

TEPOSS 在炼化企业汽水管网设计中的应用

张辰昊 (中国石化工程建设有限公司, 北京 100101)

摘要: 炼化企业设置有多等级的汽水管网, 合理的设计汽水管网可以节约项目建设成本、降低装置及全厂运行能耗, 适应国家节能减排低碳环保的方针, 提高企业经济效益。本文以东北某新建大型炼化一体化工厂为例, 分析 TEPOSS 计算软件在炼化企业蒸汽管网和凝结水管网设计中的应用价值。通过对比 TEPOSS 的计算结果与实际操作中的测量数据, 确认模型的计算结果准确可靠, 对设计需要适应多种工况变化的复杂蒸汽管网和设计过程中的输入资料更新有显著优势, 建立的模型作为数字化交付的一部分, 亦可在投产后动态指导业主的操作, 对建设数字化车间具有重要意义。

关键词: 炼化企业; TEPOSS; 蒸汽管网; 凝结水管网; 数字化交付; 数字化工厂

中图分类号: TK284.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 025-0063-03

The Application of TEPOSS in the Design of Steam-Water Pipeline Networks in Refining and Chemical Enterprises

Zhang Chenhao(Sinopec Engineering Construction Co., LTD, Beijing 100101,China)

Abstract: Refining and chemical enterprises have multi-grade soda pipe network, reasonable design of soda pipe network can save the project construction cost, reduce the device and the whole plant operation energy consumption, adapt for the national policy of energy saving, emission reduction, low carbon environmental protection, improve the economic efficiency of enterprises. This paper analyzes the application value of TEPOSS software in the design of steam pipe network and condensate pipe network in a new large refinery in northeast of China. By comparing the calculation results of TEPOSS with the measurement data in actual operation, it is confirmed that the calculation results of the model are accurate and reliable, which has significant advantages for the design of complex steam pipe network that needs to adapt to changes in various working conditions and the update of input data in the design process. As a part of digital delivery, the established model can also dynamically guide the operation of the owner after production. It is of great significance to the construction of digital workshop.

Key words: refining and chemical enterprises; TEPOSS; Steam pipe network; Condensate pipe network; Digital delivery; Digital factory

1 汽水管网设计的应用软件

TEPOSS 辅助设计软件属于一款能够兼顾到流量计算和水力学计算的优秀热电系统过程辅助设计软件。TEPOSS 是热电系统过程优化软件 (Thermo-Electricity Process Optimization Software System) 的简称, 是一款专为汽水管网计算而研发的辅助设计软件^[1]。该软件系统综合了热力学、水力学、热能工程、化学工程、拓扑学等基本原理, 并以此为基础建立数学计算模型, 通过对计算模型的分析发现该软件很适用于蒸汽动力系统与蒸汽管网分析研究, 输出的理论计算结果经《管道压力降计算》(HG/T 20570.7-1995)^[2]和《隔热、保温类型的选用》(HG/T 20570.11-1995)^[3]核算基本一致, 适合于企业蒸汽动力系统与蒸汽管网系统的分析与辅助设计, 提高设计工作效率。

笔者近年曾负责设计一个大型炼油化工一体化炼化项目的热工系统, 该项目规模大、装置多、蒸汽管网结构复杂, 全厂蒸汽管网设置有 3.5MPa(G)、1.0MPa(G)、0.4MPa(G)3 个压力等级和 1 个 0.4MPa(G)

全厂凝结水管网, 三级蒸汽管网均属于大型系统, 各类管线密如蛛网, 各压力等级管网的接入接出点繁多。该项目汽水管网设计成功应用了 TEPOSS 计算软件进行辅助设计, 对管网进行模拟计算, 得到管网内各点的温度、压力、流速、压降、温降等重要设计参数。一次建模后仅需稍作调整即可便捷对不同季节、不同工况下的管网运行状态进行模拟, 发现流速过高和过低的区域并调整管线管径、保温厚度以及接入管网的位置, 避免出现管线震动和流速死区, 保证管网末端的供汽压力和供汽温度满足工艺装置的需求, 计算结果还可以指导产汽装置合理设置产汽参数并为用汽装置提供较为准确的设计输入条件, 是 TEPOSS 在大型复杂汽水管网设计中的一次典型成功应用。

2 TEPOSS 在复杂蒸汽管网设计中的应用

2.1 3.5MPa 等级蒸汽

该项目在冬季设计工况下, 3.5MPa 中压蒸汽总负荷 870t/h, 主要用于满足各装置内透平及各装置的工艺用汽, 其中 DCC 装置余热锅炉可产 3.5MPa 中压蒸

汽 105t/h, 制氢装置余热锅炉可产 3.5MPa 中压蒸汽 77t/h, 硫磺回收装置余热锅炉可产 3.5MPa 中压蒸汽 12 t/h, 轻烃分离回收装置裂解炉可产 11.5MPa 高压蒸汽 151t/h 经背压式透平发电机发电后输送至中压蒸汽管网, 此项目装置余热锅炉和裂解炉共可产生 3.5MPa 中压蒸汽 345t/h, 不足部分 525t/h 由园区热电厂供应。

3.5MPa 蒸汽管网的设计参数见表 1。

表 1 3.5MPa 蒸汽管网的设计参数

管网等级	压力 MPa(G)				温度 °C				平均设计流速 m/s
	最低	正常	最高	设计	最低	正常	最高	设计	
3.5MPa 等级 蒸汽	3.3	3.5	3.8	4.0	380	400	420	425	≈ 30

根据以往设计经验, 3.5MPa 等级蒸汽管网平均流速宜按照约 30m/s 设置, 但在相同流速下不同管径的管线所产生的压力降有很大差异。本项目位于北方高纬度寒冷地区, 蒸汽管线流速设置过低会造成散热损失增加, 但为了满足位于管网末端的蒸汽用户的用汽压力, 管网的整体送汽压降又不能太高。根据在 TEPOSS 中建立的模型, 在设计过程中多次调整管网各个区域的管径和保温厚度进行试算, 最终确定在管网前端选取较高流速, 末端较低流速但增加保温厚度的设计方案, 在满足末端用户用汽需求的基础上, 尽可能提高蒸汽管网的整体流速, 既能降低散热损失, 又能降低管线钢材和保温材料的建设投资。项目实际投运后, 笔者将设计工况下的计算数据与 2022 年 1 月 20 日的实际运行数据进行对比, 结果显示 3.5MPa 蒸汽管网的运行温度参数与设计点基本一致, 但压力参数存在较大的偏离。主要体现在以下 2 点: ①热电厂供应的蒸汽压力为 3.49MPa, 而设计点为 3.8MPa, 低于设计点约 0.3MPa; ②由于部分装置未运行或低负荷运行, 全厂的蒸汽负荷略低于设计值。设计工况下, 冬季应由热电厂和开工锅炉合计供汽 525t/h, 但实际运行时仅合计供汽 476t/h。

DCC 装置位于全厂 3.5MPa 蒸汽管网的中间位置, 柴油加氢装置位于全厂 3.5MPa 蒸汽管网的末端。把全厂 3.5MPa 蒸汽实际运行参数输入 TEPOSS, 再将 DCC 装置和柴油加氢装置外管网参数与原设计参数进行对比:

第一, 在冬季设计工况下, 热电厂送入本项目的蒸汽应为 3.8MPa, 经过约 1000m 长管径为 DN750 的蒸汽管道输送 (流速为 28.2–26.5m/s), 可到达 DCC 装置外的系统管网, 根据 TEPOSS 的计算结果, 此处的压力应从 3.8MPa 降至 3.53MPa, 热电厂界区至此处压降为 0.27MPa。蒸汽从 DCC 外管网继续输送约

600m 到达全厂管网最远端柴油加氢装置 (流速为 15–17m/s), 压力应从 3.53MPa 降至 3.40MPa, DCC 装置外的系统管网至此处压降为 0.13MPa。

第二, 在实际运行工况下, 热电厂送入本项目的蒸汽应为 3.49MPa, 经过约 1000m DN750 的蒸汽管道输送 (流速为 28.2–26.5m/s), 可到达 DCC 装置外的系统管网, 根据 TEPOSS 的计算结果, 此处的压力应从 3.49MPa 降至 3.29MPa, 热电厂界区至此处压降为 0.2MPa。蒸汽从 DCC 外管网继续输送约 600m 到达全厂管网最远端柴油加氢装置 (流速为 15–18m/s), 压力应从 3.29MPa 降至 3.2MPa, DCC 装置外的系统管网至此处压降为 0.09MPa。

第三, 根据管网上的仪表测量数据, 热电厂送入本项目的蒸汽应为 3.49MPa, DCC 装置外的系统管网的蒸汽压力为 3.4MPa, 热电厂界区至此处压降为 0.09MPa; 柴油加氢装置外系统管网的蒸汽压力为 3.31MPa, DCC 装置外的系统管网至此处压降为 0.09MPa。

总结发现, 因 3.5MPa 蒸汽管网较长, 气源点集中布置于管网前端, 管网流速整体较高。TEPOSS 计算出的压降整体略高于实际运行工况下的压降, 但整体偏差程度不大。经过进一步分析发现, 该偏差是由于模型中 3.5MPa 蒸汽管网由热电厂界区至 DCC 装置外管廊段弯头数量略多于实际数量产生, 按照实际弯头数量修改模型并重新计算得到的压降数据与实际运行数据基本一致, 使用 TEPOSS 规划设计的蒸汽管网方案合理。

2.2 1.0MPa 等级蒸汽

本项目在冬季设计工况下, 该项目 1.0MPa 低压蒸汽总负荷为 480t/h, 主要用于各装置与系统工艺加热、伴热等。由各装置内的背压或抽背 3.5/1.0MPa 汽轮机背压排汽和抽气提供以及加氢处理装置和 DCC 装置产汽设备共产生 1.0MPa 蒸汽 427.76t/h, 作为平衡和热备用的 3.5/1.0MPa 蒸汽减温减压器供应约 36.34t/h。

1.0MPa 等级蒸汽管网的汽源点和用汽点分散布置于整个管网, 在不同季节和不同工况下, 各个装置的产汽和用汽量存在较大变化, 每段管线的蒸汽流量甚至流向都产生变化, 对管网的适应性提出很高的要求。在设计过程中, 使用在 TEPOSS 中建立的模型先对最大负荷的工况进行试算, 得到一版粗略规划, 再使用其他各种工况进行复核, 发现部分流速过低或过高区域后对管线的管径、保温厚度以及接入位置进行调整, 目标避免在任何工况下出现过高流速产生震动或多种工况下频繁出现流速过低的“死端”产生大量的凝液。经过数十次的试算得到一版与各个工况均能较好相适

应的设计方案,项目实际投运后,笔者将设计工况下的计算数据与2022年1月20日的实际运行数据进行对比,结果显示1.0MPa蒸汽管网的运行温度与设计点基本一致,运行压力整体低于设计点,蒸汽流量低于设计点。主要体现在以下2点:①1.0MPa蒸汽管网在实际操作工况下的各气源点压力为0.83~0.9MPa而设计点为1.1MPa,实际操作工况下的管网压力整体低于设计点约0.25MPa;②由于部分装置未运行或低负荷运行,全厂的蒸汽负荷低于设计值约20%。

选取有代表性的节点综合统计TEPOSS计算得到的1.0MPa蒸汽管网参数与实际操作参数进行对比。总结发现,1.0MPa蒸汽管网较长,汽源点和用汽点分散布置于整个管网,管网流速适中,使用单位控制的管网操作压力低于设计点压力。1.0MPa蒸汽管网在实际操作工况下TEPOSS计算压力整体略低于仪表测量压力差值0.01~0.04MPa,整体相偏差幅度较小,进一步验证了使用TEPOSS规划设计的蒸汽管网方案合理。0.4MPa蒸汽管网与1.0MPa蒸汽的设计理念与验证结论相似。

2.3 经济效益

蒸汽管网的经济效益主要体现在压降损失和散热损失两方面,在压降可控的前提下尽量提高蒸汽流速不仅可以减小蒸汽管线的管径,更可以降低蒸汽管网的散热损失,节省保温材料。

该项目TEPOSS对蒸汽管网进行计算后,对使用TEPOSS前规划设计的大量蒸汽管线的管径进行了调减,较调减前共节省钢材875t,按照建设时吨单价6500元计算,节省投资569万元。

《石油化工设计热力工质消耗量计算方法》(SH-T3117-2013)中规定“蒸汽管网损失可按各装置连续负荷和间断负荷的折算负荷总和的1%~3%计算”^[4],该折算比例与过往项目标定结论基本一致,考虑到本项目地处高纬度严寒地区,管网损失应位于较高比例区间。根据该项目标定得到的数据,在实际运行中3.5MPa和1.0MPa蒸汽管网损失在1%以内,0.4MPa蒸汽管网损失在1.5%以内,使用TEPOSS优化设计后的蒸汽管网能耗明显优于国家标准中的规定和业内平均水平。按照蒸汽平衡中3.5MPa管网负荷525t/h、1.0MPa管网负荷480t/h、0.4MPa管网负荷280t/h的数据对比行业2%的平均管网损失,TEPOSS优化设计降低了3.5MPa蒸汽管网负荷5.25t/h、1.0MPa蒸汽管网负荷4.8t/h、0.4MPa蒸汽管网负荷1.4t/h。根据《石油化工设计能耗计算标准》(GB-T 50441-2016)中3.5MPa蒸汽88kgEO/t、1.0MPa蒸汽76kgEO/t、0.4MPa蒸汽68kgEO/t的折算系数折算^[5],优化设计后

的三级蒸汽管网能耗较行业平均水平低922kgEO/h。按照全厂550万t/a的处理规模、年运行8400h计算,全厂能耗较行业平均水平低1.4kgEO/t。

3 TEPOSS在复杂凝结水管网设计中的应用

该项目全厂设有工艺凝结水回收系统,将工艺凝结水送至凝结水站回收并处理后作为除盐水使用。在设计工况下,该项目工艺凝结水负荷冬季588t/h,夏季450t/h,工艺凝结水管网的设计参数见表2。

表2 工艺凝结水管网的设计参数

管网等级	压力 MPa(G)		温度 °C		平均设计流速 m/s
	正常	设计	正常	设计	
工艺凝结水	0.4	1.3	100	130	> 1

凝结水管网的设计目标是在尽可能足量回收全厂凝结水的前提下选取较小的管径,这一目标主要通过控制凝结水管网的压力降来实现,确保凝结水可以顺利返回凝结水站。由于个别装置送入管网的工艺凝结水温度可能等于饱和温度,局部管网中可能产生两相流,TEPOSS无法对此进行精确模拟,因此控制凝结水管网的压力降主要由控制管网内凝结水的流速实现。在凝结水管网的设计中主要使用TEPOSS进行质量平衡计算和流速计算,根据试算结果调整凝结水管网的管径,将管网平均流速控制在1m/s以下。根据该项目实际运行获得的数据,凝结水管网运行正常,没有出现水击和震动等情况,所有工艺装置的凝结水均可正常送入凝结水管网回收,由此验证了TEPOSS在凝结水管网的设计中得到的数据是可以信赖的。

4 结语

TEPOSS一次建模后修改参数即可多次重复计算,对设计需要适应多种工况变化的复杂蒸汽管网和设计过程中的输入资料更新有显著优势,提高设计精度并降低时间和精力的投入。使用TEPOSS计算优化设计蒸汽管网的节能及经济效益显著,为该项目节省投资569万元,蒸汽管网系统能耗较行业平均水平低1.4kgEO/t。

参考文献:

- [1] 衣立波. 蒸汽管网现状分析及发展前景[J]. 价值工程, 2010, 29(9):69-71.
- [2] HG/T20570.7-1995. 管道压力降计算[S]. 北京: 中国工业和信息化部, 1995.
- [3] HG/T20570.11-1995. 隔热、保温类型的选用[S]. 北京: 中国工业和信息化部, 1995.
- [4] SH/T3117-2013. 石油化工设计热力工质消耗量计算方法[S]. 北京: 中国工业和信息化部, 2013.
- [5] GB/T50441-2016. 石油化工设计能耗计算标准[S]. 北京: 中国住房和城乡建设部, 中国市场监督管理总局, 2016.