

电厂蒸汽长距离供热的案例分析

某工业园区长距离供热管网的案例分析和探讨——近年来，随着我国市场经济的快速发展，工业企业对蒸汽的需求也在不断攀升。由于能源综合利用率高以及节能环保等优势，热电联产集中供热已成为我国区域性供热的重要发展趋势，同时长距离管网输送能力也逐渐成为集中供热发展道路上的难题。本文通过对某工业园区长距离供热管网的案例分析和探讨，介绍了一系列管道长距离输送蒸汽工程中实行的节能技术，以及在设计中应采取的必要措施。

PROCESS-Tip

* 更多信息请扫描二维码：



chem.vogel.com.cn

* 反馈编码：A210834

文 / 朱发强

近年来，随着我国市场经济的快速发展，工业企业对蒸汽的需求也在不断攀升。各级政府一方面大力支持和推动工业发展，另一方面也在进一步提高对大气污染治理的要求，倡导企业实施“节能减排，保护环境”的转型升级。对于工

业企业而言，这无疑增加了他们的污染治理成本；尤其是传统发电行业，正面临着转型升级过程中的空前挑战。

热电联产集中供热，可以有效利用发电剩余的蒸汽，向周边工业企业进行集中供热，通过电厂大容量、大压力、高效率且低排放的锅炉建设集中热源供应站（热效率可达90%以上）取代分散企业低效率高排放的工业小锅炉

（热效率大约60%~70%），大大地提高了能源综合利用率；此外，采用大型锅炉建设热源站，可以减少燃料的消耗，从而减少二氧化碳、二氧化硫和烟尘等排放物的产生且有利于污染物的集中处理。工业用户可以由此节省下建设小锅炉以及购买燃料等的成本，同时，余热供应也为电厂带来了一部分额外的收益，可谓是一举两得。因此，特别是在一些工业

—— 本文作者供职于舟山杭热热力有限公司。



集中地区，热电联产集中供热越来越受到人们的关注和普遍应用。

集中供热系统主要有热源，供热管网以及热用户3个部分组成。其中，供热管网承担着将热源点的热量及时配送至各个热用户的重任，是连接两者的桥梁和生命线。由于电厂与末端热用户之间的距离相对较远，很多地区甚至已超过8 km的供热半径，而管道沿线必然存在压力损失和热损失，电厂蒸汽经过长距离输送后，往往难以满足末端用户较高的用汽参数要求。

在保证管网可供性和可操作性的前提下扩大供热的范围，蒸汽的出口参数（如温度、压力等），流量以及管径等是否满足要求，必须进行严格的计算和分析。此外，本文还探讨了在输送过程中

稳定热负荷，降低沿程压降和热损的一系列措施。

案例现状

随着某工业园区内多个重大项目的陆续开工和投产，园区内企业对蒸汽的需求量也逐步增加。目前一期管网总长度约10 km，其中主线部分长度为8.9 km。主线管道由DN600管道逐级变径至DN200管道，其中DN600管道长1 200 m，DN400管道长2 000 m，DN250管道长900 m，DN200管道长4 800 m。一期管网涉及用汽企业共约25家，蒸汽最大用量为50 t/h，平均量为20 t/h，最小量为5 t/h，年总供蒸汽量约为17.5万t。多以稳定的生产工艺热负荷为主。

此外目前在建二期管线总长度约11.3 km，其中DN600管道长度为7.4 km，DN500管道长度为3.9 km。该管线涉及两个区域，一是某工业园区二期地块，其新材料产业园区蒸汽用量预估为70～90 t/h，二是临近的工业区内有主要用热企业约20家，预估用汽量为80～100 t/h。

管道长距离输送蒸汽的重要条件

在国家现行的供热相关标准中都规定，蒸汽供热系统的半径通常控制在5～8 km内。为了保证管网安全、稳定运行，长距离

输送蒸汽必须满足以下几点前提：

1、末端热用户应有较稳定的热负荷

无论是从技术可行性或者经济可行性的角度来看，末端热用户都应具备较大的持续且稳定的热负荷，因为在不稳定工况以及低负荷工况下，管线中容易发生蒸汽凝结，严重时甚至产生水击，因此在设计时需要提前考虑到疏水阀等装置，及时排除饱和水。在本案例中，二期管网末端就有一个稳定的用热大户，虽然输送距离长达11.3 km，但蒸汽能保持一定的稳定流量，保证了管网的可运行性。

2、末端用户的用热参数在热电厂可供的范围内

进行较远距离供热是否合理，末端参数也是关键因素。末端用户的用热参数必须在热电厂可供的范围内。在本案例中，热电厂的出口参数是 1.8 ± 0.2 MPa(g)、290℃。二期热网末端用户，其要求是保证1.0 MPa(g)的饱和蒸汽压力。一期各用户的要求普遍为保证0.7 MPa(g)的饱和蒸汽。目前运行的一期管网基本能满足相关要求。二期管线设计DN600管径用以满足二期用户的参数要求。一期及二期管网水力见表1、表2。

3、敷设长距离管道的经济可行性

一般而言，长距离管道的工

表1 最大量时管段水力参数

名称	流量(T/h)	公称直径(mm)	摩擦系数	流速(m/s)	雷诺	压降(kPa)	比压降(kPa/100m)
一期总管	39.15	400	0.0142	17.1	1.88E+06	92.27	3.27
二期总管	173.5	600	0.0140	22.4	5.32E+06	144.44	4.81

表2 最小量时管段水力参数

名称	流量(T/h)	公称直径(mm)	摩擦系数	流速(m/s)	雷诺数	压降(kPa)	比压(kPa/100m)
一期总管	29.34	400	0.0144	8.7	1.40E+06	35.77	1.27
二期总管	56.54	600	0.0143	7.6	1.76E+06	15.7	0.52

程造价较高，此外，蒸汽管道正式运行后，还需要考虑到其固定成本以及变动成本，其中固定成本主要考虑的是供热管网的固定折旧，人工，维修及保养和建筑公共部分耗热等，变动成本则直接与末端热用户的用热情况息息相关。当末端用户的热负荷较小且不稳定，中间又没有其他的热用户，管道输送的流量与管道沿程的疏水流量一样多；甚至沿程疏水流量大于末端用户的流量；或者今后没有可发展的热用户时，敷设较远距离供热管道的投资可能不能回收。因此，管道在建设前必须对其经济可行性进行研究，只有达到了一定的基础用热负荷才能确保管道投资是可回收的。对于本次二期管网进行了充分的调研，以确定在最小用气量的情况下，管损率控制在 10% 以下，以达到经济运行的目的。一期及二期管网热力见表 3、表 4。

节能技术以及必要措施

为了实现管道较远距离输送蒸汽，在设计中有效控制管道沿程的压降、温降，以保证用户端的供汽参数，满足末端热用户需求是关键。其中，影响管道沿程压降和温降的因素众多，且各因

素之间相互影响。单方面增大管径虽然可以有效降低管网沿程的压力降，但是同时也会增大散热面积，因此会造成不必要的管网热损失。相反地，缩小管径可以减少管道的热损失，但由此导致的较高的蒸汽流速会管道加大管道内的压力降。

有效控制压降的措施

管道沿程的压力降与管网结构（如管道走向、长度、补偿器等）有着密切的关系。由于管道的走向一般都是由当地规划局对规划红线进行编制和审批，这里就不做详细的说明，在具体的设计中可利用 Gambit，ANSYSFLUENT 等软件，对不同的供热管网结构进行仿真模拟计算，从而得到一个合理的热网结构。

管网的压力损失通常由两部分组成：即局部阻力所带来的损失以及沿程阻力造成的损失。其中，补偿器以及弯头是造成管网局部压力损失的主要原因。因此要尽可能地利用管道走向进行自然补偿，在需要使用补偿器补偿时，应尽可能选用可长距离补偿的补偿器，并且尽量减少补偿器的数量。在本案例中，蒸汽运输管道主要采用低支架地上敷设，只有部分靠近用户端的管段为了

不影响交通和美观而采用直埋敷设，因此，在地上敷设的管道部分，我们使用旋转式补偿器进行补偿，旋转式补偿器通过成双旋转筒和“L”形力臂可以形成力偶，使大小相等，方向相反的一对力，由力臂回绕着 Z 轴中心旋转，类似杠杆转动，支点分别在两侧的旋转补偿器上可以吸收两边管道所产生的热伸长量。由于其在管道运行过程中处于无应力状态的特点，旋转补偿器能有效减少局部阻力。由于沿程阻力所产生的压力损失，则可以通过增大管径的方式来降低，但考虑到其可能导致的热损失增加，因此需要对此进行综合评估。

有效控制温降的措施

• 优化的保温层

保温材料及保温结构的选择对管道长距离输送蒸汽至关重要，优化的选择组合对蒸汽管道尤为关键。通常情况下，蒸汽管道的保温结构应是不小于三层的保温结构。最内层的保温结构一般采用耐高温的保温材料且需高温下的抗老化性能较优。外层的保温材料对温度的要求相对低一些，但仍需达到要求的传热系数。对于长距离供热管网，其保温材料的选取既要考虑一次性投资的经济性，同时也要考虑今后运行过程以及维护与保养方面的成本。对不同的保温材料、保温厚度及组合要进行优化计算，在满足长距离输送的条件下，经济地选定各保温层的厚度。保温材料有效的防止了对流传热，根据传热理论，蒸汽管道在运行中还存在的辐射散热，因此需在保温层之间还加装阻燃的铝箔玻纤布反射层对管道进行缠绕，铝箔玻纤布反射层不仅可以使保温材料更稳定地固定

表 3 最大量时管段热力参数

名称	流量 (t/h)	公称 直径 (mm)	保温层					热损失 (kJ/h)	温降 (℃)
			厚度 (mm)	材质	传热系数 W/(m ² ·℃)	表面 温度(℃)	保温 效率		
一期总管	39.15	400	160	硅酸铝及玻璃棉	0.243	30.8	96%	1.20E+06	14.4
二期总管	173.5	600	180	硅酸铝及玻璃棉	0.227	31.1	96%	2.58E+06	9.1

表 4 最小量时管段热力参数

名称	流量 (t/h)	公称 直径 (mm)	保温层					热损失 (kJ/h)	温降 (℃)
			厚度 (mm)	材质	传热系数 W/(m ² ·℃)	表面 温度(℃)	保温 效率		
一期总管	29.34	400	160	硅酸铝及玻璃棉	0.243	30.8	96%	1.20E+06	17.4
二期总管	56.54	600	180	硅酸铝及玻璃棉	0.227	31.1	96%	2.52E+06	18.9

在管道上,而且能有效反射隔绝管道表面的热辐射,起到很好的隔热作用,并且最外层的反射层还能对雨水进行隔绝,防止雨水进入影响保温材料的保温效果。

不同的保温材料有着不同耐温和导热参数以及导热系数-温度曲线。一般来说,当输送蒸汽管道温度在300℃以下,采用高温玻璃棉保温材料,当温度高于300℃时,则选择复合硅酸铝材料来实现保温,当温度高于500℃时,则需选择气凝胶(纳米保温材料)来实现保温。本案例中的保温层采用三层结构。最内层结构为憎水硅酸铝针刺毯,中层和外层都选用了高温玻璃棉材料同时各层间又加入了铝箔玻纤布反射层。保温计算中考虑保温最外层不超过周围环境温度5℃,从而保证保温材料在运行中不失效而能较长时间的使用。

• 采用隔热管托

隔热支座作为减少热网热损失的一个节能措施已被广泛应用。隔热支座的作用是阻挡蒸汽管道上的热量直接传导至土建支架上去。长距离输送蒸汽管道,由于管道托座引起的热损失较大,采用高强度的隔热材料使蒸汽管道上的热量不能直接传到支座上,防止了热桥的产生,减少了支座的热量损失。据统计该公司全部采用隔热支座,其散热损失可减少管网体系总热损失量的2%。

降低管网投资的几项措施

在前文中,已介绍了供热管网的投资可分为一次性的工程造价以及后续运营过程中的供热成本(固定成本以及变动成本),在这一节将会就降低管网投资话题,提出几点措施建议:

1、优化管道跨度

热网管道的跨度决定了管道土建支架的数量,长距离供热管网工程对支架的投入也相对较大。减少支架的数量,不仅能有效降低首次建造成本,也减少了一系列后续维护保养等成本。为了减少支架数量,需合理布置管线路由,同时在保温材料选用时可适当选用轻质的保温材料,这样能有效减少管道的自重,增加管道的跨距,从而减少支架的数量,节约管道的一次投资成本。

2、优化补偿方式

供热管网的建设中补偿方式的选择直接关系到热网系统的安全性和经济性。在管道设计过程中,应当尽可能充分利用自然地形进行补偿,当长距离蒸汽管道布置时,当必须使用补偿器时,应尽可能使用无推力旋转补偿器,旋转补偿器相较于其他补偿器而言,补偿距离长,可减少补偿器的数量;旋转补偿器的水平推力小,较小的水平推力能有效降低固定支架受力,减小固定支架的配筋;同时旋转补偿器安全性能高,使用寿命长,可节省运行期间的维护维修费用。

3、优化管道支架

对于地上架空敷设管段来说,管道支架是支承管网的最重要的结构件,根据管道的运行性能和布置要求,管道支架一般可分为固定支架和活动支架。其中,活动支架又可以细分为无约束滑动支架,滚动支架以及导向支架。无约束滑动支架允许蒸汽管道各个方向上自由膨胀。导向支架约束了蒸汽管道的侧向位移,对蒸汽管道运行时的线性进行了约束。滚动支架的优势则在于蒸汽管道在运行期间,支架所承受的摩擦

力更小。因此在大管径或长距离输送的蒸汽管道布置中,常常采用滚动支座替代,以此来减少土建支架的投资,在热网设计中已取得了初步效果。

一般的导向和滑动支座移动时对土建支架的水平推力(仅考虑管道重量时)为: $F_x = \mu ql$

其中: q 为管道计算重量; l 为支架间距; μ 为支座与土建支架之间的摩擦系数。

以案例中的DN600管道为例,由于管道及其附件自重达到310 kg/m,平均支架跨度达到17~18m,因此若采用滑动或者导向支架时,支架的水平推力约为1.7t。而当使用滚动支座后,其摩擦系数降至0.1以下,土建支架的水平推力将减小为0.5t。受力的下降,能有效减小土建支架的成本。

根据实践证明,使用滚动支座后,减少了管道和每个支架之间的摩擦力,从而允许支架的基础和柱子设计得相对较小。这样不仅外表美观,而且节约了造价,据可靠统计,使用滚动管托后,土建造价下降约10%。

结语

虽然蒸汽系统的供热半径通常控制在5~8km内,但是由本文所分析的实际案例可以得知,管道长距离输送蒸汽是可行且可推广的。长距离供热管网需要具备大规模、持续且稳定的热负荷,以保证管线安全、稳定运行;同时,管道的压降和温降应控制在一定范围内,以满足末端热用户的用汽参数要求;此外,要尽可能降低工程造价以及供热成本,确保管道的投资可回收,为企业在实现节能减排的同时,创造出更多的经济效益。