

宝钢“60000”空分设备的管道优化设计

许路军 马恒高

(杭州杭氧股份有限公司设计院, 杭州东新路 388 号 310004)

摘要: 随着各行业对气体需求的不断增长和节约能源的需要, 单套空分设备也朝着大型化、复杂化方面发展, 从而使空分冷箱整体也变得更高更大, 冷箱内工艺管道的设计也变得更加复杂, 要从设备布置、管道柔性分析和安装施工检验等环节来确保空分设备安全生产。

关键词: 宝钢六万; 空分设备; 管道设计; 应力分析; 管道施工检验

管道设计的基本要求是安全性好和经济合理。安全性首先表现在其操作运行风险小, 安全系数大, 不至于因失效而产生重大事故; 其次是运转平稳, 没有跑、冒、滴、漏现象, 不至因其故障而造成整个设备的不正常开车; 经济性好是指压力管道的一次投资费用和操作维护费用的综合指数低。当然, 一个设计良好的压力管道还应满足其他一些基本要求, 如必须满足工艺要求; 进行标准化、系列化设计; 布局应美观、合理, 便于操作; 另外还应便于制造和施工等。同时管道的安装施工和检验也非常重要, 其将会影响整个系统的经济性及运转的可靠性。

一. 概述

管道设计应根据压力、温度、流体特性等工艺条件, 并结合环境和各种载荷条件进行。冷箱内管道不同于普通的工艺管道, 它有自己的特殊性和重要性: 冷箱内管道是在极低的温度下(一般在 -180°C 左右)工作的, 整体的管道包括耐低温的铝合金和少量的奥氏体不锈钢管; 冷箱内管道就像是一个连接空分冷箱内各设备的复杂网络, 网络的畅通直接关系到空分设备能否正常运行, 而冷箱内管道的设计、应力计算和安装检验的任何一个环节出现问题都会导致其严重变形、拉裂、泄漏甚至拉坏设备等重大生产事故。为了给冷箱内的压力容器和管道保冷, 需要填充珠光砂在冷箱内, 所以在设备正常运行的情况下是无法看到冷箱内管道的变形情况, 所以冷箱内管道的柔性分析就显得尤为重要, 同时柔性分析结果也影响到管道的合理布置。上海宝山钢铁 $60000\text{m}^3/\text{h}$ 空分设备是杭氧自行研制并投入运行的规模最大的空分设备之一, 该套设备于 2008 年 9 月一次开车成功、安全生产, 调试出合格的氧、氮、氩等产品。下面在上海宝钢六万空分设备的基础上介绍管道的设计布置、柔性应力分析和施工检验。

二. 设备与管道布置

2.1 设备布置

设备布置是管道设计的前提和基础，根据空分工艺流程图及设备操作、人员安全、管道安装检修等多方面要求，设计出最合理的物料流动和人员操作路线，创造协调又合理的生产和操作环境，形成一个能高度发挥效能的生产设备。在上海宝钢六万空分管道设计过程中，考虑到换热器的数量较多，通过与设备工程师的协调，调整了各个换热器管口方向的使整个换热器冷箱的管道布置更加合理，让流体在各换热器换热器的分布更加均匀，同时减少气流阻力（图 1）；同时也与外围管道设计人员不断沟通以合理安排冷箱内管道；该套设备主冷箱内设备包括：卧式主冷、上塔、下塔、液氧蒸发器、全精馏制氩设备等，而工艺管道的直径也变得很大，这些设备容器的布置直接关系到管道设计的合理性。为了节约空间和材料，还在容器上增设贴板，让管架支撑在容器上，同时也达到管道跟容器同步收缩的目的。

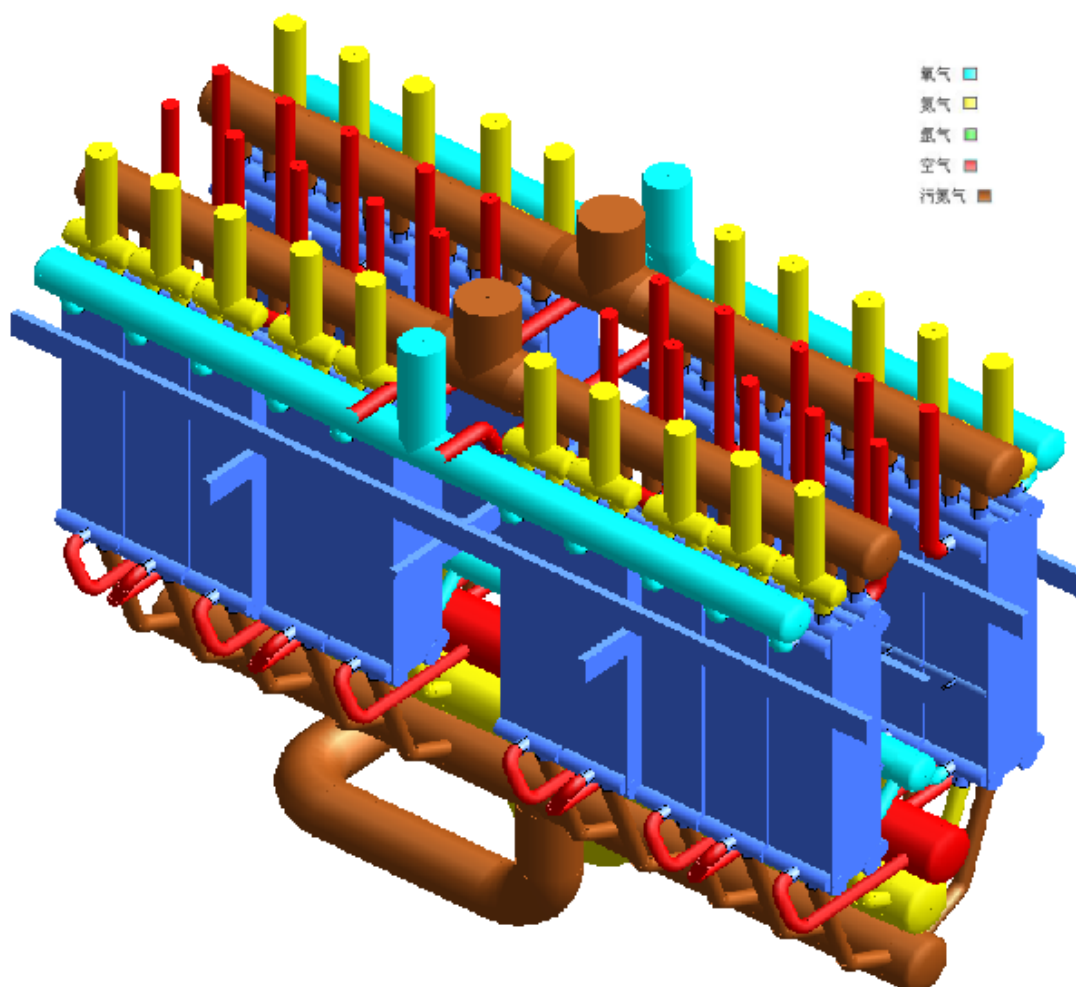


图 1：换热器冷箱管道图

2.2 管道布置设计

冷箱内管道的布置设计除了要满足管道及仪表工艺流程的要求之外，还要统筹规划，做到安全可靠、经济合理、施工、维修等方面的要求，并力求做到整齐美观。低温管道还要考虑整条管道有足够的柔性，并要充分利用管道自身的补偿。只有在自身补偿无法满足柔性要求的情况下使用辅助的补偿器，如波纹补偿器等。

为了满足配管要求，我们采用三维工厂设计系统 PDMS 软件进行冷箱内管道设计，使管道的布置设计工作更直观、准确，材料统计更准确，单线图更规范。工厂设计系统 PDMS 最大的特点就是建立了按实际比例的设备模型，从管件库中自动提取数据，生成管道图，并可以任意编辑，还可以在不同的位置提取剖视图。建立好管道模型后，可以将其和设备、冷箱组成一个空分整体模型（图 2），然后进行碰撞检查，并可以生成碰撞检查报告，同时在屏幕上显示碰撞效果，可以很直观地进行修改。工厂设计系统能够从管道元件库中提取元件的特性，并根据管道设计的实际尺寸生成管道数量，供车间生产现场管道安装所需的材料。在上海宝钢项目中因管道直径较大，尽可能的采用小角度弯管以节省材料，降低成本，并减小管道阻力，降低能耗。

在设计建模完成，并应用 CAESAR II 软件对管道柔性分析之后，就可以利用平面图模块（Draft）来生成轴测图，利用管道单线模块（Isodraft）来生成施工单线图。一般情况下，单线图的大小采用 A3 图纸，但在上海宝钢项目中由于部分管系比较复杂，用 A3 图幅需生成多张图纸，不利于现场安装，采用了 A1、A0 等图幅的图纸出单线图，让单线图变得更简单直观。为了方便现场施工，我们再参照模型对单线图进行人工处理，以确定仪表温度测点及管架的安装位置、安装间隙等。一般情况下，管道支吊架可分为三部分，即附管部件、生根部件和中间连接件；在经过计算后，我们合理地规定了承重支吊架、限位支吊架、防振支架的使用，避免了管架安装的盲目性。

管道的柔性指的是反映管道变形难易程度的一个物理概念，表示管道通过自身变形吸收热胀、冷缩和其他位移变形的能力。在保证管道具有足够的柔性来吸收温度位移的前提下，要使管道的长度尽可能短或投资尽可能少。在管道柔性设计中，除考虑管道自身的热胀冷缩外，还因考虑管道端点的附加位移。管道应力

分析可分为：静态分析和动态分析，目前我们所进行管道分析都为静态分析。管道的静力计算结果一般包括：管道各点的应力、管道上各约束的受力、管道上各点位移等。通过管道的柔性计算可以达到以下目的：使管道应力在规范的许用范围内；优化配管；帮助设置合理的支吊架。

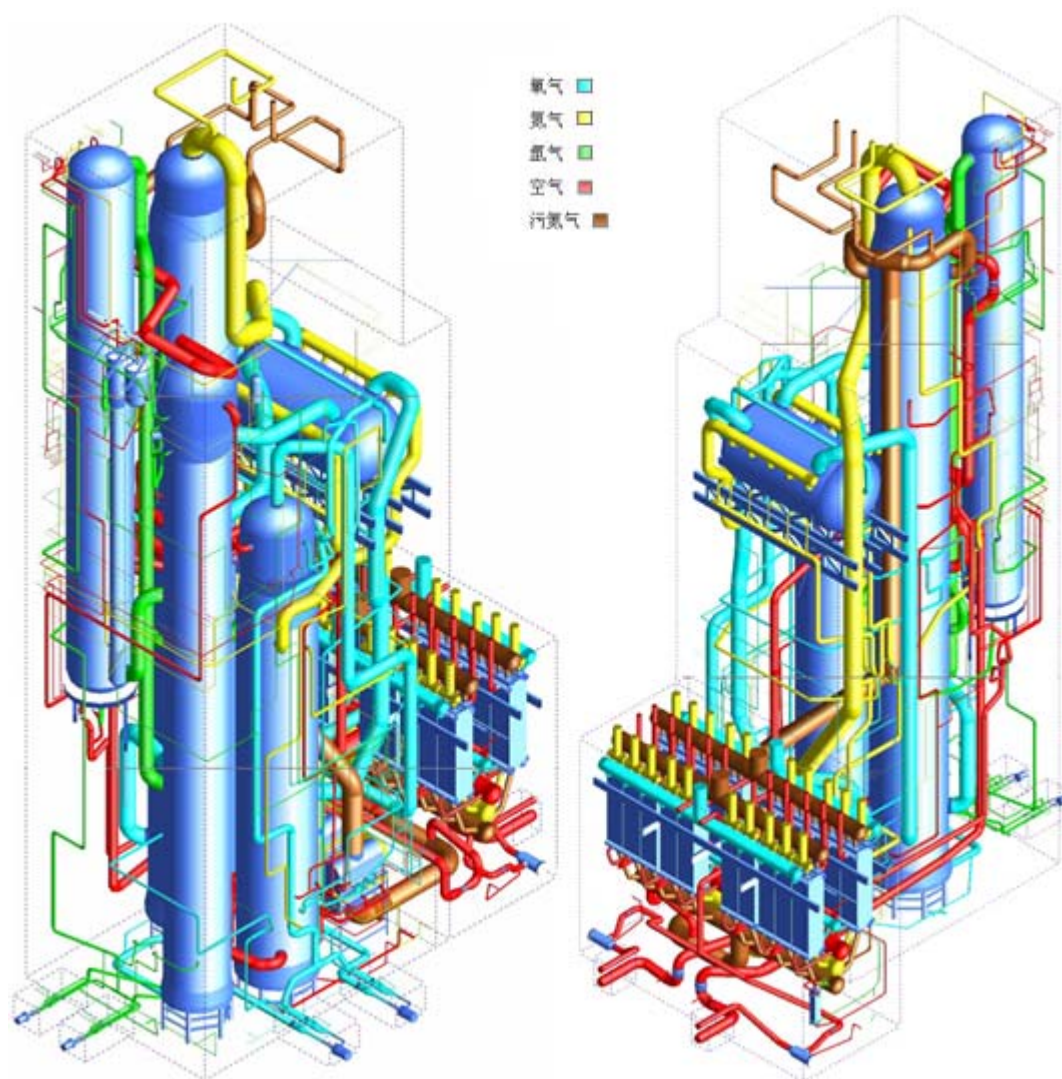


图 2：管道模型图 IS01 和 IS03

三、冷箱内管道的施工和验收

3.1 管道施工

冷箱内管道的材质大部分采用铝合金材料，主要牌号有 5052、5083 等，其焊丝的牌号分别为 5356、5183。在铝及其合金焊接过程中易产生较多的焊接缺陷，常见的有气孔、根部未焊透、内凹以及焊接热裂纹。由于铝合金材料本身的

特点以及空分设备生产工艺的特殊性，决定了铝合金管道的安装工艺和要求与一般碳钢材料不同，在某些方面较碳钢难度大得多。根据空分的特殊要求，首先要对管道进行清洗、脱脂。铝合金管道的清洗脱脂程序为：碱洗 → 清水冲洗 → 硝酸光化 → 清水冲洗 → 脱脂 → 清水冲洗。铝合金管在脱脂前，必须去除管内的脏物、垃圾等。脱脂剂严禁使用四氯化碳溶剂，必须用全氯乙烯或三氯乙烯溶剂。其次，由于冷箱内管道空间位置紧凑走向复杂，管径大小不一，这给管道的安装带来很大的难度。

为了保证质量，管道施工应尽可能多的在冷箱外制作，然后在冷箱内组装。因此，在施工前必须根据管道平、立面图绘制管道单线图，甚至有时会利用制作模型的方法，从而提高管道预制的深度、质量和速度。铝合金管道制作必须与碳钢和不锈钢等分开。管道的安装须按先大管，后小管；先下部，后上部；先主管，后辅管；先预制，后配置等原则。在上海宝钢六万空分设备的安装现场，就发生管道预制和大小管道安装顺序的问题，后来经过不断调整才顺利安装。

3.2 管道检验

铝是银白色的金属，具有良好的塑性、较高的导电性和导热性，同时还具有抗氧化和抗介质腐蚀的能力。铝合金管道焊接与其他材质相比，具有特殊性和难控制性，焊接操作非常难于掌握。铝及铝合金在焊接过程中产生的常见的缺陷有气孔、根部未焊透，内凹及焊接热裂纹等。焊缝经过外观检查合格后，方可进行X光射线探伤。由于铝和铝合金原子较轻，进行X射线透照时与碳钢不同，管道的检验依据 JB/T 4730-2005《压力容器无损检测》规定铝及铝合金制压力容器焊缝及钢管对接环缝无损检测规定执行，并参照该标准评片。以下是空分冷箱内管道焊缝的探伤检测表：

管道系统类别	照相比例或检查方式
角焊缝	着色检查，且应符合 JB/T4730-2005 I 级要求。
液体管道	100%照相检验，且应符合 JB/T 4730-2005 III级要求。
压力大于或等于 0.6MPa 的气体管道	100%照相检验，且应符合 JB/T 4730-2005 III级要求。
压力小于 0.6MPa 的气体管道	100%照相检验，且应符合 JB/T 4730-2005 III级要求。

四. 结束语

随着单套空分设备规模的不断增长,冷箱内管道的合理布置在空分设备的正常运行和降低生产成本等方面都起到重要作用。现通过对工厂设计系统 PDMS 和 CAESAR II 软件的应用,确保了冷箱内管道的合理布置和管架的设置,保证了空分设备的安全运转。上海宝钢六万空分设备一次开车成功,管道设计、制造和施工等各个环节又一次经历了实践的检验。