

## 《化工设计》精品课程

### Design of Chemical Engineering

## 第四章 设备的工艺设计及化工设备图

### 基本要求

- (1) 掌握化工设备的选用和设计的一般原则
- (2) 熟练进行化工设备的选用(设计)
- (3) 熟练掌握化工设备图的绘制和阅读

### 第一节 化工设备选用及工艺设计的一般原则

化工设备从总体上分为两类：一类称标准设备或定型设备，是成批成系列生产的设备，可以现成买到；一类称非标准设备或非定型设备，是化工过程中需要专门设计的特殊设备。

标准设备有产品目录或样本手册，有各种规格牌号，有不同生产厂家。工艺设计的任务是根据工艺要求，计算并选择某种型号，以便订货。

非标准设备也是化工生产中大量存在的设备，它甚至是化工生产的一种特色。非标准设备工艺设计就是根据工艺要求，通过工艺计算，提出型式、材料、尺寸和其他一些要求。再由化工设备专业进行机械设计，由有关工厂制造。在设计非标准设备时，应尽量采用已经标准化的图纸。

选型和工艺设计的原则如下。

(1) 合理性。即设备必须满足工艺一般要求，设备与工艺流程、生产规模、工艺操作条件、工艺控制水平相适应，又能充分发挥设备的能力。

(2) 先进性。要求设备的运转可靠性、自控水平、生产能力、转化率、收率、效率要尽可能达到先进水平。

(3) 安全性。要求安全可靠、操作稳定、弹性好、无事故隐患。对工艺和建筑、地基、厂房等无苛刻要求；工人在操作时，劳动强度小，尽量避免高温高压高空作业，尽量不用有毒有害的设备附件附料。

(4) 经济性。设备投资省，易于加工、维修、更新，没有特殊的维护要求，运行费用减少。引进先进设备，亦应反复对比报价，考察设备性能，考虑是否易于被国内消化吸收和改进利用，避免盲目性。

总之，要综合考虑合理性、先进性、安全性、经济性的原则，审慎地研究，认真地设计。

### 第二节 化工设备的选用

为正确、方便地进行化工设备的工艺设计，现将一些常用的化工设备的选用及设计方法介绍如下。

#### 一、泵的选用与设计程序

(1) 确定泵型。根据工艺条件及泵的特性，首先决定泵的型式再确定泵的尺寸。从被

输送物料的基本性质出发，如物料的温度、粘度、挥发性、毒性、化学腐蚀性、溶解性和物料是否均一等因素来确定泵的基本型式。此外，还应考虑到生产的工艺过程和动力、环境等条件，如生产操作连续或间断运转、扬程和流量的波动范围、动力来源、厂房层次高低等因素。流量大而扬程不高时可选用单级离心泵；流量不大而扬程高的宜选往复泵或多级离心泵；输送有腐蚀性介质，选耐腐蚀泵；输送昂贵液体、剧毒或具有放射性能的液体选用完全不泄漏、无轴封的屏蔽泵；当要求精确进料时应选用计量泵或柱塞泵等。在选择泵的型式时，应以满足工艺要求为主要目标。

#### (2) 确定选泵的流量和扬程

①流量的确定和计算。选泵时以最大流量为基础。如果数据是正常流量，则应根据工艺情况可能出现的波动，开车和停车的需要等，在正常流量的基础上乘以1.1~1.2的安全系数。流量通常都必须换算成体积流量，因为泵生产厂家的产品样本中的数据是体积流量。

②扬程的确定和计算。先计算出所需要的扬程，即用来克服两端容器的位能差，两端容器上静压力差，两端全系统的管道、管件和装置的阻力损失，以及两端（进口和出口）的速度差引起的动能差。扬程值用柏努利方程计算，用米液柱表示。计算出的扬程不能作为选泵的依据，一般要放大5%~10%。

#### (3) 确定泵的安装高度。

(4) 确定泵的台数和备用率。按泵的操作台数，一般只设一台泵，在特殊情况下，也可采用两台泵同时操作。输送泥浆或含有固体颗粒及其他杂质的泵和一些重要操作岗位用泵应设有备用泵。对于大型的连续化流程，可适当提高泵的备用率，而对于间歇操作，泵的维修简易，操作很成熟的常常不考虑备用泵。

#### (5) 校核泵的轴功率。

泵的样本上给定的功率和效率都是用水试验出来的，输送介质不是清水时，应考虑密度、粘度等对泵的流量、扬程性能的影响。

#### (6) 确定冷却水或驱动蒸汽的耗用量。

#### (7) 选用电动机。

#### (8) 填写选泵规格表。

### 二、换热设备的设计和选用

#### 1. 换热器设计的一般原则

(1) 基本要求。换热器设计要满足工艺操作条件，能长期运转，安全可靠，不泄漏，维修清洗方便，满足工艺要求的传热面积，尽量有较高的传热效率，流体阻力尽量小，还要满足工艺布置的安装尺寸等要求。

(2) 介质流程。何种介质走管程，何种介质走壳程，可按下列情况确定：腐蚀性介质走管程，可以降低对外壳材质的要求；毒性介质走管程，泄漏的几率小；易结垢的介质走管程，便于清洗和清扫；压力较高的介质走管程，这样可以减小对壳体的机械强度要求；温度高的介质走管程，可以改变材质，满足介质要求；粘度较大，流量小的介质走壳程，可提高传热系数。从压降考虑，雷诺数小的走壳程。

(3) 终端温差。换热器的终端温差通常由工艺过程的需要而定。但在工艺确定温差时，应考虑换热器的经济合理和传热效率，使换热器在较佳范围内操作。一般认为：

①热端的温差应在20℃以上；

②用水或其他冷却介质冷却时，冷端温差可以小一些，但不要低于5℃；

③当用冷却剂冷凝工艺流体时，冷却剂的进口温度应当高于工艺流体中最高凝点组分的凝点59℃以上；

④空冷器的最小温差应大于20℃；

⑤冷凝含有惰性气体的流体时，冷却剂出口温度至少比冷凝组分的露点低5℃。

(4) 流速。在换热器内，一般希望采用较高的流速，这样可以提高传热效率，有利于冲测污垢和沉积。但流速过大，磨损严重，甚至造成设备振动，影响操作和使用寿命，能量消耗亦将增加。因此，比较适宜的流速需经过经济核算来确定。根据经验，常用流速范围如下。

流体在直管内常见流速:

冷却水(淡水) 0.7~3.5m/s	冷却用海水 0.7~2.5m/s	低粘度油类 0.8~1.8m/s
粘度油类 0.5~1.5m/s	油类蒸气 5.0~15m/s	气液混合流体 2.0~6.0m/s

壳程内的常见适宜流速:

水及水溶液 0.5~1.5m/s	低粘度油 0.4~1.0m/s	高粘度油 0.3~0.8m/s
油蒸气 3.0~6.0m/s	气液混合流体 0.5~3.0m/s	

(5) 压力降。压力降一般随操作压力不同而有一个大致的范围。压力降的影响因素较多，但通常希望换热器的压力降在下述参考范围之内或附近。

(6) 传热系数。传热面两侧的传热膜系数 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 如相差很大时， $\alpha$ 值较小的一侧将成为控制传热效果的主要因素，设计换热器时，应设法增大该侧的传热膜系数。计算传热面积时，常以小的一侧为准。增加 $\alpha$ 值的方法通常是：

- ① 缩小通道截面积，以增大流速；
- ② 增设挡板或促进产生湍流的插入物；
- ③ 管壁上加翅片，提高湍流程度也增大了传热面积；
- ④ 糙化传热表面，用沟槽或多孔表面，对于冷凝、沸腾等有相变化的传热过程来说，可获得大的膜系数。

(7) 污垢系数。换热器使用中会在壁面产生污垢，在设计换热器时要慎重考虑流速和壁温的影响。从工艺上降低污垢系数，如改进水质，消除死区，增加流速，防止局部过热等。

(8) 尽量选用标准设计和标准系列。这样可以提高工程的工作效率，缩短施工周期，降低工程投资。

## 2. 管壳式换热器的设计和系列选用

(1) 汇总设计数据、分析设计任务根据工艺衡算和工艺物料的要求、特性，获得物料流量、温度、压力和化学性质、物性参数，取得有关设备的负荷、流程中的地位与流程中其他设备的关系等数据。

(2) 设计换热流程在换热设计时，应将换热的工艺流程仔细探讨，以利于充分利用热量，充分利用热源。

(3) 选择换热器的材质根据介质的腐蚀性能和其他有关性能，按照操作压力，温度，材料规格和制造价格，综合选择。

(4) 选择换热器类型根据热负荷和选用的换热器材料，选定某一种类型。

(5) 确定换热器中冷热流体的流向据热载体的性质，换热任务和换热器的结构，决定采用并流，逆流或错流折流等。

(6) 确定和计算平均温差 $\Delta t_m$ 确定终端温差，根据化学工程有关公式，算出平均温差。

(7) 计算热负荷 $Q$ 、流体给热系数 $\alpha$ 可用粗略估计的方法，估算管内和管间流体的给热系数 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 。

(8) 估计污垢热阻系数并初算出传热系数 $K$ 在有关书中已详细叙述，利用现有各种工艺算图，将公式和经验汇集在一起，可以方便地求取 $K$ 。在许多设计工作中， $K$ 常常选取一些经验值，作为粗算或试算的依据，许多手册书籍中都罗列出各种条件下的 $K$ 的经验值。但经验值所列的数据范围较宽，应作试算，并与 $K$ 值的计算公式结果参照比较。

(9) 算出总传热面积 $A$ 。

(10) 调整温度差,再算一次传热面积。在工艺的允许范围内,调整介质的进出口温度,或者考虑到生产的特殊情况,重新计算 $\Delta t_m$ ,并重新计算A值。

(11) 选用系列换热器。根据两次或三次改变温度算出的传热面积A,并考虑有10%—25%的安全系数,确定换热器的选用传热面积A。从国家标准系列换热器型号中,选择符合工艺要求和车间布置(立式或卧式,长度)的换热器,并确定设备的台数。

(12) 验算换热器的压力降。一般利用工艺算图或由摩擦系数通过化学工程的公式计算。如果核算的压力降不在工艺的允许范围之内,应重选设备。

(13) 画出换热器设备草图。由设备机械设计人员完成换热器的详细部件设计。

### 三、贮罐容器的选型和设计

#### (一) 贮罐的选择

按使用目的的不同,可分为贮存容器的计量、回流、中间周转、缓冲、混合等工艺容器。

#### (二) 设计贮罐的一般程序

(1) 汇集工艺设计数据。包括物料衡算和热量衡算,贮存物料的温度、压力,最大使用压力、最高使用温度、最低使用温度,腐蚀性、毒性、蒸汽压、进出量、贮罐的工艺方案等。

(2) 选择容器材料。对有腐蚀性的物料可选用不锈钢等金属材料,在温度压力允许时可用非金属贮罐、搪瓷容器或由钢制压力容器衬胶、搪瓷、衬聚四氟乙烯等。

(3) 容器型式的选用。我国已有许多化工贮罐实现了系列化和标准化。在贮罐型式选用时,应尽量选择已经标准化的产品。

(4) 容积计算。容积计算是贮罐工艺设计和尺寸设计的核心,它随容器的用途而异。

① 单纯用于贮存原料和成品的贮罐。这类贮罐的体积与需要贮存的物料有十分明显的关系。原料的贮存有全厂性的原料库房贮存和车间工段性的原料贮存。根据运输条件和消耗情况,全厂性的贮罐一般主张至少有一个月的耗用量贮存;车间的贮罐一般考虑至少半个月的用量贮存。

液体产品贮罐一般设计至少有一周的产品产量。如厂内使用的产品可视下工段(车间)的耗量,贮存下一工段一个月以上或两个月的使用数量;如果是出厂的终端产量,作为待包装贮罐,存量可以适当小一些,最多可以考虑半个月的产量。液体贮罐的装载系数通常可达80%,这样可以计算出原料产品的最大贮存量。

气柜一般可以设计得稍大些,可以达两天或略多时间的产量。因为气柜不宜旷日持久贮存,当下一工段停止使用时,前一产气工序应考虑停车。

② 中间贮罐。中间贮罐的使用场合包括原料、产品、中间产品的主要贮罐,当它们距工艺设施较远,或者原料或中间体间歇供应是作调节之用,或者需测试检验以确定去向(如多组分精馏确定产品合格与否的中间性贮罐),或者工艺流程中要求切换、翻罐挪转的贮罐等。这一类贮罐有时称“昼夜罐”,即是考虑一昼夜的产量或发生量的贮存罐。

③ 计量罐、回流罐。计量罐的容积一般考虑最少为10-15min,多则2h的产量的储存。计量罐装载系数一般只考虑60%—70%,因为计量罐的刻度一般在罐的直筒部分,使用刻度常为满量程的80%—85%。回流罐一般考虑5—10min左右的液体保有量,作冷凝器液封之用。

④ 缓冲罐、汽化罐。缓冲罐的目的是使气体有一定数量的积累,保持压力比较稳定,从而保证工艺流程中流量稳定。其容量通常是下游设备5-10min的用量,有时可以超过15min的用量,以备在紧急时有充裕时间处理故障、调节流程或关停机器。汽化罐(可加热可不加热)的物料汽化空间通常是贮罐总容积的一半。汽化空间的容量大小,通常根据物料汽化速度来估计,一般希望汽化空间足够下游岗位3min以上的使用量,至少在2min左右。

⑤混合、拼料罐。化工产品有一些是要随间歇生产而略有波动变化的，如某些物料的固含量、粘度、pH值、色度等可能在某个范围内波动。为使产物质量均一，或减少出厂检验的批号分歧，在产品包装前将若干批料加以拼混，俗称“混批”。混批罐的大小，根据工艺条件而定，考虑若干批的产量，装载系数约70%（用气体鼓泡或搅拌混合）。

⑥包装罐。包装罐一般可视同于中间贮罐，原则上是昼夜罐。对于需要及时包装的贮罐、定期清洗的贮罐，容积可考虑偏小。要根据工艺条件和要求、贮存条件等决定其有效容积。不同场合下，装载系数不一样。一般在60%—80%左右，某些场合（如汽化空间）可低至50%或更少，有时可以高至85%。

(5) 确定贮罐基本尺寸根据物料密度、卧式或立式的基本要求、安装场地的大小，确定贮罐的大体直径。依据国家规定的设备零部件即筒体与封头的规范，确定一个尺寸。据此计算贮罐的长度，核实长径比，如长径比太大（即偏长）或太小（即偏圆），应重新调整，直到大体满意。

(6) 选择标准型号各类容器有通用设计图系列。根据计算初步确定它的直径、长度和容积，在有关手册中查出与之符合或基本相符的标准型号。

(7) 开口和支座在选择标准图纸之后，要设计并核对设备的管口。在设备上考虑进料、出料、温度、压力（真空）、放空、液面计、排液、放净以及人孔、手孔、吊装等装置，并留有一定数目的备用孔。如标准图纸的开孔及管口方位不符合工艺要求而又必须重新设计时，可以利用标准系列型号在订货时加以说明并附有管口方位图。容器的支承方式和支座的方位在标准图系列上也是固定的，如位置和形式有变更时，则在利用标准图订货时加以说明，并附有草图。

(8) 绘制设备草图（条件图），标注尺寸，提出设计条件和订货要求选用标准图系列的有关图纸，应在标准图的基础上，提出管口方位、支座等的局部修改和要求，并附有图纸，作为订货的要求。如标准图不能满足工艺要求，应重新设计，绘制设备容器的外形轮廓，标注一切有关尺寸，包括容器管口的规格，并填写“设计条件表”，由设备专业的人员，进行非标准设备设计。

#### 四、塔器的选型与设计

##### 1. 塔型选择基本原则

①生产能力大，弹性好。随着化工装置大型化，生产能力要求尽量地大，而根据生产经验，工艺流程中精馏往往是限制环节。很多精馏塔设计中考虑诸如造价、结构或压降、分离效率等因素较多，而常常未将塔的操作弹性放在重要位置，从而造成投产后设备不大适应工艺条件和生产能力的较大波动。

②满足工艺要求，分离效率高。工艺上要分离的液体有很多特殊要求，如沸点低、难分离、有腐蚀性、有污垢物等，对塔型要慎加选择。

③运转可靠性高，操作、维修方便。

④结构简单，加工方便，造价较低。

⑤塔压降小。对于真空塔或要求塔压降低的塔来说，压降小的意义更为明显。

通常选择塔型未必能满足所有的原则，应抓住主要矛盾，最大限度满足工艺要求。

##### 2. 填料塔设计程序

(1) 汇总设计参数和物性数据处理。包括全塔的物质平衡，塔的温度、压力，塔内液相和气相的流量，气液相物料的密度、粘度、扩散系数，汽液平衡数据、亨利常数、溶解度数据等；工艺要求包括工艺过程中要求塔分离后物料的纯度、工艺物料衡算中要求塔的产率等。

(2) 选用填料。填料是填料塔内汽—液接触的核心元件。填料类型和填料层的高度直接影响传质效果。因而，选择填料是填料塔设计的一个重要内容。填料选择有下列要求：

比表面积要尽可能大；空隙率压迫尽可能大；填料表面要有较好的液体均匀分布性能，有较好的润湿性，防止壁流和沟流；气体通过填料层的阻力要小，并能在填料层中均匀分布；制造容易，价格适当；有足够的机械强度，但又力求质轻；不与塔内物料发生化学反应，有较好的化学稳定性。

填料的材质很多。对于拉西环来说，常用陶瓷，此类填料除了IIF和热的浓碱液外，能用于所有条件；金属填料易于加工，可成批生产，应用也十分普遍；塑料填料兼有二者的特点，但温度限制大，不能用于高温；此外还有石墨质填料、其他轻金属、贵金属、稀有金属—填料等。除了选择填料的型式、形状外，填料的大小也有一定的要求。具体的种类及其特性可查阅相关手册。

### (3) 确定塔径D

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi u}}$$

式中  $V$ ——气体的体积流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$u$ ——操作气速， $\text{m}/\text{s}$ 。

操作气速应比泛点气速小，才能保证塔在操作中不发生液泛。操作气速与泛点气速之比为泛点率。通常情况下，泛点率取0.6—0.8；对于易起泡物料体系，泛点率可取0.5或更小；对于加压塔，泛点率可取稍大一些。目前工程设计中常用埃克特（Eckert）通用关联图来计算填料塔的泛点气速和压降。查出泛点气速，通过泛点率计算操作气速（空塔气速） $u$ 之后，可以方便地算出塔径D。

算出的塔径要根据国家压力容器公称直径的标准系列进行圆整。塔径圆整后，再根据实际塔径重新计算实际空塔速度。

(4) 计算填料塔压降。以Eckert通用关联图计算填料塔压降仰，如果如超出工艺要求时，应重新估算塔径；也可由 $\Delta p$ 通过Eckert关联图反求操作气速 $u$ ，再重新计算塔径。为使填料塔能在良好的工况下操作，每米填料层的压降不能太大，一般正常压降 $\Delta p=147\sim 490\text{Pa}$ ，真空操作下 $\Delta p\leq 78.45\text{Pa}$ 。

(5) 验算。塔内的喷淋密度应按实际塔径验算塔内的喷淋密度是否大于最小喷淋密度。如果喷淋密度太小，将不能保证填料充分润湿，应重新调整计算。

(6) 计算填料层高度 $Z$ 。填料层高度的计算是填料塔设计中重要的一环。有许多计算方法和经验公式，通常采用“传质单元法”和“等板高度法”。

### (7) 计算塔的总高度H

$$H=H_d+Z+(n-1)H_f+H_b$$

式中  $H_d$ ——塔顶空间高度（不包括封头）， $\text{m}$

$H_f$ ——液体再分布器的空间高度， $\text{m}$

$H_b$ ——塔底空间高度， $\text{m}$

$n$ ——填料层分层数。

液体经填料后向下流动时，有趋向塔壁的趋势，因此每隔一定距离要安置液相再分布器，以克服壁流现象。再分布器的设置就确定了填料的分层。再分布器之间的距离 $Z_0$ ，一般如 $\Phi 400\text{mm}$ 以下小塔，可以有较大的 $Z_0$ ，如对拉西环 $Z_0=(2.5\sim 3)D$ ，对于鲍尔环 $Z_0=(5\sim 10)D$ 。对于大塔， $Z_0$ 一般不大于6m。

### (8) 塔的其他附件设计和选定

①支撑板。填料层底部支撑板常被设计者忽视，而造成阻力过大，特别是孔板式支撑

尤为明显。一般要求满足两个条件，即自由截面积不小于填料的空隙率，支撑板强度足以支承填料重量。

②液体喷淋装置。它直接影响到塔内填料表面的有效利用率。喷淋装置形式很多，常见的有弯管式、缺口管式、多孔直管式、莲蓬头式喷洒器、分布盘等。

③液体再分布装置。为了防止液相沿塔壁运行，每隔一定高度要有液体再分布装置。常见的有截锥式和升气管式分布器。

④气体分布器。为保证气体分布的均匀性，对于直径500mm以下的小塔，进气管可伸至塔中心，末端截成45°向下，使气流转折而上；对于大塔，可以制成向下的喇叭形扩大口，或制成盘管式。

⑤除雾器。当空塔气速较大时，塔顶喷淋装置可能产生溅液或者工艺过程严格要求气相中不允许夹带雾沫，则应设计除雾装置。常用除雾装置有折板除雾器、丝网除雾器、旋流板除雾器，或者在液相喷淋装置与气体出口之间装有一段干填料实施填料除雾等。

(9) 绘制塔设备结构图，向设备专业提供工艺设计条件绘制塔设备简图，并标注必要的尺寸，注明各管口的位置等。

### 3. 板式塔设计程序

(1) 汇总设计参数和物性数据。

(2) 选择板式塔的塔板结构常根据物料特性、分离要求来确定塔板结构。为了便于设备设计和制造，在满足工艺要求条件下，原化工部有关部门将一些塔板结构参数加以系列化，设计时可以直接选用。

(3) 进行工艺计算

①根据工艺要求，确定塔顶、塔釜产品的质量确定分馏任务（负荷），选择其中两个组分作为轻关键组分及重关键组分。关键组分在塔顶和塔釜的分配，一般根据工艺要求分离的纯度来定，而其他组分则依气液平衡逐次求得。但对于相对挥发度与关键组分邻近的那些组分，不宜采用清晰分割假定。

②确定塔顶和塔釜操作压力。

③进行全塔物料衡算，列出全塔物料平衡表。

④根据气液相平衡关系，验算操作压力，并估算塔顶、塔釜温度。

⑤选定进料状态，确定进料温度。

⑥求最小回流比 $R_m$ 确定实际回流比 $R$ 。实际回流比 $R$ 的确定，一般应通过全面的经济核算来确定。在无法仔细核算时，对于易分离体系 $R = (1.1 - 2) R_m$ ；对于难分离体系 $R = (3 - 5) R_m$ 。

⑦求取理论板数，确定加料位置。先计算最少理论板数 $N_{min}$ ，可用芬斯克方程进行估算。再用吉利兰图计算理论塔板数 $N$ ，但误差较大。工程上可以用逐板算法最终确定理论板数。

⑧计算塔内温度分布，确定灵敏板位置

⑨全塔热量衡算，塔釜再沸器、塔顶冷凝器热量衡算。

⑩计算或查图表求得板效率，最终确定实际塔板数。

(4) 塔径计算

不同的板式塔，计算方法略有出入、这里介绍有降液管板式塔（如筛板塔、浮阀塔等）的计算方法。

①初估塔径。

②塔径核算。先验算雾沫夹带量，根据所选塔板型式及有关其塔板系列参数计算夹带量，如不符合要求可作必要调整。有关塔板系列参数已有国家标准，需要时可从有关手册

中查到。

③塔盘结构设计。塔盘结构种类很多，而同一塔盘型式（如浮阀塔）又有不同的形状、构造区别。塔板上的开孔率、液流形式、降液管和堰的尺寸等都可从有关手册中查到或通过有关经验公式计算出。另外，还要计算降液管与下一层塔板间距等，这些都可从有关手册中塔的塔顶空间和塔底各开一个人孔，物料清洁不需要经常清洗时每隔6—8块板可以开一个人孔，物料较脏需要经常清洗时一般可以每隔3—4块板开一个人孔。直径小于900mm的塔一般常开手孔，开孔原则与人孔相似。

(6) 塔高确定。

$$H = H_d - (N - 4 - S) H_t + H_b + 3H_f + S \cdot H_f'$$

式中 H—塔高（不包括上封头和裙座）；

$H_d$ —塔顶空间高，常取1.2—1.5m；

$H_f$ —进料孔处板间距，常取1.2—1.4m； $H_b$ —塔底空间高，常取1.3—2.0m；

$H_t$ —板间距，m；

$H_t'$ —开手孔（人孔）处板间距， $H_t' \geq 0.6$ m；

N—实际塔板数（不包括釜式再沸器）；

S—手孔或人孔数（不包括塔顶、塔釜空间所开人孔）。

(7) 塔内流体力学核算，作负荷性能图。

(8) 辅助装置选型设计。

(9) 绘制塔设备草图和设备设计条件图，包括支承、开口方位、人孔、手孔位置等。

## 五、反应器的选型和设计

### 1. 反应器的设计要点

在反应器设计时，除了通常说的“合理、先进、安全、经济”原则，在落实到具体问题，考虑下列设计要点：

(1) 保证物料转化率和反应时间。设计者根据物料的转化率和必要的反应时间，在选择反应器型式时，可以作为重要依据；选型以后，可计算反应器的有效容积，确定长径比及其他基本尺寸，决定设备的台件数。

(2) 满足反应的热传递要求。化学反应往往都有热效应，要及时移出或加入适量热量，因此在设计反应器时，要保证有足够的传热面积，并有一套能适应所设计传热方式的有关装置。此外，在设计反应器时还要有一套温度测控系统。

(3) 设计适当的搅拌器或类似作用的机构物料在反应器内接触，应当满足工艺规定的要求，使物料处于湍流的状态，有利于传热传质过程的实现。对于釜式反应器，依靠搅拌器来实现物料流动和混合接触；对于管式反应器，往往由外加动力调节物料的流量和流速。

(4) 注意材质选用和机械加工要求反应釜的材质选用通常都是根据工艺介质有无腐蚀性，或在反应产物中防止铁离子渗入、要求无锈，或要考虑反应器在清洗时可能碰到腐蚀性介质等。此外，选择材质与反应器的反应温度、加热方法有关联，与反应粒子的摩擦程度、摩擦消耗等因素也有关。

### 2. 反应釜设计程序

(1) 确定反应釜操作方式根据工艺流程的特点，确定反应釜是连续操作还是间歇操作。

(2) 汇总设计基础数据工艺计算依据如生产能力、反应时间、温度、装料系数、物料膨胀比、投料比、转化率、投料变化情况以及物料和反应产物的物性数据、化学性质等。

(3) 计算反应釜体积

①连续反应。由工艺设计规定的生产能力，确定全年的工作时数，算出每小时反应釜需要处理（或生产）的物料量（汽）。根据物料的平均停留时间（约和设备的台数就可以算出每台釜的物料体积。在选用反应釜时，一般把选用的台数与实际操作的台数之间，用



一个设备备用系数 $n$ 关联， $n$ 通常为1.05~1.30。

②间歇反应。从工艺设计要求的年产量决定日投料量( $V_c$ )，再从每釜反应所用的时间(包括辅助时间等) $t_{釜}$ ，算出24小时内釜的反应周期数( $\alpha = 24/t_{釜}$ )、每釜处理的物料体积( $V_p = V_c/\alpha$ )，得到每釜实际体积( $V = V_p/\phi$ )。间歇釜的装料系数式可以比连续操作再适当放宽些，取上限或略大。

(4)确定反应釜设计(选用)体积和台数根据上列计算的反应釜“实际体积”和反应釜台件数 $m(m = m_p \cdot n)$ 都只是理论计算值，应加以圆整。若选用系列产品的反应釜，应根据规定的反应釜体积系列(如500L, 1000L, 1500L等)加以圆整，连同设备台数 $m$ ，一并确定。例如计算出： $V = 1.25\text{m}^3$ ， $m = 3.45$ ，则可以选用 $1.5\text{m}^3$ (1500L)反应釜3台，或1000L反应釜5台，2000L反应釜3台。一般说，反应釜体积越小，相对传热面积越大，搅拌效果越好，物料返混激烈等，但停留时间未必符合要求。

如系非标准设备的反应釜，则还要决定长径比以后再校算，但可以初步确定为一个尺寸，即将直径确定为一个国家规定的容器系列尺寸。

(5)反应釜直径和筒体高度、封头确定反应釜直径为 $D$ ，筒高为 $H$ ，长径比为 $r(r = H/D)$ 。对于反应釜设计，先确定长径比，一般取 $r = 1 \sim 3$ ，根据工艺条件和经验，不同反应有各自的长径比。 $r$ 越接近于1，釜型属矮胖型(如K型)，单位体积内消耗的钢材最少，液体比表面大，适于间歇反应。 $r$ 增大，釜向瘦长型趋近。当 $r = 3$ 时，就是常见的半塔式反应釜(生物化工中常用)。单位体积釜内传热面积增大。 $r$ 愈大，传热比面积越大，可以减少返混，对于有气体参加的反应较为有利，停留时间较长，但加工困难，材料耗费较高，搅拌支承也有一定的难度。

$r$ 根据工艺条件和经验大体选定之后，先将釜的直径 $D$ 确定下来(圆整结果)，再确定封头型式，查阅有关机械手册，并查出封头体积(下封头) $V_{封头}$ ，则釜的体积为：

$$V = (\pi/4)D^2H + V_{封头}$$

如果 $V$ 不合适，可重新假定直径(圆整)再试算直到满意为止。

(6)传热面积计算和校核反应釜最常见的冷却(加热)形式是夹套。它制造简单，不影响釜内物流的流型，但传热面积小，传热系数也不大。釜的长径比直接影响到传热面积，传热面积计算公式和方法同一般传热体系。如果计算传热面积(须以投料高度计算)足够，则认为前面所确定的长径比合适或所选系列设备合适。否则要调整尺寸。如计算传热面积不够，则可能应在釜内设置盘管、列管、回形管以增大传热面积。但釜内构件增加，将影响物流，易粘壁、结垢或有结晶沉淀产生的反应通常不主张设置内冷却(或传热)器。

在进一步确定反应釜型式和尺寸并经过校算之后，才能最终确定釜型和容积直径及其他基本尺寸。

(7)搅拌器设计对于搅拌器的选型，一般根据液体粘度、釜的容积、操作目的和主要影响因素来选型。各类文献都有许多选型表格可供参考。

(8)管口和开孔设计根据工艺要求有进出料口，夹套开孔，釜底釜盖开孔，有关仪器仪表接口，手孔、人孔，备用口等。

(9)画出反应器设计草图(条件图)，或选型型号。

### 3. 固定床反应器设计

对于气固相催化反应的固定床来说，主要问题是催化剂的体积和用量，床层堆积方案、床径和高度，传热面积。通常设计步骤如下。

(1)汇总物料衡算和物性数据按工艺要求的年生产量算出要求的每小时进料量( $V_{in}$ )。

(2)计算床体体积根据经验和生产数据，确定催化剂的时空速率 $U$ ，则催化剂的体积( $V_c$ ):

$$V_c = V_h / U$$

式中  $V_c$ ——催化剂体积,  $m^3$ ;  
 $V_h$ —工艺要求每小时气体流量,  $m^3 / h$ ;  
 $U$ —催化剂时空速率,  $m^3$ 物料 / ( $m^3$ 催化剂·h)。  
 床体体积  $V = V_1 + V_2 + V_c + V_o$

式中  $V$ —固定床体积,  $m^3$ ;  
 $V_1$ —原料分布体积空间(下空间),  $m^3$ ;  
 $V_2$ —物料分离空间(上空间),  $m^3$ ;  
 $V_c$ —催化剂体积,  $m^3$ ;  
 $V_o$ —堆积空隙体积,  $m^3$ 。

(3) 计算床高和直径假设一个圆整直径, 根据床内有效体积核算床层高度, 再估算催化剂堆积高度, 验算气速, 保证反应的停留时间。如果假设不合理, 重新假设再试算。

(4) 验算流体阻力和传热系数K流体阻力太大说明床径设计太小, 动力消耗偏大。宁可增加催化剂体积, 而不主张流体阻力偏大, 以免整个系体的操作变得麻烦。传热系数K值, 经常取某个经验值或中试实测值。

(5) 绘制反应器设计条件图决定床层和床底、床顶的开口方位、标注尺寸等。

### 第三节 非定型设备设计的主要程序

设备的工艺设计, 是化工工程设计中的一项繁重、量大、技术要求高的工作, 其中标准设备和定型设备可根据工艺设计条件从有关资料中查出, 直接列表, 但非定型设备则要求进行设计。设计中的主要工作和程序如下。

(1) 工艺流程上确定设备的化工单元类型。这一步在化工工艺流程设计时已大体确定, 如使用旋风分离器实现气固分离, 用气流干燥装置实现干燥, 用离心机过滤进行液固分离等。在经过化工物料衡算之后, 进行设备工艺计算时, 仍有可能确定更为先进的化工单元过程和设备, 从而对工艺流程提出修正和更改。

(2) 确定设备材质。根据工艺操作条件和设备的工艺要求, 确定适应要求的设备材质。

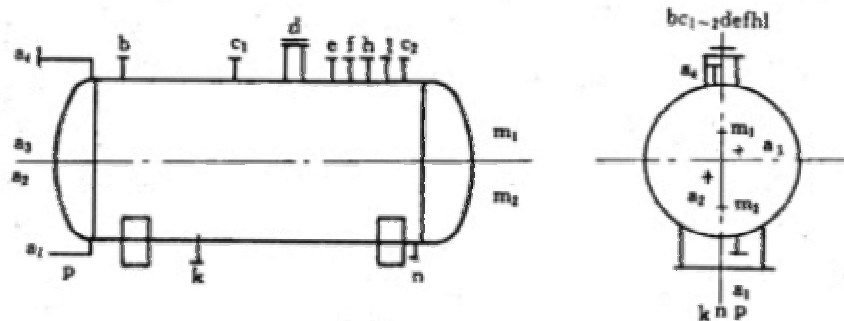
(3) 汇集设计条件。根据物料衡算和热量衡算, 确定设备负荷、转化率和效率要求, 确立设备的工艺操作条件如温度、压力、流量、流速、投料方式和投料量、卸料、排渣形式、工作周期等, 作为设备设计和工艺计算的主要依据。

(4) 选定设备的基本结构型式。根据各类设备的性能、使用特点和适用的范围, 依据各类规范、样本和说明书、进行权衡比较, 确定该设备的基本结构型式。

(5) 设计设备的基本尺寸。根据设计数据进行必要的计算和分析, 确定化工设备的基本外形尺寸, 如外径、高度、搅拌器主要尺寸、转速、容积、流量、压力等; 确定设备的各种工艺附件, 如进出料口、排料装置等; 设备基本尺寸计算和设计完成之后, 画出设备示意草图, 标注各类特征尺寸(见表4-1、表4-2)。

表 4-1 设备设计条件 (1)

条件内容修改							
修改标记	修改内容	签字	日期				
简图与说明						比例	



(6) 选型和选择标准图纸确定基本结构型式之后，根据工艺计算，选用某一个型号的设备。定型设备有型号可查，不是定型设备的，在设计出基本尺寸之后，应查阅有关标准规范，将有关尺寸规范化，尽量选用标准图纸。

(7) 设计成果数据汇总。

(8) 向设备制造设计（机械设计）专业提出设计条件和设备草图由设备设计专业人员根据各种规范进行机械设计、强度设计和检验，提出施工图等，而工艺设计人员则应向他们提出设计的条件，如材质、温度、压力、装载系数、运转周期、维修安装要求和设备开口、支承等等（见表4-1、表4-2）。

(9) 汇总列出设备一览表。

表 4-2 设备设计条件 (2)

参考图		设计参数及要求			
名称	容器内 (液氨、气氨)	夹套(管)内	名称	容器内 (液氨、气氨)	夹套(管)内
组分	NH <sub>3</sub> 98%、油水 2%		触媒容积/相对密度		
物性	相对密度(40℃)	0.5795	腐(磨)蚀速率	0.20mm/年	
	特性		设计寿命	10 年	
	粘度		壳体材料	16MnR	
工作压力/MPa	2.16		内件材料		
设计压力/MPa	2.40		衬里防腐要求		
位置/型式	容器上/弹簧安全阀 DN 50		名称		
规格/数量	ND 25, DN 50/1		厚度/mm		
开启(爆破)压力/MPa	2.3		容重/(kg/m)		
工作温度/℃	40		安装检修要求		
设计温度/℃	50		基本风压		
环境温度/℃	-15		地震基本烈度		
壁温/℃	40		场地类别	II 类	
全容积/m <sup>3</sup>	50		密闭要求	较密闭	
操作容积/m <sup>3</sup>	42.5		操作方式及要求	连续压力波动 0.05 ~ 0.1MPa	
传热面积/m <sup>2</sup>			静电接地		
换热管规格			其他要求		

## 第四节 化工设备图

### 一、化工设备图的基本知识

化工设备主要指在化工生产中常用的罐、釜、塔器、换热器、贮槽（罐）等标准和非标准设备。为了能完整、正确、清晰地表达这些化工设备，就必须绘制化工设备图。常用的化工设备图有化工设备总图、装配图、部件图、零件图、管口方位图、表格图及预焊接件图。作为施工设计文件的还有工程图、通用图和标准图。

#### 1. 化工设备图的分类

常用的化工设备图根据其主次关系、具体表示部位等常作如下分类：

(1) 总图。表示化工设备以及附属装置的全貌、组成和特性的图样。它应表达设备各主要部分的结构特征、装配连接关系、主要特征尺寸和外形尺寸，并写明技术要求、技术特性等技术资料。

(2) 装配图。表示化工设备的结构、尺寸、各零部件间的装配连接关系，并写明技术要求和技术特性等技术资料的图样。

(3) 部件图。表示可拆或不可拆部件的结构形状、尺寸大小、技术要求和技术特性等技术资料的图样。

(4) 零件图。表示化工设备零件的结构形状、尺寸大小、及加工、热处理、检验等技术资料的图样。

(5) 管口方位图。管口方位图是化工工程图中特有的一种图纸，是表示化工设备管口方向位置，管口与支座、地脚螺栓的相对位置的简图。

(6) 表格图。对于那些结构形状相同，尺寸大小不同的化工设备、部件、零件（主要是零部件），用综合列表的方式表达各自的尺寸大小的图样。

(7) 标准图。经国家有关主管部门批准的标准化或系列化设备、部件或零件的图样。

(8) 通用图。经过生产考验，结构成熟，能重复使用的系列化设备、部件和零件的图纸。

#### 2. 化工设备图的基本内容

一份完整的化工设备图，除绘有设备本身的各种视图外，尚应有如下基本内容，各栏除“技术要求”栏用文字说明外，其余均以表格形式列出（见图4-1）。

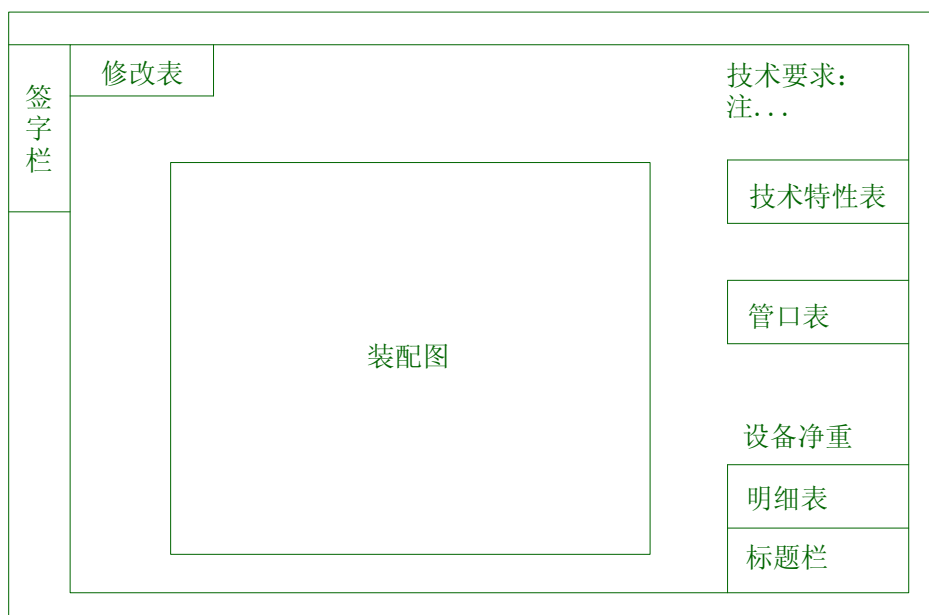


图4-1 化工设备图的基本内容

(1) 标题栏。本栏主要为说明本张图纸的主题，包括：设计单位名称，设备（项目）名称，本张图纸名称，图号，设计阶段，比例，图纸张数（共\_\_张、第\_\_张），以及设计、制图、校核、审核、审定等人的签字及日期。

(2) 明细表。明细表是说明组成本张图纸的各部件的详细，一般格式如下：

件号	图号或标准号	名称	数量	材料	单重	总重	备注
					重量/kg		

(3) 管口表。是将本设备的各管口用英文小写字母自上而下按顺序填入表中，以表明各管口的位置和规格等。

(4) 技术特性表。是化工设备图的一个重要组成部分，它将设备的设计、制造、使用的主要参数（设计压力、工作压力、设计温度、工作温度、各部件的材质、焊缝系数、腐蚀裕度、物料名称、容器类别及专用化工设备的接触物料的特性等）技术特性以列表方式供施工、检验、生产中执行。

(5) 技术要求。一般以文字对化工设备的技术条件，应该遵守和达到的技术指标等，逐条书写清楚，这些技术条件从安全角度出发，要求也较严格，通常应注写如下几个方面的内容。

①通用技术条件。通用技术条件是同类化工设备在加工、制造、焊接、装配、检验、包装、防腐、运输等方面的技术规范，已形成标准，在技术要求中直接引用。在书写时，只需注写“本设备按xxxxx（具体写上某标准的名称及代号）制造、试验和验收”即可。

②焊接要求。在技术要求中，通常对焊接接头型式，焊接方法，焊条（焊丝）、焊剂等提出要求。通常需遵守HG 15-89, HGJ 17-89, GB 895-89、GB 896-81、GB 324-88。

③设备的检验。一般有对主体设备的水压和气密性进行试验，对焊缝的射线探伤，超声波探伤、磁粉探伤等，这些项目都有相应的试验规范和技术指标。

④其他要求。a. 机械加工和装配方面的规定和要求。b. 设备的油漆、防腐、保温（冷）、运输和安装、填料等要求。

(6) 其他

①在较完善的设备图中，尤其是压力容器的图中，采用“制造、检验主要数据表”，它综合了常规的“技术特性表”和“技术要求”，以综合表的方式反映了化工设备技术特性，由于它数据完善、清晰、集中、技术要求全面，因此取代了常规的“技术特性表”和“技术要求”。

②为便于运输、安装等还需要在明细表的上端标注设备的净重。若设备中有不锈钢等特殊或贵重金属及填料、砌筑等则须分项列出。

③在一些图纸中，还列有修改表和选用表，供在设备修改及选用时填写，以便随时掌握设备变更和选用的情况。

④一些图纸中还列有相关的图纸简单目录，方便检索。

⑤为明确责任，便于联系，多数图纸还在图左上侧内外轮廓线间，列出描图、校核、及会签签字栏。

(7) 注。常写在技术要求的下方。用来补充说明技术要求范围外，但又必须作出交待的问题。

## 二、化工设备图的表达特点

由于化工设备结构特点的要求，一张化工设备的装配图，它除了具有一般机械装配图

相同的内容（一组视图、必要的尺寸、技术要求、明细表及标题栏）外，还有技术特性表、接管表、修改表、选用表以及图纸目录等内容、以满足化工设备图的特定的技术要求。

##### 1. 化工设备的基本结构特点

常见的几种典型的化工设备，如容器、反应罐、换热器和塔等，这些化工设备虽然结构形状、尺寸大小、以及安装方式各不相同，但构成设备的基本形体，以及所采用的许多通用零部件却有共同的特点。

(1) 基本形体以回转体为主。化工设备多为壳体容器，要求承压性能好，制作方便、省料。因此其主体结构如筒体、封头等，以及一些零部件（人孔、手孔、接管等）多由圆柱、圆锥、圆球和椭球等构成。

(2) 各部结构尺寸大小相差悬殊。设备的总高（长）与直径、设备的总体尺寸（长、高及直径）与壳体壁厚或其他细部结构尺寸大小相差悬殊。大尺寸大至几十米，小的只有几毫米。

(3) 壳体上开孔和管口多。化工设备壳体上，根据化工工艺的需要，有众多的开孔和管口，如进（出）料口、放空口、清理孔、观察孔、人（手）孔以及液面、温度、压力，取样等检测口。

(4) 广泛采用标准化零部件。化工设备中较多的通用零部件都已标准化、系列化，如封头、支座、管法兰、设备法兰、人（手）孔、视镜、液面计、补强圈等。一些典型设备中部分常用零部件如填料箱、搅拌器、波形膨胀节、浮阀及泡罩等也有相应的标准。在设计时可根据需要直接选用。

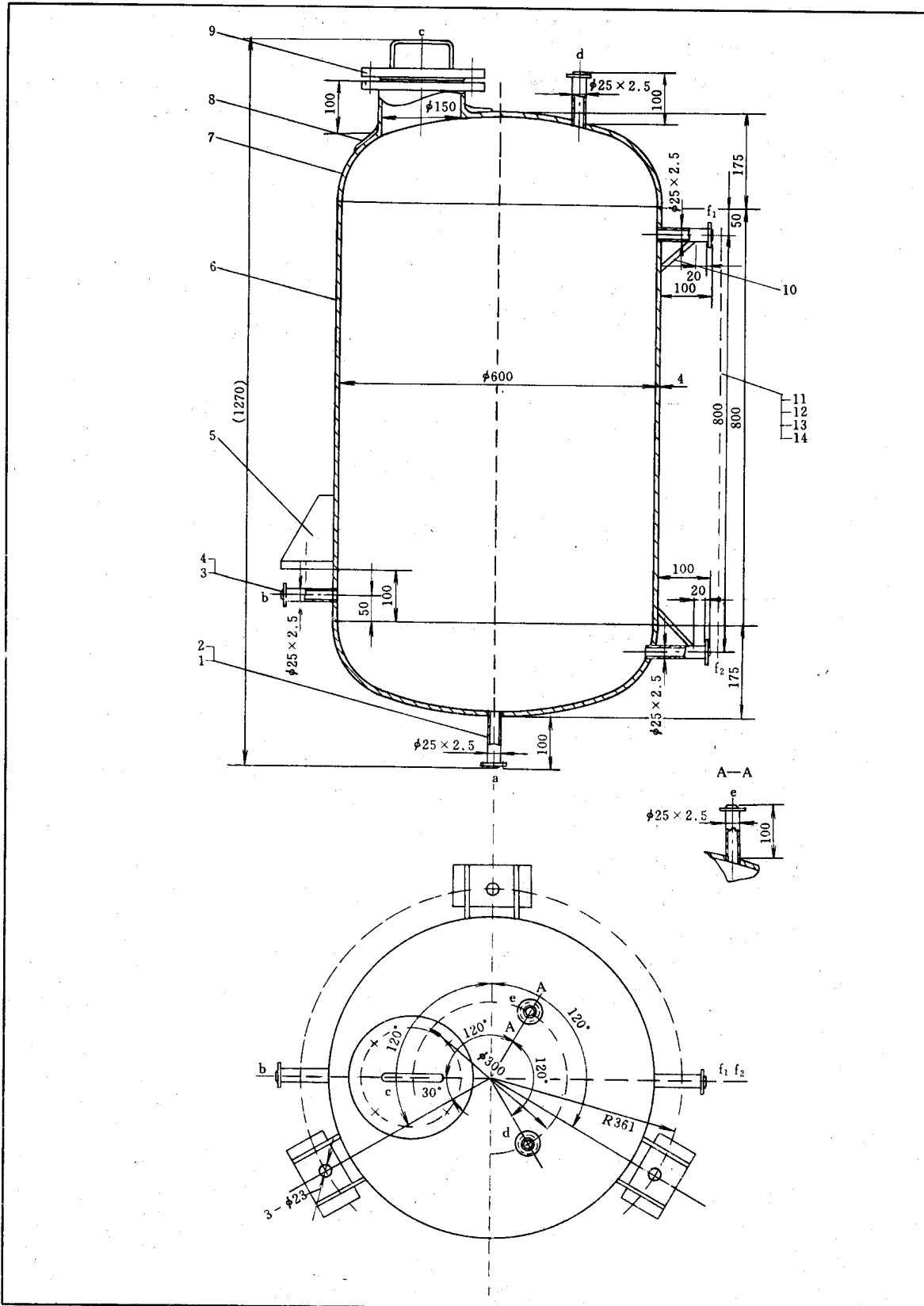


图 4-2 化工设备图

(5) 采用焊接结构多。化工设备中较多的零部件如筒体、支座、人（手）孔等都是焊

接成形的。零部件间的连接，如筒体与封头，筒体、封头与设备法兰、壳体与支座、人(手)孔、接管等大都采用焊接结构。焊接结构多是化工设备一个突出的特点。

(6)对材料有特殊要求化工设备的材料除考虑强度、刚度外，还应当考虑耐腐蚀、耐高温(最高达1500℃)、耐深冷(最低为-269℃)、耐高压(最高达300MPa)、高真空(真空度高达0.1MPa)、因此，常使用碳钢、合金钢、有色金属、稀有金属(钽、铌、铅等)及非金属材料(陶瓷、玻璃、石墨、塑料等)作为结构材料或衬里材料，以满足各种设备的特殊要求。

(7)防泄漏安全结构要求高在处理有毒、易燃、易爆的介质时，要求密封结构好，安全装置可靠，以免发生“跑、冒、滴、漏”及爆炸。因此，除对焊缝进行严格的检验外，对各连接面的密封结构提出了较高要求。

## 2. 化工设备图的视图表达特点

(1)视图配置灵活由于化工设备的主体结构多为回转体，其基本视图常采用两个视图。立式设备一般为主、俯视图；卧式设备一般为主、左(右)视图，用以表达设备的主体结构。当设备的高(长)较高(长)时，由于图幅有限，俯、左(右)视图难于安排在基本视图位置，可以将其配置在图面的空白处，注明其视图名称，也允许画在另一张图纸上，并分别在两张图纸上注明视图关系即可。

某些结构形状简单，在装配图上易于表达清楚的零件，其零件图可直接画在装配图中适当位置，注明件号x x的零件图。某些装配图中，还有其他一些图，如支座的底板尺寸图、塔器的单线条结构示意图、管口方位图、气柜的配重图和标尺图、某零件的展开图等。总之，化工设备图的视图配置及表达较灵活(见图4-2)。

(2)细部结构的表达方法由于化工设备的各部分结构尺寸相差悬殊，按缩小比例画出的基本视图中，很难兼顾到把细部结构也表达清楚。因此，化工设备图中较多的使用了局部放大图和夸大画法来表达这些细部结构并标注尺寸。

①局部放大图(亦称“节点详图”)。用局部放大的方法来表达细部结构时，可画成局部视图、剖视或剖面等形式。放大比例可按规定比例，也可不按比例作适当放大，但都要标注清楚(见插图中I、II、III、IV)。

②夸大画法。对于化工设备中的折流板、管板、壳体壁厚、垫片及各种管壁厚，在按总体比例缩小后，难以表达其厚度，可作适当的夸大画出。其余细小结构或较小的零部件，在基本视图中也允许作适当的夸大画出。如视图中的：壳体壁厚、列管直径及壁厚、垫片、管板厚、丝堵及接管法兰等，均可用夸大画法(如图4-2罐壁)。

(3)断开画法、分段画法及整体图。对于过高或过长的化工设备，如塔、换热器及贮罐等，为了采用较大的比例清楚地表达设备结构和合理地使用图幅，常使用断开画法，即用双点划线将设备中重复出现的结构或相同结构断开，使图形缩短，简化作图。

对于较高的塔设备，如果使用了断开画法，其内部结构仍然未表达清楚时，则可将某塔节(层)用局部放大的方法表达。若由于断开和分层画法造成设备总体形象表达不完整时，可用缩小比例、单线条画出设备的整体外形图或剖视图。在整体图上，应标注总高尺寸、各主要零部件的定位尺寸及各管口的标高尺寸。塔盘应按顺序从下至上编号，且应注明塔盘间距尺寸。

(4)多次旋转的表达方法。化工设备壳体上分布有众多的管口、开口及其他附件，为了在主视图上表达它们的结构形状及位置高度，可使用多次旋转的表达方法。多次旋转即假想将设备周向分布的接管及其他附件，按机械制图国家标准中规定的旋转法，分别按不同方向旋转到与正投影面平行的位置，得到反映它们实形的视图。为了避免混乱，在不同的视图中同一接管或附件应用相同的小写英文字母编号。规格、用途相同的接管或附件可共用同一字母，用阿拉伯字母作脚标，以示个数。应注意被旋转的接管及其他附件在主视



图上不应相互重叠。如图4-2中若c旋转将会与a或b重叠，此时可用斜剖视的局部放大图单独表达。

(5)管口方位的表达方法。化工设备壳体上众多的管口和附件方位的确定，在安装、制造等方面都是至关重要的，为将各管口的方位表达清楚，在化工设备中用基本视图和一些辅助视图将其基本结构形状表达清楚，此时，往往用管口方位图来代替俯视图表达出设备的各管口及其他附件如地脚螺栓等的分布的情况。

(6)简化画法。在绘制化工设备图时，为了减少一些不必要的绘图工作量，提高绘图效率，在既不影响视图正确、清晰地表达结构形状，又不致使读图者产生误解的前提下，大量地采用了各种简化画法。

①一些标准化零部件已有标准图，在化工设备图中不必详细画出，可按比例画出反映其特征外形的简图。而在明细表中注写其名称、规格、标准号等如图4-2中件9（手孔），图4-6中的法兰、补强圈、膨胀节等。

②外购部件在化工设备图中可以只画其外形轮廓简图。但要求在明细表中注写名称、规格、主要性能参数和“外购”字样等，如填料箱。

③对于已有零部件图、局部放大图及规定记号的零部件，或者一些简单结构，可以采用单线条（粗实线）示意画法，如封头、筒体、列管、折流板、挡板、拉杆、定距管、法兰、人孔、波形膨胀节及补强圈、各种塔盘等都可用单线条示意表达。对塔的整体图也可用单线条示意画出。

④化工设备图中液面计可用点划线示意表达，并用粗实线画出“+”符号表示其安装位置。但要求在明细表中注明液面计的名称、规格、数量及标准号等。

⑤化工设备中出现的有规律分布的重复结构允许作如下简化表达。

a 螺纹连接件组，可不画出这组零件的投影，只用点划线表示其连接位置，如设备法兰的螺栓连接。但在明细表中应注写其名称、标准号、数量及材料。

b 按一定规律排列的管束，可只画一根，其余的用点划线表示其安装位置见。

c 按一定规律排列，并且孔径相同的孔板，如换热器中的管板、折流板、塔器中的塔板等，可以用简化表达。圆孔按同心圆均匀分布的管板，绘出同心圆，注明孔径、孔数及相邻两同心圆孔间径向夹角；圆孔按正三角形分布的弓形折流板，它用文错网线表示诸孔的中心位置和钻孔范围，仅画数孔。但需标注孔径、孔数及孔的定位尺寸。对要求不高的孔板（如筛板塔盘）的简化画法，则对孔数不作要求，只要画出钻孔范围，用局部放大图表达孔的分布情况、并标注孔径及孔间定位尺寸即可。

d. 设备中（主要是塔器）规格、材质和堆放方法相同的填料，如各类环（瓷环、玻璃环、铸石环、钢环及塑料环等），卵石、塑料球、波纹盘及木格子等，均可在堆放范围内、用交叉细实线示意表达；必要时可用局部剖视表达其细部结构；木格子填料还可用示意图表达各层次的堆放方法。

(7)化工设备镀涂层和衬里剖面的画法

①薄镀涂层喷镀耐腐蚀金属材料或塑料，涂漆、搪瓷等薄镀涂层的表达，仅在需涂层的表面绘制与表面平行的粗点划线，并标注镀涂层内容，图样中不编件号，详细要求可写人技术要求。

②薄衬层诸如衬金属薄板、衬橡胶板、衬聚抓乙烯薄膜、衬石棉板，在所需衬板表面绘制与表面平行的细实线即可，无论衬里是一层或是多层。

a衬里是多层且材料相同时，可只编一个件号，在明细表的备注栏内注明厚度和层数。

b当衬里是多层但材料不同时，应分别编号；在局部放大图中表示其层次结构。在明细表的备注栏内注明每种衬层的厚度和层数。

③厚涂层。各种胶泥、混凝土等的厚涂层，应在局部剖面中绘出每种衬层的材料符号，

并应编件号，在明细表中注明材料和涂层厚度。必要时用局部放大图详细表达细部结构和尺寸，如增强接合力所需的铁丝、挂钉等。

④厚衬层诸如塑料板、耐火砖、辉绿岩板之类厚衬层的表达，一般须用局部放大图详细表示其结构尺寸，一般灰缝以一条粗实线表示，特殊要求的灰缝用双线表示。规格不同的砖、板应分别编号。

### 三、化工设备图的尺寸分析及标注

化工设备图的尺寸标注，与一般机械装配图基本相同，需要标注一组必要的尺寸反映设备的大小规格、装配关系、主要零部件的结构形状及设备的安装定位，以满足化工设备制造、安装、检验的需要。与一般机械装配图比较，化工设备的尺寸数量稍多，有的尺寸较大，尺寸精度要求较低，允许注成封闭尺寸链（加近似符号 $\sim$ ）。总之，化工设备的尺寸标注，除遵守《机械制图》GB 4458.4-84中的规定外，还可结合化工设备的特点，使尺寸标注做到完整、清晰、合理。

#### 1. 尺寸分析

化工设备图上需要标注的尺寸有如下几类（见图4-12）。

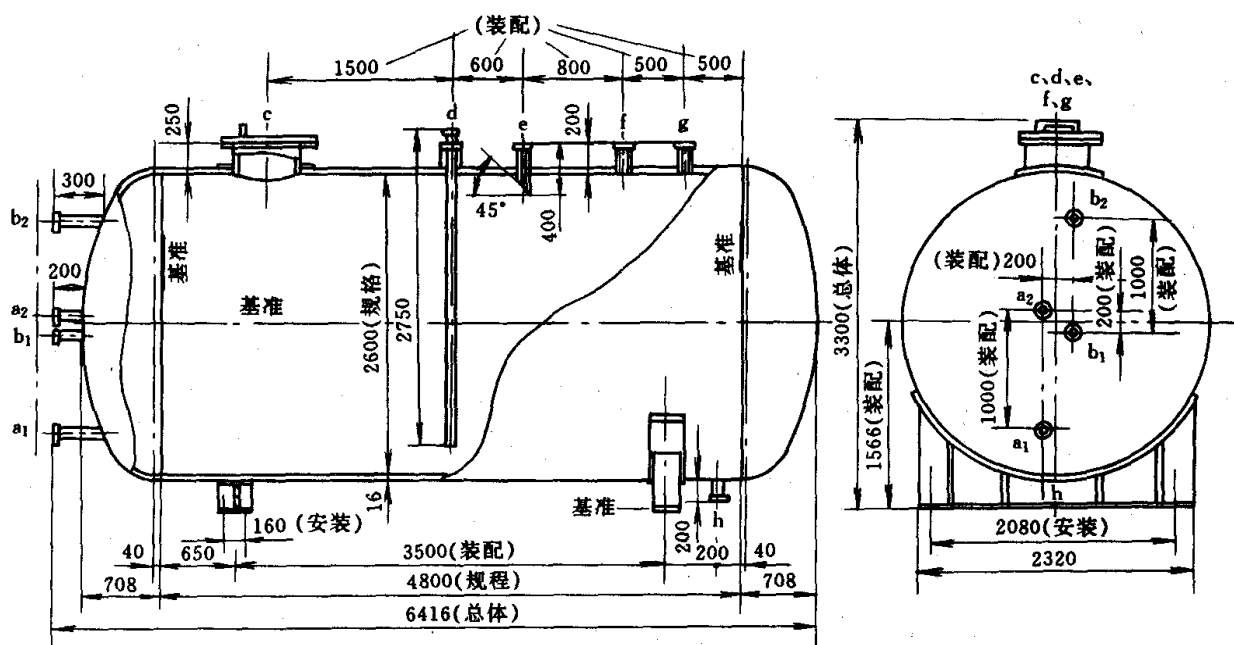


图 4-12 化工设备的尺寸标注

(1) 规格性能尺寸反映化工设备的规格、性能、特征及生产能力的尺寸。如贮罐、反应罐内腔容积尺寸（筒体的内径、高或长度尺寸）、换热器传热面积尺寸（列管长度、直径及数量）等。

(2) 装配尺寸反映零部件间的相对位置尺寸，它们是制造化工设备时的重要依据。如设备图中接管间的定位尺寸，接管的伸出长度尺寸，罐体与支座的定位尺寸，塔器的塔板间距，换热器的折流板、管板间的定位尺寸等。

(3) 外形尺寸表达设备的总长、总高、总宽（或外径）尺寸。这类尺寸较大，对于设备的包装、运输、安装及厂房设计，是必要的依据。

(4) 安装尺寸化工设备安装在基础或其他构件上所需要的尺寸，如支座、裙座上的地脚螺栓的孔径及孔间定位尺寸等。

(5) 其他尺寸

①零部件的规格尺寸如接管尺寸注 $\phi 32 \times 1.5$ ，瓷环尺寸注外径 $\times$ 高 $\times$ 壁厚等。②不另行绘制图样的零部件的结构尺寸或某些重要尺寸。

③设计计算确定的尺寸如主体壁厚、搅拌轴直径等。

④焊缝的结构型式尺寸一些重要焊缝局部放大图中，应标注横截面的形状尺寸。

## 2. 化工设备图的尺寸标注

化工设备图的尺寸标注，首先应正确地选择尺寸基准，然后从尺寸基准出发，完整、清晰地标注上述各类尺寸。化工设备图的尺寸基准（图4-12）一般为：

- ①设备筒体和封头的轴线；
- ②设备筒体与封头的环焊缝；
- ③设备法兰的连接面；
- ④设备支座、裙座的底面；
- ⑤接管轴线与设备表面交点。

## 四、化工设备图的绘制

化工设备图的绘制有两种方法：一是对已有设备进行测绘，这种方法主要应用于仿制已有设备或对现有设备进行革新改造。二是依据化工工艺人员提供的“设备设计条件单”进行设计和绘制。前一种方法与机械制图基本相同。这里，我们介绍第二种方法绘制化工设备图的步骤及有关要求。

### 1. 化工设备图的视图选择

与绘制机械装配图相同，在着手绘制化工设备图之前首先应确定其视图表达方案，包括选择主视图，确定视图数量和表达方法。在选择设备的视图方案时，应考虑到化工设备的结构特点和图示特点。

(1) 选择主视图，拟定表达方案首先应确定主视图，一般应按设备的工作位置选择，并使主视图能充分表达其工作原理、主要装配关系及主要零部件的形状结构。

主视图一般采用全剖视的表达方法。用以表达设备上各零部件的装配关系。如图4-12中的贮槽的主视图依化工设备的图示特点，选择设备主体轴线水平放置、采用全剖视、将筒体与封头、设备主体与各接管的内在装配关系及设备壁厚等情况表达清楚，在接管及人孔保留局部外形以表达其外部结构。

(2) 确定其他基本视图主视图确定后，应根据设备的结构特点，确定基本视图数量及选择其他基本视图，用以补充表达设备的主要装配关系、形状、结构。

(3) 选择辅助视图和各种表达方法根据化工设备的结构特点，多采用局部放大图，局部视图及剖视、剖面等表达方法来补充表达基本视图的不足，将设备各部分的形状结构表达清楚。图4-14中采用四个局部放大图分别表达几个接管口与筒体连接情况及焊缝结构。支座的断面结构及安装孔的形状、位置则采用剖视图表达清楚。

### 2. 化工设备图的绘制方法及步骤

视图表达方案确定后，就可按下述步骤着手绘制。

(1) 确定绘图比例、选择图幅、布图按照设备的总体尺寸确定绘图比例，绘图比例一般应选用国家标准“机械制图”规定的比例，但依化工设备的特点，还增加了1:6, 1:15、1:30等比例。

化工设备图样的图纸幅面也应按国家标准“机械制图”的规定选用，依设备特点，可允许选用加长A2等图幅。

化工设备图的图面布置除中部留有视图位置外，右下角从主标题栏开始，上方为明细表，另在适当位置留有管口表、技术特性表及书写技术要求的位置。

(2) 画图依据选定的视图表达方案，先画出主要基准线，如插图中要先画出主视图中筒体与封头的中心线及左视图的中心线。

绘视图应先从主视图画起，左（俯）视图配合一起画，一般是沿着装配干线，先画主体、后画两部件；先画外件、后画内件；先定位、后画形状。基本视图完成后，再画局部放大图等辅助视图。

插图液氨储罐就是先画筒体（件10）、接着按椭圆形封头（件21）、支座（件24、件29）、人孔、各接管的顺序将各零部件在两个基本视图上画好，然后绘制四个局部放大图，在有关视图上画好剖面符号，焊缝符号等。各视图画好后，应按照“设备设计条件单”认真校核。

(3) 尺寸的标注除视图之外，还须在图纸上标注尺寸和焊缝代号。

①尺寸标注的要求设备图的尺寸标注应做到正确、完整、清晰、合理。②尺寸标注与机械装配图相同，化工设备图应标注以下几类尺寸。

③特性尺寸（规格尺寸）。如插图中筒体内径 $\phi 2600$ 、长8400、封头长674等为特性尺寸。

④装配尺寸。如各接管的定位尺寸、液面计位置尺寸和支座的定位尺寸等。⑤安装尺寸。如支座地脚螺栓孔距2080和130等。

⑥外形尺寸。如插图中的外形尺寸9962、—3587等。

⑦尺寸基准插图中选封头和筒体的环焊缝为长度方向的尺寸基准，选筒体和封头的中心线及支座下底面为高度方向的尺寸基准。以设备法兰的密封面为高度方向定位尺寸的基准，以接管中心线为长度方向定位尺寸的基准。

⑧典型结构尺寸注法。

⑨筒体尺寸一般标注内径（钢管制成的标注外径）、壁厚和高度（长度）。⑩封头尺寸一般标注壁厚和封头高（包括直边高）。

⑪管口尺寸应注出管口直径和壁厚。

⑫设备中的瓷环、浮球等填充物应注出总体尺寸及填充物规格尺寸。

⑬焊缝代号标注插图中的液氨贮槽为低压化工设备、其焊缝在剖视图中用涂黑表示，另在技术要求中说明焊接方法、焊缝接头型式、焊条型号及焊缝检验要求等。

(4) 编写零部件序号和管口符号组成设备的各零部件（包括薄衬层、厚衬层、厚涂层等）均需编号。设备中同一零部件编成同一件号，组合件编为一个件号。零部件件号用阿拉伯数字编写，尽量编排在主视图上，一般由主视图的左下方开始，按顺时针连续注出，在垂直和水平方向排列整齐。

设备上的管口一律用小写汉语拼音字母编写管口符号。同一接管在主、左（俯）视图上应重复注写。规格、用途及连接面形式完全相同的管口编为同一号，但须在符号的右下角加注阿拉伯数字，以示区别，如： $a_1$ 、 $a_2$ ...

(5) 填写明细栏和接管表

①明细栏的填写。明细栏的零部件序号应与图中的零部件件号一致。按规定由下向上顺序填写。图号或标准号栏填写零部件的图号（无图零件此栏不必填），如系标准件，则填写标准号，组合体应注明组合体，另注明其部件装配图图号。按要求填写名称、规格、数量和材料等各栏目。在备注栏中只填写必要的说明，如无须说明则一般不必填写。

②接管表的填写。接管表中管口符号与图中接管符号应一致。按a、b、……顺序自上向下逐一填写。公称尺寸栏填写管口公称直径、连接尺寸标准栏填写对外连接管口（包括法兰）的有关尺寸和标准。连接面形式栏填写管口法兰的连接面形式，如用螺纹连接则填“螺纹”。

(6) 填写技术特性表、编写技术要求、填标题栏

①填写技术特性表。技术特性表中应填写设计压力、设计温度、工作温度、工作压力、物料名称等。另依各专用设备填人所需的特殊技术性能，如塔器类设备需填风压、地震烈

度；容器类设备需填写容积（ $\text{m}^3$ ）和操作容积；带搅拌的反应器应填写搅拌转数、电动机功率等。

②编写技术要求。设备图的技术要求一般填入设备在制造、检验、安装等方面的要求、方法和指标，设备的保温、防腐蚀等要求及设备制造中所需依据的通用技术条件。

③填写标题栏。标题栏填写设备名称、规格等内容。

### 五、化工设备图的阅读

化工设备图样是化工生产中化工设备设计制造、安装、使用、维修的重要技术文件，也是进行技术交流、设备改造的工具。因此，作为从事化工生产的专业技术人员，都必须具备熟练阅读化工设备图的能力。

#### （一）化工设备图读图的基本要求

通过对化工设备图样的阅读、应达到以下方面的基本要求：

- ①了解设备的性能，作用和工作原理；
- ②了解各零件之间的装配关系和各零部件的装拆顺序；
- ③了解设备各零部件的主要形状、结构和作用、进而了解整个设备的结构；
- ④了解设备在设计、制造、检验和安装等方面的技术要求。

化工设备图的阅读方法和步骤与阅读机械装配图基本相同，应从概括了解开始，分析视图、分析零部件及设备的结构。在读总装配图对一些部件进行分析时，应结合其部件装配图一同阅读。在读图过程中应注意化工设备图所独特的内容和图示特点。

#### （二）阅读化工设备图的方法和步骤

以图4-2计量罐装配图为例，说明阅读化工设备图的一般步骤。

##### 1. 概括了解

(1)看标题栏通过标题栏，了解设备名称、规格、材料、重量、绘图比例等内容。  
 (2)看明细栏、接管表、技术特性表及技术要求等了解设备零部件和接管的名称、数量。对照零部件序号和管口符号在设备图上查找到其所在位置。了解设备在设计、施工方面的要求。

(3)对视图进行分析了解表达设备所采用的视图数量和表达方法，找出各视图、剖视图等的位置及各自的表达重点。

从标题栏中了解该图为“计量罐”，图号为S/JL 053-1，图纸采用1:6比例绘制，整套图纸共一张。从明细表、管口表可知：本设备有14种零部件、6个接管口，整个设备均为焊接；从技术特性表可了解到该罐为常温、常压、全容积0.28 $\text{m}^3$ ，焊缝系数0.6等。设备图由主视图、俯视图和一个辅助视图组成。

##### 2. 视图分析.

从设备图的主视图入手，结合其他基本视图、详细了解设备的装配关系、形状、结构、各接管及零部件方位。并结合辅助视图了解各局部相应部位的形状、结构的细节。

设备的两个基本视图表达了设备的主体结构。从主视图中可以清楚的了解到设备总体外形轮廓为高800，直径600的圆柱形筒壳和矢高175的椭球形封头的形状，设备的壁厚为4mm，从主视图、俯视图及辅助视图了解到各管口支座等位置及连接情况，为表达各管的准确位置在俯视图上采用了旋转法标注尺寸。

##### 3. 零部件分析

按明细表中的序号，将零部件逐一从视图中找出，了解其主要结构、形状、尺寸、与主体或其他零部件的装配关系等。对组合体应从其部件装配图中了解其结构。

设备由筒体（件号6）和上下封头（件号7）组成，罐顶有手孔（件号9）、两根DN20的物料人口及放空管（d，e）。罐底有一根DN20的物料出口（a），筒壁有f1，f2两根DN20的液面计接口和一根DN15的取样口（b）、三个支座（件号5），各管口均带相应的法兰，手孔与

罐体连接处设计了补强圈（件号8）。

#### 4. 设备分析

通过对视图和零部件的分析、对设备的总体结构全面了解，并结合有关技术资料，进一步了解设备的结构特点、工作原理和操作过程等内容。

本设备是一台容积0.28m<sup>3</sup>、壁厚4mm不锈钢（1Cr18Ni9Ti）制成的常温、常压的甲醛计量罐；整个罐体支承在三个碳钢的支座上，支座底面距物料出口管（a）法兰底面375mm；罐体除进出管外尚有一组液面计接口和一根取样口、一根放空管和一个手孔。工作时甲醛由d管进入、通过f1 f2间的液面计（件号11）观察装人数量情况，从管e放出空气，物料由管a放出，由管b取样。为便于清理设置了手孔（件号9）。

设备图上直接注出筒体和封头的壁厚4mm，筒体尺寸（ $\Phi 600$ ，L=800）及各管口管径和壁厚（ $\Phi 25 \times 2.5$ ， $\Phi 150$ ）等定形尺寸，图中注出各管口相对位置尺寸（800，0300，50）及各零部件间的定位尺寸（100，20，100）等供设备装配使用，标出了三个支座的安装孔中心圆直径 $\Phi 722$ 及螺栓孔直径 $\Phi 25$ 供设备安装使用，并给出了设备总长尺寸（1270）为设备总体尺寸。