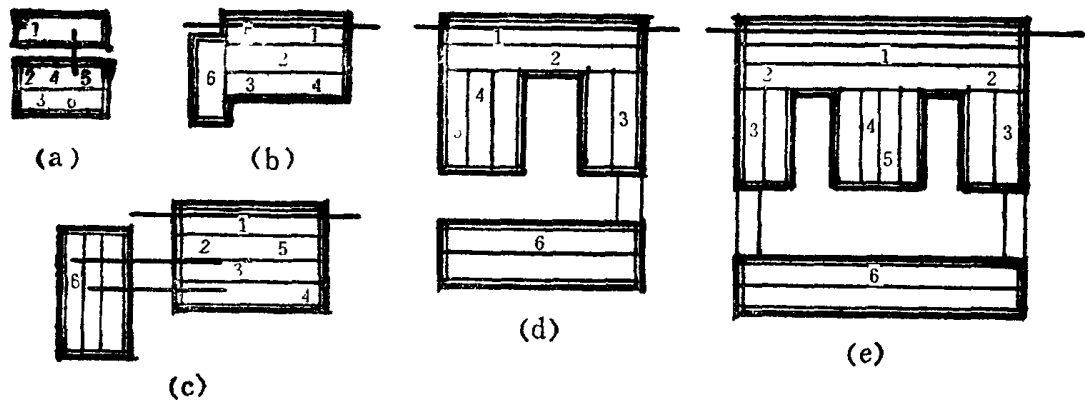


图 1—12 铸造车间平面的几种布置方案

1—炉料库 2—熔化工段 3—造型、浇注工段 4—型芯工段 5—砂处理工段 6—清理工段

中型以上的铸造车间，清理工段面积较大，如采用矩形平面且超过三跨时不利于通风，可将清理工段与其它跨间垂直布置，形成L形平面（图1—12，b）。图1—12，c为完全脱开的方案，更有利于通风。铸造车间面积较大时，由于通风的要求，常设计成U形或山形（图—12，d，e）。

除以上平面设计特征外，为了有利于热车间的自然通风，不少厂房剖面设计中也相应采取了特殊的处理。如西德某铸铁车间（图1—13）每个13.50×15.00米柱网上为壳体结构屋

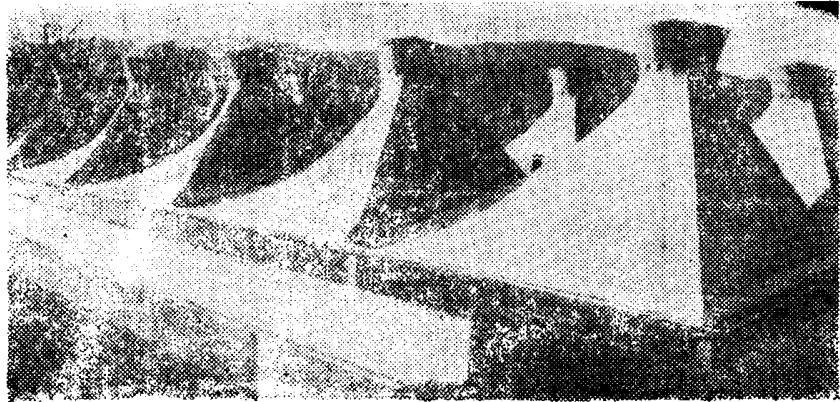


图 1—13 某铸铁车间的双曲抛物面屋顶外貌

顶，其东北和西北两面为双曲抛物面。上部为一通风顶，它既能保证有良好的自然通风，又能防止气流向下倒灌和雨滴淋入。南面为梯形采光玻璃天窗。

另一明显例子为西德某玻璃厂。为了创造良好通风效果，平面上熔炉车间和辅助跨间以及二期工程扩建的厂房用内院分开，熔炉车间屋顶呈马鞍形，中央高度为20米，马鞍形屋顶下的两侧墙上的垂直玻璃窗全部可以开启，使新鲜空气进入，热空气则经厂房屋脊的通风百叶排出，有利形成对流的通风系统（图1—14）。

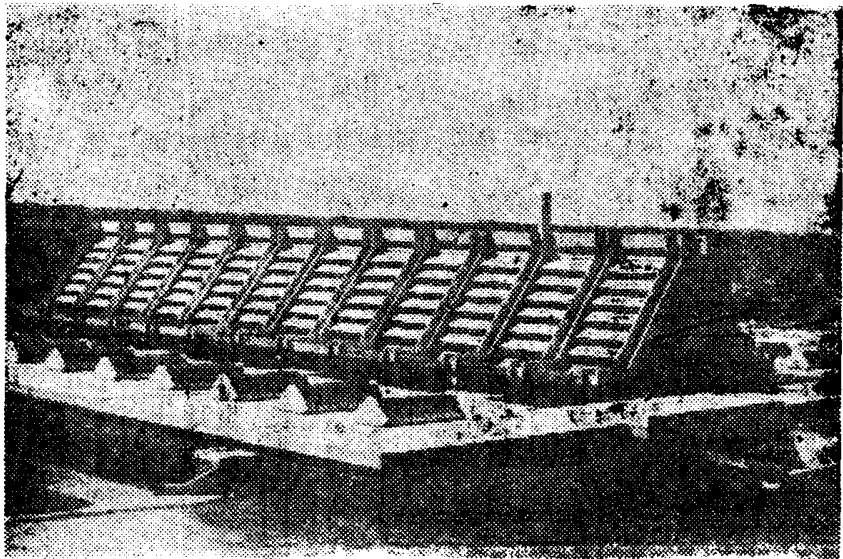


图 1—14 某玻璃厂熔炉车间具有马鞍形屋顶以利通风

纺织厂生产工艺对于车间内的温湿度都有较严格的要求，为使温湿度得到控制，各主要车间应设有独立的空调系统，厂房多以密闭形式为好。一般单层厂房多采用锯齿天窗屋顶结构，不仅可避免阳光直接射入厂房影响湿度的控制，而且在天沟下还可布置空调支风道。在平面布局上为了使恒温恒湿车间减少外墙以简化维护结构的构造，常在锯齿屋顶的主要车间周围布置非恒温的辅助用房（平顶结构），见图1—16。

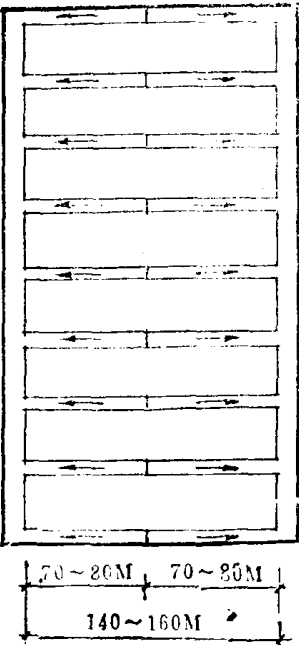


图 1—15 纺织厂房的天沟外排水示意

单面送风的支风道的最大长度一般以70~80米为宜，否则难以达到均匀送风。天沟一般为外排水，双向排水天沟：天沟单向长度恰好也是以70~80米为宜。因此，厂房的总宽度一般不宜超过140~160米（图1—15）。

根据天沟和锯齿天窗朝北的关系，空调机房和总风道布置在东西两边的附属房屋内，因此厂房平面一般情况下形成南北长东西短，如图1—16，b所示。若总平面因用地不允许这样布局，或生产规模较大，天沟长度过大，则可在厂房中间增加一条附属平房如图1—16，a。