

PBAT项目中夹套管的设计与端板计算

张立辉

上海聚友化工有限公司北京咨询分公司 北京 100025

摘要: 目前在建和已投产的PBAT项目中, 主物料管线几乎全部采用夹套管设计。夹套管具有伴热均匀、温度调节方便、保持工艺稳定性同时可以保证高粘度产品的流动性等优点, 广泛应用于石油化工装置中。本文重点分析夹套管的尺寸、管道管件材料、接管形式、端板计算实例等, 以期在今后的设计中能够规避错误, 少走弯路, 保证安全生产。

关键词: 内外管连接形式; 管件结构形式; 跨接管; 导流板; 热媒挡板; 端板强度计算

前言

夹套管是由内管、外管、跨接管和端部结构等组成的管道。根据热媒体的种类, 夹套管可以分为热油夹套、热水夹套和蒸汽夹套三种形式。PBAT是以精对苯二甲酸(PTA)、1, 6-己二酸(AA)和1, 4-丁二醇(BDO)为原料, 钛系有机物为催化剂, 在串联的四级反应器(酯化、预缩聚、终缩聚、增粘反应器)中进行连续直接酯化、缩聚、增粘, 生成聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯(简称PBAT)。由于酯化和缩聚、增粘反应都需要在高温下进行, 所以在整个反应过程中要对主工艺管道进行加热, 同时为了节省热量消耗, 恒定的保证管道温度, 主工艺管道均采取夹套管保温措施。而导热油由于具有比热容大, 热稳定性好, 在高温下对应的压力降低等优点被市场选用。在PBAT项目的管道设计过程中, 夹套管的设计和计算是一个特别关键的环节, 它涉及到管道的强度、安全性和经济性。本文将从夹套管的工艺设计及结构形式和夹套管的计算三个方面分别进行介绍。

一、夹套管的工艺设计

(一) 夹套管的设计条件

(1) 夹套管的内管的外压应为外管内的伴热介质

的设计压力。(2) 外管(包括端板)的内压应为伴热介质的设计压力。(3) 压力设计的温度参数应取内管的工艺介质或外管内的伴热介质的设计温度两者中最高者。(4) 应力分析的计算温度为: 外管取伴热介质的操作温度; 内管取工艺介质或伴热介质的操作温度两者中最高者。也应校核外管的环境温度和内管的工艺介质的操作温度。

(二) 夹套管的组合尺寸及材料

一般情况下, 夹套管的组合尺寸可按下图一确定, 但也没有强制, 项目上另有规定也可按项目执行。夹套管内管管径是为保证输送介质达到一定流速和流量而计算得出的尺寸, 外管管径是能为内管提供热量并保证恒定温度而计算出的尺寸。内外管材料的选用应符合工程项目管道材料等级的要求, 同时考虑运输介质对管道的腐蚀及其管道厚度所能承受的最大压力, 并根据内管与外管的介质性质, 设计温度和设计压力确定。考虑内外管受热膨胀一致的情况, PBAT项目中一般选用内外管同材质的管道, 其材质如06Cr19Ni10或022Cr17Ni12Mo2。夹套管的选材是夹套管设计中很重要的一个环节, 要尽量选用已知的、熟悉材料, 方便计算的同时也有成熟的实践经验。

表一 夹套管组合尺寸

组合尺寸DN	内管公称直径DN												
	15	20	25	40	50	80	100	150	200	250	300	350	450
套管公称直径	40	40	50	80	80	150	150	200	250	350	400	400	450
排气或排液管公称直径	15	15	15	15	15	20	20	20	25	25	40	40	50
跨接管公称直径	15	15	15	15	15	20	20	20	25	25	40	40	50

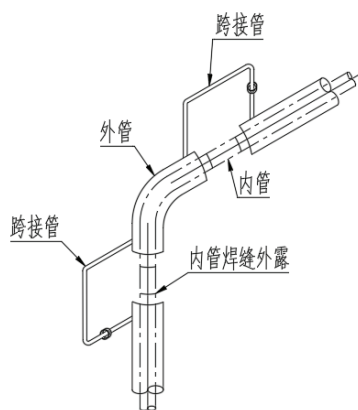
(三) PBAT项目中夹套管的工艺要求

由于PBAT熔体粘度(通常温度在280~290℃时,其动力粘度高达250~300Pa·s)很大,在管道中停留时间过长的话会导致熔体降解,所以通常会采取以下三种措施来减少熔体在管道内的停留时间:(1)尽量缩短夹套管道长度,除应力所要求的柔性弯头外,尽量减少弯头使用数量,减少管道阻力降。(2)要求夹套内管内壁抛光度Ra=0.8,通过减少管内壁阻力来提高熔体流速,进而减少介质在管道内的停留时间。(3)熔体管道顺介质流向应设有 $i \geq 0.02$ 的坡度。

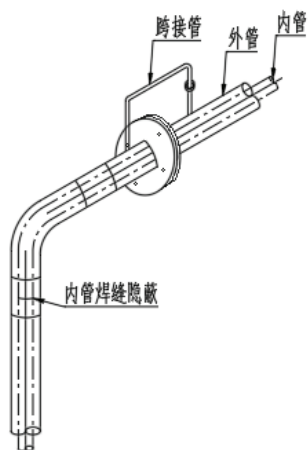
二、夹套管的结构形式

(一) 夹套管的型式

夹套管主要有内管焊缝隐蔽型(全夹套)与内管焊缝外露型(半夹套)两种连接形式。法兰式夹套管用于内管焊缝隐蔽型,管帽式夹套管及端板式夹套管用于内管焊缝外露型。两种夹套连接型式按输送介质的凝固点分类,凝固点 $\leq 100^\circ\text{C}$ 的工艺管道宜选用半夹套,见图二;凝固点 $> 100^\circ\text{C}$ 的工艺管道宜选用全夹套,见图三。PBAT的凝固点在 130°C 左右,选用的是内管焊缝隐蔽型



图一 内管焊缝外露



图二 内管焊缝隐蔽

夹套管。这种型式对配管及施工的好处在于跨接管道少,焊缝数量少,方便施工,缺点在于内管焊缝开裂不易被察觉,并且不好检修。PBAT项目中一般使用液相热媒T66做热载体,此种导热油具有高温稳定性、良好的热传导性能、优异的氧化稳定性和低挥发性等优点,所以在夹套外管的设计中,设计者只需注意避免外管热媒泄漏即可,通常外管连接方式都为焊接,选用波纹管阀门,可彻底消除热媒从阀杆运动间隙向外泄漏的可能性。夹套管在焊接时一般采用对焊形式以防止介质泄漏。

(二) 内管与外管的连接型式

内管与外管的连接型式应根据夹套管端部结构形式、输送介质的性质、工艺要求等因素进行选择,可分为平板式I型、椭圆封头式II型、法兰式III型三种型式。

PBAT项目中一般与设备管口连接部位采用法兰式III型连接,外管直接与夹套法兰焊接。特别注意的是,金属缠绕垫片需按夹套外管公称直径来选择,在此基础上减小垫片内环的内径尺寸至夹套内管的内径尺寸。夹套管长度超过一组供热单元时,管中需要热媒挡板隔开的位置常采用平板式I型连接。该种连接类型可分为端板外置和端板内置两种,管中热媒挡板一般选用端板外置型式,端板外径大于夹套外管外径6mm左右。

(三) 夹套管的管件结构形式

夹套管外管三通的剖切形式有横切和纵切两种,具体形式的选用要根据现场条件确定,现场剖切时,需先画切割线并由具有经验的师傅进行施工,以确保切割缝细直,否则可能影响三通焊接复原后的几何外形。夹套管的弯头设计时为了避免外管弯头剖切,外管弯头应可以套进内管弯头,合理设计外管弯头的曲率半径,以方便夹套管的安装和施工。项目上有特殊要求时,也有用特殊曲率半径的弯头,如内管 $R=2.5DN$,外管 $R=1.5DN$ 的情况。PBAT项目里DN350/DN450夹套管的内管弯头曲率半径就曾取 $R=533$,对应的外管弯头曲率半径取 $R=457$ 的情况。夹套管内外管的异径管应保持大端在同一位置,若必须使用偏心异径管,内外管应同时装成底平或顶平形式。

(四) 夹套管内外管间的支承

夹套管定位板的作用主要是保证内管和外管的相对位置固定。一般情况下,夹套管的内管和外管材质不同,热胀量也不同,所以会预留1mm~1.5mm的间隙来解决因温度变化产生的膨胀量的差。定位板如要设置在弯头拐点处,一般定位板中心距弯头中心500mm为宜。夹套端部和第一个定位板之间的距离应不超过1250mm。内外管

皆使用对焊异径管时，为防止内外偏心，宜在适当位置设置定位板。通常情况下，夹套管的阀门、仪表件都应视为定位板。设计过程中应根据应力计算结果确定定位板的设置点位。在结构上，定位板一般焊接在内管的外壁上，通常为三个小挡板，每块挡板之间夹角是120度。这样的设计可以确保内外管不能接触，避免因摩擦或振动产生的管道损伤。当进行水平配管时，其中的两片定位板对地面的夹角应保持在110°~120°范围内；而进行垂直配管时，三块定位板应以120°均布。此外，定位板应与内管采用相同的材质。管架处的定位板长度宜为200mm。某PBAT项目中DN350/DN450的夹套管定位板尺寸为45mm×40mm×14mm。

（五）跨接管的设计

夹套管跨接管主要用于连接两段不同位置的夹套管，以便伴热介质的流通。在每段夹套管之间，如果规定长度范围内需要接入伴热介质，可以采用跨接管进行串连。跨接管的布置有一定的规则，当伴热介质为汽态时，管口方位应设置为高进低出；相反，如果伴热介质为液态，则管口方位应设置为低进高出。这样的设计可以确保排放流畅，防止积液和堵塞。根据国外某些设计公司（西德鲁奇公司、法国SPEI CHIM公司）的经验确定，夹套管管段间连接处的水平跨越管宜在底部切线方向进出，这有利于伴热介质以旋流方向前进，可改进传热效果，并在水平配管时有利于排出凝液。

（六）夹套管导流板

PBAT项目里，连接反应釜和喷淋冷凝器之间的气相夹套管道一般都是DN500以上的大管径，为了保证热媒的有效循环，冷热媒体分配更准确，并能避免死点，一般会在内外套管之间加设导流板。夹套管导流板的制作方法有很多种，比如采用与内管同材质的钢板，板厚3mm，内弧曲率半径317 mm外弧曲率半径349 mm（600/700夹套管适用），点固焊接等。

（七）夹套管热媒挡板

夹套管热媒挡板的主要作用是切断热媒流通，保证热媒的有效循环，以及冷热媒体的准确分配，从而避免产生死区。在夹套管的设计中，需要确定热媒介质入口到出口之间的长度，随着夹套管长度的增加，热媒介质的沿程（以及局部）阻力导致的压力损失增大，管中热媒介质流速下降，内外管层之间的传热效果也下降。由此可以得出夹套管的长度应由保持热媒在最低温度下

具有最必需的流量所决定。长度过大就需要用热媒挡板隔断。计算得知：PBAT项目中一组液相热媒能提供10~15米长度的夹套管所需的热量，长度超出15米后应在中间部位加设热媒挡板把夹套管分成两组热媒加热系统。

三、夹套管计算

PBAT项目里，夹套管经常会采用平板式I型的内外管连接方式，即管段末端采用端板连接的形式。在设计过程中一定会针对整个管系进行应力计算，包括管系柔性及管道强度等的计算，但是却经常忽略对夹套管端板强度的校核，而常规应力计算软件也不具备端板应力分析的功能，这就需要设计人员按照相关规定对端板逐一校核，以保证安全。夹套管端板厚度的选择也应是夹套管计算的一部分。夹套管端板承受的总应力主要是由内管与外管不同的热膨胀量和夹套中的内压组成，所以只需求得这两个应力，叠加即得到端板的总应力，对比端板的许用应力来判断端板厚度是否能满足要求。具体计算方法参考文献HG/T 20645《化工装置管道机械设计规定》，本文不再赘述。

结语

夹套管的设计与计算是一个复杂的工程任务，内外管的管径、壁厚、材料及端部连接方式等都是设计中应该注意的问题，任何一个环节出现疏漏，都会导致轻则管道管件表面产生裂纹，重则会导致管道管件撕裂，介质流出、加热效果不理想，熔体管道凝固等造成人员安全及经济损失等严重后果，所有设校审人员务必予以高度重视。

参考文献

- [1] 彭江. 夹套管配管设计浅析[J]. 化工设计, 2015, 25(03): 26-27+45+1.
- [2] 张毅. 夹套管的配管设计原则[J]. 广东化工, 2014, 41(15): 224-225.
- [3] 王欢欢. 化工装置中夹套管的配管设计[J]. 化工管理, 2023, (29): 135-137.
- [4] 张辉. 浅谈蒸汽夹套管的端板强度校核[J]. 化工管理, 2016, (26): 40.
- [5] 朱进梅. 熔融纺丝用夹套管的设计及柔性分析的探讨[J]. 机械研究与应用, 2011, 24(06): 90-92.