



煤炭工程与技术

专题3：煤炭开采与洗选

2023年春季学期

吴微

(E-mail: weiwu_ep@xmu.edu.cn)

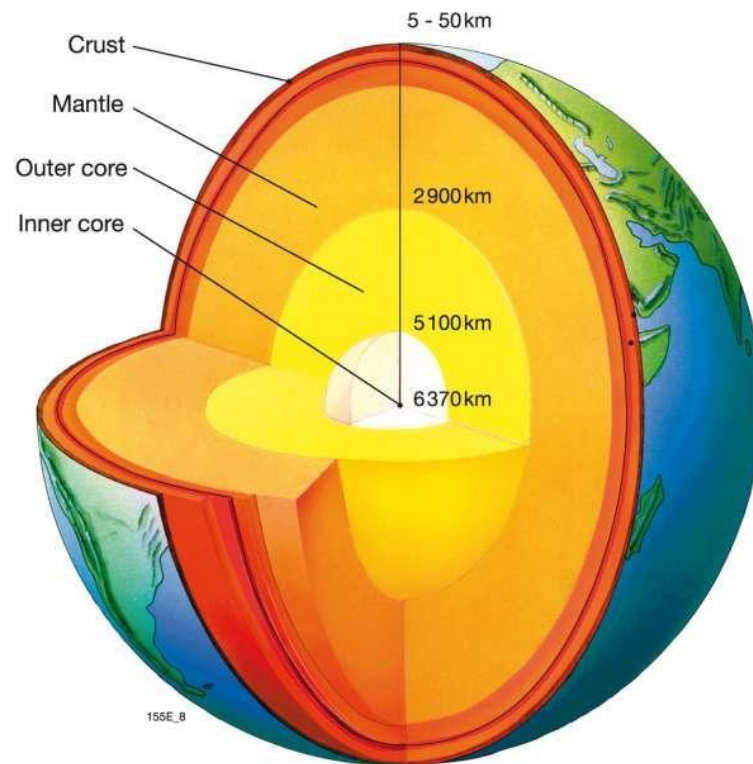
厦门大学管理学院中国能源政策研究院



地质基础知识

□ 地壳的组成

- 地球是一个巨大的椭球体，其赤道半径为6378.2km，极半径为6356.8km。地球的最外层是坚固的外壳，称为地壳，平均厚度约为17km。地壳主要由岩石组成，组成岩石的是矿物，而矿物则是由各种化学元素所组成。因此，在地壳中蕴藏着非常丰富的矿产资源。





□ 地壳的组成

- 地壳中的岩石绝大部分为岩浆岩，沉积岩只占地壳总重量的5%，但沉积岩却覆盖着地球表面积的75%，是最常见的一类岩石。但如果从地球表面到16公里深的整个岩石圈算，沉积岩只占 5%。
- 沉积岩是三种组成地球岩石圈的主要岩石之一（另外两种是岩浆岩和变质岩）。是在地壳发展演化过程中，在地表或接近地表的常温常压条件下，任何先成岩遭受风化剥蚀作用的破坏产物，以及生物作用与火山作用的产物在原地或经过外力的搬运所形成的沉积层，又经成岩作用而成的岩石。沉积岩主要包括石灰岩、砂岩、页岩等。沉积岩中所含有的矿产，占全部世界矿产蕴藏量的80%。
- 绝大多数的煤炭资源都埋藏在沉积岩中。



□ 煤系地层和煤层赋存状态

- 煤系：煤系是在一定历史时期形成的具有成因联系的大致连续沉积的一套含煤岩系。
- 煤层：煤层是由植物体大量堆积，经成煤作用形成的层状固体可燃矿产。
- 煤层的形态：煤层赋存的几何形态。其按成层的连续程度可分为层状煤层、连续状煤层和非层状煤层三类。
- 煤层厚度：煤层厚度是指煤层顶底板之间的垂直距离，也称为煤层真厚度。煤层厚度是影响煤矿开采的主要地质因素，煤层厚度不同，采煤方法亦不同
 - 薄煤层 厚度小于1.3m
 - 中厚煤层 厚度为1.3 ~ 3.5m
 - 厚煤层 厚度大于3.5m.
- 煤层顶板和底板。
 - 顶板：赋存在煤层之上的临近岩层
 - 底板：赋存在煤层之下的临近岩层

□ 煤系地层和煤层赋存状态

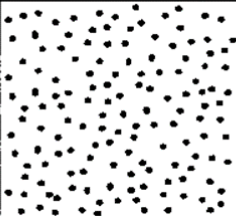


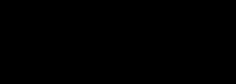
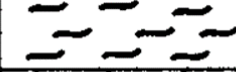

| 名 称 | 柱状图 | 岩性及其特征 |
|-----|---|-----------------------|
| 老 顶 |  | 砂岩（或石灰岩） 坚硬、韧性、垮落慢 |
| 直接顶 |  | 粉沙岩或页岩等 不坚硬、脆、易垮落 |
| 伪 顶 |  | 薄而脆，极易垮落 |
| 煤 层 |  | |
| 直接底 |  | 粘土页岩，松软、胀 |
| 老 底 |  | 灰岩或砂岩，较坚硬 |

图 1—1 煤层顶、底板示意图



煤矿生产系统



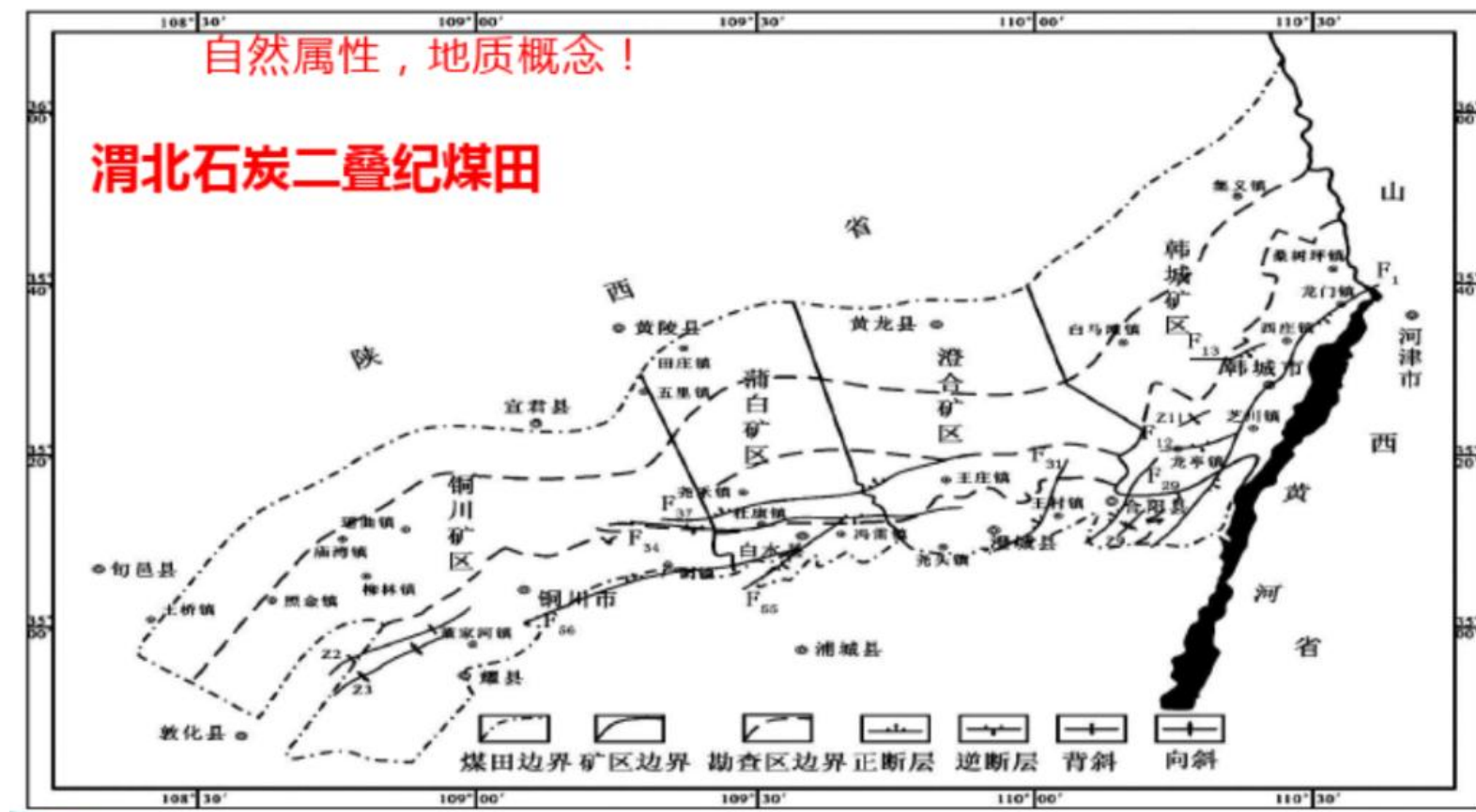
□ 煤田与矿区

- 煤田：在地质历史发展过程中，同一地质时期形成并大致连续发育的含煤岩系分布区称为煤田。煤田中的煤层数目、层间距和赋存特征各不相同。我国多数煤矿开采的是多煤层煤田。
- 矿区：统一规划和开发的煤田或其一部分则称为矿区。矿区是煤炭等矿产开采和加工需要的区域，其中包括运输、洗选、选煤和尾矿等石油脂的处理和处置。矿区通常是具有一定规模的工业园区，以矿山企业为主，聚集了相关企业和配套服务单位，形成了完整的产业链

| 煤田构成分类 | 实 例 |
|--------|----------------------|
| 单一煤田矿区 | 平顶山矿区、抚顺矿区、徐州矿区等 |
| 两个煤田矿区 | 北票等矿区 |
| 多个煤田矿区 | 六盘水矿区等 |
| 部分煤田矿区 | 神东矿区、松藻矿区、铜川矿区、韩城矿区等 |

□ 煤田与矿区

- 煤田是一种地质概念，具有自然属性
- 矿区将相邻的几个矿井划归一个行政区管理，具有社会属性





□ 矿区建设规模

- 矿区均衡生产的规模，应与矿区的均衡生产服务年限相适应。

| 矿区规模划分 | 设计生产能力 (Mt/a) |
|--------|----------------|
| 亿吨级矿区 | 神华集团、中煤集团、同煤集团 |
| 特大型矿区 | 10~30 |
| 大型矿区 | 5~10 |
| 中型矿区 | 3~5 |
| 小型矿区 | ≤3 |

| 矿区建设规模和生产服务年限对照表 | | | | | | |
|------------------|-----|-------|------|-----|-----|-----|
| 矿区建设规模 (Mt/a) | >15 | 10~15 | 8~10 | 5~8 | 3~5 | 1~3 |
| 均衡生产服务年限/a | 90 | 80 | 70 | 70 | 60 | 50 |

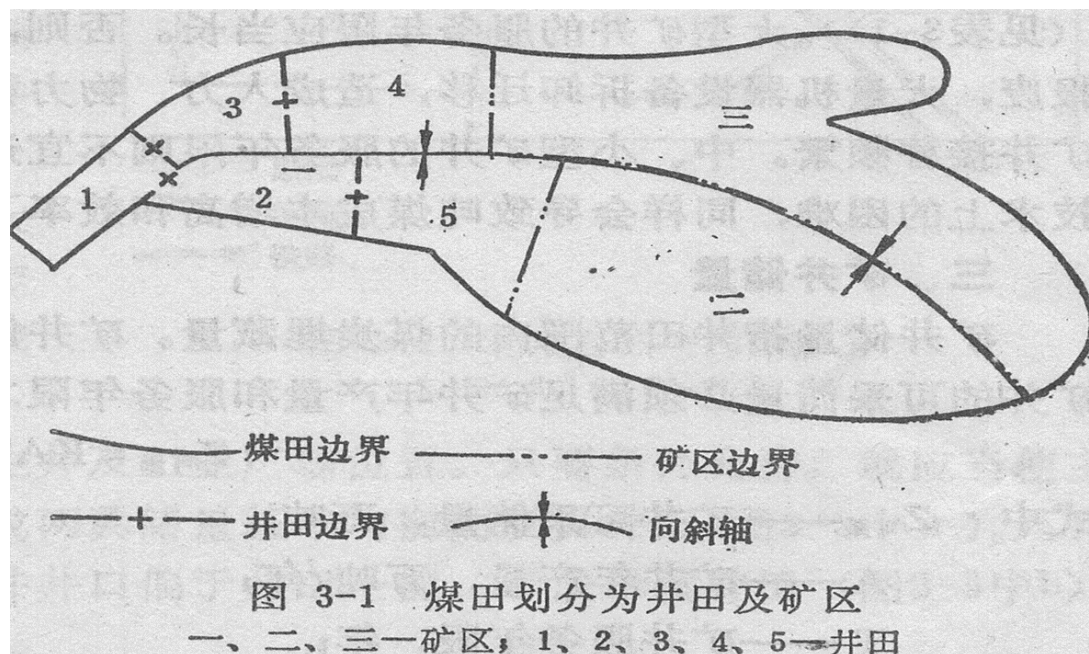


□ 地下开采和露天开采

- 地下开采：通过由地面向地下开掘井巷采出煤炭的方法称为地下开采，又称为井工开采。
- 露天开采：直接从地表揭露并采出煤炭的方法称为露天开采。
- 与露天开采相比，地下开采要复杂和困难。当煤层厚度达到一定值，直接出露地表，或其覆盖层较薄、开采煤层与覆盖层采剥量之比在经济上有利时，就可以考虑采用露天开采。

□ 井田与矿井

- 井田：划归一个矿井开采的那部分煤田。
- 矿区下面会设一个或几个坑口，而每一个坑口都是一个独立的开采系统，独立的生产单位。井田即按这种所属关系来进行划分，即划归一个坑口开采的矿体，叫井田。





□ 井田与矿井

- 矿井：形成地下煤矿生产系统的井巷、硐室、装备、地面建筑和构筑物的总称。
- 矿井设计生产能力：设计中规定的矿井在单位时间内采出的煤炭数量，以“Mt/a”表示。矿井设计生产能力大小直接关系到基建规模和投资多少，影响到矿井整个生产期间的技术经济面貌，确定井型和矿井生产能力是矿区总体设计的一个重要内容。

| 矿井井型的划分 | 设计生产能力 (Mt/a) |
|---------|---------------------|
| 特大型矿井 | 3.0、4.0、5.0、6.0 及以上 |
| 大型矿井 | 1.2、1.5、1.8、2.4 |
| 中型矿井 | 0.45、0.6、0.9 |
| 小型矿井 | 0.3 及以下 |



□ 井田

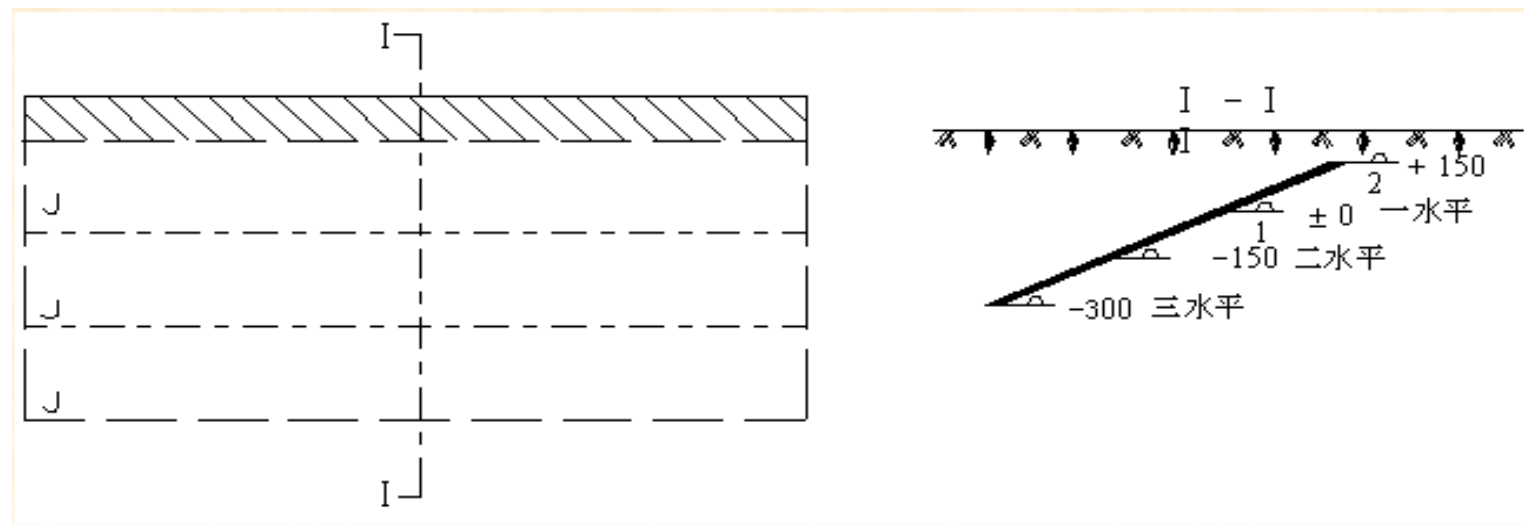
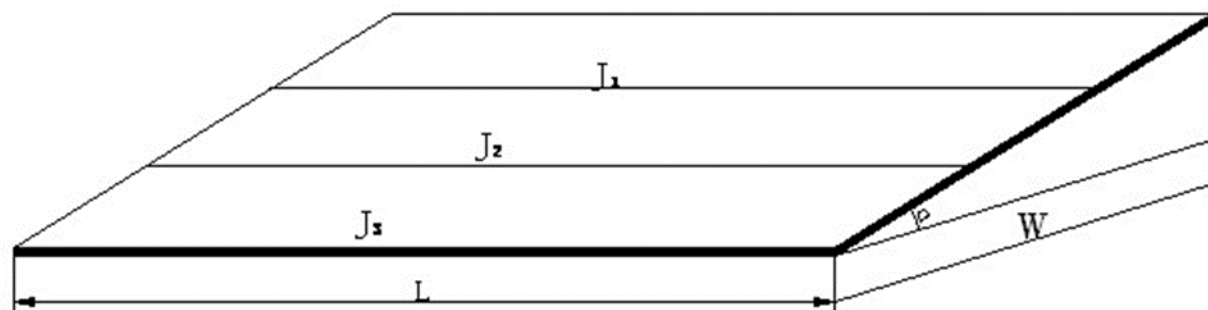
- 井田尺寸由井田走向长度、倾斜长度和面积来反映。
- 井田走向长度是表征矿井开采范围的重要参数，要与一定时间内的开采技术及装备水平相适应，根据目前开采技术水平，大型矿井井田的走向长度不少于8km，中型矿井不少于4km。
- 井田的倾斜宽度是井田沿煤层倾斜方向的水平投影宽度。
- 井田的面积与矿井的井型有关。



□ 井田的阶段和水平

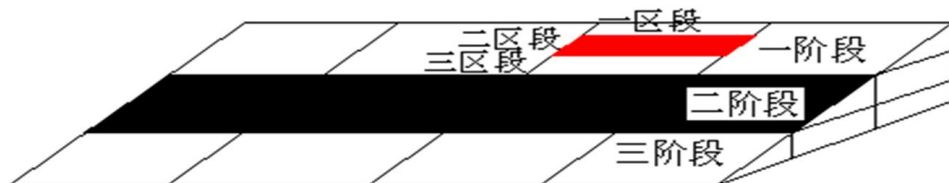
- 阶段：在井田范围内平行走向按一定标高划分的一部分井田。每个阶段都必须有独立的运输和通风系统。
- 开采水平：通常指布置有井底车场和阶段运输大巷、并且承担全阶段运输任务的水平，有时简称为“水平”。水平用标高来表示。
 - 阶段表示井田范围的一部分
 - 水平是指布置大巷的某一标高的水平面
 - 广义的水平不仅表示一个水平面，同时也是指一个范围，即包括所服务的相应

井田



□ 采区

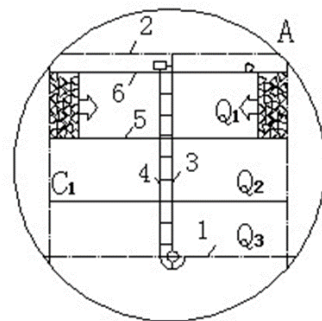
- 采区：在阶段内沿走向把阶段划分为若干个具有独立生产系统的开采块段，每一开采块段称为一个采区。
- 区段：是采区内沿倾斜方向划分的开采块段。



| | | | |
|-----|--|-----|--|
| 一阶段 | | 一区段 | |
| | | 二区段 | |
| | | 三区段 | |
| 二阶段 | | | |
| 三阶段 | | | |

A

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|---|----------------|----------------|----------------|
| J ₁ | C ₅ | C ₃ | Q ₁ Q ₂ C ₁ Q ₃ | C ₂ | C ₄ | C ₆ |
| J ₂ | | | | | | |
| J ₃ | | | | | | |



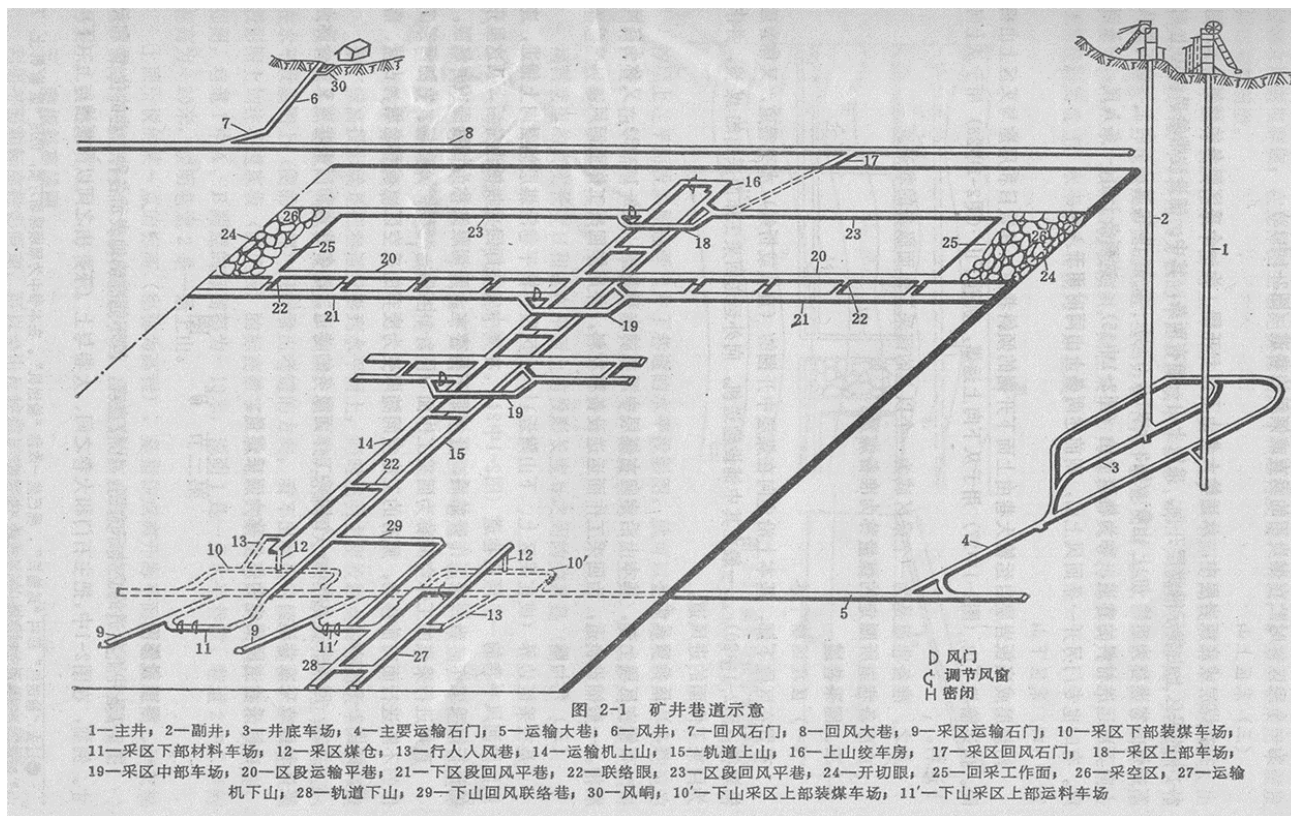


□ 采区

- 大巷：地下采矿时，为采矿提升、运输、通风、排水、动力供应等而掘进的通道。
- 在我国新建的一批高产高效矿井中，一般布置三条大巷，一条运煤，一条辅助，第三条用于回风，大巷两侧不再划分采区、盘区或带区，而是直接布置工作面。

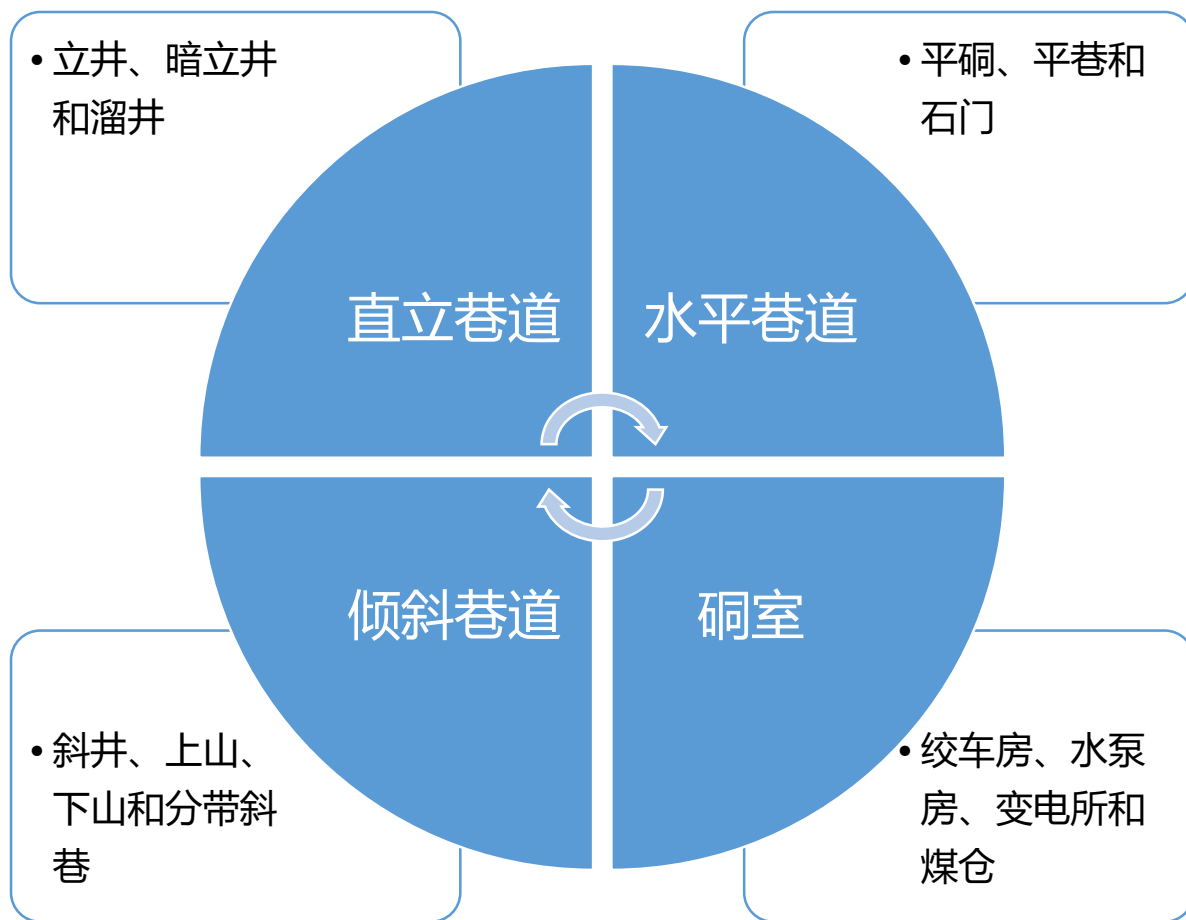
□ 矿井生产系统

- 矿井生产系统：由完成特定功能的设施、设备、构筑物、线路和井巷的总称，由矿井的运煤、通风、运料、排矸、排水、动力供应、通讯、监测等子系统组成。





□ 矿井井巷





□ 直立巷道

- 直立巷道的长轴线与水平面垂直，如立井、暗立井和溜井。
- 立井：地层中开凿的直通地面的直立巷道，又称竖井（按功能分为主立井、副立井、风井、排水井、充填井等）。
- 暗立井：不与地面直通的直立巷道，其用途同立井。
- 溜井：是一种专门用来由高到低溜放煤炭的暗立井。其中高度不大、直径较小的溜井成为溜煤眼



□ 水平巷道

- 水平巷道的长轴线与水平面近似平行，如平硐、平巷和石门等。
- 平硐：是地层中开凿的直通地面的水平巷道，作用类似于立井，有主平硐、副平硐、排水平硐和通风平硐等。
- 平巷：是地层中开凿的、不直通地面、其长轴方向与煤层走向大致平行的水平巷道。常见平巷有运输大巷、回风大巷、区段平巷、石门等
- 石门：石门不是真正意义的门，是岩层中开凿的、不直通地面、与煤层走向垂直或斜交的岩石平巷。有运输石门、进风石门、回风石门、阶段石门、采区石门等。



□ 倾斜巷道

- 倾斜巷道的长轴线与水平面与水平面有一定夹角，如斜井、上山、下山和分带斜巷等。
- 斜井：是地层中开凿的直通地面的倾斜巷道，作用类似于立井，分主斜井和副斜井。
- 上山：位于开采水平以上，为本水平或采区服务的倾斜巷道。
- 下山：位于开采水平以下，为本水平或采区服务的倾斜巷道。
- 按所在岩层层位分为煤层上下山和岩石上下山；
- 按用途和作用分为轨道上下山和通风行人上下山。



□ 硐室

- 硐室：有专门用途、在井下开凿和建造的断面较大且长度较短的空间构筑物，如绞车房、水泵房、变电所和煤仓等。



□ 开拓巷道

- 按其作用和服务范围不同，可将矿井井巷分为开拓巷道，准备巷道和回采巷道。
- 开拓巷道：为井田开拓而开掘的基本巷道，是为全矿井、一个开采水平或若干采区服务的巷道，服务年限较长，如主副井、主运输石门、阶段运输大巷、阶段回风大巷、风井等。
- 开拓巷道的作用在于形成新的或扩展原有的阶段或开采水平，为构成矿井完整的生产系统奠定基础。



□ 准备巷道

- 准备巷道：为准备采区、盘区或带区而掘进的基本巷道。准备巷道是在采区、盘区或带区范围内，从已开掘好的开拓巷道起，到达区段或分带斜巷的通路，这些通路在一定时期内为全采区、盘区或带区服务，或为数个区段或分带服务，如采区上下山、采区或带区车场、变电所、煤仓等。
- 准备巷道的作用在于准备新的采区、盘区或带区，以便构成采区、盘区或带区生产系统。

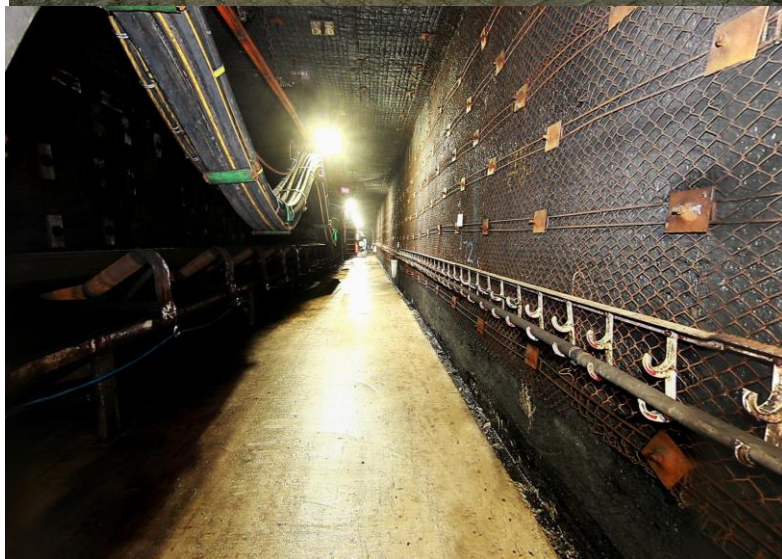


□ 回采巷道

- 回采巷道：是形成采煤工作面及其服务的巷道，如区段运输平巷(顺槽)、区段回风平巷(顺槽)和开切眼。
- 回采巷道的作用在于切割出新的采煤工作面，并进行生产。



□ 巷道







□ 生产系统

运煤系统

回采巷道

准备巷道

开拓巷道

地面

通风系统

新风:

地面

开拓巷道

准备巷道

回采巷道

乏风:

地面

开拓巷道

准备巷道

回采巷道



□ 开采顺序

- 井田划分后，采区、盘区、或带区间需要按照一定的顺序开采，煤层间、阶段间和区段间也需要按照一定的顺序开采。
- 确定开采顺序应当考虑井巷的初期工程量，井巷的掘进及维护工程量，开采水平、阶段、采区、盘区、或带区及采煤工作面的正常接替，开采影响关系，采掘干扰程度和灾害防治。
- 沿井田走向方向，井田内采区、盘区或带区间开采顺序分前进式和后退式两种。
- 前进式：自井筒或主平硐附近向井田边界方向依次开采。
- 后退式：自井田边界方向向井筒或主平硐方向依次开采。



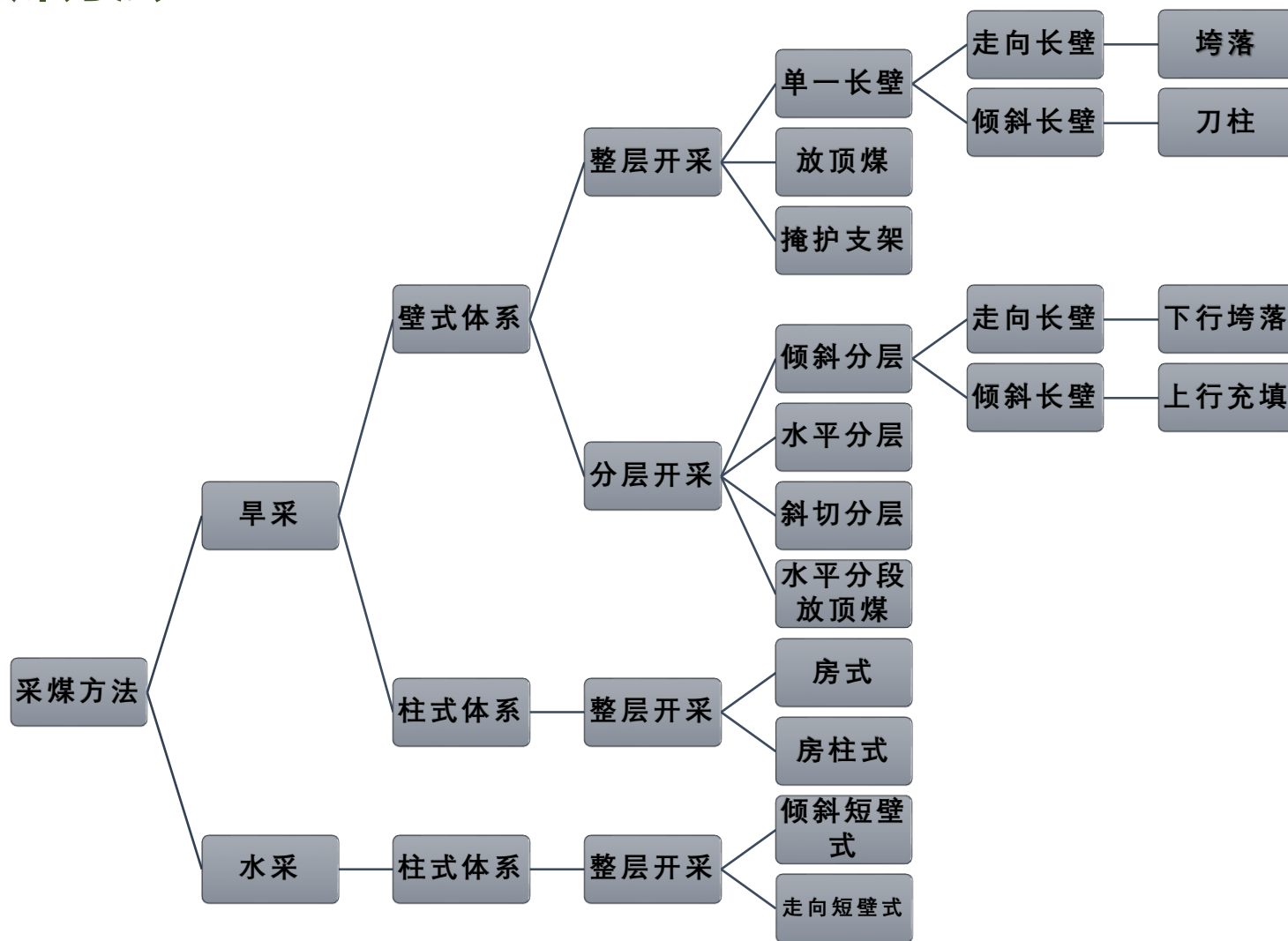
□ 开采顺序

| 采区、盘区或带区间开采顺序比较 | | |
|-----------------|--|--|
| 开采顺序 | 优点 | 缺点 |
| 前进式 | 矿井建设初期工程量和初期投资少，使矿井尽快投产。 | 1、采掘相互影响； 2、大巷在一侧或两侧采空的状态下维护相对困难，维护费较高； 3、后续采区通风时，新鲜风流通过已采侧大巷时风量有一定泄露。 |
| 后退式 | 1、避免了采掘干扰； 2、便于运输大巷和总回风巷的维护，维护费用相对前进式少； 3、大巷漏风相对较少； 4、便于回收大巷煤柱。 | 矿井建设初期工程量和初期投资多，矿井投产时间相对较长。 |



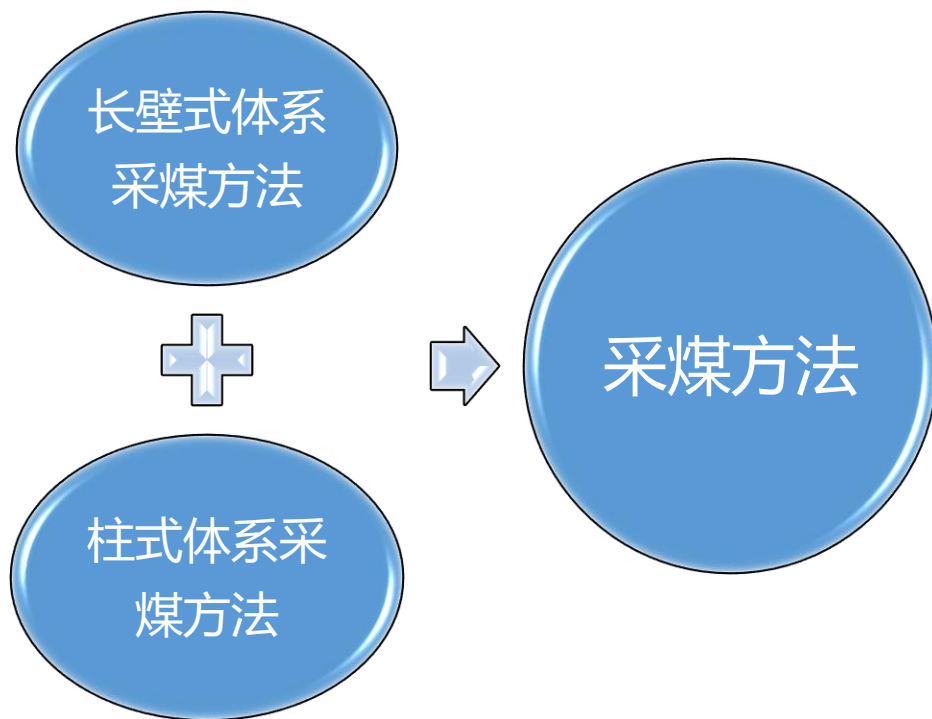
采煤方法

□ 采煤方法



□ 采煤方法

- 采煤方法：采煤工艺与回采巷道布置及其在时间、空间上的相互配合
- 按照采煤工艺和矿压控制特点，可以将采煤方法分为壁式和柱式两大体系。





□ 长壁式体系采煤法

- 主要标志：工作面的开采长度。一般把长度在50m以上的采煤工作面称为长壁工作面。
- 壁式体系采煤方法的一般特点：
 - 采煤工作面较长，通常在80-400m；
 - 随着采煤工作面推进，顶板暴露面积增大，矿山压力显现比较强烈；
 - 采煤工作面两端，一般至少各有一条回采巷道与之相连，以形成生产系统；
 - 采煤工作面可分别用爆破、滚筒式采煤机或刨煤机破煤、装煤，用支架支护工作空间，用垮落法或充填法处理采空区。



□ 壁式采煤法



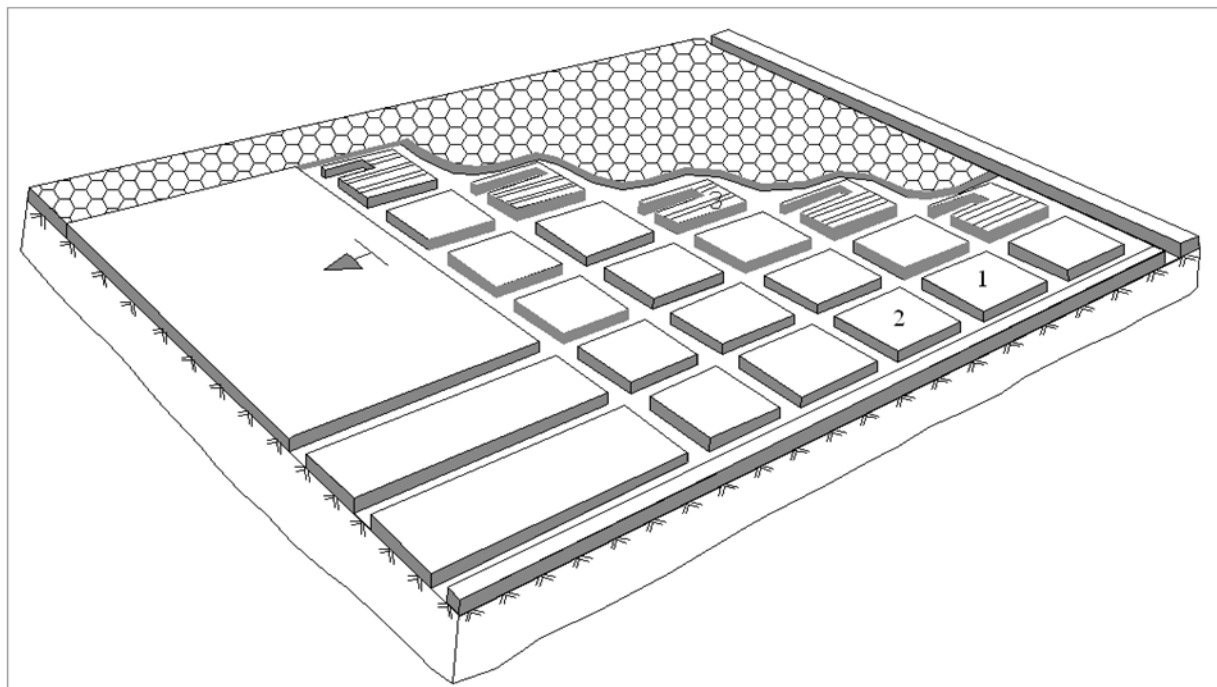


□ 柱式体系采煤方法

- 主要标志：间隔开掘煤房采煤和留设煤柱。
- 一般特点：
 - 在煤层内布置一系列宽5~7m的煤房，采煤房时形成窄工作面，一般成组向前推进。煤房之间留设煤柱，煤柱宽数米至20~30m不等，每隔一定距离用联络巷贯通，构成生产系统，并形成条状或块状煤柱，用于支撑顶板；
 - 采煤房时矿山压力显现较缓和，可以用锚杆支护工作空间，支护简单。
 - 高度机械化的柱式体系采煤法目前多用连续采煤机及配套设备，且在一组煤房内交替作业；
 - 采掘合一，掘进准备也是采煤过程，回收煤房间煤柱时，也使用同一种类型的采煤配套设备。

□ 柱式体系采煤方法

- 高度机械化的柱式体系采煤方法，一般只分为房式和房柱式两种。
- 房式采煤法：房间煤柱作为永久煤柱支撑顶板，不回收。
- 房柱式采煤法：房间煤柱作为暂时支撑，在煤房开采结束后进行回收



□ 采煤工艺流程



煤炭采掘



提升运输



排矸贮存



多余矸石



提升运输



矸石山



煤炭洗选



□ 煤炭洗选

- 从矿井中直接开采出来的煤炭叫原煤，原煤在开采过程中混入了许多杂质，而且煤炭的品质也不同，内在灰分小和内在灰分大的煤混杂在一起。洗煤就是将原煤中的杂质剔除，或将优质煤和劣质煤炭进行分门别类的一种工业工艺。洗煤是煤炭深加工的一个不可缺少的工序
- 煤炭洗选是利用煤和杂质(矸石)的物理、化学性质差异，通过物理、化学等分选方法使煤和杂质有效分离，并加工成质量均匀、用途不同的煤炭产品的加工技术。
- 部分煤矿配套坑口洗选厂。



□ 煤炭洗选

■ 洗选的目的：

- 提高煤炭质量，减少燃煤污染物排放
- 提高煤炭利用效率，节约能源
- 优化产品结构，提高产品竞争能力
- 减少运力浪费

- ### ■ 主要流程：
- 1、原煤准备：包括原煤接受、储存、破碎和筛分。2、原煤的分选：主要包括跳汰-浮选联合流程；重介-浮选联合流程；跳汰-重介-浮选联合流程等。3、产品脱水：包括浮选精煤脱水，煤泥脱水等。4、产品干燥：严寒地区，利用热能对煤进行干燥。5、煤泥水处理：浮选、浓缩、压滤等。
- ### ■ 产品为精煤、中煤、矸石、煤泥等。



□ 煤炭洗选

- 选煤方法种类很多，可概括分为两大类：干法选煤和湿法选煤。
 - 干法选煤：选煤过程在空气中进行的作业。
 - 湿法选煤：选煤过程在水、重液或悬浮液中进行的作业。
- 选煤方法还可以根据物料性质分为重力选煤、浮游选煤、特殊选煤等
 - 重力选煤主要是依据煤和矸石的密度差别而实现煤与矸石分选的方法。煤的密度通常在 $1.2 \sim 1.8 \text{g/cm}^3$ 之间，而矸石的密度在 1.8g/cm^3 以上，在选煤机内借助重力把不同密度的煤和矸石分开。重力选煤又可分为跳汰选、重介质选、溜槽选、斜槽选和摇床选等
 - 浮游选煤简称浮选，主要是依据煤和矸石表面润湿性的差别，分选细粒（小于 0.5mm ）煤的选煤方法。
 - 特殊选煤主要是利用煤与矸石的导电率、导磁率、摩擦系数、射线穿透能力等的不同，把煤和矸石分开。它包括静电选、磁选、摩擦选、放射性同位选和X射线选等。



□ 煤炭洗选

- 选煤的主要产品是精煤，副产品有中煤、混煤、煤泥等。选后的矸石和尾煤为废弃物，由于它含有一些夹矸煤等可燃物，也可以作制砖、烧水泥的原料，进行综合利用。



□ 原煤入选率

- 截至 2020 年末，我国原煤入选率为74.1%。2021 年末，中国煤炭工业协会发布《煤炭工业“十四五”安全高效煤矿建设指导意见》，提出 2025 年原煤入选率达到 95%以上。

