

绪 言

在目前已经发现的 118 种元素中,有且仅有 23 种为非金属,对于其中的 95 种金属元素(尚有一部分未在工业上应用),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。我国和前苏联等少数几个国家采用后一种分类方法,即将铁、铬、锰列入黑色金属,因为铬和锰的生产与铁及铁合金关系密切;将铁、铬、锰以外的金属列入有色金属。

黑色金属工业即钢铁工业,是个庞大的工业生产系统,主要生产部门包括采矿、选矿、烧结球团、炼铁、炼钢、压力加工、热处理等;也包括大量的辅助生产部门,如焦化、耐火材料、炭素、机修、电力、检化验、动力、运输等,与钢铁工业相关的单位还包括专门以钢铁工业为工作和研究对象的大专院校、科学研究、经济信息、营销机构、地质勘探、工程设计和建设施工等部门。在金属的生产中,钢铁的产量特别大,有色金属中的铝、铜、锌、铅等次之。与钢铁工业相比,有色金属工业生产系统更为复杂,主要包括采矿、选矿、焙烧、熔炼、精炼、浸出、溶液净化、离子交换、萃取、电解、电积、热处理、压力加工等;同时也有大量的辅助部门。大量生产的金属价格较低,如钢是较便宜的金属;反之,如铂族金属,产量很少,价格却昂贵。

有色金属和黑色金属相辅相成,共同构成现代金属体系。

0.1 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或其他原料中提取金属或金属化合物,并用各种加工方法制成具有一定性能的金属材料的科学。

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独立的学科。狭义的冶金是指矿石或精矿的冶炼,即提取冶金。

从矿石或精矿提取金属(包括金属化合物)的生产过程称为提取冶金。由于这些生产过程伴有化学反应,又称为化学冶金;它研究火法冶炼、湿法提取或电化学沉积等各种过程的原理、流程、工艺及设备,故又称过程冶金学。习惯上把过程冶金学简称为冶金学。

冶金的方法很多,可归结为以下 4 种方法:

(1) 火法冶金。它是指在高温下矿石或精矿经熔炼与精炼反应及熔化作业,使其中的金属与脉石和杂质分开,获得较纯金属的过程。整个过程一般包括原料准备、熔炼和精炼三个工序。过程所需能源,主要靠燃料燃烧供给,也有依靠过程中的化学反应热来提供的。

(2) 湿法冶金。它是在常温(或低于 100°C)常压或高温($100\sim 300^{\circ}\text{C}$)高压下,用溶剂处理矿石或精矿,使所要提取的金属溶解于溶液中,而其他杂质不溶解,然后再从溶液中将金属提取和分离出来的过程。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。

(3) 电冶金。它是利用电能提取和精炼金属的方法。按电能利用形式可分为两类:

1) 电热冶金:利用电能转变成热能,在高温下提炼金属,本质上与火法冶金相同。

2) 电化学冶金:用电化学反应使金属从含金属的盐类的水溶液或熔体中析出。前者称为水溶液电解,如铜的电解精炼和锌的电解沉积可归入湿法冶金;后者称为熔盐电解,如电解铝可列入火法冶金。

(4) 生物冶金。这是一门新兴的冶金方法,目前主要包括微生物冶金和植物冶金。微生物冶金是指利用细菌为主体的微生物技术对矿产资源进行提取冶金,在相关微生物存在时,由于微生物的催化氧化作用,将矿物中有价金属以离子形式溶解到浸出液中以回收,或将矿物中有害元素溶解并除去的方法。微生物冶金包括生物浸出、生物吸附、生物选矿和富集、废弃物生物重整等。植物冶金主要是利用部分植物(学术界称为超富集植物)的独特生理代谢过程,对特定金属元素进行相对富集的冶金方法。目前生物冶金方法大多停留在科研阶段,尚不具备工业可行性,但从资源节约、环境友好等角度看,生物冶金方法仍具备长期价值。

采用哪种方法提取金属,按怎样的顺序进行,在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,而有色金属冶金则火法和湿法兼有。

冶金方法的采用,正面临着能源、环境、矿物资源和生产综合利用率等紧迫问题。在一定程度上它支配着冶炼厂的生产、设计、建厂和冶金技术的发展。节约能源依靠新技术和新方法,尤其是要改革电炉熔炼和有色金属电解生产过程的现有工艺,降低能耗。湿法冶金和无污染火法冶金能较好地满足日趋严格的环保要求,具有很大的发展前景。为了维持工业增长的需要,必须采取措施处理贫矿,提高选矿技术,同时研究更有效的冶炼方法。矿物原料,尤其是多金属矿物原料的综合利用,是提取冶金降低生产成本提高经济效益的关键问题。近年来一些金属提取冶金企业正在努力实现多产品经营,并把金属生产和材料加工结合起来,提高冶金产品销售的附加值,借以降低主金属的冶炼成本。

从废金属和含金属的废料中回收金属对于扩大金属资源、降低金属生产能耗,减少环境污染有极其重要的意义和经济效益。常把金属废料称为二次原料以区别于矿物原料;把产出的金属产品称为再生金属以区别于矿产金属。近年来再生金属的产量在有色金属的消费量中已占有很高的比例,例如铜、铝、铅、锌等再生金属产量已占其金属总消费量的 $30\%\sim 50\%$ 。同样,钢铁是与环境相对友好的材料,炼铁炉渣、炉尘也可收集二次利用制造水泥和其他建筑材料,有些公司的炉渣、炉尘的利用率可达 90% ;废钢可回收用于炼钢,但由于成本等原因,2005~2009年世界钢产量中仅 30% 左右是由废钢生产的,2013年这一数据达到约 36% ,钢铁再生量占整个回收金属量的 91% 。再生金属工业已成为冶金工业的重要部分。

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、机械、仪表、计算机等有极其密切的关系。冶金学不断地吸收上述基础学科和相关学科的新

成就,指导着生产技术向广度和深度发展,而冶金生产工艺的发展又会对冶金学的充实、更新和发展提供不尽的源流和推动力。

0.2 冶金工艺流程和冶金过程

黑色金属矿石的冶炼,一般情况,矿石的成分比较单一,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。如高炉冶炼用钒钛磁铁矿就是属于这种类型。有色金属矿石的冶炼,由于其矿石或精矿的矿物成分极其复杂,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,以充分利用矿物资源和降低生产费用。因此,选择冶金方法时,要用两种或两种以上的方法才能完成。

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。各阶段过程间的联系及其所获得的产品(包括中间产物)间流动线路图就称为某一种金属的冶炼工艺流程图。例如,钢铁冶金和镍钴铜的生产流程简图(见图0-1和图0-2)。根据表示不同的内容,工艺流程图可分为设备连接图、原则流程图(工艺流程框图)和数质量流程图。设备连接图是表示冶炼厂主要设备之间联系的图;原则流程图是以表示各阶段作业间联系为主的图;数质量流程图则是表示各阶段作业所获产物的数量和质量情况的图。

从钢铁冶金和镍钴铜的工艺流程图可知,一种金属的冶炼工艺流程包括多个冶炼阶段,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。

冶金工艺过程,包括许多单元操作和单元过程(此处仅指冶炼部分,不包括金属压力加工等),主要包括:

(1) 焙烧:是指将矿石或精矿置于适当的气氛下,加热至低于它们的熔点温度,发生氧化、还原或其他化学变化的过程。其目的是改变原料中提取对象的化学组成,满足熔炼或浸出的要求。焙烧过程按控制气氛的不同,可分为氧化焙烧、还原焙烧、硫酸化焙烧、氯化焙烧等。

(2) 煅烧:是指将碳酸盐或氢氧化物的矿物原料在空气中加热分解,除去二氧化碳或水分变成氧化物的过程,煅烧也称焙解,如石灰石煅烧成石灰,作为炼钢熔剂;氢氧化铝煅烧成氧化铝,作为电解铝原料。

(3) 烧结和球团:将粉矿或精矿经加热焙烧,固结成多孔状或球状的物料,以适应下一工序熔炼的要求。例如,烧结是铁矿粉造块的主要方法;烧结焙烧是处理铅锌硫化精矿使其脱硫并结块的鼓风炉熔炼前的原料准备过程。

(4) 熔炼:是指将处理好的矿石、精矿或其他原料,在高温下通过氧化还原反应,使矿物原料中金属组分与脉石和杂质分离为两个液相层即金属(或金属铕)液和熔渣的过程,也称冶炼。熔炼按作业条件可分为还原熔炼、造钎熔炼等。

(5) 非熔炼还原:随着环境保护、资源节约要求的提升,至今已形成了系统的非熔炼还原工业生产体系,主要包括直接还原法和熔融还原法。直接还原大多以气体、液体或

非焦煤为能源,是矿石在软化温度以下进行还原获得金属的冶炼方法。例如,铁矿石直接还原产品呈多孔低密度海绵状结构,含碳低,但几乎未排除脉石杂质。熔融还原则以非焦煤为能源,在熔融状态下进行铁氧化物还原,可以达到一定程度的渣铁分离,得到熔融还原产品。

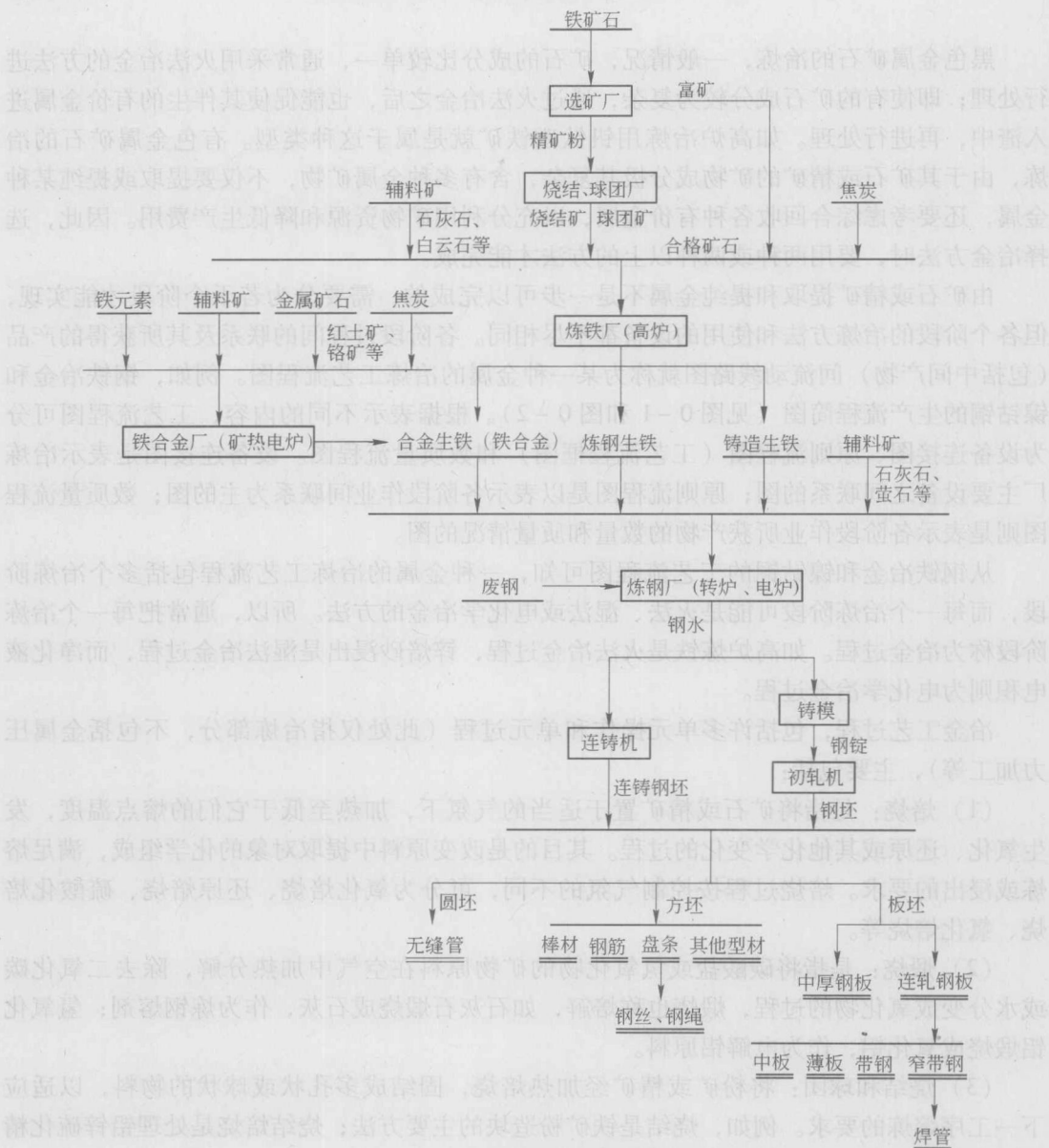


图 0-1 钢铁工业生产流程简图

(6) 火法精炼:在高温下进一步处理熔炼、吹炼所得含有少量杂质的粗金属,以提高其纯度。如高炉熔炼铁矿石得到生铁,再经氧气顶吹转炉氧化精炼成钢;火法炼锌得到粗锌,再经蒸馏精炼成纯锌。火法精炼的种类很多,如氧化精炼、硫化精炼、氯化精炼、熔析精炼、碱性精炼、区域精炼、真空冶金、蒸馏等。

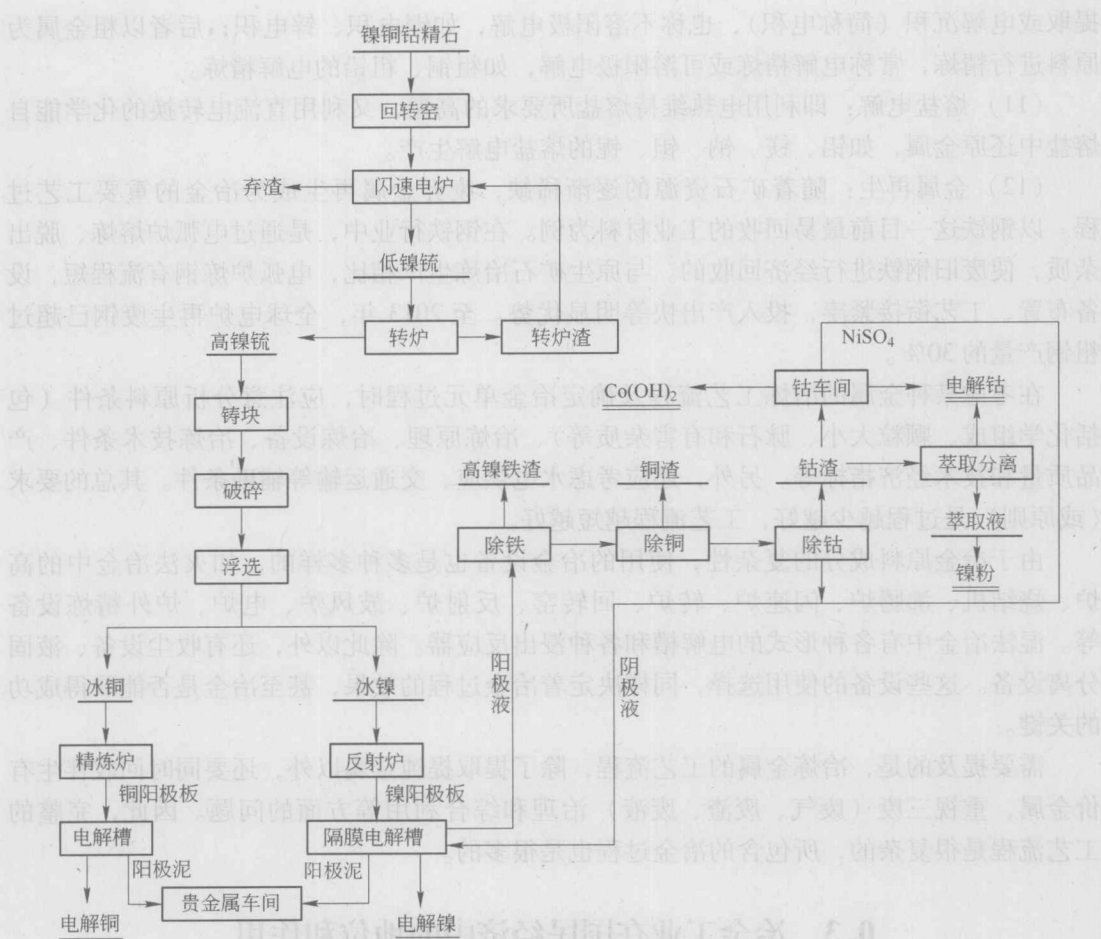


图 0-2 镍钴铜生产流程简图

(7) 浸出：用适当的浸出剂（如酸、碱、盐等水溶液）选择性地与矿石、精矿、焙砂等矿物原料中金属组分发生化学作用，并使之溶解而与其他不溶组分初步分离的过程。目前，世界上大约 15% 的铜、80% 以上的锌、几乎全部的铝、钨、钼都是通过浸出，与矿物原料中的其他组分得到初步分离的。浸出又称浸取、溶出、湿法分解，如在重金属冶金中常称浸出、浸取等，在轻金属冶金中常称溶出，而在稀有金属冶金中常常将矿物原料的浸出称为湿法分解。

(8) 液固分离：该过程是将矿物原料经过酸、碱等溶液处理后的残渣与浸出液组成的悬浮液分离成液相与固相的湿法冶金单元过程。在该过程的固液之间一般很少再有化学反应发生，主要是用物理方法和机械方法进行分离，如重力沉降、离心分离、过滤等。

(9) 溶液净化：将矿物原料中与欲提取的金属一道溶解进入浸出液的杂质金属除去的湿法冶金单元过程。净液的目的是使杂质不至于危害下一工序对主金属的提取。其方法多种多样，主要有结晶、蒸馏、沉淀、置换、溶剂萃取、离子交换、电渗析和膜分离等。

(10) 溶液电解：利用电能转化的化学能使溶液中的金属离子还原为金属而析出，或使粗金属阳极经由溶液电解精炼沉积于阴极。前者从浸出净化液中提取金属，故又称电解

提取或电解沉积（简称电积），也称不溶阳极电解，如铜电积、锌电积；后者以粗金属为原料进行精炼，常称电解精炼或可溶阳极电解，如粗铜、粗铅的电解精炼。

(11) 熔盐电解：即利用电热维持熔盐所要求的高温，又利用直流电转换的化学能自熔盐中还原金属，如铝、镁、钠、钽、铌的熔盐电解生产。

(12) 金属再生：随着矿石资源的逐渐稀缺，废弃金属再生成为冶金的重要工艺过程。以钢铁这一目前最易回收的工业材料为例。在钢铁行业中，是通过电弧炉熔炼、脱出杂质，使废旧钢铁进行经济回收的。与原生矿石冶炼生产相比，电弧炉炼钢有流程短，设备布置、工艺衔接紧凑，投入产出快等明显优势。至 2013 年，全球电炉再生废钢已超过粗钢产量的 30%。

在考虑某种金属的冶炼工艺流程及确定冶金单元过程时，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，还应考虑水电供应、交通运输等辅助条件。其总的要求（或原则）是过程越少越好，工艺流程越短越好。

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。湿法冶金中有各种形式的电解槽和各种浸出反应器。除此以外，还有收尘设备、液固分离设备。这些设备的使用选择，同样决定着冶金过程的效果，甚至冶金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，还要同时回收伴生有价金属，重视三废（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。

0.3 冶金工业在国民经济中的地位和作用

冶金工业包括黑色金属和有色金属两个工业门类，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产业。黑色金属工业的钢铁联合企业系指具备从采矿、炼焦、炼铁、炼钢到成品钢材全部生产过程的企业。有色金属工业的联合企业系指从事采矿、选矿、冶炼的有色金属工业企业。有色金属一般分为轻有色金属和重有色金属。轻有色金属一般指密度在 4.5t/m^3 以下的有色金属，其中有铝、镁、钠、钾等，钛也列为轻有色金属；重有色金属一般指密度在 4.5t/m^3 以上的有色金属，其中有铜、铅、锌、钴、汞、镉、铋等（镍、锡、锑、稀有金属单列）；常用有色金属一般指以下十种有色金属：铜、铅、锌、铝、镍、锑、锡、汞、镁、钛。

材料是人类社会发展的物质基础和先导，没有金属材料便没有人类的物质文明。国民经济各个部门都离不开金属材料。目前，尽管陶瓷材料、高分子材料和复合材料发展很快，但是金属材料在今后很长时间内仍将是占主导地位的。由于铁在地壳中的含量占 5%，分布比较集中，适合大量开采和大规模冶炼加工，故在所有金属产品中属于成本低、储量大、用途广和可再生利用的金属产品。人类开采并利用铁这种金属可以追溯到 3000 多年以前，以铁为主要元素可以生产出各种用途和性能的钢铁产品。这些钢铁产品为人类生活提供了极大的物质财富。钢铁产品作为国民经济重要的基础原材料，是当今世界各国

追求工业文明和提高经济实力的重要标志之一。

钢铁是用途最广泛的金属材料。人类使用的金属中,铁和钢占90%以上。人们生活离不开钢铁,人们从事生产或其他活动所用的工具和设施也都要使用钢铁。由于钢结构建筑的整体抗震性远远优于钢筋混凝土结构,特别是在2008年四川汶川“5·12”大地震中这一优势得到了充分体现。所以,为了提高建(构)筑物的抗震性能,今后无论是工业厂房还是高层民用建筑,采用钢结构的建筑会越来越普遍。钢铁产量往往是衡量一个国家工业化水平和生产能力的重要标志,钢铁的质量和品种对国民经济的其他工业部门产品的质量,都有着极大的影响。

20世纪70~80年代,受当时国际经济形势的影响,钢铁产品市场一方面趋于饱和,另一方面又面临新型替代材料的冲击,西方一些发达国家的钢铁工业曾一度处于不景气的状态,有些国家的钢铁业甚至出现了萎缩,故产生了“钢铁工业是夕阳工业”之说。然而,世界经济发展到今天的水平,钢铁作为最重要的基础材料之一的地位依然未受到根本性影响,而且,在可预见的范围内,这个地位也不会因世界新技术和新材料的进步而削弱。纵观世界主要发达国家的经济发展史,不难看出钢铁材料工业的发展在美国、前苏联、日本、英国、德国、法国等国家的经济发展中都起到了决定性的作用。亚洲“四小龙”中的韩国和中国台湾,对钢铁工业发展也给予高度的重视,这些国家和地区钢铁工业的迅速发展和壮大对于推动其汽车、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。美国钢铁工业曾在20世纪70~80年代遭受来自以日本为主的国外进口材料的冲击而受到重创,钢铁产品生产能力急剧下降,但经过十几年的改造和重建,终于在90年代中期又恢复到1亿吨的钢铁生产规模,为维持其世界强国地位继续发挥着重要的作用。

中国钢铁工业发展的第一个阶段是1949~1978年,经过30年间的艰苦创业,钢产量增加到3178万吨,年均增加108万吨;第二个阶段是1978年至90年代中期,在改革开放政策的推动下,这个时期的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,最主要的标志就是1995年我国生铁产量超过1亿吨,而1996年我国粗钢产量首次突破1亿吨,并达到世界第一产钢大国;18年后,再次关注统计数据,2013年中国已连续18年粗钢产量排名世界第一,达到7.8亿吨的惊人数字,世界粗钢产量(2013年为16.07亿吨)中有近一半出自中国。尽管如此,中国钢铁企业仍然存在一些问题,例如资源利用率低、产能分散及部分产能落后等问题。

2013年,我国主要十种有色金属的产量为4029万吨,虽然跟钢产量相比仅为5.2%,但由于有色金属具有许多特殊的优良性能,例如它们分别具有导电、导热性好,密度低,化学性能稳定,耐热、耐酸碱和耐腐蚀,工艺性能好等特点,是电气、机械、化工、电子、通信、轻工、仪表、航天等工业部门不可缺少的材料,也是其他材料所不能代替得了的材料。据统计,2013年黑色金属冶炼及加工行业创造工业总产值76317亿元,而有色金属冶炼及加工行业创造工业总产值也达20567.2亿元。

当今国际社会公认,能源技术、信息技术和材料技术是人类现代文明的三大支柱。占元素周期表中约70%的有色金属及其相关元素是当今高科技发展必不可少的新材料的重要组成部分。飞机、导弹、火箭、卫星、核潜艇等尖端武器以及原子能、电视、通信、雷达、电子计算机等尖端技术所需的构件或部件大都是由有色金属中的轻金属和稀有金属制

成的。此外,没有镍、钴、钨、钼、钒、铌、稀土元素等有色金属也就没有合金钢的生产发展。有色重金属和轻金属在某些用途(如电力工业等)上使用量也是相当可观的。科技发展需要有色金属,经济发展也需要有色金属,有色金属科技的发展又离不开人类科技和经济的发展,两者相互促进。

我国发展有色金属工业具有潜在的资源优势。我国的矿产资源潜在总值仅次于俄罗斯和美国而居世界第三位,是世界上矿产资源总量丰富,储量可观,品种较齐全,资源配套程度较高的少数国家之一,其中钨、锑、锡、钽、铀、锂、铍、镁、稀土金属的储量占世界首位。

新中国成立以来,我国有色金属工业得到了持续发展,有色金属产量从1949年的1.33万吨增加到1996年523.10万吨,居世界第二位,仅次于美国。我国有色金属产量位列世界第一的有锌、锑、钨、锡、稀土,列第二位的有铅、镁、钼,列第三位的有汞、铋,列第四位的有铜、铝、钛、镉,另外镍为第七位,银列第八位。我国已稳居世界有色金属生产大国的行列之中。有色金属工业为国民经济创造了巨大财富,钨、锑、铅、锌、锡等有色金属是我国重要的出口产品,每年为国家换回大量的外汇。

在今后,发展我国有色金属工业的目标是充分利用有色金属资源,依靠科学技术进步,高效率、低成本、节能降耗、减少污染,提高综合利用水平,生产品种齐、纯度高、质量优的更多有色金属产品及其材料,以满足国民经济增长的需要,把我国从有色金属大国变成有色金属的强国。

学习思考题

- 0-1 简述冶金学的主要研究内容及发展。
- 0-2 描述你所处地区或你所了解的钢铁或有色金属工厂的现状及存在的问题。
- 0-3 火法、湿法、电化学法三种冶金方法包括哪些基本冶金过程,这些冶金单元过程在提取冶金工艺中各起什么作用?
- 0-4 发展我国有色金属工业的资源优势何在,我国有色金属工业目前在世界上处于什么样的地位?
- 0-5 请自行搜集资料编制铝冶金生产工艺流程框图,并用 AutoCAD 制图。
- 0-6 用 A4 图幅, AutoCAD 软件分别绘制图 0-1 和图 0-2 生产流程框图。
- 0-7 如何区分轻、重有色金属,指出常用的有色金属有几种,它们都分别属于重金属还是轻金属?
- 0-8 试分析我国有色金属工业和钢铁工业的发展历程。
- 0-9 冶金工业是夕阳工业吗,为什么?

1 冶金工厂设计概述

设计的最初含义是将符号、记号和图形记下来。自从有了人类，便随之有了设计。随着生产的不断发展、科学技术的不断进步，设计也不断地向深度和广度发展，以致人类活动的一切领域几乎都离不开设计。设计是把一种计划、规划、设想通过视觉的形式传达出来的活动过程。人类通过劳动改造世界，创造文明，创造物质财富和精神财富，而最基础、最主要的创造活动是造物。设计便是造物活动进行预先的计划，可以把任何造物活动的计划技术和计划过程理解为设计。

生产主要增加产品数量，而产品本身的更新换代、研制新产品等质变飞跃，则依靠工程设计来实现。因此从根本的意义上说，设计是一种创造性劳动，它是设计师（工程师）所从事的工作中最有新意、最能使人感到满足的工作之一。当一项设计任务提出时，设计是并不存在的。设计师从接受之时开始就要根据设计要求构思各种可能的方案，经过反复推敲、比较，选择其中最佳者。

设计工作是工程建设的关键环节，是整个工程建设的灵魂，是把科学技术转化为生产力的纽带，没有现代化的设计，就没有现代化的建设。在建设项目确定之前，它为项目决策提供科学依据，在建设项目确定之后，它又为工程建设提供设计文件。做好设计工作，对加快工程项目的建设速度，节约建设投资，保证项目投产取得好的经济效益、社会效益和环境效益都起着决定性的作用。

一般的设计原则主要有：

（1）需求原则。所谓需求原则是指对产品功能的需求，若人们没有了需求，也就没有了设计所要解决的问题和约束条件，从而设计也就不存在了。所以，一切设计都是以满足客观需求为出发点。

（2）信息原则。设计人员进行产品设计之前，必须进行各方面的调查研究，以获得大量的必要信息。这些信息包括市场信息、设计所需的各科学技术信息、制造过程中的各种工艺信息、测试信息及装配信息、调整信息等。

（3）系统原则。随着“系统论”的理论不断完善及应用场合的不断增多，人们从系统论的角度出发认识到：任何一个设计任务，都可以视为一个待定的技术系统，而这个待定技术系统的功能则是如何将此系统的输入量转化成所需要的输出量。这里的输入、输出量均包括物质流、能量流和信息流。在这三大流中，有系统需要的输入和输出量，也有系统不需要的输入和输出量，如机床在加工过程中，主轴带动工件旋转及加工出合格的零件是需要的输入、输出量，而主轴的振动、发热、噪声等是不需要的输入、输出量。设计时，应将这些不需要的输入、输出量控制在允许值范围内，且越小越好。

（4）优化、效益原则。优化是设计人员在设计过程中必须关注的又一原则。这里的优化是广义的，包括原理优化、设计参数优化、总体方案优化、成本优化、价值优化和效率优化等。优化的目的是为了提

者应紧密地联系起来。

此外,设计过程中涉及很多法规,如各种标准、政策和法令。这就要求设计人员不但精通本职业务,还应熟悉国家在现阶段的有关法规,以便在设计中认真贯彻执行。

由于设计要求既是设计、制造、试验、鉴定和验收的依据,同时又是用户衡量的尺度,所以在进行设计之前,就必须对所设计的产品提出详细、明确的设计要求。任何一个产品的设计要求都是围绕着技术性能和经济指标提出的,一般设计要求包括下列内容:

(1) 功能要求。用户购买产品实际上是购买产品的功能,而产品的功能又与技术 and 经济等因素密切相关,功能越多则产品越复杂,设计越困难,人工费用就越大。但产品功能的减少很可能没有市场,这样在确定产品功能时,应保证基本功能,满足使用功能,剔除多余功能,增添新颖及外观功能,而各种功能的最终取舍应按价值工程原理进行技术可行性分析来确定。

(2) 适应性要求。这是指当工作状态及环境发生变化时产品的适应程度,如物料的形状、尺寸、理化性能、温度、负荷、速度、加速度和振动等。人们总是希望产品的适应性强一些,但这将给产品的设计、制造和维护等带来很大困难,有时甚至达不到,因此,适应性要求应合理。

(3) 可靠性要求。可靠性是指系统、产品和零部件在规定的使用条件下,在预期的使用时间内能完成规定功能的概率。这是一项重要的技术质量指标,关系到设备或产品能否持续正常工作,甚至关系到设备或产品以及人身安全的问题。工业中大量生产活动可能由物理因素或化学因素对生产参与者造成生理伤害,部分环节还可能造成心理伤害。因此,设计必须充分考虑各种明显的和潜在的危险,保证生产人员的健康和

安全。

(4) 生产能力要求。这是指产品在单位时间内所能完成工作量的多少,即产品的产量及品种。它也是一项重要的技术指标,它表示单位时间内创造财富的多少。提高生产能力在设计上可以采取不同的方法,但每一种方法都会带来一系列的负面问题。只有在这些负面问题得到妥善解决或减少之后,提高产品的生产能力才有现实意义。

(5) 使用经济性要求。这是指单位时间内生产的价值与同时间内使用费用的差值,差值越大,使用经济性越高。使用费用主要包括原材料和辅料消耗、能源消耗、保养维修、折旧、工具耗损以及操作人员的工资等。

由此可见,设计是一个多目标的优化问题,不同于常规的数学问题,不是只有唯一正确的答案。设计师在做出选择和判断时要考虑各种经常是相互矛盾的因素,即技术、经济和环境保护等的要求,在允许的时间及空间范围内选择一个兼顾各方面要求的方案。而且,这种选择或决策贯穿了整个设计过程。

1.1 冶金工厂设计的基本知识

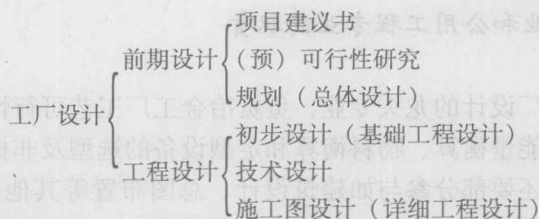
冶金工厂设计,是将一个系统(例如一个冶金工厂、一个生产车间或一套装置等)按照其工艺技术要求,经工程技术人员的创造,将其全部描绘成图纸、表格及必要的文字说明的过程,也就是用文件化的语言(工程语言)将工艺技术转化为图纸的全过程。

1.1.1 基本概念

将一种或多种冶金原料经过一个特定的过程得到另一种或多种冶金原料（或产品），这种特定的过程称为冶金工艺过程。

工艺过程中所包括的冶金或物理反应、反应的空间（冶金炉、设备、管线）和反应的控制等方面的技术称为工艺技术。

设计阶段是指按照建设程序的需要，将设计过程按时间顺序分为几个阶段，它们的划分及关系如下：



各个设计阶段完成工作的内容不同，所产生设计成品内容及使用对象也不同，必然要通过不同的过程和手段才能完成，这就是所谓设计程序和方法。设计工作程序框图见图 1-1。

专业设置是指工厂设计涉及许多专门的学科，如：冶金工程、冶金机械、工程力学、自动化控制、动力工程、土木建筑、工程材料、总图规划、工程概预算、环境保护、安全、职业卫生等，设计单位根据工厂设计和工程性质的需要，将这些学科重新划分，设立为各个不同的专业。

设计接口与条件关系：两个不同专业衔接处（界面）称为接口；界面之间的信息（设计条件，如参数、尺寸、位置、标高等）传递称为设计条件关系。

1.1.2 设计单位的专业设置

设计单位的专业设置与高等院校的专业设置并不相同。高等院校的专业设置是根据学科性质设置的，如工科、理科、文科、医学及农学等。在工科院校中，根据教育部的规定，与冶炼有关的专业就统称为冶金工程专业，包括了钢铁冶金（含炼铁、炼钢、电冶金等）、有色金属冶金（含重有色金属、轻有色金属、稀有金属、贵金属、稀土等）、冶金物理化学三个专业，冶金工程工艺设计单位则是根据工程性质及工厂特点来设置专业，主要为主导专业及辅助专业两大类。

1.1.2.1 主导专业

主导专业有：冶炼工艺（含炼铁、炼钢、铁

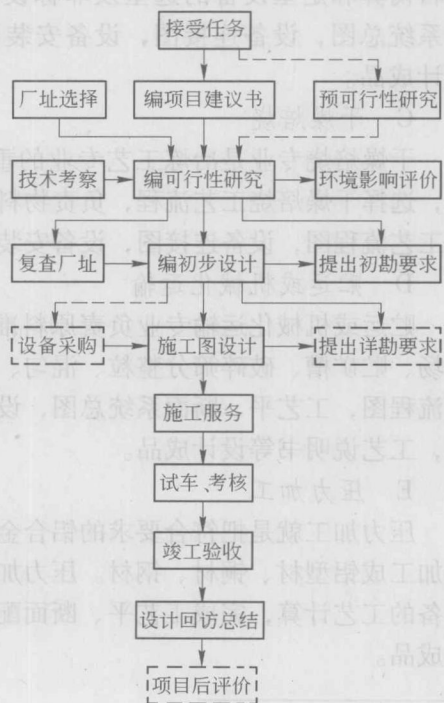


图 1-1 设计工作基本程序示意图

合金、重有色金属、轻有色金属、稀有金属、贵金属、稀土等)、烧结球团、采选、贮运、压力加工、工业炉等专业。

1.1.2.2 辅助专业

辅助专业有^①: 设备、建筑、结构、电力、电信、自动化仪表、给排水、总图运输、燃气、热力、环境保护、采暖通风、机修、检(化)验、安全生产和工业卫生、能源分析与节能等专业。

除主导专业之外,设计单位为了向建设单位提供冶金工厂建设全过程的服务,另外还设有技术经济、工程经济等专业。

1.1.2.3 主导专业和公用工程专业的职责

A 冶炼工艺

冶炼工艺是冶金工厂设计的龙头专业,负责冶金工厂工艺可行性讨论及流程的选择和确定,进行冶金工厂的能量衡算、物料衡算和定型设备的选型及非标设备的工艺计算。与此同时,冶炼工艺专业还要部分参与如建筑设计、总图布置等其他所有专业的设计工作,与其他所有专业做好沟通协调,确保工艺要求能得到满足。在此基础上完成工艺平、断面配置图,冶金炉砌砖图,设备安装图,工艺非标准设备制造图,设备订货表,工艺说明书等设计成品。

B 烧结球团

烧结球团专业是冶炼工艺专业的重要分支。该专业根据粉矿或精矿(如铁矿或含铁炉尘、锰矿、铬矿、铅锌矿)、其他粉状冶金物料和还原剂及在冶炼各种合金时需要添加的各种有色金属和高纯稀有金属的性质,确定烧结、球团或压块工艺流程,负责物料衡算和定型设备的选型及非标设备的工艺计算,并完成工艺流程图,工艺平、断面系统总图,设备连接图,设备安装图,设备订货表,各车间配置图,工艺说明书等设计成品。

C 干燥焙烧

干燥焙烧专业是冶炼工艺专业的重要分支。该专业根据矿石含水量及粉尘程度的不同,选择干燥焙烧工艺流程,负责物料衡算和设备选、定型及非标设备的工艺计算,并完成工艺流程图,设备连接图,设备安装图,设备订货表,工艺说明书等设计成品。

D 贮运或机械化运输

贮运或机械化运输专业负责原料准备厂(一般简称原料厂或原料车间)的贮矿场或料场、贮矿槽、破碎筛分整粒、混匀、带式输送机系统、各种仓库等设施的设计。完成工艺流程图,工艺平、断面系统总图,设备连接图,设备安装图,设备订货表,各车间配置图,工艺说明书等设计成品。

E 压力加工

压力加工就是把符合要求的铝合金锭、铜合金锭、钢锭或连铸坯按照规定的尺寸和形状加工成铝型材、铜材、钢材。压力加工专业负责确定工艺流程、定型设备的选型及非标设备的工艺计算,完成工艺平、断面配置图,设备安装图,设备订货表,工艺说明书等设计成品。

^① 有的设计院还设有地质专业,负责水文地质和工程地质设计。

F 工业炉 工业炉专业负责对加热、燃烧炉型, 燃料、装出料方式及标准设备和非标准设备(如燃烧器、水冷装置)进行选择确定, 进行燃料燃烧计算和热平衡计算, 工业炉砌筑设计, 完成车间平、断面配置图, 炉体总图, 工业炉砌砖图, 设备订货表等设计成品。

G 设备

设备专业根据主体专业的设计委托任务, 进行非标准设备(主要是冶金炉等带有传动装置的设备)的设计计算。设备专业需完成设备制造版图、地脚螺栓一览表、非标准设备防腐要求等设计成品。

H 建筑 土建分为建筑及结构, 建筑与结构专业应分别出图。建筑专业在总图和设备布置的基础上, 根据当地气象、地质等自然条件, 负责冶金工厂厂房外形结构造型、建筑物定位及设计标高、墙体工程、屋面工程、门窗工程、内外装修工程、建筑防火设计等工作, 完成建筑施工图, 建筑、节能设计说明书, 高阶段设计的土建篇章说明书等设计成品。

I 结构 结构专业根据建筑专业和主导工艺专业提交的设计条件, 负责厂房钢筋混凝土结构、

框架结构、操作平台、特殊结构、厂房基础、各类设备基础、钢结构、壳体、大直径管道的设计。结构专业提出工程地质勘察委托条件及桩位布置图, 并根据工艺物料的性质, 对建构筑物的防腐进行设计, 完成结构施工图、结构设计说明、基础布置图、建构筑物施工图、钢结构施工图、外管架结构及基础图、结构计算书等设计成品。

J 电力

根据冶金工厂各个装置和设备的用电条件, 电力专业进行电气设备的选择、配置、电力传动和安装设计, 以及全厂的照明、防雷电设计, 同时亦要负责冶金工厂危险区域的划分。电力专业完成电气系统图, 设备布置图, 电缆敷设图, 设备安装图, 设备表, 危险区划分图, 防雷接地系统图, 装置动力配线图, 照明系统平面图, 原理接线图等设计成品。

K 通信

通信专业负责冶金工厂电话、通信网络、报警系统和工业电缆的工程设计。通信专业往往可以与自控专业合并, 提高工厂综合控制水平。该专业完成电信系统图、电信用户表、设备平面布置图、电信配线图、安装图与接线图等设计成品。

L 自动化仪表

在工艺控制方案的前提下, 自动化仪表专业负责冶金工厂的计器、仪表、自动控制设施的设计, 随着冶金工业的自控技术水平的发展, 在冶金工厂中对自动控制的要求越来越高。自动控制可以达到的水平也越来越高。一个冶金工厂是否先进, 是否现代化, 一方面要看工艺的先进性、环保的水平, 另一方面还要看自动控制的手段和方法。自动化仪表专业完成仪表数据表、控制室布置图、仪表盘及操作台布置图、仪表汇总表、回路图、供电及接地系统图、仪表安装图、仪表位置图、供气系统图或供气空视图、仪表安装材料表及电气材料表等设计成品。

M 给排水 根据厂区的自然环境和总图要求, 给排水专业负责进行冶金工厂中的取水工程、净水

工程、软水工程、输配水工程、排水工程、污水处理（煤气洗涤、冲渣水、酸碱废水、重金属废水、含油废水等）工程、循环冷却工程，以及消防水系统的设计。该专业完成厂内外给排水平面布置图及水量平衡图、给排水管道纵断面图或系统图、管道仪表流程图、外部管道平面布置图、系统图、室内给排水管道平面布置图及系统图、给排水设备及综合材料一览表等设计成品。

N 总图运输

总图运输专业根据大区的地形地貌和全年主导风向等因素，进行冶金工厂各个装置及建筑物的布置、规划，在此基础上负责厂区总图管理，铁路、公路交通运输的设计，同时要综合研究全厂外管线走向的合理性和经济性。该专业完成地理及区域位置图，总平面布置图，竖向布置图，土方工程图，厂区道路布置图、路面结构图，管道综合图，围墙及大门施工图，厂区绿化平面图，防、排洪工程图和挡土墙施工图等设计成品。

O 燃气

燃气专业负责煤气洗涤、煤气供应、燃油供应、氧气及氮气供应等设施的设计，完成工艺系统、流程图，燃气平衡图，设备布置及安装图，非标准设备制造图，设备及材料表等设计成品。

P 热力

热力专业负责鼓风机站、蒸汽及压缩空气供应、余热锅炉及汽化冷却系统、煤粉制备等设施的设计，进行全厂蒸汽平衡，确定全厂的供气参数等级，并制定全厂热能综合利用的设计原则和节能措施评述。该专业完成蒸汽、压缩空气平衡图，设备一览表，管道仪表流程图，设备布置及安装图，管道空视图和综合材料表等设计成品。

Q 环境保护

环境保护专业根据生产工艺过程的“三废”排放状况，综述各专业环保措施和工艺控制原理、工厂绿化、环境监测、环境保护管理机构及劳动定员、环保和综合利用投资。在可行性研究和初步设计中，该专业除了完成环境保护篇章说明书的编写、主要环保设施的流程或系统图外，还要完成工程项目高阶段的环境保护的专篇的编写任务，在施工图阶段一般不参与设计。

R 采暖通风

采暖通风专业负责采暖、通风（空调）、除尘、气力输送等设施的设计，完成采暖通风的设备一览表、设备布置图、管道空视图及综合材料表等设计成品，在高阶段设计完成通风除尘篇章说明书的编写任务。

S 机修

机修专业负责备品、备件的供应和车间机修设施的设计，完成车间配置图、设备安装图、非标准设备制造图、设备材料表等设计成品，在高阶段设计完成机修篇章说明书的编写任务。

T 检、化验

检、化验专业负责试验室、化验室的设计，需要为原料、产品选择最稳定、最快捷的物理或化学分析测试方法。该专业负责完成试验室、化验室配置图设计，非标准设备（化验台、架）制造图，化验设备、药品、试剂一览表和仪器设备的后期保养维护事项等设计成品。

U 安全

安全专业负责综述工艺设备及生产过程中可能产生的事故,应采取的安全技术措施和生产过程中的尘、毒源、放射性、噪声、振动等的预防措施,安全的管理机构及防渗设施,安全的预期效果。在可行性研究和初步设计中,该专业除了完成安全篇章说明书的编写外,还应完成工程项目的劳动安全生产专篇的编写,施工图阶段一般不参与设计。

V 职业卫生

职业卫生专业负责综述工程项目的职业卫生危害因素的分析、职业卫生设计中采用的主要防范措施、职业卫生机构设置、职业卫生投资、预期效果及存在的问题与建议。在可行性研究和初步设计中,该专业除了完成职业卫生篇章说明书的编写外,还应完成工程项目的职业卫生专篇的编写,在施工图阶段一般不参与设计。

W 技术经济

技术经济专业负责对工程项目的费用和效益估价,进行产品成本分析、经济效果计算及评价、影响经济效果的因素分析(盈亏分析及敏感性分析)并得出评价结论。在可行性研究和初步设计中,该专业完成技术经济篇章说明书的编写,在施工图阶段一般不参与设计。

X 工程经济

工程经济专业负责概(预)算,提供设备单价、指标及汇总概(预)算。在可行性研究和初步设计中,该专业完成概(预)算篇章说明书的编写,施工图阶段完成工程的总预算及单项预算的汇总,编制施工图预算书。

Y 能源分析与节能

能源分析与节能专业负责能源分析与节能评价,综述工程项目节能减排政策、所在地能源供应情况、能源消耗及能效水平、节能措施、节能减排管理机构、节能投资、节能预期效果等,在高阶段设计完成节能减排专篇说明书的编写任务,施工图设计一般不参与设计工作。

当工程中采用计算机控制时,根据业主方的要求,由计算机专业负责硬件的选用和应用软件的编制。

由此可见,设计研究院内部的专业分工是相当细的,其优点是充分利用各专业的特长,有利于提高设计质量;缺点是专业必须配套才能进行设计,而且专业之间的关系比较复杂,设计周期较长。

1.1.3 专业之间的关系

冶金工厂的设计是一个系统工程,设计单位是由各个不同的专业组成的一个有机整体,虽然各专业的分工不同,但相互间都有非常密切的内在联系,而且这种联系在设计过程中至关重要。各专业必须互相协调、合作,才能保证冶金工厂的设计整体往前推进,才能保证工程设计质量。

1.2 冶金工厂建设程序

冶金工厂建设特指冶金工厂的建造。这不仅包括工厂所在地的施工和安装工作,还包

括要建造一座冶金工厂得到产品全过程的工作组合。

1.2.1 建设程序

冶金工厂建设程序是指冶金工厂建设包括的一系列的工作。这些工作按照规定的时间和空间排列形成一定的过程,称为冶金工厂建设程序,或者称工作程序。

1.2.1.1 建设程序的特定性

冶金工业是国民经济发展中的重要支柱产业,它涉及国家自然资源和冶金原料的合理利用,以及冶金产品在工业、农业、国防建设、环境保护等领域的供需平衡和优化配置。另外,冶金工厂的建设是一个较为复杂的过程,与国家或地方的许多部门、行业、单位有着紧密的联系,必须经过一个特定的程序才能建设成一个冶金工厂。

经过不断实践和总结,我国已经建立了一套比较完整、符合客观、系统性较强的建设程序。

1.2.1.2 建设程序的内容

由于冶金工厂的原料、产品(以及它的规格)、规模、所在地不同,项目(冶金工厂未建成之前,往往称它为项目或工程)来源、背景、建设资金等因素的差异,都会使它的建设程序产生部分变动。

下面是适合于国家投资或贷款、符合现实、比较典型的大中型冶金工厂建设程序:

项目建议书→批准立项→厂址选择→可行性研究→批准→总体设计→询价与报价→基础设计(初步设计)→批准→工程设计及设备材料采购→土建施工→设备管道安装→机械完工→单机试车→联运试车→原料试车(冶金投料)→试生产→工厂考核→工厂验收交付使用。

1.2.1.3 建设程序的动态变化

随着整个社会经济的发展,由计划经济向市场经济转变,资金结构和投资主体的变化,工程项目的规模大小不同,业主对设计、建设进度、周期要求各异等,建设程序将根据客观的需要而出现动态变化,具有一定的可变性。

1.2.2 建设中的执行者

1.2.2.1 主要执行者

建设过程中各项工作的主要执行者有以下单位或部门:

(1) 政府及有关部门。国家发展改革委员会、工业和信息化部、住房城乡建设部、环境保护部、交通运输部、商务部等及其下属省、市级相关单位。主要涉及金融、环保、消防、交通、国土、供电、供水等部门。

(2) 建设单位(业主)。工厂(企业)法人及法人机构、建设指挥部,以及下属的各种组织。

(3) 咨询单位。经政府有关部门批准或经认定具有相应咨询资格、资质等级的企业。

(4) 设计单位。经政府有关部门批准或经认定具有相应资质等级的一个或多个设计院、设计研究院、设计所、工程技术公司或其他设计咨询机构。

(5) 施工单位。具有冶金工厂施工安装资质等级,拥有一定数量的专业技术人员和工人,备有必要的施工机具和设备的一个或多个冶建公司、建安公司、安装队、施工队。

(6) 开车单位。从一个或一个以上具有同类冶金工艺流程和产品的生产厂聘请的专业技术人员和工人组成的临时机构。

(7) 工程总承包单位。能够履行建设单位、设计单位、施工单位、开车单位相应职责,对建设全过程实施全面管理的公司或企业,一般称工程技术公司。

工程设计建设的前期工作,一般由具有相应资质等级的咨询单位或设计单位或工程技术公司承担。咨询单位不能承担设计、施工、安装等工作。

1.2.2.2 设计单位与工程技术公司的主要区别

工程技术公司与设计院由于工作性质不同,主要差别有以下四个方面:

(1) 工程技术公司可以履行设计单位的全部职能,而设计单位只能履行工程技术公司的部分职能。

(2) 工程技术公司除完成工程咨询和设计工作外,还可以承担设备材料采购、施工安装管理和试车开车管理,而多数设计单位很难完成后面这部分工作。

(3) 工程技术公司一旦承接一个冶金工厂的建设,它可以代表建设单位全部(权)管理和执行建设程序,协调整个建设过程,对质量、工期、费用进行三大控制,最后将工厂的“钥匙”交给建设单位,而设计单位是无法做到的。

(4) 工程技术公司在建设中所起的作用,确定了它将与建设单位、施工单位、开车单位,甚至政府有关部门发生接口关系,而设计单位一般仅与建设单位发生关系。由于工程技术公司在建设过程中所起的作用、职能、工作范围等方面与设计单位不同,企业自身的管理体制、经营模式、专业设置等方面也有所不同。

1.3 前期设计

1.3.1 基本概念

1.3.1.1 前期设计

前期设计主要是收集设计基础数据,编制项目建议书、可行性研究报告、厂址选择报告和对外的技术及设备的询价书,完成规划(总体)设计。

1.3.1.2 项目建议书

项目建议书是在对项目进行初步调查、预测、分析后,描述工程项目的建设条件、生产规模与产品方案、生产工艺技术、环境保护、投资与效益等大致设想,并用于向政府部门提出的技术报告书。

1.3.1.3 立项

立项指政府部门对上述项目建议书的初步决策批复意见所形成的书面文本。

1.3.1.4 厂址选择

设计单位协同建设单位和地方部门进行工厂场地踏勘,主要调查当地的水文地质、环境状况、交通运输、社会依托等自然状况。经过多个场地的技术与经济比较,形成报告,供政府部门决策参考。

1.3.1.5 可行性研究

可行性研究就是根据工程项目的要求,在对影响拟建项目的各种因素进行认真的调查