

# 船舶管路设计大纲

## 目 录

### 第一章 绪论

第一节 船舶管路系统的定义和组成. . . . .

第二节 船舶管路生产设计的发展简史. . . . .

### 第二章 船舶管路的基础知识

第一节 管子等级. . . . .

第二节 船用管子的材料、规格、特性及选用. . . . .

第三节 管路计算与质量检验. . . . .

第四节 管系中附件、设备与检测仪表. . . . .

### 第三章 船舶管路系统的原理设计

第一节 船舶动力管系的原理设计. . . . .

第二节 船舶管系的原理设计. . . . .

第三节 管路系统的布置设计. . . . .

**第四章 船舶管路系统的生产设计**

第一节 概述. . . . .

第二节 管系常用符号. . . . .

第三节 船舶管系放样基本原理. . . . .

第四节 弯管参数计算. . . . .

第五节 管系放样的步骤. . . . .

第六节 管路布置基本规范. . . . .

第七节 计算机管系放样软件简介. . . . .

**第五章 船舶管子的弯制与管路的安装**

第一节 管子的弯制. . . . .

第二节 管子的校对与焊接. . . . .

第三节 管子的强度试验. . . . .

第四节 管子的化学清洗与表面处理. . . . .

第五节 船舶管路的安装与检验. . . . .

第六节 管路的绝缘与油漆. . . . .

**第一章 绪 论**

**第一节**

**船舶管路系统的含义及其组成**

在船舶动力装置中，船舶管路系统是泛指为专门用途而输送流体（液体或气体）的成套辅助机械（如泵、风机、压气机、分油机等），设备（如热交换器、箱柜、过滤器、空气瓶等），检测仪表和管路（管子及其附件）的总称，简称管系。

船舶管路系统按用途分为两大类：为推进装置服务的管系称为动力管系，以保证推进装置正常工作；为全船服务的管系称为船舶管系，以保证舰船的生命力、安全航行以及船员和旅客的正常生活和工作。

动力管系按其任务的不同，其组成部分主要有如下五个：(1)燃油管系；(2)滑油管系；(3)冷却管系；(4)压缩空气管系；(5)进排气管系。

船舶管系按其任务的不同，其组成部分主要有：(1)舱底水管系；(2)压载水管系；(3)消防管系；(4)通风管系；(5)供水管系；(6)注入、测量、透气管系；(7)蒸汽管系；(8)疏排水管系。

除此以外，根据不同类型的船舶还设置液压管系、浸水管系，在一些专用船舶如原油运输船、化学品运输船、液化气体船等，还设一些专用系统。常见的有：液货装卸系统、洗舱系统、惰性气体保护系统及液货加热系统等。

在动力管系中，有些发动机本身自带有不可分割的有关机械、设备部分，在柴油机设计中已解决，称为内部动力系统，其余部分称为外部动力系统（在动力装置设计中解决）。设计中按其实现的功能，安全性、经济性等方面考虑。

动力装置能否可行的正常工作，除了决定于装置的主要设备(主机、副机、锅炉等)本身的技术性能外，动力管系的技术性能也起着重要的作用。在动力装置的生命力方面，动力管系担负着更重要的作用。

船舶管系按其基本任务可分为保船的、生活设施和驳运储藏三个类别，为此船舶管系必须具有可性和一定的活力性。

工作可性是船舶管系必须具备的性能，它要求系统在运行中不出故障，同时也能适应特殊的工况，如：摇摆、颠簸、冲击、振动，以及对海水、湿空气及结冰等的抗御。

系统的可性是正确地掌握系统的技术要求，零部件的合理选用以及准确地遵守安装的技术要求来达到的。

活力性是指对某些系统的特殊要求(海损时的排水系统、灭火系统等)，要求它们不仅在正常工况下，而且在海损、火险等具有一定破坏和纵、

横倾情况下，仍能正常工作。活力性是多套设置、分组设置和配备双套机械和管理来保证的。

## 第二节 船舶管路生产设计的发展简史

船舶管系的设计、加工和安装是造船工程中的一项重要内容。管子工程的特点是多规格、多品种、多数量。在较短的设计、加工和安装周期内要完成繁重的工作内容。由于其工作性质的复杂性，产品单件性，使其长期以来一直处于落后状态。随着国际市场上船舶工业竞争性加剧，各国都在致力于降低船舶的总造价，缩短造船周期。相应的提高船舶管系生产技术水平，已成造船工业的重要发展目标。

我国船舶管系设计和施工按发展特征，大致经历了如下几个阶段。

一、五十年代中期前是第一阶段，管子的弯曲加工，基本上  $\Phi 25\text{mm}$  以上的管子采用灌砂热弯方式，这种方法，劳动强度大、效率低、弯管质量差。五十年代中期开始，逐渐扩大了机械冷弯作业的比例，使管子弯曲的效率和质量都有了一定的提高。但由于这个时期，管系的施工设计采用现场取样方式，管子的加工滞后于船体的建造，工作量大，影响船舶的建造周期。

二、第二阶段是六十年代。随着造船工业的发展，对船舶的品种、性能、质量和船舶建造周期都提出了更高的要求，而管子加工和这种要求相比，还存在着很大的差距。为此，各船厂设法提前加工管子，力图实现管子的“预制”。基于船体实尺放样的启示，研究了管系实尺放样，在样台取得管系的布置和管子的坐标尺寸。后来又发展了管系的比例放样甚至综合放样。终于使得管子的加工基本上脱离了现场，也即消除了管子的加工上依附于船体的局面，由于施工设计的变革，反过来又促进了加工设备的更新，各厂相继研制出一批液压弯管机，其规格扩大到能弯  $\Phi 203 \sim 305 \text{mm}$  的管子。同时也发展了中频弯管机，以弯曲大口径的管子，逐渐淘汰了火焰弯管机，并且研制成功了内场校管装置，管子加工的效率和质量得到了进一步的提高。

三、七十年代初进入第三阶段，由于我国电子技术的发展，各厂都开始寻求把电子技术应用于管子加工的途径，管子的切割、焊接和弯曲设备开始采用数字控制方式。不少船厂相继着手研究管子加工自动线，流水线。

七十年代中期，电子计算机在管系施工设计中的应用研究到推广，使布置设计后的各项计算、绘图和设计工作逐步实现了优化，形成管装设计的

比例绘图——电算处理法。

四、八十年代进入了第四阶段，不少船厂相继建造出口船舶，管子生产成为造船过程中的瓶颈，管子加工的进度和质量直接影响船舶建造周期，各厂相应采取很多措施，船舶管系的设计和加工也得到了很大的发展，主要体现在如下几个方面：

1. 在管系综合放样的基础上，继续开展电子计算机技术在管系布置设计中的应用研究。以取代管系综合放样中人工计算曲形参数及绘制管子零件图开始，发展到由计算机自动输出弯管的指令及套料计算，利用计算机数控绘图机自动绘制系统安装图。进行计算机辅助设计等。
2. 利用机舱的比例模型进行舾装工程设计的工程模型法也在某些研究所和船厂实施。工程模型法具有灵活性、直观性和多重思考性，对生产工艺及实船运行中可能出现的问题有很高的预见性。
3. 在管系加工方面开始采用数控的工艺装备，某些装备可由人工测量方式转为自动测量，从而提高了加工精度和效率。
4. 管系预舾装技术的应用、推广和发展，其实质是船上现场安装的工作转化为车间（平台）的内场作业。各个船厂采用的单元组装、分段组装及机舱大单元组装等方式不同程度地体现了预制预装的优越性，取得了改善施工条件、减轻劳动强度、提高产品质量、节约原材料和缩短造船周期的显著效果。
5. 继续研制出一批质量较高的液压有芯弯管机，逐渐淘汰弯管质量低劣的无芯弯管机，并开始选用标准弯头取代耗能高、效率低的某些弯管机。
6. 为了提高管系的焊接质量，各厂逐渐推广应用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊和氩弧焊封底等焊接方法，并达到了单面焊接双面成型的技术要求，法兰与管子做到双面焊接。不少船厂也从国外引进了一批质量较高的电焊机。
7. 推广使用热浸镀锌工艺。

五、第五阶段是从九十年代开始。在此期间管系的设计及施工最大的特点是采用了国内、外先进的技术，使管子的质量有了明显的提高，不但满足了国内规范和标准的要求，而且也满足了国外有关船级社的规范要求。另一特点是注重管子加工工艺的研究，编制专用或通用工艺文件。其特征如下：

1. 在改进设计管理和继续完善“三化”（标准化、系列化、通用化）工作的同时，管系设计技术的发展方向是在相应软、硬件支持下，实现管系的计算机辅助设计、施工、管理信息集成化的道路。用专用的船舶管路程序系统完成管路的布置、自动划分管子零件、管路的干涉检查及弯管工艺性检查、管子零件计算、自动绘图、自动统计等工作。

2. 建立管子加工流水线。管子加工流水线是近年来国内外管子加工工艺不段发展和逐步完善的一项新技术，它应用电子计算技术和数控技术使管子加工从备料、切割、法兰焊接、弯曲以及管子输送、装卸等工艺过程实现半自动化或全自动化，使管子加工工艺流程实现流水作业生产。它不仅保证了管子的加工精度，且大大地提高了劳动生产率。目前管子加工流水线主要有“先弯后焊”和“先焊后弯”两种不同的工艺流程。

“先弯后焊”工艺流程：储料架 测长 套料 下料 弯管 校对 焊接 泵水，它属于有余量加工，即管子在下料时留有一定的余量，待弯曲后再切割掉余量，因此可不必考虑材料伸长量的因素，但由于这种工艺采用先弯曲后焊法兰，而弯曲后的管子形状多样，对实现自动焊接带来较大困难，且耗工费时。

“先焊后弯”工艺流程：储料架 定长切割 法兰定位点焊 自动焊接 泵水 弯曲，它可实现直管切割、直管焊接、直管泵水强度试验、直管输送，有利于实现单机自动化和全线自动化，由于采用了套料和定长切割，实现无余量加工，可提高管材利用率，减少了余量切割的工序。但要实现“先焊后弯”也有一些较难解决的技术问题，如弯曲中管材延伸量和弯角回弹量的控制，管法兰进行卧式自动施焊的可\*性问题，管子加工的精度要求等问题。

3. 开展对工艺设备标准化、系列化、通用化工作的研究。工艺设备的“三化”工作应包括设备的主要规格、性能及尺寸的确定，精度指标、检测方式、电气控制及其基本组件、设备标准、附件及备件、辅助设备标准化等。目前各船厂的规模是越来越小，很多设备都是从专业设备厂家购买，或由专业厂家来安装，这样既保证了设备质量，也降低了船厂成本。

4. 船舶管系托盘管理的应用。造船生产的管理，以舾装作业的管理最复杂。其特点是工种多、工件多、品种多、工序多、协作面广、综合性强、作业周期长，为此将整条船分成若干个区域，根据常规的系统图，按区域绘制出综合布置图和安装图，并把采购的材料或成品按生产工序所要求时间

和所属的区放在对应的托盘上，在计划规定时间内将托盘送往指定的区域和地点进行预舾装和单元组装。

托盘就是把所需舾装件的信息集中起来，以保证区域舾装进行作业的一种方法。实际上，托盘是一种移动式平台，各种器材可以放在托盘内储存和运送。它使设计、器材供应和施工三方面的信息一体化，使各类人员对如何施工能有一个共同的认识。

所谓托盘，其含义有二：

- (1) 它是一个作业单位，相当于工艺项目，但划分得比较合理。
- (2) 它又是一个器材集配单位，相当于配套安装明细表，但比配套安装明细表更为广泛。

所谓区域托盘管理，就是对具体舾装件为对象的一个区域作业场所或作业阶段，由一个作业小单位与它相对应。每个现场作业小单位与它的工作图、物量、日程、作业者、集配材、工作准备、进度、实绩等一连串管理信息相联接、互相对应，按照托盘交货期，有程序地完成所需的舾装作业。

区域托盘管理的工作流程如下：

把舾装工程划分成区域图 按区域单位做成工作图 计算每个单位的物量制定托盘管理表 决定作业日程制定工事日程表 决定作业人员配置 确定作业场所、工具设备、运输车辆 按每个托盘单位进行配料 按每个托盘单位进行有序地工作 统计实际工作量与计划值比较。

5. 新材料的应用。工程塑料和玻璃钢等在造船舾装中的应用研究发展较快，实践证明：目前用于船舶管系的工程塑料管有 MBS (苯乙烯、丁二烯、甲基丙烯酸甲酯、三六共聚)、PVC (聚氯乙烯) 塑料管和 CPE (氯化聚乙烯) 改性 PVC 塑料管等，常用它作为常温低压管系材料，使用效果良好。

目前我国管子加工的质量，虽已达到有关规范和标准要求，个别加工技术也已达国际先进水平，但加工周期长、效率低的情况依然存在。究其原因主要有二种：一是我国造船选用管材品种多，这就使弯管设备必须具备多种模具和夹头长度，弯管时需经常调换模具，增加了辅助时间；二是我国管系加工机械化程度低，手工操作占很大的比例，大部分船厂仍未实现管子加工的流水线。

## 第二章 船舶管路的基础知识

## 第一节 管系等级

为了确定适当的试验要求、连接形式以及热处理和焊接工艺规程等。对不同用途的压力管系，按其设计压力和设计温度，一般分为三级，见表 2-1。

表 2-1 管系等级

管系	I 级		II 级		III 级	
	设计压力 MPa	设计温度℃	设计压力 MPa	设计温度℃	设计压力 MPa	设计温度℃
蒸汽和热油	>1.6	或>300	≤1.6	和≤300	≤0.7	和≤170
燃油	>1.6	或>150	≤1.6	和≤150	≤0.7	和≤60
其它介质	>4.0	或>300	≤4.0	和≤300	≤1.6	和≤200

注：①当管系的设计压力和设计温度中，一个参数达到表中 I 级规定时，即定为 I 级管系；当管系的设计压力和设计温度均达到表中 II 级和 III 级规定时，即定为 II 级管系和 III 级管系。

②有毒和腐蚀介质、加热温度超过其闪点的可燃介质和闪点低于 60℃的介质、以及液化气体等一般为 I 级管系；如设有安全保护措施以防泄漏和

泄漏后产生的后果，也可为Ⅱ级管系，但有毒介质除外。

- ③货油管系一般为Ⅲ级管系。
- ④不受压的开式管系，如泄水管、溢流管、透气管和锅炉放汽管等为Ⅲ级管系。
- ⑤其它介质指空气、水、滑油和液压油等。
- ⑥热油指热油系统的循环油液。

## 第二节 船用管子的材料、规格、特性及选用

### 一、管子的材料、规格和特性

管子是用来输送各种工作介质的通道，由于各种工作介质的压力，温度、流量及腐蚀性的不同，也就决定了管子的种类，规格的繁多及具有不同的特性。

在各类船舶上常用的管子主要有三大类别、即钢管、铜管、塑料管。

#### （一）钢管

钢管按制造工艺分为有缝钢管和无缝钢管两类，钢管的材料有普通碳素钢、优质碳素钢、合金钢和不锈钢等，主要用于Ⅰ级和Ⅱ级管系的管子。

#### 1. 无缝钢管

制造无缝钢管的材料牌号一般为10号、20号、30号等优质碳素钢，及A2、A3、A4等普通碳素钢，合金钢则为10Mn<sub>2</sub>、09Mn2V、16Mn、15MnV、12Mn<sub>ov</sub>等，不锈钢多为0Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni、10Ti、1Cr18Ni10Ti等。

无缝钢管是由圆坯加热后，经穿管机穿孔轧制（热轧）而成，或者经过冷拔成为外径较小的管子。

由于无缝钢管具有足够的强度，良好的延伸率和工艺性（即可冷弯、也可以热弯和良好的焊接性），所以在船舶各管系中应用得最为广泛。例如：

蒸汽管、燃油管、滑油管、压缩空气管、冷却水管、消防管等，规格见表 2-2。

表 2-2 钢管外径与最小公称壁厚

外径 $D$ (mm)	最小公称壁厚 $\delta$ (mm)			
	一般用管 ③④⑥⑧⑨⑩	与船体结构有关的舱柜的 空气管、溢流管和测量管 ⑩②③④⑥⑦⑧	舱底、压载水管和一般海水管 ①③④⑤⑥⑦⑧	通过压载舱和燃油舱的舱底 水管、空气管、溢流管和测量管， 通过燃油舱的压载管和通过压载 舱的燃油管⑧②③④⑤⑥⑦⑧
10.2~12	1.6			
13.5~17.2	1.8			
20	2.0			
21.3~25	2.0		3.2	
26.9~33.7	2.0		3.2	
38~44.5	2.0	4.5	3.6	6.3

48.3	2.3	4.5	3.6	6.3
51~63.5	2.3	4.5	4.0	6.3
70	2.6	4.5	4.0	6.3
76.1~82.5	2.6	4.5	4.5	6.3
88.9~105	2.9	4.5	4.5	7.1
114.3~127	3.2	4.5	4.5	8.0
133~139.7	3.6	4.5	4.5	8.0
152.4~168.3	4.0	4.5	4.5	8.8
177.8	4.5	5.0	5.0	8.8
193.7	4.5	5.4	5.4	8.8
219.1	4.5	5.9	5.4	8.8
244.5~273	5.0	6.3	6.3	8.8
298.5~368	5.6	6.3	6.3	8.8
406.4~457	6.3	6.3	6.3	8.8

注：①具有有效防腐蚀措施的管子，其最小壁厚可适当减薄，但减薄最多不超过 1mm；

②除液货闪点小于 60℃的液货舱测量管外，表列测量管的最小壁厚系适用于液舱外部的测量管；

③对于允许采用的螺纹管最小壁厚应自螺纹根部量起；

- ④焊接钢管和无缝钢管的外径和壁厚的数值取自 ISO 的推荐文件 R 336，若按其它标准选取管子壁厚可允许适当减小；
- ⑤通过深舱的舱底水管和压载水管的最小壁厚应另行考虑；
- ⑥直径较大的管子的最小壁厚另行考虑；
- ⑦舱底、测量、空气和溢流管的最小内径应为：舱底管： $d=50\text{mm}$ ，测量管： $d=32\text{mm}$ ，空气和溢流管： $d=50\text{mm}$ ；
- ⑧本表所列的最小壁厚一般是指公称壁厚，因此不必考虑负公差和弯曲减薄余量；
- ⑨排气管的最小壁厚另行考虑；
- ⑩货油管的最小壁厚应另行考虑。

不锈钢管也属于无缝钢管的范畴，它除具备一般无缝钢管的特性外，还具有耐腐蚀性强，在高温下不易被氧化，不结皮，并保持较高的机械性能的特点，但是这种管子不宜热弯，在大量的含有氯离子介质中易产生应力腐蚀，它除用于潜艇中高温，高压，高清洁度，工作介质的腐蚀性大的特殊系统外，一般船舶不宜采用，规格见表 2-3。

表 2-3 不锈钢管外径与最小公称壁厚

管子外径 $D$ (mm)	最小公称壁厚 $\delta$ (mm)
$\leq 10$	1.0
11~18	1.5
19~83	2.0
84~169	2.5

170~246	3.0
247~340	3.5
341~426	4.0
427~511	4.5
512~597	5.0

## 2. 有缝钢管

这类钢管是由钢板卷曲后经焊接而成，根据表面颜色又分两种，其中之一是为了提高钢管的抗腐蚀能力，在管子表面镀上一层耐腐蚀的锌层，由于镀锌后的管壁内外表面呈银白色，人们习惯称为白铁管，而没有镀锌的有缝钢管统称为黑铁管。

制造这类管子的材料牌号有 A2、A3、B2、B3 等，A 类钢多用于船舶。

由于有缝钢管所选用的材料无严格要求，故其机械性能也相对较差。白铁管只适用于常温和工作压力  $P \leq 0.1 \text{MPa}$  以下的日用水，卫生水、舱底水等系统，黑铁管可用于输送低温低压的水和油等工作介质，有时也可用于低压的废气和蒸汽系统。

### (二) 铜管

常用的有紫铜管和黄铜管两种，紫铜管由含铜量 99.5% 以上的纯铜拉制和挤制而成；黄铜管由铜基合金制成，两者相比较紫铜管的韧性稍高一些，黄铜管的强度稍高一些。

#### 1. 紫铜管

紫铜管经退火后，质地柔软，工艺性好，具有很高的塑性和耐蚀性，它不适用于高温、高压系统，再加之价格较贵，在一般的船舶上，只用于压力表管或直径  $\phi \leq 14 \text{mm}$  的液压油类管，但在舰艇上得到广泛应用，如海水系统，液压系统，滑油系统等。

常用的紫铜管材料牌号有 T1、T2、T3、T4、TUP 等，由制造厂供应的紫铜管均未退火，故在加工过程中，首先应对弯曲部位进行退火，退火温度一般为 550—650℃ 之间。规格见表 2—4。

表 2—4 铜和铜合金管外径与最小公称壁厚

外径 $D$ (mm)	最小公称壁厚 $\delta$ (mm)	
	铜	铜合金
8~10	1.0	0.8
12~20	1.2	1.0
25~44.5	1.5	1.2
50~76.1	2.0	1.5
88.9~108	2.5	2.0
133~159	3.0	2.5
193.7~267	3.5	3.0
273~470	4.0	3.5
508	4.5	4.0

注：①外径和壁厚的数值取自 ISO 标准；

②若按其它标准选取管径，管子壁厚可允许适当减小。

## 2. 黄铜管

黄铜管的特点是抗海水及空气的腐蚀能力很强，而且有很好的导热率，但由于冶炼困难产量少，价格较贵，一般只用于热交换器的管束及通气管。

黄铜管系由 H62、H68、锡黄铜 HSn70—1、HSn62—1、铅黄铜 HPb59—1、铁黄铜 HFe59—1—1 等拉制或挤制而成，黄铜管在加工过程中也均应首先进行退火处理。

### （三） 双金属管

所谓的双金属管是指管壁由两层不同的金属组合而成的管子，即外层为 10 号优质碳素钢，内层镀有 0.6 ~0.8 mm 厚的 T4 号铜制成，管子的外径  $D$  为 6 ~ 70mm，壁厚  $\delta$  为 1.5~6mm，管长  $L$  为 3~7m。

这种管子具备了钢管和紫铜管的双重特点，即有较高的机械强度，又有较强的耐腐蚀能力，因此，它一般专用于高压空气管路，常用于舰艇上。这种管子加工较困难，因钢和铜的熔点、机械性能都不同，所以最好采用冷弯工艺。

### （四） 铝管

铝管是拉制或挤制而成的无缝管，一般船舶铝管由硬铝合金拉制而成。主要优点是重量轻、耐腐蚀、塑性好、易加工，常为一般轻型快艇所采用。由于其机械性能不及铜管，只适用于低温、低压的场合，如燃油管、滑油管、冷却水管路等。

常用的铝管牌号有 LF2—M 防锈合金铝、LF2、LF21、LY11、LY12 等。这种管子即可冷弯、也可热弯、冷弯前需经退火处理。

### （五） 塑料管

塑料管一般由耐冲击聚氯乙烯制成，它具有重量轻，比目前船上常用的任何一种金属管都轻，耐腐蚀性能强，还具有摩阻小、绝缘、隔音、吸振、耐磨、绝热和无需油漆，加工与安装工艺较简便等优越特性，但是也存在着强度低、耐热、防火性能差、膨胀系数大，易老化，破损不易修补，焊接温度不易控制等缺陷。所以，目前这种管子仅用于工作温度在  $-0^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ ，工作压力小于 0.6MPa 的管系中，如甲板排水、污水、洗涤水、空气管

等。随着塑料管的材料性能不断改进，制造工艺的不断完善，必将会获得广泛的应用。

## （六） 钛合金管

钛合金是问世不久的新型材料，用这种材料制造的管子优于无缝钢管和紫铜管所具备的特性，且又克服了无缝钢管耐腐蚀性差、紫铜管强度低的问题，但由于其价格昂贵、规格较少，所以，它目前的应用只局限于舰艇上某些特殊的场合。

## 二、管子的选用原则

管子的选用主要应遵循保证使用要求、工艺要求及降低成本等三个方面的原则。

### （一）使用要求

使用要求主要是指管系对管子的机械强度、刚度、尺寸大小、重量、抗腐蚀能力，耐热性等。不同系统中的管子除要满足管内流通的工作介质在压力、温度、流量、抗腐蚀等要求，还应考虑是否受水击、振动等外界环境条件。

### （二）工艺要求

选用管子在满足使用要求的前提下，还应达到弯曲、焊接、安装、维护保养、检修等方面的工艺技术条件。

### （三）经济要求

在选用管材过程中，应在考虑使用要求和工艺要求的同时，还要防止大材小用，优材劣用。在符合使用要求的前提下，尽最大努力降低船舶的建造成本，在船舶设计阶段是实现这个目标的最佳时机。

综上所述，管子的选用需要考虑各方面的要求，但是在许多情况下，选出同时满足上述各方面要求的管子，也是很困难的，因此，首先要抓住主要矛盾，即满足工作介质的压力、温度和腐蚀性对管子的要求，而兼顾其它方面的要求，在此基础上，最后按照有关规范和标准进行，尽量减少规格的数量和不常采用的规格牌号。

### 第三节 管路计算与质量检验

管路计算主要根据管系中所输送的工质、流速、温度、压力等参数，确定其管径和管壁厚度。

#### 一、管径计算

管径是根据管内流体的流速和流体流经管子的能量损失来决定的。在流量一定的情况下，管径主要取决于管内流体的流速。用下式计算：

$$(2-1)$$

式中  $d$ ——管子内径，m；

$q_v$ ——流体的容积流量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$v$ ——管内流体的流速， $\text{m}/\text{s}$ ；

$q_m$ ——流体的质量流量， $\text{kg}/\text{h}$ ；

$\rho$ ——流体的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

选定合适的流速是十分重要的。流速过小，管径变大，各种管路附件的直径随之变大，从而使整个管系的重量增加，并使初投资增加。如果流速过大，虽然可使管径减小，但流体在管内的能量损失增加，甚至超过所允许的范围而影响工作。

管内流体的流速依据管内的能量损失或管子的腐蚀程度而定。前一种方法主要用于蒸汽动力装置的蒸汽管路、凝水管路、给水泵的吸入管路、油泵吸入管路等。后一种方法则考虑海水管路的腐蚀、给水管路阀体阀座的腐蚀等。在实际应用中，常推荐的管内流速，见表 2—5。

表 2—5 各种管内流体流速

管子名称	压力 (MPa)	流速 (m/s)	备注
海、淡水管路	0.1666~0.294	0.5~1.5	常取 2
锅炉给水管路		<2.5	
燃油吸入管路		0.1~1.0	
滑油吸入管路		0.15~1.5	
滑油压出管路		0.25~2	
压缩空气管路	2.45~2.94	12~15	管径为 15~150mm
蒸汽管路	≤3.92	20~40	

腐蚀速度见表 2-6。

表 2-6 不同材料管子的腐蚀速度

管子材料	工作介质	管壁腐蚀程度 (mm/年)
碳钢 (10 号、20 号)	滑油、燃油、空气	0.1
不锈钢	滑油、淡水	0
双金属	滑油、空气	0.1

铜	滑油、空气、淡水	0.1
	海水	0.15
铜镍合金	海水	0.1

## 二、管子的壁厚计算

管壁的厚度对于其能够承受工作介质的压力大小，起着决定性的作用，下面简单介绍管子壁厚的计算公式及有关几个常用的压力概念。

### （一）压力概念

(1) 压力：单位面积上所受到的正压力称为压强，工程上习惯把压强称之为压力。

(2) 公称压力：是指管子、附件等在 0℃ 时所能承受的压力，它没有考虑温度对金属强度的影响。公称压力用字母“*PN*”表示，其后标注压力数值。

(3) 工作压力：是指一定温度的液体或气体在工作状态下允许通过管子的压力。工作压力用字母 *P* 表示。

(4) 强度试验压力：是指对管子和附件等作强度试验的压力称之为强度试验压力，用字母 *PS* 表示。

### （二）管子壁厚的计算

各管系输送不同介质，它们的内壁受不同的压力、流速、和温度的作用，计算时必须保证管子的必要强度，并按“钢质海船入级与建造规范”有关规定公式计算：

受内压的管子，其最小壁厚：

$$(2-2)$$

式中  $\delta$ ——最小计算壁厚，mm；

$\delta_0$ ——基本计算壁厚，mm，计算见公式 2-3；

$b$ ——弯曲附加余量，mm，计算见公式 2-4；

$c$ ——腐蚀余量，mm，

对钢管：可查表 2-7

表 2-7 钢管腐蚀余量

管系用途	腐蚀余量 $c$ mm	管系用途	腐蚀余量 $c$ mm
过热蒸汽管系	0.3	滑油管系	0.3
饱和蒸汽管系	0.8	燃油管系	1.0
货油舱蒸汽加热管系	2.0	货油管系	2.0
锅炉开式给水管系	1.5	冷藏装置制冷剂管系	0.3
锅炉闭式给水管系	0.5	淡水管系	0.8

锅炉排污管系	1.5	海水管系	3.0
压缩空气管系	1.0	冷藏货油盐水管系	2.0
液压油管系	0.3		

对铜管：对铜、铝青铜和镍含量低于 10% 的铜镍合金， $c = 0.8\text{mm}$ ；对镍含量为 10% 及以上的铜镍合金， $c = 0.5\text{mm}$ ；对介质对管材不产生腐蚀者， $c = 0$ 。

基本计算壁厚  $\delta_0$  按下式计算：

$$(2-3)$$

式中  $\delta_0$  ——基本计算壁厚，mm；

$P$  ——设计压力，MPa；

$D$  ——管子外径，mm；

$[\sigma]$  ——管子许用应力，Pa；

$e$  ——焊接有效系数，对无缝钢管、电阻焊和高频焊钢管及铜和铜合金管取 1，其它方法制造的管子，另行考虑。

从上面计算可以看出，壁厚  $\delta$  与工作压力成正比，即工作压力值越大，其壁厚也就随之增加；壁厚与许用应力  $[\sigma]$  成反比，由于许用应力与工作介质的温度也是成反比的，所以壁厚值  $\delta$  与工作介质的温度成正比；工作介质的腐蚀性大的，则  $c$  值增加、相应的壁厚  $\delta$  值也增加，这就说明，在

选用管子时，主要考虑工作介质的压力、温度和腐蚀性三个要素。

### 三、管子的质量检验

用于船舶的管材除化学成分和机械性能必须符合国家和各部颁发标准外，根据需要还应作一些必要的质量检验，主要有外观质量和内在质量两大项。

外观质量检验的内容有管子的内外壁表面是否有裂纹、针孔、气泡、划伤、夹渣，起皮及蜂窝状锈蚀坑等，如有上述现象之一者就应列为不合格的管子不能使用。因为在管子上存在裂纹等上述缺陷的部位其强度就会大大降低，也就意味着管子的使用寿命缩短。

管子的内在质量检验项目有弯曲、扩口、翻边、压扁、氢病(铜管)等试验。

#### (一) 弯曲试验

管子弯曲试验的目的，是为了测定管材弯曲成规定尺寸和形状的能力，试验可在弯管机上或用人工方法将管子均匀弯曲至试验角度，成形后其弯曲部位任何一部分的外径最小尺寸，都不应小于公称直称的80%。

管子外径在60mm以下时，须用冷弯方法进行试验，60mm以上的管子，冷、热弯均可，视试验条件而定，试样长度的确定，以能满足弯曲成按有关技术条件规定的弯曲半径和弯曲角度为准，弯曲角度一般取90°为标准。见图2-1所示。

图 2-1 钢管的弯曲试验

图 2-2 钢管的扩口试验

图 2-3 钢管的翻边试验

对于有缝钢管，如果在有关技术条件中没有明确指出管缝的摆放位置，则可任意放置。

试样经弯曲后其检验标准是，如果在管壁表面上未发现裂纹即认为合格。

## (二) 扩口试验

扩口试验的目的，是测定管子直径扩大到一定程度时所引起的金属变形的能力。扩口须在冷态下进行，做扩口试验的钢管壁厚不超过 8mm，试样长度  $L=1.5D+50\text{mm}$ ，试管两端应与管子中心线垂直，试验时，先将试管垂直放在平台上(带凸肩试验稳性好)，然后将锥度为 1/10 的圆锥形芯棒压入试样管内，见图 2-2 所示。

有关的技术条件都规定了各种管子的扩大值，通常管子壁厚  $\delta \leq 4\text{mm}$  时，扩大值取管子外径的 8%~10%，管壁厚  $\delta > 4\text{mm}$  时，扩大值取管子  $D$  的 5%~6%。扩大值计算公式：

$$(2-4)$$

式中  $d_t$ ——扩大以后的钢管内径，mm；

$d_o$ ——钢管原内径，mm；

$D$ ——钢管的原外径，mm。

检验标准是，除扩大值应符合规定外，钢管扩口后试样亦不得出现裂纹则视为合格。

## (三) 翻边试验

翻边试验的目的，是测定管壁反折成规定角度时，管子变形的能力(一般只对  $D$  为 30~59mm 的管子作这种试验)。

翻边试验可用整根管子进行，也可截取方便试验的任意长的一段管子进行，试验可用圆头的小锤轻轻敲击翻边部分或用锥形心棒进行卷边。同样管子的试验端面与管子中心线垂直。翻边折角  $\alpha$  按规定可取  $90^\circ$  和  $60^\circ$  两种，翻边宽度  $H$  值取管子内径的 12% 和管子壁厚的 1.5 倍两个值中的最大者。见图 2-3 所示。

翻边达到各规定值( $\alpha$ 、 $H$ )后且没有裂纹和裂口，则认为合格。凡是作翻边试验的钢管即可取消扩口试验。

## (四) 压扁试验

对管子进行压扁试验的目的，是测定将管子压扁到一定尺寸时管子变形的能力。

截取一根长度约等于管子外径的管子的试样，在冷态下用锤击或压力机将其压扁至管子内壁完全吻合或达到技术条件规定约的距离  $H$  为止，如果此时管子没有发现裂纹则为试验合格。如图 2-4 所示。

图 2-4 钢管的压扁试验

钢管压扁后的  $H$  值，按下式计算：

$$\text{mm} \quad (2-5)$$

式中  $\delta$  ——钢管的公称壁厚，mm；

$\alpha$  ——单位长度变形系数，合金钢  $\alpha = 0.09$ ；低碳钢  $\alpha = 0.08$ ；碳素钢  $\alpha = 0.07$ 。

对有缝钢管作试验时，管缝应置于压扁的面上。当钢管  $D < 22\text{mm}$  和  $\delta > 10\text{mm}$  时不作压扁试验。

#### (五) 铜管的氢病试验

由于工业铜中总是含有氧，它以  $\text{Cu}_2\text{O}$  的形式分布在晶粒边界上， $\text{Cu}_2\text{O}$  在高温氢气中会发生化学反应：

如果由于铜管材料内含有数量超过 0.01% 的氧时，它与火焰内未经燃烧的氢相结合，使在材料晶格处产生水蒸汽，水蒸汽膨胀破坏了晶粒间的联系，使铜变脆甚至产生裂缝，人们把铜管的这种现象称为“氢病”。

“氢病”试验就是将铜管放进钢制容器内，不断充进高温氢气并保温 40 分钟，然后将试样进行压扁试验，检查是否出现脆裂现象，如没有，则证

明管子没有“氢病”，即为合格品。

#### 第四节 管系中附件、设备与检测仪表

任何管系，都是由管子和其他配件组成，如管路连接件、阀件、观察检测仪表、滤器和操纵附件等，都以完成本身的任务来保证管系按预定的要求正常可靠地工作，这些配件我们称为管路附件，简称管件。

“公称通径”是指将附件连接到管路或某一组合机械上的附件连接管的名义内直径，它的符号为“ $DN$ ”，计量单位为毫米。

##### 一、连接附件

连接附件的功能是将系统中的机械、设备、仪表、附件和管子等相互连接起来，并给安装和检修带来便利。连接方式主要有法兰连接、螺纹连接、焊接连接三种。

##### （一）法兰连接

法兰是连接附件中最可行的连接方法之一，使用范围也很广泛，可用于  $DN \geq 20\text{mm}$  以上的各种管子的连接，应用时可根据需要按标准选用。目前常用的法兰种类有搭焊法兰、对焊法兰、松套法兰等。

##### 1. 搭焊钢法兰

这种船用法兰的特点是结构简单、制造方便，它适用于公称通径为 10—2000mm， $PN \leq 0.25 \sim 1.6\text{MPa}$ ，工作温度低于  $300^\circ\text{C}$  的各种钢管的连接，制造这种法兰的材料一般为普通碳素钢中的 Q235—A 类，但如果连接不锈钢管，其法兰的材料也相应为管子的同种材料。见图 2—5。

图 2—5 搭焊钢法兰

##### 2. 对焊钢法兰

这种船用法兰与管子采用对接焊的形式，加之法兰本体用 Q235-A 类普通碳素钢浇铸毛坯，经锻造、热处理后制成，所以能够承受较高的压力和温度。

船用对焊钢法兰有两种结构形式。图 2-6 为一般的铸钢对焊钢法兰，它的密封面结构与搭焊钢法兰的密封面结构相同，它适于  $PN \leq 2.5\text{MPa}$  和工作温度低于  $400^\circ\text{C}$ ， $DN$  在  $10 \sim 600\text{mm}$  之间的各种钢管的连接。

图 2-6  $PN25$  对焊钢法兰

图 2-7 为法兰密封面带有凸肩和凹槽匹配使用的铸钢对焊钢法兰，这种密封结构较大地提高了它的耐压能力，一般可承受的  $PN$  为  $4.0 \sim 6.4\text{MPa}$ 。最高耐温能力也为  $400^\circ\text{C}$ ， $DN$  为  $10 \sim 500\text{mm}$  之间。这种结构的法兰，一般主要用于蒸汽、压缩空气及 1211 灭火等高温高压管路的连接。

由于这种法兰采用凸肩凹槽匹配密封结构，无疑对法兰与管子的装配焊接精度提出了较高的要求，因此它给施工带来一定的困难。

图 2-7  $PN40$ 、 $PN64$  对焊钢法兰

### 3. 船用铸钢法兰

这种法兰的结构形式与对焊钢法兰基本相同，只不过它用 ZG25 II 经机加工而成，它的公称压力  $PN$  在  $0.25 \sim 6.4\text{MPa}$  之间，其中  $0.25 \sim 1.0\text{MPa}$  的  $DN$  在  $10 \sim 2000\text{mm}$  之间， $1.6 \sim 2.5\text{MPa}$  的  $DN$  在  $10 \sim 1000\text{mm}$  之间， $6.4\text{MPa}$  的  $DN$  在  $10 \sim 500\text{mm}$  之间。

### 4. 椭圆形搭焊钢法兰

如图 2-8 所示，这种法兰只使用两个螺栓连接，法兰密封面的四周受力是不均匀的，所以只适于  $PN < 0.6\text{MPa}$  和工作温度低于  $200^\circ\text{C}$ ， $DN$   $10 \sim 40\text{mm}$  的管路上，这种法兰的优点是体积小，宜用于空间狭窄的场所。

### 5. 松套钢法兰

图 2-8 椭圆形搭焊钢法兰

图 2-9 展示了四种不同形式的松套法兰，它们共同特点是能够在管子上自由回转，这样就给管子的制作与安装带来一定的方便，但是由于它的密封采用与管子焊在一起的附加环，无形当中增加了厚度，因此，它使用的螺栓也相应需要加长。

(a) (b) (c) (d)

图 2-9 松套钢法兰

图中(a)为搭焊钢环松套钢法兰，此种法兰一般用于  $PN \leq 0.5 \sim 2.5 \text{MPa}$ ， $DN$  为  $10 \sim 500 \text{mm}$ ，温度小于  $300^\circ\text{C}$  的管路上。

图中(b)为搭焊钢环松套钢法兰，用于连接  $PN 2.5 \sim 6.4 \text{MPa}$ ，温度小于  $400^\circ\text{C}$  的各种钢管。

图中(c)为搭焊铜环松套钢法兰，用于连接  $PN \leq 2.5 \text{MPa}$ ，温度小于  $250^\circ\text{C}$  的各种铜管。

图中(d)为铜管折边松套钢法兰，用于公称压力  $PN \leq 0.6 \text{MPa}$ ，温度小于  $250^\circ\text{C}$  的各种铜管。这种法兰看起来似乎结构简单，装配也简单，只需要管子折边就可以了。其实不然，第一，折边需要加热，如果加热温度和折边速度控制不良，在折弯处易产生裂纹，第二，折边不易控制，容易造成管子总长度值超差，进而影响管子的安装质量。

## 6. 搭焊铜法兰

搭焊铜法兰主要是用于铜管的连接，特别是水下产品，所有的  $DN > 32 \text{mm}$  的铜管，均采用这种法兰连接。制造这种法兰的材料为硅黄铜，其牌号 HSi80-3，公称压力  $PN \leq 0.6 \sim 1.5 \text{MPa}$   $DN$  为  $10 \sim 500 \text{mm}$ 。搭焊铜法兰的工作温度均应小于  $250^\circ\text{C}$ 。

## 7. 船用铸铜法兰

制造这种法兰的材料相对较多，比如有 ZHS: 80-3 ZQSn8-4 ZQAL9-2; ZHMn58-2 等。它的  $PN$  为  $0.6 \text{MPa} \sim 4.0 \text{MPa}$ 。其中  $0.6 \text{MPa}$  的  $DN$  在  $10 \sim 100 \text{mm}$  之间， $2.5 \text{MPa}$  的  $DN$  在  $10 \sim 500 \text{mm}$  之间， $4.0 \text{MPa}$  在  $10 \sim 100 \text{mm}$  之间。

## (二) 螺纹接头

螺纹接头其特点是尺寸小，重量轻，拆装方便，使用可靠。这类接头通常都是成品，材料一般为碳钢、镍铬钛钢、黄铜、青铜等。这主要用于公称通径 3~32mm 的管子与管子、管子与附件、管子与设备的连接。

螺纹接头按其耐压能力可分为低压螺纹接头(公称压力  $P_N \leq 1.6\text{MPa}$ )，中压螺纹接头(公称压力  $P_N$  为 1.6~10.0MPa)，高压螺纹接头(公称压力  $P_N$  为 10.0~16.0MPa，25.0MPa)。若按螺纹接头密封面的结构特点又可分为平肩螺纹接头和球面螺纹接头，还可以分为搭焊螺纹接头和对接焊螺纹接头。

### 1. 中间螺纹接头

这种螺纹接头是用于两根管子之间的连接，其结构如图 2-10(a)、(b)、(c)所示，其中图(a)为低压中间螺纹接头，图(b)为中压中间螺纹接头，图(c)则是高压中间螺纹接头。

(a)

(b)

(c)

图 2-10 中间螺纹接头

(a) 低压中间螺纹接头；(b) 中压中间螺纹接头；(c) 高压中间螺纹接头

1—A 型平肩接头；2—外套螺母；3—垫片；4—A 型中间螺纹接头

### 2. 旋入螺纹接头

旋入螺纹接头主要用作管子与带内螺孔的机械设备或附件的连接，根据耐压能力不同，也可分成低压旋入螺纹接头、中压旋入螺纹接头和高压螺纹接头。

### 3. 支管螺纹接头

支管螺纹接头是用来连接两根轴线相交的管子(一般两轴线均为垂直),支管螺纹接头最大能适用的  $PV$  为 4.0MPa 以下的管子的连接。

### 4. 异径螺纹接头

这种螺纹接头用于不同的公称通径的管子与管子、管子与附件的连接。也可分为低压、中压和高压三种。

### 5. 外套螺母接头

主要用于将管子与带外螺纹零件的设备、附件的连接,也可分为低压、中压和高压三种。

制造低压螺纹接头的金属材料有普通碳素钢(A3)和不锈钢(1Cr18Ni9Ti)两种,由碳钢制造的低压螺纹接头用来连接输送油类、淡水、空气及工作温度小于 250℃ 的蒸汽等钢管,而不锈钢低压螺纹接头仅限于连接输送蒸汽的不锈钢管。

中压螺纹接头则由优质碳素钢(20#)、不锈钢(1Cr18Ni9Ti)、黄铜(HMn58-2)和铝青铜(A19-2)四种材料制成的,20#钢中压螺纹接头主要用来连接输送燃油、滑油、淡水、二氧化碳、空气、蒸气、海水等介质的钢管,但是当用于二氧化碳、空气、海水管的连接时,需要和管子一样进行镀锌处理,以提高它的抗腐蚀能力。

用锰黄铜制成的中压螺纹接头适用于冷凝水、油类、空气的铜管连接,而铝青铜可用于海水、二氧化碳的铜管连接。

不锈钢中压螺纹接头也只用于输送蒸馏水的不锈钢管的连接、也可用于液压和食用淡水管的连接。

高压螺纹接头只有用优质碳素钢(20#)一种材料制成,它的适用范围基本与碳钢中压螺纹接头一样,但是承压能力要相对高一些。

### 6. 螺纹三通四通接头

支管螺纹接头,最大耐压能力仅达 4.0MPa,那么需要垂直连接的两根管子,其输送的工作介质压力又大于 4.0MPa 时,常用的是螺纹三通四通接头。如图 2-11 所示。

图 2-11 螺纹三通四通接头

### (三) 焊接连接

焊接连接的主要优点是重量轻、尺寸小、装配方便、密闭性强；但其缺点是不可拆卸、焊接后管内的氧化皮不能清除且易腐蚀。

焊接连接，如图 2-12(a)、(b)、(c)所示主要有对接焊连接、搭接焊连接和套管接焊三种。

(a) (b) (c)

图 2-12 焊接连接

(a) 对接焊；(b) 搭接焊；(c) 套管焊

一般情况下，对焊接连接和搭接焊连接采用的不多，而套管连接焊采用的比较多，船舶上各类液舱的通气管的连接(如压载舱、燃油舱、滑油舱、淡水舱)和油舱内的蒸汽加热盘管的连接均采用套管连接。

### (四) 通舱管件

通舱管件主要用于液舱、甲板和船舱隔壁及轻型隔壁上管子的相互连接，以保证水密。

通舱管件与甲板等连接有可拆式和不可拆式(将通舱管件焊在甲板或隔壁上)两种形式。根据工作介质的参数和管子的公称通径的大小及施工情况，按通舱管件的结构可分为焊接座板通舱管件、螺纹通舱管件和法兰通舱管件等三种类型。

#### 1. 焊接座板

焊接座板分为单面焊接座板和双面焊接座板两种类型，主要用于公称通径较大的管子或附件的连接。

如图 2-13(a)所示为双面焊接座板，当甲板或隔壁的两面同一位置均有管子连接时就采用这种双面焊接座板，它的  $DN20\sim 350mm$ ， $PNO.6\sim 2.5MPa$ ，公称通径越大，则公称压力应越小，材料为碳钢。

图 2-13(b)则为单面焊接座板，主要在液舱舱壁的内侧不接管而外侧需接管子或附件时采用这种单面焊接座板，它的  $DN20\sim 500mm$ ， $PNO.5\sim$

2.5MPa，材料是碳钢。

(a)

(b)

图 2-13 焊接座板

(a) 双面焊接座板；(b) 单面焊接座板

## 2. 螺纹通舱管件

螺纹通舱管件是与螺纹接头配套使用的一种附件，即  $DN32\text{mm}$  以下的管子大多采用螺纹接头连接，当这类公称口径比较小的管子穿越甲板，船舱隔壁等其它船体结构时，就需要用螺纹通舱管件进行连接。它的公称压力也与螺纹接头同样分为高压、中压、低压三个档次，由碳钢、青铜、镍铬钛钢制成，如图 2-14 所示，其中 A 型与舱壁连接采用螺纹紧固，而 B 型则焊在舱壁上。

(a)

(b)

图 2-14 螺纹通舱管件

(a) A 型；(b) B 型

由于甲板或隔壁厚度不同，因此，即使是同一压力档次的螺纹通舱管件，它们的长度有长短之分。

## 3. 法兰通舱管件

如图 2-15 所示，所谓的法兰通舱管件是由标准的钢法兰与一段钢管焊接而成的，同时，附加了一块焊接衬板。

图 2-15 法兰通舱管件

法兰通舱管件的公称压力由其采用的法兰来决定的，图 2-15 所示的是属于  $PN1.6\text{MPa}$  的一种，实际上还有 2.5MPa 和 6.4MPa 的法兰通舱管

件。

法兰通舱管件一般都是钢结构制品，但是，当海水系统的管路采用紫铜管时，钢结构的法兰通舱管件的内壁需要复合一层紫铜衬套，使它的抗海水腐蚀的能力与管路相同，提高法兰通舱管件的使用寿命。

### （五）挠性接管

在船舶上，尤其是在舰艇上，要求有些管系具有消除由于温度的变化、航行状态的船体变形及各种机械设备运行产生的振动，噪音及冲击的优良性能，为了使管系能够满足这些要求，通常采用挠性接管，以达到减振、隔音、抗冲击，保护动力设备的正常运转，防止管路连接的紧密性被破坏的目的。

常用的挠性接管有以下几种：

#### 1. 夹布胶管

夹布胶管是一种光滑的圆柱形挠性接管，适用于  $DN \leq 80 \text{ mm}$ ， $PN \leq 0.6 \text{ MPa}$  的油管路和水管路，但水的温度不得大于  $100^\circ\text{C}$ ，油的温度不得大于  $80^\circ\text{C}$ ，特别要注意的是，工作介质是油类时，夹布胶管必须是由耐油橡胶制成的。

用夹布胶管连接管路具有如下优点：结构简单，安装方便，富有弹性，重量轻，可隔离高机械振动对管系的影响，管子膨胀和船体变形而引起管子变形时，有一定的补偿作用。

夹布胶管的结构及连接形式见图 2-16，夹布胶管与管子连接时，将管子的近管端约 10mm 处沿圆周加工一圈近似圆弧形的凸台，然后插入胶管，最后用管箍箍紧即可。

图 2-16 夹布胶管连接

## 2. 高压橡胶接管

高压橡胶接管是一种特制的挠性接管，且多用于液压系统的管路与机械设备之间的连接，它与夹布胶管在结构上的区别是：高压橡胶接管是由橡胶和金属丝网复合而成，且本体的两端带高压螺纹接头， $DN$ 最大为 32 mm。

## 3. 减振橡胶接管

减振橡胶接管，通常又称为减振器，它安装在与动力机械设备相连接的管路上，起到减振、隔音和防冲击的作用，接管的总体结构是以金属为骨架，充入耐油、耐热橡胶压铸而成。它可以在轴向变形 $\pm 5$  mm，径向变形 $\pm 5$  mm，温度在最低零下 $5^{\circ}\text{C}$ ，最高零上 $150^{\circ}\text{C}$ ，公称压力 4.0MPa 状态下正常工作。当然，随着工作参数的不同，减振橡胶管的结构参数也不同，图 2-17 仅是其中的一种。

图 2-17 减振橡胶接管

1—接管本体；2—橡胶金属半环；3—调整螺钉；4—夹环

减振橡胶接管的安装精度在管系附件当中要求是比较高的，一般在有关技术文件中都对接管在安装过程中产生的轴向拉压变形量和径向偏移变形量做出明确的规定。

减振橡胶接管可适用于工作介质为海水、淡水、滑油、空气、低温蒸汽等管路的连接，其  $DN$  在 20~250 mm 之间，最大可达  $DN500$  毫米，它还有常温、中温、高温、耐油和不耐油之分。

## 4. 金属波纹管

金属波纹管又称为不锈钢减振器，这种减振器是由多层薄壁无缝不锈钢管或直缝焊接不锈钢管，用液压或滚压方法制造，多用于高温蒸汽，柴油机排气管路工作状态产生的轴向位移和径向位移的补偿。

图 2-18 是一种专用压力较低，但温度很高的柴油机排气管直管的膨胀补偿的金属波纹管。

图 2—18 低压金属波纹管

## 二、调节、控制附件

在船舶系统中，调节、控制附件的种类是很多的。在这里主要叙述安装在管路当中的一种类型的调节、控制附件——阀门。

### (一) 截止阀

截止阀的功能是截止或接通管路中的工作介质，也可以调节工作介质的流量，它是应用最广泛的一种阀门。

按照工作介质在阀腔中流通的形式，截止阀有直通(A型)和直角(B型)两种形式，按连接方式有法兰截止阀和螺纹截止阀。

这种阀是由阀体、阀杆、阀盖、阀座等组成。制造截止阀阀体的材料有铸铁、铸钢、锻钢和铸铜四种，这些材料主要是指阀体的材料，它们的主要性能和适用范围见表 2—8。

表 2—8 截止阀的主要性能和适用范围

阀件名称	公称压力 MPa	公称通径 mm	适用介质
法兰铸铁 截止阀	1.0	65~150	海水、淡水、燃油和 225℃蒸汽
	1.6	20~50	
法兰铸钢	1.0	65~150	淡水、滑油、燃油和 300℃蒸汽
	1.6	125~150	

截止阀	2.5	20~150	淡水、滑油、燃油和 400℃蒸汽
	4.0	65~100	
	6.4	20~50	
外螺纹锻钢 截止阀	4.0	15~32	空气、燃油、滑油、淡水和 400℃蒸汽
	10.0	6~32	
外螺纹青铜 截止阀	4.0	15~32	海水、淡水、燃油、滑油、空气和 250℃蒸汽
	10.0	6~32	

图 2—19 和图 2—20 分别为法兰截止阀和螺纹截止阀，它们的截止或接通工作原理是这样的：当逆时针旋转手轮时，则带动阀杆做逆时针旋转上升运动，与此同时，阀杆也带动阀盘（阀头）上升且离开阀座，使阀门呈开启状态，工作介质就可以按图示箭头方向进入和流出截止阀，这就是接通，反之，顺时针方向旋转手轮，直至阀盘严密地坐落在阀座上，如图所示的状态，就起到截止工作介质流通的作用。

图 2—19 法兰截止阀

图 2—20 螺纹截止阀

选用和安装截止阀应注意如下几点：

- (1) 根据不同的工作介质及工况选用合适的材料和连接方式的截止阀（不同的工况包括工作介质的压力、温度、流量）。
- (2) 安装截止阀要严格遵守低进高出的原则，应注意阀体上流通方向的标记。

一般的截止阀要关闭或开启只要直接转动手轮就可以了。而有些截止阀本身安装了一套齿轮传动开启装置，使用这种传动装置开启或关闭阀门的最大优点是能够减轻操纵者的劳动强度，目前，这种阀门仅限于应用在水下的海水系统。

## （二）止回阀

止回阀是一种能够控制工作介质只能沿着一个方向流动，若工作介质回流(逆流)时，它能自动关闭的阀门，它安装在只允许工作介质单方向流动的管路上。

如图 2—21 所示，是最常用的重力式止回阀，当具有一定压力的工作介质进入止回阀的，进口阀腔后，工作介质的作用力就作用在阀盘的下面克服阀盘的重力，迫使阀盘沿着盖上的导向槽上升而离开阀座，此时，止回阀的通道就打开了；而当工作介质回流时，止回阀的进口腔的工作介质压力则为零，阀盘就\*自身的重力回落到阀座上，此时，回流的工作介质的作用力就作用在阀盘的上面，促使阀盘紧密地压在阀座上，止回阀就关闭了，阻止了工作介质的回流。

图 2—21 法兰止回阀

止回阀与管路的连接方式同样也有法兰式和螺纹式连接，制造止回阀的金属材料(主要指阀体)有铸铁，铸钢和青铜三种。

止回阀的性能及适用范围见表 2—9。

表 2—9 止回阀的性能及适用范围

名称	公称压力 MPa	公称通径 mm	适用范围
法兰铸铁	0.6、1.0	20~150	海水、淡水、燃油和 $t \leq 225^\circ\text{C}$ 蒸汽
止回阀	1.6	20~50	

法兰铸钢 止回阀	1.0	65~125	海水、滑油、燃油和 $t \leq 300^\circ\text{C}$ 蒸汽
	2.5	20~100	
法兰青铜 止回阀	0.6、1.0、1.6	25~125	海水、淡水、燃油、滑油和 $t \leq 250^\circ\text{C}$ 蒸汽
	2.5	20~100	
外螺纹青铜止回阀	1.6	15~32	海水、淡水、油类和 $t \leq 250^\circ\text{C}$ 蒸汽

### （三）截止止回阀

截止止回阀是具有截止和阻止工作介质逆向回流双重作用的阀件，或者说它集截止与止回阀各自的优点于一身，又消除了截止阀和止回阀各自存在的缺点，即截止阀不能自动阻止工作介质逆向回流，但是当需要截止工作介质顺向流动时，止回阀是没有这个功能的。

从图 2-22 可以看出，不论是哪一种截止止回阀的外形结构，都和对应的截止阀是一样的，唯一的不同是，截止阀的阀盘是随阀杆的升降而升降的，而截止止回阀的阀盘并不随着阀杆升降而升降，因为它的阀盘并不固接在阀杆上，而是由带有止动凸肩的阀杆松插在阀盘的导孔中央。

图 2-22 法兰截止止回阀

截止止回阀按其工作介质流通形式可分为直通和直角两种；而按其连接方式又可分为螺纹式和法兰式。制造阀体的金属材料有铸铁、铸钢、锻钢和青铜等。

### （四）减压阀

减压阀是一种能够将主管路中或压力容器在工作介质的初始压力降低到适合低压系统应用的阀门，减压阀的种类有蒸汽减压阀、空气减压阀、滑油减压阀、海水减压阀、淡水减压阀等。由于被减压的工作介质的不同，这些减压阀的结构也有区别，然而它们的工作原理是相似的。

### 1. 蒸汽减压阀

图 2—23 是蒸汽减压阀，它的主要零件的作用是：当主阀弹簧 3、调节弹簧 11 和副阀弹簧 13 都处于非压缩状态时，蒸汽减压阀的主阀 4 处于关闭状态，副阀 8 也处于关闭状态，在无任何外力的作用下，主阀弹簧 3 使主阀 4 永远处于关闭状态下，活塞 5 能够上下位移，随之它能够带动主阀盘做同步位移，也就是关闭或开启，经调整螺栓压缩调整弹簧 11 推动膜片 10 向下凸出，向下凸出膜片又经推杆将副阀打开，此时副阀弹簧 13 也随之被压缩。

图 2—23 蒸汽减压阀

1—主阀阀体；2—下盖；3—主阀弹簧；4—主阀盘；5—活塞；  
6—副阀本体；7—活塞环；8—副阀盘；9—副阀座；10—膜片；  
11—调节弹簧；12—上盖；13—副阀弹簧

工作原理：首先顺时针旋转调整螺栓压缩调整弹簧 11，当调整弹簧的张力大于副阀弹簧 13 的张力时，副阀处于开启状态，此时，蒸汽进入减压阀进气腔，并不能立刻从排气腔排出。（因为这时主阀 4 还处于关闭状态）而是经过通道孔 A 进入副阀腔，再流经通道 B 进入活塞 5 的上部空间，这时，虽然减压阀进气腔与活塞上部空间的蒸汽压力是相等的。但由于活塞顶的面积大于主阀盘 4 下部的面积，这也就意味着活塞顶受到的压力大于主阀下部受到的压力，因此活塞就推动主阀，克服主阀弹簧 3 的张力向下位移使之开启，随之蒸汽经主阀通道在节流状态下流入排气腔，进入排气腔的蒸汽同时流向三条通道，一条是经 C 通道进入活塞的下部空间，对活塞下部施加一个作用力，这个作用力与主阀弹簧的张力、蒸汽对主阀盘下部的作用力产生的合力与活塞上部受到的蒸汽作用力产生平衡，使主阀的开启度保持一定；再一条是经通道 D 进入膜片下部的空间，它对下凸的膜片作用一

个上推力，当这个上推力及副阀弹簧 13 的张力的合力与调节弹簧的下压力产生平衡，副阀也就保持一定的开度，在正常工况条件下，当副阀开度保持一定量，就意味着主阀保持一定开度，根据节流原理，高压蒸汽就被减压为一定数值的低压蒸汽，只要主阀开度不变，减压蒸汽的压力也保持不变；进入第三条通道的也就是经减压后的蒸汽，作为工作介质流向做功部位。

在实际工况中，减压阀进气腔的蒸汽压力往往出现上下波动情况，随之减压阀的排气压力也将出现上下波动，当这个波动值超出允许波动值时，减压阀还能够自行调整。此时，当减压的蒸汽压力大于允许上波动值时，蒸汽就经过通道 D 进入膜片下部空间，对膜片作用一个足以克服调节弹簧下压力的上推力，使膜片减小对副阀的作用力，这样副阀弹簧就可以推动副阀向上运动而减小副阀的开启量，增大进入活塞上部的蒸汽的节流量，随着节流量的增加将降低蒸汽对活塞的下推力，而主阀弹簧的上张力也就推着主阀盘向上位移，减小主阀的开度，实现减少进入减压阀排气腔的蒸汽量，达到新的减压目的，也就是使减压蒸汽的压力保持不变。反之亦然，这就是蒸汽减压阀的自动调节功能。

## 2. 水减压阀

图 2—24 是一种水减压阀的结构，与蒸汽减压阀相比较，相对简单一些。

图 2—24 水减压阀

1—阀体；2—阀上盖；3—膜片；4—阀杆；5—密封环；  
6—阀盘；7—阀下盖；8—调节弹簧；9 调整螺栓

## 3. 空气减压阀

图 2—25 是压缩空气减压阀结构图。

图 2—25 压缩空气减压阀

1—薄膜片；2、7—弹簧；3—弹簧座；4—调节螺栓；5—阀座；6—阀盘

#### 4. 安全阀

安全阀用于锅炉，压力容器等设备和管路上，当介质的工作压力超过规定数值时，它可以自动排除超压介质，当介质的压力降到一定的数值时，安全阀将自动关闭。如图 2—26。

压缩空气安全阀，它事先需在调试台上按照使用要求调试好以后，才可装到压力容器或管路上。

当管路和容器内的压缩空气的工作压力超过安全阀的开启压力时，阀盘 3 就在空气的推动下，克服调节弹簧 5 的张力而脱离阀座，压缩空气就从通道 8 排出。管内的压力立即降低，起到安全保护作用。

图 2—26 压缩空气安全阀

1—接座；2—阀体；3—阀盘；4—弹簧座；5—弹簧；6—调节螺栓；7—锁紧螺母；8—通道

压缩空气安全阀的开启压力由弹簧 5 的张力决定，开启压力一般为工作压力的 1.1 倍，关闭压力不得低于工作压力的 85%。

#### 5. 薄膜式温度调节器

薄膜式温度调节器适用于以蒸汽，热水为加热介质的各种加热器中，被加热物质(油、水等)的温度自动调节。

调节器是由薄膜式温包感受元件和活塞式减压阀两大部份组成，温包感受元件测取被调节介质温度的变化，通过减压阀部分的作用，自动调节进入加热器中的加热蒸汽流量，达到温度自动调节的目的。

#### (五) 闸阀

闸阀又称为闸板阀，是一种使用较广的截止阀，但只能是直通式，且无节流作用。根据闸阀工作时阀杆位置的不同，它分为定位阀杆式和上升阀杆式。图 2—27 是一种定位阀杆式法兰闸阀。

图 2—27 闸阀结构图

1—手轮；2—闸杆；3—阀盖；4—闸板；5—阀体

闸阀是由盒状的阀体 5 和一斜度与阀体相同的楔形闸板 4 组成。它的侧表面凸出部分供其关闭时密闭及上下运动时导向之用，并可防止摆动；闸杆的下端有梯形螺纹，上端有锥形螺纹、中间有止动凸肩，上端螺纹与阀门开闭指示器啮合，下端与闸板 4 中的方螺母啮合，转动手轮，由于闸杆中部止动凸肩的限制，闸杆只能转动而不能上下运动，闸板借方螺母沿闸杆作上下移动从而达到启闭介质通路的作用。

闸阀与截止阀相比如下优点：外形尺寸小，法兰间的装配长度短；介质的流动阻力小，阀门安装不受方向限制，但是闸阀中的闸板与阀座间的密封面制造复杂，且易磨损，因此不能承受较高的压力。

闸阀的材料有铸铁、铸钢、铸铜等，它适用于要求流阻较小而介质压力不大的场合，以及大口径的管路上，如海水、淡水、燃油及滑油等管路上。闸阀的规格及性能见表 2—10。

表 2—10 闸阀的规格及性能

名称	公称压力 MPa	公称通径 mm	适用介质
内螺纹青铜闸阀	1.0	25~65	海水、淡水、 $t \leq 120^\circ\text{C}$ 燃油
内螺纹铸铁闸阀	1.0	25~100	淡水、 $t \leq 120^\circ\text{C}$ 蒸汽

法兰铸铁闸阀	0.6	50~150	海水、淡水、滑油
	0.4	200~300	
法兰铸铜闸阀	1.0	50~100	海水、淡水、燃油、滑油
	0.6	125~150	
	0.4	200~300	
名称	公称压力 MPa	公称通径 mm	适用介质
内螺纹青铜闸阀	1.0	25~65	海水、淡水、 $t \leq 120^{\circ}\text{C}$ 燃油
内螺纹铸铁闸阀	1.0	25~100	淡水、 $t \leq 120^{\circ}\text{C}$ 蒸汽
法兰铸铁闸阀	0.6	50~150	海水、淡水、滑油
	0.4	200~300	
法兰铸铜闸阀	1.0	50~100	海水、淡水、燃油、滑油
	0.6	125~150	
	0.4	200~300	

(六)  
) 阀箱  
阀箱  
就是将两个或两个以上的截止阀或截止止回阀的阀体整体铸成一个组合体。阀箱优点是便于集中管理, 操纵方便, 相

对地占用空间小，阀箱目前仅限于应用在海水、淡水、燃油系统。

由于管系性质和连接方式的不同，阀箱有各种型式，在阀箱本体内可以包括几个截止阀、止回阀或截止止回阀，可以制成单排、双排或三排的形式。按用途不同，可以分为三大类。

### 1. 吸入阀箱

吸入阀箱都是吸入口为分开而排出口为联通的单排阀箱，吸入阀箱能将介质分别从阀箱的每一个吸入口吸入阀箱内，然后由一个公共的排出室排出，适用于舱底水系统。如图 2—28 所示。

图 2—28 法兰式单排吸入截止阀箱

1—阀体；2—阀盘；3—阀盖；4—阀杆

### 2. 排出阀箱

排出阀箱的内部结构与吸入阀箱恰好相反，它是吸入口为联通而排出口是分开的单排阀箱，排出阀箱的工作原理是：介质进入阀箱的公共吸入腔内，然后从阀箱的每一个排出口分别排出。如图 2—29 所示。

图 2—29 法兰式单排排出截止阀箱

1—手轮；2—阀杆；3—阀盖；4—阀盘；5—阀体

### （七）压力表阀

压力表阀是一种专用于控制和连接压力表的阀门。它的主要功能有：一是由于压力表是易损件，当需要更换或维修压力表时，在卸下压力表前，将压力表阀关闭可避免工作介质的外泄；二是当工作介质是液体时，压力表管中往往积存着空气，而这部分空气可以使压力表不能稳定准确地指示工

作介质的压力，压力表阀可将这部分空气排出，从而保证压力表正常工作。

图 2-30 较常用的压力表阀，一般用于公称压力  $PN \leq 4.0 \text{ MPa}$ ，工作介质为海水、淡水、燃油、滑油、空气和温度  $t \leq 250^\circ\text{C}$  的蒸汽。制造压力表阀的金属材料为 ZHSI80-3 铸锡青铜。

图 2-30 压力表旋塞

### 三、观察附件

为了检查和测量系统中的机械和设备的压力、温度、液位等，以便随时了解和判别系统工作情况，并进行必要的调整或采取措施，必须设置各种检查和测量附件，其中常用的有压力表、温度计、液位指示器和液流观察器等。

#### (一) 压力表

压力表用来测量系统中的容器或管路内的流体压力，压力表根据其测压的工作原理可分为：弹簧管式压力表、机械电气式压力表及液柱式压力表等。弹簧管式压力表以其结构简单，工作可靠，使用方便，测量范围广，读数直接在船舶上得到了广泛的应用。

弹簧管式压力表是利用弹性元件的弹性变形产生的弹力与被测压力产生的力相平衡，通过测量其弹性元件的弹性变形量来测量压力的。船用压力表还具有防尘、防溅型的外壳，密封性能好，能保护内部机构免受机械损伤和灰尘、水滴的侵入。它分为压力表、真空表和真空压力表。

图 2-31 弹簧管式压力表

1—接头；2—表壳；3—刻度盘；4—弹簧管；5—指针；6—连杆；7—传动机构

图 2-31 为弹簧管式压力表的结构示意图。被测量流体经传压管从接头 1 进入压力表的扁圆形弹簧管 4 内，由于弹簧管内壁内侧的受压面积小于内壁外侧的受压面积，所以弹簧管内壁外侧所受到的作用力比内侧大，有使弹簧伸直的趋势。弹簧管在伸直的过程中，经过连杆 6 带动传动机构 7，传

动机构又带动指针 5 顺时针偏转，指示流体的压力，流体的压力越高，指针偏转的角度越大，这样就可以直接从表盘 3 上读出压力读数。为了排除因机械间隙引起的误差及当压力下降时帮助指针复位，在指针轴的底部还绕有一根游丝。

选用压力表时，其上限压力应为流体工作压力的 1.5~2.0 倍。

真空表用来测量密闭的容器或管路中流体的真空值。它的结构同压力表一样，不同的就是真空表接入容器或管路时，弹簧管收缩而带动指针逆时针偏转。

真空压力表即可以测量容器或管路中的流体的压力，也可以测量其真空值。规格见表 2-11。

表 2-11 真空压力表的规格

型号	名称	型式	测量范围 MPa	精度等级	接头螺纹
YZ-60	压力表	I	0.1-0; 1-0-1; 1-0-1.6; 1-0-4		M14×1.5
ZC-60	真空表	II	1-0-6; 1-0-16; 1-0-25	2.5	M10×1
YZC-60	压力真空表	III	0-1; 0-1.6; 0-2.5 0-4; 0-10; 0-16		
YC-100	压力表		0-25; 0-40; 0-60;		

ZC-100	真空表	IV	0-100; 0-160; 0-250	1.5	M20×1.5
XZC-100	压力真空表				

## （二）温度计

温度计是用来测量工作介质温度的附件。常用的温度计有玻璃水银（或有机液体）温度计和压力式温度计两种。

### 1. 玻璃水银温度计

玻璃水银温度计是利用液体的热胀冷缩特性来测温的。三种常用的水银温度计有直形、90°角形和135°角形，这三种形式温度计的选用主要根据安装位置来确定。

玻璃水银温度计的结构简单，价格低廉，安装方便和读数正确，但易损坏，且只能在观测点读数。

玻璃水银温度计安装在管路上时，其感温部分应处于被测介质流通截面的中心线上，如果斜插在管子上时，温度计的感温包应指向介质流动的方向。

### 2. 压力式指示温度计

压力式温度计是利用气体或液体的热胀冷缩特性来测温的。其抗振性好，价格便宜，可远距离指示、记录，但感温部分大，响应差。

如图 2-32 所示，压力式温度计由感温包 2，毛细管 1，弹簧管式压力表 6 及密封于感温包、毛细管及弹簧管内的气体或液体工作介质 3 所组成。感温包用不锈钢或铜等材料制成，测温时将其装于被测介质中。毛细管用钢或紫铜制成，内径为 0.2~0.5mm，壁厚为 0.2~2mm，长度为 2~6m。为保护毛细管，其外部套以金属编织网。当感温包在被测介质中温度变化时，其内封装的工作介质膨胀或收缩，因此密封系统内的体积和压力发生相应变

化，由弹簧管式压力表指示。活动螺母的螺纹有：M33×2 和 M27×2 两种。温度测量范围随温度计内工作介质的不同而不同。

图 2-32 压力式指示温度计

1—毛细管；2—感温包；3—工作介质；4—连接螺母；5—活动螺母；6 表头

### 3. 液位计

液位计常安装于锅炉、液体箱柜及其它容器上，用以指示该容器内液体的液位。

图 2-33 是 UB 型板式液位计。在液位计两端各装有一个针形阀，它们与容器连接的接头尺寸为 KG3/4 管螺纹，也可以在接头上焊上法兰与容器相连，这个针形阀不但可以起到切断阀的作用，还可起到自动闭锁的作用。当液位计安装在容器上，构成一个连通器时，液位计的玻璃因意外事故破碎后，自动闭锁阀在容器压力的作用下，（此时因容器压力大于液位计内压力）自动密封，以防止容器内的介质继续外流。

图 2-33 UB-4 型板式液位计结构图

1—上端针形阀；2—放气阀；3—伴热管接头；4—玻璃板；5—盖板；6—手轮；7—接头；8—下端针形阀；9—标尺；10—防尘帽；11—伴热管；  
12—放空阀；13—流液管

液位计一般应安装在便于观察和有照明的位置，且要保证上下垂直。

### 四、滤器

滤器的作用是过滤介质中的各种杂质，以保证系统中的机械和设备的正常工作。根据工作介质的不同，滤器可分为海水滤器、油滤器和气体滤器等。

### (一) 海水滤器

海水滤器主要用在海水泵的吸入管路上，以防止海水中的杂质进入泵内。它主要由箱体、箱盖、滤板（滤网）组成，其滤网的流通面积一般为管路的流通截面积的 1.5~2 倍。这种海水滤器的规格即  $DN$  在 40 mm~500 mm 之间，耐压能力在 0.1MPa 以下。

### (二) 油滤器：

油滤器用来过滤滑油、燃油中的杂质，以保证主机的燃烧或润滑质量及其它动力机械的正常运行。

油滤器有粗细两种，粗细滤器的过滤能力主要是由滤器中的滤芯所决定的。

#### 1. 圆筒形网式粗滤器

图 2—34 为圆筒形网式粗滤器，它的滤芯用一个圆柱形骨架附上金属网制成，油从滤器中的流动状态如图中箭头所示。

图 2—34 圆筒形网式粗滤器

图 2—35 薄片式细滤器

1—盖片；2、3—金属片；4—柱

#### 2. 薄片式滤器

缝隙式滤器比网式滤器完善些，既可做粗滤器也可做细滤器，它的滤芯如图 2—35 所示，通常是用薄金属片(或细金属丝)制成，其过滤精度取决于金属片 3 的厚度。金属片 3 越薄说明滤芯缝隙越小，即过滤精度或者过滤的油的清洁度越高，反之亦然。

#### 3. 滑油自清滤器

随着动力机械的发展，对润滑设备提出了更高的要求，如果频繁打开滤器，灰尘杂质容易进入，影响滤器使用的可\*性，又增加了管理人员的劳动

强度，HLZ—40—SS 型滑油自清滤器能消除以上缺陷。除此以外，它尚能保持始终如一的过滤性能，对润滑油的品质控制是一种理想的过滤设备。

自清滤器的主要优点是工作可靠，性能稳定，自动冲洗，使用维修方便，而且在清洗排污过程中，过滤器仍能正常工作。

HLZ—40—SS 型滑油自清滤器是一种组合式润滑油清洗设备，由过滤器、排污气控阀、滤器仪表板、空气调压阀及电气控制箱等组成。

滑油自清滤器的过滤工作原理如图 2—36 所示。

图 2—36 滑油自清滤器

1—集污壳；2—滤芯外套；3—粗网布；4—细网布；5—滤芯本体；6—上压圈；7—下压圈；8—大齿轮；9—小齿轮；10—十字滑块；11—半联轴器；12—蜗杆轴；13—滤器盖

工作原理：润滑油由进油总管经左右滤器底部入口，流经过滤元件(3)、(4)，过滤出油中杂质，清洁的油在滤器上部排油口排出。过滤元件(3)、(4)夹在经过加工并有孔槽的内外圆筒之间，(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)组成一个整体。(3)、(4)、(5)由适于滤器应用的不锈钢网布由(6)、(7)上下压圈夹紧在滤芯本体(5)上，防止滑油从圆周方向泄漏。

在滤器盖(13)上，装有功率 180 瓦，转速 1400 转 / 分，通过中间轴(10)、(11)、(12)和速比  $I=30$  的涡轮减速器相连接，其输出小齿轮轴(9)与大齿轮(8)相啮合，带动滤芯在滤器壳体的冲洗孔和集污壳(1)之间转动，冲洗介质(压缩空气)由外向内流，使粘在滤芯上的杂质冲到集污壳内，经过气控排污阀排入机舱污油柜。

### (三) 空气滤器

空气滤器的作用是滤出压缩空气中的杂质，以保证系统的正常工作。

它由滤器本体、滤网、螺塞和盖板组成，压缩空气进入滤器，杂质被滤网挡住，清洁的空气从滤器中排出。

## 五、热交换器

热交换器是将热量从一种流体传递给另一种流体的传热设备。根据其用途可分为加热器（用蒸汽加热燃油，饮水等）和冷却器（用海水冷却淡水、滑油、空气、蒸汽等）两种；根据其结构形式，常用的有盘管式、套管式、壳管式、板式等，同一种形式的热交换器往往既可作加热器也可作冷却器使用。

### （一）盘管式热交换器

图 2—37 为盘管式热交换器的结构示意图。为了降低燃油的粘度以便于驳运和使用，在油舱或油柜中装有加热盘管，管内用蒸汽对燃油进行加热；盘管式加热器也可装在茶桶内用以加热饮用水。

图 2—37 盘管式热交换器

图 2—38 套管式热交换器

盘管式热交换器除用作加热器外，还可以用作冷却器，在某些船舶的推力轴系和中间轴承中，装有单独的润滑油池，油池中装有盘管、用冷却水（海水）流过盘管对滑油进行冷却。

盘管式热交换器的盘管材料采用紫铜管或无缝钢管，根据需要它可以水平放置也可以垂直放置。盘管式热交换器的优点是易于加工制造，成本低，但其传热效率低，外形尺寸大，一般用在传热量不大，使用要求不高的地方。

### （二）套管式热交换

套管式热交换器是在小圆管外套以大圆管而组成，一种流体从较细的管子内流过，另一种流体则在、小管子所形成的夹套中流过。如图 2—38 所示，较多受热面时，可用多组套管结合。

### （三）壳管式热交换器

壳管式热交换器是应用最广泛的一种热交换器，目前船舶上使用的滑油冷却器、淡水冷却器、燃油加热器、冷凝器等，绝大多数是管壳式的。它的结构形式很多，但基本类型有三种：固定管板式、U形管式和浮头式。

#### 1. 固定管板式热交换器

图 2—39 为固定管板式热交换器，它主要由壳体 3 和前、后盖 5 以及固定在管板 2 上的传热管 1 组成。

图 2—39 固定管板式热交换器

1—传热管；2—管板；3—壳体；4—隔板；5—端盖

进行热交换的两种流体，一种在传热管内流过，另一种在壳体内流过。为了增加流体在壳体内的流速和流量，在壳体内布置了多道横向隔板 4，两种流体的流动情况如图所示。

固定管板式热交换器的特点是管束两端的管板都固定在壳体上，结构简单，易于制造，但由于它的管子、管板和壳体是刚性连接的，在两种流体有较大的温差时，壳体、管子和管板间由于膨胀不匀，连接处可能发生漏泄，因此，它只能适用于温差较小的场合。另外，由于管束无法从壳体中抽出，管子外壁清洗比较困难。

固定管板式可用船舶制冷装置的 F-12 冷凝器和蒸发器等。

#### 2. U 型管式热交换器

为了克服由于膨胀不均而造成漏泄的缺点，把直管改成 U 字形，把两管口固定在同一块管板上，这样就形成了 U 形管式，如图 2—40 所示。

图 2—40 U 型管式热交换器

1—传热管；2—管板；3—壳体；4—隔板；5—端盖

它的特点是管子可以在壳体内自由膨胀，管束可以从壳体中抽出，便于清洗管子外壁，但是，管内壁的污垢不便于清洗，另外，U型管是层层包围的，如果内层管子破损，则无法更换。U型管式适用于温差大、管内流体较清洁的场合，如燃油加热器、喷油嘴淡水冷却器等，考虑到U型管的弯管处比较容易堵塞和冬天可能发生“冰炸”，可采用弯曲段在上方的倒立式和下余式，如果管中液体在换热过程中有气体放出，应采用立式或上斜式。

### 3. 浮头式热交换器

浮头式是对固定管板式的改进，见图2—41所示。如果把传热管1的一端固定在一块较壳体内径略小的活动管板6上，当传热管束受热膨胀时，这块管板就可以沿壳体3轴向滑动，为了防止冷热流体间的相互泄漏，在活动管板的外周装有填料7并用压环8压紧。

图2—41 浮头式热交换器

1—传热管；2—固定管板；3—壳体；4—隔板；  
5—端盖；6—活动管板；7—填料；8—压环

浮头式和固定式比较，有以下两大优点：一是活动管板可以在壳体内滑动，减少了由于膨胀不均而产生泄漏的可能性；二是管束可以从壳体中抽出，便于清洗管子外壁。由于浮头式具有以上的优点，对工作流体的适应性较好，能在较大的温差下可靠地工作，所以得到较为广泛的应用，主要用作主机滑油冷却器、主机淡水冷却器等。

船用壳管式滑油或淡水冷却器已有定型的系列产品，它们的系列和性能数据见表2—12。

表2—12 冷却器系列产品的性能数据

	油从 55℃ 冷却到 46℃	淡水从 65℃ 冷却到 46℃	冷却水	接管通径	重量

名称	油量 m <sup>3</sup> /h	油阻力 MPa	淡水 量 m <sup>3</sup> /h	淡水阻力 MPa	进口 温度 ℃	消耗 量 m <sup>3</sup> /h	流动 阻力 Pa	冷却水进 (出)口 mm	被冷却介 质进(出)口 mm	kg	壳管 式热交换 器的材料 主要视工 作流体的 腐蚀性而 定, 传热 管的材料 有紫铜、 铝黄铜管 和无缝钢 管。管板 材料有铸 铁和锰铁 铜。管壳 一般用
2.5m <sup>2</sup> 冷却器	2	0.025	3	0.020	30	8	6.5	50	32	84	
5m <sup>2</sup> 冷却器	4	0.020	5	0.010	30	15	7.5	65	50	188	
10m <sup>2</sup> 冷却器	10	0.140	10	0.055	30	25	6.0	80	65	330	
20m <sup>2</sup> 冷却器	15	0.095	20	0.070	30	50	11.0	100	80	620	
50m <sup>2</sup> 冷 却器	50	0.130	50	0.050	30	70	12.0	125	100	1180	
80m <sup>2</sup> 冷却器	80	0.140	80	0.060	30	100	12.0	150	125	1656	
120m <sup>2</sup> 冷却器	125	0.110	125	0.040	30	140	8.0	200	200	2460	

5~8 mm厚

的钢板卷焊而成，也可用大直径钢管代替。传热管在管板上的固定方法有胀管法、焊接法和填锡法三种。

隔板常用材料有锰黄铜、塑料和钢质三种，其作用是组成壳侧流体的通道，可以增加流体的流程和提高流体的流速，从而提高热传效果。常用的隔板为半圆形，其高度为壳管内径的  $3/4$ ，厚度一般不小于  $3\text{ mm}$ ，两块隔板间距视传热要求而定。

## 六、垫片

### （一）垫片的分类

垫片按其用途可分为两大类。即用于管路连接的起密封作用的密封垫片，它的功能是防止工作介质漏泄。保证管路的正常工作。

另一类是管路与支架(吊架)之间的衬垫片，其功能是：防止管子与支架的接触腐蚀；防止支架对管子的摩擦损伤；降低管子与支架之间的热传导，减少热损耗；降低声波的传递。

### （二）密封垫片的种类及性能

#### 1. 高压石棉橡胶垫片：

高压石棉橡胶垫片是用高压石棉橡胶板制的。颜色为紫红色。它适用于  $PV$  为  $6.4\text{ MPa}$  和工作温度为  $400^\circ\text{C}$ ，工作介质为蒸汽、海水、淡水(饮用水除外)、空气、烟气、惰性气体等管路的密封。

#### 2. 中压石棉橡胶垫片

它是由中压石棉橡胶制成的垫片，一般适用于  $PV$  为  $4.0\text{ MPa}$ ，工作温度  $375^\circ\text{C}$  的蒸汽、海水、淡水（不包括食用淡水）等管路的密封。这种垫片是红色的。

#### 3. 低压石棉橡胶垫片

这种灰色的垫片可用于  $PV$  为  $1.6\text{ MPa}$ ，工作温度为  $200^\circ\text{C}$  的蒸汽、海水等管路的密封。

#### 4. 耐油石棉橡胶垫片

它是用耐油石棉橡胶板制成的垫片，一般专用于  $PV$  为 6.4MPa 以下，工作温度低于 100℃ 的燃油和滑油管路连接处的密封。颜色是绿色的。

当石棉橡胶垫片用于密封蒸汽管路时，须将垫片的平面涂上一层浆糊状的用石墨粉和气缸油调合制成的涂料。以防止垫片受热粘合在法兰上。

#### 5. 夹布橡胶(胶皮)垫片

船用夹布橡皮垫片一般由两种材料制成，一种是耐油中等硬度及弹性夹布橡皮，它适用于工作介质为  $PV$  为 0.6MPa、工作温度为 -30~+60 的海水、空气和油类。另一种是无毒中等弹性夹布橡胶，这种材料的垫片专用于食用淡水管路的密封， $PV$  不超过 0.6MPa，工作温度为 -30~+150℃。

#### 6. O 型橡胶密封圈

O 型橡胶密封圈是近几年广泛应用于船舶管路密封的一种密封件。由于它的密封性能较好，因此它多用于公称压力 10.0MPa 以上，公称通径为 32mm 以下，工作温度为常温的液压管路和空气管路的密封。

#### 7. 紫铜垫圈

紫铜垫圈除具备“O”型密封垫圈的性能外，它还可用于温度较低但公称通径较大的接口密封。紫铜垫圈在使用之前必须进行“退火”处理。

目前, 出口船舶上的垫片材料不使用含石棉的, 而采用特力、芳纶、橡胶等。垫片材料的推荐表如表 2-13, 特殊情况根据实际要求选用。表 2-14 说明了几种垫片厚度参照表。

表 2-13 垫片材料及适用范围

序号	管路系统名称	垫片材料	序号	管路系统名称	垫片材料
1	燃油	特力	10	压缩空气	特力
2	滑油	芳纶	11	舱底水	芳纶

3	海水	氯丁橡胶	12	粪便	芳纶
4	淡水冷却	芳纶	13	疏排水	芳纶
5	饮用水	无毒硅橡胶	14	排气	石墨复合垫外包 0.2 mm紫铜皮
6	淡水供给、驳运	无毒硅橡胶	15	蒸汽	石墨缠绕
7	热水	无毒硅橡胶	16	凝水	石墨缠绕
8	消防管	氯丁橡胶	17	CO <sub>2</sub> 管	紫铜
9	压载水	氯丁橡胶	18	液压管	O型圈

注：1. 管螺纹接头用聚四氟乙烯薄膜密封。

2. 对于特殊系统需采用的垫片应满足设计图纸要求。

表 2-14 橡胶、芳纶、特力垫片厚度

公称通径 <i>DN</i> mm	垫片厚度    mm
≤50	1.5~2
55~200	2~3
≥225	3~4

≥350	4
------	---

### (三) 衬垫的种类及使用范围

1. 石棉橡胶衬垫：主要用于受热管路与支架间的衬垫。
2. 耐油石棉橡胶衬垫：可用于燃油，滑油管路及机舱花铁板以下的各系统的管路与支架间的衬垫。
3. 铅板衬垫：它用于直接与海水接触或穿越油舱的管子与支架的衬垫。
4. 无毒橡胶衬垫：用于穿越食用淡水舱的管子与支架的衬垫。

衬垫的宽度应略宽于支架的宽度，长度以能围绕管子一周为准。

## 七、支架

管子的支架又称为吊架和卡子。为管子安装支架的目的是：防止由于管路温度的变化、船体的变形、机械设备的振动而引起的管路损坏及管路连接部位的密封性被破坏。

支架的种类按其结构有刚性支架、弹簧支架、导向支架等。刚性支架是应用最为普遍的一种，弹簧支架和导向支架一般只用于公称通径较大的主蒸汽管路和柴油机排气管的支撑。

支架的安装方式有：支撑型、悬臂梁型和吊挂型，支架采用何种安装方式，主要依据管路的安装位置而定，并要保证足够的强度。

支架有标准支架和特殊支架之分。支架的安装距离也有严格的要求。

## 第四章 船舶管系放样设计

### 第一节 概 述

#### 一、传统现场取样及现代管系放样

在船舶建造中，工程最大的是船体建造，其次是船舶管系制造和安装。据统计，管系的加工与安装所耗费的工时，约占整个造船工程的12~15%。以往，设计部门从事管系原理图和管系布置图的设计，只提供管系的大致走向。而管系的确切走向、管子的制造与安装，由生产部门在船体合拢、设备定位后进行。管子的制造则按“样棒弯管”法进行。这种方法不仅使管子的制造与管路安装质量差、劳动强度大、造船周期长，且不利于实现管系的“预制预装”。

为了缩短造船周期，提高造船质量，做出船东满意的船舶，单从船舶管系制造这个角度讲，必须改革落后的“管子制造现场取样法”，出现了船舶管系放样。

管系放样的目的是布置全船的管系，并为管子的制造与管路的安装提供施工图纸。它与老的管子制造工艺相比具有以下优点。

- (1) 在船体开工建造的同时（甚至在开工之前），即可进行管子的预制预装，可以大大缩短工期，提高造船效率。
- (2) 大量的船内现场工作移到车间或外厂协作完成。工作条件好，安全可行，加工质量高。
- (3) 一次上船安装，减少了不必要的重复劳动，大大减轻劳动强度。
- (4) 能统筹安排管线，做到合理美观，有利于优化管理和精简节约。

(5) 管系参数及空间计算等可以采用计算机技术取代人工计算管系参数，进一步提高了工作效率和准确度。

管系放样可分为以下几个阶段：

(1) 60~70年代，在木地板上以1:1的比例画各种船体背景，画各种机械设备外形及与管路相接的接口，进行管子系统放样，当时用的计算工具是计标尺，这种方法需要的工作场地大，放样人员蹲在地板上进行操作，劳动强度很大。

(2) 70~80年代，在工作台上用长涤纶薄膜以1:10的比例画船体背景，画各种机械设备外形及与管路相接的接口，进行管子系统放样，这种方法比上种工作场地小，减轻了放样人员的劳动强度。

(3) 80~90年代，把涤纶薄膜铺设在图板上，以1:20~1:25的比例分区综合放样。所谓综合放样，就是在小小的绘图板上，船体、电器、机械三大专业的放样设计一起进行，综合协调，把很多将会在生产中出现的问题，在绘图板上解决。在这个舞台上，放样人员按建造方针、管理部门和生产车间的要求，提供各种建造阶段的施工图纸和托盘。由于此时还没有采用计算机放样，有些好的设计要求，\*设计部门在有限的设计周期内很难实现，这个时期只是生产设计的初期阶段。

(4) 90年代后全国较大的造船都用计算机放样，把设计图中的管子走向数据、管子附件数据，管路数据等输送到计算机“PCPS”系统，通过计算机辅助设计，解决了管子零件弯管程序计算量和出图量很大的难题，大大缩短了生产设计的周期，计算机放样节约人力和时间，提高了设计水平，开辟了生产设计的新纪元。

## 二、管系放样的设计与生产

根据我国具体情况，以及国际上的先进经验，我国现将船舶设计分为初步设计、详细设计、生产设计和完工文件编制四个阶段。但是各个阶段之间是密切联系的，一般说来初步设计、详细设计阶段主要是解决造什么样的船的问题；而生产设计阶段主要是解决怎样造船的问题。

生产设计是指根据已认可的详细设计，按照工厂施工的具体要求，按工艺阶段、施工区域、施工单元绘制记入工艺技术要求、生产管理数据的工

作图表和提供生产信息的过程。生产设计图纸与一般施工图纸的主要区别是：不仅应指出施工的技术要领和施工程序，而应明确规定其所在区域的编号、材料及工时定额、计划进度要求等，使施工人员从中可以了解自己应当干什么，如何干，何时干完，及在什么地方干等细节。生产设计的图纸和文件是按产品施工进度要求分阶段提交施工现场的。

船舶管系的生产设计是船舶生产设计的重要组成部分之一，它主要包括机装生产设计和船装设计。其各自的综合布置图与原管系综合布置图相比，图纸的深度和广度有所提高。其主要特点是前者按区域，由一个人负责一个或几个区域进行全面分析和考虑，以达到布置合理和经济的目的。后者是按照系统分专业进行，必然会出现“抢”地方和布置不合理的现象。

当前，我国管系工程的设计和安装作业已经逐步接近国外先进水平，尤其是管系制造方面，以往的管系生产瓶颈现象，现在由于现代化数控弯管机等一批新技术生产线的引进，目前国内的弯管水平已经取得了长足进步。

## 第二节 管系常用符号

### 一、管系附件及符号

在管系布置施工图中，为了简化绘图，均以实线代表一根管子，而用折线代替管子弯头（大直径管子有时也用三线图绘出），用适当符号表示管系中的附件、阀件等，并与必要的尺寸标注、文字说明相配合来表达管系的几何形状、具体尺寸和安装位置。

管系布置施工图中常用的符号，归纳起来有四种。因目前所采用的符号尚未完全统一，这里只列举一些常用的基本符号，供参考。

#### （一）管子弯头符号

管子基本弯头有两种：弯曲成 $90^\circ$ 的角尺弯和不等 $90^\circ$ 的别弯。小于 $90^\circ$ 别弯用得很少。由于这两种弯头在平面图上有各种不同的布置位置，因而其弯头符号也有相应的变化，但归纳起来有六种基本情况。如表4-1所示。

表 4-1 管子弯头基本符号

在绘制管子弯头符号时必须注意以下两点：

- (1) 符号中的圆、半圆的直径等于所表示管子的外径，应按比例画在管路布置施工图上。
- (2) 半圆的开口对着上面的管子，离投影面远的管子画至圆心，离投影面近的管子画至圆周。

### （二）支管符号

管路上的支管也需用符号加以规定。一般支管端必有连接件（如法兰、螺纹、套管等），这些连接件的画法应统一采用管子附件符号表示。管路上的支管类型大致可分为三种：垂直支管（与主管垂直）、平行支管（与主管平行）、斜支管（与主管成一定角度）。

这些支管的符号如表 4-2 所示。

表 4-2 管子支管符号

### （三）管子连接件符号

常用的管子连接件有：法兰连接、螺纹接头、软管接头、套管接头等，此外还有异径管及通舱管件等。

图 4-1 法兰螺孔数

船舶管子连接件中以普通法兰使用最广，根据螺孔数目，法兰可分为两类：一类螺孔数为 4 的整数倍；另一类螺孔数为 4 的非整数倍，例如螺孔数为  $n=6$  和  $n=8$ ，如图 4-1 所示。由图可见，无论是 6 孔或 8 孔，它们都对称于  $O-O$  线，但  $O-O$  线转过  $90^\circ$ （法兰不动）至  $O'-O'$  位置，8 孔法兰的螺孔对  $O'-O'$  线仍是对称的，而 6 孔法兰则不同，此时有一对螺孔落在  $O'-O'$  线上，因此有必要对法兰螺孔进行标注。此问题通常是

针对螺孔数目是 4 的非整数倍法兰而言。

法兰螺孔的标注方法：以布置图的管子中心线为基准，当法兰螺孔的投影有一个落在中心线上时，称为“单”，而对称分布在中心线两边时，称为“双”。通常不论管子朝什么方向。法兰上相注“单”或“双”都是按照这个规定。图纸没有具体注明时一律按“双”的要求焊接法兰。

但是螺孔数为 4 的非整数倍法兰，虽然一般均按“双”孔布置，而当管子具有上正或下正管时，无论是“单”或“双”均必须加以标注，以免混淆而造成不必要的差错。法兰螺孔位置符号如表 4-3 所示。

表 4-3 法兰螺孔位置符号

#### （四）管子附件符号

这里指的附件是除上述连接件以外的各种阀件、阀箱、器具、旋塞等，在施工安装图上必须把它们按比例绘出，并应注意将主要尺寸标于图中。这些附件的符号如表 4-4 所示。

表 4-4 管子附件符号

### 第三节 船舶管系放样基本原理

#### 一、管系放样的基本原理

由解析几何可知，空间任一点的位置必须由三个坐标才能确定，如图 4-2 中 A 点的位置可用  $x, y, z$  表示。推广而言，空间一根直线段 AB 也可端点坐标值表示。

但是，要表示空间任何线段的形状，必须应用投影的方法，画出三面视图。机械制图中的正投影是管系放样中采用的基本投影方法。图 4-3 所示

为线段 AB 在互成直角的三个坐标面中的投影。

把坐标值与投影图结合起来，就可以用一个或两个视图清楚地表达出空间某一管段的几何形状及具体尺寸，这就是管系放样的基本原理。

## 二、管系放样基本手段

在管系放样中，要在平面视图中能够清楚地表达出空间管段的几何形状，还需要解决以下几个问题。

### （一） 放样符号

在管系放样图中，仅用一段实线来代表一根管子，当该线段向某一平面投影时，就需要一定形式的符号才能反映出它的几何形状管系放样中所需的符号详见本章第二节。

### （二） 管系放样基准面

管系放样符号解决了用平面图形来代表一个空间管系（管段、弯头、附件、连接件等）的问题，但是要确定该管系在空间的确切位置，还必须知道它的坐标值，要确定坐标值就必须知道原始坐标轴，即确定基准面。

#### 1. 横向基准面

横向基准面用以确定管系在左舷或右舷的坐标，一般以船体的纵舢剖面作为横向基准面。纵舢剖面可用符号 B 表示，“-”表示左舷，“+”表示右舷。例如 B - 200mm，即表示左舷距船体纵舢剖面 200mm 处。

#### 2. 纵向基准面

纵向基准面用以确定管系在船舶纵向坐标值，即首、尾方向位置，一般以船舶某一肋位或某横隔舱壁作为纵向基准面。标注时应具体标明某一肋位号，“+”表示自该肋位向大号肋位方向，“-”表示自该肋位向小号肋位方向，例如“36-200”表示 36 号肋骨向 35 号肋骨 200mm 处。

#### 3. 高度基准面

高度基准面用作确定管系在高度方向上的坐标值，一般以船体的基线作为高度基准面，在管路上标注 H200mm, 表示此管路上某一段或某一点距基线 200mm。对于大型船舶, 它具有的甲板层次较多, 为了简化尺寸标注和安装时度量方便, 根据各层平面管系放样的要求, 也可直接选择某层甲板平面作为高度基准面。为了避免混淆起见, 可在高度差数值前面加上不同的符号 (见表 4-5), 例如“平+200”, 表示此管段在平台甲板上方 200mm 处。

机舱花铁板以下的管子均以内底作为高度基准面, 但某些船舶内底板厚度不一致, 船中部较厚, 舷边较薄, 此时以内底作为高度基准面一律以内底板下边线起算, 这一点对机舱采用区域性单元组装工艺特别重要, 因为区域性单元在内场组装时, 其高度坐标在放样时由内底板下边线为准; 在安装时, 换算至花铁板的上边线为准。花铁板上边线与内底板下边线是等距离的, 无论是设备定位也好, 管子定位也好, 其高度尺寸均不会受内底板厚度变化的影响。对于某些单底船或有斜内底的船舶, 只能以平面作为高度基准面。在机舱部分放样时, 可根据需要换算至花铁板平面的标注高度。

表 4-5 各层平台符号

序 号	船体结构名称	符 号	序 号	船体结构名称	符 号
1	船 体 基 线	H	1 0	起 居 甲 板	起
2	内 底 板	内	1 1	遮 阳 甲 板	阳
3	花 铁 板	花	1 2	游 步 甲 板	游
4	平 台 甲 板	平	1 3	露 天 甲 板	天
5	下 平 台 甲 板	下平	1 4	救 生 艇 甲 板	艇

6	上平台甲板	上平	1 5	驾驶甲板	驾
7	下甲板	下甲	1 6	罗经甲板	罗
8	上甲板	上甲	1 7	甲板上面	+
9	桥楼甲板 (包括首、尾楼)	桥	1 8	甲板下面	—

### (三) 尺寸标注

在管系放样图及管子零件图上必须标注足够的尺寸，由于这两种图纸的用途不同，对尺寸标注的要求也不相同。

管系放样图用于安装工作，尺寸标注应满足便于安装的要求，一般应标注以下几项尺寸：

#### 1. 机械设备的安装定位尺寸

机械设备的安装定位尺寸通常在机械设备布置图上已经注明，在安装管子前，机械设备均已安装就绪，因此，有关的定位尺寸在放样图上可省略；只有在采用区域性单元组装时，这些尺寸在区域性单元组装图上仍应注明。

#### 2. 船体结构上的开孔定位尺寸

这是指通至双层底舱、舷旁以及附于船体结构上的油水舱进出管的定位尺寸。安装管子之前，根据图中注明的定位尺寸预先开孔。

#### 3. 管子的定位尺寸

沿船舶纵向布置的管子，在直管段上须注有距舭的尺寸；沿船舶横向布置的管子，在直管段上注有距某肋位的尺寸；平行布置的管子须注有管子的间距；带弯头的管子须注出弯头两边的高度定位尺寸。

管子零件图用于管子的备料、弯制、校管和安装定位，因而图上的尺寸标注必须满足这三项要求。

#### （四）尺寸标注方法

管子零件图上的尺寸标注方法与机械制图尺寸标注方法有所不同，为了便于管子制造，采用封闭尺寸标注法。下面选择一些曲形管子说明管子零件图上的尺寸标注方法。

##### 1. 无支管的管子尺寸标注

以图 4-4 所示一根带有两个定伸弯管子的尺寸标注为例，说明无支管管段的尺寸标注方法。从图中可以看出管子由六管段组成，管段 1-2、(3)-4、5-(6) 平行于投影面，此三管段不在同一平面内，所以分别在三管段上标有  $H_{600}$ 、 $H_{250}$  与  $H_0$ ，表示 1-2 与 (3)-4 的高度差为 350mm，(3)-4 与 5-(6) 的高度差为 250mm。1-2-(3)-4 是一个直角定伸弯，其中两管段 1-2 与 (3)-4 的尺寸已在图上标出，而垂直于图面的管段 2-(3) 无法直接注出其长度，因此采用间接标注法，实际上 2-(3) 管段的长度等于 1-2 与 (3)-4 两段的高度差，即为 350mm。(3)-4-5-(6) 是一个斜定伸弯，零件图上绘制的这根管子相当于一根平面定伸弯与投影面成某一角度后的投影。在校管时，必须用这个投影图，而在弯制时，又只能弯平面定伸，因此，必须在图中绘出平面定伸的中心距 430mm 和管段 4-5 的实长 456mm，并在零件图上附上注明这两个尺寸的图形，同时顺便以把成形角  $\alpha = 119^\circ$  注出。管段 5-(6) 的尺寸在图上注出，管段 (6)-7 垂直于图面，无法标注管段的实际尺寸，采用附加标注符号 注出它们的尺寸。

##### 2. 支管尺寸标注

在管子制造过程中，主管先弯好，支管是在校管时装上的，因此，支管的尺寸标注应从校管方便来考虑。现将几种典型支管尺寸标注方法介绍如下：

(1) 垂直支管 支管与主管垂直，尺寸标注如图 4-5 所示，图上支管与主管的管段 2-3 垂直，它装在点 6 处。从校管方便起见应注出 2-6 段的

长度 350mm（同时还应注出支管本身长度 300mm）。当支管管径与主管管径不相同，应在支管上注出它的管径  $\phi$ ，相同时可以不注。在注支管安装尺寸时容易标注  $a$  的尺寸，这是不正确的，因为点 3 在管子成形后根本不存在，而管子的 2-6 可以测量二管子的中心距后得出。

(2) 平行支管 支管本身是一个直角弯，它与主管安装时，支管本身的直角弯平面与投影面可以平行，也可以垂直，它们的尺寸标注如图 4-6 所示。

图 4-6 平行支管尺寸标注

图 4-6(a) 为支管直角弯与投影面平行时，平行支管的尺寸注标(为清楚起见其它尺寸省略)， $a$ 、 $b$  为支管本身尺寸， $c$  为支管在主管上安装的尺寸。

如图 4-6(b) 为平行支管直角弯平面垂直于投影面时的尺寸注标。从图可知，支管的水平长度为  $a$ ，安装尺寸离 1 端距离  $c$ ，但其垂直长度无法标出，因此可用“支  $H_0$ ”来间接表示该管段尺寸， $b=H-H_0$ 。

斜支管 斜支管的尺寸标注方法基本与前面的方法相同，图 4-11 为斜支管的标注方法。图中  $a_1$ 、 $b_1$ ， $a_2$ 、 $b_2$  为支管本身尺寸，支管的实际长度由这些尺寸计算确定， $c_1$ 、 $c_2$  为支管在主管的定位尺寸。 $a_3$ 、 $a_4$  表示支管的投影尺寸， $b_3$ 、 $b_4$  表示支管端点的高度坐标值。由于这两管段支管与主管重叠，因此需加注“上”与“下”表示斜支管在主管之上或主管之下。 $c_3$ 、 $c_4$  为支管在主管上的定位尺寸。(2)

圆弧支管 图 4-8 所示为圆弧支管制尺寸标注，基本上同以上支管尺寸标注法一样，一般情况下不会误解。

3. 管子余量的尺寸标注 有一些管子必须在现场确定它的长度，如嵌补管。为此，某部分长度适当加放余量，其标注方法如图 4-9 中所示。图中  $550^{+30}$  即为标注余量尺寸，550 是放样要求的尺寸，+30 是余量，实际切割长度由现场定。

#### 4. 管子安装尺寸标注

上述管子零件图尺寸的标注，只解决了管子加工制造问题，尚不能按此直接进行安装，因此还必须标注必要的安装符号，提供管子的安装依据，以便于安装。安装符号包括：①距船的首尾位置；②距船舫线位置；③距甲板层高度位置；④管端方向。

在管子零件图上标注安装符号的方法，有的仅标注管子的一端，也有将所有支管管段都进行标注，一般以管子两端均标注为宜。

图 4-10 为一根管子的安装尺寸及安装符号的标注实例。它表示了各管段的尺寸及管端 A、B 的安装位置。管端 A 安装在左端向舷侧，纵向位置在 36 号肋位处，横向位置在距船舫 1500mm，高度在内底上 1500mm 处；管端 B 安装在左舷向下，纵向在 35 号肋骨前 50mm，横向距舫 700mm，高度在内底板上 700mm。

有上述管子零件图与附注的各参数，就能正确地进行弯管、校管和管子安装工作。

安装符号的前三部分在基准面中讲过，管端方向的符号列于表 4-6 中。

表 4-6 管端方向符号

### 第三节 弯管参数计算

弯管参数计算分两部分：一部分是关于管段实长、弯曲角和旋转角的计算；一部分是关于弯头的起弯点和管长总长度以及无余量下料长度的计算。

求解弯管参数的方法有图解法和计算法两种。

图解法是利用平面投影图，根据所给出的具体条件，在图上增加必要的辅助线，利用几何关系作出所需的参数，然后用直尺、量角器等工具直接量出。用图解法求得的弯管参数的精确度，常常取决于作图比例的大小和作图的精确度。

计算法是根据所给出的管路各点的坐标值（或相对值），应用几何和三角函数或矢量代数进行人工计算，也可以应用电子计算机进行计算。计算的精确度只取决于给定的坐标值，与图形的绘制准确度无关。本书主要介绍三角函数法计算弯管参数。

### 一、弯角

管子的弯角是指一根直管子要弯成一定形状时，管子的一端所弯过的角度，一般用  $\alpha$  表示，见图 4-11 所示。

如果用弯管机弯管，先将管子夹持在点 A，随着弯模旋转，A 移至 A'（见图 4-12）。这时管段 PA 和 A'Q 与弯模处于相切位置，A 和 A' 是切点（即管子起弯点），弯角  $\alpha$  就等于弯模所旋转的角度，即  $\alpha = \angle AOA'$ 。所以在使用弯管机弯管时，只要掌握好弯模旋转的角度，就能得到所需要的弯角。

管子的弯角数  $n_a$  与管段数  $n$  的关系为  $n_a = n - 1$ 。

除弯头的弯角  $\alpha = 180^\circ$  外，一般地讲弯角  $\alpha < 180^\circ$ ，具体计算方法如下：

1、当弯角所在平面平行于投影面时，则投影角与弯角相等，如图 4-13 所示。

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{z}{y} \quad \alpha = \arctg \frac{z}{y} \quad (4-1)$$

2、当弯角所在平面不平行投影面时，则投影角不等于弯角，如图 4-14 所示。

图中：QF 是 QR 在管段 PSQ 所在平面内的投影；RF 垂直于上述平面；RE 垂直于 SQ 并与 SQ 的延长线相交于 E。显然， $EF \perp QE$ ，并且  $QE = x$ ， $EF = y$ ， $RF = z$ 。

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{z}{y} \quad (4-2)$$

$$\alpha = \arctg \frac{z}{y} \quad (4-3)$$

显然， $\alpha = \arctg \frac{z}{y}$  是上述公式中当  $Z=0$  的特殊情况。

图 4-15 弯角与成型角的关系

这里要注意：弯角  $\alpha$  和成形角  $\beta$  是两个概念，它们的关系是  $\alpha + \beta = 180^\circ$ （图 4-15）。虽然，用成形角  $\beta$  表示管子的弯曲角也能满足施工要求，但因弯管机的转动角度不是成形角的度数，弯管工必须进行换算才能确定弯管机转动角度，从而给弯管工带来麻烦。数控弯管机管子弯曲角度的控制，也是通过弯模回转度数的自动显示来实现的，因此，用实际转过的角度来表示管子的弯角是合理的。

## 二、长度计算

只算出管子的弯角还不能弯管，因为将管子夹在哪一点（即起弯点的位置）尚未确定。现分析图 4-11、图 4-12 所示的最简单形状。直管段  $PA=PS-AS$ ， $A'Q=SQ-SA'$ 。若已知  $PS$ 、 $SQ$  和  $AS$ 、 $SA'$ ，则直管段  $PA$  和  $A'Q$  的长度即能确定。已知  $PA$  和  $A'Q$  后，起弯点  $A$ 、 $A'$  也就定了。

### 1、管段实际长度

$PS$  和  $SQ$  是管段中心线的长度，称为管段的实长，通常用  $l$  表示。当弯角所在平面平行于投影面时，投影长与管段实长相等（见图 4-13）。

$$l = \quad (4-4)$$

当弯角所在平面不平行于投影面时，投影长不等于管段实长（见图 4-14），此时管段实长应为

$$l = \quad (4-5)$$

$AS$  和  $SA'$  是圆外一点  $S$  向圆引的两条切线（见图 4-12）。

当弯模半径为  $R$  时， $AS=SA' = R \tan \frac{\alpha}{2}$ 。（4-6）

### 2、弯头圆弧长度

弯头圆弧长度等于弯模圆心角为  $\alpha$  时所对应的圆弧头。当弯模半径为  $R$  时，

$$l_{\text{弧长}} = 2 \pi R \approx 0.01745R \alpha \quad (4-7)$$

设弯头的切线长和圆弧长之差为  $\Delta l$ ，则

$$\Delta l = 2Rtg \alpha - 0.01745R \alpha \quad (4-8)$$

在算出了弯角  $\alpha$  后，就可根据弯模半径求出切线长和弯头圆弧长。其中，弯模半径  $R$  应根据管子外径  $D$  从工厂实际数据查得。

### 3、下料长度

图 4-16 管子下料长度

下料长度就是弯制成形的管子的总长。理论上，它是各直管段长度和弯头圆弧长度的总和。在弯制管子时，弯头部分的圆弧长度因材料塑性变形等原因而略有伸长，所以实际下料长度应该比理论长度略短一些。当自动弯管机采用“先焊后弯”的工艺流程时，实际下料长度更是必须给出的一个参数。

从图 4-16 可知。管段的理论下料长度  $L_0$  为

$$\begin{aligned} L_0 &= AB + BC + CD - (EB + BF) - (MC + CN) + EF + MN \\ &= AB + BC + CD - (2EB - EF) - (2MC - MN) \end{aligned} \quad (4-9)$$

$$\text{即 } L_0 = l_1 + l_2 + l_3 - \Delta l_1 - \Delta l_2 = \sum \Delta l_i - \sum \Delta l_j$$

由于管子在弯曲时有一定的延伸量  $\Delta l$ ，所以实际下料长度应减去  $\Delta l$ 。对于有  $n$  个管段的弯曲形管子，实际下料长度为

$$L = L_0 - \Delta L = \sum l_i - \sum \Delta l_j - \Delta L \quad (4-10)$$

式中  $\sum l_i$  ——管段实长之和；

$\sum \Delta l_j$  ——弯头处切线长度与圆弧长度差值之和；

$\Delta L$ ——管子弯曲时的总延伸量。

延伸量 $\Delta L$ 是一个经验数据，它随管子的材料、直径、壁厚、弯曲半径、弯角大小以及热弯或冷弯等情况而定。通常，对于一定规格及材料的管子，延伸量 $\Delta L$ 与弯角 $\alpha$ 成正比。

目前船厂管子下料长度一般取理论下料长度即可，延伸量在校管时割除；如采用“先焊后弯”工艺时，必须考虑延伸量，此量通常根据试验获得的经验数据确定之。

### （三）转角

当弯曲形管子的弯管段数大于3时，就可能有转角存在。转角数 $n_\phi$ 与管段数 $n$ 之关系为

$$n_\phi \leq n-2 \quad (4-11)$$

首先从下面几个实例来说明转角的几何意义和基本规律。为了简明起见，把管子的相邻三段作为一个单元，并依次称三段管子为首段、中段和尾段。

#### 例1 平面中的双别弯

以左端为首段起弯（弯管机一般都是顺时针方向旋转），先弯制弯头B[图4-17（b）]，然后再弯制弯头C[图4-17（c）]，此时管子始终在弯模平面内移动，因此转角 $\phi=0^\circ$ 。

#### 例2 斜别弯

先弯制弯头S[图4-18（b）]，然后将管子移到弯头Q的起弯点。由于管段QR不在弯模所在平面内，管段SQR所在平面与管段PSQ所在平面有一个夹角 $\phi$ 。由于人总是站在弯管机前面进行操作，夹角 $\phi$ 的大小等于PS与QR在SQ\*尾侧的垂直平面内的投影的夹角（ $\phi=\angle$ ）。因此，必须将管段PSQ绕SQ轴按从到的方向（逆时针方向）转过角 $\phi$ ，使管段SQR所在平面与弯模所在平面重合，再弯制Q。这样，才能得到我们所需要的管子形状，

如图 4-18 (c) 所示。

从以上实例可以说明转角的概念为：构成每一个弯头的相邻两管段可以组成一个平面，相邻两个弯头所在平面间的夹角称为转角，通常用  $\phi$  表示；尾段向首段的旋转方向即为转角的旋转方向。

旋转方向有顺时针和逆时针。对于顺时针旋转，在转角  $\phi$  前面另上“+”；对于逆时针旋转，在转角  $\phi$  前面加“-”。当  $\phi=180^\circ$  时，不需注明方向，因为无论怎样转动，其结果是一样的。

由于求转角  $\phi$  是一项较为复杂的计算工作，而经常遇到的恰又是  $\phi=0^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ 、 $180^\circ$  三种情况。以下先介绍这类转角的基本规律，然后再介绍几种求转角的方法。

### 1. 特殊类型的转角

(1) 转角为  $0^\circ$  时，三段管子在同一平面内，且首、尾段在中段的同侧，如图 4-17 所示。

因为首、尾段在中段(\*尾侧)的垂直平面内的投影重合，所以  $\phi=0^\circ$ 。

(2) 转角为  $180^\circ$  时，三段管子在同一平面内，且首、尾段在中段的两侧，如图 4-19 所示。

因为首、尾段在中段(\*尾侧)的垂直平面内的投影在相反的方向的延长线上，所以  $\phi=180^\circ$ 。

(3) 转角为  $\pm 90^\circ$  时，首、中段所在与尾、中段所在平面互相垂直，如图 4-20 所示。

因为首、尾段在中段(\*尾侧)垂直平面内的投影是直角，所以  $\phi=90^\circ$ 。图 4-20 中 (a)、(d)、(e) 是顺转  $90^\circ$ ；(b)、(c)、(f) 是逆转  $90^\circ$ 。

### 2、直角斜别弯

直角斜别弯是一种典型的带有二个不在同一平面的弯头的管子。它有图 4-21 所示的四种基本情况。四种基本情况以左段为首段，分别作出它们的

左侧视图。

图 4-21 直角斜别弯的基本图形

当首段位置发生变化时，转角  $\phi$  的大小也发生变化。现将变化规律归纳在表 4-7 中供参考（表中  $\beta = \arctg$ ）。

表 4-7 转角变化规律

要注意的是：上述直角斜别弯的有关坐标，都是以中段为  $x$  轴给出，否则要作坐标变换。一般具有多个弯头的管子，均可取三段为一个单元，求解各有关参数。

#### （四）平行管束差值计算

图 4-22 平行管束的差值计算

在实际工作中，不论是在剖视图或平面图上布置系统时，为了合理安排管路走向，增强管路布置的条理性，保持管路走向的整齐美观，不少的布置都采用二根以上管子的平行或集束布置的方案，如图 4-22 所示。图中（a）为三根平行管绕开人孔盖；（b）为五根平行管送至各不同的舱室或舱面，例如液压泵站或二氧化碳灭火室通出的管子，为了简化管子的制造工作，在管子的外径相同时，一般均采用同一弯曲半径。由图可见，各管子在转折点均错开一个长度差值。

通常在第一根管子布置好后，相邻的管子均按此差值进行布置。

从图 4-22（c）中可见差值大小为  $bd$ 。由  $\triangle aef$  与  $\triangle cbe$  得

$$bd = ae - ce = \quad (4-12)$$

式中  $t_2$  与  $t_1$ ——管子 1 与 2 在不同管段处的垂直距离。

当  $t_2$  与  $t_1$  相等时, 则得

$$bd=t \quad (4-13)$$

当弯角  $\alpha = 90^\circ$  时, 则可得  $bd=t$ , 即平行管束的差值为管子间距离。

#### 第四节 管系放样的步骤

管系放样图是各种工作图、表设计绘制的基础。它既要满足船舶动力装置性能的要求, 又要便于操作管理, 还要具有良好的施工工艺性能。因此管系放样总图的设计绘制质量将直接影响到机舱布置的合理性和美观程度。管系放样的基本步骤如下:

##### 一、准备工作范围及内容

###### (一) 熟悉有关图纸

- (1) 熟悉船体型线图、肋骨线型图和型值表, 了解船体空间形状。
- (2) 由船体基本结构图, 了解纵桁、强横梁、扶强材、加强筋、支柱、液舱布置及海底门开孔位置等情况。
- (3) 由上层建筑的布置图和结构图以及舱室布置图和有关舾装、敷料图, 熟悉船体房间结构、门窗位置、房间家具布置等。
- (4) 由机舱布置图, 了解主(辅)机设备、箱柜等布置情况, 了解花铁板、平台等高低位置, 还要注意电气设备的布置情况。
- (5) 由管系原理图了解管系原理及性能, 熟悉图纸中附件、泵、热交换器以及专用机械设备的组成和在系统中的具体作用; 了解系统之间的相互关系。
- (6) 熟悉电缆图纸, 注意消磁电缆和主干电缆的具体布置(高低及宽度、厚度等尺寸)。

(7)主、辅机械设备的基座结构图，非标准产品的外形图及总图，了解花铁板以上空间情况，便于空间管路合理布置。

## （二）资料的准备

(1)轮机说明书（包括动力管系及其它主要管系的说明书）。

(2)主机和发电机组说明书（包括注有油、水、气各系统进出口定位尺寸的总图或外形图）。

(3)各种系列产品的说明书（如空压机、分油机、泵等）。

(4)船用阀件产品样本或手册，以及国标、部标的有关管路附件部分的样本。

(5)工厂常用的有关管子规格及弯模半径表等。

除了上述主要的图纸资料外，为了在管路布置过程中求解坐标点，还必须准备好数学用表。

## 二、综合布置方案的确定

船舶管路综合布置有许多可供选择的形式，如分层布置、区域布置等，但最终选择形式应视船舶类型、吨位大小、机舱布置状况，并联系工厂的实际生产工艺及船舶营运操纵而定。在一般情况下，一艘新建船舶的机电舾装布置，是在确定舾装工艺的前提下，按船舶类型进行区域、空间、层次的划分，选择最佳布置形式。

空间、层次的划分有许多形式，但每一种形式都是划定一个有限空间。对于总体区域来说，它是一个有限空间；对于局部区域乃至每一层次、空间划分，仍然是从总体区域这一有限空间中分解出来的若干个较小的有限空间。因此，总体区域是若干个空间层次区域的组合。不论是哪种类型的船舶，在确定建造方案后，即可按建造工艺要求，对该船进行总体区域划分和分解，切实地完成轮机舾装综合布置工作。

总之，对任何船舶进行区域、空间和层次的划分，仅是综合布置的一种方法和手段。而对每一具体分解方案，则要依据船舶类型设备及管路的分布、建造方案、工艺进度以及工艺方法等诸多因素，经综合分析后才能确定。

### 三、管系综合布置图的绘制

管系综合布置图是在船体结构图上，将机电设备（包括箱柜）、管系、排烟管、主干电缆、通风装置、家具、卫生器具、取暖器、花铁板、扶手等通过综合平衡，分区域按比例综合布置在一张图纸上，并标注各系统位置尺寸、系统代号、通径（或外型）尺寸。

#### （一）机舱管系综合布置图的绘制

机舱管系综合布置图的绘制步骤如下：

（1）按选定的比例，根据船体结构图绘制综合布置图所需的各层平面图。

（2）按相同的比例，并遵照机械设备的标定尺寸，在此图上画出全部有关机械设备的外型图，其中特别要画出各个机械设备的管路进出口位置，按所选定的基准，标出管路进出口的坐标值，并把这些定位尺寸和坐标值记录在专用表格上。

（3）对机舱中各个管系作通盘考虑后，根据管系原理图以系统或区域为单位进行放样，绘制出放样图。管系放样图可以用不同颜色代表不同的系统（颜色使用可参阅 CB248-75）。放样总图作为存档底图，不作具体安装工作图使用。

（4）根据布置总图分别绘制各个系统或区域的布置图，图上只需画出与这个系统或区域有关的机械设备、附件等。

管系放样可按系统或区域分层分舱进行，一般是由下层到上层依次进行，即先从机舱双层底到花铁板这个区域开始，然后向上层推进。

#### （二）甲板管路综合布置图的绘制

甲板管路综合布置图的绘制步骤如下：

（1）按选定的比例，画出甲板的船体线型和基本结构图。

（2）按同样的比例，画出家具、取暖器等设备的外形，其中应特别明显标出各种器皿的连接管口位置。

（3）对甲板中各个管系、风管和电缆作通盘考虑后，根据系统原理图，以区域为单位进行布置，画出管系布置总图。然后，再按系统或局部区域进行详细绘图。此系统或局部区域布置图只需画出此系统或区域有关的器皿、附件等。

### （三）系统管路布置图的绘制

系统管路布置图，是将管路综合布置图按系统逐个分开绘制而成的。一个系统的管路往往要通过全船各个区域，因此，在绘制系统管路布置图时，需将全船各区域的管路综合布置图连接起来，绘制成一个完整的系统管路布置图。

### 四、管系安装图的绘制

根据放样总图分别拆制各个系统或区域的放样图，这个系统或区域的放样图只需画出这个系统或区域有关的机械设备、附件等，绘制方法在上面已经介绍了。此图作为安装工作图，供外场工人安装时使用。

管系安装图所包括的内容有：

- (1) 本区域中船体分段的位置和系统所通过全船各个区域船体的位置。
- (2) 本区域所需安装的管子零件号或系统所需安装的管子零件号。
- (3) 本区域或整个系统所需安装的支架零件号。
- (4) 本区域或整个系统管子连接件的定位的管子支架的定位。
- (5) 本区域或整个系统的箱柜、阀件及附件的名称、件号。

### 五、在放样图上确定管路分段

在放样总图上的管路必须分段，这样有利于管子零件图的绘制，以及管子参数的计算和管子的制造。管子连接件的定位实际上是管段分割，因此，在放样图上确定管路分段和管子安装图的绘制可以同时进行或穿插进行。

在放样图上确定管路分段，一般按下列要求进行：

#### 1. 管子曲形简化

为了使管子加工（弯管，校管）工艺不过于复杂，管子零件的曲形应尽量简化。一般以每根管子不超过两个弯头为宜。

## 2. 连接件分布均匀

考虑到管路安装和维修方便，要求连接件分布尽可能集中在若干区域，并且分布排列匀称。对于集中布置的管路，其连接件排列可采用并列、交\*、阶梯等形式。

## 3. 管子长度适宜

确定管子长度，应考虑四个因素：

- (1) 弯头多时宜短，弯头少时宜长。
- (2) 机舱管路的管子，一般最长为 3~4m。
- (3) 甲板及其它不受长度限制的安装场所，也应根据具体情况来确定管子的长度。
- (4) 选好嵌补管。适宜长度一般为 1~1.5m。

管路分解结束后，还需进行管子零件顺序编号。编号可参照下列方式进行：

- (1) 从起点至终点。如从泵至流体到达的终点顺序编号，并在序号前冠以系统代号，如  $G_1, G_2, \dots, G_n$ 。
- (2) 先总管后支管。即先从总管开始编起，总管上的支管待总管顺序编号完毕，再从某路支管起编，直到这路支管编号完毕；再继编以另一路支管起编，直到系统管路编完。
- (3) 管路编号应做到顺序完整不漏号，若中间发生漏号，应采取插入法补正。

## 六、管子零件图的绘制

管子零件图由管系安装图提供的管子连接件、位置和尺寸来绘制。管子零件图通常有平面投影图、轴侧图和符号代码三种形式。目前各船厂

采用的是平面投影图。它通常包括一张图形、一个或几个表格。虽然各厂的管子零件图有所不同，但大致分为管子手工零件图(图 4-23)和电算零件图两种。

管子零件图的内容主要包括：

- (1) 必须清楚地表达船号、区域、零件编号、管材规格、弯曲半径、校管、安装位置、表面处理和试验要求等。
- (2) 说明曲形管子的弯管程序，注明下料长度。
- (3) 其它附加说明。

## 七、管子支架布置图的绘制

管子支架的作用是承受管路及流体的重量，防止管路的移动以及管子振动而引起的设备振动、船体变形或温度变化而造成损坏。支架定位后，可作管系安装的参考标志。

管子支架布置图是根据管系安装图上支架布置情况及位置，参阅有关图纸资料绘制而成，其主要内容包括：船号、区域、支架编号及型式、材料规格长度、安装位置、管夹型式及表面处理等。它主要说明管支架的安装位置、管子支架的形状以及管子支架间距。

## 八、管理图表的编制

管理图表主要包括舾装品零件表、管子内场制造托盘表和管子外场安装托盘表。这些图表的制订，对生产管理诸如外购协作、内场制造和外场安装工作的准备和执行，都是必不可少的。

### (一) 舾装件零件表

在详细设计中，编制了各种舾装件清册，如阀件清册、铭牌清册和标准件清册等，供船厂外购和自制舾装件。舾装件零件表中的项目有：

品名、图样、数量、到货日期、存放场所、检验标准、图样种类、使用场所和估计价格等，常将有关工作图附于零件表中，作为外购件的技术依据。

## （二）管子内场制造托盘表

本表包括四个部分

1. 管子内场加工表 包括本区域的管子制造的主要内容、序号、船号、区域、管子件号、安装位置、通径大小、材料规格、出图形式、表面处理、水压试验、焊接秩序和重量等。
2. 管子附件内场加工表 包括本区域的管子附件制造的主要内容，有各种法兰、标准弯头和大小头等管子附件的规格和数量。
3. 管子支架内场加工表 包括本区域的管子支架制造的主要内容，有支架零件号、型式、数量；管夹型式、数量及其表面处理要求。
4. 管材汇总及套料表 本表汇总本区域所用的不同材料，不同规格的管子，进行套料。

## （三）管子外场安装托盘表

本表包括下列三个部分：

1. 管子外场安装表 包括本区域的管子安装的主要内容，与管子内场加工表相似，唯一不同的是，前者按管子通径大小顺序排列，后者按管子件号排列，以利安装。
2. 管子支架外场安装表 包括本区域的管子支架安装的主要内容，与管子支架内场加工表相似。
3. 阀件等管子附件包场安装表 包括本区域的阀件、过滤器等管子附件外场安装的主要内容，如代号、标准号、名称、通径、压力、材料和数量等。

实践证明，从事船舶管路布置工作，不仅要有熟练的比例绘图技巧，还必须了解并掌握船体构造的特点，掌握管路的分布规律，尤其要熟悉船舶管路施工的工艺及其处理方法。从而使管路布置的结果，达到既符合规范，又方便施工；既保证实施系统的设计性能，减少阻力消耗，又使管路分布条理简洁，便于操作管理。

## 一、管系布置的通则

### （一）管路

(1)所有蒸汽管、油管、水管和柴油机排气管等，应避免布置在配电板及其它电器设备的上方及后面，并尽量远离配电板周围。油管路还应避免在锅炉、烟道、蒸气管、废气管及消音器的上方通过。在避免上述情况有困难时，则应采取有效措施进行保护。

(2)所有燃油舱柜的空气管、溢流管和测量管，都应避免通过居住舱室、精密仪器舱、粮库等贮藏舱室。如有困难时，则通过这些舱室的管子不得有可拆接头。

(3)淡水管路不得通过油舱，以免管子破损或渗漏时污染水质；同样，油管路也不得通过淡水舱。如不可避免时，应加设油密隧道或套管，让管路通过。其它管路通过油舱时，应遵照规范要求加厚管壁，并在舱内不得有可拆接头。

(4)一般情况下，通过温度为 0℃或低于 0℃舱室的管子，应与该舱室的钢结构件作绝热分隔，否则应尽量避免。

(5)承受胀缩或其他应力的管子，应采取适当的管子弯曲或膨胀接头等必要的补偿措施；干货舱和深舱等不便检查处所的管子不得装设滑动式膨胀接头。膨胀接头应取得有关部门的认可。

(6)布置管路时，要充分考虑操作管理人员的检查方便。

(7)分清各级防火区域的防火敷料的布置。凡通过这类区域的管路，均须考虑到上述因素，避免管路接头埋设在防火敷料之内。管子穿过水密或气密结构处，应采用贯通配件或座板。

(8) 甲板冲洗管和生活用水舱供水管，不得通过货舱。

(9) 各种管子应根据需要，在管子、附件、过滤器等设备上设有放泄装置，以放泄管子内的空气及存液。

(10) 管路应加以固定，并应能避免管子因温度变化或船体变形而损坏。

(11) 管路布置时不得妨碍设备及阀件的检修。

## (二) 阀件及附件

(1) 阀、旋塞、管子或其它附件直接连接于舱柜壁板以及要求水密结构的舱壁、平台、或轴隧时，应采用螺柱旋入壁板而不穿透的方法加以固定；也可将螺柱或舱壁贯通配件，焊在壁板上加以固定。

(2) 所有的海水进口及其舷外排出口的阀或旋塞，均应采取专用座板直接装设在船壳板或海水箱箱壁上。座板上的螺透柱孔不得钻透。若布置要求加装短管后接阀，则焊于舷侧外板上的短管壁厚一般不应小于外板壁厚。

(3) 舷侧锅炉排污阀或旋塞的凸肩穿过外板处，应在外板侧焊有护环；阀的舷侧位置在花铁板以上易于接近此处，但不得高于轻载水线面。

(4) 所有直接固定在外板上的吸入阀、排出阀和旋塞，均应装有贯通外板的凸肩。如果吸入阀、排出阀和旋塞装在座板或接管上，而座板或接管在外板口已构成凸肩时，则阀的旋塞的凸肩可以免除。

(5) 主海底阀的手轮，应布置在花铁板上至少 460mm 处，小型船舶布置时有困难可以例外。

(6) 机舱、炉舱、泵舱、轴隧及其它场所内的阀件在布置时应便于操作，凡装在花铁板以下不便操作的阀件，应将阀杆接长或配备便于操作的工具。

(7) 船舷排水孔应避免布置在救生艇及舷梯卸放区域内。

## 二、机舱管路布置的要求

对于机舱管路的布置，应视船舰类型及其机舱构造状况，分别作出相应的综合布置方案，且处理好布置过程中出现的工艺问题

### （一）机舱管路布置的基本要求

1. 可行性 机舱的管路系统大多与船舶生命力有关，确保这些系统的可\*性，是管路布置中首先要注意的问题。无论以何种形式完成管路布置，都必须是不降低系统的工作性能；必须按照船舶建造规范及有关规定处理好各个管系有敷设位置，使管路在非常情况下，产生破损的可能性降到最低限度。例如，一般海船的舱底水吸入总管应尽可能位于纵中位置，以防止由于海损事故损坏管路；对于舰艇，则因其水线以上的两舷易被炮火击中，故凡与动力装置有关的系统管路，均不能沿水线以上两舷部位敷设。

2. 条理性 在管路布置中，实施条理性是十分必要的。只有这样，才能使综合布置显示其完善和协调，从而给机舱以和谐、美观的布局，并方便管理和维修。

在使管路布置经纬分明、造型简洁，如条件允许，可对管路进行集束排列。集束排列的基本形式有：①直线并列式 ②垂直-水平并列式 ③转折并列式。

常见的管子排列有以下几种：①竖向排列 ②横向列排 ③交\*排列 ④斜向排列

3、操纵方便性 在管路布置时，应考虑使用部门在营运时操纵灵活方便；管路附件要显而易见，特别是阀件的具体位置及布置形式要便于操纵及维修；对于底部布置的管路，阀件的高度以不需操作人员过度弯腰即能作开启和关闭为佳；对于空间管路的阀件高度，以阀的操纵手轮离地面（甲板）1800mm左右为好；管路沿顶、壁布置时，阀件的阀杆应向壁面外侧下方倾斜一角度。

一般认为阀件最佳布置形式是相对集中、对称布置。这将使操作人员容易熟悉阀件的位置规律，形成操作习惯。这对于舰艇更为重要。任何一组装置系统的所属管路阀件，应尽可能地集中在该装置周围或某一机电设备的周围。如有相同的两组以上的装置系统或机电设备，则每组的阀件布置形式及其与设备之间的相对位置，应尽可能对称。

4. 工艺可行性 管路布置必须顾及管子零件制造和管路安装工艺的实施，因此，对于管路布置中的管路敷设位置、管子曲形组合和安装程序等，都必须认真地加以考虑。管子零件制造有两个主要工艺环节：一是弯管，二是定形校管。这两个环节工艺的繁简，一般取决于管子曲形的复杂程度。

因而，管子曲形的选择，应尽可能以最简单的弯头组合，并且弯头的弯曲角度除直角弯外，别弯的弯角度数应取特殊角—— $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 。

鉴于船舶管路的综合性，往往使安装工艺具有一定难度。因此，除必须使管路布置条理化外，还应做到各系统、层次、区域等管路的独立性，即在任何情况下，不能因为某一部分管路的安装程序脱节而影响整体安装工作的继续进行。管路安装工作大多是人工操作，因此对管路每一对连接头的位置，都要考虑到管路拆装维修时使用工具的方便，乃至操作人员的站位是否合理等。总之，管路综合布置的结果，必须极大地有助于制造、安装工艺的实施，同时应尽量降低制造成本和劳动强度。

## （二）机舱花铁板以下的管路分布及空间层次划分

一般尾机型单主机动力船舶的机舱，其底部平面可分为前部、左侧、右侧三个空间区域。如设备按分组集中布置，则前部舱壁处通常为舱底、压载、消防系统布置区域；左、右侧可能分别是冷却水和燃、滑油系统的布置区域。如考虑到冷却器的布置应较集中，则相应的海水、淡水冷却系统和滑油系统必然集中于一侧；燃油输送、净油等系统设在另一侧。根据布置和系统的分布特点，可将机舱底部空间划分如图 4-24 所示的下、中、上三个空间层次，各为  $H_a$ 、 $H_b$ 、 $H_c$ 。下层空间一般为舱底水、压载水、燃油驳运等管路的分布空间，其高度可以是内底板至海水总管高度的管子允许穿过空间高度，即

(4-14)

式中  $H_a$ ——海水总管中心距内底板高度；

$D_1$ ——海水总管外径；

$D_2$ ——交\*穿越管子外径；

$n$ ——管路交\*给定间隙值。

中层空间通常可布置淡水冷却和滑油管路。由于管路较大，为避免管子曲形过于复杂，若条件允许时，其高度可以根据泵的进出口水平高度而定。上层空间是机舱供水管路燃油供油管路、油舱加热管路、各类灭火管路以及其它小直径管路的布置空间，其高度选择以任何管子附件不妨碍花铁板平

顺放置为准。布置管路时，不应有任何妨碍下层管路阀件开启的现象。

机舱底部管路布置是复杂多变的，通过区域分解及空间分层，可概略地得到一综合布置基本方案。大量的细节尚需视实际情况妥善处理。

图 4-25 舷侧管路布置

1-内底板；2-舷侧纵桁；3-套筒；4-挡水圈

图 4-24 机舱底部空间划分

1-通海阀；2-滤器；3-闸阀；4-海水总管；5-燃油驳运管；6-压载水管；7-舱底水管；8-CO<sub>2</sub> 灭火管；9-主机滑油管；10-供水管；11-主机淡水冷却管；12-燃、滑油管；Ha、H、Hc -第一、二、三层次

### （三）机舱舷侧及平台空间的管路布置

布置在舷侧管路的曲形与肋骨线型应基本相似。一般均采用连续别弯作舷侧曲面过渡，使管路由水平转向竖向的曲形的形式。图 4-25 所示为某系统管路，由机舱底部沿舷转向平台的布置情况。在布置过程中，应保证船体结构的强度不受削弱。管路穿越船舷纵桁时，应选择筋板中心位置开孔，并尽量控制开孔的面积，必要时需加设复板或加强圈。要使管路布置妥贴美观，管路穿出筋板后，应以最小直线距离将管路向舷侧弯曲，防止管子的外径超越筋骨的宽度。管路穿越上层甲板时，如果是水密结构，应用水密贯通件作过渡连接；若是非水密结构，孔口也应加设挡水圈。

### 三、管隧管路的布置

为改善过去各种管路穿越双层底舷的不合理状况，在现代船体构造中设的专门管路隧道。利用这种专设隧道来敷设通向各货舱、双层底舱的舱底水管路、压载水和燃油驳运管路，以及伴随这些管路的相关系统的管路（如油舱加热管、摇控气动操纵空气管等）。为使装载舱容不受过度影响，管隧的设置尺度都是非常紧凑的。一般除能容纳所有通过的管路外，还要设一专供维修的人员在管隧内移动的滑行小车，故管路布置时，不仅要做到管

路排列紧凑，还要考虑维修人员的工作条件。

根据管隧的构造特点及其有限空间，管路布置时，大都充分利用两侧空间。根据船舶建造规范要求，舱底水管路一般都应布置在管隧较低的位置。

#### 四、甲板管路布置

甲板管路综合布置时，一般要做到使用合理和布置美观。这二个要求可通过综合协调和恰当的布置部位及布置形式的优化选择来解决。

##### (一) 综合协调

(二) 根据管路综合布置时的一般规律，甲板管路大部分的动力源设置在机舱内，因此，消防水系统、日用水系统和日常蒸汽系统等管路均来自机舱，并从主甲板的机舱围壁处引出，然后向各应用场所布置。当一层甲板布置完毕后，再从适当部位引出分管路通向上一层甲板进行延续布置，直到完成系统规定的所有甲板层次的管路布置工作。由此可知：甲板管路较密集的区域在机舱围壁两侧的走廊顶部。

在一般情况下，甲板管路、电缆、风管和空调管路的布置形式如图 4-26 所示。总体布置时，通常遵循的原则是：

(1) 由于甲板管路大多由机舱壁引出，为避免与电缆、风管的交\*，管路多布置在走道顶部机舱围壁一边。

图 4-26 甲板走道空间布置图

(2) 风管、空调管等管道因其制造特点不宜作过度的曲形变化。一般可沿舱室一边布置，便于分管进入舱室。在室顶高度许可的情况下，尽量多留上部空间，以便管路和电缆引入舱室。

(3) 电缆常布置在管路与风管之间。一般的情况下，进入舱室的电缆均为直径不粗的电源线，使它跨越风管进入舱室不会有很多困难。

##### (二) 布置区域和形式的选择

对客、货船甲板上层建筑、生活区域的布置不仅应注意结构特点，还应注意装饰要求，如管路任意穿越，势必影响主要舱室的美观。因此，管路

的上下穿越，常选择卫生间作为主要通道。这不仅是因为卫生间无碍美观，而且卫生间的布置一般都是上下相应的，这就给管路上下通行以相当有利的条件，同时还便于维修检查。

甲板管路布置除上述甲板层次间穿越布置外，还有许多生活设施管路进入舱室。它们将对房舱的美观产生直接影响，故凡进入房舱的管路一般都以隐蔽和造型流畅舒适为主要要求。管线可暗线敷设。如房舱为敷料壁面时，可尽量使管路布置在敷料尺寸以内；若房舱为木作壁面，则管路设置在木作结构尺寸内。管子应以曲形简洁为基础，结合室内构件、器具等几何形状，将管子曲形布置成与之相适应的形状，达到视觉流畅的造型美，管路附件及阀件应讲究位置对称，和谐与统一。

## 五、水密隔壁或甲板的穿越连接

船舶管路穿越水密隔舱或甲板，均采用标准通舱管件来保证连接的密封性。管路布置时，应按具体情况作出恰当的形式选择和工艺处理。

### （一）通舱管件的形式选择

通舱管件的形状一般有直通和直角两种。凡是管路穿越甲板或舱壁后，管路仍按所穿越的甲板或舱壁呈垂直状行走的管路，均采用直通型通

舱管件；当管路与所穿越的甲板或舱壁呈平行行走并间距较小时，则采用直角型通舱管件。若通舱管路为平行集束形式时，通舱管件也可按上述标准形式的基本要求，设计成多联直角或直通式通舱管件；或根据不同的管路走向，做成直角和直通混合式多联通舱管件；或按管路走向和管子规格的不同，设计出相应的多联通舱管件。管路穿越防火区域的防火隔堵时，通舱管件的配制应按防火敷料的厚度加长。加长量以连接端置于敷料层以

图 4-27 防火隔堵的通舱管件

外为准，如图 4-27 所示。

对于某些可拆性要求不高的管路，如空气、测深等管路，在穿越隔舱或甲板时，也有采用插焊式贯通件或其他适当的通舱连接形式。总之，通舱管件除有国标（GB）和部标（CB）的标准型式可供选择外，尚可根据产品对象及其技术要求，自行设计。

## （二）通舱管件的配置工艺

在配置通舱管件时，从工艺环节出发应注意：

1. 可装性。确定贯通件的形状、尺寸，一般都以船体结构理论尺寸线为根据。考虑到船体施工误差，凡带有复板的贯通件，其补板尽可处理成现场焊接（即所谓活络复板）。这样，既适应在一定范围内舱壁前后的尺寸变化，又能避免因舱壁表面不平整而引起的贯通件定位歪斜误差。如果，贯通件为镀锌件或有其他特殊要求，致使复板不能现场施焊时，则其两端接管必须处理成嵌补管段，以利其余管件的安装。

2. 可焊性。无论是隔舱或甲板的通舱管件，都必须注意配置位置。因为每一件带复板的贯通件，若复板为现场施焊，则有 4 条焊缝要焊。若不充分考虑其可焊性，将会给施工带来极大困难。因此，当贯通件布置\*近单面舱壁时，最好能满足图 4-28 所示各情况的相应间距尺寸。

图 4-29 管子支架的基本型式

图 4-28 贯通件布置的最佳间距

## 六、管子支架形式及其分布

管路布置结束后，应充分考虑固定管子的支架的配置。固定可避免管子因机械振动、船体变形或温度变化而造成损坏。管子支架的配置一般可从下述方面进行考考虑。

### （一）管子支架形式

1、管子支架的基本形式。除通常使用的 CB 标准类型外，近年来国内或出口船舶中，普遍采用如图 4-29 所示的管子支架基本形式。它由支架、夹环和支架座板组成。

2、支架形式及适用范围。管子支架的形式，如图 4-30 所示。图示均为正置安装形式，也可视管路布置情况，分别变化成倒置、悬臂、挂壁等安

装形式。

3、夹环安装形式及适用范围。管子支架的夹环安装形式如图 4-31 所示。可分 I 型、II 型和 III 型。I 型适用于一般管路；II 型适用于温度变化较大的管路；III 型适用于振动较大或安装在封闭舱室内的管路。

图 4-30 管子支架型式

图 4-31 夹环安装型式

## （二）管子支架间距

管子支架的设置主要是为承受管路重量（包括管内介质重量）、固定管路位置并防止管路下垂。但考虑支架间距时，不能单纯着眼于管路重量因素。因为船舶航行时，其管路即终处于内部压力的冲击振动、扭曲变形及热胀冷缩的变形状态之中，同时还需考虑管路的曲形因素。

当前国内外的船舶建造都对船舶管路的支架设置间距，进行了许多有益的探讨，并制订出一套支架间距的要求，以供使用。（见表 4-8）

表 4-8 船舶管路支架标准间距（mm）

## 七、船体及其结构上的开孔

怎样处理好船体及船体结构上的开孔，这是管路布置过程中必须解决的工艺问题。每一艘船舶从建造到报废都会受到各种不同的外力作用，它可使船体产生变形或破坏，而船体结构本身具有一种能力来抵抗这些外力的作用，以保持船体的形状。船体结构的这种抵抗外力作用的能力，一般称之为船体结构强度。因此，在船体结构上开孔，应以不损害船体结构强度为原则，至少也应使开孔后的船体结构强度的削弱减至最低限度。在现代船舶建造中，对于船体结构的开孔，通常着眼于划定开孔禁区 and 开孔补偿这两个重要问题。

### （一）开孔禁区

1. 船体要害部位严禁开孔。船体的中部区域，从两舷至强力甲板的肋距范围内，不准开孔接管。
2. 下列区域或构件上不允许开孔：

- (1) 横向强构件。用斜线标出范围不允许开孔。这类构件大多系强横梁。
- (2) 纵向强构件。一般系指纵骨、纵通制荡舱壁和纵通桁材。这类构件一般都不允许开孔。
- (3) 支撑端部。为支柱部构架，其支撑力点周围一定范围都不能开孔。具体范围，应视支柱结构而定。一般为支柱结构的 1 倍。

## (二) 开孔补强

所有开孔应有良好圆角，且以正圆、蛋圆、腰圆等孔形为佳。如必须开方孔，其四角应呈圆角，圆角的半径尺寸不得小于 25mm，可按  $d/10$  来计算圆角半径。

以上所述船体及其构件开孔的原则，仅属一般情况，在实际工作中，可按产品技术要求或工厂工艺规程执行。

## 第八节 计算机管系放样软件简介

随着计算机技术的飞速发展，计算机的应用在各行各业越来越广泛。在船舶管系的设计中也涌现出很多种管系放样软件，借助这些软件，船舶管系设计的工作效率得到了极大提高。虽然在使用上各有特点和优势，但是总的设计思想基本包括以下功能：

- (1) 计算机管线自动布置；
- (2) 自动划分管子零件；
- (3) 管路的干涉检查及弯管工艺检查；
- (4) 管子零件计算；
- (5) 自动绘图；
- (6) 工时、零件等统计功能。

### 一、计算机管线自动布置

管系自动布置的大体步骤是：通过对机舱空间的自动划分和处理，决定允许布置管系的空间范围，计算管系的最佳路径，然后精确定位管路在机

舱中的具体安装位置，最后对所有管系作优化处理，使之更符合工艺的要求，如图 4-32 是管路自动布置流程图。

图 4-32 管路自动布置流程图

计算机自动布置管路时，可通过人——机对话来修改管路，允许修改的形式：①修改节点处的坐标；②增加节点；③删去节点；④增加一个管路的编号。在相应数组中增加或删除元素即可进行这四类修改。

## 二、自动划分管子零件

管线布置产生的管路，只包括管路的始点、拐点及终点。因此为了满足实际施工要求，应当按照一定的规则给予截断。计算机自动划分管子零件，即时依据一定的约束条件，在管段的直线段部分，确定某一点作为相邻两管段零件的连接点，并在该点选配上合适的连接件。

被截割的管子零件，若是直管，一般其长度不超过 5 米。若是带有弯头的管子零件，其长度一般不超过 4m。外径大于或等于 89mm 的弯管，长度一般不超过 3.5 米。

被划分的管子零件，其首段和末段的直线部分一般不短于弯管机的夹头长度。绝对禁止将法兰布置在圆弧管段上，被划分的管子零件按照一定顺序编号。自动划分出来的法兰连接点，能排除相互碰撞现象。

具体的划分约束条件可以根据工厂的加工设备及生产实际来更改软件的属性。

计算机自动布置管路时，可通过人——机对话来修改管路，允许修改的形式：

①修改节点处的坐标；②增加节点；③删去节点；④增加一个管路的编号。在相应数组中增加或删除元素即可进行这四类修改。

## 三、干涉检查和弯管工艺检查

(一) 弯管工艺检查：检查管子的可弯曲性，若管子的首段和末段的直线段长度小于零，或两端弯头之间的直管段长度小于弯管机夹头长度，系统能够指出错误。如图 4-33 所示。

- (二) 弯管碰地检查：检查管子在弯管机上弯曲时是否碰地的可能性，要求系统能够自动指出该错误信息。
- (三) 干涉检查：干涉检查是指管子之间、管子与附件之间是否存在碰撞现象。附件做了近似处理，将其大小视作管子外径放大 80mm。

图 4-33 弯管工艺检查和干涉检查流程图

#### 四、管子零件计算

管子零件计算主要以数值零件图形式作为输出，基本包括以下内容：

- (1) 基本信息：管子零件所在的船名、区域号、分段号、零件号、系统代号等。
- (2) 管子规格：外径、壁厚、弯模、材料、试验压力、表面处理等。
- (3) 管子安装位置：肋骨坐标、船体相对坐标等。
- (4) 支管信息：材料、弯管、连接件、安装坐标等。
- (5) 总管的下料及弯管程序。
- (6) 其他信息：如工艺检查、材料统计、工时统计等。

#### 五、自动绘图

系统能够根据用户的要求，绘制符合施工要求的各种形式的安装图或加工图或零件图。用户通过输入某个系统或区域的编号来提取相应的图纸。

#### 六、统计功能

本功能在整个系统中起着重要作用。它提供管材统计和生产设计的指导性文件，是整个船舶管系设计和生产、安装等生产管理中重要环节。它主要包括以下几类文件：材料管理、管子仓库管理、施工管理和检验管理。

## 第五章 船舶管子的弯制与管路的安装

### 第一节 管子的弯制

在船舶建造过程中,管子的弯制是不可缺少的工艺过程之一。由于机舱设备拥挤,船体结构和空间位置的限制,金属热胀冷缩以及其它因素的影响,管子要相应地弯制成各种形状。

弯管的方法主要分为冷弯和热弯两种。弯制工艺的选择主要取决于管材特性、弯制功率、弯曲半径、工厂设备条件等因素,原则上小直径管子采用冷弯为宜,而较大直径的管子,多数采用热弯工艺。例如镀锌钢管适宜冷弯,因其在热弯时,表面镀层要脱落,需重新镀层;而塑料管只宜热弯,因其冷态下无法弯曲。

#### 一、管子弯曲原理

金属材料当其所受外力超过材料的屈服极限时,将产生塑性变形,这就是管子弯曲的基本原理。

管子在弯曲时,其管壁外侧因受拉伸而变薄,内侧因受压缩而变厚,但其中性层 M-M 处不受压力,因此其长度和厚度都不改变。由于拉伸和压缩作用的结果,在弯曲过程中,管子截面有改变,由圆形变成为椭圆的趋势。此时椭圆的短轴位于管子的弯曲平面 B-B 上,而长轴在 A-A 上(如图 5-1)。这种变形随着弯曲半径—弯曲角度和管子材料—管径大小而有所不同。

#### (一) 弯曲半径对变形的影响

图 5-1 弯曲时管子截面的变化

1—在弯曲后管子的椭圆截面；

2—管子原来的圆形截面

管子的弯曲半径由管材的拉伸与压缩变形极限来确定。如果管子的弯曲处有一个较大的弯曲半径（如图 5-2a 所示），那么金属组织  $C_2-C_3$  的长度，比原来长度  $C-C_1$  略微缩短些，变形程度很小。在弯曲半径比较小的时候，弯曲以后的金属组织长度相差很大（如图 5-2b 所示），因此，变形程度也就增加。所以管材弯曲时的间塑性特性是用相对伸长率来评定的。假如不考虑管子椭圆度和其它的原因，而且认为弯曲开始与终了的变形是近似的（即均匀变形），那么：

$$L = \alpha R = \text{常数}$$

弯管的外侧： (5-1)

弯管的内侧： (5-2)

平均伸长率或压缩率：

$$(5-3)$$

式中：  $L$  ——沿弯管轴线展开的弧长；

$L_1-L_2$  ——沿弯管外侧—内侧展开的弧长；

$\alpha$  ——弯曲角度， $rad$ ；

$R$  ——弯曲半径, mm;

$D$  ——管子外径, mm。

图 5-3 弯曲角的影响

a) 弯曲角大    b) 弯曲角小

图 5-2 弯曲半径的影响

选择最小弯曲半径时应首选考虑管材的最大伸长率。

如果没有其它条件的限制, 最小弯曲半径通常可按下列经验公式计算:

(5-4)

式中  $S$  ——管壁厚度, mm;

$D$  ——管子外径, mm;

为保证质量, 管子的弯曲半径应符合下列规定:

(1) 热弯的管子: 钢管----- $R \geq 3D$ ;

铜和铜合金管----- $R \geq 2D$ ;

受水击的管子----- $R \geq 5D$ 。

(2) 焊接的管子：弯头----- $R \geq d$ ,  $d$ 为管子内径。

(3) 弯管机冷弯的管子：直径 $>110$  mm和蒸汽管必须符合(1)的规定；直径 $\leq 110$ mm时,  $R \geq 1.5D$ 。

### (二) 弯曲角度对变形的影响

管子外层金属组织的伸长和内层组织的缩短，在弯曲角度大的时候很小，而在弯曲角小的时候就很大，如图 5-3 所示。

### (三) 管子的直径大小对变形的影响

在管径小的最外层组织，距离中性层近，而在管径大的最外层距离中性层远，如图 5-4 所示。因此管径愈大变形程度愈大。

图 5-4 管径对变形大小的影响

a) 管径小          b) 管径大

在管子弯曲时，断面的变形是由弯曲的一瞬间而产生的。管子弯曲处断面的变形会通过横断面上的许多零点，也就是在弯曲过程中没有改变位置的 a、b、c、d 各点，如 5-5 所示。显然，这些点的应力最小，通过管子各横断面上相应点的连线就是管子的安全线，因此，在弯制有缝钢管时，应把焊缝放在安全线上，它约在平面图上管径的 1/4 处，如图 5-6 所示。

图 5-6 弯曲断面变形焊缝应放在管径的 1/4 处

图 5-5 弯曲断面处没有改变位置的零点 (a、b、c、d)

## 二、管子弯曲的技术要求

确定管子弯曲质量的主要技术特征是：椭圆度、截面收缩率、外侧减薄率、内侧增厚皱折以及弯曲形状和表面质量等。管子弯曲质量同采用的弯

制工艺、管子材料和尺寸参数以及弯曲半径等有关。

(一) 管子弯曲半径一般采用 2~3 倍管子外径，只有在个别情况下才允许小于 2 倍，但不得小于 1.5 倍。

(二) 外径大于 120mm 的碳素钢蒸汽管和任何直径的合金钢管，冷弯后应进行不低于 600℃ 的高温退火，保温不少于 40min，退火后先在炉中冷却，温度降至 500℃ 以下时，可在空气中冷却。

(三) 弯曲后的弯曲角  $\alpha$  - 旋转角  $\psi$  之公差均为  $\pm 0.5^\circ$ ，管段长度  $L$  的公差为  $\pm 7\text{mm}$ 。

(四) 管子弯曲以后的变形要求：

1. 管子弯曲时，受弯曲力的作用，使其截面变为椭圆。这样就增大了流体的压头损失，因此其圆度符合表 5-1 的规定。

表 5-1 弯管时允许的圆度百分率

弯曲半径 $R$	$R \leq 2D_w$	$2D_w < R \leq 3D_w$	$3D_w < R \leq 4D_w$	$R > 4D_w$
圆度 %	$\leq 12$	$\leq 10$	$\leq 8$	$\leq 6$

圆度就是管子弯曲后截面处的最大长轴尺寸和最小短轴尺寸之差和管子实际外径的比值，取其百分率：

$$(5-5)$$

式中： $T$  ——圆度，%；

$A$  ——弯曲处截面最大外径，mm；

$B$  ——弯曲处截面最小外径，mm；

$D_w$  ——管子实际外径，mm。

圆度可用钢球通过管子的方法进行测量。钢球的最小直径不得小于管子内径的 90%。

2. 管子弯曲时，由于弯曲部分金属强度的影响而产生了截面的收缩，这样，就减小了管子的有效截面，增加了管内的流动阻力。因此规定：管子弯曲后截面的收缩率不得小于 95%。

截面收缩率即为截面处的平均直径与管子实际外径之比值，取其百分率：

$$(5-6)$$

式中： $Q$ -----截面收缩率；

$A$ 、 $B$ 、 $D_w$ -----同上式。

3. 管子弯曲时，外侧管壁由于受拉伸就伸长而减薄。这样就降低了管子的承压强度，在承受高压的情况下，容易发生胀裂。因此减薄率应符合表 5-2 的规定。

表 5-2 弯管时管壁的允许减薄率

弯曲半径 $R$	$R \leq 2D_w$	$2D_w < R \leq 3D_w$	$3D_w < R \leq 4D_w$	$R > 4D_w$
管壁减薄率 %	$\leq 25$	$\leq 20$	$\leq 15$	$\leq 10$

其值可按下列公式计算：

$$(5-7)$$

式中： $W$  ——管子外侧减薄率

$\delta$  ——管子弯曲前壁厚, mm;

$\delta_0$  ——管子弯曲后的壁厚, mm;

其中,  $\delta_0$ 可由下式进行计算:

(5-8)

式中:  $R$ -----弯曲半径, mm

$D_w$ -----同上式

4. 管子弯曲时, 内侧壁受挤压而增厚, 由于金属材料的可塑性较差, 挤压力不仅使其产生压缩变形, 而且在很大程度上使其产生皱折变形。

管壁的皱折减小了管子的流通截面, 增大了流动阻力系数, 破坏了金属组织的稳定性, 容易产生腐蚀现象。因此规定:

外径 $\leq \phi 50$  mm的管子, 不允许有皱折。

外径 $> \phi 50$  mm和管子实际外径尺寸大于管壁厚度 20 倍时的管子, 允许有均匀皱折存在, 但皱折高度不得超过管子外径的 4%, 在皱折处不得有目测可见的裂纹。

5. 管壁不应有擦伤沟槽和碰撞形成的明显凹陷。沟槽深度在管壁厚度 20%~30%范围内时沟槽处允许补焊; 凹陷深度不超过管子外径的 5%时, 允许使用。管子弯曲处的背部不得有裂纹、结疤、烧伤、折叠、分层等缺陷存在, 如有上述缺陷应完全清除, 被清除的部位壁厚的减薄应在减薄率的范围内。

### 三、弯管方法

随着造船工业的发展, 各造船厂已广泛地采用多种用途的弯管机来进行管子的弯制工作。由于冷弯时金属产生加工硬化, 所以冷弯后的金属管要比热弯后的金属管硬得多, 但是冷弯不会破坏金属原来的性质。冷弯后可以不用清洗和除去氧化皮, 并且不会发生热变形。

冷弯与热弯相比, 冷弯需要消耗更多的弯管功率, 且回弹和残余应力都有较明显的增大。而且冷弯不能弯制曲率半径很小的急转弯头。

热弯具有冷弯不能比拟的适应性。例如,在一根管子上两相邻弯头之间直线距离可留得很小,甚至能不留直管段间隔进行连续弯曲;能将冷延性很差的材料加工成弯头;能加工冷弯时需花费较大机械能的弯头,并能将冷弯时管子易破裂的脆性材料弯曲成形。热弯可以在管子上弯成小半径弯头。对于碳素钢管和大多数的合金钢管,热弯的弯曲半径要比冷弯小得多,弯曲半径可小到管子外径的 0.7~1.5 倍。热弯尚存在如下缺点:设备复杂、加工成本高、生产效率低和表面光洁度差。对于铜管来说采用冷弯工艺,由于免除了高温加热,根除了产生“氢病”的可能性。

由于以上原因在部颁船用弯管技术条件(CB/Z97-68)中,明确规定:各种管子在可能情况下,应尽量采用冷弯,仅在如下情况下,才允许采用热弯。

- (1) 管子弯曲半径小于冷弯所规定的弯曲半径,或小于现有模子的弯曲半径。
- (2) 管子形状复杂或弯头间无直线管段,不能在弯管机上固紧。
- (3) 管壁过薄,冷弯后容易产生较大瘪陷和折皱。
- (4) 直径较大或不常用管子,目前尚无该种模子。
- (5) 管壁太厚无法冷弯时。

#### (一) 弯管机

冷弯弯管机按驱动形式可分为手动、电动、液压驱动三种类型,还可分为有芯弯管机和无芯弯管机。现分别将基本类型的弯管机介绍如下:

##### 1. 手动弯管机

图 5-7 所示是弯制直径在 32 毫米以下的手动弯管机简图。它由弯模 1、滚轮 2 和杠杆 3 组成,在弯模 1 的工作部分上制有与管子外径大小相同的槽,滚轮 2 也具有同样的槽,而在杠杆 3 上则有滚轮的销轴。

待弯的管子 5 用卡板 4 紧压在弯模上,并在施于杠杆 3 上的力的作用下弯曲。图中虚线所示为弯曲前的原始位置,在弯曲的过程中,滚轮要一直跟管子和弯模接触,以保证管子的截面形状不变。

弯管机的弯模通常都是固紧在工作台或专门的支座上。

图 5-7 手动弯管机简图

1—弯模；2—滚轮；3—杠杆；  
4—卡板；5—管子

图 5-8 携带式弯管机

## 2. 携带式弯管机

图 5-8 所示为携带式弯管机中的一种。这种弯管机, 在弯管架上装有油压千斤顶, 用高压橡皮管与手掀油泵, 可向油压千斤顶送油, 把千斤顶柱塞顶出。利用装在千斤顶前端的弯管压模, 便可将两端支承在弯管架上的管子弯制成形。管径规格不同和弯曲半径大小, 可通过调换相应的弯管压模以及改变弯管架两端上两个滚轮的距离来实现。

## 3. 电动弯管机

电动弯管机的传动部分有机械减速、电机调速两种。电动机通过皮带减速装置、齿轮减速装置、蜗轮蜗杆减速装置减速后, 使套在蜗轮中心的主轴以 1 转/分的转速顺时针旋转。

## 4. 液压弯管机

液压弯管机有链条、齿轮、油马达传动等三种。它的机械结构部分与电动弯管机相同, 唯一不同的是它有一套液压系统, 用以实现弯模的转动、夹头的夹紧与松开、导槽的\*紧与松开, 芯棒的送进与抽出等。

## 5. 有芯弯管机

图 5-9 有芯弯管机

- 1—机身；2—弯管压模；3—夹紧棒；  
 4—转台；5—芯棒；6—压紧模；  
 7—稳定台；8—管子；9—连接杆

图 5-9 所示为一种类型的有芯弯管机, 该机的结构原理如图所示。其主要零件是弯管压模 2, 模子的圆周上有槽, 槽的半径等于被弯管子的外半径。弯管压模 2 可以由电动机经过减速齿轮—蜗杆蜗轮传动系统驱动作回转运动; 更多的是采用液压驱动作回转运动。稳定台 7 和压紧模 6 是弯管压模的辅助件, 压紧模 6 上也具有与弯管压模 2 上同一半径的槽, 因此在弯模和压紧模之间形成一个圆孔。待弯管子 8 用夹紧模 3 将管子紧压在弯摸上, 当弯模回转时, 带动管子缓慢地旋转, 管子由于压紧模 6 的限制不能从两旁脱出, 而只能沿着弯模榴道被弯曲, 并保证被弯管子的圆形截面基本不变。夹紧模与压紧模的移动通常用手动或油压实现。

考虑到由于管子弯曲时可能引起弯曲部分损坏, 常采用校准芯棒(定径塞芯) 5, 通过连接杆 9 使它位于拐弯处的切点上, 它的位置是不变的, 这样就能在弯管时防止形成折皱。

管子具有一定的尺寸公差, 为了避免在弯模和压紧模之间有楔嵌现象, 槽的直径应比管径做得大一些(近似于管径的 1/100):

$d \leq 50 \text{ mm}$	$>0.25 \sim 0.5 \text{ mm}$
$d > 50 \sim 76 \text{ mm}$	$>0.5 \sim 0.75 \text{ mm}$
$d > 76 \sim 120 \text{ mm}$	$>1.0 \text{ mm}$
$d > 120 \sim 170 \text{ mm}$	$>1 \sim 3 \text{ mm}$



弯头质量好；缺点是加工较困难，且只适用于一种弯曲半径，安装调整复杂。球形的优点是适用于同一内径的不同弯曲半径，制造调整方便，适用性强。

图 5-10 芯棒形式

(a) 匙形芯棒；(b) 球形芯棒

一般在弯制薄壁管 ( $\delta < 4\text{mm}$ ) 时，特别是  $R < 2d$  时，以用匙形为宜，而在弯制厚壁管 ( $\delta > 4\text{mm}$ ) 时，以及  $R > 2d$  时，则以球形为宜。

在冷弯管子时，弯曲部分的质量在很大程度上取决于芯棒安装位置的正确性，为了保证弯头的质量应将球形芯棒的位置安装得超前一些。超前值  $K$  见图 5-10(b) 所示，其大小取决于管子的内径、弯曲半径、连接杆的刚性，以及芯棒和管子之间的间隙。超前值  $K$  过大，管子凸出部分的壁厚也就会过分变薄，同时芯棒亦不易拔出；超前值  $K$  减小时，管子凹入部分上的折皱高度便会增加。初次安装时可参照表 5-3 来选取，确切的数值应根据试验来决定。

表 5-3 冷弯钢管时超前值  $K$  的选择

弯曲半径	超前值	弯曲半径	超前值
$2.0D$	$0.25d$	$3.0D$	$0.33d$
$2.5D$	$0.28d$	$3.5D$	$0.38d$
$2.75D$	$0.31d$	$4.0D$	$0.41d$

匙形芯棒的特点是其端部的圆柱弧面与弯曲管子的内壁相贴合，因此它不必带有任何超前值。匙形芯棒的球面半径  $R_r$  按下列公式来确定：

$$(5-9)$$

式中  $R$ ——管子的弯曲半径，mm。

匙形部分的长度由圆柱形部分的中心线和球面形成线的交点位置来确定，且可按下列式算出：

(5-10)

为了减少芯棒和管壁之间的摩擦,应在芯棒圆柱部分上车出一段 1.0~1.5mm 深的环槽,其长度当  $d < 120\text{mm}$  时为  $(1 \sim 2.5) D_{\text{棒}}$ ,大于 120mm 时为  $1.5 D_{\text{棒}}$ 。此处在此形表面上应开出润滑油槽。

管子在开始弯曲前要在其内外表面上涂上润滑油,这样就能显著地减少在弯管过程中所产生的摩擦力。

弯管机所需模子的数量不仅决定于管子的直径,而且还决定于管子的弯曲半径。不同直径和不同的弯曲半径,就要求有适合于它们的单独的弯模和压紧模。

要大量削减弯管机所需模具的数量并提高弯管机的利用率,最重要的办法就是统一管子的弯曲半径。统一管子弯曲半径的实质就是一定外径的管子,或外径相近的管子,应按同一的半径来弯制。

除将管子的弯曲半径规格化外,还应把造船中所用的管子直径加以限制,这样也可以减少模子的数量。

## 6. 无芯弯管机

为了解决有芯弯管机对配置多套芯棒的困难,以及节省装卸管子芯棒的辅助时间,可考虑采用无芯弯管工艺,即弯管时没有芯棒。为了防止管子在弯曲过程中产生过大的椭圆度,往往采用预变形(反变形)的方法,如图 5-11 所示。

图 5-11 无芯弯模预变形示意图

因此,必须设计特殊的模子,来控制其反变形量,其模子的形状应该不是正圆,它的曲线形状类似椭圆,可以通过实际试验获得。

管子进入弯模前形状是正圆的图 5-11(a), 通过第一个滚轮后故意造成预变形, 其椭圆方向是水平的图 5-11(b); 管子通过最后弯模图 5-11(C) 时产生的变形方向是垂直的, 因而使管子得到较为正确的截面形状。

无芯弯管在实际使用中, 也存在一些问题, 如管子外圆卡毛、弯模易磨损、较大尺寸管子易产生较大折皱等, 所以目前只在小尺寸范围内采用无芯弯管工艺。

如在较大尺寸管子弯制采用无芯弯管工艺时, 通常可在弯模圆槽上加工出等间距凹槽, 使管子弯制成形后, 获得等间距波浪形皱纹, 这样可显著减少折皱缺陷, 保证管子的弯管质量。

## (二) 管子的热弯

### 1. 灌砂平台热弯

灌砂平台热弯虽然是一种陈旧落后的工艺, 如图 5-12 所示, 效率低, 劳动强度高, 质量难于保证, 但是对于船舶管系来说还是难免的, 特别是在无其他机械化热弯设备的情况下。如: 大直径紫铜管或弯曲半径不等于弯模半径的管子、小弯曲半径的管子、形状复杂连续弯曲的管子、管壁过薄的管子等均宜采用灌砂平台热弯工艺。

图 5-12 灌砂平台热弯

1—管子; 2—铁桩; 3—压铁; 4—缆索; 5—样棒

为了保证弯曲质量, 应控制管壁始弯与终弯的温度, 见表 5-4, 方可用光学高温计、热电偶温度计或利用金属受热后的颜色来判断, 表

## 5-4 管子热弯的加热温度

管子材料	开始弯曲温度 °C	弯曲终了温度 °C
碳钢	1050~1080 (淡黄色)	660~630 (深红色)
紫铜	850~860	300
黄铜	830	300
双金属	850 (深橙色)	580 (微红色)
钼钢—钼铬钢	950~1050 (橙黄色)	750~770 (樱红色)
不锈钢	1050 (浅黄色)	800 (浅红色)

## 2. 中频弯管

## (1) 中频弯管原理

图 5-13 高温下钢材强度极限值

钢铁材料冷态和热态的机械强度有显著变化。当温度上升到 300°C 以上时强度开始急剧下降, 到 700°C 时强度将下降十多倍, 见图 5-13 所示。利用这一特点, 应用到弯管上来, 设法在管子待弯曲的部位进行局部环状加热, 形成一圈很狭的热带(呈桔红色, 约 900°C 左右)进行弯曲。外侧受拉伸, 内侧被

挤压, 形成一小段圆弧。因为环状热带二边管子处于冷态下强度很高, 起了支撑的作用, 因此管子内既不需芯棒, 亦不需灌砂, 同样能保证管子不会变瘪或凹凸。在弯制过程中边加热、边弯曲、边冷却、边移动, 始终保持一圈狭窄的热带, 已弯曲的成形部分同时起了弯管模子的功用, 因此它不需要弯模。

当中频电源引出的交变电流经空套在被弯管子上的感应环(加热线圈)时, 就在环周围产生交变磁场, 磁场强度随着电流的大小和方向而作周期性的变化, 使通过管子的交变磁通在管子表面引起感应电流, 而由于涡流的作用使管子表面加热, 这一加热区呈环状且非常狭窄。

中频电源随设备的不同: 可分为中频发电机组式、电子管式、晶体管式三种。晶体管式的中频设备成本低、体积小、结构简单、维护使用方便, 因此是目前普遍采用的一种。它是由整流器、脉冲发生器、加热变压器、感应环(它上面有喷水孔)等组成。它的基本原理是通过半导体硅整流器把交流电变成直流电, 再通过可控硅逆变器把直流电源变成中频(1000-2500HZ)交流电。逆变器的控制讯号是由半导体脉冲发生器产生的, 逆变器产生中频电流通过加热变压器, 变成低压大电流, 供给感应环使用, 几秒钟就可高达 800-900℃左右高温, 使加热区钢管发红变软, 而其余部分由于喷水冷却的作用使管子保持低温而不易变形, 此时只要在管子前端加一横向力, 沿管子轴心线加一纵向力, 就可以使管子在被加热段产生弯曲。上述过程: 即管子在固定不动的感应环圈内加热, 在横向力作用下以及管子纵向运动相配合, 同时喷水使弯曲后从感应环内移动出来的管壁冷却等连续过程, 即是中频加热管子弯曲成形的过程。

## (2) 中频弯管机

中频弯管机按受力方式不同可分为拉弯式、推弯式和推拉组合式三种。

图 5-14 拉弯式弯管机示意图

图 5-14 所示为拉弯式弯管机示意图。管子弯曲力  $F_1$  和送进拉力  $F_2$  是弯管机床的转臂和前夹头形成的。管子夹头装在弯管机转臂上, 转臂由动力传动作回转运动。弯曲半径在一定范围内可任意调节。

拉弯的特点是管子夹持于前夹头内, 夹头转动后带动管子弯曲成形。夹头的转动中心固定不变, 弯曲半径的大小, 是\*改变夹头同旋转中心的相对距离来调节的。它的特点是结构简单—成形比较容易, 可弯薄壁管, 但壁厚减薄量较大, 起弯和弯曲收尾处质量较差。

图 5-15 所示为推弯式弯管机示意图。它主要由纵向推进力  $F_2$  和前夹头转臂产生的拉力  $F_1$  逼使管子弯曲成形, 弯曲半径  $R$  可通过调整前夹头转臂长度来实现。

图 5-15 推弯式弯管机示意图

推弯则可以消除拉弯的缺陷。管子夹于前夹头内, 通过转臂空套于立柱上, 因此, 前夹头可绕立柱自由转动, 夹头的回转中心一般是可以移动的, 借此来调节弯曲半径。这种推弯式弯管机所弯管子壁厚减薄量小, 起弯和弯曲收尾处没有拉凹的缺陷, 而且操作方便, 是目前使用最广的一种型式。

推拉组合式弯管机取推、拉两种弯管机所长, 将传动功率分别有前夹头和主送进夹头承担, 一般适用于大型弯管机。

图 5-16 所示为一种类型的中频弯管机结构图, 其工作原理简述如下

图 5-16 中频弯管机结构图

管子按下列程序弯出: 管子夹于主送进夹头 3 及前夹头 9 中, 并有导向滚轮 6 导向, 导向轮由正反方向的丝杆传动。前夹头 9 固定于转臂 11 上, 转臂空套于滑板 14 的立柱上可以自由回转。滑板通过丝杆 12 可在回转架座 13 上移动, 以此调整弯曲半径。调整时, 前夹头可在转臂上相对滑动, 因此前夹头始终位于弯管机床的中心线上。管子弯曲时, 感应环通过中频电流, 加热管子然后通过主拖动装置 2, 由链轮传至丝杆 10, 使主送进夹头前移(或后移)。被加热管段, 由于受转臂 11 的限制, 因而围绕转臂的回转中心成形, 弯曲成所需半径的弯头。

在转臂的回转中心处, 装有自整角发送机, 将弯曲角度信息传递给自整角接收机。预先在接收机上调整设定弯曲角度值, 当管子弯曲至所需角度时, 由接收机发出讯号, 停止主拖动装置的运动, 同时切断中频电源, 这样可以自动地控制弯曲角度, 管子弯头之间的距离, 由快速送进电机 1 及行程开关加以控制。

本机送进机构的特点是采用机械传动, 即丝杆传动产生推力送进管子弯曲成形, 目前各厂的中频弯管机普遍采用液压送进的方式。

### (3) 感应环

图 5-17 感应环

1—感应导体; 2—连接板

中频弯管需用感应环来输出能量, 以达到加热管子的目的。对于弯管用的感应环, 不但要求能输出能量, 并且要控制一条能保证管子弯曲质量的加热带, 这是设计感应环最重要的准则。加热带由感应环宽度及感应环与管子之间间隙值和喷水圈的喷水角度三者所决定。在决定间隙值时, 主要考虑操作的方便性。对于加热薄壁管时, 感应加热效率可放在次要位置考虑。

弯管用的感应环如图 5-17 所示, 由感应导体 1 及连接板 2 用钢焊连接而成。感应导体是用紫铜管制成的开口圆环(截面形状通常有矩形、椭圆形和圆形), 在开口圆环一侧钻有沿圆周均布的喷水小孔, 以此冷却弯曲好的管段。连接板由紫铜板制成, 钻有冷却水孔, 并将感应环固定在中频变压器的汇流条上。有的弯管机感应环与喷水圈是分开制造后并列安装的, 这对保证感应圈本身在开机时的冷却更为有利。

### 3. 塑料弯管机

塑料弯管机是一种专门弯制聚氯乙烯等塑料管子的设备, 其传动部分采用液压传动, 弯曲部分的压夹头采用滑板式, 基本结构与一般的弯管机相同。

塑料弯管机主要是解决塑料管的加热与塞芯问题。塑料弯管机的加热区很宽，其宽度由弯曲半径和弯曲角度所决定，即要保证管子的整个弯曲部分都能一次性均匀加热，加热温度一般在  $120^{\circ} \sim 140^{\circ}$  之间，加热方式有：电加热、煤油加热和蒸汽加热三种。

### （三）数控弯管机

为了提高管子加工的速度和精度，采用计算机和数控技术，使弯管机自动化，不仅满足了弯管速度和精度的要求，而且为管子加工自动化流水线生产奠定了基础。数控弯管机通常包括弯管机本体（与一般机械式弯管机相似），附加下列各个单独装置组成：前夹紧和导向装置、转角装置、进给装置、法兰螺孔检测装置、测定尺寸的装置、芯棒装置（有芯弯管）、液压传动装置以及电气控制装置等。

数控弯管机与一般数控机床的不同点是加工精度。对一般机床来说，工具轨迹就是工件的加工精度，而在弯管机中，由于受到管子回弹和伸长等因素的影响，管子加工精度不等于数控弯管机的控制数值。为此，在讨论数控弯管机的加工精度时，不仅要研究机械的定位精度，还要着重考虑如何对回弹和伸长等情况进行修正，否则，就难于保证成品管子的加工精度。

图 5-18 所示为一种新型的数控弯管机，是为管子加工自动流水线设计制造的，它可以单机使用，也可以作为自动流水线的单元使用。

图 5-18 数控弯管机

本机床采用穿孔纸带输入数据，按照规定的程序自动进行弯管，直至管子加工完毕，自动停车并发送出完成讯号。在加工过程中，能自动显示各种动作讯号和进给数量。在机床发生偏差时，能自动停止动作，并显示“错误”讯号，引起操作者注意。由于它能自动测量和保证管子的正确弯制尺寸，因此提高了加工精度，使弯制出来的管子形状正确，可免去校管工序，直接用于安装。由于实现了自动操作，不但减轻了劳动强度，而且与普通弯管机床相比提高工效 2-4 倍。

在弯管前，只要把所要弯制的各种形状的管子，按零件图规定的程序和尺寸制成穿孔纸带即可。为了防止纸带穿孔错误，装有纸带校验装置，可以在弯管前先行校验纸带穿孔是否符合管子零件图的要求。校验时，先将纸带装上机床控制台进行“预演”，输入机即能自动地逐段送进纸带，并逐段显示程序名称和进给量。此时，根据图纸进行校对，即可发现有无错误。若正确无误，即可进行弯管操作。

纸带校验装置也可用来检查机床本身控制系统是否正常。检查控制系统时，可用一已校验正确的穿孔纸带进行“预演”，看机床显示的程序名称和数据是否与纸带上的数据一致。如果一致则说明机床控制部分正常；如有偏差，则可根据这个偏差的规律找出机床某一控制部分的故障，以便检修。

### 1. 管子形状的数字化表示

应用数控技术的先决条件在于被加工的零件形状和大小能否用数字形式表示出来。一根船用管子零件，往往有好几个弯头，具有复杂的立体形状。为了对这整根管子进行数控加工，第一步必须将管子的形状和大小用数字形式表示出来，成为数控机器能接受的“语言”。

图 5-19 是某船一根管子实例。稍一分析就能看出这根管子的形状由三种要素组成。

(1) 直线段长度，即管首—管尾以及两个弯头之间的直线管段长，以  $L_1 - L_2 \dots$  来表示；

(2) 管子弯曲角度，以  $a_1 - a_2 \dots$  来表示；

(3) 两个弯头之间的平面夹角，以  $\psi_1 - \psi_2 \dots$  来表示。这个夹角即为管子的转角。

图 5-19 管子零件示例

图 5-20 所示的管子，可以用如下的数字来表示它的形状及尺寸：

$L \cdot 300 \rightarrow a \cdot 65^\circ \rightarrow L \cdot 1900 \rightarrow \psi 90^\circ \rightarrow a \cdot 90^\circ \rightarrow L \cdot 900$ 。

这样，就能用一张数字程序表，就可以据此制作成穿孔纸带，送到机床上进行数字程序控制。在机床上把这一连串程序做完，管子也就可以弯成所要求的形状。

### 2. 管子回弹角的补偿

金属管在弯曲后会产生弹性变形。管子弯曲到预定数据后，如松开夹头，管子即回弹一个角度，这一角度称为回弹角。虽然数控弯管机本身

由于电子系统的控制，能很准确地控制弯管角度，但由于存在这个回弹角，会使被弯的管子角度超过公差要求。为了消除这个误差，通常有三种办法：

- (1) 在穿孔纸带的弯管数据上预先加上回弹量，进行修正；
- (2) 在机床控制系统中预置一个固定的回弹修正量；
- (3) 自动测量和补偿回弹量

由于管子在弯曲后回弹角的大小同其弯曲半径、弯曲角度、管壁厚薄、管子材料等因素有关，因此，很难预先确定一个准确的修正量。如果修正量估计得不准确，弯管误差也就较大。因此，前两种方法的精确度不够可\*。本机床采用第三种方法，在机床上装置了自动检测和补偿回弹角的机构。采用这种方法的弯管过程如图 5-20 所示。

图 5-20 弯管过程图示

假设一根管子按图纸要求应弯曲成  $\alpha$  角时就将停止，如图 5-20 (a) 所示。然后松开前夹头，此时弯模和导向滚轮仍压紧，这样管子弹回  $\theta$  角，这个角度即回弹角。在回弹的同时，电子计数器进行加法计数，将回弹测量并记录下来，如 5-20 (b) 所示。第三步，前夹头再行夹紧，这时由于夹具的夹紧作用，使管子产生变形， $\theta$  角消除了。如图 5-20 (c) 所示。第四步，弯模继续转动，对管子进行再弯曲。

此时，电子计数器变成减法运算，把原来记录下来的回弹角  $\theta$  的数减到零，弯模就停止动作，而此时弯模实际上已转了  $\alpha_2 = \alpha + \theta$ ，也就是加弯了  $\theta$  角，如图 5-20 (d) 所示。第五步，松开前夹头，管子产生一个新的回弹角  $\theta_1$ 。这个  $\theta_1$  角是第一次弯曲的回弹角  $\theta$  和第二次弯曲  $\theta$  角时产生的回弹角  $\theta_2$  之和。

$$\text{即} \quad \theta_1 = \theta + \theta_2 \quad (5-11)$$

由于  $\theta$  角一般较小(在  $10 \sim 50$  之间)，因此  $\theta_2$  也更小， $\theta_2 \approx 0$ ，即  $\theta_1 \approx \theta$ 。这样管子的实际弯曲角：

$$\alpha_3 = \alpha_2 - \theta_1 = \alpha + \theta - \theta_1 \approx \alpha \quad (5-12)$$

如图 5-20 (e) - (f) 所示。

由于采用了上述方法,使弯管精度基本上达到了规定的要求。

关于伸长量的修正值,由于本机床采用先弯后焊工艺,故不必加以考虑。如采用先焊后弯工艺则应按试验数据加以修正。

### 3. 机械结构

数控弯管机是一种自动化机床,它能自动地按规定的程序和数据进行工作,完成弯管任务。因此,作为执行机构的机床各部位,也必须设计成自动控制,方能适应整机自动化的要求。

数控弯管机必须有三个运动坐标,即弯角  $\alpha$  坐标—送进 L 坐标和转角  $\psi$  坐标。所以主要工作机构必须有:

- (1) 完成弯管动作的“弯管传动装置”;
- (2) 完成直线管段送进的“送进装置”;
- (3) 完成两个弯曲平面之间夹角转动的“立体转角装置”。

为使上述三个机构正常工作的辅助机构还必须有:

- (1) 把管子夹紧在弯模上的“前轧头装置”;
- (2) 把弯模和导向滚轮压紧的“导向滚轮压紧装置”;
- (3) 把管尾夹住以便送进的“后轧头装置”;
- (4) 把塞芯拉出和插入的“塞芯装置”(有芯弯管);
- (5) 法兰螺孔检测装置(先焊后弯);
- (6) 以及为了实现上述机构自动化的一整套液压系统和电气控制装置;见图 5-21 所示。

图 5-21 数控弯管机机械结构示意图

1—弯模；2—导向轮油缸；3—前轧头油缸；4—送进副油缸；

5—送进主油缸；6—后轧头油缸；7—赛芯油缸

整台机床通过穿孔带和电子系统，分别对机床的三个运动坐标进行单坐标数字控制，同时还对其余各机构进行程序控制，使能协调配合动作。

## 第二节 管子的校对与焊接

### 一、管子的校对

管子校对工作是指管子弯曲（无余量加工管子除外）之后，按图纸规定各部分形状和尺寸来固定法兰，支管和管子接头等。

按照修造船的不同形式，校管工作可分为现场校管、\*模校管、坐标平台校管和校管机校管。

#### （一）现场校管

将弯制好的管子直接到船上的安装部位进行校对管子，就叫现场校管。

现场校管时，先将管子放在安装部位上，要保证管子两端的中心轴线与安装部位（设备、附件）接口的中心线对正，然后切掉两管端的多余部分。把法兰或螺纹接头套装在管子的两端，再把法兰或接头固定在安装部位的接口上，固定法兰或接头时要预留出装密封垫片的位置，通常在法兰之间填上铁丝（铁丝直径应同垫片的厚度相等），同时用垫木、支脚将管子搁牢，接着就可将法兰或接头与管子点焊定位在一起，最后拆下校正好的管子，运回车间转入下道工序。

这种校管方法，是一种工作效率低，劳动强度大的工艺，但在管系综合放样工艺普遍采用后，还是不能淘汰，一般用在管系放样中留出的调整管段。

#### （二）\*模校管

在修船中要调换的管子及造船中直径较大的管子，采用这种方法。

修船\*模校管的工艺过程：将从船上拆下需要调换的管子两端紧固上\*模法兰或螺纹接头，然后将\*模法兰定位，拆下旧管子，将按照旧管子几何形

状弯制的新管子，按现场校管的方法进行校对，但工作场地移到了加工车间进行。

这种方法虽然工序较多，但对提高管子的安装精度有很大的作用，提高了工作效率，降低了劳动强度，改善了工作条件。

### （三）校管机校管

在校管机上进行校管，通常是按照管系放样后绘出的管子零件图反映的各部分形状和尺寸进行。校管机结构见图 5-22 所示。

图 5-22 校管机结构图

1—立柱； 2—丝杆； 3—模板；  
4—摇手柄； 5—转盘； 6—底座；  
7—导轨； 8—导架； 9—制动器

5-23 校管机校管俯视图

校管机具有四种运动：

- (1) 通过手轮 4 可调整导架 8 沿丝杆 2 作上下升降运动；
- (2) 转盘 5 可在底座 6 上作 360° 定轴旋转运动；
- (3) 底座 6 可在导轨 7 上作直线往复运动；
- (4) 模板 3 可根据所校管子的法兰平面的要求作任意转动。

校管机是安装在内场车间的轨道上，轨道铺设的方向应是相互垂直布置，供一组校管机（两台）配合使用，如图 5-23 所示（俯视图）。

校管机校管的方法如下：

1. 先看清管子零件图上管子的形状、尺寸，并加以校对；
2. 将被校管入在平台上进行管端切割长度的划线，并按照画出的管端线割至规定尺寸；
3. 调整校管机位置的尺寸（图例所示的校管必须调整到  $y$ 、 $x$ 、 $H1$ 、 $H2$  四个尺寸）
4. 然后安装法兰在模板上（螺孔位置必须放正）；
5. 将被校管子安装在校对的位置（用水平尺检查水平管段）；
6. 最后点焊定位法兰。

校管机校管，既保证了质量又减轻了劳动强度，改善了劳动条件，从而大大地提高了劳动生产率，对批量造船来说，特别有利。

## 二、管子的焊接

### （一）钢管的搭接焊

搭接焊可用手工电弧焊焊接，如图 5-24 所示，焊缝高度为管壁厚度，同时外观不得有气孔、夹渣、裂纹，咬边深度不得超过 0.2mm 不得残留有焊渣和飞溅物。焊条根据管子材质分别选用船焊 40A 或船焊 395。

图 5-25 钢管的对接焊结构图

图 5-24 钢管的搭接焊结构图

## （二）钢管的对接焊

钢管的对接焊焊缝尺寸按图 5-25 所示,对于燃油、滑油管系的对接焊,采用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊封底。同时外观不得有气孔、夹渣、裂纹,咬边深度不得超过 0.2mm。不得残留有焊渣和飞溅物。

## （三）铜管的焊接

铜管采用氧乙炔纤焊或紫铜电弧焊,焊前必须将焊接部位清洗干净,并用砂纸磨去氧化皮,露出金属本色。焊接后焊缝必须饱满,不得有气孔、夹渣、裂纹等缺陷。纤焊丝采用 HSCuZn-1(即牌号 221)。紫铜管电弧焊采用 TCu 焊条(牌号铜 107,即上焊 80)。

## （四）HDR 不锈钢管的焊接

高压管的焊接工作必须由持有压力容器不锈钢管氩弧焊合格证的焊工担任,高压管所有的焊缝均采用手工钨极氩弧焊,焊机必须采用直流电源正接极,一般可采用 NSA-300 型号弧焊机或陡降外特性的直流电焊机和装有控制电焊机运转及输送氩气的控制箱。焊机的引弧、稳弧特性好,焊接过程中参数稳定,调节方便,水气供应系统安全可\*。

HDR 不锈钢管的焊缝焊接,焊前应清理,焊前将管子坡口端 20~30mm 内用丙酮清洗干净,其表面应无水、无油、无氧化物等污物。管子点焊固定,点固焊时采用奥 507 焊条,点固焊缝高度应不超过焊件厚度的 2/3。所有的点焊缝不应有气孔、裂纹、夹渣。不合格的点焊缝必须清除干净后再焊接。

HDR 不锈钢管的焊接选用超低碳铬 25 镍 6 钼 2 不锈钢焊丝进行焊接,焊丝牌号为 00Cr25Ni6Mo2,规格为  $\Phi 2\text{mm} \sim \Phi 3.2\text{mm}$ 。手工钨极氩弧焊采用的氩气纯度应不低于 99.9%,并符合 GB4843 规定。钨极直流氩弧焊接时,建议采用铈钨或钍钨电极,钨极端部应磨成夹角  $\alpha = 600 \sim 900$ ,钨棒规格为  $\Phi 2\text{mm} \sim \Phi 3\text{mm}$ 。

HDR 不锈钢管的焊接坡口型式、焊缝尺寸按图 5-26 所示,氩弧焊焊接按表 5-5 所示。焊接时应采用快速且速度均匀,使焊缝处于稳定状态,以防止不锈钢焊接接头过热产生热裂纹,并避免未焊透等其他缺陷。多层焊时,每焊完一层需彻底清除表面缺陷,并对焊缝进行仔细检查,且等前层焊缝冷却后

( $<60^{\circ}\text{C}$ ),再焊接下一道。封底施焊时,需向管内充氩气保护,焊接时用锥形木塞将两端塞紧,木塞的一端从中心钻一个小孔,用塑料软管一端接入氩气,另一端穿入小孔向管内通入氩气,可以加强保护、改善焊缝内面成型。当焊接中断或结束时,焊枪必须在结束处停留一段时间,继续送气直至焊缝冷却方可离开焊炬,同时采用电流衰减以改善收尾弧坑处的焊缝质量。

图 5-26 HDR 不锈钢管的焊接坡口型式、焊缝尺寸图

表 5-5 氩弧焊焊接型式

接头形式	焊件厚度	钨极直径	钨极伸出长度	喷嘴直径
管对接	3-4 毫米	2-3 毫米	3-5 毫米	12 毫米
焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	氩气耗量 (升/分)	焊接层数	焊接位置
80-90	17-20	6-8	第一层自熔 第二层填丝	水平滚动

### 第三节 管子的强度试验

## 一、管子的液压试验

管子制成后应进行液压试验,其目的是要检查管壁的缺陷或不紧密的情况。

管子的液压试验一般用水,也可用压缩空气,两者都可以检查出管子的缺陷或不紧密的地方。但在检查长管或承受较低压力的管子时,用压缩空气试验则不易查出,因此一般不宜采用,仅在试验水箱时应用。而用水作液压试验最为广泛。

### (一) 试验压力的选取

试验压力对一般工质温度在 120~300℃的管子为 1.5~2 倍工作压力;工质温度在 300~400℃的管子,试验压力为 2~2.5 倍工作压力。如果图纸中对管子的强度试验压力提出特殊要求,应按图纸要求进行试验。

### (二) 强度试验的步骤

1. 试验前,先检查已制成的管子内外的缺陷和不紧密处,特别是接头处,情况良好时方可进行试验。

2. 在管子一端的法兰上安置管塞,另一端连接水泵的管路,如图 5-27 所示。

在试验前,先在管内灌满水将管内空气排除。灌水时,必须将排气阀开启,见有水溢出时即关闭。

图 5-27 塞盖和夹持器

3. 管内水压力升高至规定压力时,停止液压泵的工作,维持 5min 左右,待降压至工作压力时,再进行检查。其方法是用小锤轻击管子四周和焊缝处,如果试验压力表上没有指出压力下降,且焊缝和法兰连接处又没有发现漏水与渗水,则认为试验合格,如发现法兰焊接处有渗漏,允许焊补。如发现管子

有裂缝时,若是一般性管子,在裂缝处应凿成 $60^\circ$ 的角槽缝后再焊补;对于高压管,不允许补焊,应换新的管子。缺陷消除后,需再次进行液压试验。

(三)管子液压试验时应遵守下列安全技术规程:

- ①严禁超过规定的压力,即使在很短时间内亦不允许。
- ②管子中的压力超过 $29 \times 10^4 \text{Pa}$ 时,禁止紧固附件或管子法兰上的螺栓。
- ③液压试验用的仪表,应保持准确,其读数须适合最大压力的需要,即应相当于规定试验压力的 $1.5 \sim 2.0$ 倍。
- ④如发现被试验的管子有缺陷时,应很快降低其压力,标出缺陷所在处,并排出管内的存水。
- ⑤管内试验水压在 $196 \sim 588 \times 10^4 \text{Pa}$ 以上时,不准突然泄放或骤降压力,以免引起管子的变形。

#### 第四节 管子的化学清洗与表面处理

##### 一、管子的化学清洗

管子清洗的目的是清除管内的杂质(铁锈、金属屑、砂子、油垢等),以免机件在试车时,因管子内的杂质进入机件,可能使机件受损,造成重大事故。

对于清洗质量要求较高的管路,一般均采用化学清洗法。用化学方法清洗时,大致上有如下工艺过程:首先将管子放在苛性钠、硫酸钠、磷酸三钠及水玻璃溶液中进行脱脂;已去脂的管子用热水(或冷水)冲洗后再放到盐酸(或硫酸)溶液中进行酸洗;管子在浸蚀以后用流动的冷水冲洗;再放在碳酸钠溶液中中和,然后再一次用流动的热水清洗并用压缩空气吹干为止,并在内表面涂以保养油,管子二端用闷头封好。

由此看来,管件在加工完毕后安装到船上以前应进行化学清洗。以保证管路正常地运行。而且各种管件的化学清洗方法基本相同,但不同管材所用的酸洗液有所不同,并且铜管和不锈钢管清洗后不涂保养油。

管件化学清洗的基本步骤和方法如下：

### 1. 管件的要求

进行化学清洗管件的成形尺寸应控制在一定尺寸范围内, 每根管件  $90^\circ$  弯头不得超过三个, 以保证清洗干净; 管件焊接处不许有漏焊, 气孔—焊渣—毛刺在化学清洗前必须清除干净, 否则交上道工序返工; 制造合格的管子报检后入库, 在安装前的一星期内由安装管工领出交送清洗, 清洗后至安装过程中注意保持管内清洁, 做到尽快装船。

### 2. 管件装挂

需清洗的管子逐根缠丝装挂在吊架上, 注意避免管件大面积叠合; 弯管吊挂时应将弯曲部分向下, 保证空气能够逸出, 管内壁全部浸到槽液, 避免出现死角。

### 3. 化学除油

除油液加温至沸腾时, 应立即停止加热, 同时给液面添加少量冷水使液温稍降, 防止碱液溢出。除油过程中吹入压缩空气, 帮助除油液翻动, 以提高除油效果; 为保证管内腔除油质量, 除油过程中提起吊架 1~2 次以更换管腔溶液。

### 4. 化学除油后应进行热水清洗

$60^\circ\text{C}$  以上浸泡 3~5min, 然后用流动冷水清洗。

### 5. 酸洗

将管子全部浸泡于酸洗液中, 待锈层松动, 用手轻拭铁锈, 易掉时取出, 为防止过度腐蚀, 浸泡时间一般为 2h 左右, 具体浸泡时间由操作者依管壁锈层情况和气温高低酌情延长或缩短。清洗溶液的游离酸含量在 20g/L 以下, 或  $\text{FeSO}_4$  浓度高达 150g/L 时, 溶液应补充酸液或更换新液。

### 6. 流动冷水冲洗

用压力水冲洗锈层至管壁清洁, 风压不小于 0.392MPa。

## 7. 浸酸

冲洗干净的管子由于受氧化作用很快产生浮锈,需浸入酸中 3~10s 以去浮锈。然后用流动冷水清洗。

## 8. 中和

浸入 5~10g/L 的碳酸钠溶液中进行中和处理,然后再用流动冷水清洗。

## 9. 钝化

经漂洗后的管件应立即浸泡于钝化液中处理然后用无油、无水的压缩空气将管子逐根吹干。

## 10. 检验与保养

自检管内外清洗质量后向检验员报检。检验的管件主要包括:溶液配方及工艺符合要求;外表面氧化皮是否除尽,不允许有污渍、脏物、砂粒和锈斑存在;钢管外观呈现金属本色,铜管外呈红铜光泽(允许因钝化膜或管材材质不同引起的色泽差异);内表面用手电筒检查,管壁呈金属原来色泽。无氧化皮或锈斑(允许少量粉末状锈蚀残留物存在);清洗后管子内外表面不允许有酸碱存在,可用石蕊纸抽查部分管件,若发现有酸碱残液存在,则必须重新中和及清洗。检验合格的管件按要求进行保养,钢管油管内壁应涂 13#锭子油保养;管端凡开口处均用特制的塑料闷盖或相应的封盖封口,包封必须牢固,必要时加入铅封;钢管管子外壁涂刷防锈底漆;铜管可根据管件不同用途,外壁涂刷油漆;然后放置于清洁干燥的地方妥善保管,如无良好的存放场地,清洗后尽快上船安装。

## 二、管子的表面处理

管子的内部处理结束之后,还有表面处理,一般不锈钢钢管表面都采用镀锌处理,锌是一种化学性质很活泼的金属,既溶于碱也溶于酸。干燥的锌几乎不起变化,但在含有二氧化碳的潮湿空气或水中较易氧化。氧化后,其表面会生成一层碱性碳酸锌和一层致密的白色氧化物,这种表面生成物具有保护性。

钢(铁)管镀锌后,由于锌的电位较铁低,所以镀锌层对钢管来说就是阴极。在锌层和钢管之间形成了锌-铁微电池。在水、蒸汽、二氧化碳等介质中,锌逐渐地放出电子而氧化,这样,就防止了铁的氧化,使钢管少受或不受腐蚀,从而延长了钢管的寿命。因此,镀锌工艺在船舶管路上得到广泛的使用。

电镀原理是将经过除油、除锈等清洁工作后的被镀零件(管子)与直流电源的负极接通后,放入盛满电解液的电镀槽内,槽内还放置着与直流电源正极连接的高纯度(99.9%)的锌板。接通电源后,经过一定时间的电化学反应,就能在管子的外表面得到一层(30~40  $\mu m$ ) 锌镀层。如果管子的内表面也需要镀锌,则要在管子的内表面添加辅助正极。辅助正极用锌丝绞成,外面用草绳或塑料带环周包扎,包扎不可过紧或过松。过紧会阻止锌的散发,过松则可能发生短路。

目前,在造船工业的管系镀锌中,大部仍采用氰化电解液,因为这种电解液获得晶粒细且厚度均匀的锌镀层。

## 第五节 船舶管路的安装与检验

### 一、管路的安装方法

管系的安装包括管子、机械设备、附件等的安装。就管系安装方法来说,实施管系放样工艺后可以有三种安装方法:

#### (一) 单个管系安装法(现场安装法)

船舶下水之后,在机械设备安装完毕,根据管系安装图逐个管系逐根安装管子的一种方法。显然这种方法只能在现场进行,工作效率还是比较低的;特别在管系密集程度高的机舱中,全面开展安装工作,加上其它工种的同时施工,不免带来相互干扰和不安全;安装甲板下方和舱壁上的管子还需要相当的辅助工作(如:脚手架、起吊等)。

#### (二) 分段预装法

在建造船体分段的同时安装管系的一种方法,通过各分段的管子,在放样图上已标明了它们的安装位置,在建造分段时就可以安装通过该分段

的所有管子。

这种安装方法,对于安装在甲板下方和舱壁上的管子特别有利,实现了将空中作业改为平面作业。这样既减轻了劳动强度,又减少了工作的危险性,更重要的是提高了工作效率和保证了安装质量。但采用分段预装后,给船体装配增加了一定的工作量,增加了起重设备的负荷。

分段预装法一般适用于甲板、机舱内各层平台、船体舷侧、双层底内及船体隧道内管子的安装。

### (三) 单元组合法

单元组合法也可以称为内场安装法。这种方法适宜用于机械设备和管系密集程度高的舱室中。按照机械设备和管系的功能划分成若干个独立的单元(功能性单元、合性单元和管子单元),或者按舱室内的布置划成若干块,进行单元组设计,绘制单元安装图。按单元或块在内场将有关的机械设备、阀件、管路、电气设备和仪表安装在一个支架或底座上,经过检验和油漆,运往现场拼装合拢。这种安装方法总称为单元组合法,当然,单元中辅助机械设备和管路的安装工作与一般安装并无差别。

单元组合法摒弃了造船工业中传统的管系安装方法,把原来大量现场安装工作移到内场进行,船内安装工作只是各单元的定位和合拢。单元中包括的机械设备,管系附件等愈多,单元的容量也就愈大,从现场安装移至内场安装的工作量也愈多,它的优越性也愈显著。

## 二、管路安装的检验

船上所有的系统的管子安装完毕后,为了保证安装质量,使之符合施工图纸上的技术要求,还必须对每一系统的管路部分进行安装正确性的检验和安装紧密性试验,并履行交检手续。

### (一) 安装正确性的检验

1. 检查总的安装是否符合图纸要求。主要检查管路的完整性及布置位置的合理性,其中包括检查各个部件及附件的相互位置是否正确,操作是否方便,仪表是否易观察。

2. 检查在可能积水与凝集水的部位是否有泄水装置, 疏水管路是否保持一定的倾斜度, 蒸汽管路上是否有膨胀接头。
3. 检查吊架的位置布置与数目是否符合图纸要求, 并用手锤敲击来检查其焊接的牢固性。
4. 检查管子之间、管子与船壳板、管子与舱壁之间的距离是否适当。
5. 检查法兰端面的不平行度、不同轴度是否符合要求以及检查法兰上螺母、螺栓连接的紧密性, 管子表面有无油漆及绝缘包扎等。
6. 管系安装完成后, 首先检查管系的完整性以及所布置的位置是否符合图纸要求。检查附件的配置是否正确, 在可能积水和存气的地方应设有放泄旋塞。用拆卸个别管子的连接接头的方法, 检查管路是否由于装配不正确的结果而存在着不允许的应力。随后装配所拆卸的接头时, 应该只用手来进行而不得利用杠杆和拉紧夹具。当拆卸法兰连接时应同时检查衬垫和紧固零件。

在检查管路在固定件(吊架及托架等)上固紧的正确性时, 应检查固定件的数目是否符合规定, 同时它们的布置位置是否符合图纸的要求。对固定件焊接的可\*性, 应选用适当的手锤敲击来检查。还应检查法兰上螺栓连接的紧密性。

管路和附件的油漆以及识别板刻字的内容和规格应符合规定要求。油漆表面不得有漏漆、剥落等缺陷。

## (二) 管路的紧密性试验

除了在车间内对管子进行液压试验外, 在船上安装后, 对整个管路再进行一次压力试验, 以检验管子接头的紧密性, 所以又叫管路的紧密性试验。其方法可用气压试验, 但常用的是液压试验。试验压力见表 5-6。

表 5-6 管系试验压力

序号	管系名称	试验压力 ( $\times 10^4 \text{Pa}$ )	
		车间内	装船后
1	舱底、压载管系	2p, 但不小于 39	1.25p, 但不小于 39

2	货油管系	2p, 但不小于 59	1. 25p, 但不小于 39
3	油舱的加热管	2. 5p	1. 5p
4	燃油管系		
	(1) 锅炉压力燃油管	2p, 但不小于 313	1. 25p, 但不小于 196
	(2) 一般燃油管	2p	1. 25p, 但不小于 39
5	蒸汽管系		
	(1) 过热蒸汽管	2. 5p	1. 5p
	(2) 饱和蒸汽管	2p	1. 25p
6	锅炉给水管系	2p	1. 25p
7	锅炉放泄管系	2p	1. 25p
8	冷却管系	2p, 但不小于 39	1. 25p, 但不小于 19
9	海底阀	不小于 19	
10	滑油管系	2p, 但不小于 39	1. 25p, 但不小于 39
11	压缩空气管系	2p	1. 25p
12	液压管系	2p	1. 25p

13	其它受压管系	2p	1.25p
----	--------	----	-------

注：表中  $p$  为管系中工质的工作压力。

液压试验前,先将试验管路同机械、设备、舱柜等隔离开(图纸规定一起试验的例外),打开管路上的空气旋塞,防止产生气垫。当管系工作压力不同时,应按规定的压力分段进行;工作压力相同的管段应一起进行密性试验。

然后向管路中灌水并加压到规定的压力,保持 20 min 左右,在这段时间内,压力的下降不得超过 5%,然后将压力下降到设计压力,并进行接头的检验,检查整个系统接头间是否有渗水、漏水等现象。

对于高、中压压缩空气系统。在试验时,要求主管路(从空压机到储气瓶)中应保持试验压力 2 小时,储气瓶和通往耗用处的管路及其支管应保持试验压力 24 小时。在达到了试验压力以后就应将空压机隔开,此后每隔 1 小时检验一次管路及储气瓶中的空气压力。在试验过程中压力的降低不应超过 1%。试验时,除用气部分前一道阀门外,其余阀门均需开启。当压力降超过上述规定时,可用肥皂液或火焰检查漏泄处所。

低压的压缩空气系统的紧密性试验也可采用水压试验。

在冬季,因气温较低,在许多情况下,管路的紧密性试验允许用与水压试验时相同压力的空气来进行。在接头处不紧密时,可按压力表读数来判断或用肥皂沫涂于检查处的方法来发现。

在空气压力试验或水压试验过程中所发现的缺陷,应在压力完全取消之后加以消除,然后再进行第二次试验。

对于不受压力或受压力很小的粪便管路、污水管路、测量管及其它管路,试验时将水注满到管子上端为止。

### (三) 管路系统的运行试验

管路经过外部检查和密性试验之后,还要进行运行试验。它是与主机、辅机及锅炉的试验同时进行的。运行试验的目的主要是为了检验该系统工作的可\*性,检查该系统中工质的压力、温度是否符合整个系统的技术要求。主要检查泵的进出口的压力是否符合要求,此外,还要检查:

1. 所有的减压阀是否维持所规定的压力。
2. 安全阀是否在规定的压力下开启。
3. 整个管系上的截止阀、截止止回阀、止回阀、闸门和旋塞的工作是否正常。
4. 热交换器工作是否正常，
5. 压力表、温度表是否装置齐全和能否正常地显示数值。

这种运行试验可与系泊试验同时进行。

## 第六节 管路的绝缘与油漆

### 一、管路的绝缘

为了最大限度地减少热损失或稳定舱室温度,很大一部分高温管系需要包扎绝缘层,高温管系的绝缘不仅减少了管路的热损失,而且还消除管子周围温度过高而灼伤工作人员和旅客的现象,以及防止易燃物品发生火灾的危险。需要防止受热的管路(例如制冷系统),对它进行绝缘就保证了冷冻剂参数的相对稳定性,并防止在管路上凝结水珠。实际上,凡是工作介质温度大于 50℃的管路,以及通过住人房舱而工作介质温度低于 10℃的管路和非冷藏装置的管路通过冷藏舱时均应包扎绝缘层。

用于船舶管系的绝缘材料必须具备以下各种性能:它应具有较小的导热系数和良好的耐高温性,比重轻且要有一定的强度,耐火和不自燃,对金属不腐蚀,耐震动,此外还要求价格低廉,在受热时不应散发有害的气体 and 气味。

常用的绝缘材料有:石棉、石棉氧化镁、石棉白云石、铝箔、玻璃纤维、泡沫塑料、蛭石、泥灰、泡沫状水泥、多孔橡皮等。

石棉是一种具有良好绝缘性能的纤维状矿物质。用于管路绝缘的石棉有石棉布、石棉板、石棉垫、石棉绳以及石棉泥等形式。

石棉氧化镁是一种白色的粉末混合物,它由 15%的石棉及 85%的含水碳酸镁所组成。石棉氧化镁能很好地溶于水中并能很快地变硬,所以在绝缘过程中它是像胶粘体那样敷于管路表面,也可以做成弓形的或硬壳的预制件使用。

石棉白云石和石棉氧化镁是类似的,功效也相同,但价格较便宜,故已获广泛应用。其组成成分为 15%的石棉和 85%的碳酸镁和碳酸钙。

作为绝缘材料的铝箔是一种在良好退火状态下的纯铝,厚度为 0.008~0.011 毫米。铝箔都做成卷状,其绝缘主要是利用空气层进行隔离。

玻璃纤维基本上由二氧化硅,氧化钙及氧化铝等组成。作为管路绝缘用的玻璃纤维有玻璃丝、玻璃带和玻璃毡等。在使用玻璃纤维时,必须注意玻璃碎屑对人呼吸系统的影响,并防止落入皮肤孔中,因此包扎工作时应带上呼吸面具及穿防御衣服。

目前出产的蛭石,经热处理后,体积膨胀十八倍,中间形成许多空气裹,再用沥青作为胶合剂,敷设管路表面包扎后即成。

为了牢固地在管路上固紧绝缘材料,同时也为了防止绝缘材料在震动中发生损坏,因此在安装绝缘层外还包扎各种辅助材料,如金属网、镀锌铁皮、黄铜丝或铁丝、帆布、防水布或羊皮纸、玻璃布、沥青、水玻璃、环氧树脂等,以形成具有一定强度的保护层。

管系的绝缘包扎工作大部分是在造船的舾装阶段进行的,此时管系已安装结束,并已经过验收和压力试验。

绝缘包扎的工作内容和进行的顺序决定于绝缘的类型及形式,图 5-28 所示为用得最多的几种绝缘形式。

图 5-28 管路绝缘的类型

图中(a)应用于直径大于 200 毫米的管系,由玻璃毡铺成的垫子 1 包在管子 7 上,再用具有金属丝的石棉绳 2 包扎,并用石棉布 3 包好,其外再围以敷有石棉氧化镁涂料 5 的金属网 4,最后用浆糊糊上一层粗布或包裹一层帆布。

图中(b)为直径小于 200 毫米的管子用玻璃带进行绝缘。绝缘时将玻璃带 1 绕在管子 6 上,再在外面包上石棉布 2 和具有石棉氧化镁涂料 4 的金属网 3,最后同样糊上一层粗布或帆布 5 并涂上油漆。

图中(c)为直径不大的管子,可用石棉绳绝缘,首先将石棉绳 2 按螺旋状绕在管子 1 上,若需要 2~3 三层时,则后一层的各圈应与前一层形成一定的角度交\*。石棉绳的端头应用金属丝捆扎在管端上,然后用石棉布 3 和金属丝 4 将绝缘层缝好。

图中(D)为直径不大的管子也可用石棉布绝缘,在管子1上铺上2~3层或更多层的石棉布2之后,最好用黄铜丝或铝丝3沿其纵向缝合。

图中(e)是对温度较低的管路可用毛毡进行绝缘,在铺设绝缘材料之前应在管子1上涂上一层防腐油漆2。待其干燥后将长条形的毛毡带3包在管子1上,并用细绳或金属丝7扎好,然后再敷上羊皮纸4,并用帆布5及金属丝或线6缝合。

各种d的管路亦可采用相应尺寸的弓形或压制成型绝缘件,敷设在管子表面,然后用石棉布或帆布缝合绝缘。

管系附件、法兰等连接处可用下列方法进行绝缘:用带有颗粒体填料的金属罩绝缘;用石棉布和填料做成的垫子绝缘;用弓形的或硬壳的模制件绝缘;用胶粘剂材料绝缘等。

图中(f)系用垫子绝缘,垫子的长度应盖过管子绝缘层80~120毫米宽度,并应在安装时就地剪裁。剪裁处应紧密缝合,使与绝缘表面紧贴。垫子3和绝缘表面间的空隙应填皱褶铝箔1及石棉板4,而在垫子的边缘则装上金属箍圈2。

法兰连接处和管子分别绝缘的优点是拆装方便,且不致损坏管子的绝缘。

由于绝缘工作是在最后进行的,而且工作比较繁重,场地十分拥挤。因此为了缩短造船周期和改善劳动条件,应力求将绝缘工作从船上移到车间里。

## 二、管系的油漆

管系的油漆包括管子油漆和特征记号的油漆两个方面。管子油漆的目的在于避免锈蚀;而特征记号的油漆其目的是便于识别不同功用的管系。特征记号的油漆颜色应符合CB248-75标准。一般情况下,燃油管路用棕色表示;滑油管路用黄色表示;海水管路用绿色表示;淡水管路用灰色表示;舱底水管路用黑色表示;压缩空气管路用浅蓝色表示;蒸汽管路用银色表示;消防管路用大红色表示;透气、测量和溢流管路则依其介质而定。但有的国家表示淡水、压缩空气的颜色与我国不同,故应以船上的标志说明为准。管路上还有用标志颜色表示介质流向的箭头符号。

在个别情况下,管系的油漆还可以与船方及有关主管机关协商决定。