

1 绪 论

1.1 冶金工程基础知识

金属通常都有较高的强度和优良的导电性、导热性、延展性，部分金属还具有放射性。除汞外，金属在常温下都是以固体状态存在的。在目前已知的 109 种元素中，金属元素有 72 种，非金属元素有 22 种。在金属元素中，黑色金属元素有 3 种，有色金属元素有 69 种。对于金属元素，根据其性质、用途、产量及其冶炼方法的特点，各国有不同的分类方法，有的分为铁金属和非铁金属两大类：铁金属系指铁和铁基合金，其中包括生铁、铁合金和钢，非铁金属则指铁及铁合金以外的金属元素；有的分为黑色金属和有色金属两大类，即铁、铬、锰为黑色金属，铁、铬、锰以外的金属为有色金属。可见，我们通常所指的黑色金属即铁金属，有色金属即非铁金属。

冶金工业是整个原材料工业体系中的重要组成部分，它与能源工业和交通运输业一样，是构成国民经济的基础工业部门。

人们常将用矿石或精矿生产金属的工业部门称为冶金工业。矿石和精矿是由各种有用矿物组成的，矿石或精矿通过冶炼加工成多种金属材料，运用于人们生产、生活的各个领域，从而构成了冶金工业的有机联系。所以，国民经济各部门所使用的黑色金属、有色金属都是冶金工业的产品。只有冶金工业产品的不断增长，才有了工业、农业、交通运输业，乃至当代崛起的第三产业的迅速发展。

从人类的日常生活用品到高精尖的科技领域的新型材料的应用，都离不开冶金工业的进步和发展。人类使用的金属中，铁和钢要占 90% 以上。

随着科学技术的迅猛发展，工业不断地朝原子能、高速、高温、高压及自动化和遥控方向发展，钢铁材料的质量、品种和性能都远远不能达到现代科技要求的水平，这就需要各种有色金属作为它的添加剂而形成各种合金钢。例如加入铬、镍、钨，钛、钒等成分后，可以使钢材具备某些特殊性能。钢铁工业的迅速发展和壮大，对于推动汽车、造船、机械、电器等工业的发展和经济腾飞，都发挥了至关重要的作用。

20 世纪 90 年代中期，在改革开放政策的推动下，我国钢铁材料工业进入了持续、快速的发展阶段，取得了举世瞩目的辉煌成就，其主要的标志就是：1995 年我国生铁产量超过 1 亿 t。1996 年我国钢产量首次突破 1 亿 t，2003 年我国钢产量首次突破 2 亿 t，并连续 9 年一直位居世界产钢国的第一位。我国是全球第一个年产钢量突破 2 亿 t 的国家，在世界钢铁工业发展史上，具有里程碑的重大意义。

1.1.1 冶金和冶金方法

冶金是一门研究如何经济地从矿石或精矿和其他原料中提取金属，并经过加工处理，使之适于人类应用的科学。

广义的冶金包括矿石的开采、选矿、冶炼和金属加工。由于科学技术的进步和工业的发展，采矿、选矿和金属加工已各自形成一门独立的学科。因而目前的冶金是指矿石或精矿的冶

炼。

由于冶金过程主要是采用化学的方法完成的，因而常称为化学冶金；同样，冶金是从原料中提取金属，也常称之为提取冶金。

冶金和其他学科领域一样，涉及的范围很广，它与化学、物理化学、热工、化工、仪表、机械、计算机等学科有极其密切的关系。由于原料性质的不同和金属性质的差异，冶金方法是多种多样的。根据冶炼方法的不同，大致可分为以下三种。

(1) 火法冶金

在高温条件下，使矿石或精矿中的有用矿物部分或全部在高温下进行一系列的物理化学反应，达到提取、提纯金属与脉石和其他杂质分离的目的。高温的获得，可以外加燃料，个别的也可以利用自身的反应生成热量。比如，硫化矿的氧化焙烧可产生大量的热，不需要外部加入燃料。目前，金属冶炼仍以火法冶金占主导地位。

(2) 湿法冶金

常温（或低于 100°C ）常压或高温（ $100\sim 300^{\circ}\text{C}$ ）高压下，用溶剂来处理矿石和精矿，并在低温溶液中进行一系列的物理化学反应，达到提取、提纯金属与脉石和其他杂质分离的目的。由于绝大部分溶剂为水溶液，故也称水法冶金。该方法主要包括浸出、分离、富集和提取等工序。湿法冶金的设备和操作都比较简单，是很有发展前途的冶金方法。

(3) 电冶金

它是利用电能来提取、提纯金属的方法，可分为电热冶金和电化学冶金。

电热冶金与火法冶金类似，其不同的地方是电热冶金的热能由电能转换而成，火法冶金则以燃料燃烧产生高温热源。但两者的物理化学反应过程是差不多的。

电化学冶金是利用电化学反应，使金属从含金属盐类的溶液或熔体中析出。如果是低温水溶液，在电化学作用下，使金属从含金属盐类的水溶液析出（如铅电解精炼和锌电积），这种过程称为水溶液电化学冶金。此法亦可列入湿法冶金之中。如果是在高温电化学反应下，金属是从含盐类熔体中析出的（如铝电解）为熔盐电化学冶金，它不仅利用电能的化学效应，而且也利用电能转变为热能加热金属盐类成为熔体。因此，熔盐电解也可列入火法冶金中。

冶金方法的选择和应用，有时可能是单一的，有时可能是既有火法又有湿法的联合应用过程。采用哪种方法提取金属，按怎样的顺序进行，很大程度上取决于金属及其化合物的性质、所用的原料以及要求的产品。冶金方法基本上是火法和湿法。钢铁冶金主要用火法，而有色金属冶金则是火法和湿法兼用。

冶金方法的采用，正面临着节省能源、保护环境以及综合利用等紧迫问题。在一定程度上，它支配着冶炼厂的设计、建厂、生产和冶金技术的发展。凡是有助于解决这三大课题的技术和方法，都受到普遍的重视，并得到迅速的发展。如重金属无污染提取冶金，世界上各先进工业国对重金属硫化矿的火法无污染的直接熔炼，湿法无污染的直接浸出以及其后的全湿法冶金过程等，做了大量的研究工作，并进行了工业性或半工业性的生产实验。

此外，除了上述三大课题以外，冶金过程的机械化、自动化，也是不可忽视的重要方面。

1.1.2 冶金工艺流程和冶金过程

1.1.2.1 冶金工艺流程

冶炼黑色金属的矿石，成分一般比较单一，通常采用火法冶金的方法进行处理，即使有的矿石成分较为复杂，通过火法冶金之后，也能促使其伴生的有价金属进入渣中，再进行处理，

如高炉冶炼钒钛磁铁矿就属于这种类型。

冶炼有色金属的矿石，由于其矿物成分极其复杂，含有多种金属矿物，不仅要提取或提纯某种金属，还要考虑综合回收各种有价金属，以充分利用资源和降低生产费用。因此，考虑冶金方法时，要用两种或两种以上的方法才能完成冶炼。

由矿石或精矿提取和提纯金属不是一步可以完成的，需要分为若干个阶段才能实现，但各个阶段的冶炼方法和使用的设备都不尽相同。把各个阶段系统地连接起来，就构成了某一种金属的冶炼工艺流程。如果把工艺流程用示意图的方法表示出来，就叫做工艺流程图。

钢铁冶金生产的工艺流程如图 1-1 所示。

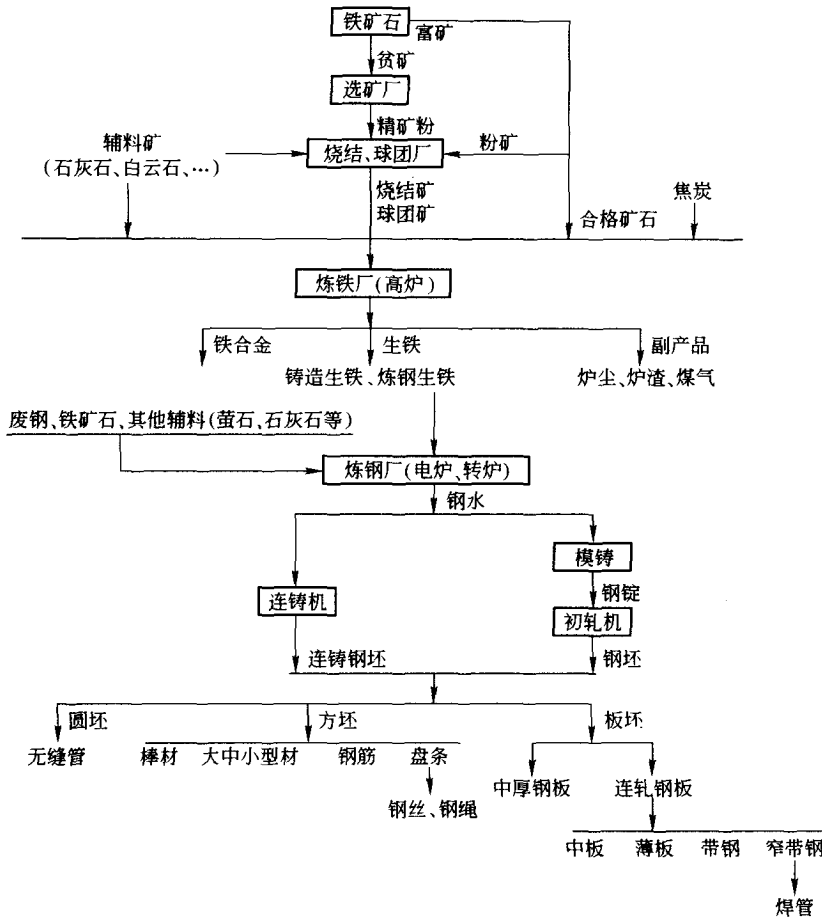


图 1-1 钢铁冶金生产流程简图

1.1.2.2 冶金过程

从钢铁冶金的工艺流程图可知，一种金属的冶炼工艺流程包括几个冶炼阶段，而每一个冶炼阶段可能是火法、湿法或电化学冶金的方法。所以，通常把每一个冶炼阶段称为冶金过程。如高炉炼铁是一火法冶金过程，锌焙砂浸出是湿法冶金过程，而净化液电积则为电化学冶金过程。冶金过程又可分为许多单元过程。如矿石或精矿的干燥、造球（或制团）、焙解、焙烧（包括氧化、还原、磁化、氯化等焙烧过程）、烧结，还原熔炼（包括固体碳、氢、一氧

化碳，金属热还原等过程）、造钼熔炼、氧化吹炼、火法精炼；浸出（或溶出）、浸出液的净化，矿浆的絮凝、沉降和澄清、浓缩（或浓稠）、过滤、洗涤、结晶、离子交换，细菌冶金、氯化冶金、汞齐冶金、真空冶金，蒸馏和蒸发、烟化，水溶液电解、熔盐电解、金属的熔铸等等。

选择某种金属的工艺流程时，应注意分析原料条件（包括化学组成、颗粒大小、脉石和有害杂质等）、冶炼原理、冶炼设备、冶炼技术条件、产品质量和技术经济指标等。另外，还有水电供应、交通运输等。根据具体情况，以过程越少、工艺流程越短为好。

由于冶金原料成分的复杂性，使用的冶金设备也是多种多样的。如火法冶金中的高炉、烧结机、沸腾炉、闪速炉、转炉、回转窑、反射炉、鼓风炉、电炉、炉外精炼设备等，湿法冶金中的各种形式的电解槽和各种反应器。除此以外，还有收尘设备、液固分离设备等。这些设备的使用选择，同样决定着冶金过程的效果，甚至成为冶金过程是否能取得成功的关键。

需要提及的是，冶炼金属的工艺流程，除了提取提纯金属以外，同时还要回收伴生有价金属，还有三废（废气、废渣、废液）治理和综合利用等方面的问题。因此，完整的工艺流程是很复杂的，所包含的冶金过程也是很多的。

1.1.3 轧钢生产系统

现代钢铁生产依据企业生产规模的大小、厂址所在地区对钢材品种和规格的要求不同以及其他种种因素的考虑，通常把几个轧钢车间组成不同的轧钢生产系统。这种轧钢生产系统反映了轧钢车间之间的相互关系和内在联系。

按照轧制产品的种类和生产规模的大小，由各个轧钢车间组成的轧钢生产系统可以分为型钢生产系统、钢管生产系统、钢板生产系统以及由它们中的一种或两种组成的混合生产系统等，此外，还有生产合金钢材的合金钢生产系统。

(1) 型钢生产系统

这是常见的一种轧钢生产系统。组成型钢生产系统的基本轧机主要是初轧机、中小型钢坯轧机和相应的各类成品型钢轧机。企业生产规模的大小和地区对产品品种规格的要求，是选择和决定这类生产系统轧机组成的基本依据。

(2) 钢板生产系统

组成钢板生产系统的基本轧机主要是板坯初轧和成品钢板轧机。选择这类系统轧机的依据是对产品的数量要求和品种规格的要求。

(3) 钢管生产系统

因为钢管产品在轧材中所占比例不大，单一化的钢管生产系统在国内外都是比较罕见的。组成这种系统的基本轧机是初轧机、管坯轧机和成品钢管轧机。依据钢管产量的大小和规格多少的不同，确定初轧机的大小和管坯轧机、成品轧机的形式。

(4) 混合生产系统

混合生产系统包括生产型钢、钢板、钢管或其中任何两种轧制品的轧钢车间组成的轧钢生产系统谓之混合生产系统。这种系统因能满足轧制多品种钢材的要求而被广泛采用。我国现有的轧钢生产系统多属于这种混合系统。

我国中型钢铁企业的混合生产系统的轧机组成和它们之间的金属平衡如图 1-2 所示。

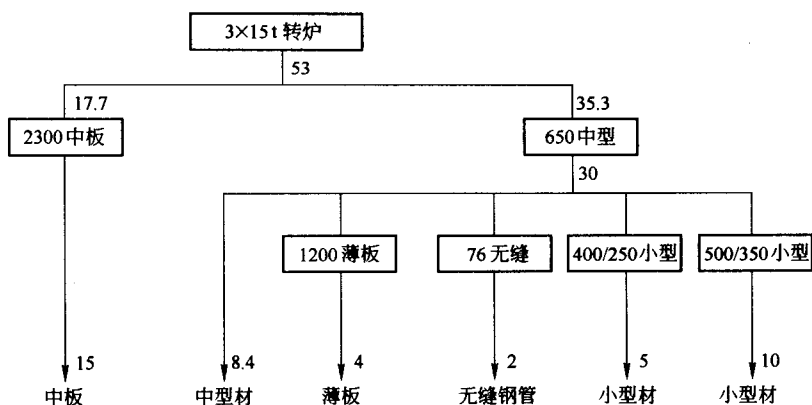


图 1-2 中型钢铁厂混合轧钢生产系统轧机组成图示

板管混合生产系统的轧机组成如图 1-3 所示。

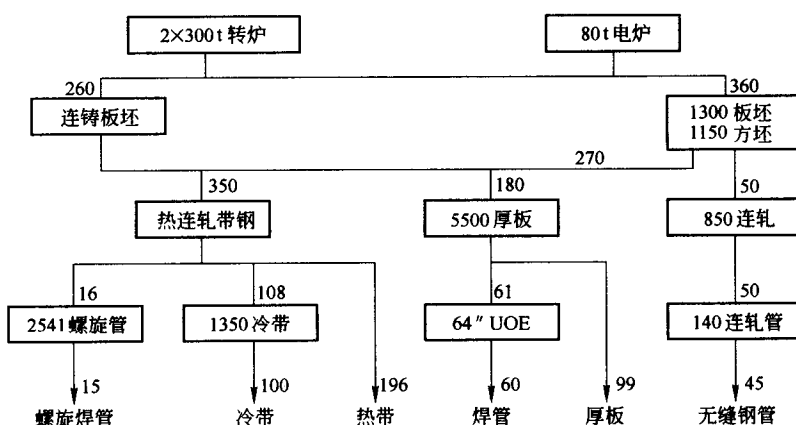


图 1-3 板管混合生产系统轧机组成图示

在轧钢生产中，除了上述几种生产系统外，还有一些轧机是一次成材的，即直接用钢锭经一次加热轧制出成品的。如在一架或二架三辊式劳特轧机或四辊式轧机上，用重为 600 ~ 1000kg 的钢锭直接轧出厚为 4.5 ~ 19mm 的普通中厚板；在 4200mm 或更大的四辊式厚板轧机上用重为 15 ~ 40t 的钢锭轧制厚为 10 ~ 160mm 的厚钢板等。另外，还有一些特殊轧机如皮尔格钢管轧机、车轮轮箍轧机也都以钢锭为原料直接轧制成成品。

近几年来，世界各国连续铸钢技术得到迅猛发展，目前不但可以连续浇注成各种方形、矩形以及异型坯作为原料直接供给钢板轧机和型钢轧机，而且还可以采用连续离心浇注法制成各种规格的圆形管坯，直接供应钢管轧机作为原料。连铸坯的发展为简化轧钢生产系统，改变轧钢生产过程提供了有利条件。

按生产规模大小，轧钢生产系统有大型、中型、小型之分。在我国，年产 100 万 t 以上的为大型生产系统；年产量为 10 ~ 100 万 t 的为中型生产系统；年产量在 10 万 t 以下的称为小型生产系统。从国外钢铁工业发展的历史看，起初他们很重视发展大型轧钢生产系统，以利于提

高企业的劳动生产率，降低产品成本。近年来为充分利用中小生产系统所具有的灵活性、适应性强，投资少、上马快的特点，不少国家很注意建设中小型的轧钢生产系统。

1.2 冶金建设工程施工技术

1.2.1 基础工程施工技术

1.2.1.1 人工地基施工技术

人工地基施工有两项内容：

a. 地基加固：有换土、预压、强夯、水泥石旋喷、深层搅拌技术等。

b. 打承载桩：有渣土桩、水泥土桩、木桩、混凝土桩（混凝土预制桩、预应力管桩、现浇灌注桩）、钢桩（钢管桩、H型钢桩）、特殊桩（成槽机施工的巨型桩、扩头桩）等。

目前我国施工的灌注桩最大直径达 3m，深度达 104m，工艺上可加注浆。国外有的更大，还可以扩大头部：如果用连续墙成槽机做巨型现浇灌注桩，还可以做得更大更深，例如日本的水平多轴式回转钻机（EM型），成桩壁厚 1200~3200mm，深度可达到 170m。

1.2.1.2 基坑支护技术

(1) 挡土结构

a. 重力坝式：用深层搅拌、旋喷等工艺形成的水泥石重力坝形式，用于挡土、隔水，可不用支撑。上海博物馆工程基坑就采用此类型挡土结构，深度达到 9.8m。

b. 各种板桩：有木板桩、钢筋混凝土板桩、钢板桩，主要作挡土用，同时也起一定的隔水作用。

c. 钢筋混凝土地下连续墙：这种工艺在世界上已经有 50 年历史，可以挡土和隔水，有现场浇筑与成槽后插入预制地下墙两种。对于现场浇筑地下墙，我国已做到深度 60m。有的国家已经在考虑生产成槽能力 200m 以上的水平多轴式回转钻机，壁厚可达到 4m。

d. 就地灌注排桩：用人工开挖就地灌注成桩，并做成连续排桩，可起到与地下连续墙一样的作用，但由于接槎不可能密贴，只能起挡土作用。

e. 劲性水泥土桩（SMW 工法）在水泥土排桩内插入型钢以型钢受力，水泥石作为隔水帷幕。如上海静安寺环球广场、东方明珠二期工程等基坑支护即应用该技术。此法在日本使用较多。

f. 其他挡土结构：有喷锚护坡、钢桩插板等。

(2) 隔水帷幕

有水泥土排桩、注浆帷幕、薄型地下连续墙等。日本最近制成称之为 TRUST-21 型的成槽机，成槽最小壁厚仅为 0.2m，深度 200m，采用泥浆固化成壁，透水系数 $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{cm/s}$ 。

(3) 支撑技术

a. 钢支撑：传统采用型钢支撑。

b. 钢筋混凝土支撑：为适应不规则基坑的体形并使挖土有较大空间，在我国创造与发展了一种钢筋混凝土支撑体系，有对撑、角撑、排撑及拱形、环圈形支撑。上海最大环圈直径达 92m，天津也正在施工直径 100 余米的大环圈。采用钢筋混凝土支撑体系的优点是一次性投入少、适应性强，最大的缺点是只能一次性使用，社会资源浪费大，爆破拆除时对环境有影响。

c. 双向双股复加预应力钢管支撑：双股井字形接头可以解决传统的钢支撑空间小的缺点，以提供挖土方便。双向施加预应力还可以针对土的流变特性，复加预应力控制变形。

d. 土锚杆（土钉）拉锚：在挡土结构处侧向向基坑外土体深部打入锚杆，可以加预应力，以达到锚桩挡土的目的。

(4) 降水技术

地下水位较高的地区，较深的基坑都需要采取降水措施。常用的有：

- a. 轻型井点，可深至 3~7m。
- b. 喷射井点，可深至 7~15m。
- c. 深井及加真空深井，可深至 10m 以下。
- d. 大口径明排水管井，在土质好的北京等地区常有应用。

(5) 环境保护技术

a. 井点回灌技术：目的是控制基坑外的水位，防止坑外管线、道路、建筑物产生固结沉降。

b. 堵漏技术：目的是控制向基坑内渗水，有各种即时堵漏及注浆技术。

c. 信息监测与信息化施工技术：基坑支护的应力应变计算往往由于参数选取不准，有时计算值只能是一个参考值。为保护环境，需在工程进行中监测即时变形，并采取可靠的即时加固措施，以防事故发生。目前随着工程规模增大及环境保护意识的加强，上海地区的监测技术发展很快，开始应用计算机技术，可以提供施工过程中支护体系及环境的受力状态及变形数据。由于信息技术及各种加固技术的提高，已经可以实现毫米级的变形控制。如香港广场工程对附近地铁隧道变形控制在 7mm 之内，纽约时代广场工程对红线附近 20 世纪 30 年代的 900mm 直径自来水管变形控制在几毫米之内。

d. 调节变形的技术手段：可以在基坑内外进行双液快硬注浆；可以对支撑施加预应力或增加支撑；也可以调整挖土速度及支撑施工的程序，充分考虑土体变形的时空效应，以速度减少变形。

1.2.1.3 逆作法施工技术

逆作法是基础与上部结构同时施工的先进工艺，有减少和取消临时支护措施，降低成本及大大加快施工速度等优点，20 世纪 70 年代前后被一些发达国家采用。我国于 80 年代进行研究试验，90 年代在广州、上海等地应用。上海地铁工程曾在淮海路 3 个车站采用半逆作法施工。1995~1997 年进行的上海恒积大厦工程地下 4 层、地上 4 层同时完成，为全逆作法施工的典型。逆作法施工的关键技术是：

a. 用地下连续墙作为永久地下室外壁。

b. 对建筑主体结构柱子下的承载桩，在成桩过程中要预先增加型钢支柱。

c. 先施工地面板，支承在型钢支柱与地下墙上，此地面板又是在挖土过程中对地下墙的支撑。

d. 在地下室最下部底板施工前，上部结构施工高度要控制在钢支柱桩的安全承载力之内。

e. 各支柱及地下墙在施工过程中的沉降差要控制在结构允许范围之内。

f. 施工有顶盖的地下部分要保证安全与一定的效率。

1.2.1.4 大体积混凝土施工技术

构筑物三个方向的最小尺寸超过 800mm 的混凝土施工，称为大体积混凝土施工。由于水泥在水化过程中发热，引起混凝土构件在升、降温过程中，因各部位温差应力加上本身的收缩等因素，易产生危及结构安全的裂缝。过去，大体积混凝土施工是一个重大技术问题，20 多年前，南京梅山铁矿高炉基础浇筑时曾因温度裂缝出现质量问题，但自从宝钢转炉基础 7200m³一次浇筑无裂缝获得成功，上海地区大体积混凝土施工技术有了新的飞跃，其中主要采取了五类措施：

a. 减少混凝土本身发热量。

- b. 内降温、外保温 运用信息监测技术 及时调整和控制结构体内外部分的温差在 25 之内。
- c. 在混凝土内增加抗裂配筋。
- d. 延长并做好养护工作。
- e. 尽可能科学地组织施工，提高浇筑强度。

1.2.2 上部结构施工技术

1.2.2.1 钢筋混凝土工程模板技术

(1) 爬模体系

上海市四建公司最早将直爬模板使用于共和新路工房，以后大量推广应用于高层建筑。斜爬模为黄浦江上 3 座大桥的桥塔及武汉、广东几座斜拉桥所采用。其原理是利用模板与爬架交替支承在结构上，并用简易起重设备交替上升安装支架与模板。

(2) 滑模体系

滑模是相对成熟和比较老的施工技术，在烟囱等筒体上早有应用，以后又在高层建筑的剪力墙、框架上应用。滑模又分直接滑模浇捣与滑框倒模等工艺，上海康乐路高层住宅、徐家汇漕溪路 9 幢高层住宅均为早期的滑模施工建筑；北京、天津电视塔为滑模最高的筒体结构；武汉国贸大厦是墙柱梁整体滑升的最大滑模工程，平台面积达 2300m²，结构高度达 200m。

(3) 液压整体提升模板体系

滑模的缺点是每次只能滑升若干厘米，混凝土要连续浇捣，混凝土结构体与模板一直在相对运动，所以混凝土表面容易出现横条纹甚至被拉裂，施工安排也比较繁琐。近年来在原滑模技术的基础上有所改进，原滑模动力体系仅作为提升设备，并加强了支柱的强度，将模板做成整体，从而使模板可每层一次整体提升到位，混凝土分层浇筑。

(4) 分块提升式大模板体系

作为一种专用模板体系，如德国的 PERI，在国外使用很多，该模板体系支承在已完成的结构上，由专用液压机进行自升，技术较先进，但价格较贵，马来西亚吉隆坡双塔大厦工程就应用了该项技术。

(5) 升板机整体式提升模板脚手体系

这是利用升板机较大的提升能力，借助结构自身强度，提升钢制平台，而模板与脚手架就悬挂在钢平台上，随结构的上升而上升，是一种比较经济高效的模板体系。70 年代，上海五建公司就曾在江湾冷库工程上采用，以后在陆家嘴沪办大楼、东方明珠电视塔、88 层金茂大厦等工程上采用，最高速度达一个月 13 层，这种体系快速、安全、经济，其成本仅是德国 PERI 液压提升模板的 1/10。

1.2.2.2 钢筋施工技术

(1) 钢筋点焊网片

由钢筋工厂生产焊接卷网，在施工现场进行钢筋焊接骨架整体安装。

(2) 钢筋接头

有长度搭接、帮条焊接、对焊、电渣焊、压力焊接、套筒冷压接、套筒斜螺纹连接、可调螺纹连接等多种方式。这里特别要指出的是直螺纹等强接头，它利用加工过程使钢筋螺纹接头强度提高，可以保证接头强度超过母材，使接头位置与数量不受限制。

(3) 预应力技术

预应力技术早在 20 世纪 30 年代已有方案提出，到 50 年代在世界上开始推广。此项技术使钢筋与混凝土充分发挥各自特性，达到结构的最佳组合，以提高结构刚度和抗裂性能，减少

结构物断面。目前在一些大型大跨度的钢筋混凝土结构工程上几乎均采用预应力技术。它按预应力施加时间可分为先张法与后张法；按混凝土的连接程度分有粘结和无粘结两种；按预应力施加程度分为预应力结构及部分预应力结构。以上海地区为例，上海东方明珠电视塔竖向预应力连续长度为 300m，南浦大桥大梁的水平方向预应力一次张拉长达 100m，上海国际航运大厦基础地下室采用了无粘结钢绞线预应力结构等。

1.2.2.3 混凝土技术

(1) 混凝土组分的发展

混凝土已在一般的水泥（胶凝料）、砂子（细骨料）、石子（粗骨料）加水的组分基础上，增加了很多新的品种。

a. 增加掺和料：粉煤灰（可改善混凝土性能）、磨细矿渣粉（可提高强度，改善性能）。

b. 掺加化学外加剂：可适当减少水泥用量、快硬、增塑、增稠、缓凝、抗冻、可泵送、自密实等功能的要求。

c. 掺加各种纤维：如玻璃纤维、钢纤维、塑料纤维、碳纤维等，以提高混凝土强度与抗裂性。

(2) 混凝土强度的发展

20 世纪 50 年代前，我国主要以 1:2:4 和 1:3:6 体积配比的混凝土为主，50 年代主要为 110 号、140 号、170 号、210 号混凝土；60~70 年代主要为 150 号~300 号混凝土；80 年代主要为 200 号、300 号、400 号混凝土；90 年代发展为 C20~C80 级高强混凝土，如上海杨浦大桥采用 C50 混凝土，东方明珠电视塔采用 C60 混凝土，新上海国际大厦第 21 层试点采用 C80 混凝土，辽宁物产大厦下部柱采用 C80 混凝土，北京静安中心大厦地下三层柱采用 C80 混凝土等。我国已能在实验室配制 C100 级以上混凝土，但在实际应用中最高的是 C80 级混凝土，如上海明天广场是较大量应用 C80 混凝土的工程。

在国外，如美国 ACJ 在 1984 年确定 C50 以上为高强混凝土，马来西亚吉隆坡双塔大厦底层受压结构采用 C80 混凝土，美国芝加哥 SOUTH WACKER 大厦底层柱为 C95 混凝土；美国西雅图双联大厦 3m 直径的钢管混凝土采用 C130 混凝土，为国际上混凝土应用的最高强度等级。虽然理论上可以配制 C200 以上的混凝土，但是由于强度太高带来的脆性问题尚未根本解决，因此目前在使用高强混凝土方面仍有一定的限度。

(3) 商品混凝土及泵送混凝土

商品混凝土发展很快，发达国家的一些大城市几乎都采用商品混凝土，达总量的 60%~80%。我国近 10 年来发展也很快，1996 年全国预拌混凝土已接近 3000 万 m³，仅上海一地已达 1000 万 m³。泵送混凝土是与商品混凝土一起发展起来的，与此同时，泵送技术也有了很大提高。

(4) 高性能混凝土及其发展

高性能混凝土（即 HPC），国际上提出这个名词尚不足 20 年，但不少发达国家都在这方面大做文章，因为社会发展对建筑结构功能的要求越来越高，而混凝土可以利用掺和料的变化，实现符合多种要求的特殊功能，如高强、耐久、耐油、抗裂等。目前世界各国都有许多研究与实施计划，如日本 1988 年提出新 P. C 计划，并在明石海峡大桥的两个桥墩上分别实现 24 万 m³ 与 15 万 m³ 不用振捣的自密实混凝土；英国北海油田海上平台的混凝土 28d 抗压强度达 100MPa，可在海水中耐久使用 100 年；法国也提出了“混凝土新法”，着重解决混凝土的耐久性问题。现在看来，我国混凝土的耐久性也存在极大问题，需要在高性能混凝土上下大力气研究。由于国外高性能混凝土已取得突破，混凝土施工也打破了传统习惯，20m 高的混凝土墙体

可以一次浇捣。

1.2.2.4 结构吊装技术

(1) 整体提升吊装

a. 卷扬机整体提升。如上海万人体育馆采用整体提升技术，日本某体育馆分 3 次提升就位。

b. 计算机控制、钢绞线承重、液压整体提升。

(2) 平面滑行安装技术

当安装机具无施工位置时，利用已安装的结构单体进行平面滑行安装，也是非常实用的方法。如日本博多饭店大楼就采用此法施工；上海浦东国际机场候机楼由于形状复杂，长度跨度又大，也采用此法施工。

1.2.3 特殊施工技术

1.2.3.1 顶管法施工技术

顶管法是用千斤顶将预制的钢筋混凝土管道分节顶进，并利用最前面的工具头进行挖土的一项地下掘进技术。以往对地下直径较小的管道可采用顶管法施工，目前随着技术的进步，直径较大的管道也可以用顶管法施工，甚至可与盾构法媲美。我国从 1978 年开始，由上海基础工程公司研制成功三段双铰型工具头，解决了百米长度的顶管问题；1981 年采用中继环法，将直径 2.6m 的钢管穿越甬江，顶进 581m；1987 年采用激光陀螺仪定位、计算机监控等，在黄浦江过江引水管道工程中，将直径 3m 的钢管一次顶进 1120m；1995 年在上海奉贤星火开发区排污工程中，将直径 1.6m 的钢管一次顶进 1511m；1996 年底又设计成功工具式可调换止水带的中继环，在上海黄浦江上游引水工程中，将直径 3.5m 的钢管一次顶进 1743m，创世界之最。目前国外顶管技术最先进的国家是德国，最高记录为 1987 年完成的西柏林供热水管道，内径 4.1m、外径 5m 的钢筋混凝土管道一次顶进 1088m，工程管道总长度 3607m

1.2.3.2 盾构法施工技术

盾构法是一种在地下进行机械化暗挖作业的隧道施工方法。它靠盾构头部掘土，或用大力盘切削土体，然后拼装预制的混凝土管片建成隧道环。边前进边建环，环环相接，最终形成长距离的隧道，施工既快速又安全。我国 1963 年开始在上海试验性地采用盾构法掘进隧道，最初为直径仅 4.2m 的敞胸干挖法，后逐步发展为干出土的网格式盾构和水力出土的盾构施工法。60 年代末，北京也试验用盾构法建造地铁，以直径 7m 的半机械化盾构成洞 78m 长，后由于北京有条件采用明挖法，从经济上考虑而停止试验。1991 年，上海地铁一号线引进 7 台加泥式土压平衡盾构，采用大刀盘开挖、螺旋输送机排土，同时备有同步压浆、计算机控制系统等，性能比较完善。上海建工集团机械施工公司、基础公司与城建集团隧道公司联手，利用这 7 台盾构机完成了 18.5km 长的隧道施工，建成上海地铁一号线隧道。其直径为 5.5~6.2m；衬砌混凝土块，厚度 0.35m，每环 6 块，环宽 1m，单块最大重 3.75t；隧道经过淤泥土和淤泥质粉质黏土，覆盖深度 5~18m；盾构进尺为 4~6m/d，最高达 18m/d；地面沉降控制在 10~30mm。在上海繁华闹市地段南京路、西藏路地下施工时，地面上没有感觉。可以说，我国的盾构法施工技术达到了国际先进水平。

2 冶金建设工程的组成

2.1 铁矿开采工程

2.1.1 工艺流程

地质部门采用勘探手段查清地下矿体工业储量，经过专业部门的设计后，便可进行矿山建设，从地表向地下矿体开掘一系列井巷，以形成提升、运输、通风、排水、供电、采矿和地表工程生产系统。通过采矿生产技术，将采下的矿石经过装载、运输、粗碎、提升到地表，即为商品铁矿石。再进行选矿后成为商品精矿。由于矿体地质情况不同，生产工艺有所变化，图 2-1 所示的矿石生产工艺流程，表示一般的矿石生产过程。

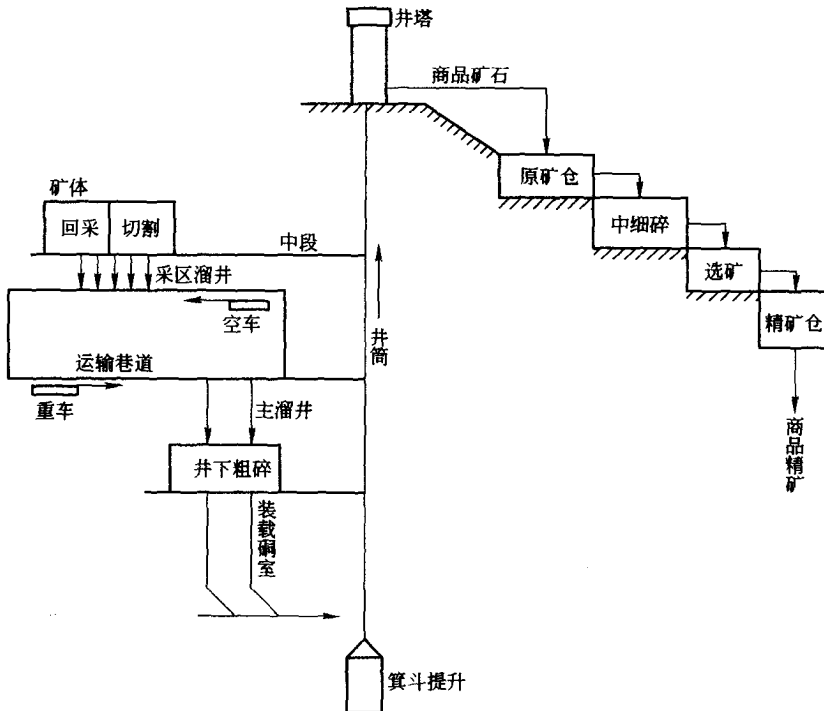


图 2-1 矿石生产工艺流程

2.1.2 项目构成

矿山基建工程分为三大类：

- 井巷工程：也叫矿建工程，主要指矿山井巷工程、支护工程和轻轨铺设、井筒装备等。
- 土建工程：主要指地表工业建筑、生活设施、总图、道路、土石方等。

c. 机电设备安装：主要指井上、井下机电设备安装、架线、管道、敷设电缆等。

矿石基建工程按专业性质分以下几个部分：

采矿工程，总图运输工程，矿机工程，电气工程，通风、排水等管理工程，破碎工程（指井下粗碎），机修工程，土建工程和不能预见的工程等。

按投资性质分三类：建筑安装、设备和其他三个部分（井巷工程属于建筑安装范围）。

2.1.2.1 主要单位工程名称

一般矿山建设单位工程项目都在 100 个以上，主要分为以下几个系统：

a. 井巷工程系统：指全部井巷工程，包括开拓、采准、切割范围的井巷掘进和支护工程。

b. 提升系统：包括卷扬机、井架、井筒装备等工程。

c. 运输系统：包括辅轨、装矿仓、卸矿仓等。

d. 通风系统：包括主扇安装、通风设施、井口封闭等。

e. 供风系统：包括压风机站、供风管路等。

f. 供水系统：包括水源、泵站、供风管路等。

g. 供电系统：包括井上下供电线路、变电站、电缆、井下配电所、照明、动力等。

h. 通讯系统：包括井上下通讯线路、交换台、调度电话、普通电话等。

i. 总图运输系统：包括地表土石方、公路、铁路等。

j. 机修系统：包括机修厂、维修站等。

k. 其他：主要指地表、仓库、火药库、生活设施、商业网点、学校、医院、邮电局等。

2.1.2.2 井巷工程单位工程项目分类

井巷工程单位工程项目主要分四类：

a. 开拓工程。

b. 采准工程。

c. 切割工程。

d. 铺轨工程。

下面介绍一个建设规模 220 万 t/a 的大型铁矿井巷单位工程实例，以供参考。

某矿为矽卡岩型磁铁矿床，总储量 1.06 亿 t，全矿平均品位 43.26%，建设规模 220 万 t/a，走向长 5km，分北、中、南三个采区，采用竖井斜井联合开拓方式，主要生产阶段 120m 水平，80m 水平。150m 水平以上仍有部分储量。设计井巷工程量为 62098m，576974m³，其中：

开拓工程 29450m，392516m³，占总量 68%（按 m³ 计算）

采准工程 24929m，135276m³，占总量 23.5%（按 m³ 计算）

切割工程 7719m，49182m³，占总量 8.5%（按 m³ 计算）

井巷单位工程项目 135 个（主要项目如下）：

主副井区开拓工程有主井井筒，1 号副井，2 号副井，120m 水平环形车场，石门大巷，水泵房，变电所，等候室，电机车修理库，120m 水平运输巷道，80m 水平运输巷道，井下破碎机室等共计 48 个单位工程项目。

南区开拓、采准、切割工程有：南区回风斜井，120m 水平运输巷道，炸药库，80m 水平运输巷道，水泵房，水仓，变电所和采准、切割工程等共计单位工程 20 个。

中区开拓、采准、切割工程有：中区回风井，中区 120m 和 80m 水平运输巷道，浅水井，炸药房，联络道、电车道和采准，切割工程等共计 28 个单位工程。

北区开拓、采准、切割工程有：北区回风斜井，进风斜井，120m 水平电车道，120m 水平运输巷道，水泵房，变电所，装矿平巷，160m 水平运输巷道及采准、切割等共计单位工程项

目 36 个。

另外还有铺轨及地表工业建筑，井上下机电设备安装工程等，总计单位工程项目 1000 个左右。其中井巷工程以开拓工程量所占的比重最大，按自然米计算占 50%，按 m^3 计算占 60% 以上，因为开拓工程的断面一般较大。还有一部分大规模硐室，以按 m^3 计算时比重更大一些。所以，井巷开拓工程是矿山建设的关键项目，占工期也较长。目前有些矿山开拓工程施工完成就可以交付生产，采准、切割工程在试生产期间由生产单位自行完成。

2.1.3 施工程序

2.1.3.1 施工准备工作

地下矿山建设是一个综合工程项目，涉及面很广，情况特殊，除要与岩石、地下水、地压等自然条件作斗争，还要协调各部门的综合关系。另外，矿山建设工期长，工程类别多，要组织井巷、土建、安装三类工程平行作业，需要大量的器材设备和施工技术，组织管理也很复杂。因此，必须充分认识到矿山建设的特殊性和复杂性，做好施工准备工作。从广义上讲，施工准备工作包括组织准备、技术准备、物资准备、劳动力准备和工程准备几个方面。从施工角度来讲，主要是工程准备，通过准备工作达到矿井正式下掘的要求。工程准备工作包括两个方面：一是建设前期工程，一般由建设部门负责完成，包括设计、土地征购、井筒工程地质、“三通一平”等，以创造施工条件；二是矿井下掘前的工程准备。

掘前的工程准备由施工单位负责，主要内容是：

- a. 完成井口的测量定位，做好测量控制和井筒中心“十字”基桩点。
- b. 完成施工需要的水、电、风、路、电话等的“五通”，并做好工业场地的排水设施。
- c. 完成施工需要的工业设施，包括提升、运输、排渣、压风、机修、供电、井口棚、仓库、火药库等。
- d. 完成井筒掘进必要的工程：主井架、天轮平台，悬吊设施，井口盘，翻矸台，吊盘，测量平台等。同时，竖井下掘要完成临时锁口，斜井、平硐施工完成明堑硐门处理、安全装置等。
- e. 完成必要的生活设施，包括食堂、宿舍、浴室、办公室等。

全部施工准备期的时间很难确定，影响因素较多。当前期施工准备工作完成以后，矿山建设具备了施工条件。施工单位进场后所做的施工准备工作工期要求如表 2-1 所示。

表 2-1 工期要求一览表

开拓方式	井筒深度/m	斜井、平硐长度/m	矿山类别/月		
			小 型	中 型	大 型
竖井开拓	≤400	—	3	5	7
	>400	—	4	6	8
斜井开拓		≤750	2	3	4
		>750	5	4	5
平硐开拓		≤1500	1	2	3
		>1500	2	3	4

2.1.3.2 确定施工作业区域

合理地确定矿山建设的施工作业区域，对加快井巷施工速度、保证矿山提前建成非常重

要。按照保安规程规定，一个地下矿山建设最少应有两个以上的出口。根据矿山的规模和井下通风的需要，不同规模的矿山通向地表的出口多少不一，这些出口凡是能满足施工需要的都应该考虑作为矿山建设的施工作业区域。按照多区域作业、巷道贯通的方法组织施工，对促进井巷工程施工很重要，必要时还要考虑增建措施井以增加施工作业区域，加快矿山建设。正常情况下不同规模的矿山合理的施工作业区域个数，如表 2-2 所示。

表 2-2 施工作业区域一览表

项 目	建设规模/万 t·a ⁻¹						备 注
	<20	<30	<50	<100	<200	>200	
施工作业区域/个	2	2~3	3	3~4	4	5	又称坑口、工区

每一个作业区域应有一个能完成施工任务的井筒（平硐），有时可能是两个井筒（如主副井区）。每个施工区配有一个综合井巷工程队（处），人员配备一般 150~300 人，建井期人员较少，巷道施工期人员较多，安装时井巷人员逐步减少，增加机电工人。措施井一般是为施工服务的，矿山投产以后将失去作用，因此，措施井属于临建工程，其设计和投资问题需要甲方解决，施工单位应将方案论证报甲方审批。

2.1.3.3 施工程序遵循的基本原则

合理的施工顺序对于加快矿山建设非常重要。在安排施工顺序时一般应考虑下列原则：

- a. 矿山建设是一项综合工程项目，包括三类工程，即井巷、土建和安装。其中井巷工程占 40%~60%，因此在考虑施工顺序时先井巷后土建和安装。
- b. 在井巷工程中开拓工程占 45%~50%，施工顺序应该先搞开拓后搞采准和切割。
- c. 在开拓工程中先干井筒后干巷道。
- d. 在井筒施工中先干主、副井，后干通风井。
- e. 矿山三类工程要组织平行交叉施工，同步建成投产。
- f. 井筒施工准备工作要安排先后，按顺序施工，一般时差 3~4 个月为宜。井筒到底时间尽量做到同年内完成。
- g. 掘井所需施工设备，要能满足巷道施工时提升转换的需要。
- h. 尽量组织各施工作业区域同时施工，采用贯通法掘进巷道。
- i. 井筒装备和提升设备安装要选定合适时间与工程平行施工，主、副井安装要错开时间。
- j. 井巷工程都要实行一次成井和一次成巷。
- k. 井巷收尾和巷道清理要与铺轨工程平行作业，同时交付生产。
- l. 先组织交工，后安排试生产。

2.2 焦化工程

2.2.1 工艺流程

焦炭在高炉冶炼中主要作为发热剂、还原剂和料柱骨架。焦炭在风口前燃烧放出大量热量并产生煤气，煤气在上升过程中将热量传给炉料，使高炉内的各种物理化学反应得以进行。高炉冶炼过程中的热量有 70%~80% 来自焦炭的燃烧。焦炭燃烧产生的 CO 及焦炭中的固定碳是铁矿石的还原剂。焦炭在料柱中占 30%~50% 的体积，尤其是在高炉下部高温区，只有焦炭是以固体状态存在，它对料柱起骨架作用，高炉下部料柱的透气性完全由焦炭来维持。

另外，焦炭还是生铁的渗碳剂。焦炭燃烧还为炉料下降提供自由空间。

现代焦炭生产过程分为洗煤、配煤、炼焦和产品处理等工序（见图 2-2）。

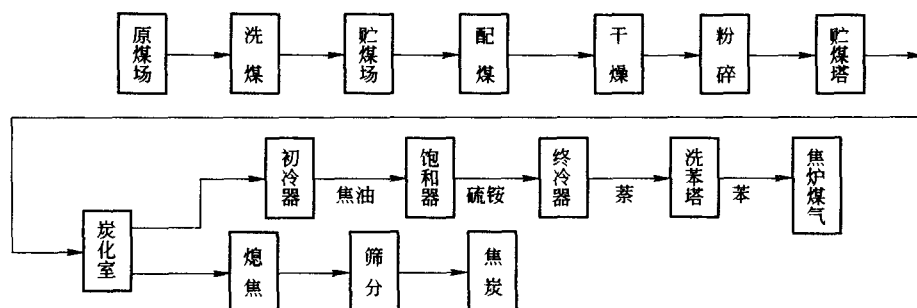


图 2-2 炼焦生产工艺流程

洗煤是原煤在炼焦之前，先进行洗选，目的是降低煤中所含的灰分和去除其他杂质。

配煤是将各种结焦性能不同的煤按一定比例配合炼焦，目的是在保证焦炭质量的前提下，扩大炼焦用煤的使用范围，合理地利用国家资源，并尽可能地多得到一些化工产品。

炼焦是将配合好的煤装入炼焦炉的炭化室，在隔绝空气的条件下通过两侧燃烧室加热干馏，经过一定时间，最后形成焦炭。

炼焦的产品处理是将炉内推出的红热焦炭送去熄焦塔熄火，然后进行破碎、筛分、分级、获得不同粒度的焦炭产品，分别送往高炉及烧结等用户。

在炼焦过程中还会产生炼焦煤气及多种化工产品。焦炉煤气是烧结、炼焦、炼铁、炼钢和轧钢生产的主要燃料。各种化工产品是化学、农药、医药和国防工业部门的主要原料。

2.2.2 项目构成

2.2.2.1 工程分级

焦化工程按焦炉生产能力划分为五个档次：年产焦炭 10 万 t、20 万 t、60 万 t、90 万 t 和 171 万 t 共五级，及其相应的回收化学产品的设施。

年产焦炭 10 万 t 至 90 万 t 级的焦化厂均由备煤车间、炼焦车间、回收车间和公用工程四部分组成。年产焦炭 171 万 t 级的焦化厂由备煤车间、炼焦车间、煤气精制车间、化工产品车间和公用工程五个部分组成。

2.2.2.2 单位工程

这里以年产 171 万 t 焦炭的焦化厂为例，说明单位工程情况。

(1) 备煤车间

贮煤场：包括焦煤 C、D 两个堆场、道床、运输皮带机、堆取料机、电气及照明、混凝土排水沟及小区道路等。

一次粉碎系统：包括一次粉碎机室及其除尘设施。

配煤槽：包括土建基础、钢结构框架及槽体、皮带机、电气及照明。

二次粉碎系统：包括二次粉碎机、除尘设施、破碎机等。

成型煤：包括成型机室及其电气室、原料槽、成品槽、皮带机、除尘设施。

原料控制管理中心的 4 号电气室以及给排水管道等。

(2) 炼焦车间

焦炉本体：包括1号焦炉（1A和1B炉）、2号焦炉（2A和2B炉）。

焦炉移动机械：包括1号、2号、3号移动机械。具体包括横移平台、装煤车、推焦车、导焦车、焦罐车和电车、机焦侧混凝土平台。

1号、2号贮煤塔。

1A炉端台、2B炉端台及中间平台。

1号、2号、3号烟囱。

1号及2号炉除尘。

1号及2号焦炉临时大棚。

焦炉煤气管道。

干熄焦：包括熄焦室，锅炉，气体循环系统，电气室，除尘，泵房，纯水槽，脱氧器等。

焦处理：包括炉前焦库，碎焦机室，焦输送电气室，焦处理除尘，运焦皮带机，回送焦台，焦处理系统仪表等。

综合电气室。

焦炉区电缆。

焦炉水处理：包括沉淀池，脱水机室及电气室等。

焦炉区供排水管道及两排水管道。

焦炉区道路及照明。

(3) 煤气精制车间

煤气排送装置：包括煤气排水送机室，煤气排送焦油氨水分离装置，酚抽出装置，氨水蒸馏装置，仪表装置。

煤气脱硫装置：包括塔克哈克斯装置，希罗哈罗斯装置，高低压空压机室，超级分析室，仪表装置。

硫铵生产装置：包括硫铵仓库，氨回收装置，吡啶回收装置，硫铵分离干燥装置，仪表装置。

轻油回收装置：包括轻油蒸馏装置，轻油捕集装置，仪器装置。

煤精附属设施包括氨水 焦油 轻油贮槽区 灭火设备 煤精附属管廊 煤精附属仪表。

煤精水处理工程：包括煤气排送清循环水装置，清循环水设备，水处理电气室，冷冻机室，仪表装置。

活性污泥处理：包括生物处理，调整槽，预备曝气槽，曝气槽，沉淀池，活性炭处理，再生炉，处理水槽，污泥浓缩槽，电气室及操作室，脱水机室，活性污泥仪表。

煤精电气、计器室。

煤精区供排水管道及污水管道工程。

煤精区电缆：包括供电电缆及辅助控制电缆。

(4) 化学产品车间工程

苯氢精制装置：包括加氢制氢装置，模块，附属设备（火炬塔、氨气柜）装置，第一电气仪表室，压缩机室，苯加氨仪表。

古马隆树脂生产装置：包括古马隆树脂装置，锥顶槽区，含氟废水处理，成品库，仪表装置。

焦油萘蒸馏装置：包括第一油焦蒸馏装置，脱盐基装置，脱酸萘蒸馏装置，精萘分离装置，罐区，第二电气仪表室，仪表装置。

精制萘生产装置：包括制萘装置，精原成品库，仪表装置。

酚精制装置：包括酸蒸馏，酚盐分解，苛性化，成品仓库，第三电气仪表室，滤器室。

吡啶精制装置：包括吡啶精制，成品仓库，堆桶场，仪表装置。

沥青焦生产装置：包括沥青焦制造（煅烧和延迟焦），槽区，压缩机室，第四电气仪表室，沥青焦仪表，制品计量器室。

化学产品附属公用设施：包括附属机械装置，附属锥顶槽区（A、B、C），灭火设备，灭火电气室，灭火泵房，消防管网设施，空压机室，仪表装置，公用电气室，第五电气仪表室，装车场仪表室，贮槽区装车场，化学产品简称区电缆，化产区主管廊，去沥青焦装车场管道，去成型煤管道，指令通讯等。

化学产品辅助装置：包括水处理装置，化产区供排水管道及污水管道，分析装置，化产试验室，药品库，水道仪表装置。

化产其他辅助工程：包括油槽车清洗站，沥青焦装车站，专用仓库，危险品仓库，一般物品仓库，化产生活间及办公室，化产区道路及道路照明和排水，化产区雨排水管道。

(5) 全厂公用工程

全厂外部给排水管道。

全厂外部雨排水管道。

围厂河及暗渠。

电缆隧道工程。

全厂通讯管线。

焦化区域绿化工程。

焦化区动力管网及单元配管。

焦化区机修站（包括金工及电修间，铆焊修理及备件库，防腐工段）。

耐火材料库。

办公室及生活福利设施：包括焦化厂办公楼，一食堂，二食堂，卫生间，煤焦生活办公室，机修生活、点检办公室等。

2.2.3 施工程序

年产 171 万 t 焦炭的焦化工程，其主要施工顺序是先地下后地上，先土建后安装，先主体工程（焦炉本体）后辅助工程。

在具体安排时，要充分考虑时间、空间、资源、工程复杂程度、工艺流程特点、施工力量平衡，设计技术资料的供给情况、物资供应条件，以及生产需要的缓急等因素。必须在充分调查研究的基础上，反复综合平衡，组织有施工技术管理经验丰富的技术经济管理人员，编制出切实可行的施工总设计和主要工程项目的施工组织设计，并编制出总进度（综合施工网络计划），确定出切实可行的主要施工顺序。

一般以炼焦车间的焦炉本体工程为关键作业线。备煤车间、煤气精制车间、化学化产品车间和附属公用工程按网络计划的安排穿插施工。

炼焦车间关键作业线是焦炉本体，其施工顺序是：先立炉柱后砌砖，管道、设备穿插安装。

煤气精制车间和化学产品车间的施工顺序是：先塔、槽、罐，后金属构架；设备安装先高空后地面；室外管道和室内安装并行，先上供排水，确保试压用水，先试压后保温；单试一联试一水试运。