

电伴热系统在光热电站熔盐吸热器的应用

王康,丁路,臧平伟

(东方电气集团东方锅炉股份有限公司,四川 自贡 643001)

摘要 哈密熔盐塔式 50 MW 光热发电项目的熔盐吸热器系统由东方锅炉自主设计和供货,其中,电伴热系统在吸热器系统的设备和管线中得到广泛应用。结合哈密光热项目,文中介绍了电伴热系统的选型原则及在光热电站吸热器系统上的应用,并对电伴热系统在吸热器管屏、集箱、出口缓冲罐和熔盐管道上的布置及注意事项等进行了总结。

关键词 光热电站;电伴热;熔盐吸热器

中图分类号:TK514 文献标志码:A

文章编号:1001-5523(2020)05-0041-04

DOI:10.16404/j.cnki.issn1001-5523.2020.05.005

目前塔式熔盐光热技术已成为光热发电产业中的主流技术之一,熔盐同时作为吸热、储热和传热工质。但是,熔盐在物性上存在凝固点较高的缺陷,当系统工作温度接近或低于其凝固点时,内部流动熔盐就会发生结晶甚至凝固堵塞现象,导致设备损坏或系统停运。哈密项目吸热器系统的工质熔点约为 220 ℃ 的二元熔盐(60%NaNO₃+40%KNO₃)。

根据塔式光热太阳能发电站设计标准,熔融盐管道及换热器应设置电伴热,电伴热宜冗余配置。在吸热器不能被阳光照射的部位也应设置电伴热,电伴热功率宜满足预热和防凝要求^[1]。在太阳能光热发电系统中,熔盐凝固点温度较高,而且系统运行温度也很高,电伴热系统的预热温度必须达到 260~300 ℃ 以上,并且要求电伴热系统可以在 600 ℃ 以上的使用温度下能够长期稳定工作^[2],因此,对电伴热系统的耐高温性能和可靠性提出了严格要求。吸热器系统布置电伴热的部件包括吸热器受热管屏、进出口缓冲罐、上升管、下降管、集箱连接管道、疏盐管和熔盐系统所有的管道和阀门等,吸热器系统流程示意图如图 1 所示。本文对电加热系统在吸热器系统中典型部件的应用进行了阐述,包括吸热器管屏、集箱、出口缓冲罐和熔盐管道等。

1 电伴热系统选型

电伴热系统的选型原则是等值热量替代补偿,即电伴热

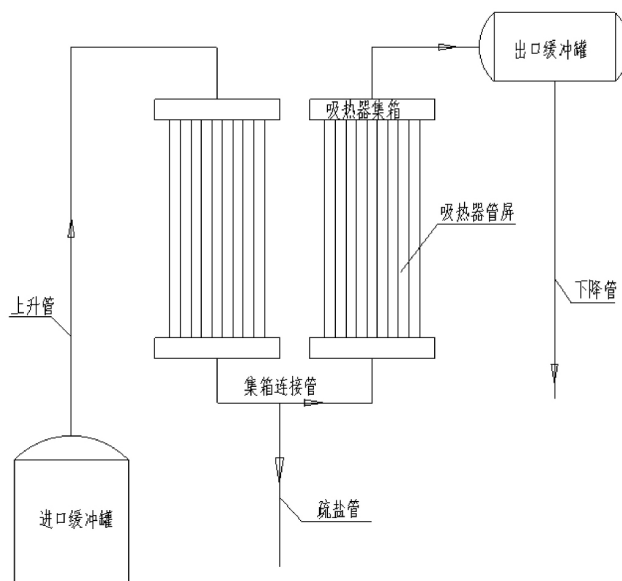


图 1 吸热器系统流程示意图

带的发热量满足维持特定温度下设备和管线的热损失。根据设备及管线的操作温度和设计温度,参照伴热带的维持温度及最高暴露温度来选择合适的伴热带,功率宜为设备及管线理论热损失值的 1.2 倍以上。选型时,电伴热补偿的热量不小于设备和管线的实际最大散热量,并根据供电条件及电伴热带使用长度等条件确定电伴热带的选型,确定电伴热带总长时需考虑管线附件上的阀门及仪表等,并根据使用场所决定电伴热带结构^[3]。

熔盐管道通常根据环境温度、介质、管径、长度、保温材料

质及厚度和管线附件等计算管线的热损失,确定电伴热带输出功率及电伴热带型号。罐体根据保温层材料的厚度和介质所需要维持的温度,求得单位面积散热量后根据总散热量进行电伴热带选型。

哈密光热项目中,电加热系统的配置需满足吸热器系统不工作时的时间,长时间存留熔盐的管道和罐体有两套独立的加热系统。电加热系统应满足系统运行时和启动前的温度需求。当吸热器系统运行时,熔盐管道及设备内充满熔盐,此时电加热系统应维持熔盐管道、阀门和罐体的温度在 290 °C 以上。系统启动前,电伴热系统应满足使空熔盐管道、阀门和罐体在 24 h 内从环境温度预热至 290 °C。

2 电伴热系统应用

2.1 吸热器管屏电伴热

吸热器管屏受热管组和管屏背部保温层之间布置了电伴热层,每个管屏的电伴热带运行功率约为 10 kW,用于吸热器启动时管屏的均匀升温及紧急工况时的防凝保护。电伴热层由电伴热带构成,电伴热带沿垂直受热管方向横向、蛇形地非均匀布置于受热管组背光侧,并在背光侧布置若干壁温测点对壁温进行监测^[4]。电伴热带在管屏上的布置如图 2 所示。

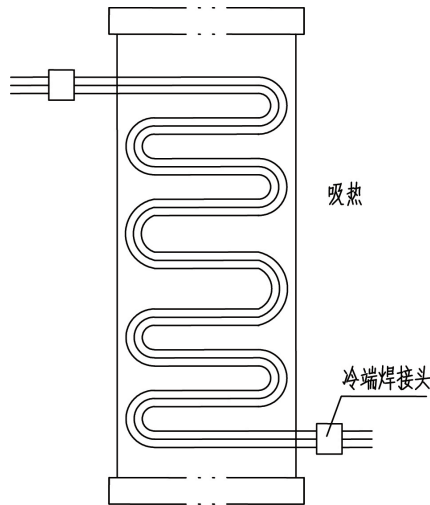


图 2 电伴热带在管屏上的布置示意图

吸热器管屏主要通过接受镜场反射的太阳能进行快速预热以达所需温度,管屏运行时的受热特点为:中间区域承受热流密度高,升温快,两端承受热流密度低,升温慢。针对管屏的受热特点,电伴热带布置时在管屏的上下区域较密,中间区域较疏,以克服吸热器预热阶段受热不均匀产生的热

应力。从图 2 中可以看出,管屏上下两端区域的电伴热带布置相对于中间区域而言,单位面积内布置的伴热带密度更密,发热功率更高,与管屏运行时的受热特点相匹配。

在安装管屏电伴热带时,电伴热带的冷端焊接头必须伸出管屏背部的保温层区域,以确保电伴热带的正常运行。冷端焊接头附近的伴热带不宜弯折,宜保持为直段。不同回路的电伴热带之间应保持一定的距离,一般为 50 mm 左右。回路之间宜保持平行,不应重叠和交叉。

2.2 集箱电加热

吸热器管屏上下集箱连接有大量膨胀弯头,集箱及膨胀弯头不直接接受太阳辐射。为减小集箱运行时的散热及保证启动或疏盐时的预热升温,设置了电加热系统对集箱和膨胀弯头进行加热。由于集箱处膨胀弯头多,结构较复杂,空间有限,不宜直接在集箱和膨胀弯头上缠绕电伴热带,此处采用封闭电加热箱的方式进行加热,单个集箱的电加热元件功率之和约为 15 kW。集箱电加热箱布置示意图如图 3 所示,加热箱将集箱与膨胀弯头整体包裹其中,最高耐温为 610 °C。

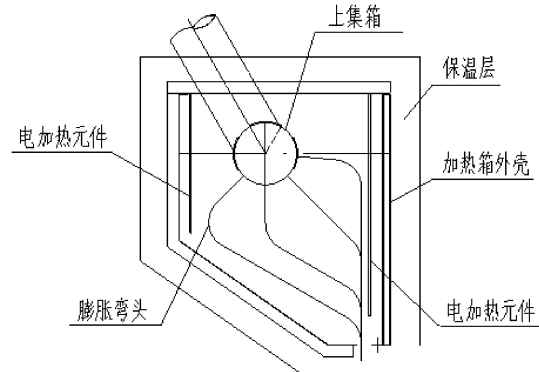


图 3 集箱电加热箱布置示意图

加热箱设置了辐射式电加热元件和保温壳,电加热元件为管式结构,加热电阻为镍铬合金材料。辐射式电加热元件布置于加热箱的保温壳内表面,分布在加热箱的不同部位,对加热箱内部的集箱和管线加热升温,在 24 h 内可以将加热箱内的集箱和管线从环境条件加热至 290 °C,并在运行时维持箱体内温度在 290 °C 以上。在集箱的代表性位置布置了壁温测点,并布置了冗余的温度传感器,保证测温准确可靠。为了保证集箱电加热系统的运行效果,电加热箱系统须保持良好的密封性。

2.3 出口缓冲罐电伴热

吸热器管屏里的流动熔盐接受镜场阳光照射后形成高温熔盐,然后汇集到出口缓冲罐。出口缓冲罐采用高位卧式

布置 罐内最高温度可达 560℃ 以上,设置有温度、液位等测点。系统运行时,熔盐集中在罐体下部。因此布置电伴热带时,在罐体上、下部区域采用了不同的布置形式,电伴热带在下部布置较密,上部布置较疏,下部区域单位表面积的电伴热带功率比上部区域大,总运行功率约为 25 kW。另外,罐体底部有支座和接管等附件,对电伴热带的安装带来了一些不利影响,电伴热带选型设计和布置形式要同时考虑罐体的受热均匀和罐体附件拆卸的可能性,保证罐体合理受热,减少罐体支座等附件对敷设电伴热带带来的不利影响。

敷设电伴热带时,一般缠绕罐体的三分之二部位通常采用螺旋安装的方式。出口缓冲罐的电伴热带采用 U 型缠绕的方式,出口缓冲罐电伴热布置示意图如图 4 所示,下部区域和上部区域的电伴热带敷设采用了不同方案,不同回路的伴热带之间保持一定的间距,尽可能实现满敷,并通过在电伴热表面包裹铝箔胶带强化传热。这种布置形式减少了支座等附件带来的不利影响,同时利于罐体的合理受温和施工。

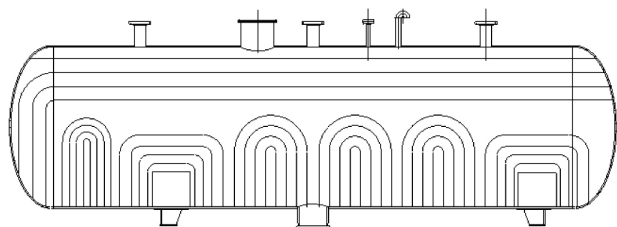


图 4 出口缓冲罐电伴热布置示意图

2.4 熔盐管道电伴热

熔盐管道通常根据伴热比来确定电伴热带的连接方式,其中伴热比为需伴热管道长度与电伴热带长度的比值。伴热比为 1:1 时,采用平铺的布置方法,如疏盐管线。伴热比为 1:2 时,采用 U 型布置方法,如旁通管线,管道电伴热带典型安装如图 5 所示。伴热比为 1:3 时,采用星型布置,如上升管管线。管道均有备用的电伴热回路,根据连接方式选取合理的冗余配置。针对大口径管道,需考虑管道的热膨胀,在安装电伴热带时应采用金属卡箍和弹簧固定伴热带。熔盐管道的保温层厚度较厚,且管道温度较高。在安装管道电伴热带时,电伴热带焊接点应保证漏出保温层,严禁直接贴在管道表面。完成保温层安装后,在保温层外贴上警示标签。

管道上每隔一段长度须布置固定装置,若缠绕在管道上的电伴热带和固定装置直接接触,热量会通过固定装置散失,造成热损失。因此,管道和固定装置之间应设置定制的带孔硬质保温隔热材料,电伴热带穿过孔道对管道进行伴热,

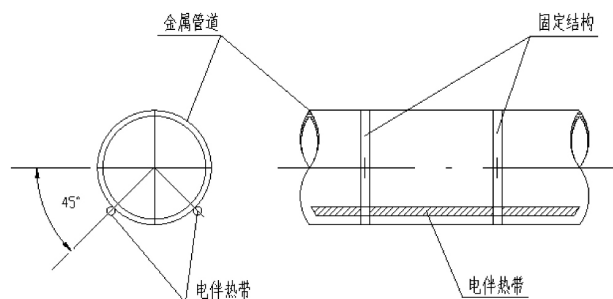


图 5 管道电伴热带典型安装图

避免和管道的固定装置直接接触,一种用于电伴热带穿过管道固定装置布置方式如图 6 所示。

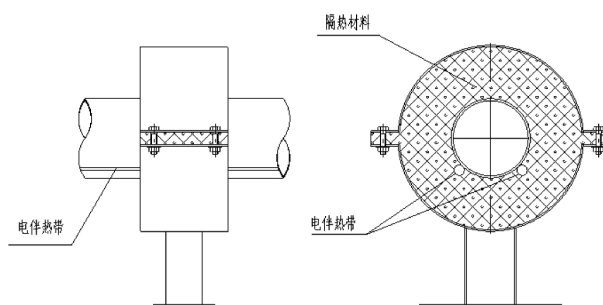


图 6 一种用于电伴热带穿过管道固定装置的布置方式

2.5 控制要求

电伴热温度控制由控制柜内的温度控制器来完成,将熔盐管道及设备加热到 290℃,并维持在一定的温度范围内。电加热系统的回路支持 DCS 能够进行独立的温度设定、启动和停止指令控制,同时各个回路有独立的状态、故障和温度等信号反馈。控制柜通过就地/远控选择开关实现两地控制。设置就地控制时,合上主开关及分回路开关,设定目标温度值及温度维持区间,电伴热自动开始工作。在远程控制状态时,远程可以设定加热目标温度及维持温度区间,控制电伴热的启停及温度控制。电加热控制具备故障诊断功能,在断电、传感器故障、超温或漏电情况下能自动切断电加热回路的电源。

2.6 安装注意事项

电伴热带敷设时应保证电伴热带与加热设备接触良好,根据设备特点通过布置金属网、包裹铝箔等方式强化传热。安装过程中须注意保护电伴热带,避免损坏护套材质。不同回路之间的敷设间距应严格按照要求,并考虑一定的膨胀量。电伴热带安装前必须进行绝缘电阻检查,安装时的最小弯曲直径不应小于厂家推荐值。当一个回路的伴热带和连接件安装完毕后,应立即检查电伴热带和温控器是否有物理损

坏,所有的连接件是否安装正确,使用摇表测量回路的绝缘电阻,检查回路末端电压并记录相应数据。

3 结语

本文主要介绍了电伴热系统在哈密光热 50 MW 熔盐吸热器系统上的应用,针对吸热器管屏、集箱、出口缓冲罐及管道上的电伴热带选型、布置方式、控制要求及施工注意事项等进行了描述。电伴热系统应结合设备结构、运行特点及周围环境等因素进行合理的设计和布置,良好的运行效果对光热电站有着重要作用。

(上接第 40 页)

完善 LNG 和 LNG 车船的定价制度,在体现车船用天然气的环保价值的基础上,充分提高车船用天然气的经济性,改善目前交通部门的用能结构,实现车船燃料结构的多样化与低碳化。

4 结语

相比其它领域,天然气在交通利用领域的发展显得尤为波折。梳理其发展历史,主要分为 3 个阶段:1)萌芽期。上世纪末,国家开始组织推广天然气汽车。在全国多个城市示范运营,以天然气汽车为代表的天然气交通工具实现模式化发展。2)快速发展期。2008 年到 2014 年高油价时代,天然气交通依靠价差优势得到迅猛发展。“十二五”期间,车用天然气消费量一度攀升至全国天然气消费总量的 10%。3)差异性发展期。在 2015 年之后,作为天然气交通工具代表的天然气汽车和天然气船舶发展方向出现差异,天然气汽车产量首次出现负增长,电动车替代天然气汽车成为国家主力发展车型;清洁能源船舶获得国家政策支持,LNG 动力船舶数量两年翻了 6 倍以上。

天然气在工业、发电以及化工三个领域的消费量增长空间有限,中国天然气的发展出路在于交通,唯有在交通领域天然气消费量的大力增长才有可能实现《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中每年 4 000 亿 m^3 的消费目标^[3]。此外,天然气的相关法律政策是一个复杂的系统,包括许多具体的政策措施,而且每一项政策都与其它政策相关,相互间或提供支撑或形成掣肘。所以针对以上交通领域内的发展困境,相关部

参考文献:

- [1] 中国电力企业联合会,中国能源建设集团有限公司.塔式太阳能光热发电站设计标准:GB/T51037-2018[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2018.
- [2] 臧平伟.太阳能光热电站熔盐管道及其防凝设计[J].东方电气评论,2019,33(130):67-70.
- [3] 高峰.恒功率电伴热带在生产中的应用[J].电工技术,2012(8):55-57.
- [4] 丁路,奚正稳,孙登科.一种熔盐吸热器管屏预热及防凝保护装置:CN207350970U[P].2018-05-11.

收稿日期:2020-07-03

门应在《关于深化石油天然气体制改革的若干意见》指导下,根据中国天然气行业管理体制和立法现状对现有管理政策进行整合,不断完善中国天然气政策法规体系。

参考文献:

- [1] 陈守海.中国天然气产业发展面临的主要问题及立法建议[J].国际石油经济,2020,28(02):23-32.
- [2] 邹中华.浅谈国内天然气汽车的发展现状及趋势分析[J].时代汽车,2018(12):7-8.
- [3] 刘光辉,王星,王文峰.国内天然气重型卡车发展因素分析[J].汽车工程师,2018(12):21-23.
- [4] 孙慧.我国天然气产业结构分析与优化升级研究[D].北京:中国地质大学(北京),2018.
- [5] 叶耀川,白德刚,张少亮,等.LNG 燃料动力船的发展现状及前景分析[J].造船技术,2015,04:7-10.
- [6] 陈昊,韩斌,陈轶嵩,等.天然气汽车发展现状及趋势[J].中国能源,2018,40(02):36-41.
- [7] 罗佐县.天然气交通步入快速发展期[J].中国石油石化,2019(10):34.
- [8] 胥苗苗.LNG 动力船时代还有多远[J].中国船检,2017(08):40-43.
- [9] 潘翔.汽车要和汽柴油说再见了[EB/OL].上海:华泰期货研究院,2018[2020-07-13].https://www.sohu.com/a/251896216_117959
- [10] 王利朋,纪永波.LNG 动力船最新发展动向[J].中国船检,2018,218(07):83-84.
- [11] 冀楠,李通,李乔,等.LNG 燃料动力船产业竞争环境的 SWOT 态势分析[J].中国水运,2018,18(04):47-48.
- [12] 谢光耀.8.5 万辆、远超去年全年!天然气重卡上半年爆发式增长![EB/OL].第一商用车网,(2019-07-29)[2020-07-13].<http://www.cv-world.cn/news/sycnews/guangyao/190729/164083.html>

收稿日期:2020-07-13