



第二单元 / 第四章

可持续发展、循环经济与清洁生产

《工程师职业素养》课程组

可持续发展、循环经济与清洁生产

内容

1 可持续发展理论

2 可持续发展评价方法

3 循循环经济理念

4 清洁生产方法

1 可持续发展理论

1.1 可持续发展的由来

1.2 可持续发展的内涵

1.3 可持续发展的基本原则

1.1 可持续发展的由来

案例 2007年太湖蓝藻爆发事件



蓝藻暴发，导致水源水质恶化，最终无锡城区出现了大范围自来水发臭现象，停水100小时以上。

1.1 可持续发展的由来

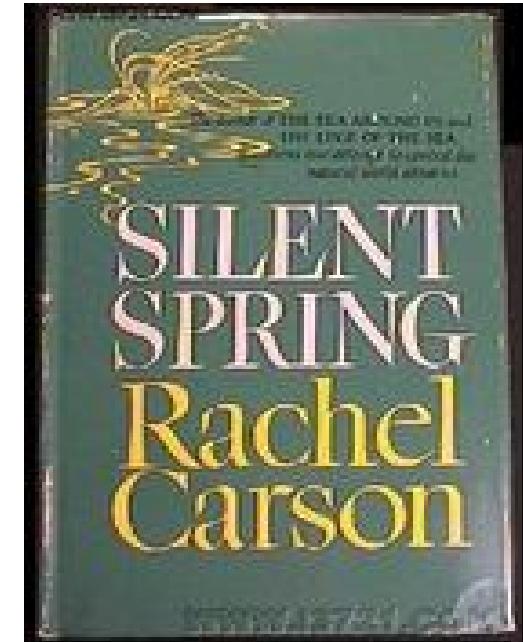
太湖水污染

- 江苏、浙江发改委不完全统计，太湖综合治理区内6大重点污染行业企业共计**5.57**万家。在1997-2006年间，太湖治污花去**270**亿元。其中，江苏省至2008年6月共关停小化工企业**3439**家。长兴全县175家蓄电池及相关企业中关闭了117家。
- 太湖周边有2500万亩地，每年约2.5万吨农药，至少有几千吨进入了太湖。

良性的发展是**可持续发展**，在严格控制人口、提高人口素质和保护环境、资源**永续利用**的前提下进行经济和社会的发展。

1.1 可持续发展的由来

1962年美国海洋生物学家莱切尔·卡逊(Rachel Carson)出版了《寂静的春天》，标志着人类首次关注环境问题。它那惊世骇俗的关于农药危害人类环境的预言，不仅受到与之利害攸关的生产与经济部门的猛烈抨击，而且也强烈震撼了社会广大民众。



1.1 可持续发展的由来

20世纪60年代末到80年代末，“**增长极限问题**”

- 地球环境的“承载能力”是否有界限？
- 发展的道路与地球环境的“负荷极限”如何相适应？
- 人类社会的发展应如何规划才能实现人类与自然的和谐，既保护人类，也维护地球的健康？

1987年，世界环境与发展委员会在题为《**我们共同的未来**》的报告中，第一次阐述了“可持续发展”的概念。

1 可持续发展理论

1.1 可持续发展的由来

1.2 可持续发展的内涵

1.3 可持续发展的基本原则

1.2 可持续发展的内涵

三个重要概念

- “**需要**” 的概念，特别是穷人的需要，应当对此给予特别优先的地位来考虑；
- “**限制**” 的概念，这并不是绝对的限制，主要是指对未来环境需要的能力构成危害的限制。
- “**平等**” 的概念，即各代之间的平等与当代不同地区与不同人群之间的平等。

1.2 可持续发展的内涵

可持续性内涵

- “**经济的可持续性**”：要求经济体能够连续的提供产品和劳务；
- “**环境的可持续性**”：要求保持稳定的资源基础；
- “**社会的可持续性**”：通过分配和机遇的平等、建立医疗和教育保障体系、实现性别的平等、推进政治上的公平性和公众参与性这类机制来保证“社会的可持续发展”。

经济可持续性是**基础**，环境可持续性是**条件**，社会可持续性是**目的**。

1 可持续发展理论

1.1 可持续发展的由来

1.2 可持续发展的内涵

1.3 可持续发展的基本原则

1.3 可持续发展的基本原则

公平性原则（Fairness）

本代人的公平即代内平等

可持续发展要满足全体人民的基本需求和给全体人民机会以满足他们要求较好生活的愿望，贫富悬殊、两极分化的世界不可能实现可持续发展，要给世界以公平的分配和公平的发展权，要把消除贫困作为可持续发展进程特别优先的问题来考虑。

代际间的公平即世代平等

要认识到人类赖以生存的自然资源是有限的。本代人不能因为自己的发展与需求而损害人类世世代代满足需求的条件——自然资源与环境。要给世世代代以公平利用自然资源的权利。

1.3 可持续发展的基本原则

持续性原则（Sustainability）

持续性原则的核心思想是指人类的经济建设和社会发展不能超越自然资源与生态环境的承载能力。

人类需要根据持续性原则调整自己的生活方式、确定自己的消耗标准，而不是过度生产和消费。发展一旦破坏了人类生存的物质基础，发展本身也就衰退了。

1.3 可持续发展的基本原则

共同性原则 (Common)

从根本上说，贯彻可持续发展就是要促进人类之间及人类与自然之间的和谐。如果每个人都能真诚地按“共同性原则”办事，那么人类内部及人与自然之间就能保持互惠共生的关系，从而实现可持续发展。

可持续发展、循环经济与清洁生产

内容

1 可持续发展理论

2 可持续发展评价方法

3 循循环经济理念

4 清洁生产方法

2 可持续发展评价方法

可持续发展指标体系衡量方法，主要分为单一指标评价方法与多指标加权评价方法两种类型。

- **单一指标评价方法**，首先需要明确选用的指标，然后将可持续发展的各个系统都运用该指标进行表征，最后通过加和给出整个系统的可持续发展状态指标。
- **多指标加权评价方法**，较多将可持续发展系统分解为经济、社会与环境等三个子系统，然后根据需要选择相应的指标来表征各个子系统。

2.1 可持续发展单一指标评价方法

绿色GDP

国内生产总值(GDP)是指一定时期内一个国家或者区域生产的全部产品与劳务的价值。通常来说，绿色GDP可以用下面的公式表示：

$$\text{绿色GDP} = \text{现行GDP} - \text{环境与资源成本} - \text{环境资源保护成本}$$

一般来说，由于资源损耗、环境污染与生态破坏的存在，绿色GDP小于现行GDP。

2.1 可持续发展单一指标评价方法

国家财富

财富是指能够带来更多价值的价值物。国家财富由人造资本、自然资本、人力资本和社会资本四部分组成。

- **人造资本是人类生产活动所创造和积累的物质财富；**
- **自然资本是大自然赋予人类的自然生成的财富；**
- **人力资本是一个国家的民众所具备的知识、经验和技能；**
- **社会资本是促进整个社会以有效方式运用上述资源的社会体制和文化基础。**

2.1 可持续发展单一指标评价方法

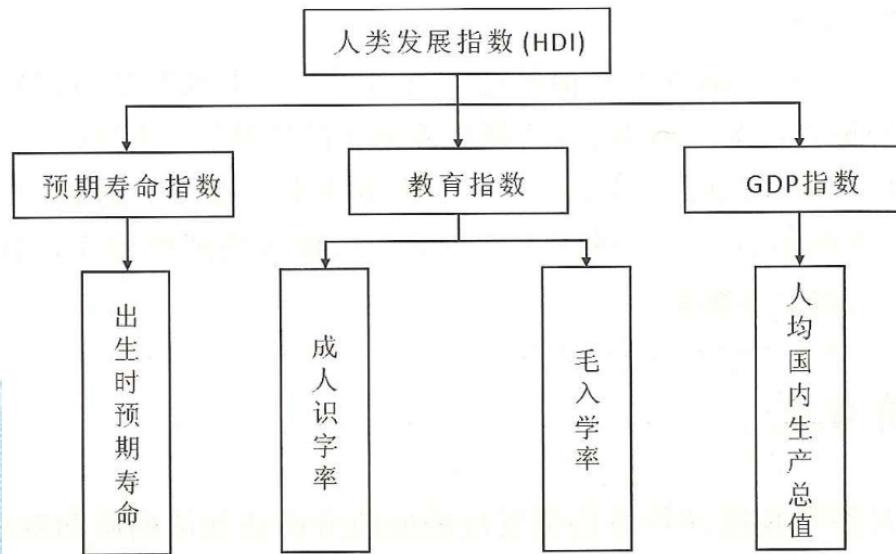
真实储蓄率

真实储蓄(genuine saving)的思想来自可持续收入，它表示一定时间内某个地区创造的可以被真正用于未来发展的资本价值。真实储蓄的表达式为：

真实储蓄=GDP - 人造资本折旧 - 生态环境退化损失 - 个人消费与公共消费

2.2 可持续发展多指标加权评价方法

人类发展指数（HDI）



人类发展指数体系框架

HDI体系认为，发展的具体结果应该有三个方面——健康长寿、教育获得与生活水平，分别用预期寿命指数、教育指数与GDP指数来表示。

预期寿命指数 用于测度一个国家在出生时预期寿命方面所取得的相对成就。

教育指数 衡量的是一个国家在成人识字及小学、中学、大学综合毛入学率两方面所取得的相对成就。

GDP指数 用按美元购买力平价的人均国内生产总值计算。

2.2 可持续发展多指标加权评价方法

人类发展指数（HDI）

维度系数计算公式：维度系数 = $\frac{\text{实际值}-\text{极小值}}{\text{极大值}-\text{极小值}}$

对上述三个维度的指数进行算术平均，即可得到某个国家或者地区的HDI数值：

$$\text{HDI} = \frac{1}{3}\text{预期寿命指数} + \frac{1}{3}\text{教育指数} + \frac{1}{3}\text{GDP指数}$$

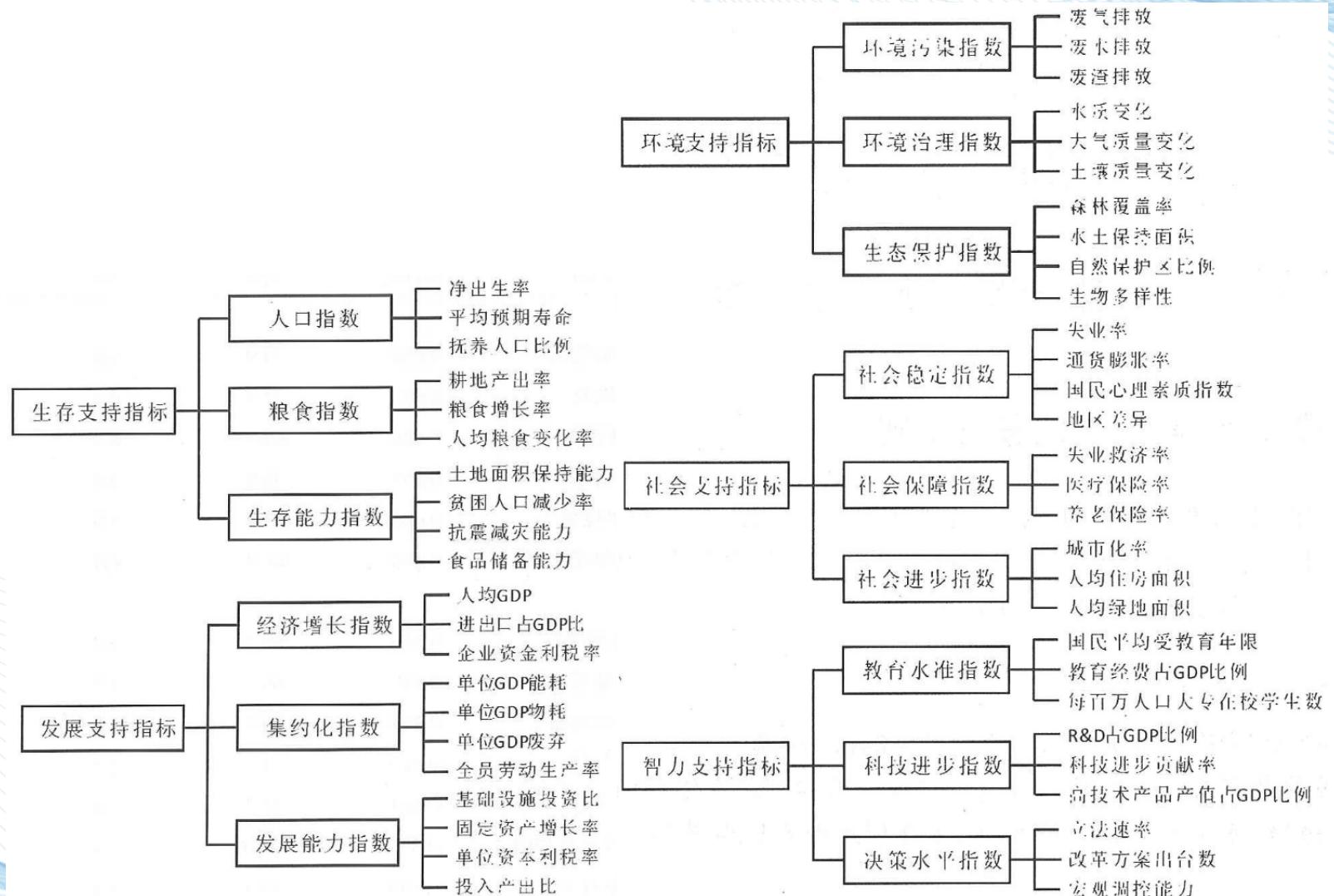
总体来说，**HDI指数越高，说明该国家或者地区的经济和社会整体发展程度越高。**

2.2 可持续发展多指标加权评价方法

常规多指标体系

常规多指标体系是现有评价经济社会可持续发展状态的一种常用方法。

中国科学院按照人口、资源、环境、经济、技术、管理相协调的基本原理，把可持续发展指标体系分成三个层次。



可持续发展、循环经济与清洁生产

内容

1 可持续发展理论

2 可持续发展评价方法

3 循循环经济理念

4 清洁生产方法

3 循循环经济理念

基本概念

- 循循环经济(cyclic economy)即物质**闭环**流动型经济。
- 在人、自然资源和科学技术的大系统内；
- 在资源投入、企业生产、产品消费及其废弃的全过程中；
- 把传统的依赖资源消耗的线型增长的经济，转变为依靠生态型资源循环来发展的经济。

3 循循环经济理念

本质特征

➤ 循循环经济实际上是一种按照**自然生态系统物质循环和能量流动方式运行的经济模式。**

目标

资源的高效利用和循环利用

原则

减量化、再利用、资源化

特征

物质闭路循环和能量梯次使用

3 循循环经济理念

3R原则——减量化原则 (Reduce)

- 减量化原则要求用较少的原料和能源投入来达到既定的生产目的或消费目的，进而从经济活动的源头就注意节约资源和减少污染，减量化有几种不同的表现：
- 在生产中，减量化原则常常表现为要求产品**小型化和轻型化**；
- 在产品方面，减量化原则要求产品的包装应该追求**简单朴实**而不是豪华浪费，从而达到减少废物排放的目的。

3 循循环经济理念

3R原则——再使用原则 (Reuse)

再使用原则要求制造产品和包装容器能够以初始的形式被反复使用。再使用原则要求抵制当今世界一次性用品的泛滥，生产者应该将制品及其包装当作一种日常生活器具来设计，使其像餐具和背包一样可以被再三使用。

再使用原则还要求制造商应该尽量延长产品的使用期，而不是非常快地更新换代。

3 循循环经济理念

3R原则——再循环原则 (Recycle)

- 再循环原则要求生产出来的物品在完成其使用功能后能重新变成可以利用的资源，而不是不可恢复的垃圾。其包含两种情况：
 - 原级再循环，即废品被循环用来产生同种类型的新产品；
 - 次级再循环，即将废物资源转化成其他产品的原料；

原级再循环在减少原材料消耗上达到的效率要比次级再循环高得多，是循环经济追求的理想境界。

可持续发展、循环经济与清洁生产

内容

1 可持续发展理论

2 可持续发展评价方法

3 循循环经济理念

4 清洁生产方法

4 清洁生产方法

4.1 清洁生产的内涵

4.2 产品的清洁生产方法

4.3 生产过程清洁化措施

4.4 清洁生产的审核

4.1 清洁生产的内涵

清洁生产的概念提出

- 1989年，联合国环境规划署(UNEP)使用了“清洁生产”这个词语，并将其定义为一种环境战略；
- 1996年，UNEP又对该概念重新进行了定义，把它定义为：关于产品的生产过程和服务的一种新的、创造性的思维方式；
- 在生产方面，要达到几项标准：节约资源能源、拒绝有毒材料、源头控制物料排放及其毒性；
- 在产品方面，要极力避免产品在生产、使用、最终处置过程中造成的一系列危害；在服务方面，整个设计及流通服务过程中必须体现对环境的关注。

4.1 清洁生产的内涵

清洁生产的国内定义

2002年出台的《中华人民共和国清洁生产促进法》第二条对清洁生产作了如下解释：本法所称清洁生产，是指不断采取改进设计、使用清洁的能源和材料、采用先进的工艺技术与设备、改善管理、综合利用等措施，从源头削减污染，提高资源利用效率，减少或者避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放，以减轻或消除对人类健康和环境的危害。



4.1 清洁生产的内涵

清洁生产的目标

①合理使用自然资源和能源

所谓合理使用，即尽量实现资源与能源消耗的减量，同时将产品产出与服务供应尽可能增量。这要求企业要做到以下要求：

- 节约能源，利用可再生能源和清洁能源；
- 开发和推广新能源；
- 实施各种节能技术和措施；
- 节约原材料，使用无毒原材料，做到循环利用原则。

4.1 清洁生产的内涵

清洁生产的目标

➤②实现经济效益最大化

满足人类的需求和追求经济效益是生产活动的根本宗旨，企业需要依靠各种手段获取最大经济利益，所以以下方法是必须的：

- 减少原材料和能源的使用，减少副产物；
- 降低物料和能源的损耗；
- 合理安排生产制度和人才选拔培养制度，完善企业自身管理。

4.1 清洁生产的内涵

清洁生产的目标

③最大限度压制人类对环境的危害

- 企业必须减少有毒有害物料的使用；
- 生产技术工艺中避免废物产出；
- 重视循环利用；
- 合理安排产品功能，延长产品寿命。

4.1 清洁生产的内涵

清洁生产的基本特征

①预防性

- 预防性是整个清洁生产过程中的核心要素，它贯穿整个清洁生产的过程。
- 清洁生产强调源头控制，对生产过程及产品生命周期进行综合预防；
- 达到预防为主、过程控制的理念；
- 实现有效遏制污染源，防止污染发生。

4.1 清洁生产的内涵

清洁生产的基本特征

②综合性

- 综合性改变了过去先污染后治理的末端治理原则；
- 将生产的预防性贯穿渗透到生产过程、产品和服务过程中；
- 防治污染时采取多环节、多样性的措施，采取多角度的问题审视方法；
- 进行科学的规划与设计，分析每个因素，协调所有关系，切实解决问题。

4.1 清洁生产的内涵

清洁生产的基本特征

③持续性

- 持续性体现出清洁生产的动态特征，需要在整个生产过程中持续地深化与改进，这是一个不间断的过程；
- 伴随科技进步和管理理念提升，更加清洁的生产体系不断涌现，它们的出现促进了生产向着对环境及人类更有利的方向发展。

4.1 清洁生产的内涵

清洁生产的重要原则

①全过程控制

清洁生产将着眼点放在产品生产及产品全生命周期上，通过对生产过程中排污环节的审核，分析排污部位、排污原因等因素，相应采取消除或减少的措施，预先防控生产中产生的所有污染物排放。

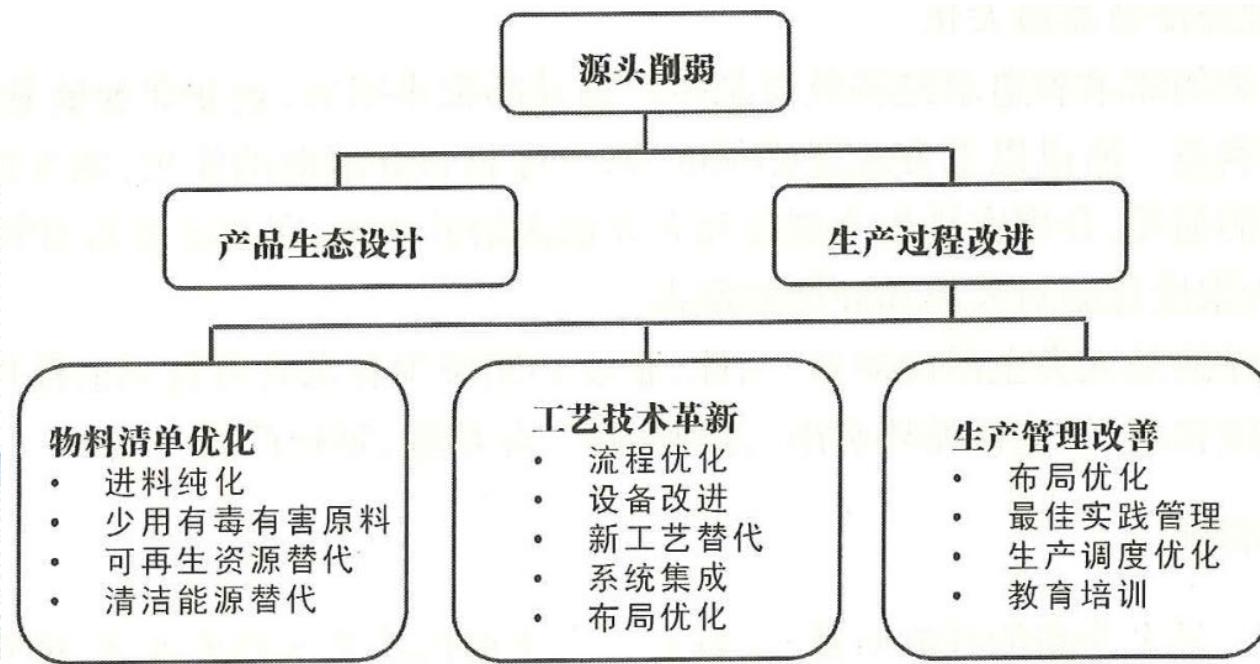
- 一是生产的全过程控制，包括产品开发、规划、设计、建设、生产和运营；
- 二是产品生命周期全过程控制，这里包含原材料加工提炼、产品产出、产品使用、产品的报废和处置等过程。

6.4.1 清洁生产

清洁生产的重要原则

②源头削减

源头削减是清洁生产当中很重要的一项原则，强调直接把生产中可能产生有害废弃物的环节进行改造或净化处理，使污染在源头上得到有力控制，其具体分类见图。



4 清洁生产方法

4.1 清洁生产的内涵

4.2 产品的清洁生产方法

4.3 生产过程清洁化措施

4.4 清洁生产的审核

4.2 产品的清洁生产方法

产品的清洁生产是整个清洁生产体系中最关键的一项，产品设计、原材料的采取与加工、能耗控制、生产过程污染削减、产品循环利用，一切产品生产消费过程中涵盖的环节都要保证对环境的无害性。

当产品投入使用后，它本身可能会继续产生对环境不利的物质能量，或者是造成对资源能源的不良消耗。而当产品废弃，如不加以适当处置，产品本身就是对环境的破坏物。基于这种现实，必须对产品进行全周期的清洁控制。

产品清洁生产包括**设计**的清洁化、原辅**材料**的清洁利用、**能源**的清洁利用。

4.2 产品的清洁生产方法

产品设计的清洁化

产品设计的清洁化的核心是**绿色设计**，它是指在产品的开发设计阶段把环境因素纳入参考因素，综合考虑此产品在生态环境中的地位和污染的防治，将环境保护、人类的健康安全等作为产品设计的出发点和最终目的，力图将环境影响控制到最小。绿色设计大体应当秉承以下原则：

- 材料消耗和能耗的减量化；
- 削减污染，减少对环境的不利影响；
- 危害最小化，产品必须体现健康、安全、无危害；
- 产品寿命的延长和实现产品的循环性。

4.2 产品的清洁生产方法

产品设计的清洁化

优先采用绿色材料

绿色材料即在材料的获取加工及后期应用中能高效率利用资源、减少环境破坏的材料。材料选取时要把握两个要点：

- 一是关注可再生材料和回收材料；
- 二是材料必须具有低污染、低能耗的特点，同时提前进行污染消除。

4.2 产品的清洁生产方法

产品设计的清洁化

- **可回收性设计** 在产品设计初期充分考虑其零件材料的回收可能性、回收价值大小、回收处理方法、回收处理结构工艺性等与回收性有关的一系列问题，达到零件材料资源、能源的最大利用，并对环境污染最小的一种设计思想和方法；
- **可拆卸性设计** 产品在停止使用后能拆解，同时其中各部件可以进行物料回收以及能量回收，并且能转移污染源的设计，可拆卸性是实现废物品循环利用和无害化处理的重要基础。

4.2 产品的清洁生产方法

原辅材料的清洁利用

- **清洁原料的采用** 清洁原料是在生产过程中能有效利用而又能较少产生废物和污染的原材料，可以包括无污染材料、可更新原料、低能量材料、可再生循环材料；
- **原料的减量化** 在不影响产品质量和技术寿命的前提下，尽可能地做到小体积和轻重量，减少原材料的消耗，减轻资源和能源的消费压力和运输过程中能源消费和废物的排放。
- **可再生可循环材料的利用** 一些较易回收和再循环的材料，如纸张、塑料、一些金属材料，它们在材料和材质节能方面具有良好优势，能节约能源降低消耗，降低生产成本。

4.2 产品的清洁生产方法

原辅材料的清洁利用

采用低能耗能源

能源同原材料一样，本身的利用也能对环境产生一定的危害：

- 能源作为能量的供应源，除了为生产活动提供必要的能量外，也可能向环境中排放多余能量，由此会造成一些能量污染，如热污染；
- 能源作为一种物质，本身的使用也可能产生次生污染物危害环境，造成酸雨、烟尘污染、温室效应等；
- 能源开发过程中也会造成一些连带的环境破坏效应。

4.2 产品的清洁生产方法

能源的清洁利用

清洁利用矿物燃料 矿物燃料的环境风险性比较强，因此应当进行清洁化的利用。矿物燃料清洁利用主要包括两种方式：

- 将原有的燃料能源进行**净化**处理，消除其中可能产生污染物质的成分，或通过一些技术控制污染物质的产出，具有代表性的是“洁净煤技术”；
- 将原有的高环境风险的能源转化为危害性小的**二次能源**，如电能、乙醇汽油等，最具代表性的是燃料电池技术。

4.2 产品的清洁生产方法

能源的清洁利用

使用节能技术

- **减少能源使用量，可以从源头上减少由能源导致的环境影响和对生命安全造成的威胁。减少能源使用，节能技术至关重要。**
- **以循环经济理论为指导，以科技创新和管理创新来提高能源利用效率，最大限度利用能源资源，使生态环境最大程度得到保护，达到经济效益最佳。**

4.2 产品的清洁生产方法

能源的清洁利用

利用可再生能源和新能源

- 可再生能源种类繁多，如风能、水能、地热能、太阳能，其分布广泛，可以就地利用，运行成本低；
- 可以减轻对化石能源等一次性能源的依赖，减少因为大量使用非可再生资源导致的资源消耗，有效控制由此带来的一系列污染。
- 新能源是一系列最近兴起的优质能源的集合，它包含一部分可再生能源，此外还加入了许多资源性强、环境破坏性弱的能源。典型的新能源有：核能、氢能、海洋能、太阳能等。
- 利用能源资源，使生态环境最大程度得到保护，达到经济效益最佳。

4 清洁生产方法

4.1 清洁生产的内涵

4.2 产品的清洁生产方法

4.3 生产过程清洁化措施

4.4 清洁生产的审核

4.3 生产过程清洁化措施

原材料、能源的有效替代

- 将原材料替换成无毒无害的材料；
- 改变原料配比或降低其使用量；
- 去除原料中无用途的组分；
- 采用二次资源或废物作原料替代稀缺资源。

4.3 生产过程清洁化措施

改革工艺和设备

- 采用先进的技术和生产工艺，对落后的技术进行改造，淘汰落后工艺；
- 采用最新技术，主动开发新工艺和新设备；
- 简化繁杂的工艺流程，淘汰不合理的工序和设备，减少资源消耗和能耗；
- 优化工艺条件，高效利用资源，提升设备生产能力，减少浪费和损失。

4.3 生产过程清洁化措施

改良和规范运行操作的过程

- 合理安排生产计划，加强物料管理，提高生产效率；
- 改进物料储存方法，消除跑冒滴漏，改进投料方式，消除物料浪费；
- 加强设备的维护管理，提高设备的正常运转和安全性；
- 加强员工培训，定期进行检查考核，杜绝不良操作导致的资源浪费和废物滋生。

4.3 生产过程清洁化措施

生产系统的内部循环

- 从废水、废气中回收多余的能量，加以利用；
- 将流失的原料和产品加以回收，返回主体流程中使用；
- 废水的循环系统。

4 清洁生产方法

4.1 清洁生产的内涵

4.2 产品的清洁生产方法

4.3 生产过程清洁化措施

4.4 清洁生产的审核

4.4 清洁生产的审核

清洁生产审核的概念

清洁生产审核，又被称作清洁生产审计，其流程可以总结为分析、评价、采取措施与选定方案、方案实施。

- 对生产和服务过程进行分析；
- 合评定该过程能耗、资源消耗和污染状况；
- 采取相应的方法减少有毒有害物料并降低能耗、物耗以及废物产生；
- 同时选定技术可行、经济合算、符合环境保护的方案；
- 对清洁生产方案加以实施。

4.4 清洁生产的审核

清洁生产审核的目标

施行清洁生产审核，总目标是判定废物的来源，提出解决方案，减少污染的发生，达成节能、降耗、减污、增效的作用。清洁生产审核必须达成以下几项目标：。

- 核查单元操作、原材料、产品、用水、能源和废物的资料；
- 确定废物的来源、数量以及类型，确定废物削减的目标；
- 判定企业运作效率低的环节和管理不善的地方；
- 确定经济有效的削减废物的策略；
- 提高企业的整体效益，提升产品质量和服务质量。

4.4 清洁生产的审核

清洁生产审核的原则

- 要对企业生产全过程的每个环节、每道工序进行定量的监测和分析，有的放矢地提出对策，制订切实可行的方案；
- 自愿审核与强制性审核应当结合，对企业指导性的要求和自愿性的较多，有关强制性的要求较少；对于那些污染严重，可能对环境造成极大危害的企业，应依法强制实施清洁生产审核；
- 掌握了清洁生产审核的方法和程序，企业可以开展全部或部分清洁生产审核工作；对于不熟悉清洁生产审核方法的，需要企业外部引进指导和帮助。

4.4 清洁生产的审核

清洁生产审核的过程

- (1) 筹划和组织阶段
 - 进行清洁生产审核的组织、宣传发动、前期准备；
 - 组建审核小组，获取整个企业组织的整体配合联动；
 - 编制审核工作计划表，计划表包括各阶段的工作内容、完成时间、责任部门及负责人、考核部门及人员、产出等。
- (2) 预评估阶段
 - 从生产全过程出发，调研和考察企业现状，摸清污染现状和产污重点并确定审核重点，针对审核重点设置清洁生产目标；
 - 目标可考虑：环境管理要求和产业政策要求、企业生产技术水平和设备能力、国内外类似规模的厂家水平、本企业历史最好水平、企业资金状况。

4.4 清洁生产的审核

清洁生产审核的过程

➤(3)评估阶段

本阶段的工作重点是实测废物流的输入输出，建立物料平衡，分析废物产生原因；

- 首先应准备审核重点资料，该步骤需要由生产、环保、管理等部门协力配合；
- 其次应实测输入输出物料以及时间和周期，依标准采集数据，环保计量部门配合，之后建立物料平衡并分析废物产生原因；
- 最终提出和实施无低费方案，交生产部门具体实施。

4.4 清洁生产的审核

清洁生产审核的过程

(4)方案产生和筛选阶段

➤这一阶段需要针对废物产生原因，提出多种方案，对各种方案加以筛选，旨在通过方案的产生、筛选、研制，提供足够的清洁生产方案。方案的产生是其中最关键的环节，必须在审核重点的基础上产生清洁生产的方案。

(5)可行性分析阶段

➤进行方案的技术、环境、经济的可行性分析和比较，从中选择和推荐最佳的可行方案。完成这一任务需要进行四项工作：市场调查、技术评估、环境评估、经济评估。

4.4 清洁生产的审核

清洁生产审核的过程

(6)方案实施阶段

➤这一阶段的任务是实施推荐方案，在实施过程中，要经常汇总方案实施后已经获得的成果，总结评价实施中的方案对企业的利弊，并将其总结为实践经验。

(7)持续清洁生产阶段

➤制定完整的持续清洁生产计划，编写清洁生产审核报告，准备下一轮审核工作。

本章结束

欢迎沟通交流！

- 陈金玉老师 职业安全与卫生管理
- 程森林老师 环境保护与可持续发展
- 谷振宇老师 工程管理
- 陈玲老师 经济决策