

甲醇裂解制氢装置中反应器的配管设计

冷灯凤

上海汉兴能源科技股份有限公司 上海 201315

摘要: 氢能由于绿色低碳正逐渐被各行业广泛应用,而甲醇裂解制氢技术具有低碳、低耗和环保等优势,是生产氢能的重要工艺之一。本文对甲醇裂解制氢装置中反应器的配管设计进行了简要介绍,主要从反应器平面布置、管道材料选型和管道布置等几个方面来阐述。

关键词: 甲醇裂解制氢; 反应器; 平面布置; 配管设计; 应力分析

引言

甲醇裂解制氢技术采用甲醇裂解+脱碳+PSA提纯流程生产高纯度氢气,该制氢工艺的原料甲醇存储运输都比较方便,能耗低、且产品氢气纯度高,符合国家鼓励倡导的低碳、节能、环保的发展要求,因此在化工、医药、电子、冶金等行业得到了广泛应用,现已建成多种规模的甲醇裂解制氢装置。甲醇裂解反应利用导热油炉提供的热能使甲醇和水汽化,进入甲醇分解变换反应器,在催化剂的作用下裂解为甲醇裂解气(H_2 、 CO 和 CO_2 等)。该反应器是甲醇裂解制氢装置的核心设备,反应器的进出口物料温度和压力都比较高,这也是配管设计的一大难点。本文就甲醇裂解制氢装置中反应器的配管设计,结合某石化厂60000Nm³/h甲醇制氢装置进行简要介绍。

1 反应器平面布置

甲醇裂解制氢装置中反应器的平面布置,首先应满足GB50160《石油化工企业设计防火标准》中装置内设备、建筑物的防火、防爆距离要求,反应器布置还应满足SH3011-2011《石油化工工艺装置布置设计规范》中反应器的布置要求^[2],需考虑催化剂装卸运输、反应器吊装检修等。除此之外,反应器的平面布置还应协同与其相关的加热炉、换热器等统一布置,在符合标准规范的同时尽量减少占地和节约管材。

以某石化厂60000Nm³/h甲醇制氢装置为例,此装置由四台甲醇分解变换反应器R6101A/B、R6201A/B两两并联组成。考虑到反应器巡检、吊装检修、催化剂装卸以及装置安全生产等要求,四台反应器成排集中布置,且中心线对齐;反应器左边设有道路,满足反应器装卸、催化剂运输车辆进出及消防检修的需求;最右边是导热油炉,反应器与其净距大于15m,满足GB50160标准对装置中明火设备与甲类可燃气体设备的防火间距要求。^[1]

反应器为露天布置,设置反应构架。为方便管嘴法

兰拆卸、人孔检修、催化剂装卸以及阀门和仪表等的操作,将构架分为五层,每层平台均应考虑反应器热胀与构架的相对位移,保证反应器热膨胀时不与构架梁碰撞。按照GB50160对设备构架平台安全疏散通道的规定,该反应构架属于甲类可燃气体的构架平台,长度大于8米,应设置不少于2个通往地面的梯子,作为安全疏散通道,故在构架两边均设置45度斜梯通往地面。如图1所示:

2 管道材料选型

管道材料应根据管道级别、设计温度、设计压力和介质特殊要求等设计条件,以及材料的耐腐蚀性能、加工工艺性能、焊接性能和经济合理性等选用^[3]。管道压力等级是根据钢制管法兰用材料的最大允许工作压力能否满足对应的设计压力来确定,本装置管道法兰最大允许工作压力查询SH/T3406-2022《石油化工钢制管法兰技术规范》附录A压力-温度额定值。

该甲醇裂解制氢装置反应器为列管式,壳程为加热介质导热油,管程为原料与反应气。以R6101A反应器管程进口原料气管线P6104和出口反应气管线P6105为例:

2.1 管线P6104输送的原料甲醇和水蒸气,基本无腐蚀,管道材质选20#即可,管线操作温度300℃,设计温度320℃,操作压力2.81MPa,设计压力3.09MPa。法兰材料牌号20#,组别号为1.0,查询该组别下钢制管法兰压力-温度额定值表并采用内插法计算出PN110的法兰最大允许工作压力为6.62MPa,预留20%的余量后,仍能满足,所以管线P6104法兰压力等级选定PN110。

2.2 管线P6105输送的是反应气,主要成分氢气,管线操作温度290℃,设计温度310℃,操作压力为2.79MPa,设计压力3.07MPa。该管线具有高温、中压、临氢的苛刻操作条件,在选择管道材料时,必须考虑抗氢腐蚀。根据设计温度和氢分压,参见SH/T3059-2012《石油化工管道设计器材选用规范》附图C.2临氢作用用钢防止脱碳和微裂的操作极限^[3],选择成本相对较低的

15CrMo抗氢钢材即可满足要求。法兰材料牌号15CrMo, 组别号为1.17, 查询该组别下钢制管法兰压力-温度额定值表并采用内插法计算出PN110的法兰最大允许工作压力

为8.65MPa, 预留20%的余量后, 满足设计要求, 所以管线P6105法兰压力等级选定PN110。

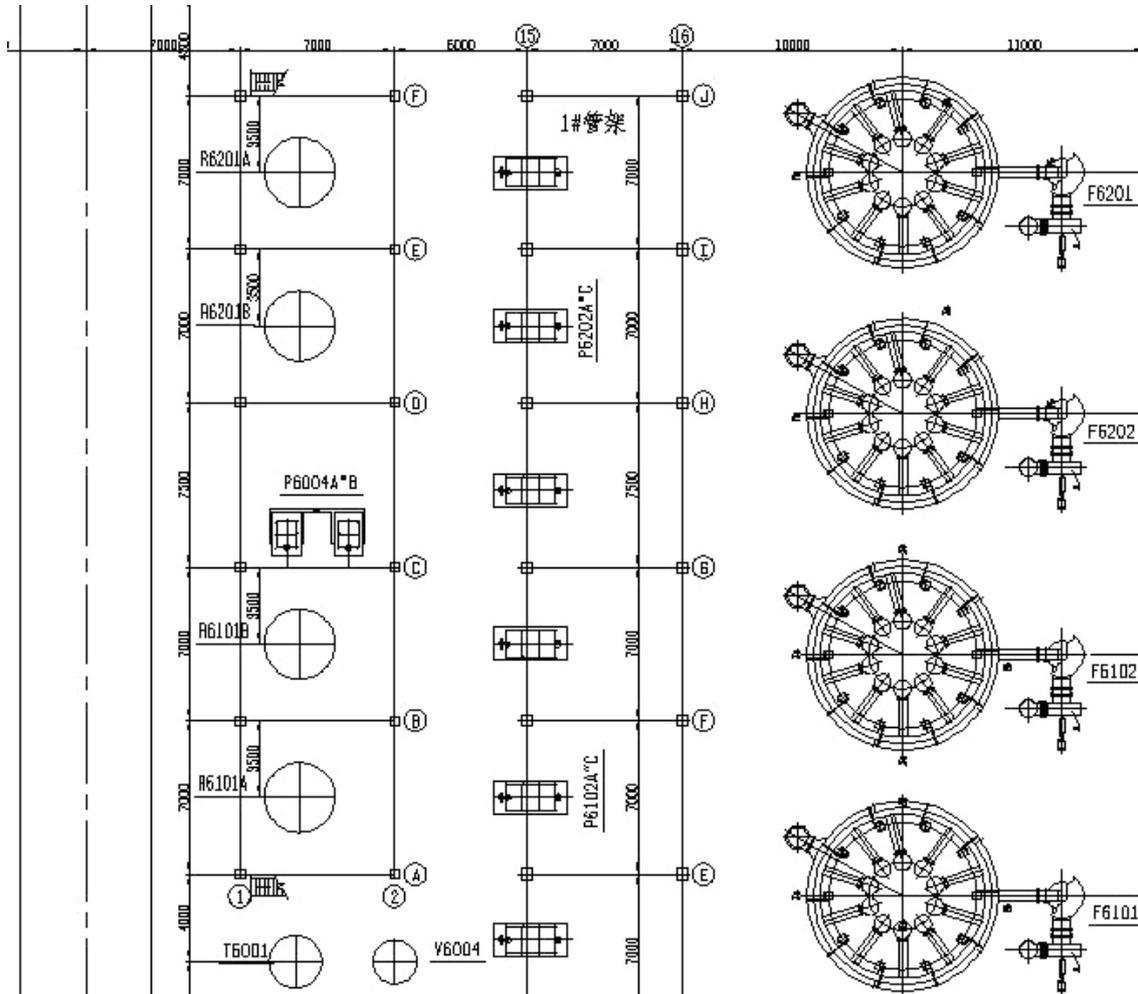


图1 60000Nm³/h甲醇制氢装置反应器平面布置

3 管道布置

3.1 管道布置的一般规定

管道布置在符合工艺管道及仪表流程图的要求和满足相关标准规范的前提下, 还应做到安全可靠、经济合理、整齐美观, 满足施工、操作和检修等方面的要求^[4]。管道布置还应使管系具有一定的柔性, 在保证管系柔性及对设备管嘴作用力和力矩不超过允许值的情况下, 应使管线最短, 管线连接件最少。

本装置四台并联的立式反应器均为列管式反应器, SH3012-2011《石油化工金属管道布置设计规范》对该类型反应器的管道布置做了如下要求^[4]:

3.1.1 并联的立式反应器的管道布置应使流体分配均匀, 各台的压力降应符合工艺要求。管道布置除应便于催化剂的装卸要求外, 还应满足催化剂的再生要求。

3.1.2 管式反应器的管道布置应满足设备管口附加位移的要求, 应根据管道的柔性计算, 选择合理的管架型式。

3.2 入口管道布置

经加热汽化的原料气入口管线P6104一分为二进入反应器R6101A和R6101B顶部入口。

3.2.1 为使进入两反应器的原料分配均匀, 两支管管线对称布置, 并且在各支管上设有质量流量计, 支管上的切断阀也选择了可调流量的截止阀。

3.2.2 进入各反应器的原料, 其压力和温度也需严格监测控制, 在各支管上均装有现场和远传压力表以及远传温度计。

3.2.3 各支管在阀后引入了中压氮气, 用来吹扫催化剂系统, 防止催化剂结焦等。

3.2.4 反应器顶部设有装催化剂和检修用平台,顶平台靠近反应器顶人孔法兰螺栓处设置,便于人孔螺栓的安装和拆卸,且原料气入口管线上的阀门和仪表也在人可操作的范围之内。

3.2.5 反应器热膨胀会带动入口管线产生较大的向上热位移,造成支架脱空,致使管嘴法兰所受的力和力矩过大而泄露,故靠近入口管嘴处的支架选择弹簧支架,既可防止脱空、又可吸收热位移避免管嘴法兰泄露。如图2所示:

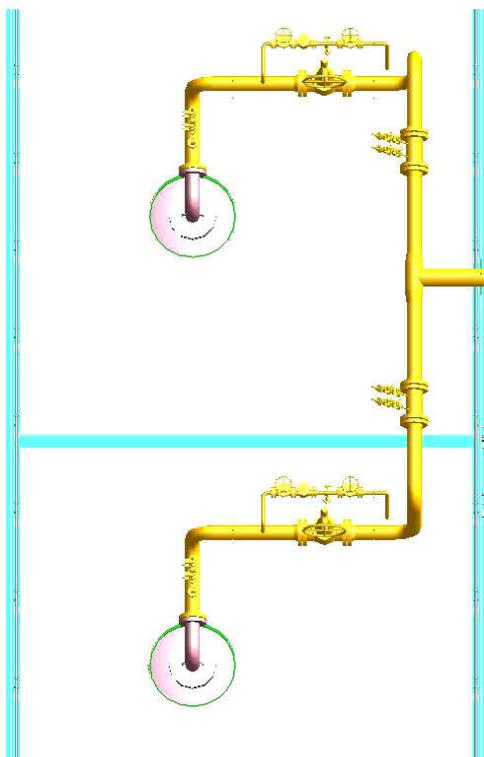


图2 R6101AB原料气入口管道布置

3.3 出口管道布置

经催化裂化后,R6101A和R6101B出口的两股反应气合二为一进入换热器冷却降温,管道编号为P6105。

3.3.1 反应器出口管线也是对称布置,各支管顶部均接出DN15的取样线引入密闭采样器,用以分析反应气是否符合要求。

3.3.2 该段管道温度和压力也比较高,管嘴热位移和受力均较大,为增加管系柔性、减少管嘴受力和防止管嘴法兰泄露,在靠近管嘴处设有弹簧支架,且阀后的管线采取了立 π 与平 π 的热补偿措施。

3.3.3 阀门安装在离地面1米左右,阀杆方向水平,方便操作。各表头安装高度也在人可操作范围区间。

3.3.4 各支管低点均从底部接有排污管道,用于开停工时吹扫排污等。如图3所示:

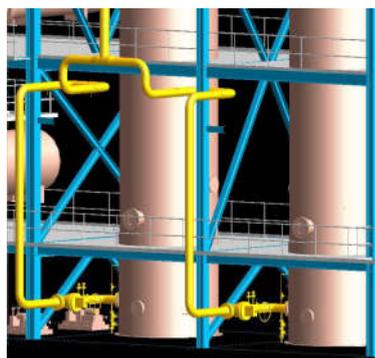


图3 R6101AB反应气出口管道布置

3.4 其它管道布置

3.4.1 导热油是甲醇裂解制氢反应的热媒,走反应器壳程。由于导热油用量比较大,每台反应器的导热油进出口均设有两个对称管口,为确保流体分配均匀,导热油管线也应对称布置。导热油管线的设计温度达到320℃,其管道布置主要考虑减少管嘴受力和力矩,确保管道应力不超标和法兰不泄露。

3.4.2 需在反应器构架各层平台上设置软管服务站,服务站管道包括净化风、氮气和低压蒸汽,用以使用风动扳手、吹扫和消防等。

3.4.3 反应构架平台高出所处地面15m时,还应根据GB50160消防规范要求设置半固定式消防给水竖管及其他消防设施。

结束语

反应器的配管设计是整个甲醇裂解制氢装置管道设计的关键,反应器平面布置首先要考虑防火间距的要求,还要考虑催化剂装卸运输的问题;反应器的管线需对称布置以保证物料分配均匀,考虑到反应器管线温度较高,管道布置主要通过管线绕平 π 和立 π 、合理设置弹簧支吊架等来减少热位移、增加管系柔性、消除管道应力。利用管道应力分析软件计算管道一次应力和二次应力、校核管嘴受力和力矩、校核法兰泄露和合理选型弹簧支吊架等。

参考文献

- [1]中国石油化工集团有限公司.石油化工企业设计防火标准GB50160-2008(2018年版)[S].中国计划出版社,2019.
- [2]中国石化工程建设有限公司.石油化工工艺装置布置设计规范SH3011-2011[S].中国石化出版社,2011.
- [3]中国石化工程建设有限公司.石油化工管道设计器材选用规范SH/T3059-2012[S].中国石化出版社,2012.
- [4]中国石化工程建设有限公司.石油化工金属管道布置设计规范SH3012-2011[S].中国石化出版社,2011.