

电伴热在化工企业的应用

简述了电伴热带的分类、特点，结合电伴热技术在某化工厂的实际应用，介绍了管线和储罐散热量计算，电伴热带设计选型，电伴热系统控制原理，总结了电伴热在安装使用过程中需要注意的问题和解决方法。

翁毓兰/中国石化仪征化纤股份有限公司



翁毓兰/高级工程师

在石油和化工生产企业中，工艺管线和罐体容器的伴热大多采用传统的蒸汽或热水伴热。但是蒸汽、热水的散热量不易控制，其保温效率也比较低。随着现代工业的发展，电伴热技术已经广泛用于石油、化工、电力和冶金各个领域。电伴热是用电热的能量来补充被伴热体在工艺流程中所散失的热量。具有发热均匀、温度控制准确且反应快捷等优点。本文结合某化工企业的实际应用，介绍电伴热的设计选型、系统控制原理以及安装调试使用中需要注意的问题。

电伴热带的分类

电伴热带品种规格很多，根据不同的应用场合，适应于各种伴热要求。常用的有串联型恒功率电热带、并联型恒功率电热带、MI电缆、融雪电缆、趋肤效应电伴热系统及自控温电伴热电缆等。根据实际应用，本文主要介绍并联型恒功率电热带和MI电缆。

1. 并联型恒功率电热带的特点

恒功率电热带单位长度发热量恒定，输出功率不受环境温度变化而改变。并联恒功率电热带分单相和三相，单相并联恒功率电伴热带适用于各种小管线或管网系统短管线的伴热保温，三相并联恒功率电伴热，适用于大管径、

管网系统管线和罐体的伴热保温。

2. MI电缆的特点

MI加热电缆是一种以不锈钢或合金作为外护套、电热材料作为发热元件，氧化镁作为绝缘的特殊加热电缆。电缆发热量与工作电压、发热芯线和电缆长度有关。每根加热电缆包括加热（热态）部分和导入（冷态）部分。导入部分通过一绝缘导体与电缆的加热部分相连，接合点为不漏液连接。整根电缆在工厂制作成型且不带有拼接点。具有耐高温、防水、防爆、不老化和力学性能高等特点。

电伴热带的设计选型和计算

电伴热选型设计原则是正确计算出管道或容器罐体工艺装置的散热量，用一定规格、数量的电伴热产品产生的等效热量进行补偿。

某10万t/年1,4-丁二醇项目，根据工艺要求，需要电伴热的管道分为4个单元，分别是马来酸酐单元（以下简称MAH单元）152根管道共计长度3 590.4 m；1,4-丁二醇单元（以下简称BDO单元）22根管道共计长度551 m；储运火炬单元5根管道共计长度77 m；原料罐区5根管道共计长度138 m。管线合计总长4 264.3 m。根据工艺给出的所有管道参数表，需要对每根伴热管道计算散热量，选择电伴热带。伴热类型分为防冻管线伴热、工艺管线伴热和储罐伴热，这里分别选取这些类型中的某一根管线和储罐作为代表，计算散热量选择电伴热带类型。

根据GB/T 19518.2《爆炸性气体环

关键词/Keywords

电伴热 ·
MI电缆 ·
散热量 ·

境用电气设备 电阻式伴热器 第2部分：设计、安装和维护指南》中第6页“公式（2）”，管线散热量计算公式为

$$Q = 2\pi\lambda\Delta T / \ln[(d+2\delta)/d] \quad (1)$$

式中， Q 为每单位长度管道的热损失， W/m ； λ 为保温层在其平均温度下的导热系数， $W/(m\cdot K)$ ； ΔT 为维持温度与最低环境温度之差， $^{\circ}C$ ； d 为管道外径， m ； δ 为保温材料厚度， m 。

1. 防冻管线散热量计算

防冻管线材质为碳钢，介质为水，管道外径32~57 mm，所有管道均用的硅酸铝管壳保温，导热系数按 $\lambda = 0.042 W/(m\cdot K)$ ，保温材料厚度40~80 mm，最低环境温度 $-17.7^{\circ}C$ ，维持温度 $5^{\circ}C$ ，设计温度 $325^{\circ}C$ ，正常操作温度 $265^{\circ}C$ ，另外一类防冻管线设计温度 $120^{\circ}C$ ，正常操作温度 $85^{\circ}C$ ，

选择其中一根防冻管线计算散热量，取 $d = 0.057 m$ ， $\delta = 0.04 m$ ， $Q = \{2 \times 3.14 \times 0.042 \times [5 - (-17.7)] / \ln[(0.057 + 2 \times 0.04) \div 0.057]\} W/m = 6.8 W/m$ 。考虑到风速、管线材质及工程保险系数1.3，故可取 $20 W/m$ 的功率。

2. 工艺管线散热量计算

工艺管线材质为不锈钢，介质为富油、贫油、马来酸酐及氮气，管道外径32~337 mm，所有管道均用的硅酸铝管壳保温，导热系数按 $\lambda = 0.042 W/(m\cdot K)$ ，保温材料厚度40~60 mm，最低环境温度 $-17.7^{\circ}C$ ，维持稳度 $66^{\circ}C$ ，设计温度 $250^{\circ}C$ ，正常操作温度 $58 \sim 94^{\circ}C$ ；另一类工艺管线，维持稳度 $66^{\circ}C$ ，设计温度 $140 \sim 200^{\circ}C$ ，正常操作温度 $63 \sim 165^{\circ}C$ 。

选择其中一根工艺管线计算散热量，取 $d = 0.159 m$ ， $\delta = 0.04 m$ ， $Q = \{2 \times 3.14 \times 0.042 \times [66 - (-17.7)] / \ln[(0.159 + 2 \times 0.04) \div 0.159]\} W/m = 54.2 W/m$ 。考虑到风速、管线材质及工程保险系数1.3，故可取 $80 W/m$ 的功率。

3. 储罐散热计算

容器的热损失因穿越保温层表面的散热件而比较复杂，常常需要进行更复杂的分析来确定总的散热损失。根据GB 50264—2013《工业设备及

管道绝热工程设计规范》中5.4.3热损计算公式和电伴热供应商经验系数得出储罐的热损计算公式为

$$Q_z = 1.3 \times 1.69 \times \Delta T / (\delta / \lambda) \times S \quad (2)$$

式中，1.3为安全系数；1.69为储罐修正系数； Q_z 为储罐总散热量， W ； λ 为保温层在其平均温度下的导热系数， $W/(m\cdot K)$ ； ΔT 为维持温度与最低环境温度之差， $^{\circ}C$ ； δ 为保温材料厚度， m ； S 为储罐的表面积， m^2 。

需要伴热的储罐，直径8.8 m，高10.9 m，导热系数按 $\lambda = 0.038 W/(m\cdot K)$ ，保温材料厚度 $\delta = 0.06 m$ ，最低环境温度 $-17.7^{\circ}C$ ，维持温度 $66^{\circ}C$ ，代入公式为： $Q_z = \{1.3 \times 1.69 \times [66 - (-17.7)] / (0.06 \div 0.038) \times (121.5 + 301.2)\} W = 49\,228 W$ 。

4. 电伴热带选型

电伴热带选型原则主要有以下几个方面：

①根据电伴热带使用场合、供电条件及电伴热带使用长度等确定电伴热带类型，对于长输管线，一般选用串联带；对管网系统则可选用并联恒功率三相带，如果管线较短，可选用并联恒功率单相带。②根据管道介质最高工艺温度来确定电伴热带的规格。③根据管道或容器罐体总散热量和选定的电热带米功率，计算电伴热带总长度。由于管线带弯头、阀门和托架等附件，因此，实际订货长度一般增加10%。④按相同流程和相同区域的管道，电伴热带回路可以归并；同一装置区域的电热带规格尽可能一致，便于系统管理和维护。

防冻管线伴热和工艺管线伴热，主要是工厂区域短管线，分布密集且数量多。所以适合选用并联恒功率电伴热带。具体型号如下：①防冻管线伴热，维持温度 $5^{\circ}C$ ，设计温度 $325^{\circ}C$ 的管线，选用耐高温的矿物绝缘加热电缆MI-20，电伴热带耐温等级 $590^{\circ}C$ ，单根平行敷设于管道上。②防冻管线伴热，维持温度 $5^{\circ}C$ ，设计温度 $120^{\circ}C$ 的管线，选用单相并联恒功率电伴热带，型号为RDP2(Q)-J3-20，电伴热带耐温等级 $205^{\circ}C$ ，单根平行敷设于管道上。③工艺管线伴热，维持温度 $66^{\circ}C$ ，设计温度低于 $200^{\circ}C$ 的管线，根据管径粗细计算分别选用单相（或三相）并联恒功率电伴热带，型

号为RDP2 (Q) - J3 - 20、RDP2 (Q) - J3 - 30和RDP3 (Q) - J3 - 40, 电伴热耐温等级205 ℃。例如前文计算中, 伴热功率80 W/m的管道可以用两根单相的电伴热带RDP2 (Q) - J3 - 40平行敷设于管道上。④工艺管线伴热, 维持温度66 ℃, 计温度为250 ℃的管线, 根据管径粗细计算选用单相高温恒功率电伴热带, 型号为RDP2 (Q) - J4 - 30、RDP2 (Q) - J4 - 40, 电伴热耐温等级260 ℃。⑤储罐电伴热的选择, 根据前文的计算, 储罐总热损耗可取50 kW。由于设计要求, 电伴热带敷设范围为储罐下方3.65 m位置, 储罐周长为28 m, 用普通并联带或串联带, 因为米功率的限制 (如40 W/m的三相并联带需要1 250 m, 即45圈, 安装间距8 cm), 导致电伴热带安装间距比较小, 发热量大, 容易对伴热带的寿命产生影响。而MI电缆耐温高 (590 ℃) 米功率可以达到100 W/m。综合考虑选用5根100 m的MI - 100电缆进行伴热, 能够满足储罐伴热要求。

电伴热系统控制

1. 电伴热系统供配电

电伴热控制柜按照电伴热类型分别配置, 防冻电伴热系统一组控制柜, 工艺管线电伴热系统一组控制柜。根据工艺管线实际走向情况, MAH电伴热划分为78个回路, 其中工艺管线伴热40个回路, 防冻伴热38个回路。BDO电伴热划分为6个回路, 其中工艺管线伴热1回路, 防冻伴热5回路。MAH和BDO工艺管线伴热部分配制3台控制柜, 柜内设置72个回路。防冻伴热配制2台控制柜, 柜内设置48个回路。

电伴热回路大多数采用220 V/2P, 少量为380 V/3P。单相输出每回路实际功率为1~4 kW, 最大不超过9 kW/回路, 三相输出共4个回路, 每回路总功率30 kW。每台柜的负荷和进线电流数值小于300 A。电伴热回路有过载、短路、漏电保护和温度保护功能。5台控制柜结构框图如图1所示。

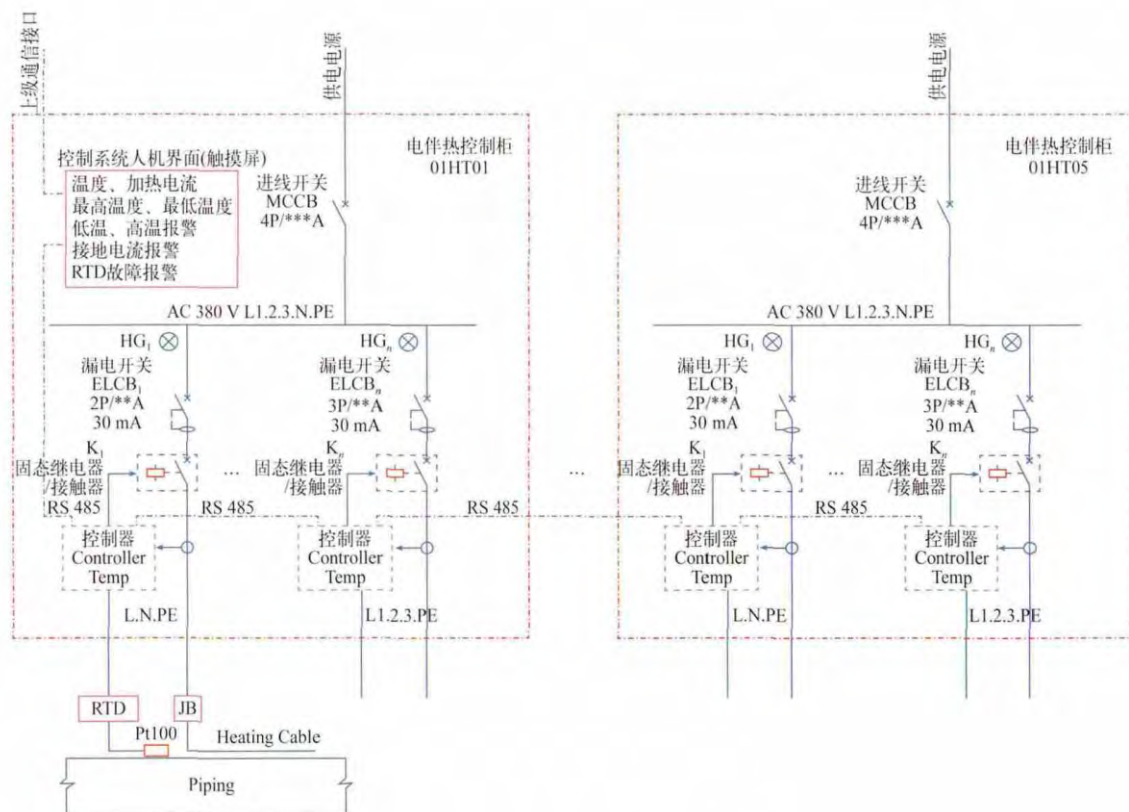


图1 电伴热系统结构框图

储运设施和火炬区为1个区,原料罐区单独为1个区,这2个区域分别设置1台控制柜,共10回路。每回路实际功率小于10 kW,220 V输出。每个回路有信号和报警显示。

2. 电伴热系统控制

MAH与BDO单元的电伴热系统采用了NGC-30控制系统,NGC-30是多路电子控制、监测和配电系统,应用于工艺保温和防冻中的电伴热,系统拥有多个部件,满足从单一温度监测到接地故障、电压及电流测量的需求,从而将电伴热的运行状况等重要信息从现场传递到控制中心。

NGC-30系统可以根据用户的需求进行相应的配置,并将独立的NGC-30组件集成到自己的配电柜中。根据实际应用的需求,选择了用户界面终端(NGC-UIT-ORD)、卡柜(NGC-30-CR)、继电器卡柜模块(NGC-30-CRM)、变流器模块(NGC-30-CTM)、电源DC 12 V(MONI-PS12)及附件等,分别集成到5台控制柜中,组成NGC-30控制系统。温控系统原理如图2所示。

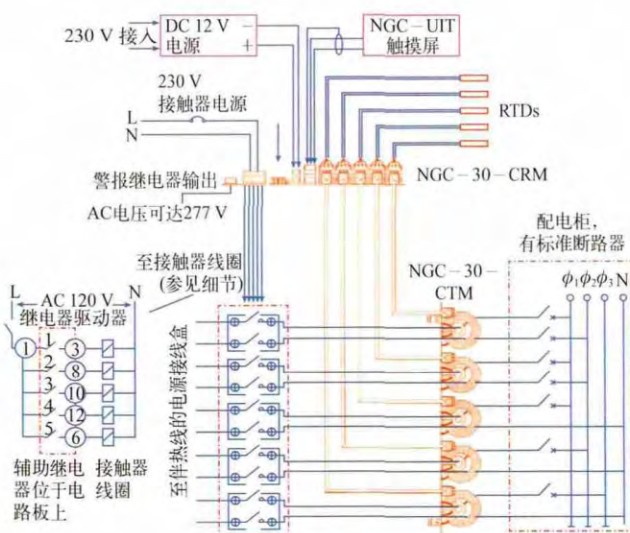


图2 NGC-30-CRM温控系统原理图

NGC-30-CRM温控器可对每个电伴热回路进行单独组态,最大程度上实现了系统的灵活性。主要功能如下。

1) 可以在用户界面上设定温度和报警限定等。系统包括一个触摸屏且以中、英文显示,并

有密码保护,防止不当操作。

2) 系统能根据伴热的工艺要求分配1~4个RTD给每一个伴热回路。

3) 系统能监控温度,必要时监控总电压。系统能监控工作电流及接地故障电流并能提供报警。

4) 伴热温控方式能根据工艺要求设定三通/断控制、环境感温控制和比例环境温度控制(PASC)模式。

5) 伴热监控系统能与所有类型的伴热线兼容,并能根据现场工艺情况及运行特点作以下功能的报警配置及调整:①管道维持温度。②提供管道温度高/低报警、高/低电流报警、接地故障报警和传感器故障报警。③提供远程报警功能。④提供高温自动断电功能。

6) 在电伴热系统长期不工作时,系统能自动执行周期性通电自检。

7) 伴热监控系统有网络接口,可运行基于Windows的监控软件的主机通信,用于集中组态,状态监控和报警。系统能支持ModBus RTU或ASCII通信协议。伴热监控系统具备一个USB接口用来升级用户界面终端的软件,下载运行参数。

电伴热的安装和运行维护

1. 电伴热安装

电伴热安装非常关键,直接决定了电伴热能否正常工作。电伴热的安装应该在主体工程完成以后进行,确认管道已经过吹扫、试压及管道表面清理干净。管道的上方没有施工、吊装和焊接等。以免损坏电伴热带。在安装施工中还应注意以下几点。

1) 安装电热带最小半径为其厚度的6倍。安装电热带接线盒时要留有一定余量,以方便检修,同样电热带在敷设到管道阀门、设备等附件时,要考虑到设备更换拆卸方便,并且不会损坏电热带。

2) 安装在水平直管上的电伴热带应位于管道下半周,以利于传热。安装电热带时要用铝胶带粘贴,用力压平,每隔0.6 m用耐热胶带将电热带

(下转第116页)

由表7可见,线路高抗对于电磁感应电流、电磁感应电压和静电感应电流的影响都很小,但对于静电感应电压的影响很大。随着补偿度的升高,容性电压先增大再减小,在100%附近感应出了非常高的静电感应电压。因此,对装设线路高抗的同塔双回线路,应尽量避免工况一的运行方式。

结束语

本文以山东某电厂500 kV同塔双回出线为例,进行了感应电压和感应电流的计算,并分析了影响感应电压和感应电流的因素,得到如下结论。

1) 电磁感应电压和静电感应电流随线路长度的增加而显著增加,基本成正比例关系。合理选择送电路径,有利于控制电磁感应电压和静电感应电流的大小。

2) 电磁感应电压和电磁感应电流随潮流的减小而显著减小,基本成正比例关系。本线路单回运行时,若输送功率控制在1 950 MW以下,则电

磁感应电流满足IEC标准给出的B类接地开关的标准值。

3) 采取合理的换位方式可以在一定程度上减小感应电压和感应电流,并且使得各相感应参数值平衡。

4) 线路高抗对静电感应电压的影响很大。对装设线路高抗的同塔双回线路,应尽量避免工况一的运行方式。

参考文献

- [1] 施围,郭洁.电力系统过电压计算[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [2] 王亮,王辉,冯任卿,等.同塔双回线路感应电流与感应电压的研究[J].沈阳工程学院学报(自然科学版),2010,6(3).
- [3] 纪雯.电力系统设计手册[M].北京:中国电力出版社,1998.

(收稿日期:2014-04-11) EA

(上接第111页)

径向固定,使电热带紧贴管道,提高伴热效率。恒功率电热带安装时不允许交叉、重叠,以避免过热,影响使用寿命。

3) 安装MI加热电缆和并联带时,应注意“冷端”位置,确保发热段控制在需伴热的部位,冷端引线通过保温层引出时应加以保护。

2. 电伴热运行维护

电伴热安装完成以后,应对每根电伴热带进行绝缘测试,电伴热带线芯与管道或容器间的电阻不得小于20 MΩ,检查无误后试送电2 h,检查发热情况和各种电气参数是否正常。试送电运行正常后,可进行保温层和防护层的施工,施工结束后,继续重复前面的绝缘检查,并连续送电24 h,检查各种参数正常后,方可正式投入运行。

电伴热正常投用后,需要定期检查运行情况,具体内容是:①用500 V摇表测量电伴热系统的绝缘电阻是否大于2 MΩ,若小于0.5 MΩ,说明系统有问题,应及时检查处理。②用钳形电流表

测量电流,检查发热功率是否正常。③检查配电系统运行是否正常。④检查各防爆接线盒是否有损伤和残缺情况。

结束语

1,4-丁二醇项目的电伴热系统投运后,运行正常,伴热效果达到了预定温度,伴热温度控制稳定,完全能够满足工艺要求。与传统的蒸汽伴热相比较,消除了“跑冒滴漏”等现象,明显改善了企业的生产环境,提高了企业的经济效益。

参考文献

- [1] 李金岭,李成响.电伴热在高芳烃油长输管线中的应用[J].电气应用,2013(23):60-63.
- [2] 王国树.电伴热在川气东送普光天然气净化厂液硫系统中的应用[J].电气应用,2010(22):42-43.

(收稿日期:2014-06-24) EA