



第二部分 系统化设计方法

(总结)

哈尔滨工程大学 机电学院

葛杨

geyang@hrbeu.edu.cn

13936427662

第 1 节 系统与技术系统

1. 系统定义



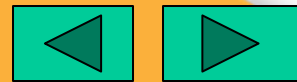
1) 系统的组成要素

- (1) 有两个以上的元素组成;
- (2) 元素间存在着互相制约的有机联系, 并保持一定的功能;
- (3) 由人工建造的系统必须有明确的目的, 每个零部件均是有目的的、作用的。

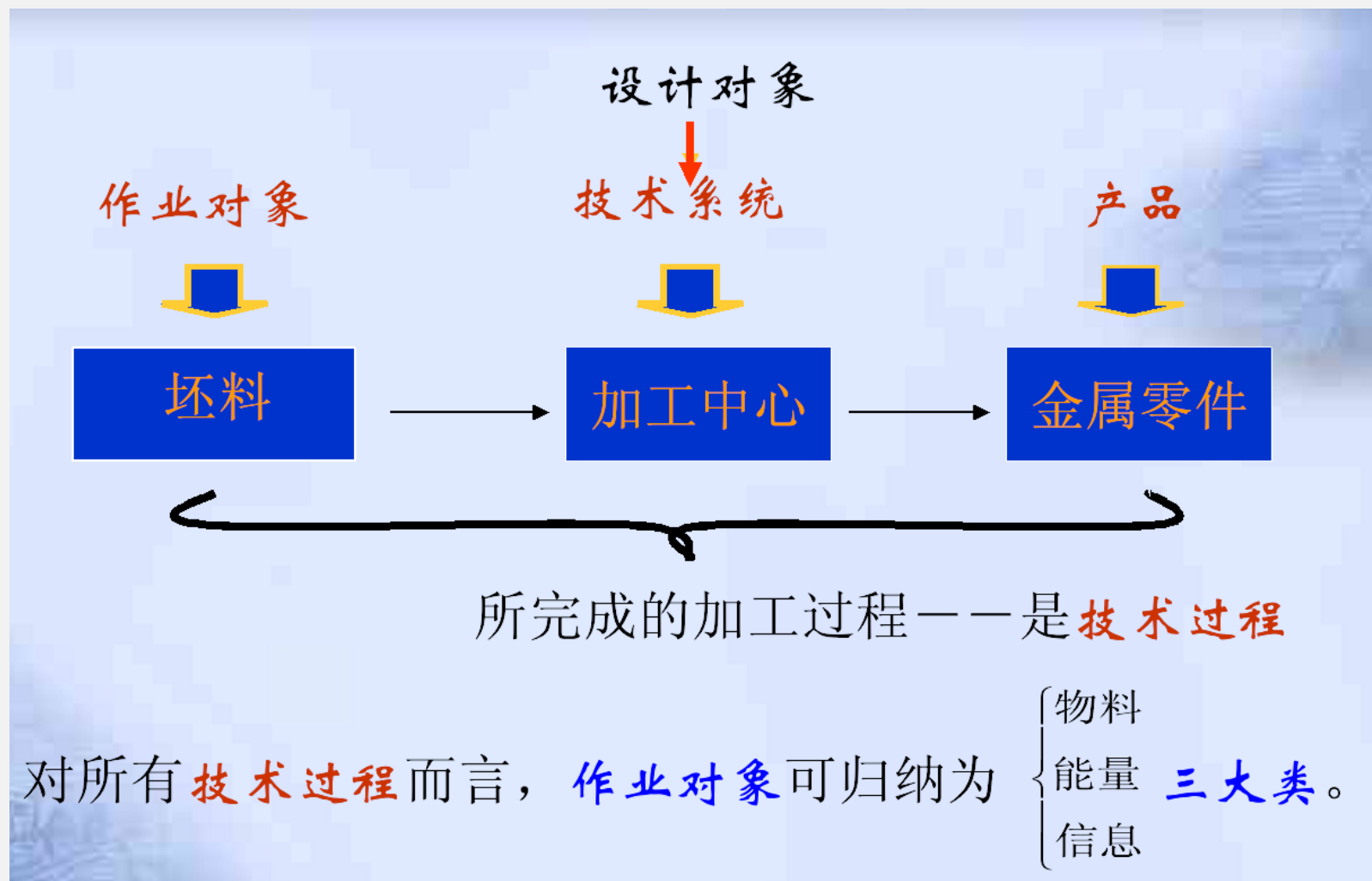
【例】自行车技术系统

自行车作为一个技术系统来分析
输入、输出、边界条件、元素

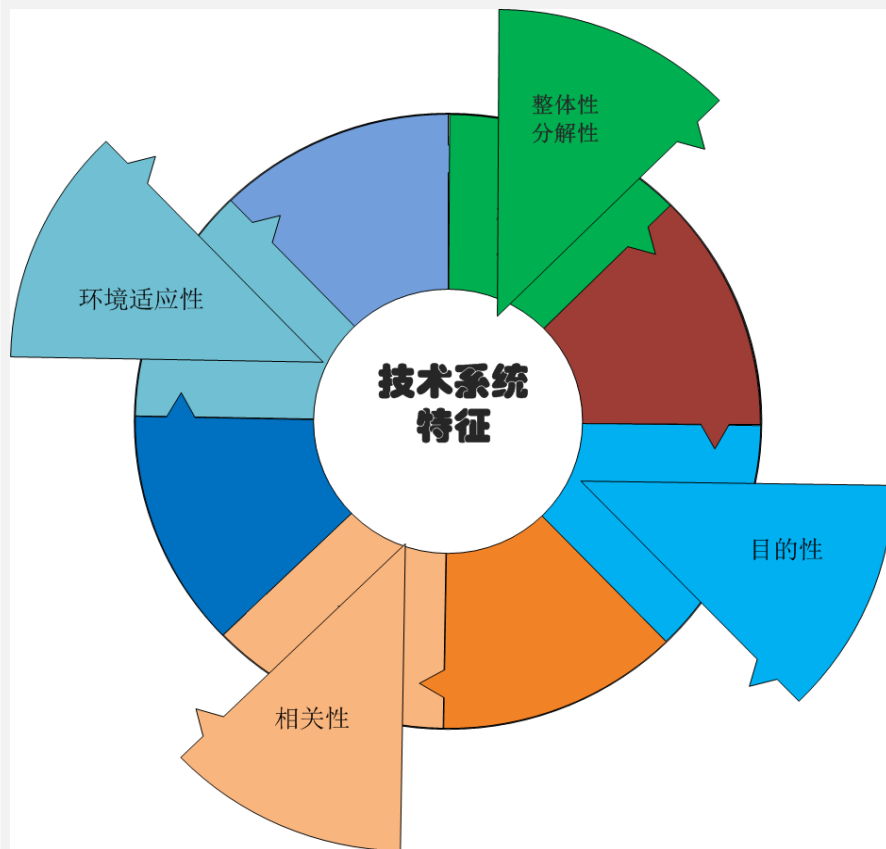
- 1) 输入: 骑行者、自身力和思想。
- 2) 输出: 具有前进速度骑行者
- 3) 边界条件: 使用者人和骑行环境
- 4) 元素: 零部件各零件通过一定的连接关系构成部件



2.技术系统?



3. 技术系统的特征



1) 整体性：这是系统思维方式的基点和核心，系统看做是由许多子系统集合在一起组成的有机整体，整体功能不是个别元素的简单选加。

注：不同性质、不同功能的子系统的有机联系、互相约束能使系统产生更高价值的整体功能。

如：自行车中的轴和轴承与飞机、飞船、火箭中的功能价值差别极大，同样元素与不同元素组合能构成不同功能系统；

如：齿轮副可以传动，在减速机中是减速增扭而在齿轮泵中的功能是增压

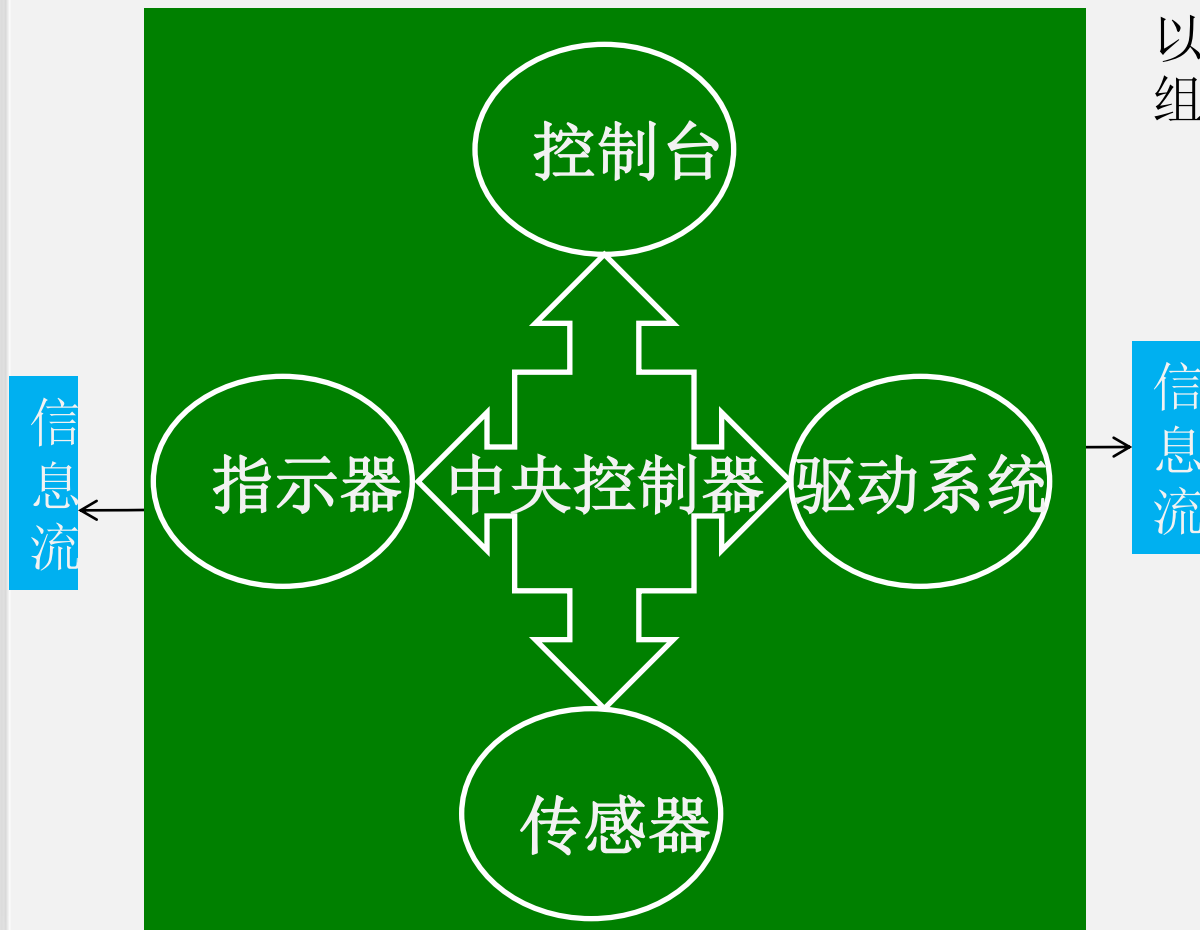
2) 分解性：系统由元素组成，具有可分解性，可以认为系统是由较小的子系统组成的，而子系统又是由更小的二级子系统组成的，依此类推，直至最后为不可分的单位元素（即零件.....）

3) 目的性：任何系统的构成一定具有明确的功能，构成方式不同达到的目的亦不同，目的可能是一个或多个。

4) 相关性：系统内的各元素之间具有互相依赖、互相制约、有机地联系在一起特定关系。它决定了系统的特性。

5) 环境适应性：系统自身不是孤立的，任何一个系统均与其所处的环境有密切的关系，即与环境进行能量、物质、信息三方面的交流，系统能适应环境的变化。

【系统特性练习】

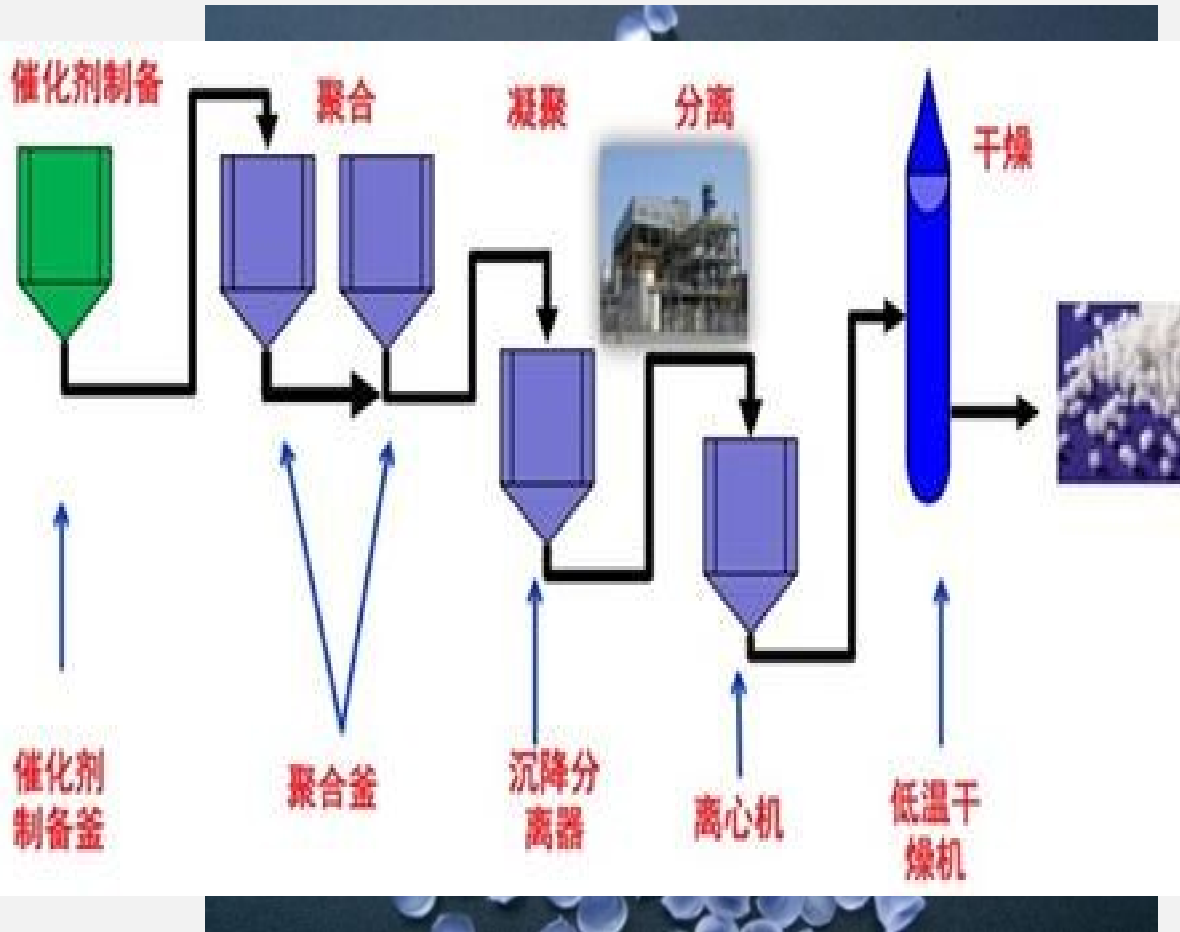


以信息流为基础不同的方式组合可获得许多仪器

仪器的五大元素（这些元素以不同的方式组合可获得许多仪器），如：

- 1) 可组合控制仪
- 2) 测量仪
- 3) 可组合机器人
- 4) 可组合为钟表

4. 生活中的技术系统



比如：药品交工的技术系统！

药品的加工——
举个例子，西药需要快速、
提取、制备

因此，这个系统
需要输入、输出、多元素
的综合作用，构成了
药品加工的技术系统

完成特定功能的系统



5 技术系统设计的理解

与传统的分析设计方法不同，**系统化设计法**是将工程设计任务或**机电产品**看作**技术系统**，用**系统工程方法**进行分析和综合，并且按产品或系统开发的进程进行设计，以求获得**最佳的设计方案**。

例如，为得到合乎一定要求的**轴类零件**，可通过**车削过程**来实现。轴的坯料通过**车削过程**，其形状、尺寸、表面性质等产生了一定变化，得到了**合乎要求的轴**，满足了客观需求。

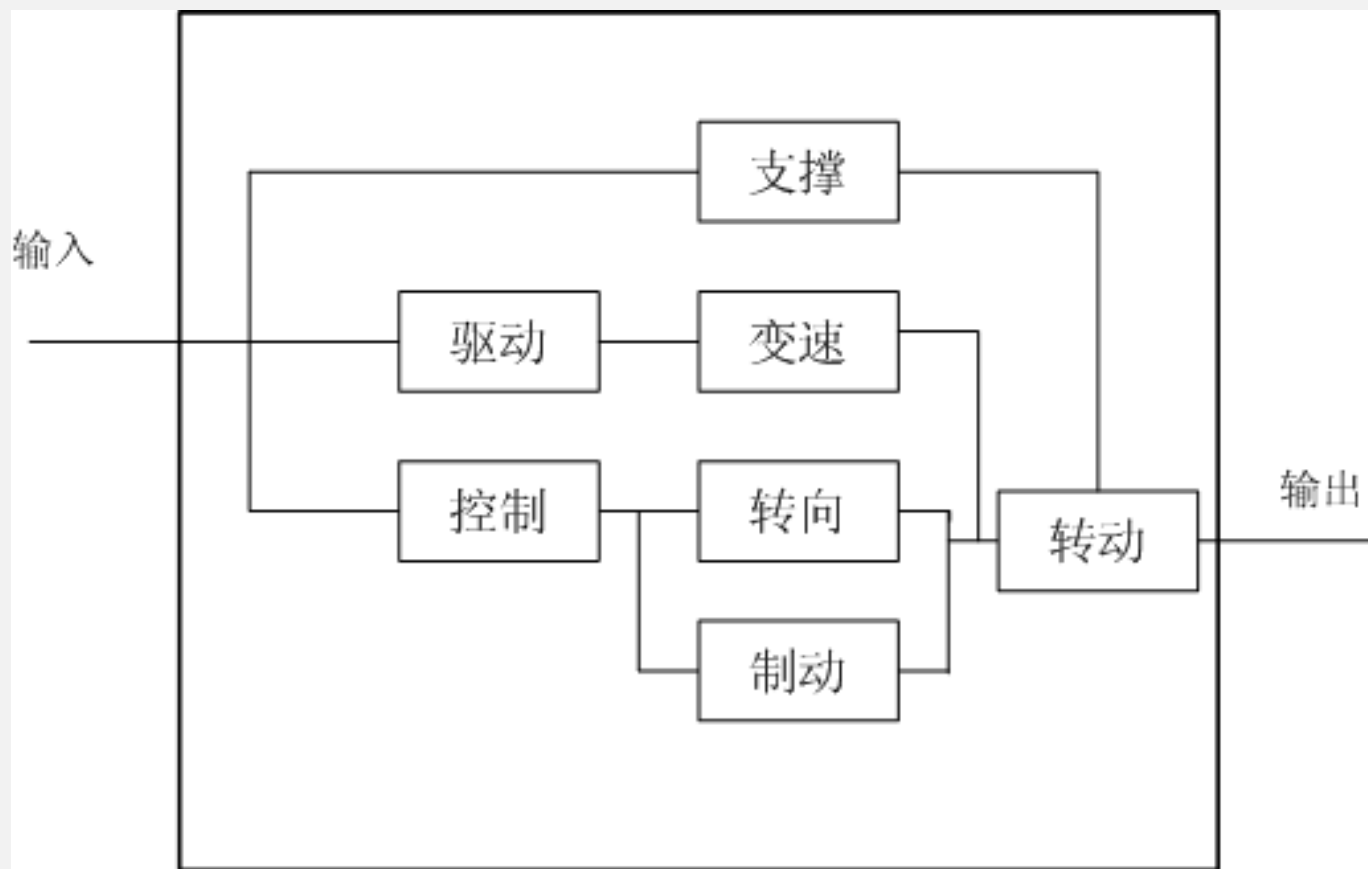
这一过程可应用金属切削理论中的**车削原理**，并由**操作者**通过**车床**实现。当然，**车削**不是满足这一需求的唯一过程，还可以视条件**采取**轧制、锻造、磨削、激光成型等**过程**。



技术**实现功能的体系结构**



变速自行车作为一个系统来分析



第 2 节 系统化设计思想与方法

系统化设计思想于70年代由德国学者Pahl 和Beitz 教授提出，他们以系统理论为基础，制订了设计的一般模式，倡导设计工作应具备条理性。德国工程师协会在这一设计思想的基础上，制订出标准VDI2221 技术系统和产品的开发设计方法。制定的机械产品方案设计进程模式，基本上沿用了德国标准VDI2221 的设计方式。除此之外，我国许多设计学者在进行产品方案设计时还借鉴和引用了其他发达国家的系统化设计思想，其中具有代表性的是：将用户需求作为产品功能特征构思零件设计和结构设计、工艺规划、作业控制等的基础（设计和生产），从产品开发的宏观过程出发，利用质量功能布置方法，系统地将用户需求信息合理而有效地转换为产品开发各阶段的技术目标和作业控制规程的方法。

将产品看作有机体层次上的生命系统，并借助于生命系统理论，把产品的设计过程划分成功能需求层次、实现功能要求的概念层次和产品的具体设计层次。同时采用了生命系统图符抽象地表达产品的功能要求，形成产品功能系统结构。



系统化设计思想



生命系统的结构层次

声明：百科词条人人可编辑，词条创建和修改均免费，绝不存在官方及代理商付费代编，请勿上当受骗。 [详情>>](#)

首页 分类 特色百科 用户 权威合作 手机百科

生命系统的结构层次



细胞 →

有例外，

单细胞：

单细胞生

病毒没特

中文名



- 生命系统的有机体**层次**？
- 生命系统**理论**？
- 生命系统**图符**？
- **功能系统结构**？

德国（生命系统图符）

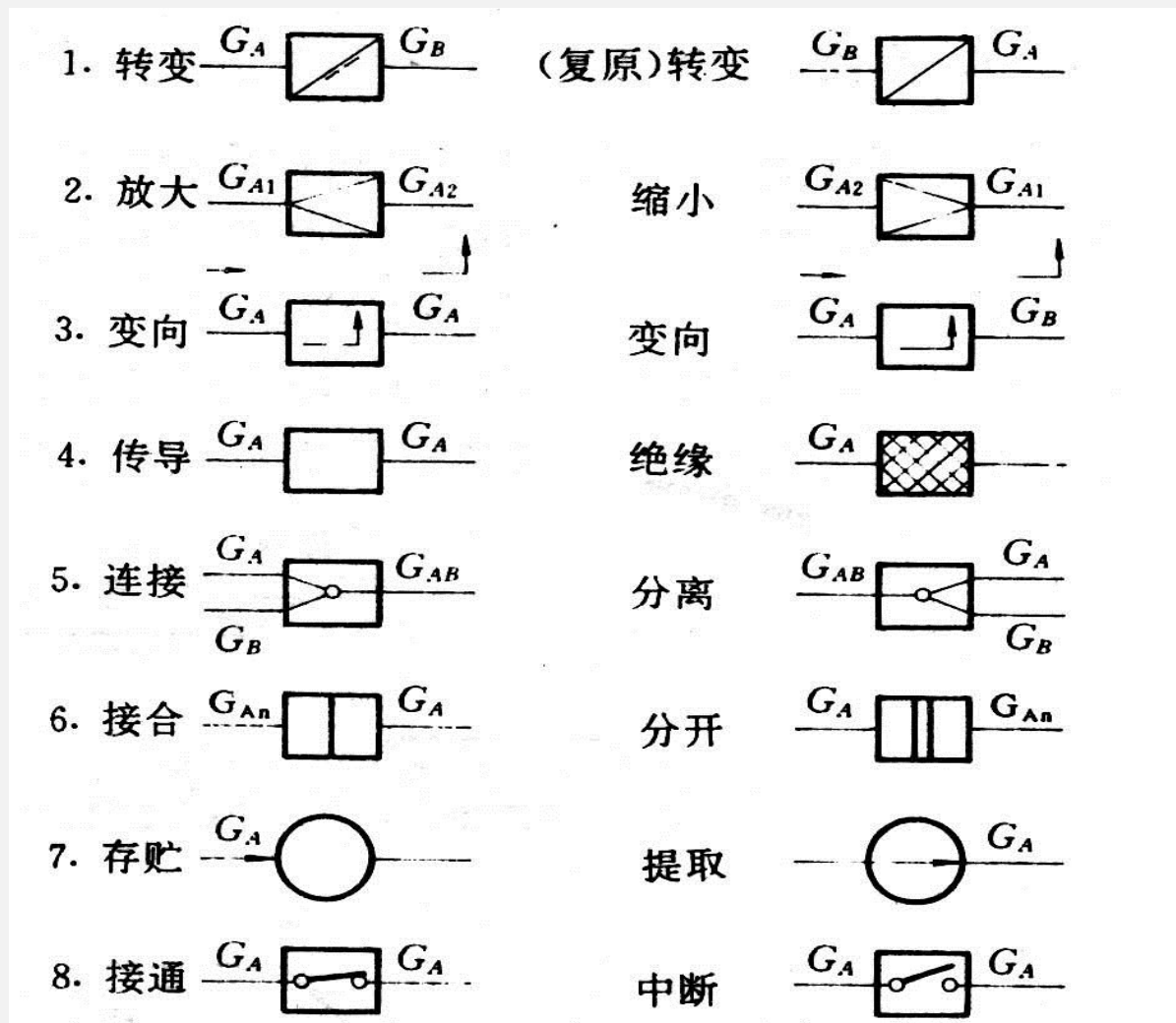
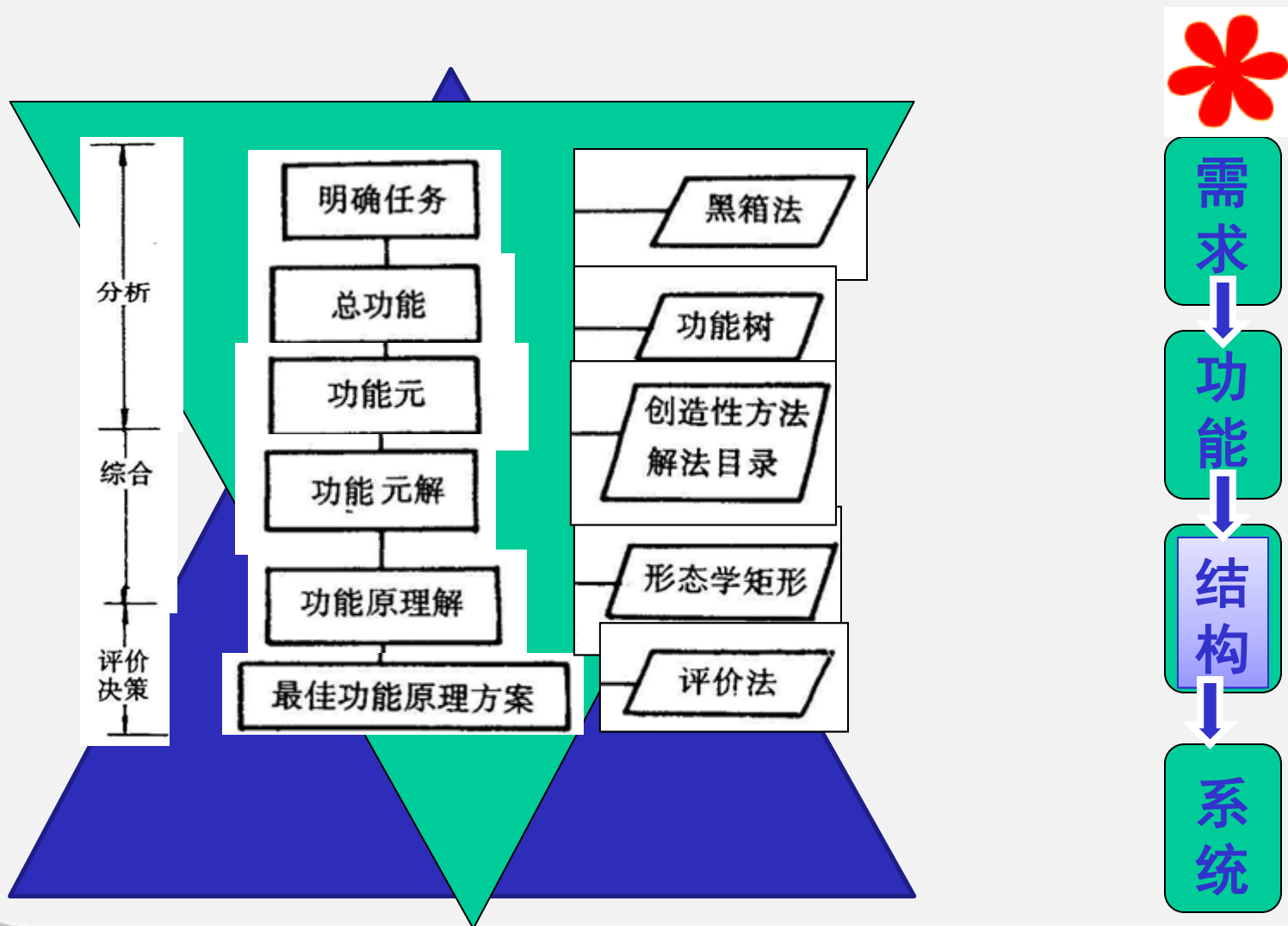


图2-9 部分物理基本动作和表示符号

第 3 节 系统化设计常用方法

系统化设计方法流程



例1 材料拉伸试验机的功能

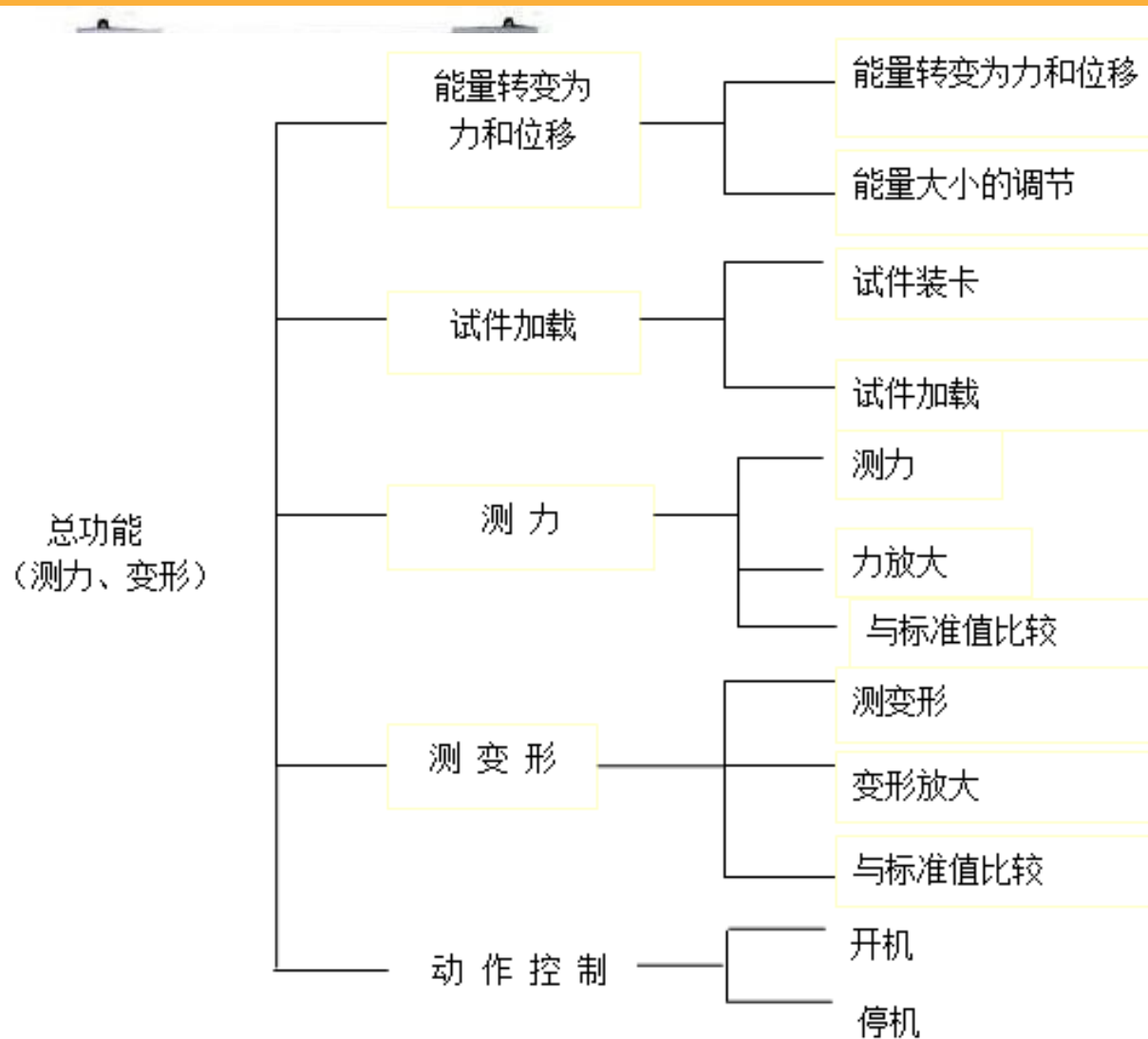
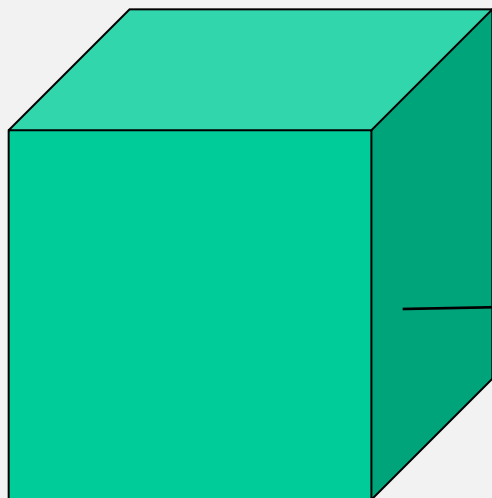


图1 生命系统结构

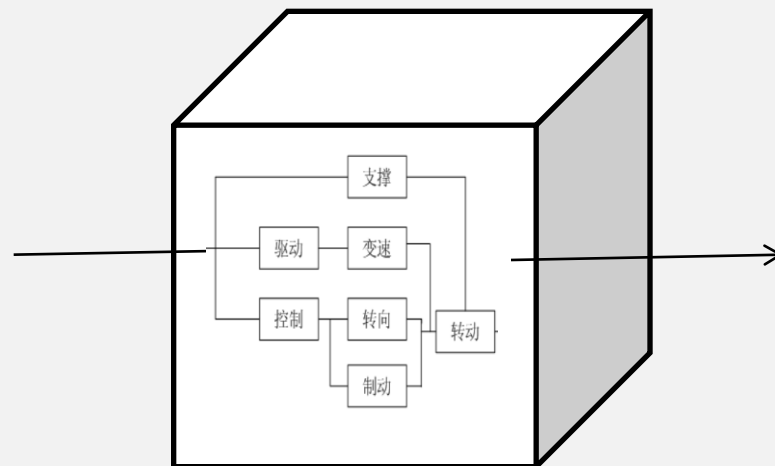


(1) 功能黑箱法

变速自行车功能黑箱



技术系统





功能黑箱分析方法

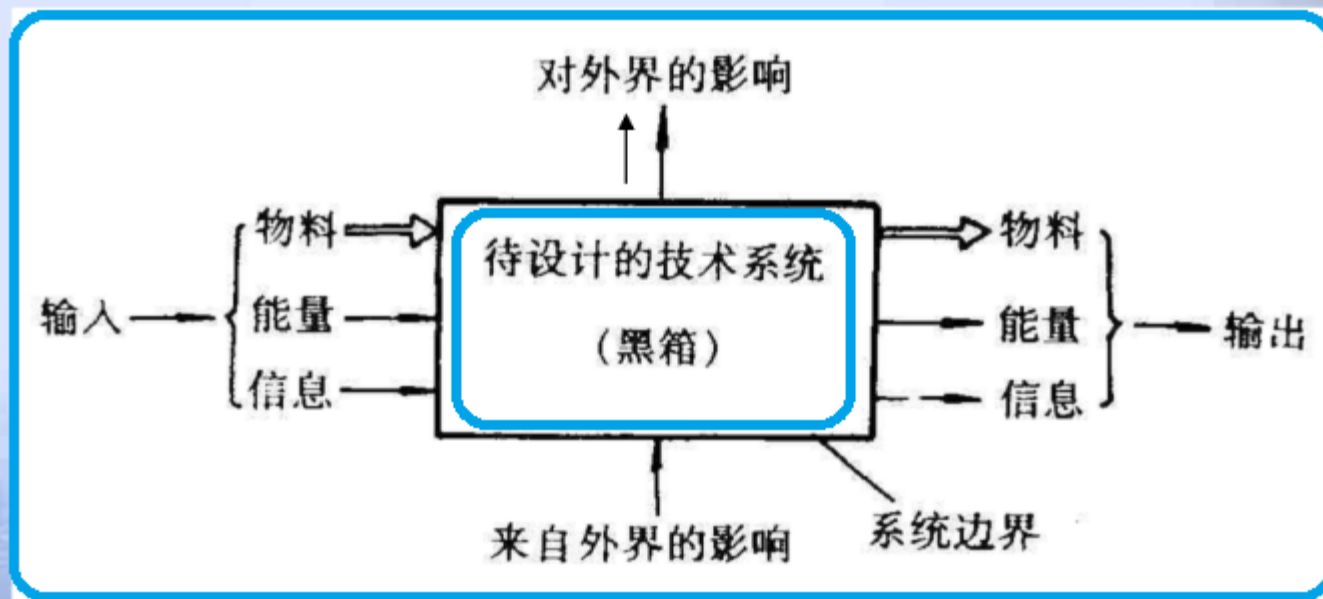
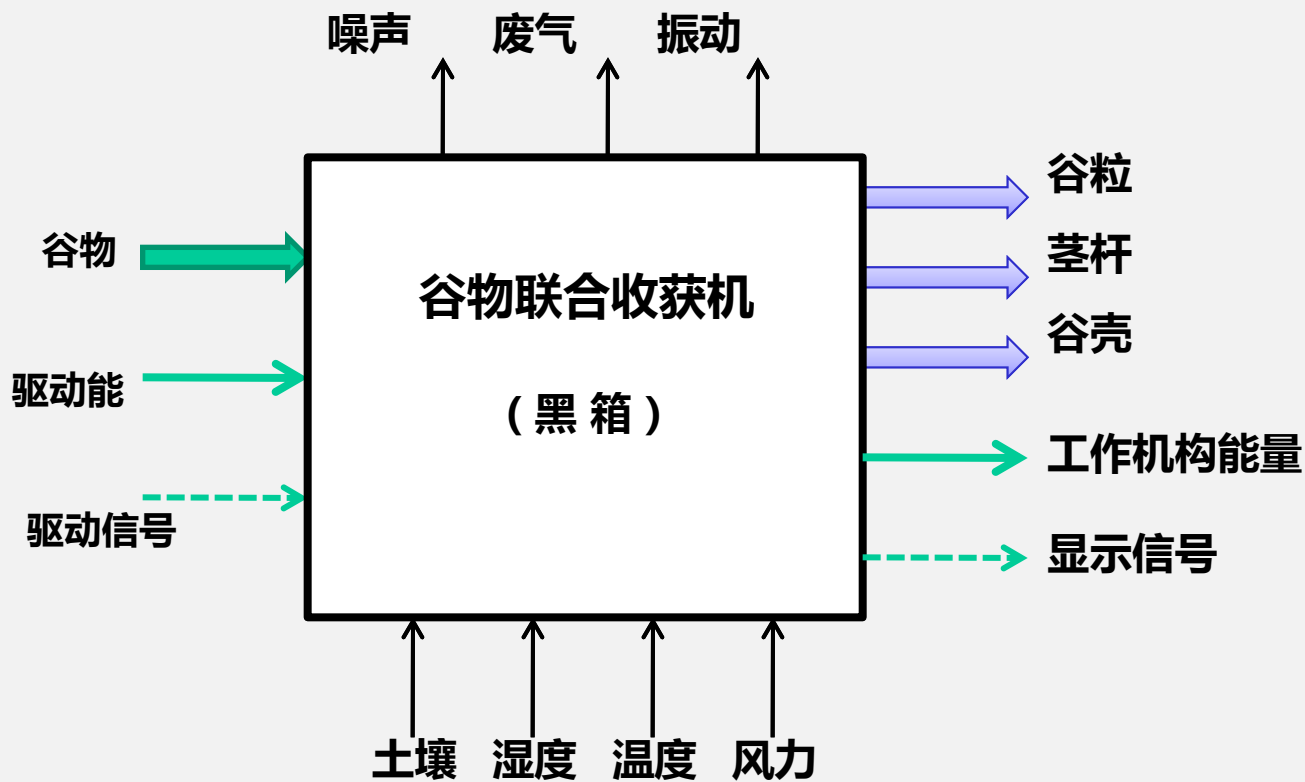


图10-4 黑箱示意图



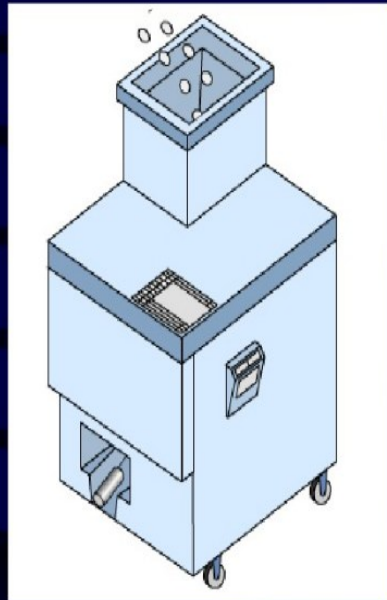
认知事物的方法

★ 黑箱法 谷物联合收获机



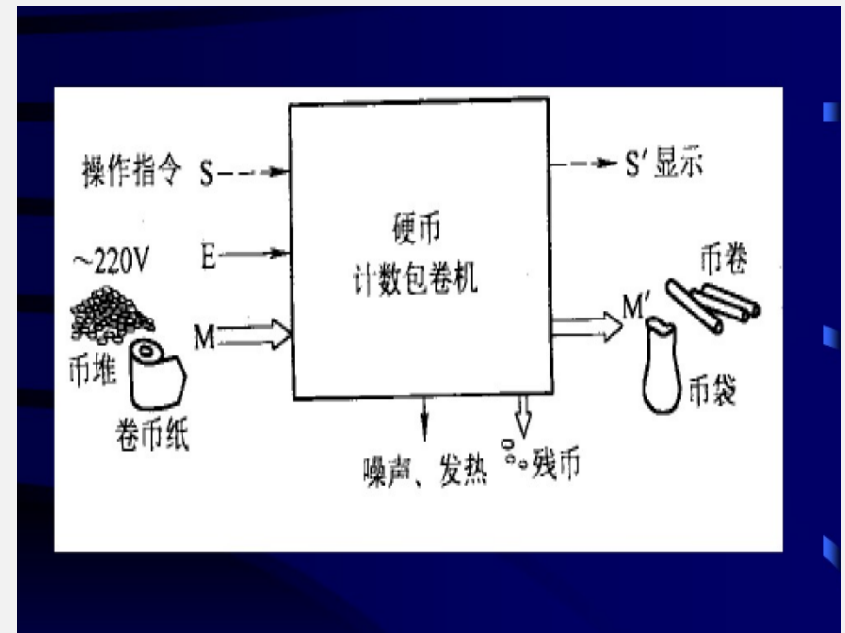


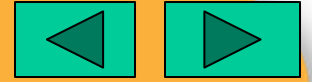
功能黑箱分析方法



硬币计数包卷机

用来整理、清点、计数，最后按50枚一卷将硬币用纸包卷起来；也可以在计数后装袋而不包卷。





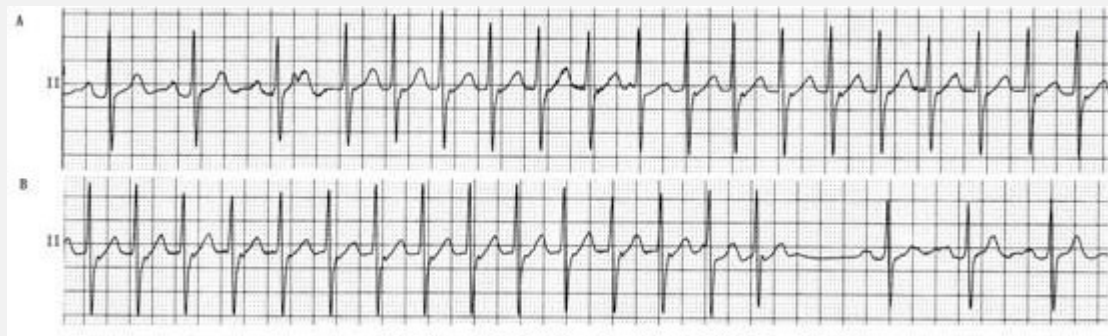
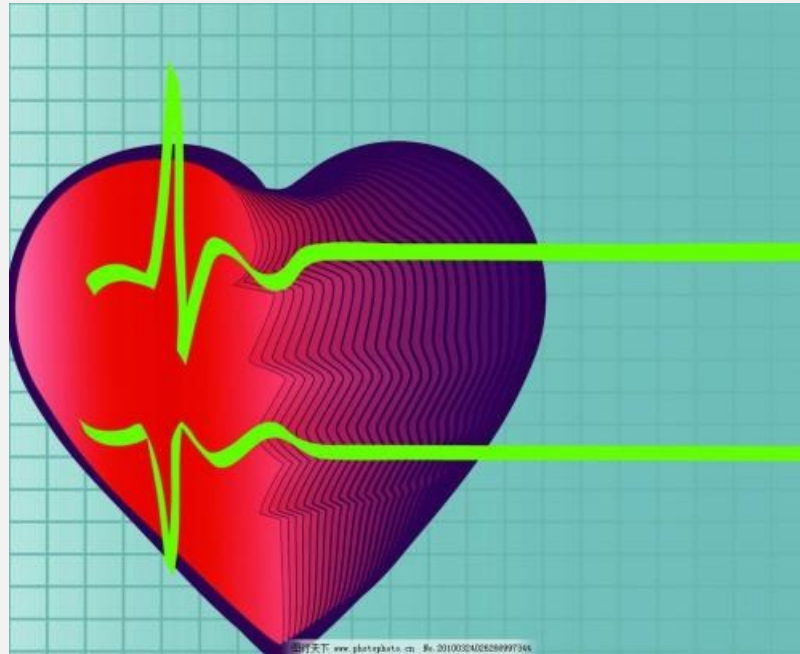
(2) 认识和分析黑箱功能的方法-孤立法 / 干预法 / 模型法

①孤立法：把所研究的对象看做一个整体系统。将它从环境中孤立出来，把环境的影响看做输入，而将其对环境的作用看做是输出，根据输入和输出的关系分析黑箱法的性能和特征。

②干预法：主动输入端加上一直讯号，然后对输出端进行测试，从其变化中获取黑箱的性能和特征的信息。如：从人静止或活动后的心电图讯号可分析心脏的健康状态，对一个传动系统输入一定速度的回转运动，分析其输出的运动形式、速度、方向及其它特征即可综合出其功能结构。

③模型法：以系统的输入、输出信息为依据，建立黑箱的模型，对系统功能进行分析和预测，此法可以在不了解具体结构的条件下作系统的功能模拟。如：电子计算机对人脑功能的模拟，人工心脏的设计。

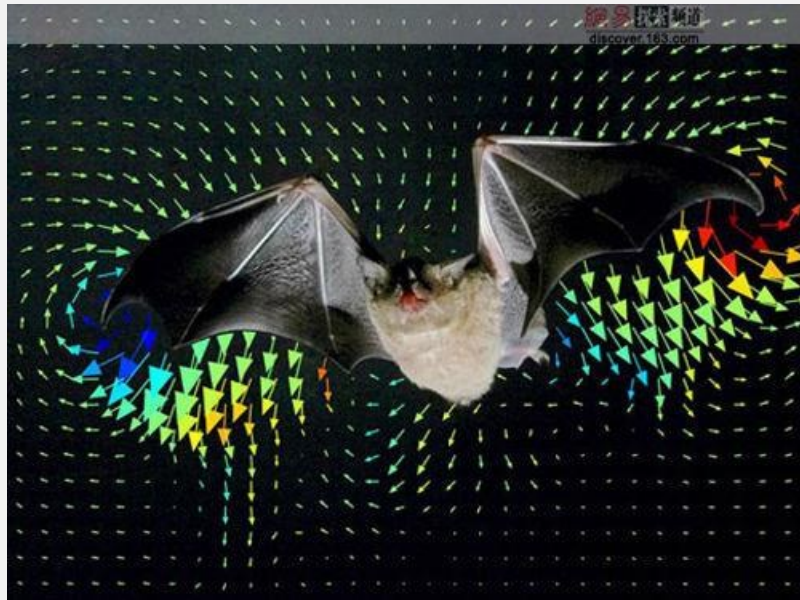
干预法



孤立法



模型法



- 风洞实验



(2) 抽象法

- 1) 设计任务的抽象 需求——功能
- 2) 设计原理的抽象 科学原理——技术原理

设计任务的抽象

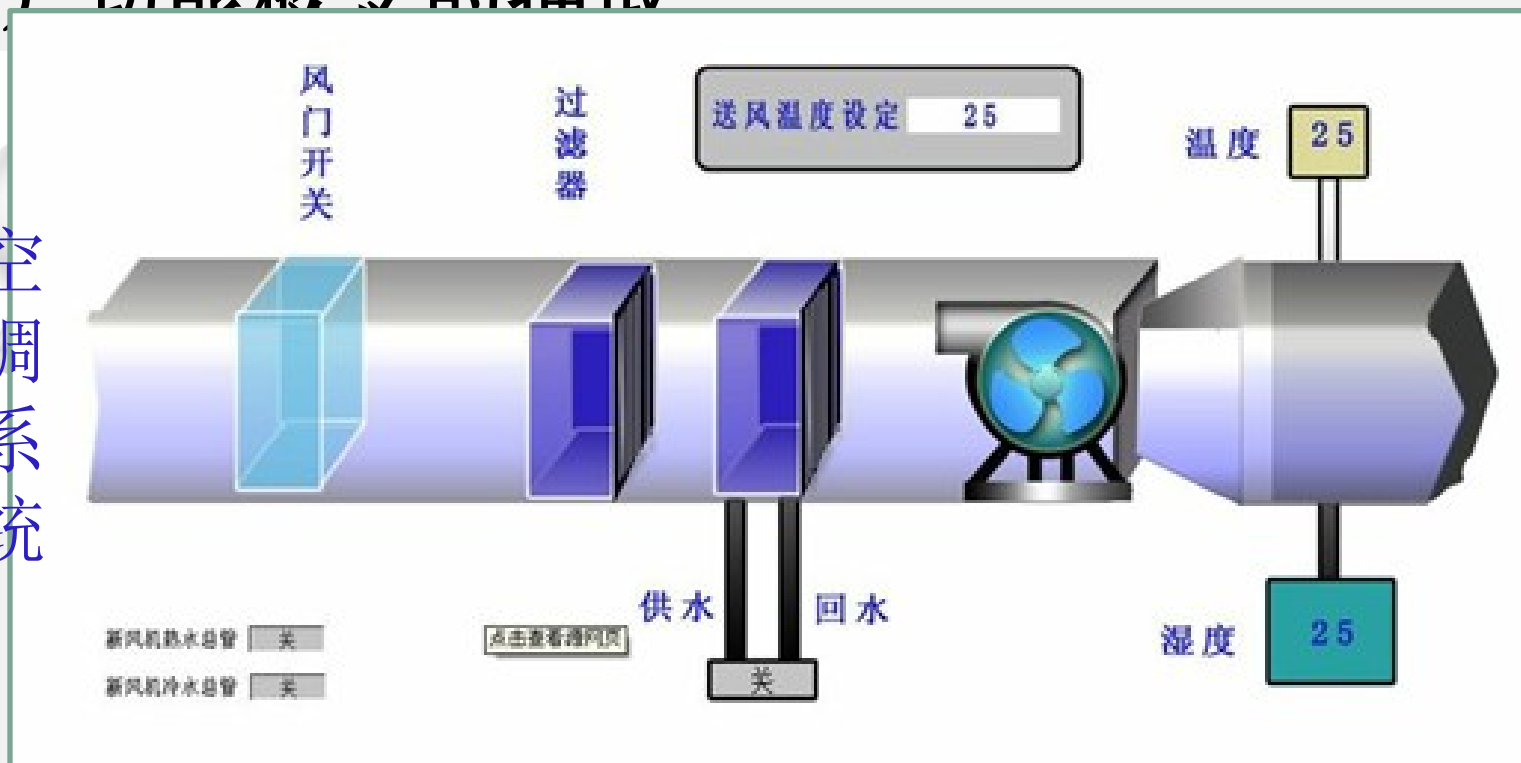
对设计任务要求进行抽象，是为了排除一些表面现象的干扰，抓住问题的实质，以便更好地求得相应的物理效应、解决原理和途径，并对其进行优化。

每个企业或设计部门都有它的好经验及其传统习惯，但也不可避免会有某些偏见或框框。加上怕冒风险，便往往不自觉地妨碍了更先进、更经济和有突破性的然而是不习惯的设计。对问题的抽象，有利于打破框框放开设计。

【抽象法实例】

1) 功能概念的抽取

空调系统

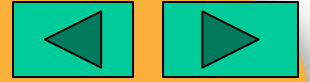


大量的创意DIY系统

吹屏幕

2) 具体功能的抽取

抽象 ↓ 具体	功能	在相对运动表面间传递力的系统			
	传力	机械	液体	气体	磁效应
	物理关系	直接接触 传力	动压、静压	动压、静压	电磁、永磁
	有效运动	轴转动支撑静止；轴静止支撑转动；轴与支撑以不同的转速 相对运动			
	有效表面	圆柱、圆锥、椭圆柱、多楔、球面			
	支撑材料	钢、铜合金、巴氏合金、多金属复合材料、橡胶、塑料、陶 瓷			
	摩擦状态	滑动、滚动			



(3) 功能分解与功能树

为了更好地寻求解法，可把机械系统的总功能分解为比较简单的分功能，使其输入量和输出量关系更为明确，转换所需的物理原理比较单一，结构化后零件数量较少，因而较易求解，一般分解到能直接找到解法的分功能为止。

功能是能逐层分解的，如图2-7所示。

功能分解的结果用功能树的形式表达比较简单，易于掌握。功能树的末端是功能元。图2-8是材料拉伸试验机的功能树。

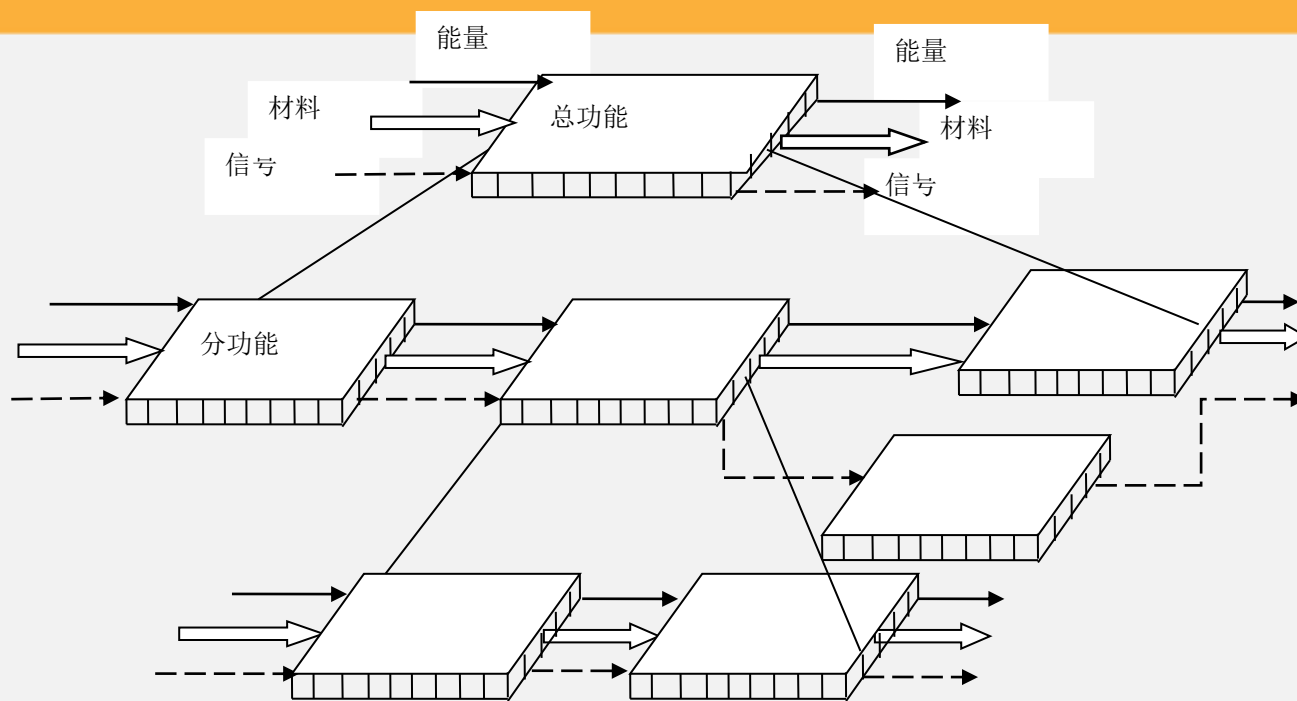


图2-7 总功能分解



续例: 材料拉伸试验机

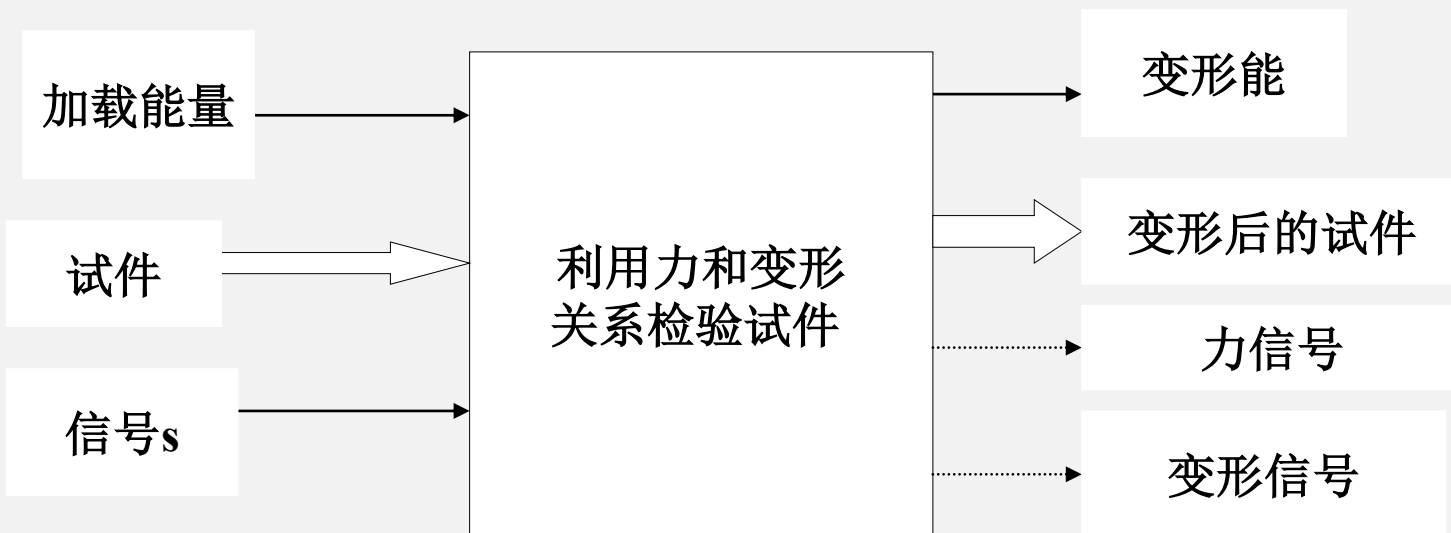


图2-14 测量试件受力与变形

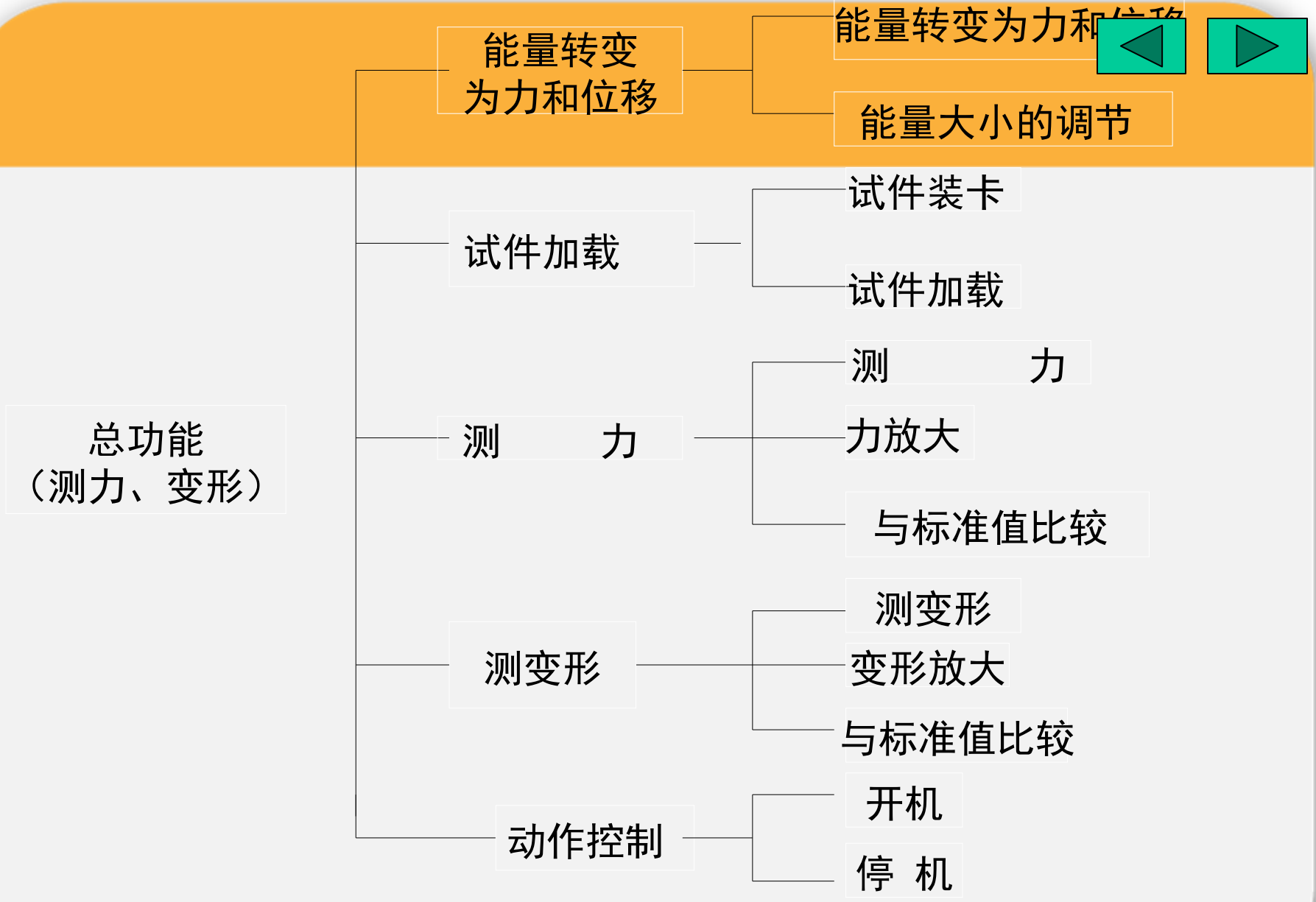


图2-15 材料拉伸试验机各分功能具体内容

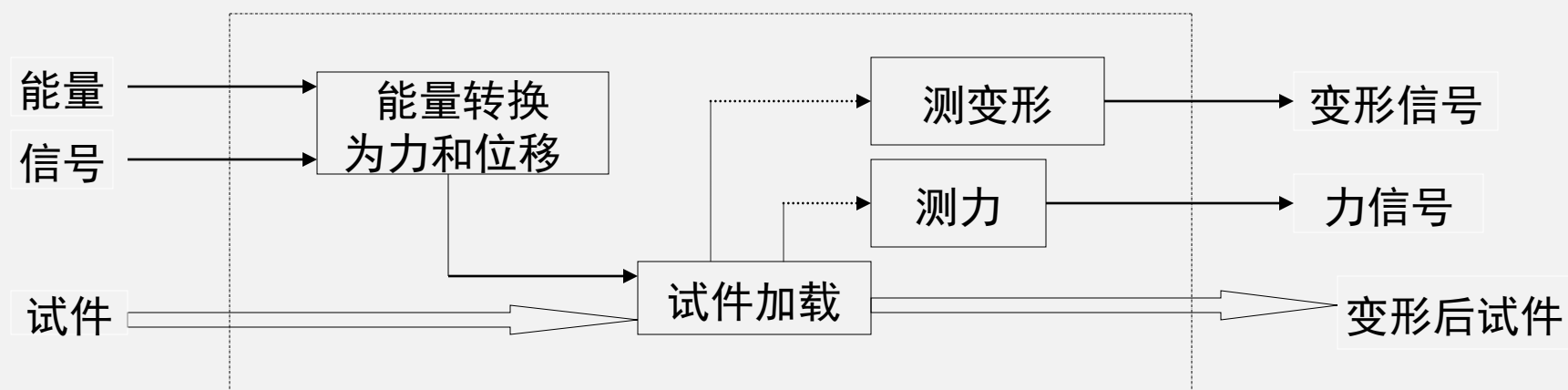


图2-16 材料拉伸试验机分功能结构树

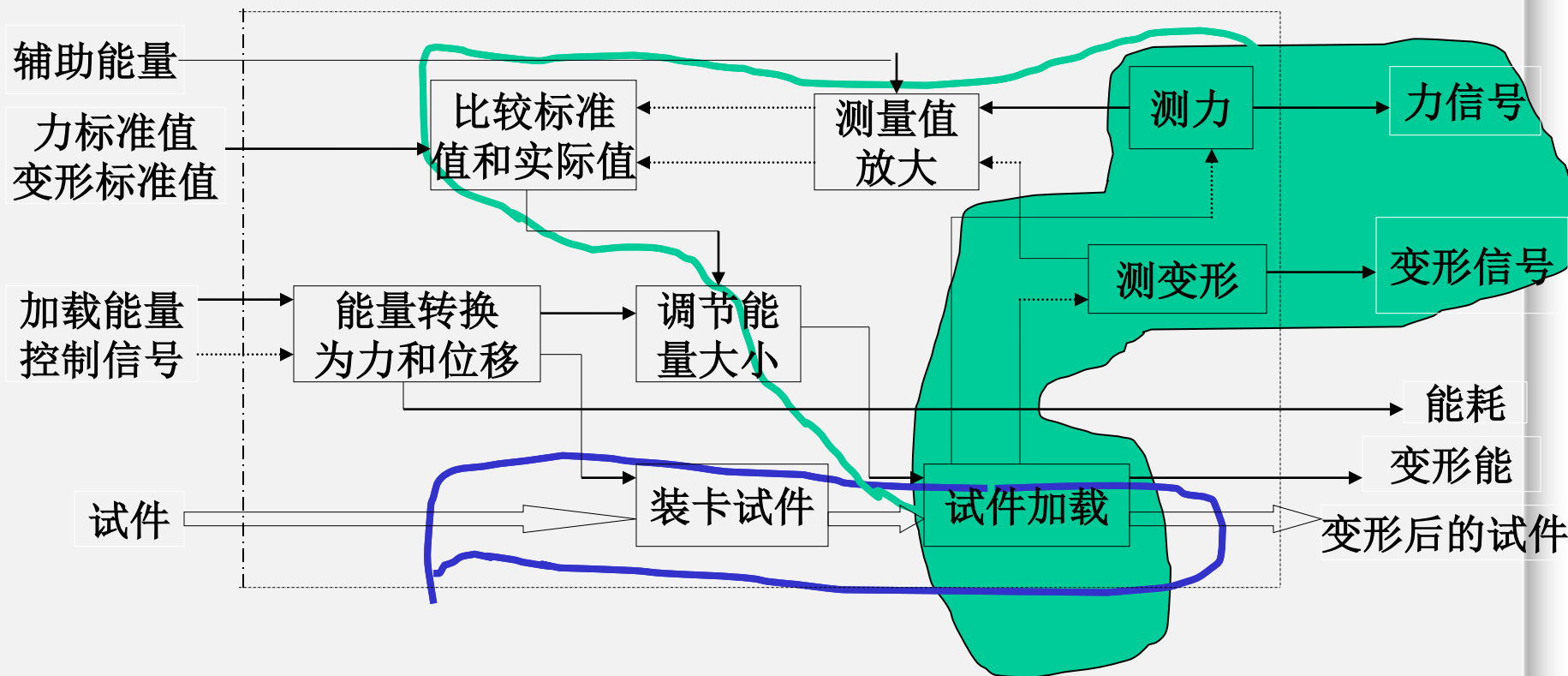
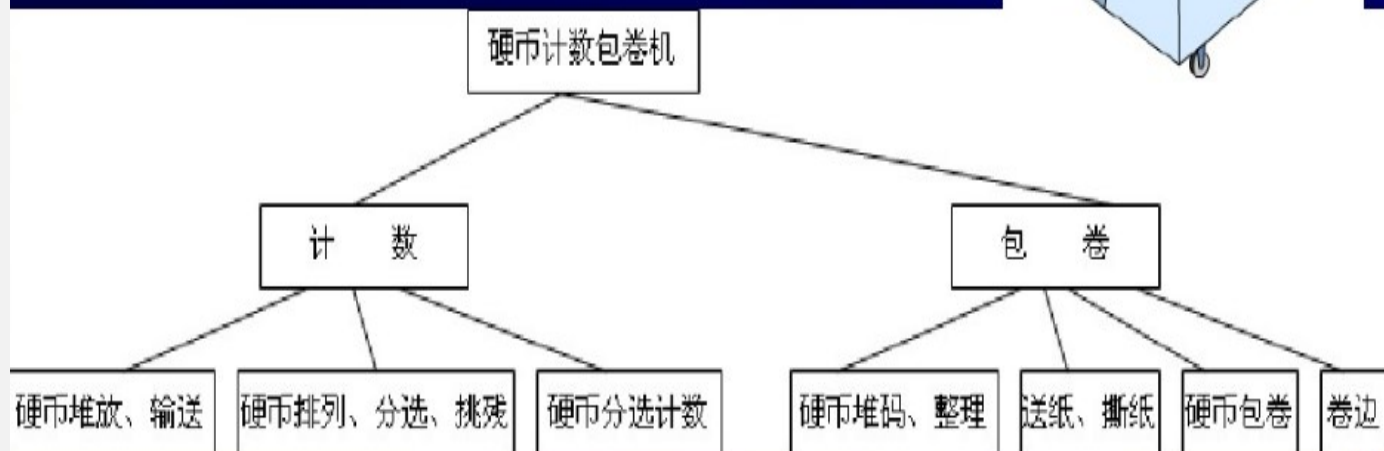
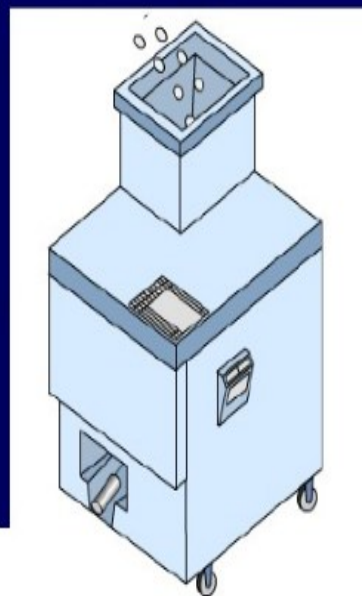


图2-17 材料拉伸试验机主、副功能的结构树

例

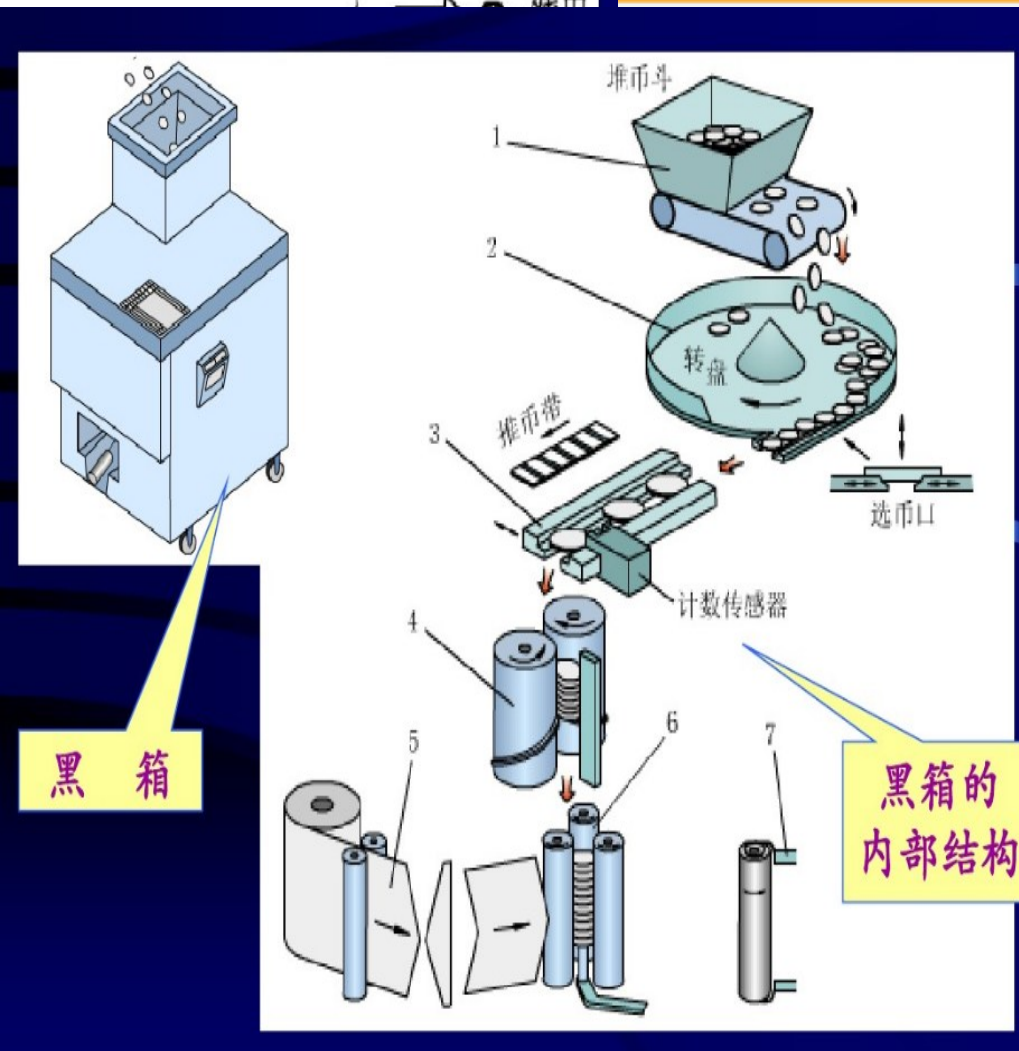
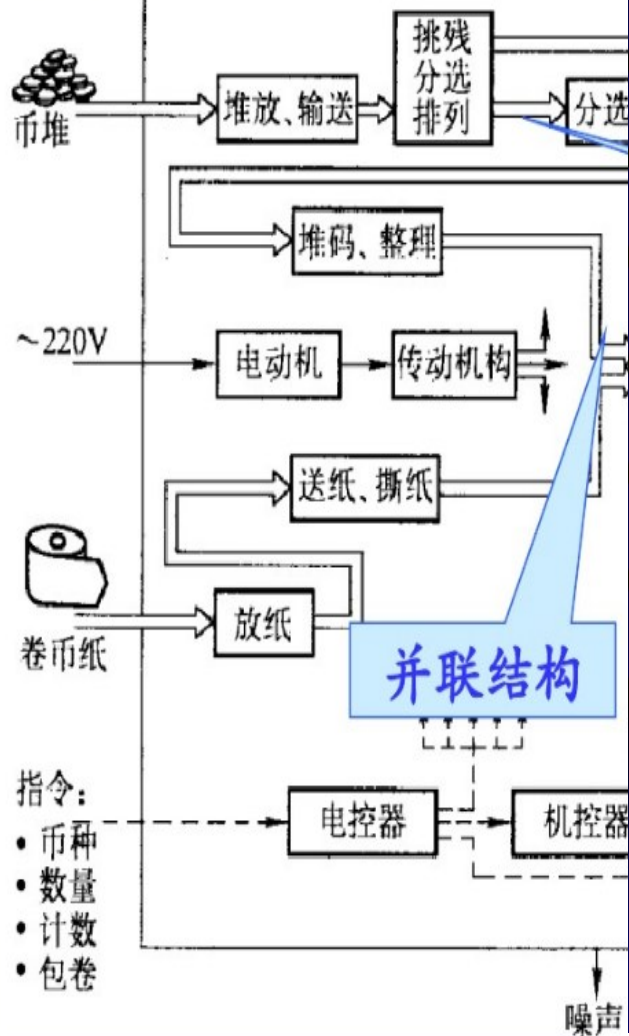
硬币计数包卷机的功能分解



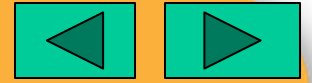
分解到“功能单元”而不是“功能元”

例

硬币计数包卷机的功能结构图



功能元



功能元是功能的基本单位。机械设计中常用的基本功能元有：

1) 物理功能元

物理功能元反映系统中能量，物料、信号变化的物理基本动作，其内容如图2-9所示。

2) 逻辑功能元

逻辑功能元主要用于控制功能，基本逻辑关系如图2-10所示。

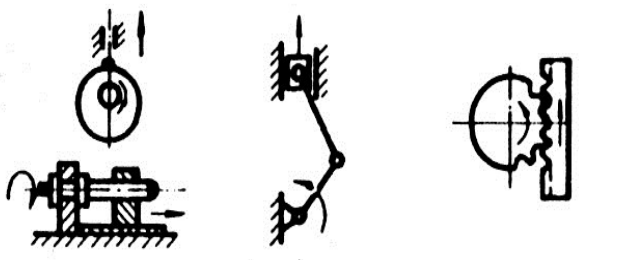
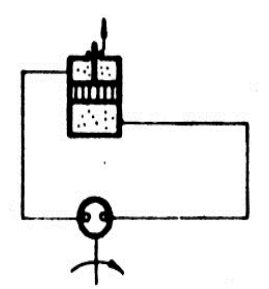
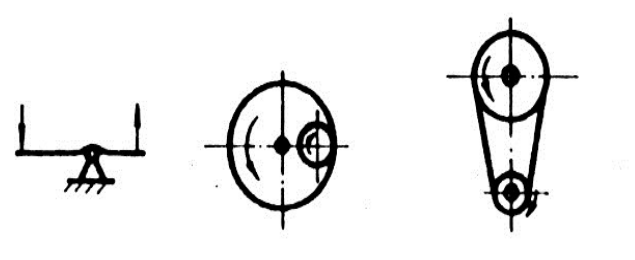
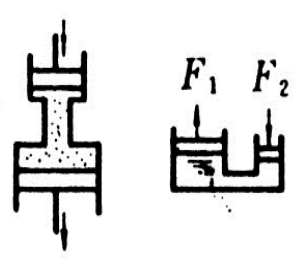
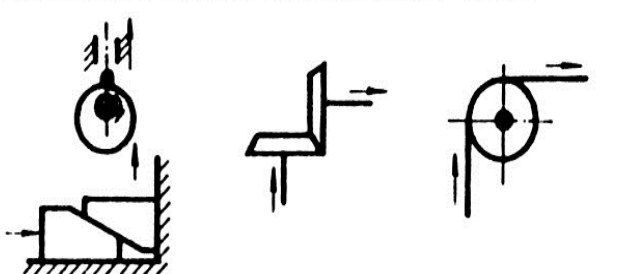
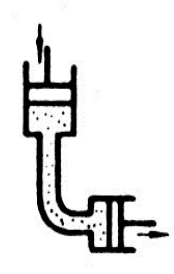
图2-11 利用逻辑功能监控一根大轴4个轴承的润滑油的供给，只有4个轴承都供油充足，机器才能开动。

3) 数学功能元

+ -*/ 乘方、开方、积分、微分

物理功能元



原理解 功能	机械	液气	电磁	热
转变	 <p>凸轮 四杆机构 齿轮齿条</p>			
缩小 (放大)	 <p>杠杆 齿轮 挠性传动</p>			
变向				



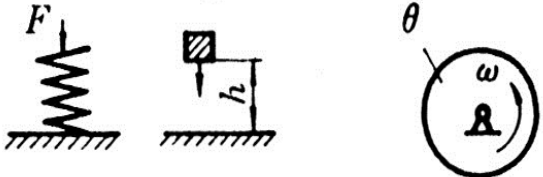
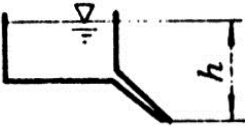

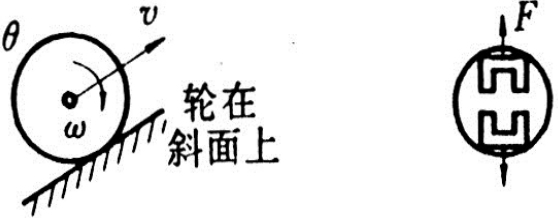

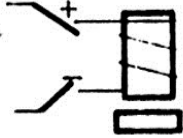
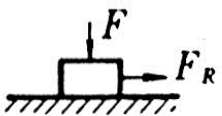
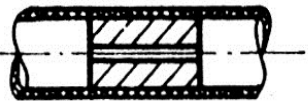
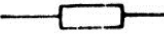
原理 功能	机械	液气	电磁	热
储能	 <p>弹性能 位能 转动飞轮</p>	 <p>液压能</p>	 <p>电容 压电效应</p>	过热蒸气 热流体
动力	 <p>轮在斜面上 转动+移动 离心力</p>	 <p>液体压力效应</p>	 <p>电流磁效应</p>	
摩擦力	 <p>机械摩擦</p>	 <p>毛细管</p>	 <p>电阻</p>	

图2-26 部分常用物理基本功能元的解法目录

逻辑功能元



功能元	与	或	非																																				
关系	若A及B有, 则C有	若A或B有, 则C有	若A有, 则C无																																				
符号																																							
真值表 0—无信号 1—有信号	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>B</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>C</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	A	0	1	0	1	B	0	0	1	1	C	0	0	0	1	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>B</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>C</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	0	1	0	1	B	0	0	1	1	C	0	1	1	1	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>C</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	0	1	C	1	0
A	0	1	0	1																																			
B	0	0	1	1																																			
C	0	0	0	1																																			
A	0	1	0	1																																			
B	0	0	1	1																																			
C	0	1	1	1																																			
A	0	1																																					
C	1	0																																					
逻辑方程	$C = A \wedge B$	$C = A \vee B$	$C = -A$																																				

供油实例

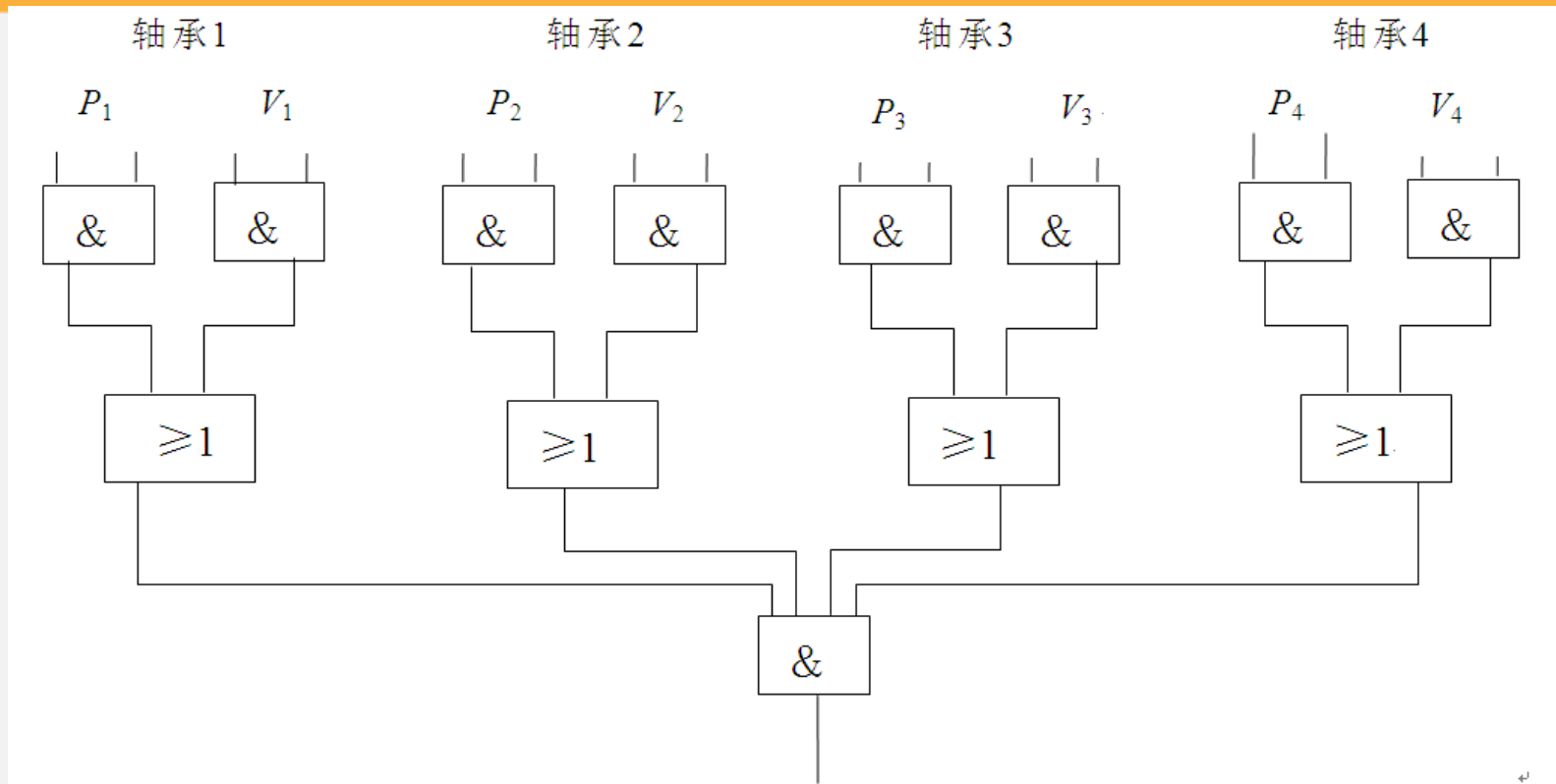
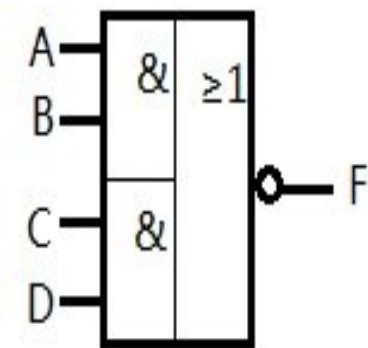


图2-11 监控4个轴承供油的逻辑功能



楼宇自控系统逻辑



与或非门逻辑符号

$$F = (AB + CD)$$

两个二输入端与门的输出，接入一个二输入端或非门。

衣食住行，下面我们再看一个楼宇系统自动控制逻辑功能元实例。

冷冻、空调、变配电、热力、给排水设备的监控数字量输入信号包括：风机、水泵、冷却塔风扇、电机的运行状态、过滤器淤塞状态报警、压差开关、液位开关、开关信号，防冻保护等数字量输出信号包括：电磁阀的控制、位电动水阀的控制、水泵、风机、冷却塔等设备的启停控制。

看看怎么实现的自动控制呢？

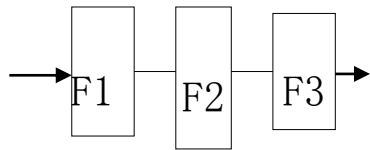


功能结构

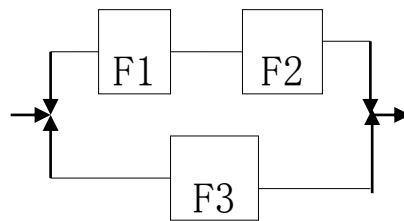
概念：

反映分功能或功能元之间的逻辑结合关系叫功能结构。

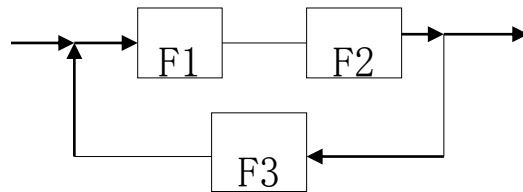
功能结构基本形式：



链式结构



平行结构



循环结构

功能结构概念：反映分功能或功能元之间的逻辑结合关系叫功能结构。功能结构反映了各分功能之间的关系、顺序和走向

1) 链式结构 (串联结构) (顺序结构) 链式结构的各分功能依顺序进行，如图2-12a所示

2) 平行结构 (并联结构) 如图2-12b所示

3) 循环结构 (环形结构) 如图2-12c所示



汽车功能结构实例

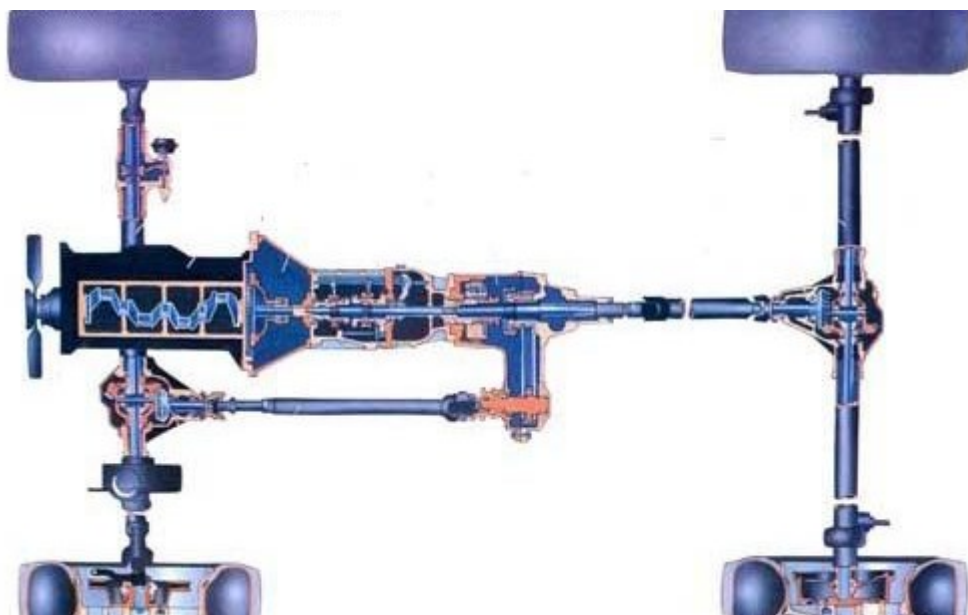


传动系统：将发动机发出的动力传给驱动车轮。同时，可以与发动机协同工作，保证汽车能在不同使用条件下正常行驶，动力性良好和燃料经济性功能。传动系统实现汽车功能结构：

- 1) 减速和变速**
- 2) 倒驶：发动机转速不变，驱动轮反向，在变速器中加倒档。**
- 3) 必要时中断传动：在发动机与变速器之间设置一个靠摩擦来传动且其主动和从动部分可在驾驶员操纵下彻底分离，随后再柔和接合的机构——离合器；长时间停驻，保持中断状态，变速器要设置空档。**
- 4) 差速**



汽车功能结构~原理结构实例

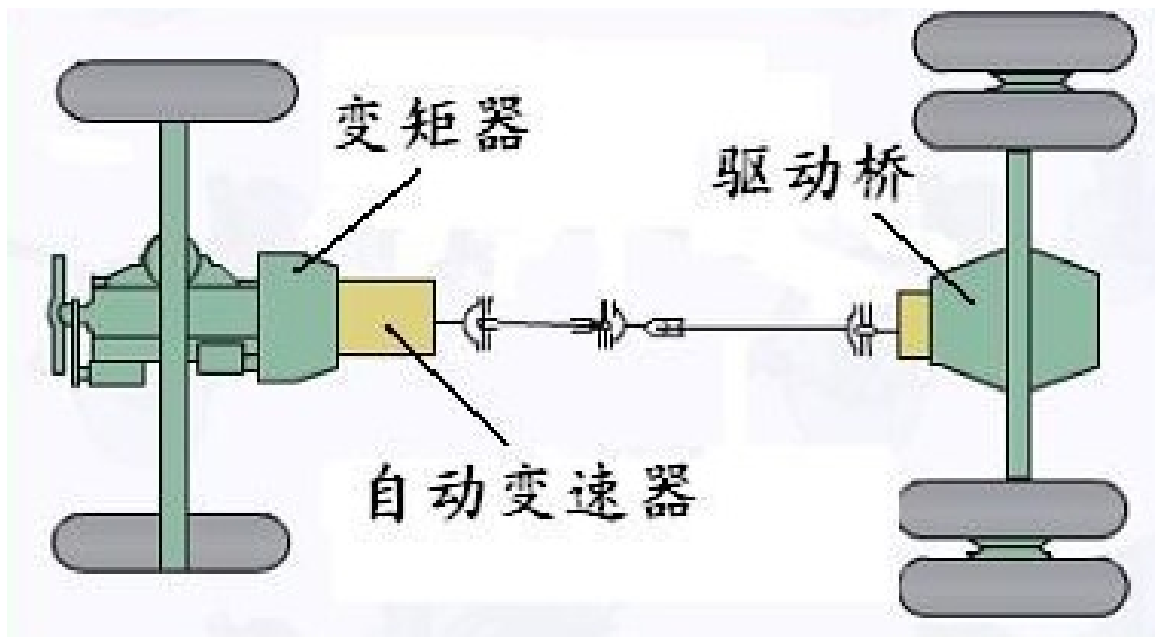


传动系统：将发动机发出的动力传给驱动车轮。同时，可以与发动机协同工作，保证汽车能在不同使用条件下正常行驶，动力性良好和燃料经济性功能。传动系统实现汽车功能结构：

- 1) 减速和变速
- 2) 倒驶：发动机转速不变，驱动轮反向，在变速器中加倒档。
- 3) 必要时中断传动：在发动机与变速器之间设置一个靠摩擦来传动且其主动和从动部分可在驾驶员操纵下彻底分离，随后再柔和接合的机构——离合器；长时间停驻，保持中断状态，变速器要设置空档。
- 4) 差速



汽车功能结构实例



传动系统：将发动机发出的动力传给驱动车轮。同时，可以与发动机协同工作，保证汽车能在不同使用条件下正常行驶，动力性良好和燃料经济性功能。传动系统实现汽车功能结构：

- 1) 减速和变速
- 2) 倒驶：发动机转速不变，驱动轮反向，在变速器中加倒档。
- 3) 必要时中断传动：在发动机与变速器之间设置一个靠摩擦来传动且其主动和从动部分可在驾驶员操纵下彻底分离，随后再柔和接合的机构——离合器；长时间停驻，保持中断状态，变速器要设置空档。
- 4) 差速



功能结构

传动系的布置型式：

- 前置后驱——FR：即发动机前置、后轮驱动
- 后置后驱——RR：即发动机后置、后轮驱动
- 前置前驱——FF：发动机前置、前轮驱动

轻型越野汽车→4×4驱动型式；

中型越野汽车→4×4/6×6驱动型式；

重型越野汽车→6×6/8×8驱动型式。



二、传动系的布置型式

机械式传动系常见布置型式主要与发动机的位置及汽车的驱动型式有关。可分为：

1.前置后驱——FR：即发动机前置、后轮驱动

2.后置后驱——RR：即发动机后置、后轮驱动

3.前置前驱——FF：发动机前置、前轮驱动

4.越野汽车的传动系

轻型越野汽车普遍采用4×4驱动型式，中型越野汽车采用4×4或6×6驱动型式；重型越野汽车一般采用6×6或8×8驱动型式。

练习： 建立功能结构联系



例6 建立挖掘机的功能结构

- 1) 确定总功能，建立总功能结构图, 图2-18为挖掘机的总功能
- 2) 建立挖掘机的功能树如下图2-19所示
- 3) 建立挖掘机的分功能结构图，如图2-20所示



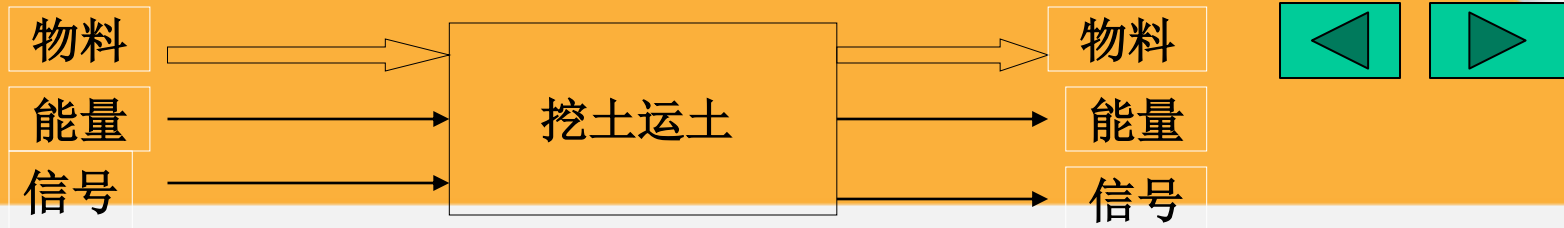
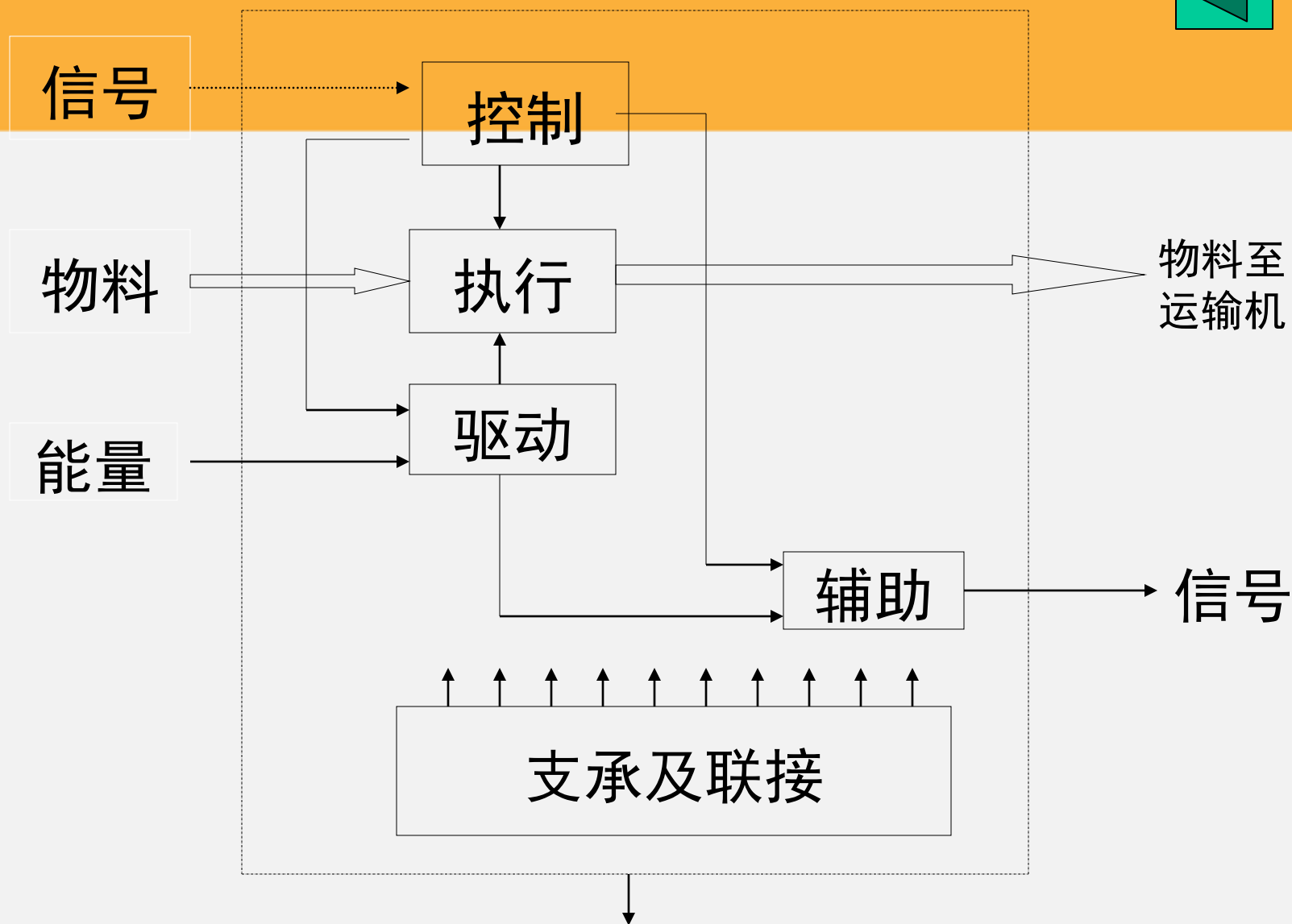


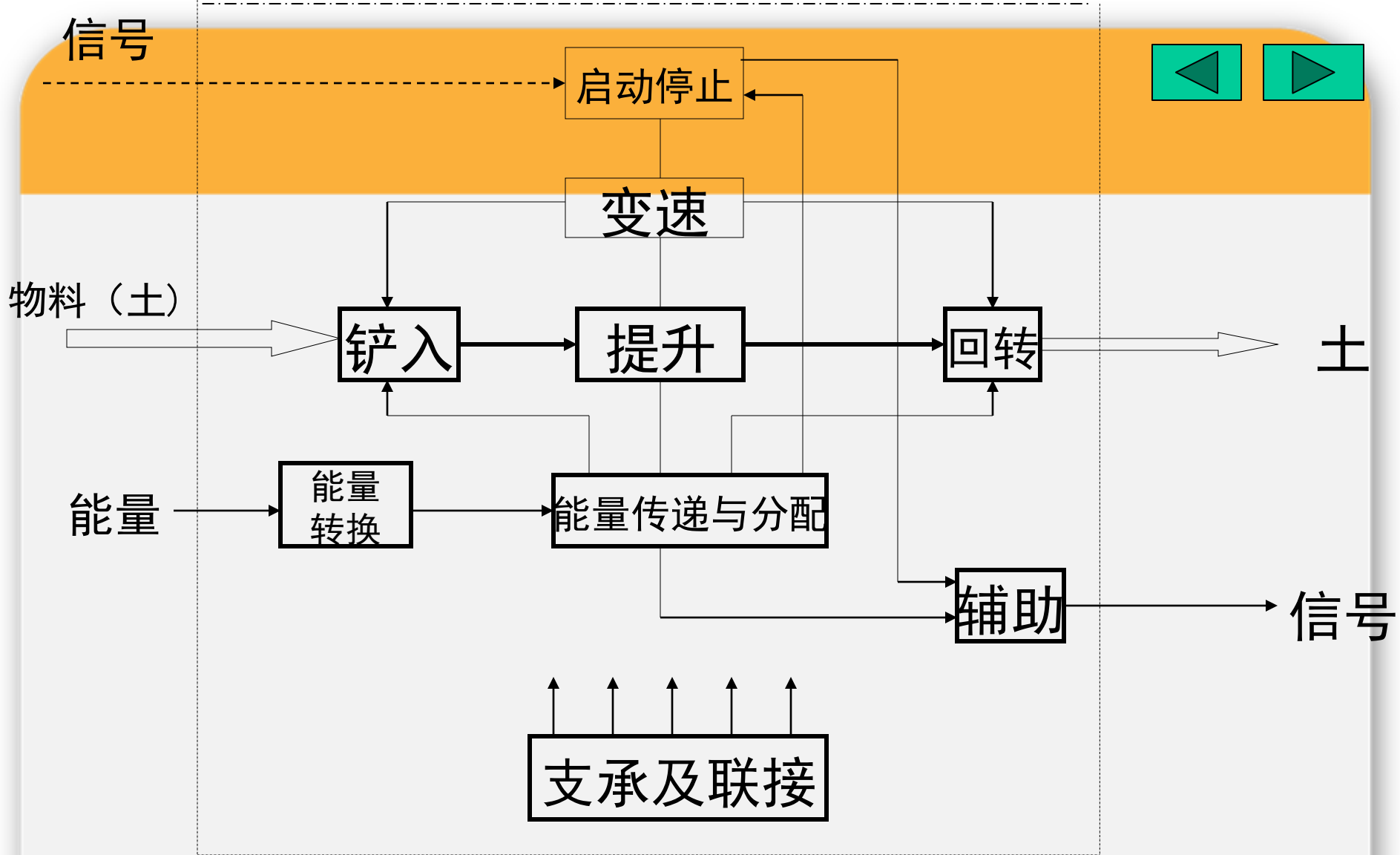
图2-18 挖掘机的总功能



图2-19 挖掘机的分功能



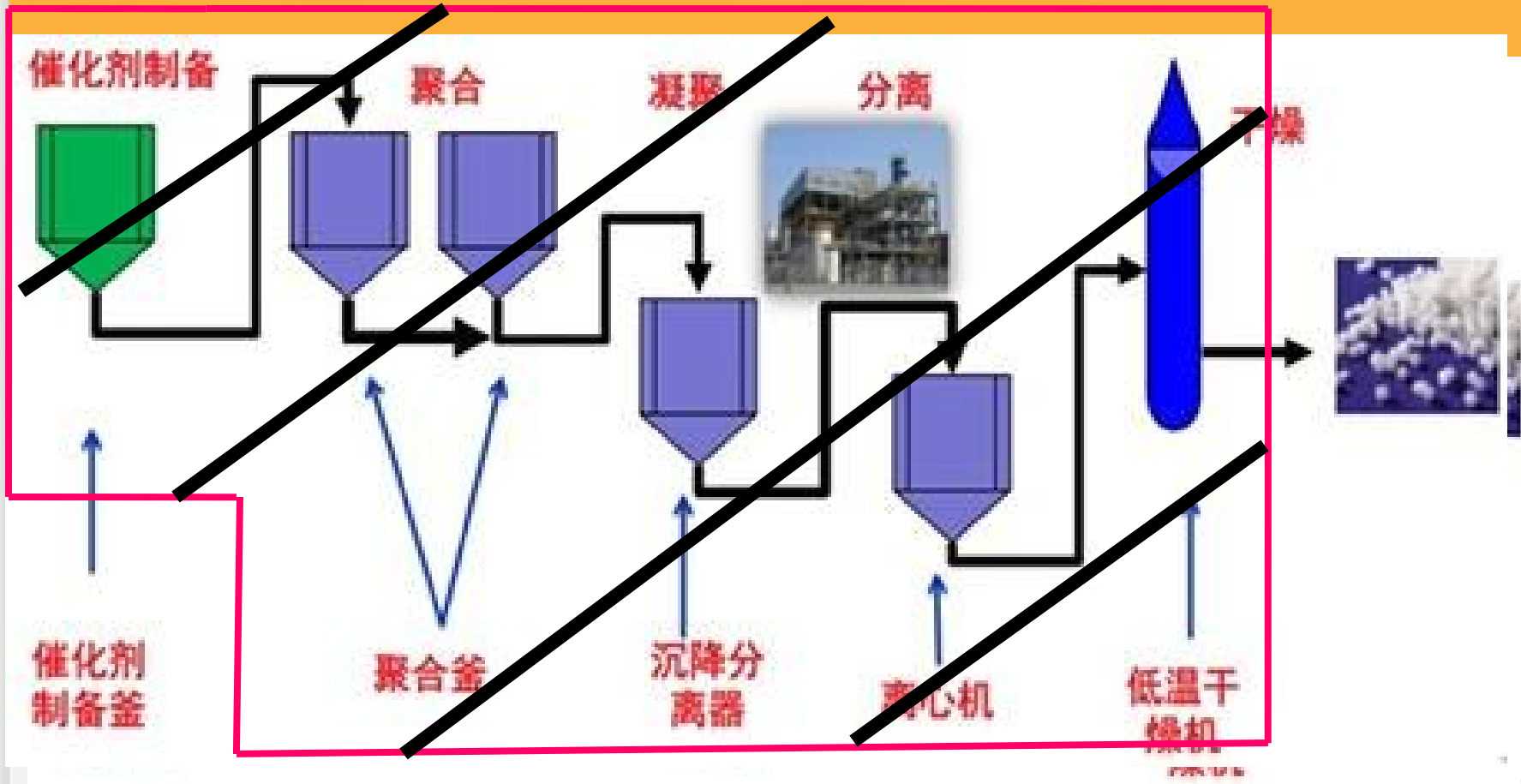
(a) 挖掘机一级分功能结构图



(b) 挖掘机二级分功能结构图

图2-20 挖掘机分功能结构图

(4) 解法目录



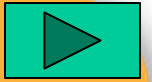
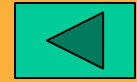
“条条大路通罗马”
功能结构不同

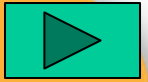
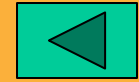
功能黑箱

解法目录



图2-24 机械一次增力功能元解法目录





時間	地點	活動內容	備註	備註
10:00	禮堂	歡迎詞		
10:30	禮堂	開幕禮		
11:00	禮堂	嘉賓致辭		
11:30	禮堂	抽獎		
12:00	禮堂	午宴		
13:00	禮堂	表演		
14:00	禮堂	抽獎		
14:30	禮堂	閉幕		



四杆机构运动副转换解法目录

四杆机构图		运动副转换			四杆机构图		运动副转换		
		旋转 / 旋转	旋转 / 平移	平移 / 平移			旋转 / 旋转	旋转 / 平移	平移 / 平移
1					9				
2					10				
3					11				
4					12				
5					13				
6					14				
7					15				
8					16				

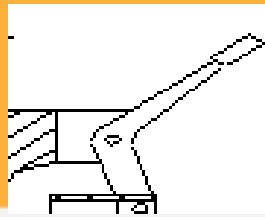
回转副
 移动副
 凸轮副
 行
 不行

机械运动形式变化解法目录。



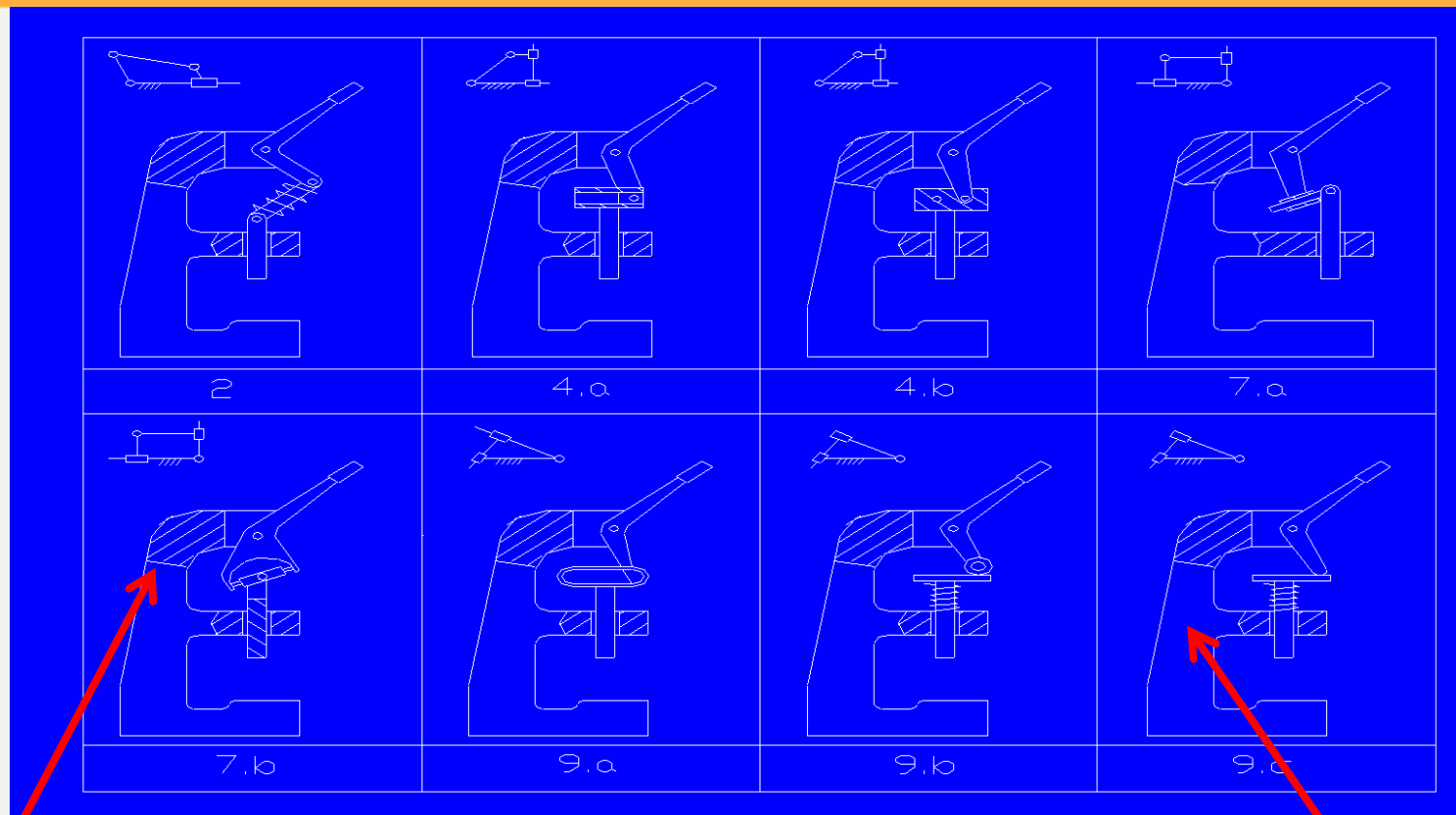
运动形式变换				基本机构	其他机构
原动运动	从动运动				
连续回转	连续回转	变向	平行轴 同向	圆柱齿轮机构（内啮合） 带传动机构 链传动机构	双曲柄机构 转动导杆机构
			平行轴 反向	圆柱齿轮机构（外啮合）	圆柱摩擦轮机 交叉带（或绳、线）传动机构 反平行四边形机构（两长杆交叉）
		相交轴	锥齿轮机构	圆锥摩擦轮机构	
		交错轴	蜗杆机构 交错轴斜齿轮机构	双曲柱面摩擦轮机 半交叉带（或绳、线）传动机构	

例9 设计手动钉书打孔机



- 解：
- 1) 确定总功能：打孔
 - 2) 总功能分解：A) 把旋转运动变为直线移动运动。
B) 力增大。
 - 3) 为了找出实现分功能A)的原理解，
可查图2-25，选取2，4，7，9四个方案。
 - 4) 为了找出实现分功能B)的原理解，
可查图2-24，选取曲杆机构。
 - 5) 手动钉书打孔机的原理解法见图2-33 。

手铆机技术模型与功能载体



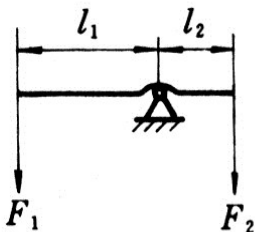
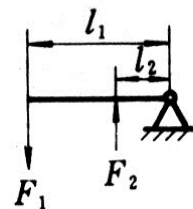
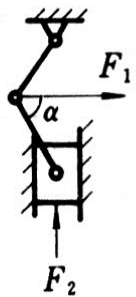
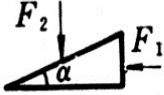
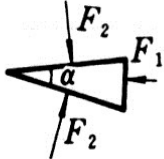
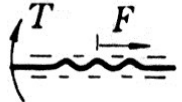
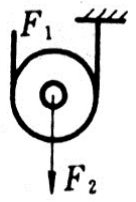
原理解法目录

技术模型

图2-33手铆机的原理解法

功能载体

增力技术模型

机构名称	杠 杆	肘杆(曲杆)	斜 面	楔	螺 旋	动滑轮	
机构简图							
计算公式	$F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1$ $l_1 > l_2$	$F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1$	$F_2 = F_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$ $\operatorname{tg} \alpha > 1$	$F_2 = \frac{F_1}{\operatorname{tg} \alpha}$	$F_2 = \frac{F_1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$	$F = \frac{2T}{d_2 \operatorname{tg}(\lambda + \rho)}$ $d_2 \text{—螺纹中径}$ $\lambda \text{—螺纹升角}$ $\rho \text{—当量摩擦角}$	$F_2 = \frac{F_1}{2}$

(5) 功能原理解的方法— 科学原理/技术原理

功能元（分功能）求解基本思路

- (1) 功 能——工作原理——功能结构 分析
- (2) 科学原理——技术原理——功能结构 套用
- (3) 物理效应——功能载体 套用

一. 工作原理

(1) 科学原理 抽象

设计人员应掌握广泛的科学原理，了解科学的发展动态，善于运用各种形式的知识库。寻找实现功能要求的工作原理。如设计汽车开窗机构。（图2-22）

加前缀
汽车凸轮式开窗原理。

(2) 技术原理 具体

把科学原理具体应用于特定技术目的，形成所需要的技术原理。依据技术原理把技术系统的功能载体组成一个系统整体。构思技术原理的基本途径有3条：

- a) 把科学原理转化为技术原理 斜面原理 油笔开关
- b) 提炼技术原理从技术经验中 电风扇——空纸壳
- c) 由已有技术原理形成新的技术原理

油笔开关——电源开关

举例

科学原理与技术原理



1918美国拉练军用价值——穿衣块，使用，5年后商标 zipper

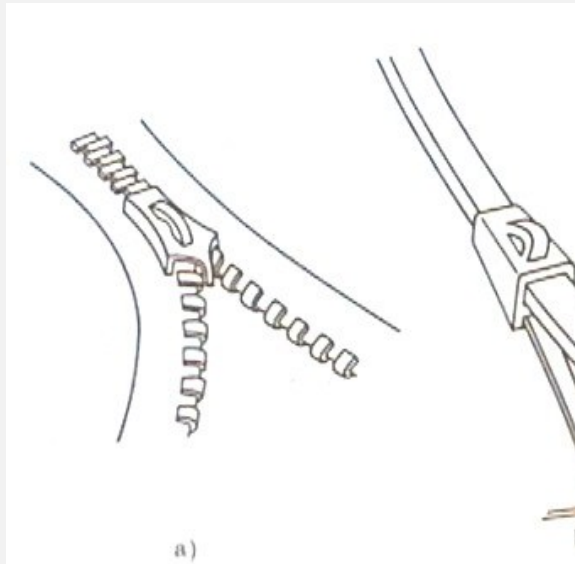
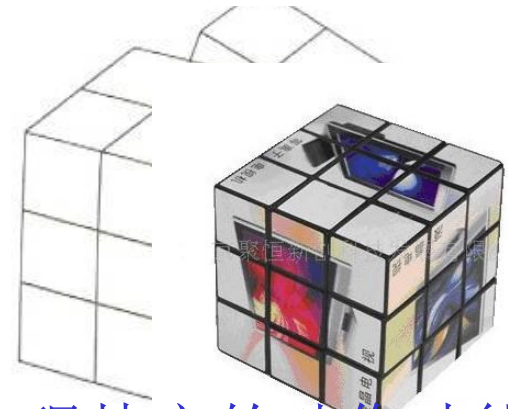
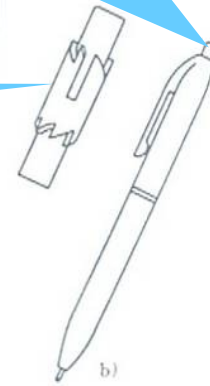


图 3-14 拉链
a) 链米式 b) 塑槽式

圆珠笔按钮

笔套上有凸块



要实现特定的动作功能——巧妙的构思。

笔芯齿轮在笔套内时的情况

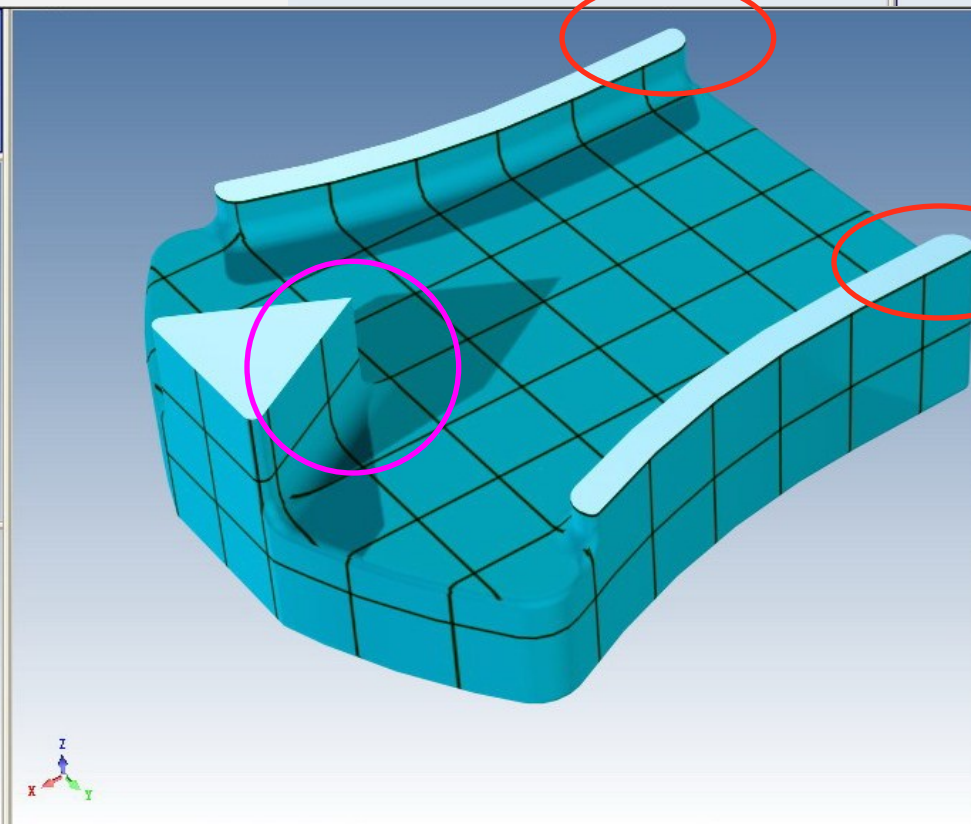
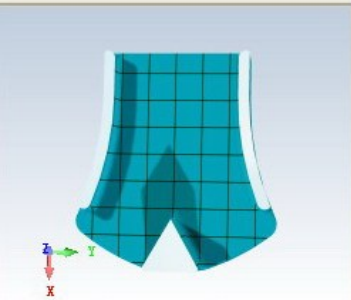
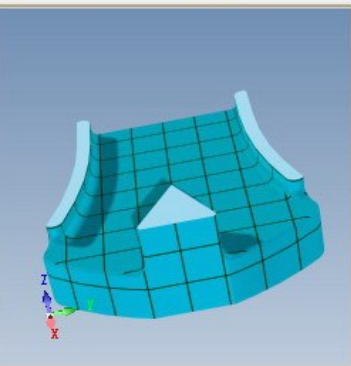
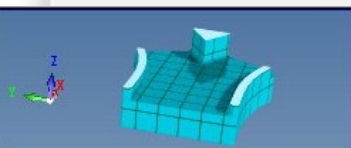
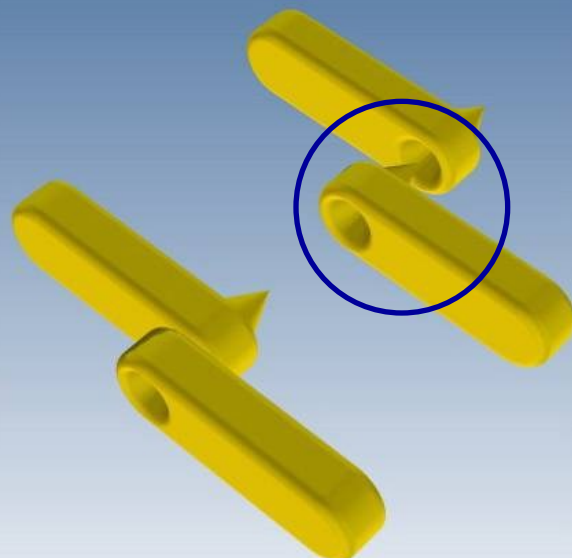
圆珠笔按钮

功能原理分析

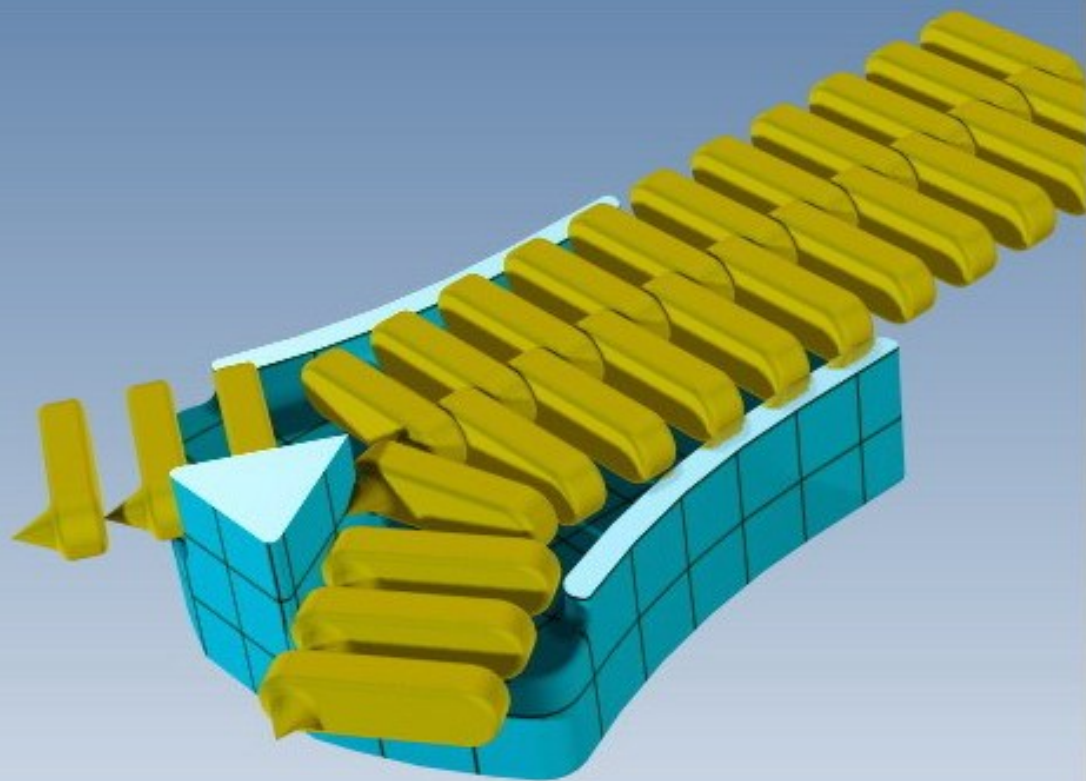
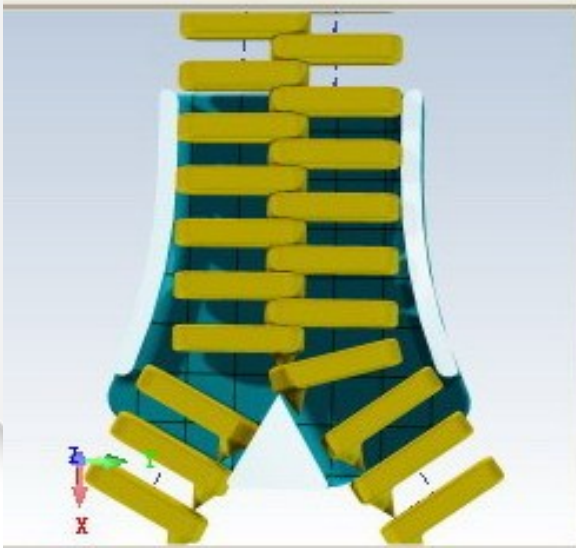
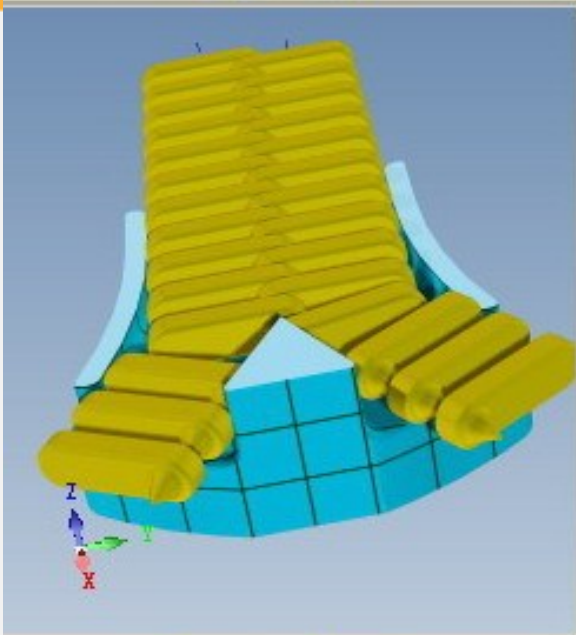
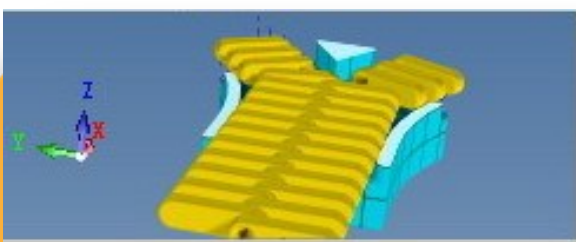
对齐
笔套
槽时

笔芯齿
轮与按
钮齿轮
错开

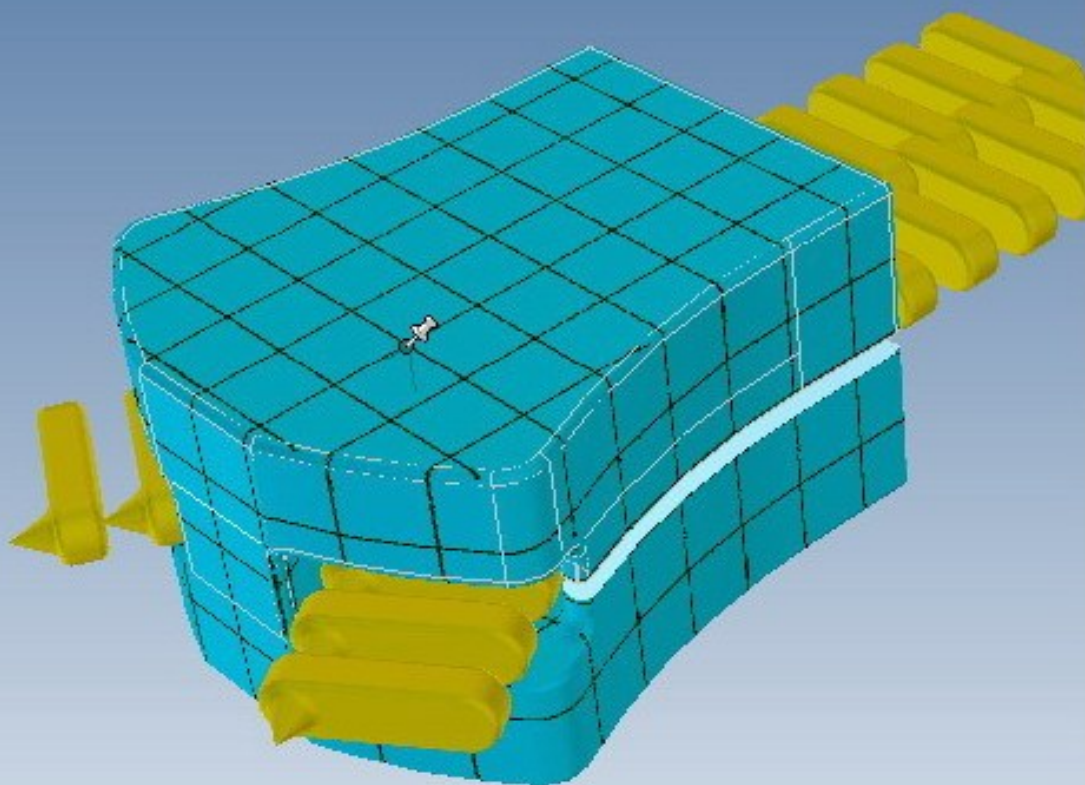
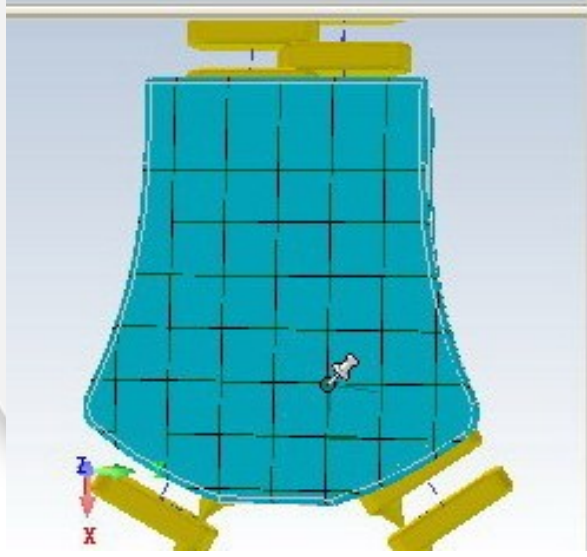
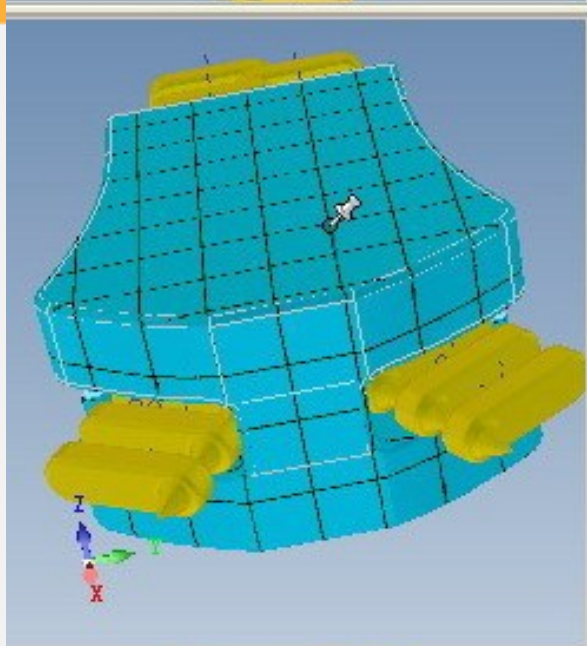
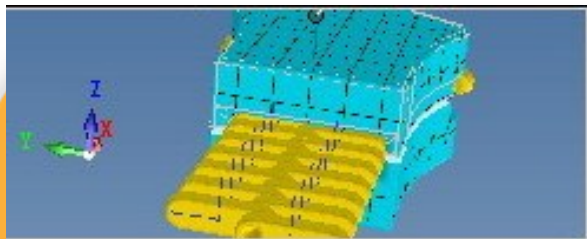
拉链 功能原理分析



简单几何体



简单几何体的组合
——剖开看



简单几何体的组合 ——合上看

按钮原理应用



区别于普通插头的直接插拔，Tok Took 插头必须是在对准插座并按下按钮之后，之前隐藏在身体里的金属插头才会弹出并插入插座。这样不仅能够减少触电的危险，还能节能环保。外形轻巧可人。

2. 工作原理（包括科学原理和技术原理）

例7 设计扭矩过载保护装置，要求输入扭矩超过一定值后，该装置自动切断。经过功能分析后设计者首先提出三种不同的力学原理和相应的技术模型，然后寻找由主要功能载体构成的初步方案。初步方案还可经构形变换得出许多不同解法。如图2-21

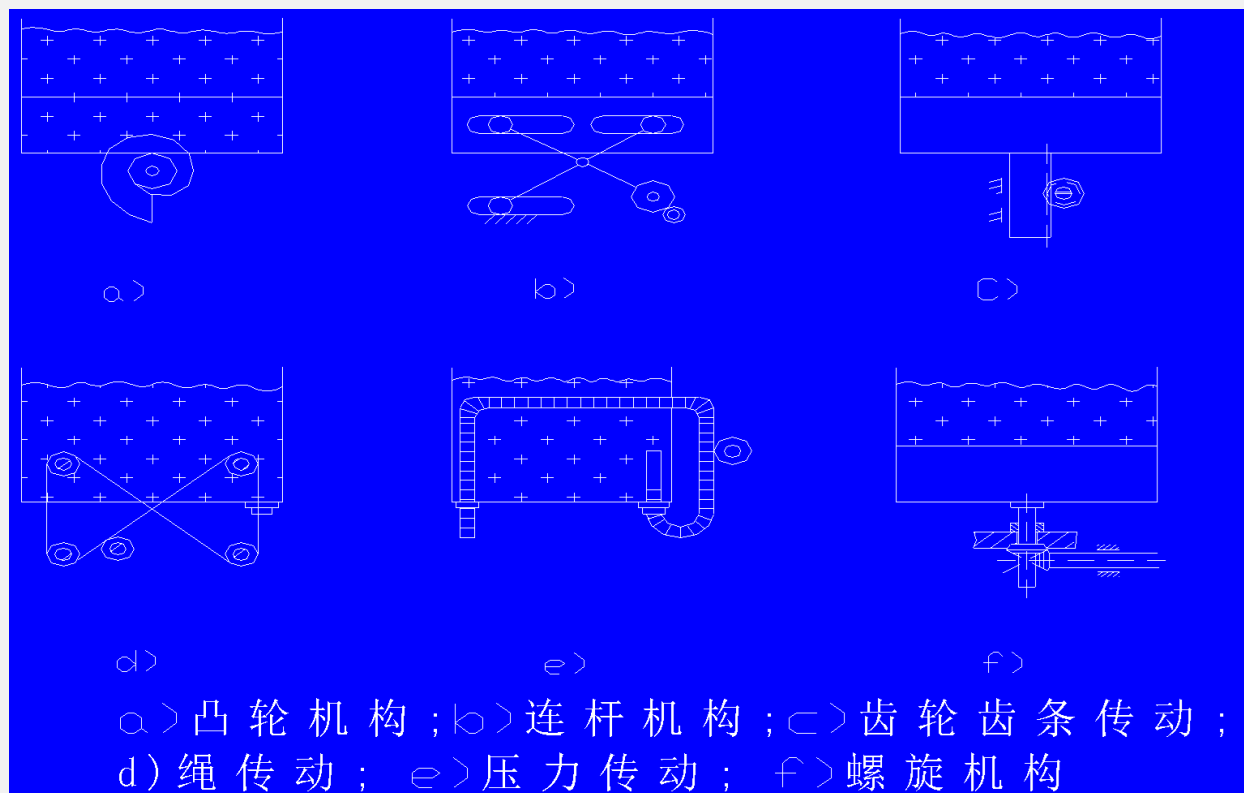


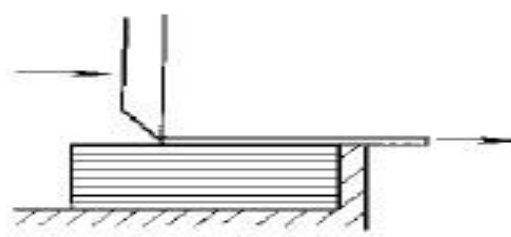
图2-22 汽车开窗机构

(3) 物理效应方法

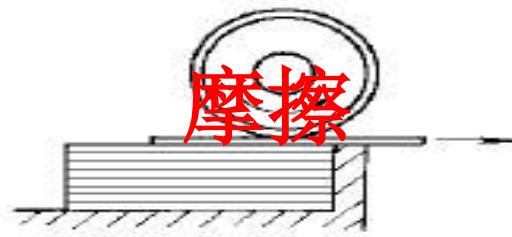
工作原理与物理效应

例：纸币分离工作原理，如图示。

要设计一台纸币点钞机实现自动点检钞票的总功能，可以构想将一叠纸币按图所示的方法逐一分离后计数的工作原理；也可以采用将一叠纸币不分离而使每叠纸币适当地错位来计数的工作原理；还可以用量度一叠纸币的总厚度或总质量的工作原理……而每种工作原理又可以采取不同的手段，综合运用机、声、光、电磁、热、化等各种“物理效应”去实现。

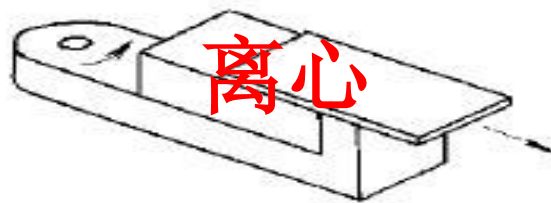


a)



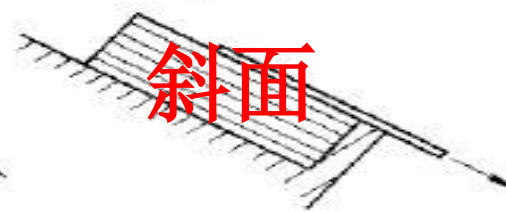
摩擦

b)



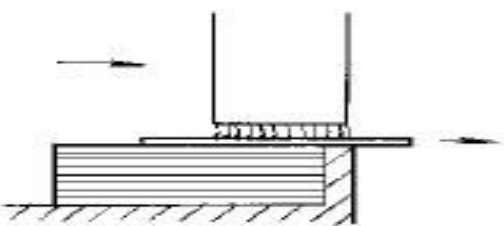
离心

c)



斜面

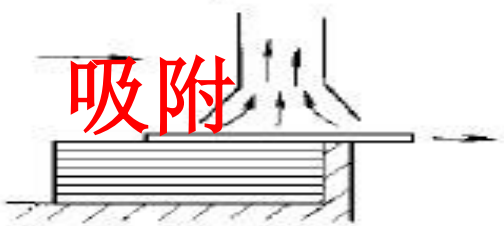
d)



e)

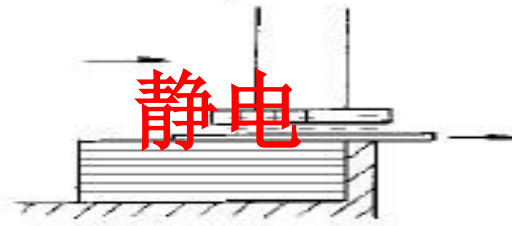


f)



吸附

g)



静电

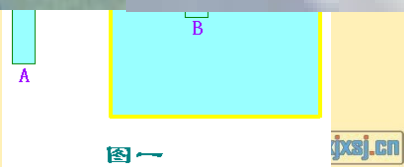
h)

【例】水处理—虹吸滤池

1. 物理效应

2
2

开

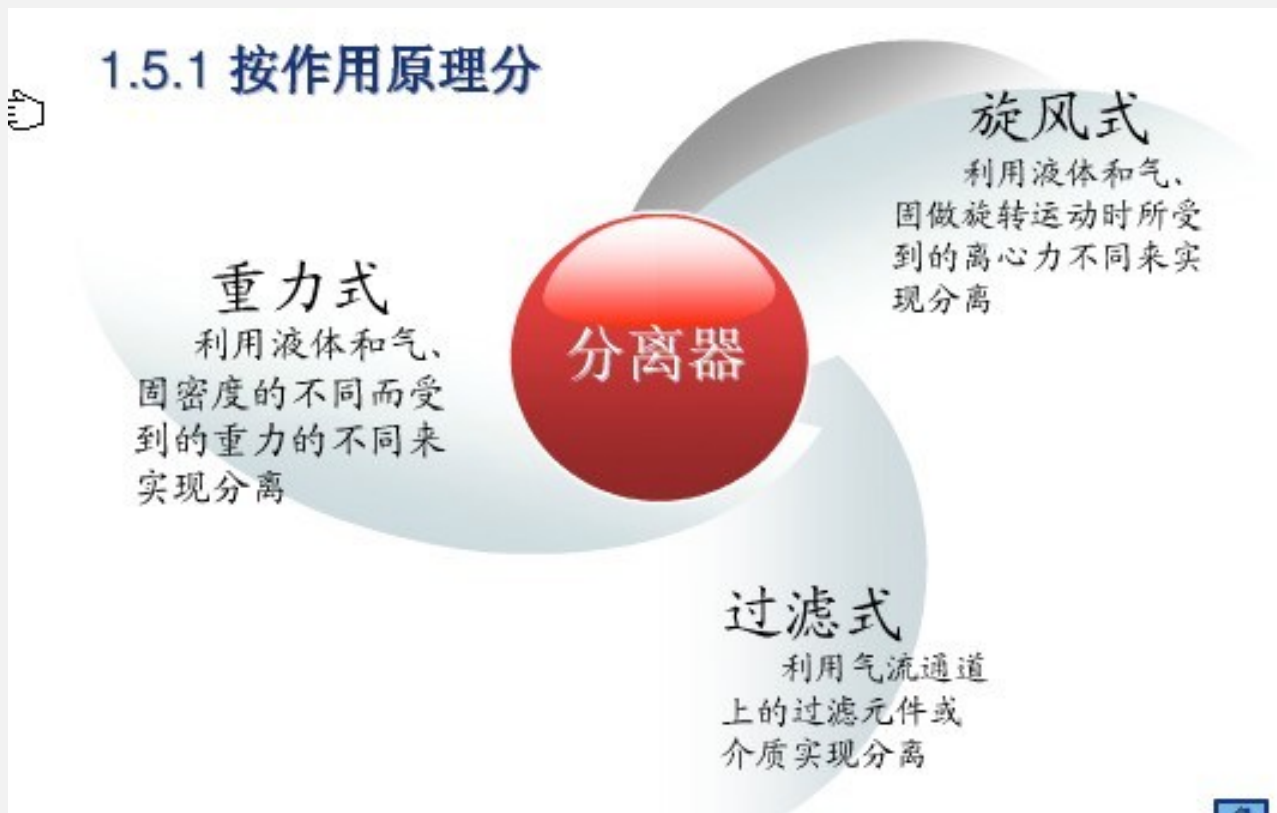


图一 gxsj.cn

农田灌溉

不同物理效应的分离装置

物理效应



分离装置 举例 负压原理



- 由于浮油收集器上安装了一个导流罩，所以真空泵能够在收集器内形成一定的负压，这种负压引导空气顺着导流板进入收集器，此时收集器周围的浮油在浮油收集器的抽吸作用下，加速流向收集器，根据**层流原理和流体粘性**的关系，收集器周围液位下降，同时由于浮力的原因，收集器也随之下降，这时形成了一个更有利于**空气推动的坡度流**。能够在短时间内收集更多的浮油，到浮油收集结束后，由于浮力和流体粘度的关系，浮油收集器导流罩四周的进油口置高于浮油收集器周围液位。此时不在形成有利于空气推动的坡度流，从而使浮油下层液不再进入到收集器。



3. 物理效应设计方法实例

(7) 技术模型法

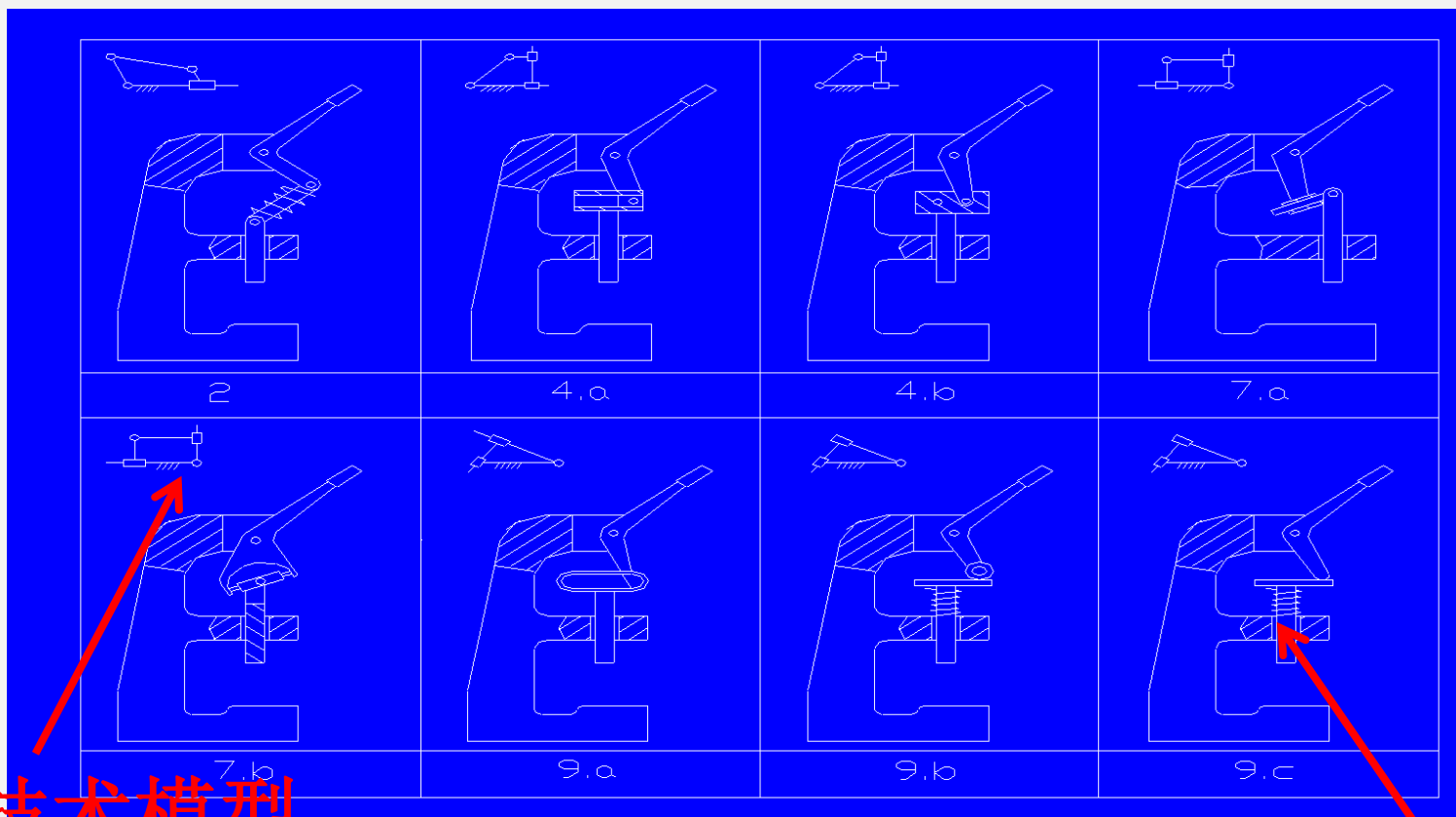
<p>功能分析</p>			
<p>工作原理</p>	$F_{\max} < S \cdot \tau_{t\beta}$	$F_{\max} < \mu \cdot N$	$F_{\max} < N t g \alpha$
<p>技术模型</p>	<p>剪切</p>	<p>磨擦</p>	<p>斜面</p>
<p>功能载体</p>			

图2-21 扭矩过载保护装置
 T_1 —输入扭矩； T_2 —输出扭矩； t —时间；

F_{\max} —最大载荷； S —销的截面积；

$\tau_{t\beta}$ —剪切强度； μ —摩擦系数； N —弹簧正压力

手铆机功能载体



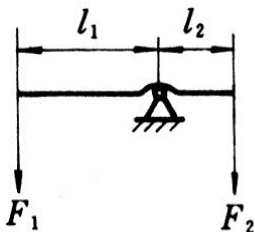
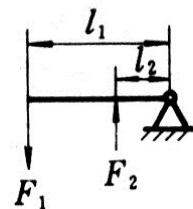
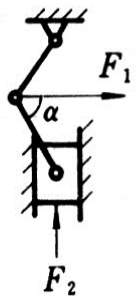
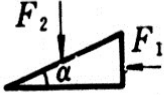
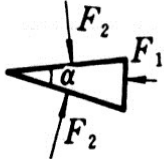
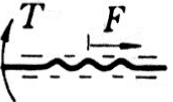
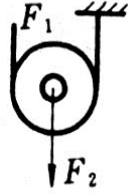
原理解法目录

技术模型

功能载体

图2-33手铆机的原理解法

增力技术模型

机构名称	杠 杆	肘杆(曲杆)	斜 面	楔	螺 旋	动滑轮	
机构简图							
计算公式	$F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1$ $l_1 > l_2$	$F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1$	$F_2 = F_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$ $\operatorname{tg} \alpha > 1$	$F_2 = \frac{F_1}{\operatorname{tg} \alpha}$	$F_2 = \frac{F_1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$	$F = \frac{2T}{d_2 \operatorname{tg}(\lambda + \rho)}$ $d_2 \text{—螺纹中径}$ $\lambda \text{—螺纹升角}$ $\rho \text{—当量摩擦角}$	$F_2 = \frac{F_1}{2}$

二. 寻找实现功能作用原理的求解技法

1 直觉法;

2 调查分析法, 利用各种创造性方法开拓思路, 探求解法, 参考有关资料、专利或产品; 如砸桃壳取出果仁的求解方法, 可通过功能描述, 探求解法 (如图2-23)。

3 设计目录法, 利用各种物理效应、知识库 (技术模型), 对各种基本功能元可以列出多种解法目录, 如图2-24至图2-30。利用功能元或物理效应的解法目录。

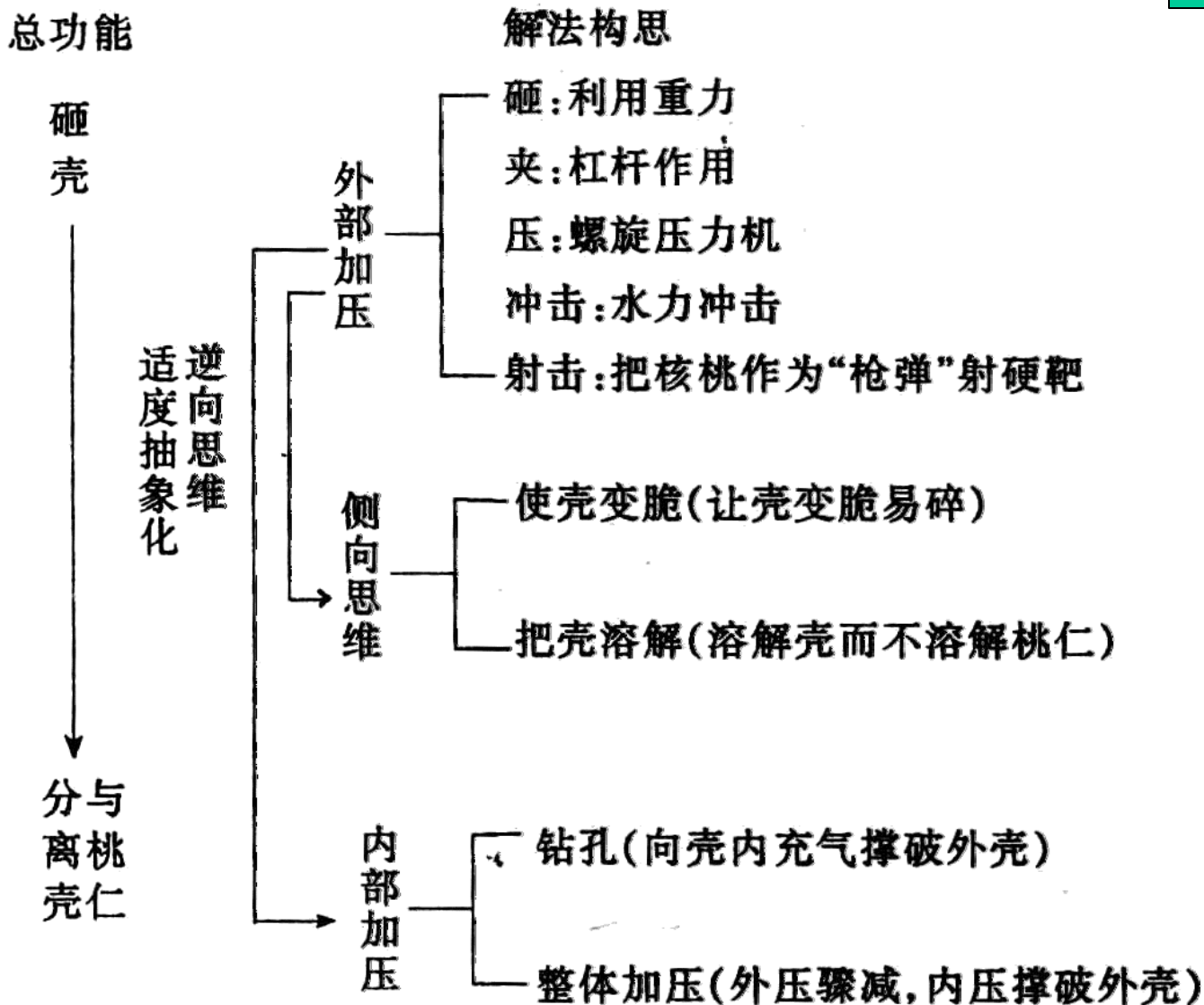
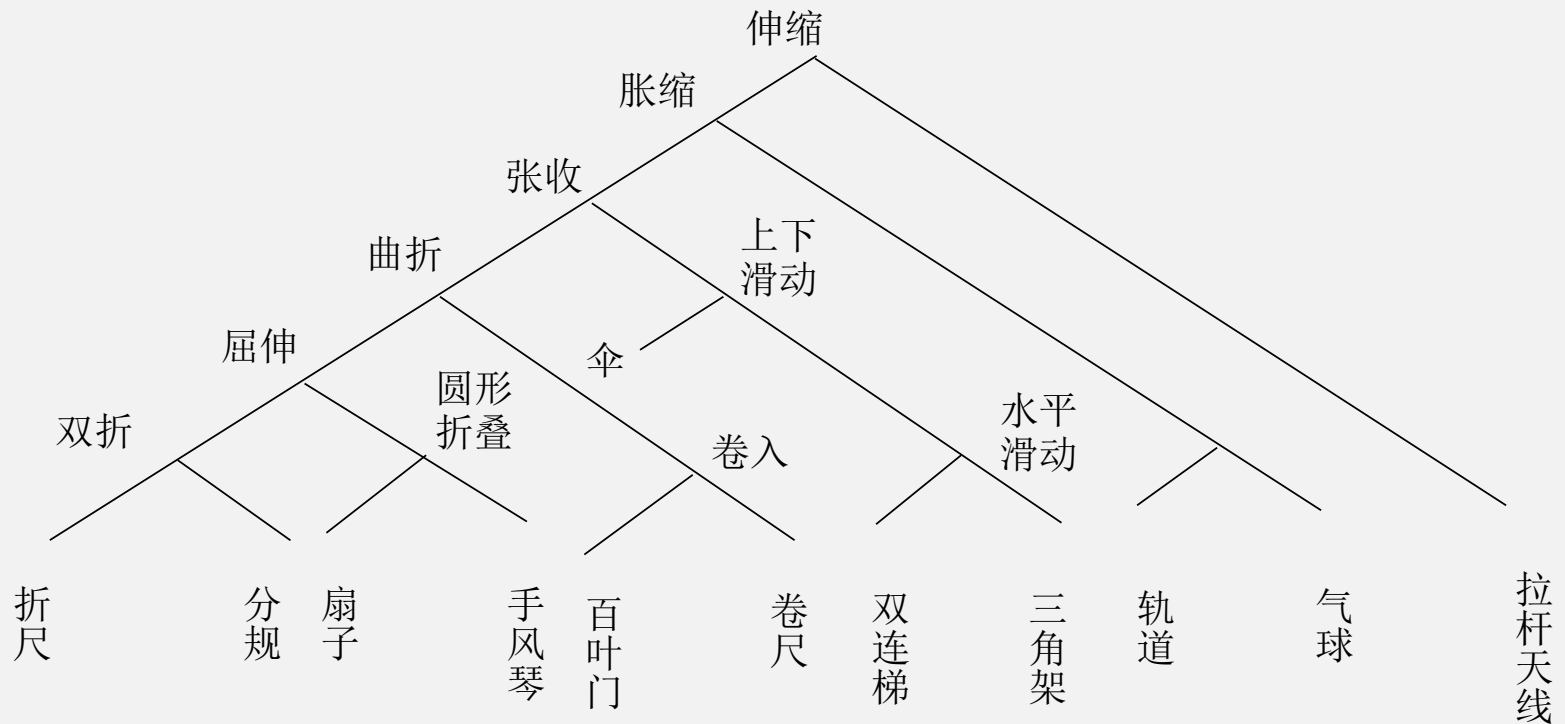


图2-23 砸核桃取桃仁的功能描述

知识库法: 数据库各种物理效应、功能载体、技术参数等等，
都可以数据库的形式存入计算机供检索查询。

词条“伸缩”



(9) 形态学矩阵方法

形态学矩阵

1) 形态分析法（功能分析法）

因素和形态是形态分析中的两个基本概念。因素，是构成某种事物的特性因子，而实现其功能的技术手段，则称之为形态。

2) 形态分析法的运用程序

- (1) 因素分析。
- (2) 形态分析。
- (3) 方案综合。
- (4) 方案评选。

3) 形态学矩阵

若因素为A、B、C，对应的形态分别为3、5、4个，则理论上可综合出 $3 \times 5 \times 4 = 60$ 个方案。形态学矩阵综合表如下：

形态学矩阵

	形态					
因素	A	A ₁	A ₂	A ₃		
	B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
	C	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	



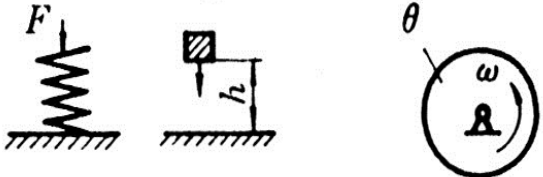
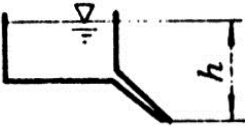

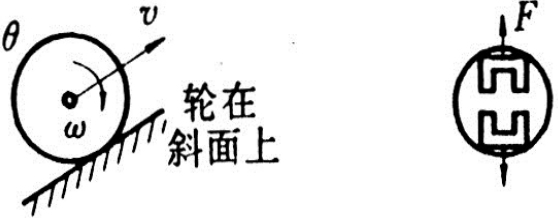

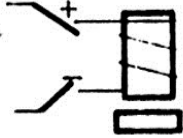
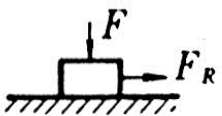
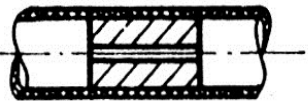
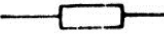
原理 功能	机械	液气	电磁	热
储能	 <p>弹性能 位能 转动飞轮</p>	 <p>液压能</p>	 <p>电容 压电效应</p>	过热蒸气 热流体
动力	 <p>轮在斜面上 转动+移动 离心力</p>	 <p>液体压力效应</p>	 <p>电流磁效应</p>	
摩擦力	 <p>机械摩擦</p>	 <p>毛细管</p>	 <p>电阻</p>	

图2-26 部分常用物理基本功能元的解法目录

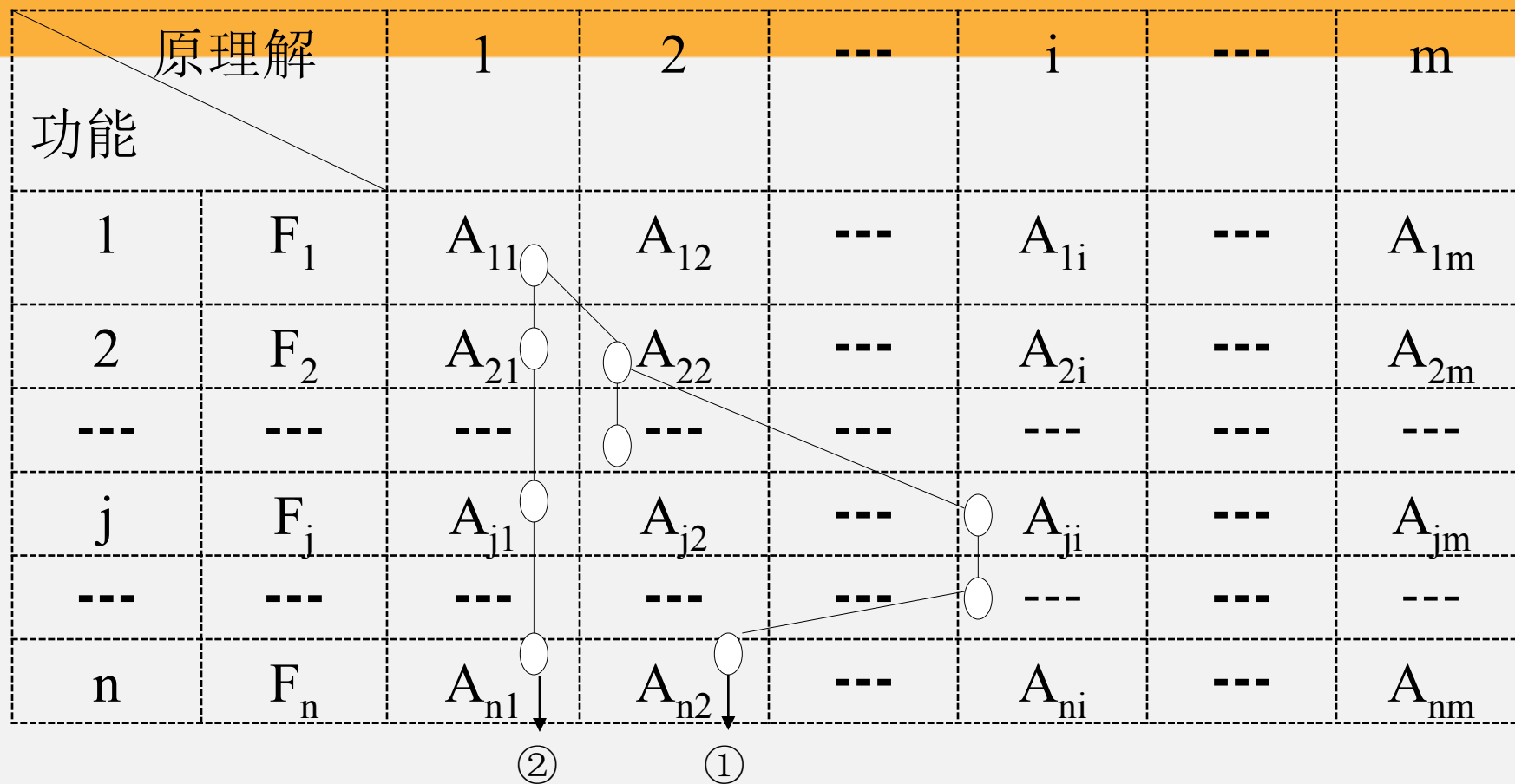
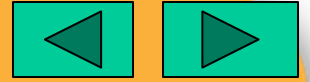


图2-34 原理组合方案



表10-9 挖掘机的原理解组合

原理解 分功能	1	2	3	4
推 压	齿条	钢丝绳	油缸	
铲 斗	正铲斗	反铲斗	抓斗	
提 升	油缸	绳索		
回 转	内齿轮传动	外齿轮传动	滚轮	
能量转换	柴油机			
能量传递与分配	齿轮箱	油泵	链传动	带传动
制 动	带式制动	闸瓦制动	片式制动	圆锥盘制动
变 速	液压式	齿轮式	液压-齿轮	
行 走	履 带	轮胎	迈步式	轨道-车轮



挖掘机的原理方案

解：用系统组合法列出挖掘机的分功能原理解。

组合方案数为：

$$W=3 \times 3 \times 2 \times 3 \times 1 \times 4 \times 4 \times 3 \times 4=10368,$$

根据要求明细表中功率的要求，在能量传递与分配中，例如：采用链传动和V带传动，显然是不相容的，应去掉。故组合方案数

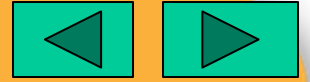
$$W=3 \times 3 \times 2 \times 3 \times 1 \times 2 \times 4 \times 3 \times 4=5184.$$

在这些方案中，进行筛选和评价，最后得到最优设计方案。

举例：洗衣机形态学矩阵

因素 (分功能)		形态 (功能解/原理解)			
		1	2	3	4
A	盛装衣物	铝桶	塑料桶	玻璃钢桶	陶瓷桶
B	分离脏物	机械摩擦	电磁振荡	热胀	超声波
C	控制洗涤	人工手控	机械定时	电脑自控	

利用上表，理论上可组合出 $4 \times 4 \times 3 = 48$ 种方案。



2. 数学方法组合

利用数学手段对各组合方案进行优化计算以求得最佳的总解。

四、组合方案的筛选

作用原理的组合后产生数目众多的原理设计方案，为了尽快找出最优方案，可用表按一些评价标准筛选出若干较有希望的作用原理方案，然后再进行设计。筛选如表所示。



功能的原理解与基础解

根据分功能或功能元的原理解, 形成实现**系统总功能的原理解法**. 进行系统功能组合, 利用形态矩阵来寻找实现总功能的原理解, 采用系统组合法求原理解应注意:

- 1) 原理解组合应具有**相容性**。在功能结构中, **能量流, 物料流, 信号流**不互相干扰。
- 2) 所组成的原理解, 具有**先进性, 合理性, 经济性**。



综合设计实例

课后练习

康复机械手的设计

第4节 系统化设计任务提取的方法流程

1 确定设计任务

- 1) 需求的提取（详细、明确、合理而又先进）
- 2) 设计任务的初步描述到要求明细表的制定（必达要求、最低要求和愿望）——设计参数、指标

一、明确设计任务的意义和方法

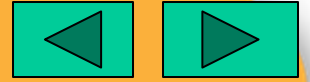
- 1) 概述 正确地确定设计目标是设计成功的基础。设计任务要求目标**详细、明确、合理而又先进**，并初步判断这些要求是否有**可能实现**。



一、收集的资料要求

设计人员要用自己收集的资料信息，对委托的任务要求进行检查和思考。包括：

- 1) 同类技术产品的**不完善性**；
- 2) 目前的**技术水平**；
- 3) 有关**数据和重点**。



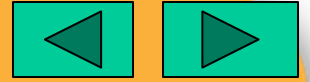
二. 目标任务的确 定方法

1) 对编制产品**要求明细表**的要求

描述应正确、完整，没有含糊不清之处，应保证满足设计任务所反映的需要。

应考虑当前水平、未来可能的发展及本企业的条件，合理处理各项要求的先进性问题。

应该用对所需获得的效果的说明（即系统应该做什么），而不是用取得这些效果的手段（系统应该是什么），来构成设计中的问题和要求。



各项要求应尽可能**定量**，并给出其允许偏差。

有关数据**应符合标准化，系列化**的要求。

各项要求**应保证协调、相容**，不应有无法调和的矛盾。

应根据各项要求的重要性和性质划分为**要求或愿望**。

三、产品要求明细表的内容和表达

各项要求按性质可分为**必达要求、最低要求和愿望**。



必达要求：根据设计任务规定，这些要求是无论如何必须达到的，否则系统功能便无法实现，这是最起码的要求。例如功率、速度、流量等。

最低要求：反映设计的约束条件，如效率、噪声的限制等。

愿望：力争达到的要求，有一定宽容余地。例如希望集中操纵、维修方便等。

各项要求应从数量和质量两方面来说明，否则设计就没有确定的结果。这两方面如：

要求明细表

必达要求	边界条件	数量
最低要求	功能提取	质量
愿望	参数提取	



2 方案设计方法

1) 方案设计涵义

方案设计是产品设计的作用原理和结构原理开发阶段。

方案设计是在明确任务要求的基础上通过对任务的抽象进一步认识问题的本质。

接着进行透彻的功能分析与综合，建立系统的功能结构，进而寻找实现各分功能的作用原理，并进行组合使能实现总的功能，这就使设计任务的解决方案，经过具体化，就得到原理解即设计方案。

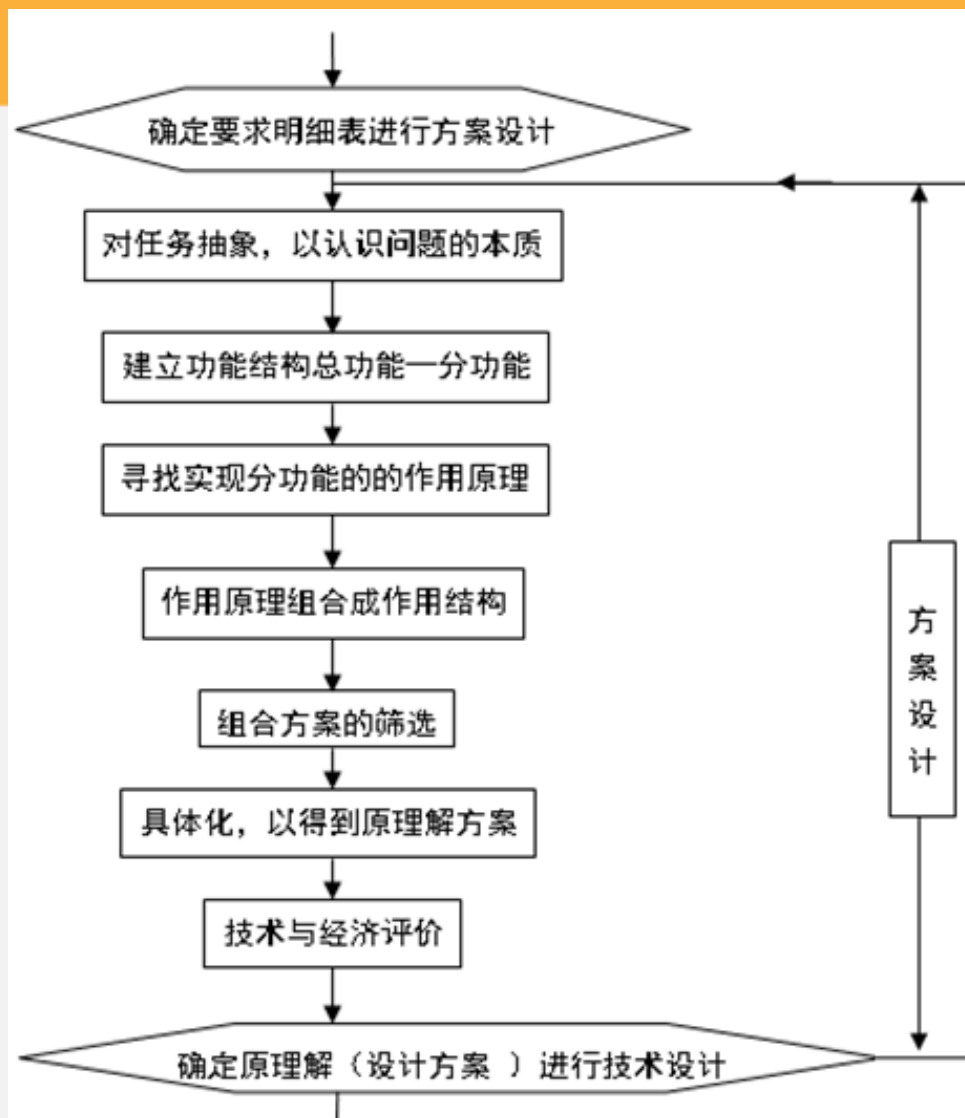
其重点是**产生定性的结构原理方案**，因此特别需要发挥创造性思维。

3 设计方案的评价

第4节合理的开发程序

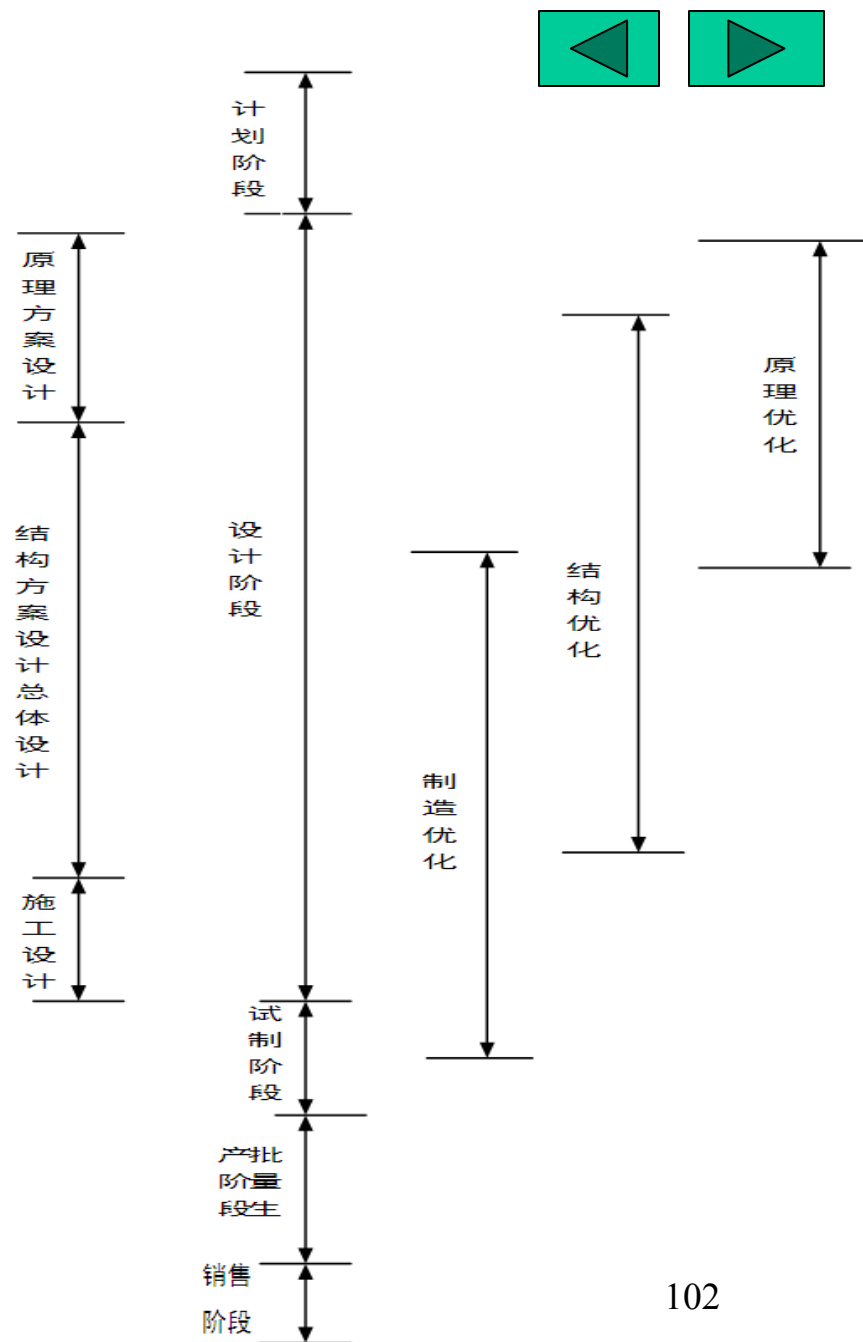
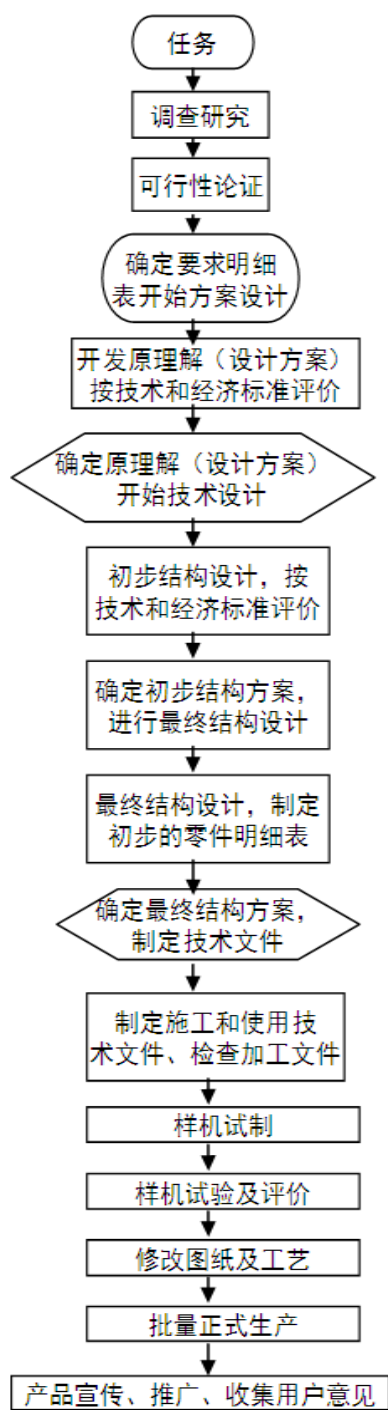
		任务需求分析 明确任务要求	设计任务书	技术预测 市场预测
			原理方案	黑箱法 系统化设计方法 价值分析法 优化法 创造性设计 相似性设计 评价与决策技术
设计	设计阶段	功能分析 解法探求 方案组合 评价决策		
		构型要求 构型 选材、定尺寸 评价、决策	总体装配草图	构型设计原则 价值分析 技术计算 有限元设计 相似型设计 优化设计 绿色设计思想
	技术文件	总体设计 零件设计 编写技术文件	零部件图 总装配图 使用维护说明 工艺文件	CAD
生产	生产阶段	试验 制造	产品	CAM
使用	使用阶段	使用信息收集	满足任务要求	反馈控制

二、通用系统化设计方法与步骤



以方案设计为例

三. 合理的产品开发程序





设计实例 求挖掘机的原理方案

根据以下 1. 定性描述信息或根据功能分解分析, 进行原理求解

1. 定性描述

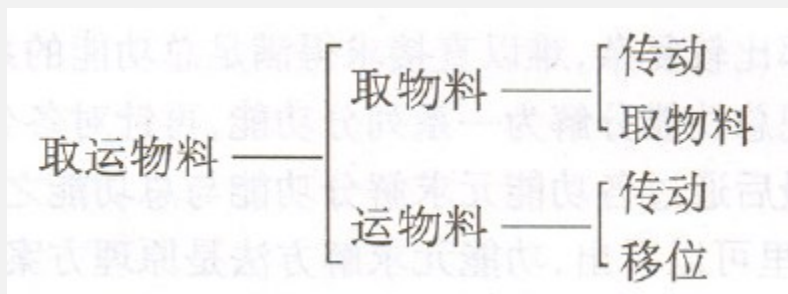
柴油机驱动

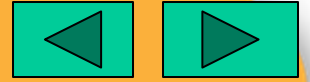
驱动、挖掘、提升、回转、行走。

挖掘

挖装到卡车上的动作: 挖掘、提升、回转、行走。

2. 功能分解





第5节 设计方案的技术经济评价

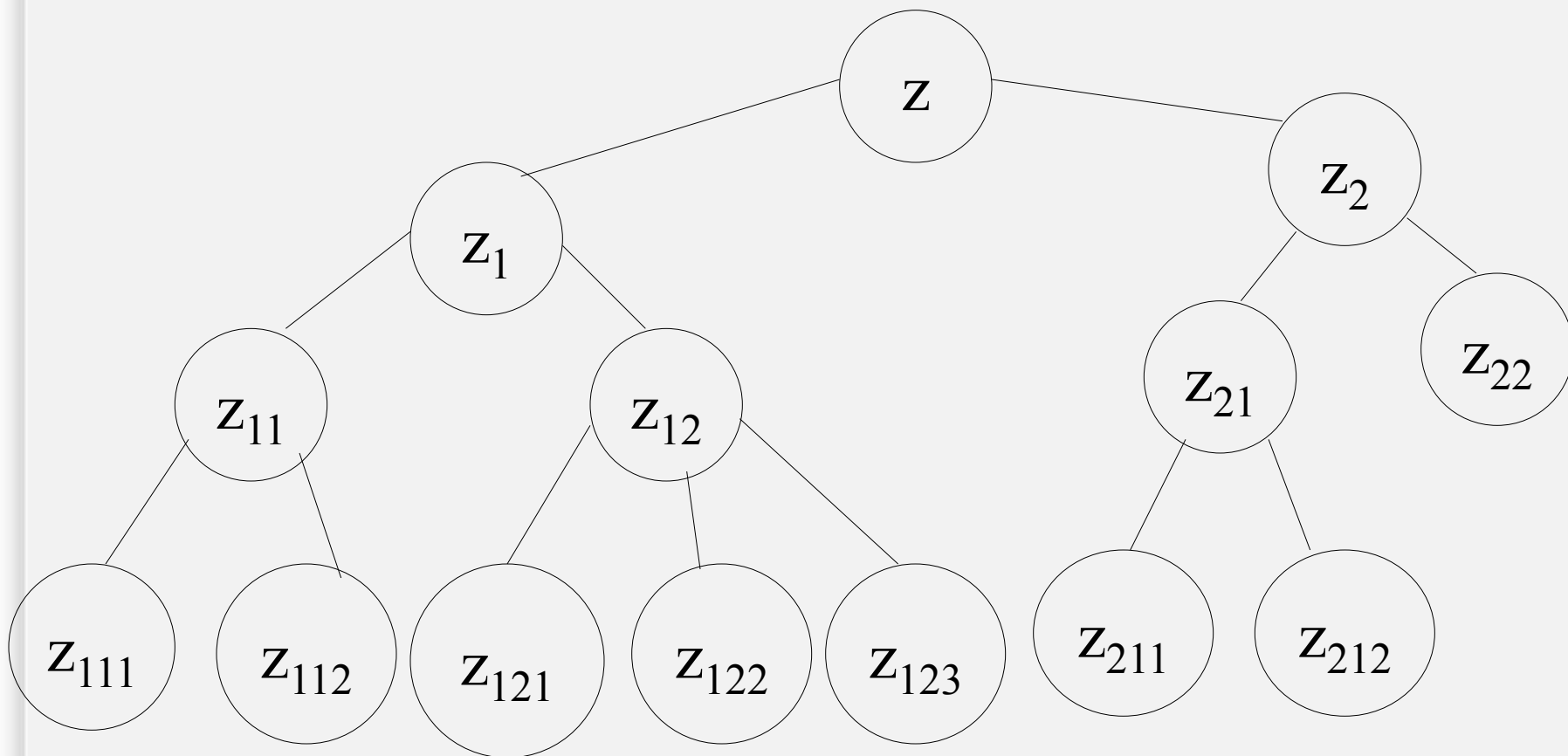


图2-35 评价目标树

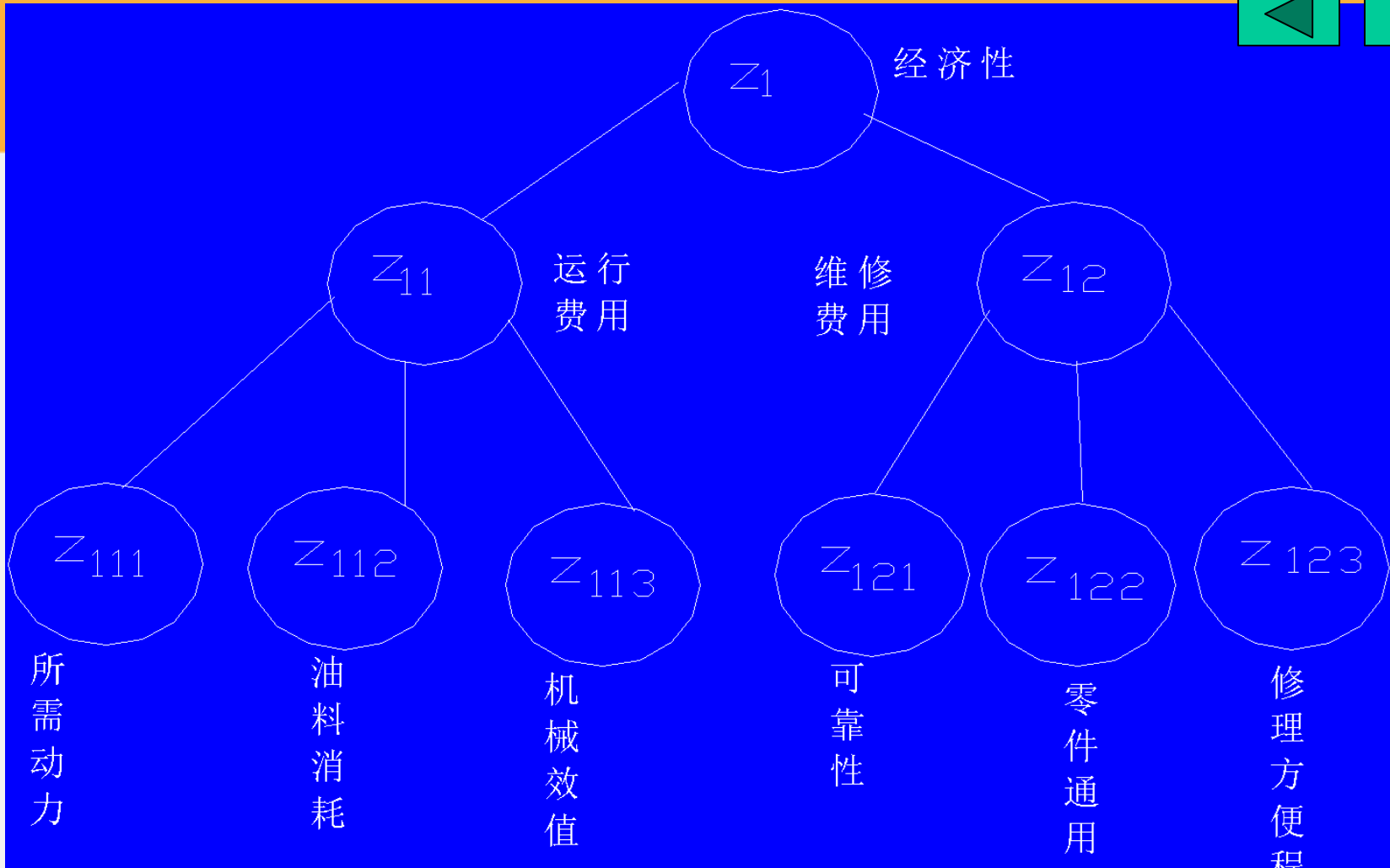


图2-36 典型加工机械的目标树

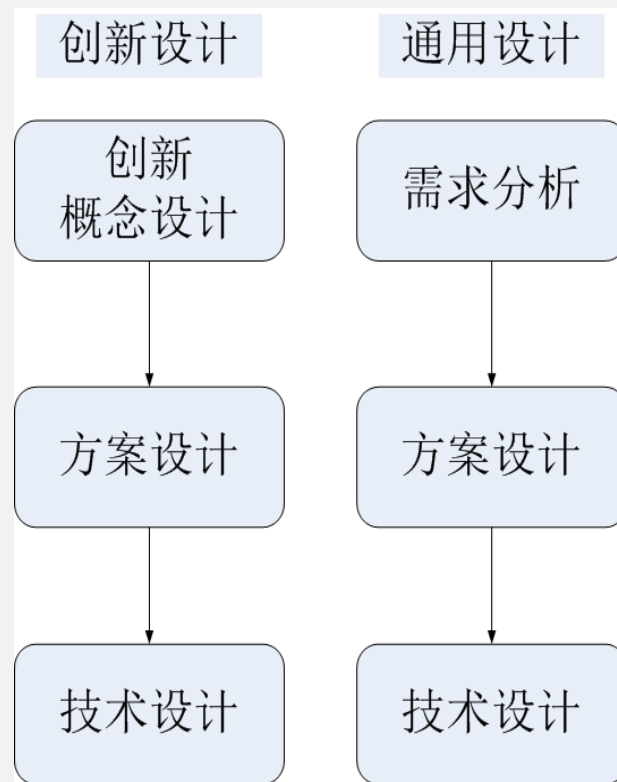
总 结

宗旨

- 1) 走进设计、认识设计;
- 2) 享受设计过程;
- 3) 掌握基本设计过程。

通用系统化设计:

需求——系统功能——原理结构——
—方案评价

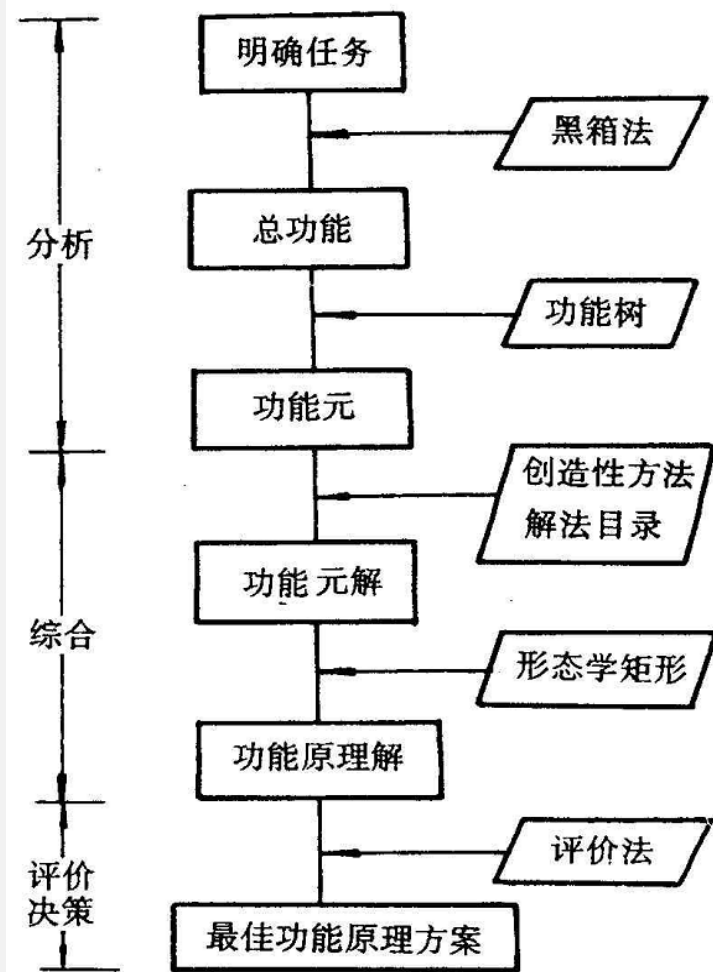


核心内容梳理

重要性	逻辑或方法	主要内容	练习实例
V	要求明细表	内容和表达 (<u>必达要求、最低要求和愿望</u>) 特征 (<u>数量和质量</u>)	<u>1 2 3</u>
V	<u>黑箱法/抽象法</u>	黑箱法的需求认知 抽象法的功能认知	<u>1 2 3</u>
	抽象	需求——功能 科学原理——技术原理 物理化学效应——工作原理	<u>1 2 3</u>
	<u>功能元</u>	(物理功能元、逻辑功能元、数学功能元)	<u>1 2 3</u>
V	<u>功能结构树</u>	<u>功能结构图</u>	<u>1 2 3</u>
	<u>工作原理</u>	科学原理 技术原理	<u>1 2 3</u>
V	<u>工具解法</u>	<u>物理效应目录、知识库、作业目录</u> <u>探求法</u>	作业目录 <u>1 2 3</u> 物理效应 <u>1</u>
V	<u>形态学矩阵</u>	<u>原理解 组合、功能相容性</u> ; 组成先进性, 合理性, 经济性	<u>1 2 3</u>
V	<u>评价目标树</u>	功能 价值	<u>1 2 3</u> 108

通用系统化设计方法与步骤

1	设计任务确定	要求明细表
2	方案设计	工作原理与 工作结构
3	总功能分解	功能结构图
4	原理方案求解	形态学矩阵
5	决策评价	决策目标树



内容的系统梳理

1 确定设计任务

- 1) 需求的提取（详细、明确、合理而又先进）
- 2) 要求明细表的制定 a. 设计任务的初步描述到
b. 要求明细表（必达要求、最低要求和愿望）

2 方案设计方法

- 1) 黑箱法与抽象法
- 2) 结构原理方案
- 3) 总功能提取 a. 抽象出主要要求——设计参数、指标
b. 定性描述——功能描述
c. 功能抽取——总功能提取

3 总功能分解

- 1) 任务——需求——功能——原理——结构
- 2) 工作原理（科学原理/技术原理）——功能结构
- 3) 科学原理——技术原理——功能结构
- 4) 物理效应——功能载体
- 5) 功能与功能结构树
- 6) 总功能与分功能、功能元（物理功能元、逻辑功能元、数学功能元）；主功能、副功能
- 7) 功能元解法（直觉法、探求法[资料、专利或产品]、创造性解法目录[物理效应、知识库]）

4 原理方案解

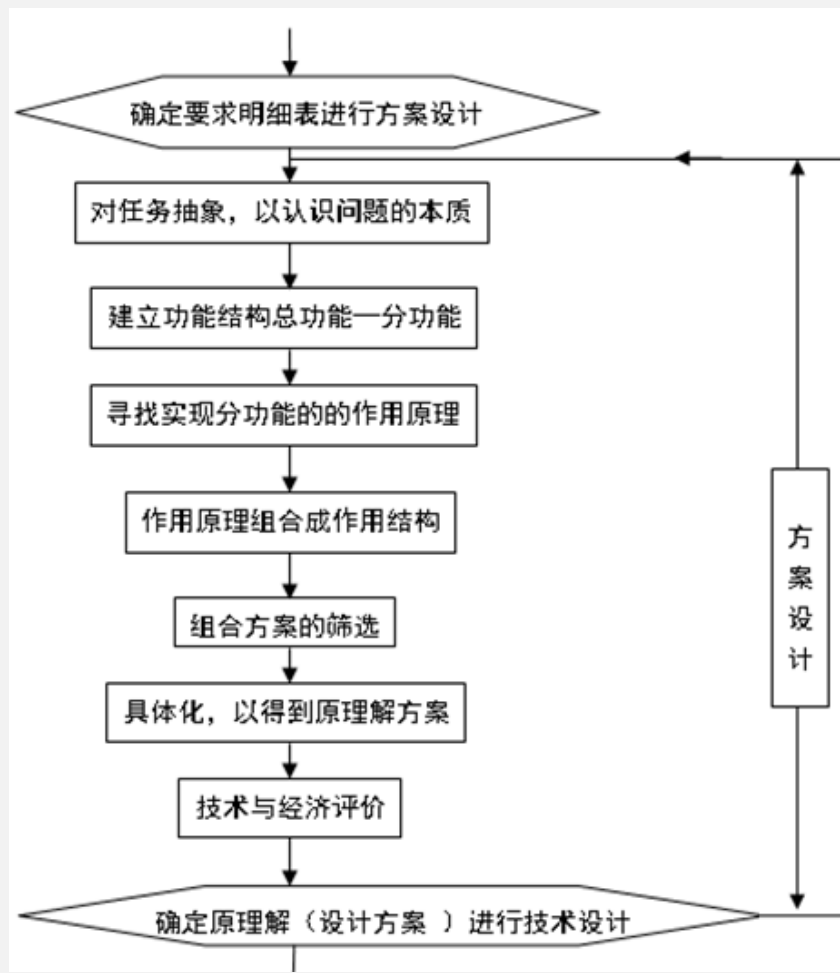
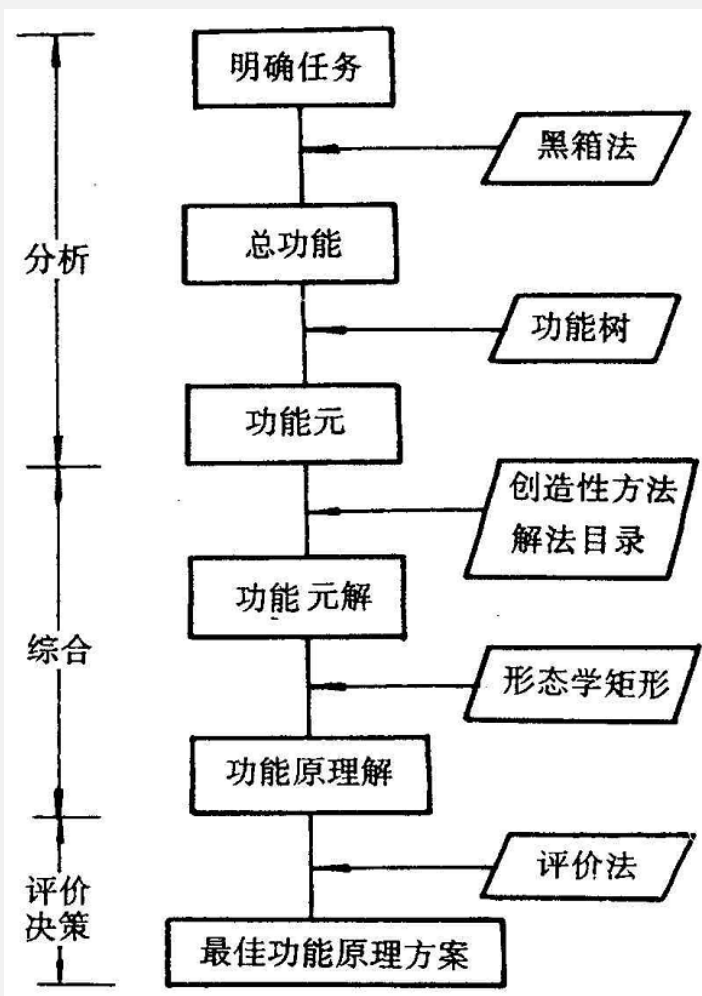
- 1) 形态学矩阵
- 2) 原理解——基础解（原理解组合、功能相容性；组成先进性，合理性，经济性）

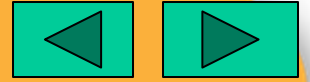
5 设计方案的评价

1) 系统评价目标树

2) 评价方法 (有效值分析法, 技术经济评价法, 模糊综合评价法)

6. 通用系统化设计方法与步骤





课后思考题

作业：收集以前毕业设计题目和内容进行系统化设计的预设计？

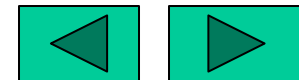
完成时间：

邮箱：geyang@hrbeu.edu.cn

作业点评

点名情况		刘子健 初子祺 王一洵 郭佳萌 刘小民 王正元 宇文姝 郭瑞特		
作业完成情况				
序号	作业内容	改进之处		
		设计的想法来源	市场调研分析	需求明细表
1	智能身份证感应验票机			
2	不会倒的水杯			
3	遥控乒乓球捡球器			
4	多功能轮椅的设计研究			

谢 谢！



物理效应的设计案例导引

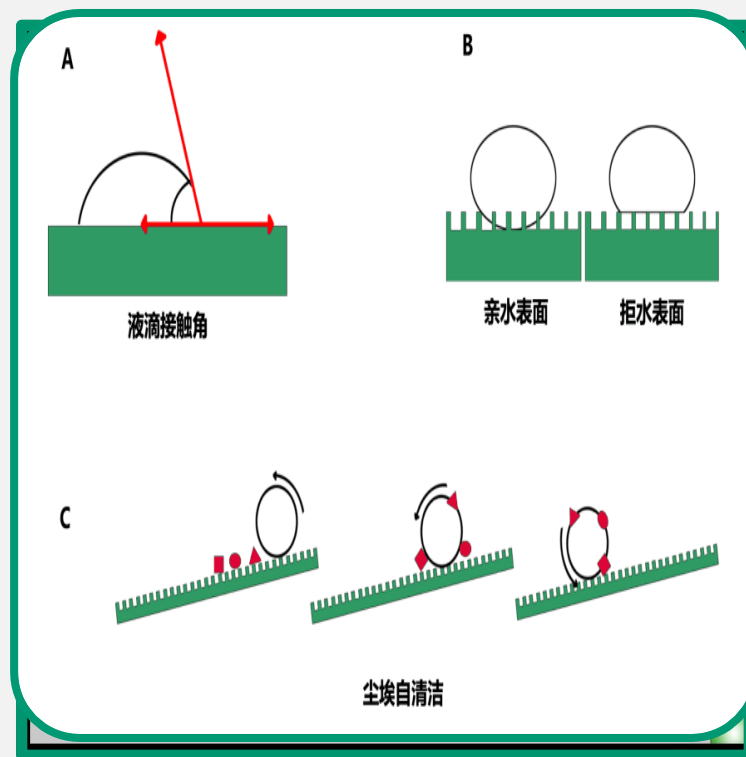
知识学习



莲叶效应



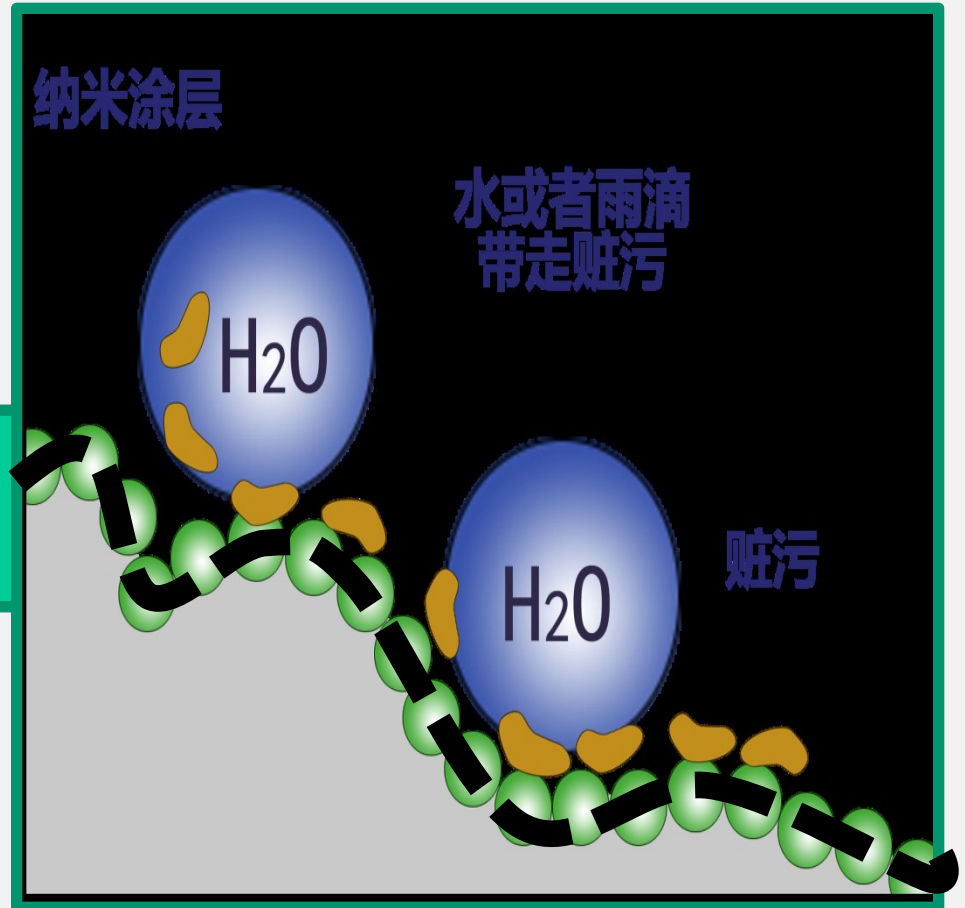
纳米空气层



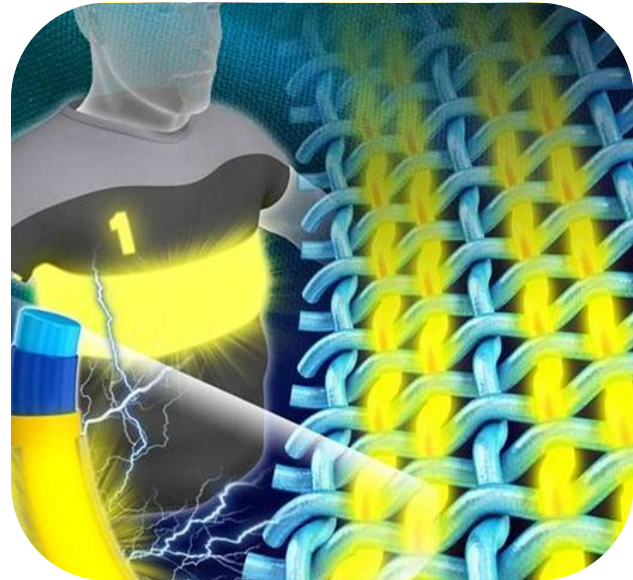
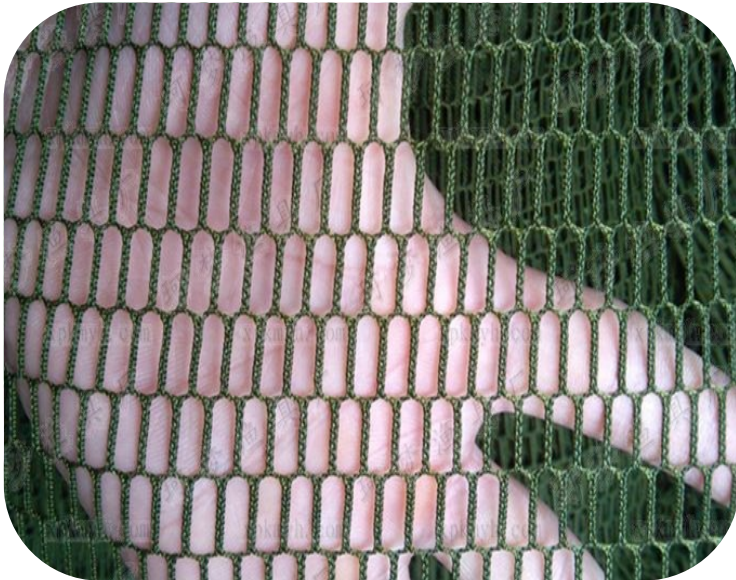


纳米空气层

灰尘、雨水等降落在叶面上后，隔着一层极薄的空气，由于空气层、“山包”状突起和蜡质层的共同托持作用，使得水滴不能渗透，而能自由滚动。产生“莲叶效应”的自洁功能。



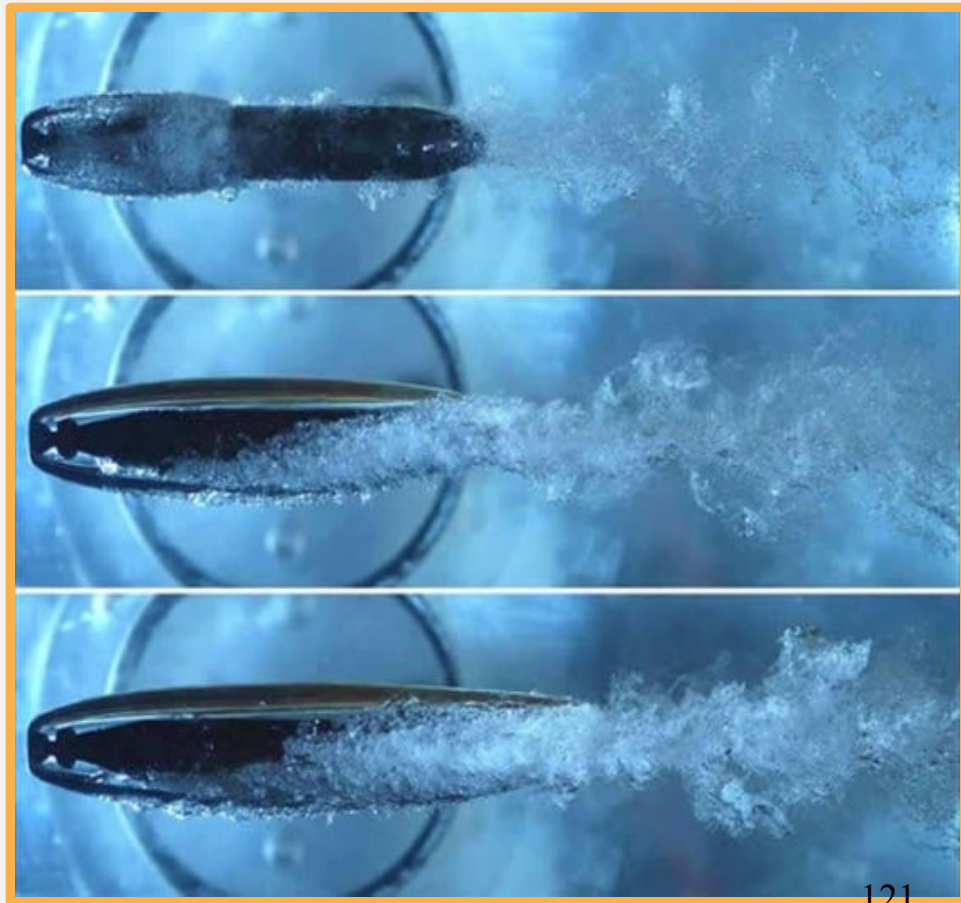




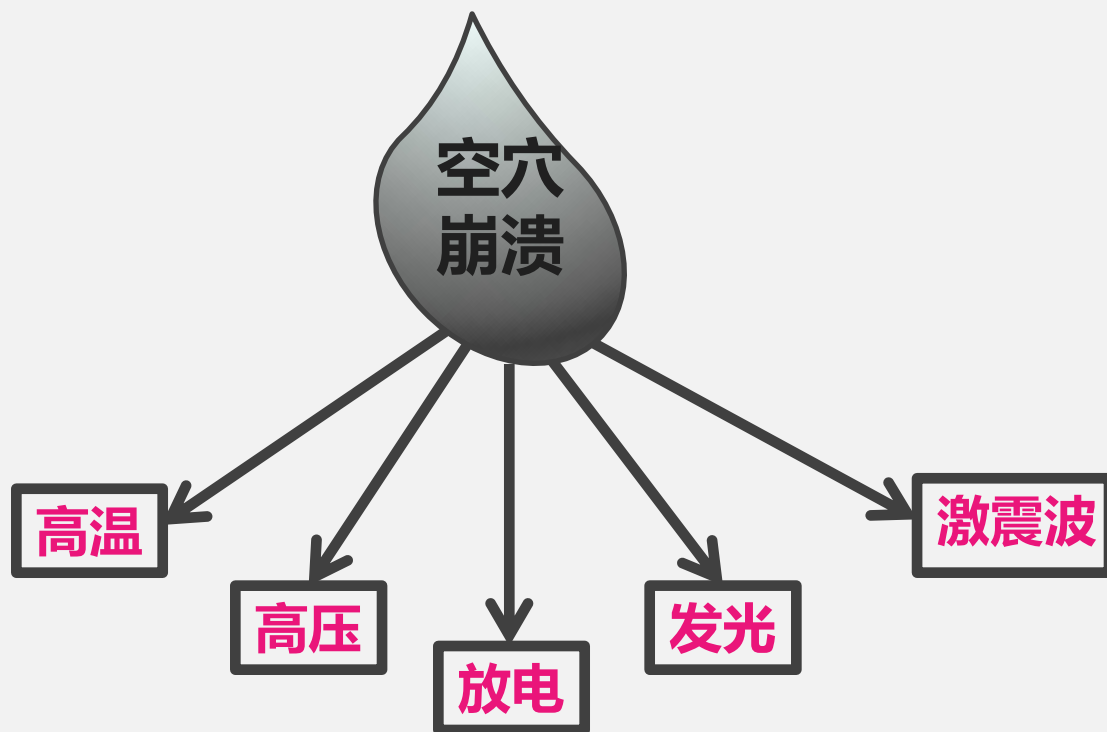


空化现象

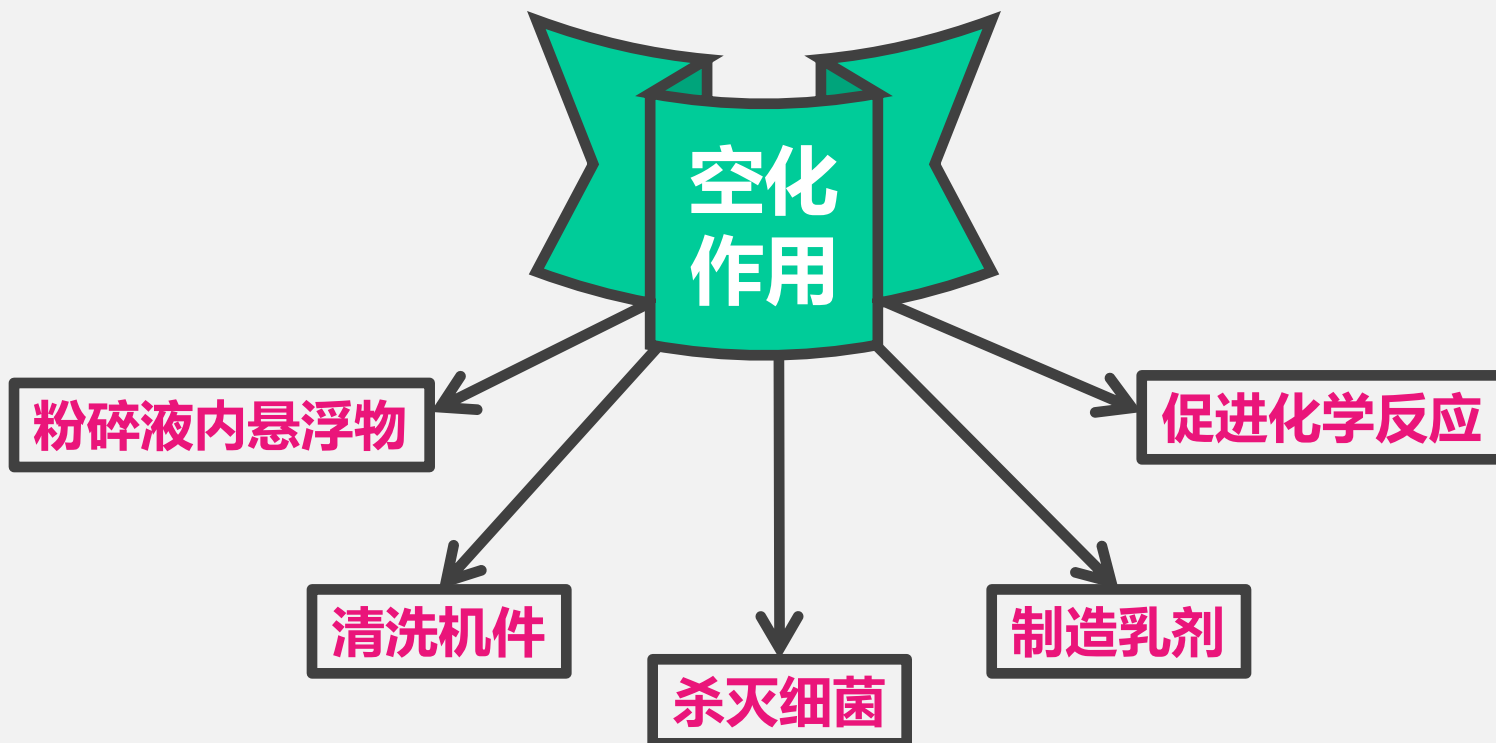
空化现象

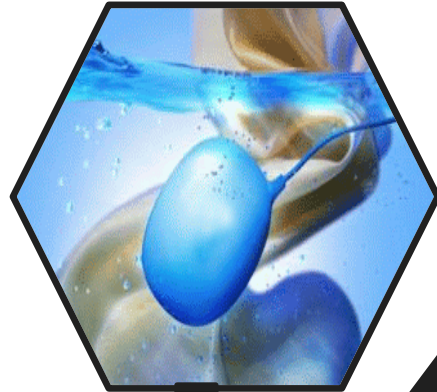
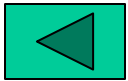


空化现象



空化现象





新产品的的设计

水下拖缆救援装置设计



新产品开发设计

1 问题描述

- **国际国内航运繁忙，由于工作条件恶劣、水下周围环境复杂多变，沉船事故时有发生，水下救援困难，同时，国防建设以及航道漂浮物的打捞，也需要新型打捞器。因此，我们能不能将创新产品开发的目标锁定在——水下救援装置。**



新产品开发设计

2 现有解决方案



效率低、实施困难



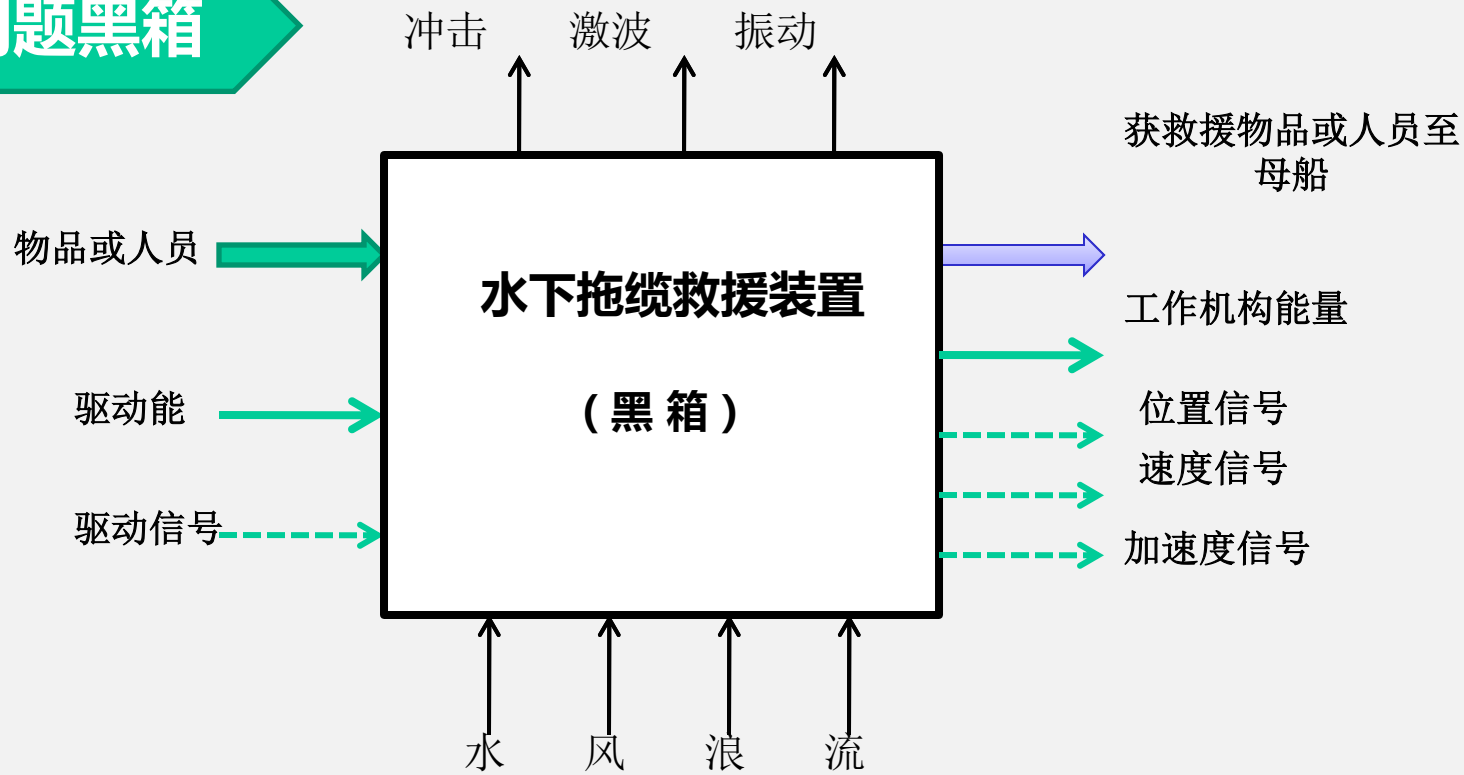
水下动力小、能耗高



无法应对
复杂的沉没物壁面

新产品开发设计

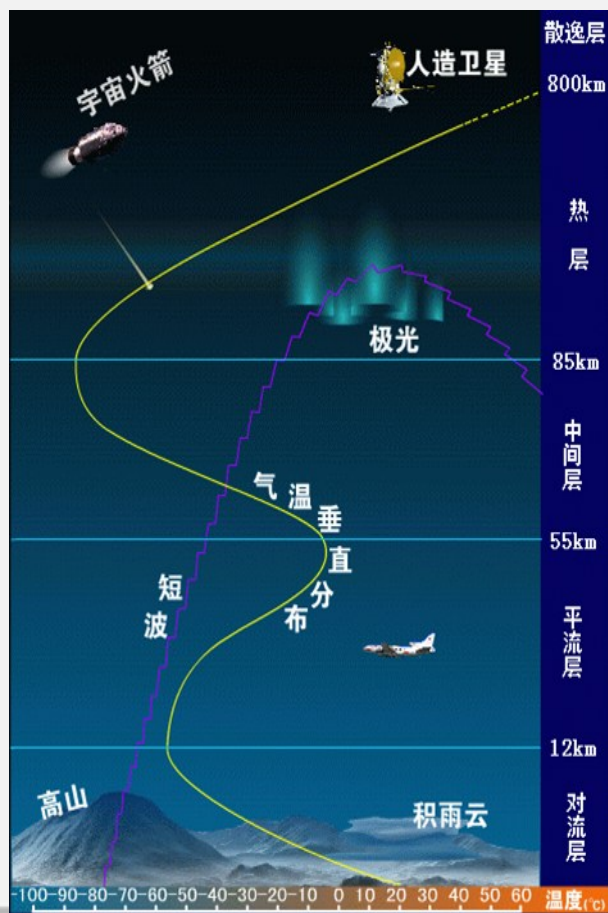
3 问题黑箱



新产品开发设计

3 知识库词条

大气分层词条



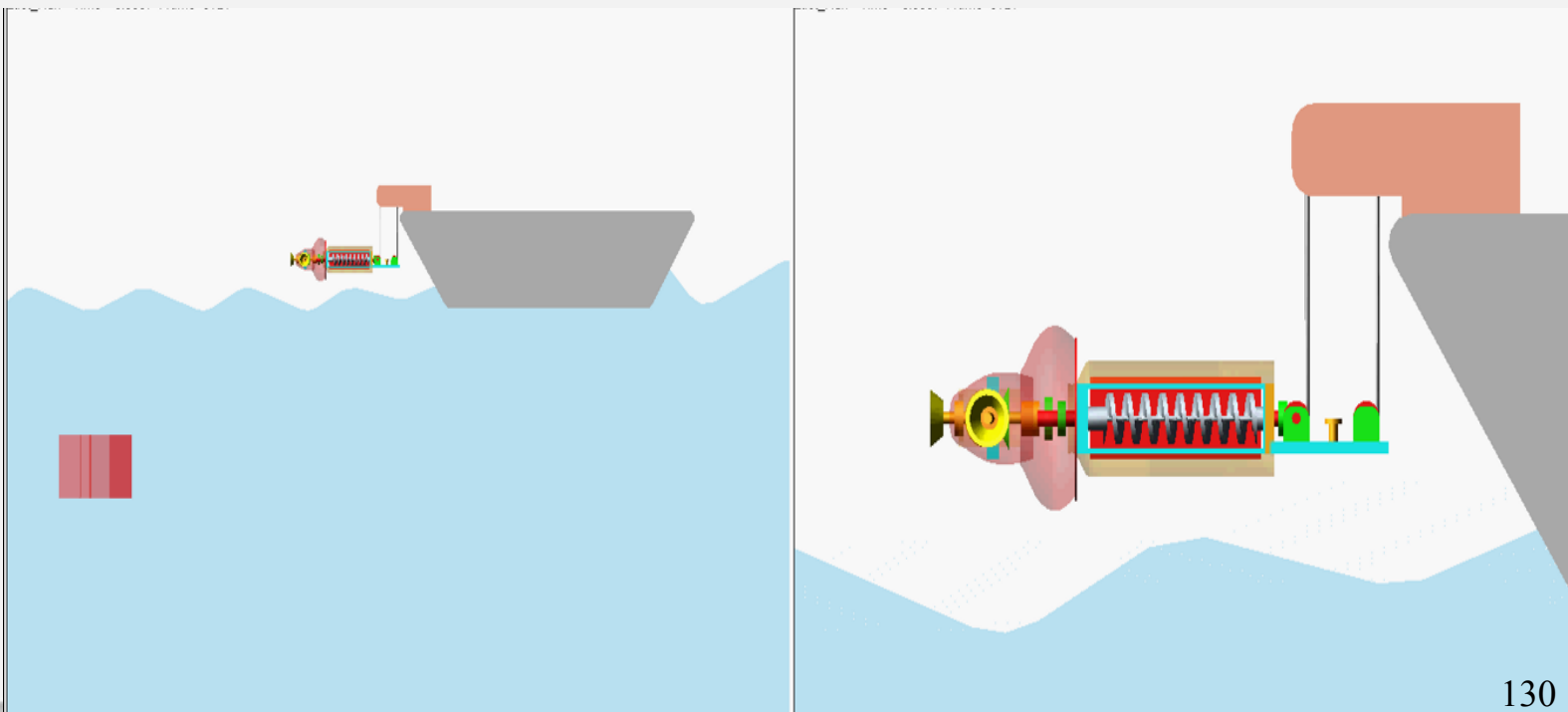
水下环境分层？

新产品开发设计

3

设计思路

水下拖缆救援装置



新产品开发设计

知识学习



新产品开发设计

5

总功能分析

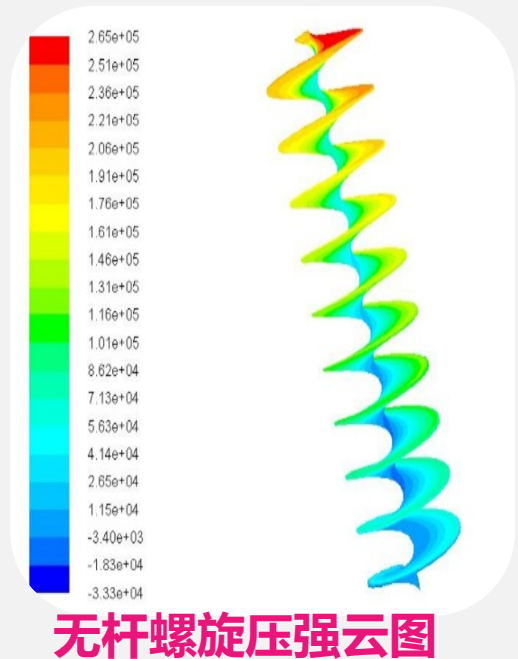
- **水下拖缆救援装置由于其工作需要，需要满足以下条件：**
 - **平稳且快速运行接近目标**
 - **在水中应有足够强的动力**
 - **适应复杂壁面**
 - **方便回收且便于转运和携带**

新产品开发设计

7

物理效应

- 根据波浪弥散关系 $\sigma^2 = k \times g \times \tanh(kh)$
- 其中： σ 为圆频率、 $\sigma = 2\pi/T$ 、 T 为波浪周期、 h 为水深、 g 为重力加速度， k 为波数、与波长的关系满足 $L = 2\pi/k$ ，小振幅波动在相当于半个波长的深度以下，其波形已可忽略，故当水深 $|z_0| \geq l/2$ 时，即可当作深水波来处理。





新产品开发设计

