



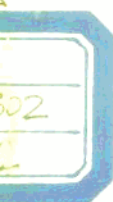
普通高等教育“九五”国家级重点教材

YEJIN JIXIE SHEJI LILUN

冶金 机械 设计 理论

邹家祥 主编

冶金工业出版社



出版
社

PDG

“九五”国家级重点教材

冶金机械设计理论

北京科技大学 邹家祥 主编

冶金工业出版社

1998

内 容 提 要

《冶金机械设计理论》是为适应冶金机械专业向机械设计制造及自动化专业拓展的进程而编写的。

本书共十一章,吸收了“炼铁机械”、“炼钢机械”及“轧钢机械”课中的基本理论,按机械学科系统重新编排,以塑性问题、弹塑性问题、弹性问题为基础,介绍相关设备的力能参数及结构参数的计算方法,此外,还增加了冶金机械的运动学和动力学、热传导和热应力等内容。

本书可供机械设计制造及自动化等相关专业大学生使用,也可作为冶金、重型机械行业的技术人员使用。

本书为“九五”国家级重点教材。

图书在版编目(CIP)数据

冶金机械设计理论/邹家祥主编. —北京:冶金工业出版社, 1998. 10

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-2196-3

I. 冶… I. 邹… II. 冶金-机械-设计-高等学校-教材
N. TF302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 16303 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 王秋芬

梨园彩印厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1998 年 8 月第 1 版, 1998 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15 印张; 350 千字; 230 页; 1-2000 册

20.50 元

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

《冶金机械设计理论》的出版是为了进一步贯彻《中国教育改革与发展纲要》精神,适应“两个转变”,面向 21 世纪,深化教育内容和课程体系改革,提高教学质量,体现国家教委颁发的“普通高等学校本科专业目录和专业简介”的规定,适应将冶金机械专业拓宽改变为机械设计制造及自动化专业的进程而编写的。

冶金机械专业在我国已有 45 年,为培养冶金机械专业的技术人才做出了贡献。现在归并为机械设计制造及自动化专业,这是时代发展的要求,与培养 21 世纪人才要求的素质、知识、能力结构是相适应的。因此,淡化专业,加强基础,强调素质教育,强化能力培养,体现综合化的特点,也应成为相关教材编写时注意的一个原则。

《冶金机械设计理论》吸收了原冶金机械专业三门主干课,即“炼铁机械”、“炼钢机械”、“轧钢机械”中主要基本理论,按照一般机械学科系统进行编排,以塑性问题、弹塑性问题和弹性问题为基础,介绍相关设备的力能参数及结构参数的计算方法,还纳入了大型机械设计及使用中经常遇到的动力学问题及热问题等内容,为配合专业课程的计算机应用,专门设置了“冶金机械参数设计的计算机辅助教学程序”一章。本教材力求满足冶金机械专业教学改革的需要,在淡化专业,加强基础的同时,发挥重点学科优势,加强各学科之间的相互渗透、交叉与融合,体现学科中新的学术方向。本书除可作为必修课教材外,也可作为选修课的教材。

这是一本新编写的书,为便于教学连贯及逐步过渡,有些章节的内容使用了《炼铁机械》、《炼钢机械》和《轧钢机械》的内容,在机械系统设计一章,使用了《机械系统设计》一书的一些内容。

参加本书编写的有:邹家祥(第 1、2、6 章及第 9 章第 9.4 节、第 10 章第 10.1、10.3 节)、张杰(第 3、4、5 章)、卞致瑞(第 7 章、第 9 章第 9.1 节)、田毅盛(第 8 章、第 9 章第 9.2、9.3 节、第 10 章第 10.2 节)、程伟(第 11 章)。邹家祥教授任主编。

全书由施东成教授、李友荣教授、朱允言教授及潘毓淳教授审阅。杨竞、孙志辉为本书的编写做了大量工作。特致谢意。

由于教材体系变化较大,加上经验不足,不妥之处,望读者批评指正。

编者

1997 年 2 月

目 录

1 机械系统设计	(1)
1.1 机械系统设计的任务及方法	(1)
1.1.1 机械系统的组成	(1)
1.1.2 机械系统设计的任务	(1)
1.1.3 机械系统设计类型和步骤	(3)
1.2 机械系统的方案设计	(4)
1.2.1 设计任务抽象化	(4)
1.2.2 确定工艺原理	(5)
1.2.3 确定技术过程	(5)
1.2.4 引入技术系统并确定系统边界	(6)
1.2.5 确定功能结构	(6)
1.2.6 确定设计方案	(6)
1.3 机械系统总体设计	(7)
1.3.1 初步总体设计及总体设计	(7)
1.3.2 机械系统的总体布置及主要技术参数的确定	(7)
习题及思考题	(10)
2 金属塑性变形——轧制力能参数	(11)
2.1 轧制过程的基本概念及基本参数	(11)
2.1.1 轧制时变形区内金属的应力状态	(11)
2.1.2 轧制过程变形区及其参数	(11)
2.1.3 轧制过程变形系数	(12)
2.1.4 绝对压下量与相对压下量	(12)
2.1.5 轧制时的前滑与后滑	(12)
2.1.6 变形速度	(13)
2.1.7 咬入条件	(14)
2.1.8 金属塑性变形阻力	(14)
2.2 轧制时接触弧上平均单位压力	(16)
2.2.1 卡尔曼单位压力微分方程	(17)
2.2.2 P. 勃兰特—H. 福特公式	(18)
2.2.3 奥罗万单位压力微分方程式	(20)
2.2.4 R. B. 西姆斯公式	(21)
2.2.5 M. D. 斯通公式	(23)
2.2.6 S. 艾克隆德公式	(25)
2.3 轧制总压力与轧辊传动力矩	(27)
2.3.1 轧件与轧辊接触面积	(27)

2.3.2 轧制总压力方向与轧辊传动力矩	(29)
2.3.3 轧制力在接触弧上作用点的位置	(32)
2.3.4 工作辊传动的四辊轧机辊系的稳定性	(32)
2.4 轧机主电动机力矩与电动机功率	(34)
2.4.1 轧机主电动机力矩	(34)
2.4.2 附加摩擦力矩	(34)
2.4.3 空转力矩和动力矩	(35)
2.4.4 选择电动机功率的基本方法	(35)
习题及思考题	(37)
3 金属塑性变形——剪切力能参数	(39)
3.1 剪切理论与剪切机的力能参数	(39)
3.1.1 平行刀片剪切机	(39)
3.1.2 斜刀片剪切机	(42)
3.1.3 圆盘式剪切机	(43)
3.1.4 剪切机的静力矩与电动机的额定力矩	(45)
3.1.5 浮动偏心轴式剪切机的运动分析	(47)
3.2 飞剪机的剪切长度调整及力能参数	(49)
3.2.1 概述	(49)
3.2.2 飞剪机的剪切长度调整	(50)
3.2.3 飞剪机的力能参数计算	(56)
习题及思考题	(58)
4 金属弹性弯曲变形及矫正原理	(59)
4.1 金属弹性弯曲变形的理论基础	(59)
4.1.1 弹性弯曲变形过程	(59)
4.1.2 弹性弯曲阶段的外力矩	(61)
4.1.3 弹复阶段的曲率方程	(65)
4.2 矫正原理及辊式矫正机	(68)
4.2.1 矫正原理	(68)
4.2.2 辊式矫正机	(69)
4.3 拉伸弯曲矫正机的矫正原理	(73)
习题及思考题	(76)
5 轧钢机的弹性变形与轧件厚度和板形控制	(77)
5.1 工作机座的弹性变形与轧件厚度控制	(77)
5.1.1 工作机座的弹性变形与弹跳方程	(77)
5.1.2 厚度控制	(87)
5.2 板带轧机的板形控制	(91)
5.2.1 板形的基本理论	(91)
5.2.2 板形控制的方法	(94)
习题及思考题	(99)

6 冶金机械典型零部件的强度计算	(100)
6.1 轧机机架强度计算	(100)
6.1.1 闭式机架和开式机架强度计算的解析方法	(100)
6.1.2 机架的有限元计算及机座的优化设计	(103)
6.2 轧辊及接轴的强度计算	(109)
6.2.1 轧辊的强度计算	(109)
6.2.2 滑块式万向接轴强度计算	(112)
习题及思考题	(117)
7 高炉装料及上料系统参数设计计算	(118)
7.1 钟式炉顶装料设备主要参数的设计	(118)
7.1.1 直线机构参数的优化设计	(119)
7.1.2 料钟卷扬机驱动功率的计算	(122)
7.2 无料钟炉顶布料器传动参数设计	(128)
7.3 料车式上料机功率的计算	(131)
7.3.1 钢丝绳张力的计算	(131)
7.3.2 卷扬机卷筒圆周上的动力	(135)
7.3.3 卷扬机电机功率的确定	(137)
习题及思考题	(139)
8 全悬挂柔性传动系统的设计计算	(140)
8.1 转炉炉体及炉体支撑系统	(140)
8.1.1 转炉炉体的机械应力及变形	(140)
8.1.2 炉体支撑系统及托圈应力状态	(142)
8.2 转炉倾动力矩计算	(148)
8.2.1 空炉力矩的计算	(148)
8.2.2 炉液力矩计算	(149)
8.2.3 倾动力矩曲线绘制及分析	(154)
8.2.4 最佳耳轴位置的确定	(156)
习题及思考题	(159)
9 冶金机械运动学及动力学	(160)
9.1 振动筛的动力学计算	(160)
9.1.1 单轴惯性振动筛的动力学参数计算	(160)
9.1.2 定向直线运动振动筛的动力学分析	(164)
9.2 连铸机结晶器振动机构	(169)
9.2.1 结晶器的振动与振动规律	(169)
9.2.2 结晶器振动机构的类型及误差分析	(169)
9.2.3 正弦振动结晶器的振动参数及驱动力矩	(172)
9.3 转炉倾动机构扭振计算	(175)
9.3.1 转炉倾动机构扭振特点和力学模型	(175)
9.3.2 悬挂式(带有柔性抗扭装置)转炉倾动机构	

的扭转振动	(178)
9.4 轧钢机的振动问题	(181)
9.4.1 轧机主传动系统的扭转	(181)
9.4.2 轧机垂直振动	(185)
习题及思考题	(187)
10 冶金机械的热传导及热应力	(189)
10.1 热传导的基本方程	(189)
10.1.1 传热的基本方式	(189)
10.1.2 导热的偏微分方程	(190)
10.2 高炉炉壳的温度场及热应力	(191)
10.2.1 高炉炉壳表面温度分布	(191)
10.2.2 内衬膨胀对炉壳的作用力和温差应力	(192)
10.3 转炉炉壳温度场及热应力	(197)
10.3.1 转炉设备的热态工作特点	(197)
10.3.2 炉体温度场分析	(197)
10.3.3 转炉炉壳热应力	(199)
10.3.4 托圈热应力	(201)
10.4 轧辊的温度场及热应力	(203)
10.4.1 轧辊工作时的温度场	(203)
10.4.2 轧辊的热应力	(204)
习题及思考题	(210)
11 冶金机械参数设计的计算机辅助教学程序	(211)
11.1 轧机力能参数计算程序	(211)
11.1.1 程序计算功能	(211)
11.1.2 模型简图和变形区几何参数	(211)
11.1.3 输入原始数据说明	(211)
11.1.4 输出数据说明	(212)
11.1.5 程序框图	(212)
11.1.6 例题	(214)
11.2 矫正原理和矫正过程计算程序	(216)
11.2.1 程序计算功能	(216)
11.2.2 变量说明	(216)
11.2.3 输出数据说明	(216)
11.2.4 程序框图	(217)
11.2.5 例题	(223)
11.3 转炉倾动力矩计算程序	(223)
11.3.1 计算用炉型图	(223)
11.3.2 输入数据说明	(223)
11.3.3 输出数据说明	(224)

11.3.4 程序流程图	(224)
11.3.5 计算程序框图	(224)
11.3.6 计算例题	(228)
主要参考文献	(230)

1 机械系统设计

1.1 机械系统设计的任务及方法

1.1.1 机械系统的组成

机械系统主要包括动力系统、传动系统、执行系统、操纵及控制系统。

1.1.1.1 动力系统

动力系统包括动力机及其配套装置,是机械系统工作的动力源,本专业主要涉及到二次动力机,即将二次能源(如电能、液能、气能)转变为机械能的机械,如电动机、液压马达、气动马达等。

选择动力机时,应全面考虑执行系统的运动和工作载荷,机械系统的使用环境和工况,以及工作载荷的机械特性要求,使系统具有良好的动态性能,又有较好的经济性。

1.1.1.2 执行系统

执行系统包括机械的执行机构和执行构件,是利用机械能来改变作业对象的性质、状态、形状或位置,或对作业对象进行检测、度量等,以进行生产或达到其他预定要求的装置。

执行系统的输出,也是机械系统的主要输出,其性能直接影响整个系统的性能。执行系统除应满足强度、刚度、寿命等要求外,还应充分注意运动精度和动力学特性等要求。

1.1.1.3 传动系统

传动系统是把动力机的动力和运动传递给执行系统的中间装置。传动系统有下列主要功能:

- 1) 减速、增速或变速。
- 2) 改变运动规律或形式。把动力机输出的均匀旋转运动转变为按某种规律变化的旋转或非旋转、连续或间歇的运动,或改变运动方向。
- 3) 传递动力。把动力机输出的动力传递给执行系统,供给执行系统完成预定任务所需的转矩或力。

1.1.1.4 操纵系统和控制系统

操纵系统和控制系统都是为了使动力系统、传动系统、执行系统彼此协调运行,并准确可靠地完成整机功能的装置。操纵系统多指通过人工操作来实现上述要求的装置,通常包括起动、离合、制动、变速、换向等装置;控制系统是指通过人工操作或测量元件获得的控制信号,经由控制器,使控制对象改变其工作参数或运行状态而实现上述要求的装置,如伺服机构、自动控制装置等。

1.1.2 机械系统设计的任务

机械系统设计的目的是提供优质价廉的产品,在设计、制造及管理一系列工作中,产品设计是关键。据统计,产品质量事故,约有50%是设计不当造成的;产品的成本,60%~70%取决于设计。机械设计时要求合理确定系统功能,增强可靠性,提高经济性,并保证安全性。

1.1.2.1 合理确定系统功能

确定系统功能应以社会需求为最基本的出发点。需求即是对机械设备的功能需求,用户购买产品实际就是购买产品的功能。产品的功能与技术、经济等因素密切相关。根据价值工程原理,产品的价值 V 常用产品的总功能 F 与寿命周期成本 C 的比值,即用 $V=F/C$ 来表示。为了提高产品的价值,一般可以采取下列五种措施:1)增加功能,成本不变。2)功能不变,降低成本。3)增加一些成本换取更多的功能。4)降低一些功能以使成本更多的降低。5)增加功能,降低成本。显然,最后一种是最理想的,也是最困难的。通常,随着功能的增加,产品的成本也会随之上升。所以设计人员在深入市场调查,摸清当前和今后的需求,然后对产品进行功能分析,遵循保证基本功能、满足使用功能、去掉多余功能、增添新颖功能、恰到好处地利用外观功能的原则,力求使产品达到满意的需求。

1.1.2.2 提高可靠性

可靠性是衡量系统质量的一个重要指标,即指系统在规定的条件下和规定的时间内完成功能的能力。规定功能的丧失称为失效,对于可修复的系统其失效也称故障。可靠性技术已开始应用于机械系统设计,以分析系统发生故障及预防措施。

对于具有一定批量生产的机械设备和零件,可靠性程度可以用量化指标来评判。如可靠度、失效概率、失效率、平均无故障工作时间及失效前平均工作时间等。

进行可靠性设计时,必须掌握影响可靠性的各种设计变量的分布特性和数据,还要建立从研究、设计、制造、试验直至管理、使用和维修及评审的一整套可靠性计划。

1.1.2.3 提高经济性

提高经济性包括提高设计和制造的经济性,即使产品成本低,物质消耗少,生产周期短等,还包括提高使用和维修的经济性。提高经济性的措施是:

1) 合理确定可靠性要求和安全系数。可靠性要求应根据系统的重要程度、工作要求、维修难易和经济性等多方面的因素综合考虑确定。当缺乏必要的数据和资料尚无条件进行可靠性设计时,则可把设计参数作为确定值,并用安全系数作为判据。应尽可能精确估计载荷及强度,并采用精确的计算方法。在选取安全系数时,考虑可靠性的要求,当可靠性要求高时,安全系数值应取大些。

2) 贯彻标准化。标准化是组织现代化大生产的重要手段,实施标准化是国家的一项重要技术法规。标准化通常包括产品标准化、系列化和通用化。

3) 采用新技术。设计中要求采纳新产品、新方法、新工艺、新材料和新技术,不断充实和改进产品。

4) 改善零部件结构工艺性。零部件结构工艺性包括铸造工艺性、锻造工艺性、冲压工艺性、焊接工艺性、热处理工艺性、切削加工工艺性和装配工艺性等。良好的工艺性是减小劳动量、提高生产率、缩短生产周期、降低材料消耗和制造成本的前提,也是提高产品质量的基本保证。

5) 提高产品的效率和合理确定经济寿命。用户要求产品效率高、能耗低。机械设备的效率主要取决于传动系统和执行系统的效率,在方案设计及结构设计时应充分考虑提高效率的措施。一般说来,希望产品有长的使用寿命,但设计时也不单纯追求长寿命,应正确确定正常运行的合理寿命、维修费用及更新周期。

1.1.2.4 保证安全性

机械系统的安全性包括机械系统执行预期功能的安全性,即机械系统本身的安全性和人—机—环境系统的安全性。

1.1.2.5 提高可循环利用性和环境友好性

根据产品全生命周期工程设计原则,即在产品设计阶段就考虑产品整个生命周期内价值的设计方法。其中要求在设计阶段就应考虑机械系统失效报废后,其零件重新利用、材料回收、废物处置及对环境的影响等问题。

1.1.3 机械系统设计类型和步骤

近年来,人们用系统工程的方法进行机械产品的设计和开发,对产品计划、发展的方法和工作步骤作全面的考虑,这对于比较复杂的机械产品更为需要,由于应用系统工程的方法和原理,可以缩短新产品的设计周期,使机械产品设计将更加可靠、有效、迅速地进行。

1.1.3.1 机械产品设计类型

根据产品对新要求的程度不同,产品设计有五种类型:

1) 开发性设计(全新设计)。是建立在新理论和新技术上的设计,在工作原理、结构等完全未知的情况下,应用成熟的科学技术或经过实验证明是可行的新技术,设计过去没有过的新型机械,这是一种完全创新的设计,如第一代轧钢机的设计,现代的 DSR 轧辊设计。

2) 适应性设计。对现有产品,在保留功能结构、原理方案不变的前提下,对产品作局部的变更;或设计一个新部件,只对结构或零件进行重新设计,使产品在质和量方面更能满足使用要求。如根据传动力矩和速比的要求的变化,重新设计相应的减速器。

3) 变参数设计。对现有产品工作原理和功能结构都不变的条件下,仅改变部分结构配置或结构尺寸,而形成系列产品。

4) 组合选型设计。当功能、原理方案和构形均已知,以及市场、企业现有的零部件,根据需要重新进行功能结构的组合,如液压系统设计。

5) 选型设计。根据机组和车间生产需要,直接选用现有产品或标准零部件,如控制设备、电动机、标准减速器等。

上述五种类型中,开发性设计一般要经过设计的全部工作阶段和步骤。有更多的机会应用各种有效的现代设计方法。开发性设计总是少量的。为要充分发挥现有机械设备的潜力,适应性设计和变参数设计就显得更重要了。

1.1.3.2 机械系统设计过程

机械系统设计的一般过程包括计划、外部系统设计(外部设计)、内部系统设计(内部设计)和制造销售四个阶段,各阶段的工作进程和内容见表 1.1。

表 1.1 各阶段的工作进程

阶段	工作进程	工作内容
计划	了解设计任务,明确设计目的和功能要求	根据产品发展规划和市场需要提出设计任务书,或由上级主管部门下达计划任务书

续表 1.1

阶段	工 作 进 程	工 作 内 容
外 部 设 计	调查研究	进行市场调查,占有技术情报和资料,掌握外部环境条件,预测市场趋势
	可行性研究	进行技术研究和费用预测,对市场前景、投资环境、生产条件、生产规模、生产组织、成本与效益等进行全面的分析研究,提出可行性研究报告
	系统计划	明确设计任务书、目的和要求,搞清外部环境的作用和影响,制订系统开发计划书
内 部 设 计	初步设计(方案设计或概略设计)	选择工作原理、设计总体方案,对可行的各候选方案进行分析比较,进行总体布置设计,必要时进行试验研究(前期试验)
	系统分解 系统分析	将总体系统分解成子系统,画出系统图,以便于分析和设计 分析和确定系统目的与要求,进行模型化、优化与评价,确定最佳系统方案
	技术设计(草图设计或详细设计)	进行子系统的技术设计和总体系统的技术设计,计算和确定主要尺寸,绘制部件装配图和总图,必要时进行试验研究(中期试验)
	工作图设计 鉴定和评审	绘制全部零件工作图,编写各种技术文件和说明书 对设计进行全面的、技术、经济评价,分析内部系统对周围环境的作用和影响
制 造 销 售	样机试制	样机试制,样机试验(后期试验)
	样机鉴定和评审	对样机进行全面的鉴定和评审
	改进设计	对不能满足系统要求的技术、经济指标进行分析,根据样机鉴定和评审意见修改设计
	小批试制	对单件生产的产品,经修改、试验、调整后,投入运行考核,并在运行中不断改进和完善
	定型设计	对大量生产的产品,通过小批试制进一步考核设计的工艺性,并不断修改和完善设计,同时进行工艺装备的准备工作
	销售	完善全部工作图、技术文件和工艺文件

1.2 机械系统的方案设计

方案设计是整个设计的关键。方案设计时,一般是从系统的功能要求出发,通过技术过程的分析,确定技术系统的效应,然后寻求解决的途径。即通过分析机械作业过程的工艺原理,确定人在技术过程中参与的程度(即机械化和自动化的程度)和技术系统的边界,以及确定技术过程中各作业的顺序,并且经过筛选,找出实现预定设计目标的最佳原理方案。这种方法主要是把复杂的设计要求通过功能关系的分析抽象为简单的模式,以便寻求能满足设计对象主要功能关系的原理方案。

1.2.1 设计任务抽象化

以设计任务作为问题进行抽象,这是设计的重要步骤。德国诺特纳赫(Rodenacher)将各类产品工作目的和特征,归结为三个基本要素:能量(E)、物料(St)、信息(Si)。这三个基本要素在整个工程中相应形成为功能流(如机器的功能)、物流(如设备的功能)、信息流(如仪器的功能)。对于庞大复杂的机械和工程系统,通常采用黑箱法使问题得到抽象。图1.1表示黑箱模型,方框内部为待设计的技术系统,方框即为系统边界,通过系统的输入和输出,使系统和环境连接起来。

图1.2所示为顶吹氧气转炉设备的黑箱示意图。图中左边为输入量,右边为输出量,都

有能量、物料和信息三种形式。图下方表示了外部环境（炉况、供氧、喷吹等）对工作性能的各种影响因素。图上方表示转炉工作时对外部环境的影响（噪声、废气等）。

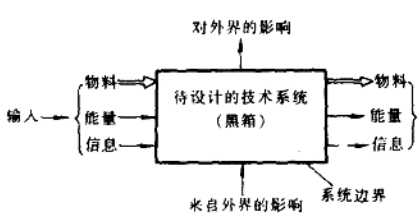


图 1.1 黑箱模型图

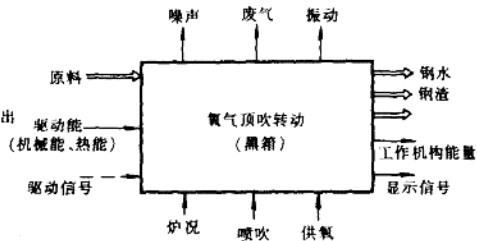


图 1.2 顶吹氧气转炉设备模型

1.2.2 确定工艺原理

为了打开黑箱，必须确定黑箱要求的能实现作业对象转化的工艺原理。作业对象的每一种转化一般都可以由多种不同的工艺原理来实现，如炼钢可以采用不同的工艺。一种工艺选定后，工艺过程及工艺过程中各项作业的基本顺序及机械系统也随之确定。

1.2.3 确定技术过程

所谓确定技术过程就是按照选定的工艺原理确定转化所需的程序及其顺序，一般常用方框图表示。图 1.3 所示为技术过程的一般模式，这种一般模式包括了各种类型的作业。

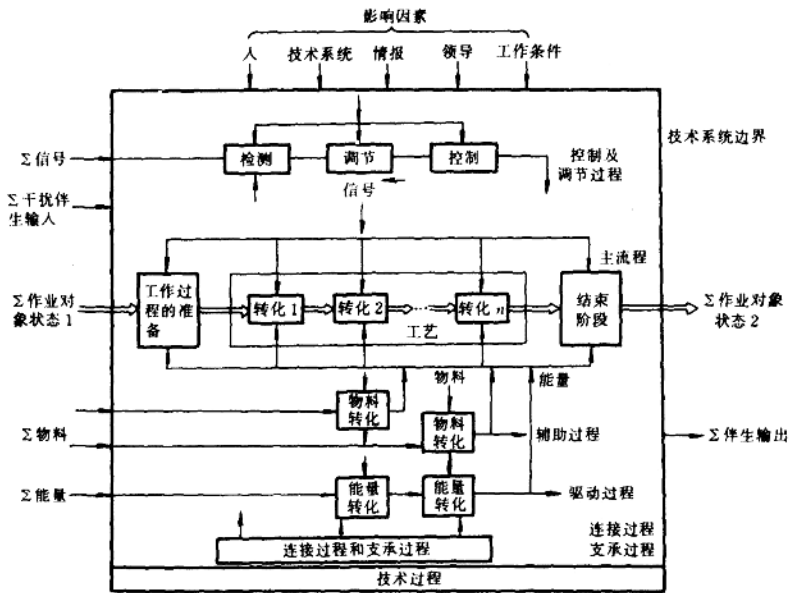


图 1.3 技术过程的一般模式

中表示根据工艺原理所进行的作业对象的转化,构成了技术过程的主流程,而主流程不断得到物料流、能量流、信息流的支持和补充。

1.2.4 引入技术系统并确定系统边界

技术过程中的各种效应(功能的实现与转化)是通过技术系统或人来实现的。所谓引入(引进)技术系统就是根据技术过程的要求确定机械系统的具体任务,并把这些任务分配给各个子系统。究竟采用几个技术系统来实现这些效应,人在其中参与的程度如何,将取决于机械化和自动化程度的要求,同时也涉及系统边界的划分。

1.2.5 确定功能结构

功能是系统的属性,它表明系统的效能及可能实现的能量、物料、信息的传递和转换。

由于系统的总功能往往很多,为便于分析和研究,常需进行功能分解。对某个具体的技术系统,其总功能需分解到何种程度,取决于在哪个层次上能找到相应的技术物理效应和结构来实现其功能要求。对于复杂的技术系统往往要将其总功能分解为若干级分功能的要求,有的甚至要分解到最后不能再分解的基本单元——功能元。同级分功能的分解组合起来应能满足上一级分功能的要求,最后组合成的整体应能满足总功能的要求,这种功能的分解和组合关系称为功能结构。如一台轧钢机,它是由主传动和主机座组成。若把轧钢机看作一个整体系统,轧钢作业为整体系统的总功能,那么相应的主传动和主机座可称为分系统,各自功能称为分功能。但是,主传动和主机座的分功能还可以细分,如主传动还可按电动机、主减速器、齿轮座等细分,一直细分到再分就没有什么意义为止。如齿轮座的功能是把主减速器输入的能量分配给几个轧辊,若把齿轮座的功能再细分就没有什么意义了。齿轮座这样不能再分解的功能称为基本功能(或功能元)。

1.2.6 确定设计方案

1.2.6.1 寻找实现分功能的技术物理效应和功能载体

物理学原理在工程技术上加以利用就是所谓的技术物理效应。例如,力平衡是物理学原理,而根据力平衡原理导出的杠杆系、滑轮组等就属于技术物理效应,实现技术物理效应的具体构件如杠杆、滑轮、支承等即为功能载体。如果对每个分功能都找出了其相应的技术物理效应和确定了功能载体,就可组成具体的设计方案。

1.2.6.2 功能载体的组合

通过上述步骤已找出了实现各分功能的技术物理效应和功能载体,如果再把这些功能载体根据功能结构进行合理组合,则可得到实现总功能的各个总体方案。在进行方案构思时利用形态学方法建立形态学矩阵(又称模幅箱),对开拓思路、探求科学的创新方案是有效的。形态学矩阵中将系统的各个分功能作为目标标记,分功能的各种解法列为目标特征。如轧机压下平衡机构,其主要功能为压下及平衡辊系,其形态学矩阵如表1.2所示,可能的组合方案为 $N=3 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3=108$ 。不同的组合可以得到不同的方案,如:

$A1+B1+C1+D1+E1 \rightarrow$ 小型型钢轧机压下调整机构

$A2+B1+C1+D2+E1 \rightarrow$ 初轧机压下调整机构

1.2.6.3 确定基本结构布局

前面虽已确定了功能载体的组合关系,但仍停留在功能性的关系中。因为结构元件在空间的相互位置是可进行不同处理的,即用同样的分功能载体可以构成不同的结构布局,从而可得到不同的总体设计方案。

表 1.2 轧机压下平衡机构形态学矩阵

分功能	解 法		
	1	2	3
A (动力源)	手动	电动机	液压缸
B (移动传动)	齿轮传动	蜗轮传动	—
C (压下螺丝)	梯形螺纹	锯齿螺纹	—
D (平衡系统)	弹簧式	重锤式	液压缸 (4 缸)
E (安全系统)	整体式安全臼	螺栓式安全臼	光栅式传感器

1.3 机械系统总体设计

1.3.1 初步总体设计及总体设计

机械的使用性能、尺寸、外形、重量、生产成本等都与总体设计有密切关系。同时,由于所设计的机械不是一个孤立的系统,它必将和其他外部系统发生联系,例如人机系统、环境系统、加工装配系统、运行管理系统等。所以总体设计时必须扩大系统范围,使整个机械系统与其他相关的外部系统相适应,使设计达到最完善的程度。

1.3.1.1 初步总体设计

初步总体设计的主要任务是根据设计方案绘制总体布置草图。为了确定各部件(子系统)的基本结构和型式,进行构型设计、初步计算和运动分析,应在图上仔细布置各部件和确定它们的相对位置尺寸,并对整机进行必要的工作能力计算和性能预测,以确保实现重要的性能指标。若不能满足要求,则应随时调整。完成总体布置草图后,不仅确定了整机的布置型式和主要尺寸,而且也基本确定了各部件的基本型式和特性参数。所以在画各个零部件时,尺寸和形状应尽量准确。初步总体设计时应特别注意各部件之间的联系和协调,消除薄弱环节,贯彻提高可靠性和经济性等技术措施。

1.3.1.2 总体设计

总体设计的任务主要是对已确定的最佳初步总体设计进一步完善,包括选择材料和热处理方法,进行结构成形设计和有关计算,完成总体设计图。总体设计图应对所设计机械系统的结构做完整的描述。总体设计图是零部件设计的依据,不仅要严格按照比例绘制,而且要表示出重要零部件的细部结构,并标注有关的重要尺寸。

1.3.2 机械系统的总体布置及主要技术参数的确定

总体布置必须要有全局观点,不仅要考虑机械本身的内部因素,还要考虑人机关系、环境条件等各种外部因素,按照简单、合理、经济的原则妥善地确定机械中各零部件之间的相对位置和运动关系。总体布置时一般总是先布置执行系统,然后再布置传动系统、操纵系统及支承形式等,通常都是从粗到细,从简到繁,需要反复多次才能确定。

1.3.2.1 总体布置设计的基本要求

1) 保证工艺过程的连续和流畅。机械的各个零部件即使设计和制造都很好,但布置不合理,机械仍然不能很好地工作,也不能获得良好的整机性能。进行总体布置就是要探求它们之间最合理的相互位置和相关尺寸。故在配置工作部件的位置时,特别是对工作条件恶劣和工况复杂的机械,应考虑零部件的惯性力、弹性变形以及过载变形等的影响,保证前后作业工序的连续和流畅,能量流、物料流和信息流的流动途径合理,各零部件间的相

对运动不发生干涉。

2) 降低质心高度、减小偏置。任何机械都应能平衡、稳定地工作,如果机械的质心过高或偏置过大,则可能因扰力矩增大而造成倾倒或加剧振动。所以,在总体布置时应力求降低质心,尽量对称布置,减小偏置。整机的质心位置将直接影响行走机械和运输机械,如钢包车、装料机等的后轴载荷分配、纵向稳定性、横向稳定性等,对于固定式机械也将影响其基础的稳定性。因此总体布置时必须验算各零部件和整机的质心位置,控制质心的偏移量。

3) 保证精度、刚度及抗振性等要求。对于飞剪机、精密轧制设备等,为了保证轧件的精度,其自身必须具有一定的几何精度、传动精度和动态精度。

为了提高机械的传动精度,除要合理确定传动件的精度外,在总体布置时尽可能简化和缩短传动链以及合理安排传动机构的顺序。

机械刚度不足及抗振性不好,将使机械不能正常工作,或使其动态精度降低。为此在总体布置时,应重视提高机械的刚度和抗振能力,减小振动的不利影响。例如为提高轧机的刚度采用闭式机架;为减小锯机振动对锯切质量的影响,采用分离驱动的办法,即把电动机与变速箱和主轴箱分开布置,将振源与工作部分隔开。

4) 充分考虑产品系列化和发展要求。设计机械产品时不仅要注意解决存在的问题,还应考虑今后进行变型设计和系列设计的可能性,及产品更新换代的适应性问题。对于单机的布置还应考虑组成生产线和实现自动化的可能性。

5) 结构紧凑,层次分明。紧凑的结构不仅节省空间,减少零部件,便于安装调试,往往还会带来良好的造型条件。为使结构紧凑,应注意利用机械的内部空间,如把电动机、传动部件、操纵控制部件等安装在支承大件内部。为使占地面积缩小,可用立式布置代替卧式布置。

6) 操作、维修、调整简便。为改善操作者的劳动条件,减少操作时的体力及脑力消耗,应力求操作方便舒适。在总体布置时应使操作位置、修理位置和信息源的数目尽量减少,使操作、观察、调整、维修等尽量方便省力、便于识别,以适应人的生理机能。例如应由人体尺度来合理确定设备的尺寸;根据人的视觉特征来布置显示装置;按照人的体能参数合理设计操纵装置等。在必要时还可采取自动控制和联动装置。

7) 外形美观。机械产品投入市场后给人们的第一个直觉印象是外观造型和色彩,它是机械的功能、结构、工艺、材料和外观形象的综合表现,是科学与艺术的结合。设计的机械产品应使其外形、色彩和表现特征符合美学原则,并适应销售地区的时尚,使产品受到用户的喜爱。为此,在总体设计布置时应使各零部件组合匀称协调,符合一定的比例关系,前后左右的轻重关系要对称和谐,有稳定感和安全感。外形的轮廓线最好由直线或光滑的曲线构成,有整体感。

1.3.2.2 执行系统的布置

布置执行系统时,一般是先根据拟定的工艺要求将执行构件布置在预定的工作位置,然后布置其原动件和中间联接件。布置时应注意以下几方面:

1) 减少构件和运动副的数目,缩小构件的几何尺寸,以减小其磨损和变形对执行机构运动精度的影响。

2) 使原动件尽量接近执行机构。在布置相互联系型的多个执行机构时,应尽量将各原