

系统科学·核心知识清单（初赛备考精编）

一、系统科学基础概念

1. 系统的定义

由相互作用、相互依赖的若干部分结合而成的具有特定功能的有机整体。

2. 系统的三要素

元素、结构、环境

3. 整体性

整体大于部分之和，整体具有部分没有的性质（涌现）。

4. 层次性

系统内部存在不同等级和嵌套结构，如人体：细胞→组织→器官→系统。

5. 开放系统 VS 孤立系统

- 开放系统：与环境交换物质、能量、信息（如生物体）
- 孤立系统：不与外界交换（如整个宇宙）

6. 动态性及目的性

- 动态：状态随时间变化
- 目的：系统通过反馈趋向目标（如向日葵朝向太阳）

7. 边界

系统与环境的分界面，可以是物理的或是概念的。边界的划分往往会根据不同的问题进行不同划分，自然所讨论的系统——这个对象也会不同。

8. 结构决定功能&多构同功

- 结构影响功能。例如金刚石和石墨，基本单元都是碳原子，但它们的结合方式不同，整个材料的性能有很大的不同。
- 多构同功：不同结构可实现相同功能（如不同交通工具）

9. 还原论 VS 整体论 VS 系统论

- 还原论：将整体拆分为部分研究，认为部分研究清楚了凑在一起就是对整体的了解。
- 整体论：从整体出发，强调整体性
- 系统论：兼顾整体与部分，研究系统各层次之间的关联与互动，将部分的特征功能和整体的特征功能联系起来。

二、“老三论”——系统科学的三大基石

1. 一般系统论（贝塔朗菲）

强调整体性与同型性（不同系统具有相似的结构或行为规律）。核心观点：整体大于部分之和。代表作：《一般系统论》

2. 控制论（维纳）

研究反馈与通信。核心概念：正反馈（放大偏差）、负反馈（维持稳定）、前馈（预测校正）。代表作：《控制论》

3. 信息论（香农）

研究信息的度量、传输和处理。单个事件发生的概率越小，该事件的自信息越大，该事件发生所带来的不确定性减少越大；香农信息熵 $H = -\sum p(i) \log p(i)$ ，即平均自信息；简单地说，信道容量是指信道在单位时间内所能传送的最大信息量，即信道的最大码元速率；互信息主要用来量化两个随机变量之间的相互依赖程度。代表作：《关于通讯的数学理论》

三、“新三论”——自组织理论

1. 耗散结构理论（普利高津）

开放系统通过输入负熵，形成有序结构。条件：开放系统、远离平衡态、非线性相互作用、涨落触发。

2. 协同学（哈肯）

系统从无序到有序的动力学。核心原理：役使原理（慢变量支配快变量）。

3. 突变论（托姆）

系统参数连续变化下系统状态在临界点发生突然跳跃（相变）。常见突变模式（如折迭、尖点、燕尾等）。

4. 熵 & 负熵

- 熵：系统无序程度的度量，孤立系统熵永远不会减少。
- 负熵：从外界引入的能量/信息，用于维持有序。耗散结构理论，以及薛定谔“生命是什么”等中有涉及。

四、复杂适应系统（CAS）与自组织

1. 自组织 VS 他组织

- 自组织：不需要外部指令，自行产生有序结构（如蜂群、蚁群）
 - 他组织：需要外部命令或设计（如工厂流水线，飞机汽车的制造和装配等）
- 有些实际的例子中既有自组织也有他组织，例如老师指导下的分组。

2. 涌现

系统中的各个部分通过相互作用使得系统在宏观层次上产生部分所不具有的特征或功能。例子：如人的意识、群体智慧。

3. 适应性主体

具有学习与演化能力的个体，根据环境调整自身规则。典型例子：企业、生物种群、智能体。

4. 混沌与蝴蝶效应

蝴蝶效应：确定性系统具有非常强的非线性，对初始条件极度敏感，导致长期不可预测。

混沌≠随机。混沌是确定性系统产生的非周期、类随机行为；它不是随机过程，但其输出在统计上可能难以与随机序列区分。

如洛伦兹系统、三体系统等。

五、系统动力学

1. 存量（状态）与流量（Rate）

- 存量：累积量（如人口、资金）
- 流量：变化率（如出生率、增长率、收入）

核心关系：存量对时间的导数 = 流量

2. 反馈回路

系统中信息循环传递的路径。正反馈：加速变化（指数增长或者衰减），如资源无限情况下的生物种群数量的变化。负反馈：趋向稳定（目标追寻），如不倒翁、人体的体温调节。

3. 延迟

信息或作用的滞后，往往导致系统振荡或失控。典型：库存管理、政策滞后。

4. 基模

常见系统行为模式。如增长上限、转移负担、公地悲剧。正反馈和负反馈的耦合会产生非常复杂的演化现象。倒立摆、荡秋千都是典型的正负反馈耦合的系统。

六、复杂网络

1. 小世界网络

特征：平均路径短+聚类系数高。模型：社交网络。

2. 无标度网络

度分布服从幂律分布。典型：互联网、航空网络。少数节点（枢纽）拥有大量连接。对于随机失效整个网络很鲁棒，但对于大度节点的有意识的攻击，网络非常脆弱。

3. 规则网络

每个节点拥有同等数量的连接，结构规整，节点和连边具有同质性。往往具有聚类系数高而平均路径长的特点。

4. 随机网络

节点间连接以一定概率随机生成，度分布近似泊松分布。往往具有聚类系数低而平均路径短的特点。

5. 节点中心性

衡量节点在网络中的重要程度，如：

- 度中心性：节点上边的数量（等同于直接连接的邻居数量）
- 介数中心性：节点（或者边）作为桥梁的频率
- 接近中心性：到所有节点的平均最短距离

七、系统工程

1. 霍尔三维结构

时间维、逻辑维、知识维——系统工程的方法论框架。

2. 系统建模与仿真

用数学模型计算模拟系统行为。类型：白箱（内部已知）、灰箱（部分已知）、黑箱（仅输入输出）。

3. 系统优化与设计

核心思想：整体优化，而非局部最优。经典案例：都江堰、曼哈顿计划。

八、中国传统文化中的系统思想

1. 《易经》

阴阳之道，对立统一动态平衡；五行生克制化，循环演化。

2. 《道德经》

对立转化与反馈；治大国若烹小鲜——减少频繁扰动，保持系统稳定，不同系统的调控具有相似性。

3. 《孙子兵法》

“不战而屈人之兵”，最小代价获得最大收益，整体布局与态势优先；知己知彼，信息获取与系统建模。

4. 中医整体观

人体是系统，系统环境相互影响。

- 天人一体：人体与周围的环境进行广泛物质、能量和信息的交流。系统与环境相互作用。
- 上医治未病：预防性控制。

5. 整体、联系、环境

强调整体功能优化，动态调节。

“牵一发而动全身”——整体关联性。

“不谋全局者，不足谋一域”——整体优先。

九、经典故事与典型案例

1. 田忌赛马

通过改变组合方式，不改变要素本身，实现系统整体功能改变。

2. 都江堰水利工程

鱼嘴、飞沙堰、宝瓶口协同，实现自动分流排沙。两千多年运行，系统工程古代典范。

3. 蜂群建巢

个体遵循简单规则，自组织形成复杂结构。

4. 蝴蝶效应

初始条件的微弱差异，可能引发系统状态的巨大差异。君子慎始，差若毫厘，谬以千里。

5. 公地悲剧

个体理性导致集体非理性，可以通过整体优化避免。

6. 浮萍指数增长

每天翻倍，第 49 天覆盖一半，第 50 天全覆盖。体现：正反馈、非线性。

7. 米格-25 效应

单元能力不突出，但组合后整体能力很强。三个臭皮匠顶个诸葛亮。

8. 啤酒游戏

供应链系统的牛鞭效应，局部理性导致系统动荡。

十、关键人物速记表

人物及核心贡献

贝塔朗菲 一般系统论

维纳 控制论

香农 信息论、信息熵

普利高津 耗散结构理论

哈肯 协同学

托姆 突变论

霍尔 系统工程，霍尔三维结构

约翰·霍兰德 遗传算法、自适应系统 CAS

冯诺依曼 元胞自动机、博弈论、计算机架构

十一、常见易考点速记

1. 正反馈 / 负反馈

正反馈：放大偏差（病毒传染、人口增长）。负反馈：维持稳定（恒温器、血糖调节）。

2. 自组织 VS 他组织

自组织：无外部指令，自行有序。他组织：需要外部设计指令。

3. 开放系统 VS 孤立系统

开放系统：与环境有交换；孤立系统：与环境没有任何交换。

4. 还原论 VS 整体论 VS 系统论

还原论：拆分研究；整体论：只看整体；系统论：兼顾整体与部分，研究关系。

5. 整体性/涌现

$1+1 \neq 2$ ，系统中的各个部分通过相互作用使得系统在宏观层次上产生部分所不具有的特征或功能。

。