

ICS 29.020
P 72
备案号: J2923-2021



中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3212—2020

石油化工电阻式伴热系统设计规范

Design specification for electrical resistance heat tracing system in
petrochemical industry



2020-12-09 发布

2021-04-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本规定	5
5 电阻式伴热系统	5
5.1 按用途的分类	5
5.2 按工艺温度控制精度分类	5
5.3 设计一般规定	5
6 使用环境	6
6.1 一般规定	6
6.2 爆炸性气体危险环境	6
6.3 腐蚀性环境	6
7 伴热器选择	6
8 控制、监测和报警	7
8.1 一般规定	7
8.2 基于工艺温度控制精度的温度控制设计	7
8.3 基于安全的温度限制	8
8.4 伴热器的过热保护	8
8.5 机械式温度控制器	8
8.6 电子式温度控制器	8
8.7 传感器布置	8
8.8 监测和报警	9
8.9 伴热带较长时	9
8.10 烟囱效应	9
9 配电	9
9.1 一般规定	9
9.2 电源和电压偏差	10
9.3 配电屏、配电箱和分配电箱	10
9.4 接地	10
9.5 电气保护	10
9.6 现场配电	11
9.7 接线盒	11

9.8 低温度起动	11
10 绝热层	11
11 其他要求	11
附录 A (资料性附录) 管道热损失计算	12
附录 B (资料性附录) 容器热损失计算	15
附录 C (资料性附录) 热损失设计的安全系数	18
附录 D (资料性附录) 设计信息	19
附录 E (资料性附录) 最高温度的确定	24
附录 F (资料性附录) 绝热	28
参考文献	31
本规范用词说明	32
附: 条文说明	33

Contents

Foreword	V
1 Scope	1
2 Normative references	1
3 Terms and definitions	2
4 General requirements	5
5 Electrical resistance heat tracing system	5
5.1 As per usage	5
5.2 As per process temperature accuracy	5
5.3 General requirement for design of electrical heat tracing system	6
6 Site conditions	6
6.1 General	6
6.2 Explosive atmospheres	6
6.3 Corrosive atmospheres	6
7 Heater selection	6
8 Temperature control, monitoring and alarm	7
8.1 General	7
8.2 Temperature design based on process temperature accuracy	8
8.3 Temperature limitation for safety reason	8
8.4 Temperature limitation for protection against overheating	8
8.5 Mechanical controllers	8
8.6 Electronic controllers	8
8.7 Location of sensors	8
8.8 Monitoring and alarm	9
8.9 Long trace heater runs	9
8.10 Chimney effect	9
9 Power supply and distribution	9
9.1 General	9
9.2 Power supply & voltage drop	10
9.3 Distribution panel & sub-distribution panel	10
9.4 Earthing	10
9.5 Electrical protection	10
9.6 Distribution system at site	11
9.7 Junction box	11

SH/T 3212—2020

9.8 Electrical energy saving	11
10 Thermal insulation	11
11 Other requirements	11
Appendix A (Informative) Pipe heat loss considerations	12
Appendix B (Informative) Vessel heat loss considerations	15
Appendix C (Informative) Heat loss safety margin considerations	18
Appendix D (Informative) Design information	19
Appendix E (Informative) Maximum temperature determination	24
Appendix F (Informative) Thermal insulation	28
Bibliography	31
Explanation of wording in this specification	32
Add: Explanation of article	33

前 言

根据中华人民共和国工业和信息化部《关于印发 2013 年第四批行业标准制修订计划的通知》(工信厅科〔2013〕217 号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规范。

本规范共分 11 章和 6 个附录。

本规范的主要技术内容是:范围、规范性应用文件、基本规定、电阻式伴热系统、使用环境、伴热器选择、控制、监测和报警、配电、绝热层和其他要求等。

本规范由中国石油化工集团有限公司负责管理,由中国石油化工集团有限公司电气设计技术中心站负责日常管理,由中国石化工程建设有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送日常管理单位和主编单位。

本规范日常管理单位:中国石油化工集团有限公司电气设计技术中心站

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园 21 号

邮政编码:100101

电 话:010-84876605

传 真:010-84878825

本规范主编单位:中国石化工程建设有限公司

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园 21 号

邮政编码:100101

本规范参编单位:扬子石化-巴斯夫有限责任公司

本规范主要起草人员:李 玲 冒海峰 赵 喆 商政斌 赵 盛 黄 佳 刘 伟 张方方
马 雁 刘 军

本规范主要审查人员:吕隆壮 王财勇 葛春玉 袁学群 王树国 黄 旭 李 恒 齐 青
叶 阳 周 勇 赵永明 张 建 陈河江 李英伟 甘家富 张 昊
高常明 刘正意 侯文斌 索仁华 徐文良 周容代 杭 明 陈立平
毛卫华 涂让见 孙树元 宋广旭 王建国 袁显洁 高苏华 王宗信
邱 玲 卢成生 马 英 周晓松 唐秀丽

本规范 2020 年首次发布。

石油化工电阻式伴热系统设计规范

1 范围

本规范规定了石油炼制、石油化工及以煤为原料制取燃料和化工产品的企业电阻式伴热系统的设计要求。

本规范适用于石油炼制、石油化工及以煤为原料制取燃料和化工产品的企业新建、扩建或改建工程的电伴热系统设计。

本规范不适用于爆炸性粉尘危险环境采用的电伴热系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

GB/T 156 标准电压

GB 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求

GB 3836.2 爆炸性环境 第2部分：由隔爆外壳“d”保护的设备

GB 3836.3 爆炸性环境 第3部分：由增安型“e”保护的设备

GB 3836.4 爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的设备

GB 3836.14 爆炸性环境 第14部分：场所分类 爆炸性气体环境

GB/T 3836.15 爆炸性环境 第15部分：电气装置的设计、选型和安装

GB/T 4026 人机界面标志标识的基本和安全规则 设备端子和导体终端的标识

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 6829 剩余电流动作保护电器（RCD）的一般要求

GB 7251.1 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则

GB/T 14048.1 低压开关设备和控制设备 第1部分：总则

GB/T 14048.2 低压开关设备和控制设备 第2部分：断路器

GB/T 14048.3 低压开关设备和控制设备 第3部分：开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器

GB/T 14048.4 低压开关设备和控制设备 第4-1部分：接触器和电动机起动器 机电式接触器和电动机起动器（含电动机保护器）

GB/T 14048.5 低压开关设备和控制设备 第5-1部分：控制电路电器和开关元件 机电式控制电路电器

GB/T 14048.6 低压开关设备和控制设备 第4-2部分：接触器和电动机起动器 交流电动机用半导体控制器和起动器（含软起动器）

GB/T 19518.1 爆炸性环境 电阻式伴热器 第1部分：通用和试验要求

GB/T 19518.2 爆炸性环境 电阻式伴热器 第2部分：设计、安装和维护指南

GB/T 21714（所有部分） 雷电防护

GB 50052 供配电系统设计规范

GB 50054 低压配电设计规范

- GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
- GB/T 50065 交流电气装置的接地设计规范
- GB 50217 电力工程电缆设计标准
- GB 50650 石油化工装置防雷设计规范
- SH/T 3010 石油化工设备和管道绝热工程设计规范
- SH/T 3038 石油化工装置电力设计规范
- SH/T 3097 石油化工静电接地设计规范
- SH/T 3200 石油化工腐蚀环境电力设计规范

3 术语和定义

GB/T 19518.1 界定的以及下列术语和定义适用于本规范。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 19518.1 中的某些术语和定义。

3.1

电阻式伴热 electrical resistance heat tracing

在外部适用的电气加热电缆、其他电气加热元件，以及支持元件，用于提高或保持管道、罐及相关设备内的介质的温度。

3.2

电伴热系统 electrical heat tracing system

为实现伴热和绝热的目的，由电阻式伴热系统向管线、设备等提供热量的系统；由合适的电阻式伴热系统（含伴热器、绝热材料）经过设计而成，结合电气配电系统、温度控制、监测和报警系统等，经过安装调试后组成的整体的系统。

3.3

伴热 heat tracing

外部使用伴热电缆、伴热垫、伴热板和相关元件，以提高或保持管道、罐及相关设备内介质温度的方法。

3.4

伴热器 trace heater

以电阻发热为原理产生热量，通常包括带有适当绝缘和保护的一根或多根导线或导电材料的装置。

3.5

热损失 heat loss

从管道、容器或设备散逸到周围环境中的能量。

3.6

功率密度 power density

功率输出密度，对于伴热带或电缆以瓦特每米（W/m）表示；对于伴热垫或伴热板以瓦特每平方米（W/m²）表示。

3.7

并联伴热器 parallel trace heater(s)

在连续型或分节型伴热器内的热元件采用并联的电气连接，使单位长度的功率密度保持恒定，而无需考虑连续型伴热器的长度或分节型伴热器的分节数量。

3.8

工件 workpiece

伴热器所施加的对象。

注：这些对象的实例包括工艺设备，如管道、容器、罐、阀门、仪表和类似设备。

3.9

环境温度 **ambient temperature**

环绕被考核对象周围的温度。当伴热器被绝热层包裹时，环境温度指绝热层外部的温度。

3.10

护套 **sheath**

包裹在伴热器或电缆外面、保护其免受周围环境影响（腐蚀、潮湿等）的均匀而连续的金属或非金属材料。

3.11

绝热层 **thermal insulation**

具有空气泡或气泡、空隙或热反射表面，恰当时能减缓热传导的材料。

3.12

维持温度 **maintain temperature**

工件或工艺介质的指定温度，伴热系统应设计为在指定的设计条件下工件或工艺介质维持在该温度。

3.13

护套温度 **sheath temperature**

护套可能暴露在周围环境中的最外层连续护套的温度。

3.14

热损失补偿 **heat loss compensation**

安装于管道或设备的伴热，补偿绝热层和散热件的热损失，以保证在气象和操作条件变化下维持一定的产品温度。

3.15

额定输出功率 **rated output power**

在额定电压、温度和长度条件下的总功率或伴热电缆、伴热器每单位长度或每单位面积上的功率，通常用瓦特每米（W/m）或瓦特每平方米（W/m²）表示。

3.16

最低环境温度 **minimum ambient temperature**

规定热损失计算所基于的最低环境温度，在此规定要求下伴热器能够正常操作和运行。

3.17

最高耐受温度 **maximum withstand temperature**

对伴热器及其元器件的热稳定性不会产生不利影响的最高操作温度或暴露温度。

3.18

恒功率并联伴热器 **constant wattage parallel trace heater**

具有每米/每部分恒定热功率的并联伴热器，与其温度无关。

3.19

串联伴热器（组） **series trace heater(s)**

热元件采用串联的电气连接与单一电流通路相连，伴热器在给定温度和长度条件下具有特定的电阻值。

3.20

防冻伴热系统 **freeze protection**

安装在介质为液体的管道和设备的伴热系统，用于防止介质由于外部环境温度低而凝结。

3.21

伴热电缆回路 cable loop

采用单根伴热电缆在表面折返敷设,以实现多重伴热或在一段与主伴热管道无分支的短距离管道上敷设的电缆构成的导电线路。

3.22

电阻式温度探测器 RTD resistance temperature detector

一种温度探测器,通常采用铂电阻作为测温元件。利用金属铂在温度变化时自身阻值相应变化的特性来测量温度。

3.23

稳态结构 stabilized design

通过设计和使用状态的规定,使伴热器的温度在最不利条件下稳定在最高上限温度以下,而不需要用限温保护的结构。

3.24

温度限制装置 temperature limiting device

用于防止出现超过允许最高表面温度的上限温度(如故障情况下)而关断伴热器电源的装置。

3.25

机械式温度控制器 mechanical controller

如恒温器,利用双金属元件原理,或封闭在感温包/感温包和毛细管内的利用液体膨胀原理的恒温器。温度的变化导致位移,使接触器触点闭合或断开。

3.26

电子式温度控制器 electronic controller

利用电路电子技术生产的具备温度调节功能的控制器。典型的有电阻式温度探测器(RTD)、铂电阻温度计(PRT)、热电偶(T/C)等。

3.27

冷端引线 cold lead

用于连接伴热器到分支回路的单根或多根绝缘导线,该导线不产生明显的热量。

3.28

分支回路 branch circuit

安装在电路过电流保护装置与伴热器之间的线路部分。

3.29

额定电压 rated voltage

伴热器操作和运行特性所涉及的电压。

3.30

气候防护层 weather barrier

用来保护绝热层不受水或其他液体进入,冰雪、风或机械误伤造成物理损害,以及防止因太阳辐射或环境污染而退化加装在保温层外表面的材料。

3.31

散热件 heat sink

注:工件上传递并消散热量的部件。典型的散热件为管托、管线支架和大件物品,如阀门执行机构或泵体。

3.32

上限温度 high-limit temperature

包括管道、流体和伴热系统在内的整个系统的最高容许温度。

3.33

伴热垫 heating pad

由并联或串联元件组成的伴热器，具有足够的柔性，能适应被伴热表面的形状。

3.34

热点 hot spot

伴热器上具有不可接受高温的一个点，会导致不充分的热消散，伴热器有损坏的风险。

3.35

外护套 over jacket

在金属护套、防护层或铠装层外使用的用以防腐的绝缘材料连续层。

3.36

温度传感装置 temperature sensor

旨在用于温度响应并提供电信号或机械操作的设备。

4 基本规定

4.1 电伴热系统设计应根据用途和工艺温度控制精度的分类，进行伴热器选择、热损失计算、温度控制监测和报警系统设计、配电系统设计等内容。

4.2 电伴热系统包括电气配电系统、温度控制、监控和报警系统、电阻式伴热系统等。

4.3 电伴热系统主要参数应包括介质、维持温度、设计环境温度、热损失、最高护套温度、最高管道/容器温度、计算电压降、允许电压降、伴热器类型、伴热器额定功率、伴热器输出功率、伴热器功率密度、防爆等级、防护等级、设备保护级别、温度控制元件、监控和报警系统、配电系统、绝热、热损失设计的安全系数等。

4.4 配电系统应包括配电屏、配电箱或分配电箱，应具有短路保护、过载保护、剩余电流保护等功能。

4.5 温度控制、监控和报警系统应包括温度探测元件、监控元件和报警系统。

5 电阻式伴热系统

5.1 按用途的分类

根据用途宜分为下列三种类型：

- a) 防止凝固：防止管道或设备内介质凝固的电伴热系统，采用管道或容器的热损失补偿的方式，以保证其内介质温度高于其凝固点，并考虑一定的裕量；
- b) 保持介质黏稠度：根据管道或容器内介质的黏稠度设计电伴热系统；
- c) 防止冷凝：电伴热系统的设计应保证管道或设备内的气体介质温度高于该压力下的冷凝点。

5.2 按工艺温度控制精度分类

根据工艺温度控制精度宜分为下列三种类型：

- a) 类型 I：用于温度保持在最低点之上的应用；
- b) 类型 II：用于温度保持在适当的范围内的应用；
- c) 类型 III：用于温度控制在一个较窄的范围内的应用。

电阻式伴热系统的选择宜根据实际需要选择上述类型中的一种、两种，或者三种的组合。

5.3 设计一般规定

- 5.3.1 电阻式伴热系统的设计应经过热损失计算，确定伴热带在维持温度下的额定输出功率。
- 5.3.2 应根据工艺专业选定的绝热层材质及厚度合理选择伴热器，以提供最优的伴热设计。
- 5.3.3 在最不利的条件下，即使电伴热器的安装功率超出所需功率，电伴热器的使用方式、安装和操作均不应造成爆炸性气体环境中爆炸性混合物的爆炸。
- 5.3.4 应以极端操作条件和最低环境温度确定设计热损失和设计热输出；最低环境温度宜采用最冷月平均最低温度。
- 5.3.5 热损失计算参见本规范附录 A 和附录 B。
- 5.3.6 热损失计算的安全系数参见本规范附录 C。
- 5.3.7 电伴热管道表、电伴热设备表、仪表电伴热条件表等应包含电阻式伴热系统设计所需的最基本的、必需的信息。电伴热管道表、电伴热设备表、仪表电伴热条件表参见本规范附录 D。

6 使用环境

6.1 一般规定

- 6.1.1 电伴热系统的安装与使用应满足当地的气象地质条件。
- 6.1.2 电伴热系统的使用环境可包括：正常环境、爆炸性气体危险环境、腐蚀性环境、低温环境等。
- 6.1.3 伴热器应在规定环境条件下正常运行，如腐蚀环境或低温环境。
- 6.1.4 电伴热系统的防爆、防护、防腐等级的选择应满足安装所在区域的环境要求。
- 6.1.5 电伴热系统的各组成部分的防护等级应满足 GB/T 4208 的要求。室外安装的电伴热系统的各组成部分的防护等级不应低于 IP55，并应满足相关规范的要求。

6.2 爆炸性气体危险环境

安装在爆炸性气体危险环境中的电伴热系统应符合 GB 3836.1、GB 3836.2、GB 3836.3、GB 3836.4、GB 3836.14、GB/T 3836.15 和 GB 50058 的有关规定，应根据不同的危险区域选择适合的防爆结构、防爆等级和保护级别。

6.3 腐蚀性环境

- 6.3.1 在腐蚀性环境内的电伴热系统的各组成部分应符合 SH/T 3200 的有关规定。
- 6.3.2 电伴热系统各组成部分的金属零器件均应进行防腐处理或采用适用于腐蚀性环境的材质。

7 伴热器选择

- 7.1 伴热器的最高耐受温度应高于工件最高操作温度和暴露温度。
- 7.2 伴热器的最高允许功率密度的选用值，应使伴热器温度既不超过最高耐受温度，也不超过要求的气体温度组别，并满足本规范 8.3.1 的要求。该选用值可选择制造商数据和工艺要求值的较低值。
- 7.3 伴热器选择应满足 GB/T 19518.2 中 6.6 的要求。
- 7.4 伴热器宜选择下列类型：
 - a) 自控调温/自限温并联伴热器（电缆）；
 - b) 恒功率并联伴热器；
 - c) 限功率并联伴热器；
 - d) 带有高温聚合绝缘串联伴热器（组）；
 - e) 矿物绝缘串联伴热器（组）。

- 7.5 当需要伴热的管线长度大于单根并联伴热电缆的最大允许长度或制造长度时，宜采用多回路伴热电缆分段组合或串联伴热电缆的方式。
- 7.6 防冻伴热系统和温度补偿系统，当热输出和操作温度受限时，宜采用自控调温/自限温并联伴热器。
- 7.7 当最大允许温度超出自控调温/自限温伴热器的适用范围时，或者所需的热输出高时，应选择限功率伴热器。
- 7.8 当所需温度超过恒功率并联伴热电缆的适用范围时，宜选择矿物绝缘电缆。

8 控制、监测和报警

8.1 一般规定

- 8.1.1 电伴热系统应设置温度控制、监测和报警系统。
- 8.1.2 控制和监测系统应与工艺温度控制精度相适应。
- 8.1.3 控制和监测系统宜提供伴热电缆回路监控和隔离功能。
- 8.1.4 控制和监测应满足电伴热系统的操作和安全要求。
- 8.1.5 大型的电伴热系统宜设置集中的成组控制和监控设备（控制站）。
- 8.1.6 当采用环境比例温度感应控制器时，伴热系统的实际热输出应按环境温度与预设的最低环境温度的比例进行调整，以补偿实际热损失；
- 8.1.7 有监测要求的情况下，将电伴热系统温度信号、电气配电系统故障报警信号等送至仪表 DCS 系统或电气 SCADA 系统。现场配电箱和分配电箱宜设置就地公共故障报警。
- 8.1.8 电伴热系统的温度控制、监测和报警系统设计还应满足 GB/T 19518.1 和 GB/T 19518.2 的要求。

8.2 基于工艺温度控制精度的温度控制设计

- 8.2.1 应根据工艺温度控制精度合理选择控制器的精度及温度裕量，以达到节能的目的。
- 8.2.2 工艺温度控制精度类型 I 的温度控制设计应满足下列要求：
- 宜设置环境温度传感控制；
 - 可用单个传感控制装置、配电盘对一个单元或区域的供电进行控制；
 - 用于防止凝固目的的电伴热系统，其起动伴热系统的温度设定值，应高于介质的凝固点并宜考虑一定的裕量；
 - 用于防止冷凝目的的电伴热系统，其起动伴热系统的温度设定值，应高于给定工艺压力下的介质的冷凝温度并宜考虑一定的裕量；
 - 用于防冻目的的电伴热系统，应采用环境温度感应设备。起动温度设定值应高于冷凝温度并宜考虑一定的裕量；
 - 宜用盲管感应控制或环境比例温度控制技术达到节能的目的；
 - 当采用盲管控制技术时，应保证控制用盲管有足够的长度，使其温度不受邻近管线中介质流动的影响；温度传感器应安装在与流动条件无关的位置。
- 8.2.3 工艺温度控制精度类型 II 的温度控制设计应满足下列要求：
- 应至少设置机械式温控器，可设置电阻式温度探测器 RTD；
 - 宜设置管道温度感应控制，宜根据管道温度控制输出功率。
- 8.2.4 工艺温度控制精度类型 III 的温度控制设计应满足下列要求：
- 应采用热电偶或电阻式温度探测器 RTD 的电子控制器，可实现现场调校，及提供最大灵活限度的温度报警和检测功能的选择；
 - 宜设 2 个热电偶或电阻式温度探测器 RTD，一个用于控制，一个用于报警；

c) 当要求伴热系统维护或检修时不影响工艺操作时, 伴热设备应为冗余设置。

8.3 基于安全的温度限制

8.3.1 安装在爆炸性气体危险环境的电伴热系统, 在所有可预见的合理条件下, 伴热系统应设计成伴热器表面温度被限制在温度组别或点燃温度之下, 当温度不高于 200℃时低于该温度值 5K, 当温度高于 200℃时低于该温度值 10K。应通过采用 GB/T 19518.1 和 GB/T 19518.2 规定的稳态结构或通过采用按 GB/T 19518.1 和 GB/T 19518.2 的限制最高设备温度的温度控制装置达到上述要求。

8.3.2 伴热器护套最高表面温度应不超过工件材料和绝热材料的最高暴露温度。

8.3.3 当采用控制设计来限制最高护套温度时, 应采用温度控制器或温度限制装置。温度控制器或温度限制装置的设定温度应不高于最高允许护套温度, 并应满足本规范 8.3.1 的要求。

8.3.4 安装在爆炸性气体危险环境的电伴热系统, 当最高表面温度限定要求使用温度控制装置实现时, 对于 1 区应符合 a), 对于 2 区应符合 a) 或 b):

a) 对于 1 区应用: 保护装置如限温器, 应能提供系统断电保护以防止最高表面温度超过最高容许温度。一旦传感器故障或损坏, 伴热系统在故障设备更换前应断电。保护装置的操作应独立于温度控制器。保护装置应具备下列特性:

- 1) 仅能通过手动方式重新启动;
- 2) 仅当正常操作条件恢复后, 方可重新启动;
- 3) 重新启动需要锁定工具或钥匙;
- 4) 为防止随意操作, 温度设定应可靠并加锁;
- 5) 当传感器故障时, 须切断回路供电;

b) 对于 2 区应用: 可以使用具有故障报警的单独温控装置, 并应采取足够的报警监测措施。

8.3.5 管道、容器和护套温度的理论计算参见本规范附录 E。

8.4 伴热器的过热保护

8.4.1 可采用恒温器监控伴热器的表面温度, 并在伴热器表面温度过高时切断电源。

8.4.2 伴热器的最高耐受温度应高于伴热器所服务系统可能出现的最高温度。

8.5 机械式温度控制器

8.5.1 机械式温度控制器宜安装在现场。

8.5.2 机械式温度控制器的温度传感器的选择, 应考虑传感器及其组成部件的最高额定温度, 以及可能承受的任何腐蚀条件。

8.6 电子式温度控制器

应选择合适的控制电缆以保证控制器和传感器的正常工作。

8.7 传感器布置

8.7.1 传感器宜安装在维持温度的典型点上。

8.7.2 当管道伴热回路经过不同环境温度区域(例如伴热设备的内部和外部)时, 宜分别在不同温度区域设置传感器、设置相应控制。

8.7.3 在复杂的管道系统中, 在选择传感器安装位置之前, 应评估所有可能情况下的物流状态。

8.7.4 温度传感器宜避免设置在受伴热器直接影响的位置。

8.7.5 传感器应牢固安装, 确保与被测部件的良好热接触。

8.7.6 某些工艺介质和某些管道材质的温度灵敏度需要同时保证温度的控制和限定最高温度。控制传感器宜环绕伴热带至少 90° 安装。限定最高温度的传感器可紧挨伴热带安装，其报警设定值为材料或系统的最大允许温度并应扣除一定的安全裕度。

8.8 监测和报警

8.8.1 当电伴热系统可能运行在设计限值之外时，应发出报警，并应采取措施。

8.8.2 应根据工艺温度控制精度的不同为类型 I、II 或 III 的电伴热系统设置合适的报警系统。报警内容宜包括工艺温度高报警、工艺温度低报警和伴热回路故障报警、电气系统故障报警。在满足安全和工艺要求的前提下，高温信号可以用于报警或使保护设备动作。

8.8.3 报警装置宜与温度控制器集成布置，也可单独设置。温度报警应具备下列功能：

- a) 低温报警：提示管道系统和工艺介质温度已降至预设的最低值，且后续温度降低可能超出可接受的操作设计要求；
- b) 高温报警：提示管道系统和工艺介质温度已超过预设的最高温度，且后续温度升高可能超出可接受的操作设计要求。

8.8.4 控制和报警回路宜与 DCS 和监测系统集成在一起，应考虑控制和报警回路、DCS 和监测系统的兼容性，以确保成功以及可靠的数据传输。

8.9 伴热带较长时

当并联伴热带长度较长时，应合理选择电伴热器的输出功率，合理布置温度传感器的位置，以保证伴热带末端的功率密度不低于起始端功率密度。

8.10 烟囱效应

对于需要精确温度控制的垂直长管线，应避免出现烟囱效应。宜维持温度的裕量和管道内流体的特性对垂直长管线进行多段温度控制。

9 配电

9.1 一般规定

9.1.1 应按照 GB 50052 和 SH/T 3038 的规定，根据电伴热在工艺装置和系统单元中的重要程度、对供电可靠性的要求及中断供电在对人身安全、经济损失上的影响，合理确定负荷等级。

9.1.2 电伴热系统的配电系统宜包括电源、配电系统、配线电缆、控制系统以及伴热器分配系统等。

9.1.3 伴热器分配系统宜包括现场配电盘、就地开关、就地温控器、接线盒、冷端引线等。

9.1.4 配电系统应符合 GB 50052 和 GB 50054 的有关规定。爆炸危险环境中电伴热系统的配电系统设计应满足 GB 50058 的有关规定。

9.1.5 双系列或多系列工艺流程各自的电伴热系统，宜由不同供电回路供电。

9.1.6 工艺流程每一个独立部分的电伴热系统部分、管道或仪表用电伴热系统部分均宜由独立的分支回路供电，并宜单独控制。

9.1.7 应按照开关数量、恒温器数量、电缆敷设工作量降至最低的原则，进行电伴热系统的配电设计。

9.1.8 电伴热系统的保护装置、测量仪表、控制电器和导线的设置，应便于操作、监视和维护，应避免受热、受潮、受电磁感应、受撞击和避免集聚灰尘。

9.1.9 海拔高于 1000m 的电伴热系统的使用场所设计应考虑海拔高度的影响。

9.1.10 配电设计应进行合理的负荷计算，根据功率大小和适用的伴热器类型合理确定电压等级。

9.2 电源和电压偏差

- 9.2.1 供电电源应采用交流三相或单相电源，额定电压不超过 1000V，额定频率为 50Hz。
- 9.2.2 系统额定电压应符合 GB/T 156 的规定。
- 9.2.3 电伴热系统引起供电电压偏差和频率偏差应满足国家现行规范的有关规定。
- 9.2.4 当电网系统中的电机负荷较多、较频繁启动时，在进行电伴热系统设计时，应考虑这些负荷可能引起的电压偏差。

9.3 配电屏、配电箱和分配电箱

- 9.3.1 配电屏宜布置在变配电所或控制室。电伴热配电箱或分配电箱可布置在现场。现场配电箱和分配电箱应深入电伴热系统负荷中心。
- 9.3.2 布置在变配电所和控制室内的配电屏，应符合 GB 50054 和 GB 7251.1 的有关规定。
- 9.3.3 布置在变配电所和控制室内的配电屏应符合下列要求：
 - a) 其进出动力电缆的连接宜采用柜内铜母排在柜内下侧连接的方案，铜母排应带连接孔。配电屏进出线处应带塔形密封接头。
 - b) 屏体、隔板、内侧板及底板等宜采用覆铝锌板；面板、外侧板可采用冷轧钢板，静电喷涂。配电屏不应在吊装、运输等过程中产生变形。
 - c) 配电屏宜采用自然通风的冷却方式；当要求强制通风时，应设置必要的空气过滤器、风扇等。
- 9.3.4 配电屏、配电箱和分配电箱应设置单相或三相分支配电回路。当采用单相分支回路时，各出线分支回路宜均匀分配至三相。
- 9.3.5 设备端子和导体终端的标识应满足 GB/T 4026 的要求。

9.4 接地

- 9.4.1 防雷防静电接地设计应满足人身安全及电伴热系统正常运行的要求，应符合 GB 50058、GB/T 50065、GB 50650、GB/T 21714、SH/T 3038 和 SH/T 3097 的有关规定。
- 9.4.2 有电伴热的管道、设备等应可靠接地。

9.5 电气保护

- 9.5.1 应设置适用于电阻性伴热元件的短路保护、过载保护、剩余电流故障保护。每个进出线回路应设置单独的电流保护装置。
- 9.5.2 断路器应能承受伴热元件的启动电流。
- 9.5.3 当采用三相伴热电缆时，宜设置不平衡保护。
- 9.5.4 对用于爆炸危险环境的电伴热系统应符合下列最低要求：
 - a) 采取措施使所有导线从电源端起得到隔离。
 - b) 对每一个分支回路提供过电流保护。
 - c) 根据系统接地型式采取防止接地故障的保护措施。
 - d) 对 TT 和 TN 系统采用的接地故障保护装置为：伴热器分支回路的保护应具备切断高阻接地故障及短路故障的能力，可通过接地故障保护装置来完成。应采用 30mA 动作定值，该动作电流应高于伴热器供货商给定的伴热器固有电容泄漏电流。
 - e) 对 IT 系统：应安装电气绝缘监测装置，以保证在任何情况下当电阻不大于 $50\Omega/V$ （额定电压）时断开电源。
 - f) 对 a)、b)、c)、d) 的要求可由一台装置执行。
- 9.5.5 电气配电系统故障报警信号应包括短路保护动作、过载保护动作、剩余电流保护动作等。

9.5.6 电气保护设备应满足 GB/T 14048.1、GB/T 14048.2、GB/T 14048.3、GB/T 14048.4、GB/T 14048.5 和 GB/T 14048.6 等的要求。剩余电流故障保护装置应满足 GB/T 6829 的要求。

9.6 现场配电

9.6.1 配电盘至伴热器的电源电缆的截面应满足最大负荷的启动电流；并在满负荷条件下，线路压降不应超过国家标准的有关规定，并与电气保护相配合。

9.6.2 电缆的选择应符合 GB 50217 及相关国家标准的规定。

9.6.3 电伴热器与现场配电箱、电伴热器与电伴热器之间以及电伴热器与终端接线盒之间的连接应通过电源接线盒、中间接线盒、终端接线盒。

9.7 接线盒

9.7.1 下列情况应采用接线盒：

- a) 电源电缆和伴热电缆的连接；
- b) 配电盘的回路接至分支回路时，一条回路宜设一个接线盒；
- c) 三相回路转换为三个单相回路；
- d) 直通接头或分接头应采用接线盒，安装在绝热层外。

9.7.2 接线盒内应设置足够的端子。每一个导体应接至独立的端子。

9.7.3 接线盒内应设置足够的接地端子和接地母排，满足所有供电电缆和伴热电缆的金属屏蔽和铠装层有接地需要。

9.8 低温度起动

当伴热系统要求在低环境温度下启动时，电流保护装置的额定值和特性应满足伴热系统在低环境温度下启动的条件。

10 绝热层

10.1 绝热层的设计应符合 SH/T 3010 的规定。

10.2 电伴热器的选择和布置应与绝热层的材质和厚度相适应。

10.3 宜优化绝热层材料和厚度的选择，以满足增加单个回路长度、减少回路数及减少电伴热系统输出总功率的要求。

10.4 绝热层的选择及设计参见本规范附录 F。

11 其他要求

11.1 当工艺过程对电伴热系统有要求时，应设置回路监控和备用电伴热系统。当监控到电伴热系统发生故障时，应自动启动备用电伴热系统。

11.2 当使用较长的并联伴热器时，宜将温度传感器布置在离伴热器、散热点和电源连接点较远的位置。

11.3 电伴热器的总长度应包括工件所需电伴热器的长度、各种工件附件所需的电伴热器长度及安装所需的电伴热器长度。

附 录 A
(资料性附录)
管道热损失计算

为了计算规定条件下的热损失,需要绝热层的相关参数,包括绝热材料在若干个平均温度下的导热系数、规定的气候防护层类型、绝热层尺寸和厚度等,也需要了解工件维持的温度、最低环境温度和风力条件等参数。

有了这些参数之后,热损失可通过计算确定。

管道热损失可用式(A-1)计算。

$$q = \frac{T_p - T_a}{\frac{1}{\pi \times D_1 \times h_i} + \frac{\ln(D_2 / D_1)}{2 \times \pi \times K_1} + \frac{\ln(D_3 / D_2)}{2 \times \pi \times K_2} + \frac{1}{\pi \times D_3 \times h_{co}} + \frac{1}{\pi \times D_3 \times h_o}} \quad \text{..... (A-1)}$$

式中:

q ——每单位长度管道的热损失, W/m;

T_p ——要求的维持温度, °C;

T_a ——最低设计环境温度, °C;

D_1 ——内绝热层内径, m;

h_i ——如果从管道到绝热层内表面存在空间层,其空气传热系数, W/(m²·°C);

D_2 ——内绝热层外径, m。如果有外绝热层,则为外绝热层的内径;

K_1 ——内绝热层在其平均温度下的导热系数, W/(m·°C);

D_3 ——如果有外绝热层,外绝热层的外径, m;

K_2 ——当有外绝热层时,外绝热层在平均温度下的导热系数, W/(m·°C);

h_{co} ——如果从外绝热层表面到气候防护层存在空间层,其空气传热系数, W/(m²·°C);

h_o ——从气候防护层与周围空气间的传热系数, W/(m²·°C)。

式(A-1)包括所有可能影响热流的因素。典型的绝热系统包括一种简单的绝热类型、设置金属气候防护层,则管道单位长度热损失式(A-1)可简化为式(A-2)。

$$q = \frac{T_p - T_a}{\frac{\ln(D_2 / D_1)}{2 \times \pi \times K} + \frac{1}{\pi \times D_2 \times h_{co}} + \frac{1}{\pi \times D_2 \times h_o}} \quad \text{..... (A-2)}$$

式中:

K ——绝热层在其平均温度下的导热系数, W/(m·°C)。

当采用密封气候防护层时,式(A-2)可以简化为式(A-3)。

$$q = \frac{T_p - T_a}{\frac{\ln(D_2 / D_1)}{2 \times \pi \times K} + \frac{1}{\pi \times D_2 \times h_o}} \quad \text{..... (A-3)}$$

保守计算时,可以省略 $1/(\pi D_2 h_o)$,式(A-3)简化为式(A-4)。

$$q = \frac{2\pi K(T_p - T_a)}{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)} \quad \text{..... (A-4)}$$

长度为 L 的管道的热损失计算按式(A-5)。

$$q = \frac{2 \times \pi \times K \times L \times (T_p - T_a)}{\ln(D_2 / D_1)} \dots\dots\dots (A-5)$$

应注意对流系数和绝热层热导系数都与温度相关。开始的时候，不知道每个传热位置的温度，应该假设一个温度。根据最初假定的温度，可以计算出热损失及新的温度。如果新的温度与之前假定的温度相符，则意味着假设正确。如果不相符，则计算出来的新温度需作为新的假设温度，再次计算热损失及新的温度。假设温度梯度的示意参见图A.1。

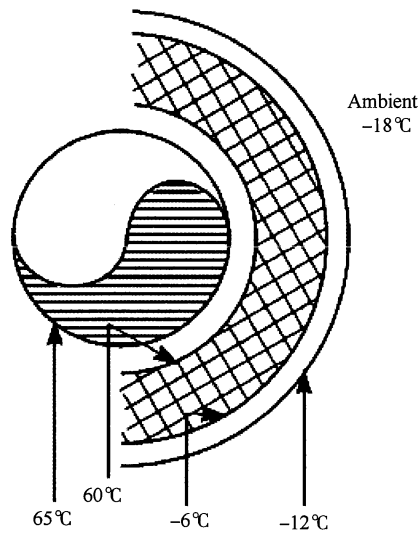


图 A.1 假设温度梯度

对于由对流或辐射产生的热损失，空气传热系数 h_{co} 、 h_o 、 h_r 是很有影响的参数。这些系数的传热部分高度依赖于被伴热表面的空气流速。如果空气是静止的，则对流产生的热损失成为自然对流热损失。如果空气被风驱使循环，产生的热损失成为强制对流热损失。对流产生的热交换系数的估计值由实验数据得来。对于自然对流（McAdams[B21]）而言，这些数本质上将努塞尔数和瑞利数联系在一起，对于强制对流（Holman[B10]和McAdams[B21]）和而言，这些数本质上将努塞尔数与雷诺数和普朗特数联系在一起。因为电伴热系统主要关注的是常压下大气中圆形管道的热损失，可以采用以下简化的热传导率，这是由经验数值得出的。

空气中常压下板状自由对流（McAdams[B21]）的简化公式见式（A-6）和式（A-7）。

水平管道：

$$h = C_1 \times \left[\frac{T_s - T_{amb}}{d} \right]^{0.25} \dots\dots\dots (A-6)$$

垂直管道：

$$h = C_2 \times \left[\frac{T_s - T_{amb}}{L} \right]^{0.25} \dots\dots\dots (A-7)$$

式中：

h ——自然对流的传热系数，W/（m²·℃）；

C_1 ——系数，取1.32；

T_s ——管道表面的温度，℃；

T_{amb} ——周围环境空气温度，℃；

d ——管道的直径，m；

C_2 ——系数，取1.42；

L ——管道的垂直长度，m。

常压下大气中管道的强制对流（Holman[B10]和McAdams[B21]）的简化公式见式（A-8）。

$$h_f = \frac{C_3 \times K_f}{d} \times \left(\frac{Vd}{\nu_f} \right)^n \times (Pr)^{1/3} \quad \text{..... (A-8)}$$

式中：

h_f ——强制对流的传热系数，W/（m²·℃）；

C_3 ——由经验得出的无量纲的常数，取0.266；

K_f ——平均空气对流温度下的空气导热系数，W/（m²·K）；

d ——管道的直径，m；

V ——风速，m/s；

ν_f ——平均空气对流温度下的运动黏度，m²/s；

n ——由经验得出的无量纲的常数，取0.805；

Pr ——平均空气对流温度下估算的空气普朗特数，无量纲。

在雷诺数范围40000到400000之间， C_3 和 n 是常数，可适用于大多数典型的电伴热。雷诺数 Re 是一个无量纲的数，定义如式（A-9）。

$$Re = Vd/\nu_f \quad \text{..... (A-9)}$$

圆筒辐射的热损失用斯特藩-玻尔兹曼定律（McAdams[B21]）解释，见式（A-10）。

$$q_r = \sigma \times \varepsilon \times A[(T_1 + T_0)^4 - (T_2 + T_0)^4] \quad \text{..... (A-10)}$$

式中：

q_r ——管道的热损失，W；

σ ——系数，W/（m²·K⁴），为 5.669×10^{-8} [W/（m²·K⁴）]；

ε ——辐射表面的反射率，无量纲；

A ——管道的辐射面积，m²；

T_1 ——管道表面的温度，℃；

T_0 ——摄氏度（℃）转换为绝对温度（K）时的常数，即273℃；

T_2 ——管道周围的介质的温度，℃。

尽管辐射传热系数是四次功率温差，对于相对较小的温差可以线性化并用式（A-11）和式（A-12）表示。

$$h_r = 4 \times \sigma \times \varepsilon \times T_m^3 \quad \text{..... (A-11)}$$

$$T_m = T_0 + \frac{T_1 + T_2}{2} \quad \text{..... (A-12)}$$

式中：

h_r ——线性化后的辐射传热系数，W/（m²·℃）；

T_m ——环境温度和辐射表面的平均绝对温度的估计值，K。

通过迭代法确定绝热层的热传导性和空气对流特性，可以进行更深入的分析计算。通过确定不同热阻的实际降温来确定。然而，对于小的温度变化。这些特性不会造成温度大的变化，总的热损失是极小的。

附录 B
(资料性附录)
容器热损失计算

B.1 一般原则

与管道不一样，容器的热损失受容器本体散热片的影响，需在基本热损失计算中予以考虑。为了计算总热损失，应按不同的区域进行热损失计算。总的热损失就是这些不同区域的热损失之和，如式(B.1)所示。

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{ins}} + Q_{\text{slab}} + Q_{\text{supt}} + Q_{\text{manhole}} \quad \text{..... (B.1)}$$

容器形状多种多样，存储的介质千差万别，用一种严格的理论计算来计算所有可能的热损失会是一个复杂的过程。大多数罐的伴热应用都不需要这么高的精度。

下面这些公式是计算容器热损失时较为保守的公式。

B.2 绝热层热损失

容器绝热层的热损失 Q_{ins} 可由式(B.2)确定。当容器内充满介质时，热损失最严重。本节不考虑只含部分介质的容器的热损失计算。此外，本计算忽略罐壁内的介质对流层的影响。

$$Q_{\text{ins}} = \left(\frac{T_p - T_a}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{K} + \frac{1}{h_{\text{co}}} + \frac{1}{h_o}} \right) \times A \quad \text{..... (B.2)}$$

式中：

Q_{ins} ——绝热层热损失，W；

T_p ——要求的维持温度，℃；

T_a ——最低环境温度，℃；

h_i ——罐与绝热层内表面间的内部空气传热系数，W/(m²·℃)；

x ——热绝热层厚度，m；

K ——平均温度下绝热层导热系数，W/(m²·℃)；

h_{co} ——绝热层外表面与气候防护层间的内部空气传热系数，W/(m²·℃)；

h_o ——气候防护层或绝热层外表面与周围环境间的外部空气传热系数，W/(m²·℃)；

A ——绝热层覆盖的表面积，m²。

B.3 混凝土底板表面积的热损失计算

混凝土底板表面积的热损失计算 Q_{slab} ，当罐直接坐落在混凝土底板上时，罐底的热损失和混凝土底板的热损失可以用近似“湿”区域的方式求得。对于混凝土底板，术语 T_{slab} 是混凝土底板与土壤交界处的温度，以此替换最低环境温度 T_a 。可是，由于有最低环境温度和深层土壤温度 T_{soil} 这两种不同温度的

影响, 底板下不同区域的温度是不同的。底板周边的温度通常较靠近中间的底板的温度低, 这是因为最低环境温度对周边的影响要更大一些。

对于多种多样的底板-土壤界面, 可以采用计算机进行温度计算, 采用一种简单的数字节点温度分析法。这种计算方法的基础是: 在稳定状态下, 任何节点都不会有净热传递, 因此可以同时产生一系列的公式。运用矩阵数学技术可以对每一个节点温度进行计算。一旦得出每个节点的温度, 则可用式 (B.3) 计算得出混凝土底板区域的热损失。

$$Q_{\text{node}} = \left(\frac{T_p - T_{\text{node}}}{\frac{x_{\text{wall}}}{K_{\text{wall}}} + \frac{x_{\text{slab}}}{k_{\text{slab}}}} \right) \times A_{\text{node}} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

Q_{node} —— 底板区域节点间的热损失, W;

T_p —— 要求的维持温度, °C;

T_{node} —— 计算节点温度, °C;

x_{wall} —— 罐壁厚度, m;

K_{wall} —— 平均温度时罐壁导热系数, W/(m·°C);

x_{slab} —— 混凝土底板厚度, m;

k_{slab} —— 平均温度时混凝土导热系数, W/(m·°C);

A_{node} —— 底板区域节点间的表面积, m²。

将这些节点计算出来的热损失求和即可得到底板的总热损失。

有多种基于计算机节点温度分析的解析算法。通常这些解析算法将底板热损失分为如下两部分:

a) 外部区域, 将混凝土底板视为散热片, 见式 (B.4);

b) 内部区域, 采用与式 (B.3) 类似的公式。

一般情况下, 解析算法计算出来的热损失较节点法要高。

B.4 容器支撑件热损失计算

与罐壁直接接触或在绝热层里的支撑或任何其他附件应视为散热片, 其热损失可以用如下的通用式 (B.4) 求得。

$$Q_{\text{supt}} = \sqrt{h_f \times P \times k_s \times A_c} \times (T_p - T_a) \times \varepsilon \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

Q_{supt} —— 支撑件的热损失, W;

h_f —— 支撑件外露面与周围空气间的传热系数, W/(m²·°C);

P —— 上述横截面的周长, m;

k_s —— 支撑件导热系数, W/(m·°C);

A_c —— 突出绝热层的支撑的横截面积, m²;

T_p —— 要求的维持温度, °C;

T_a —— 最低设计环境温度, °C;

ε —— 散热片效率。可由用户确定, 大多数情况下取1.0。

B.5 人孔热损失计算

人孔热损失计算 Q_{manhole} ，如果人孔或手柄与介质有直接接触，则可用式（B.1）计算其热损失。否则，其热损失可忽略。

容器的热损失因穿越绝热层表面的散热件而较复杂，常常需要进行更复杂的分析来确定总的热损失，并且应咨询相关供应商。

附 录 C
(资料性附录)
热损失设计的安全系数

热损失的计算结果是一个理论值，并没有考虑与实际现场安装相关的不利因素，所以计算值应考虑安全系数。这个计算用的安全系数一般取值范围为1.1~1.25，并可按用户的要求调整。增加安全系数通常用来补偿伴热系统的偏差，这些偏差通常与绝热系统、供电电压和电伴热器的特性有关。

安全系数应考虑下列内容：

- a) 绝热性能降低；
- b) 供电电压变化；
- c) 分支回路压降；
- d) 伴热器压降；
- e) 较高温度应用时的辐射和传热增强；
- f) 绝热材料的质量。

附录 D (资料性附录) 设计信息

D.1 设计信息文件

根据电伴热系统的不同应用，电伴热系统设计需要如下文件/参数的全部或部分：

- 危险区域划分图，内应含危险区的温度组别或危险介质的引燃温度；
- 温度设计参数；
- 系统流程图；
- 可能引起管道温度升高的工艺过程，如蒸汽吹扫。
- 设备布置图（平面图、立面图等）；
- 设备详图（泵、阀、过滤器等）；
- 管道图（平面布置图、三维图、管线表等）；
- 配管技术要求；
- 绝热材料参数，包括材料类型、公称尺寸、厚度和 k 值。

上述内容可以在电伴热管道表、电伴热设备表、仪表电伴热条件表等表格中明确。

电伴热设计应取得不同项目的供电条件，及配电盘、供电电缆等的规格书。

D.2 电伴热回路设计信息和数据

每个电伴热回路应在图纸上表示出来，说明它的实际位置、配置、以及电伴热系统和管道/设备、仪表系统的有关数据。图纸和/或设计数据应包括下列内容：

- a) 配管系统标示；
- b) 管道尺寸和材料；
- c) 管道位置或管号；
- d) 电伴热器名称或回路编号；
- e) 电源接线盒、尾端和温度传感器（如有）的位置；
- f) 电伴热器编号；
- g) 主要设计数据如下：
 - 1) 维持温度；
 - 2) 最高工艺温度；
 - 3) 最低环境温度；
 - 4) 上限温度；
 - 5) 最高暴露温度；
 - 6) 吹扫温度（如有）；
 - 7) 最高护套温度（如果需要）；
 - 8) 加热参数（如有要求时）；
 - 9) 管道规格及长度或容器规格等；
 - 10) 单位长度管道上电伴热器的伴热比；

- 11) 用于阀门、管道支架和其他散热件的伴热带裕量;
- 12) 电伴热器长度;
- 13) 工作电压;
- 14) 在维持温度下电伴热器单位长度的功率;
- 15) 单位长度管道上维持温度下的热损失;
- 16) 总功率;
- 17) 回路电流, 起动和稳定状态工况;
- 18) 危险场所分类, 包括各个场所的最低点燃温度(如果需要);
- 19) 材料表。

D.3 电伴热设计成品文件

电伴热设计成品文件宜包括:

- a) 电伴热计算书, 含热损失计算;
- b) 用电负荷统计表;
- c) 最终材料表, 包含所需伴热器类型、长度等, 也包括所需配电盘/屏、分配电盘、供电电缆及温度控制和报警系统等所有材料;
- d) 设计说明;
- e) 电伴热器敷设图;
- f) 配电盘/屏、分配电盘等的一次系统图和二次控制原理图等, 含编号或名称;
- g) 现场分配电盘等的位置图;
- h) 报警和控制设备名称以及设定值;
- i) 安装和维护手册。

D.4 电伴热管道表、电伴热设备表、仪表电伴热条件表

电阻式伴热系统设计所需的参考的电伴热管道表、电伴热设备表、仪表电伴热条件表包括:

- a) 电伴热管道表(见图D.4-1);
- b) 电伴热设备表(见图D.4-2);
- c) 仪表电伴热条件表(见图D.4-3)。

仪表电伴热条件表																							
序号	仪表位号	检测位置	仪表名称	管道设备号	仪表测量 管路连接图	仪表类型	介质		工艺温度(°C)		压力(MPa (G))		伴热温度要求(°C)		伴热		吹扫	绝热层		备注			
							名称	状态	操作	设计	操作	设计	操作	设计	维持温度	设计		最高允许温度	根数		尺寸	类型	材质

图 D.4-3 仪表电伴热条件表

附录 E
(资料性附录)
最高温度的确定

E.1 概述

在爆炸性气体环境中，保证伴热器护套最高表面温度低于爆炸性气体环境的点燃温度是非常关键的。护套最高表面温度取决于伴热器的功率密度、综合传热系数和被加热表面的最高可能温度。

准确确定爆炸危险环境中应用的电伴热器的护套最高温度是很重要的。一些例子如下：

- a) 对于非金属管道的伴热应用，伴热器的最高温度可能接近工件、绝热材料或其他元件的最高耐受温度；
- b) 对于不带控制或不带环境温度控制的伴热应用，以及对于达到平衡状态时有潜在护套高温的伴热应用；
- c) 工艺温度要求高的关键应用；
- d) 对于爆炸危险区域内的伴热应用，假设控制恒温器故障，伴热器护套温度不能超过危险介质的点燃温度或温度组别。

E.2 金属管道和护套温度的理论计算

管道可能达到的最高温度是在最高环境温度和电伴热器连续通电条件下计算得出的。计算可能的最高管道温度的公式是根据热损失公式重新整理得出的，见式 (E.2-1)。

$$T_{pr} = \frac{Q_{sf}}{\pi} \left[\frac{1}{D_1 h_i} + \frac{\ln(D_2 / D_1)}{2k_1} + \frac{\ln(D_3 / D_2)}{2k_2} + \frac{1}{D_2 h_{co}} + \frac{1}{D_2 h_o} \right] + T_a \quad \text{..... (E.2-1)}$$

式中：

T_{pr} ——计算的最高管道温度，℃；

Q_{sf} ——对于稳态结构，为按110%额定电压和制造商的电伴热器输出功率上限修正的电伴热器输出功率，W/m；

k_1 ——内绝热层在其平均温度下的导热系数，W/(m·K)；

k_2 ——当有外绝热层时，外绝热层在平均温度下的导热系数，W/(m·K)；

T_a ——最高给定设计环境温度，℃；

D_1 ——内绝热层内径，m；

D_2 ——内绝热层外径，m，如果有外绝热层，则为外绝热层的内径；

h_i ——如果从管道到绝热层内表面存在空间层，其空气传热系数，W/(m²·K)；

h_{co} ——如果从外绝热层表面到气候防护层存在空间层，其空气传热系数，W/(m²·K)；

h_o ——气候防护层与周围空气间的传热系数，W/(m²·K)。

为了得出 T_{pr} ，公式 (E.2-1) 可采用迭代法进行计算，因为绝热材料的导热系数和伴热带输出功率可能随管道温度的变化而变化。

电伴热器的护套温度应由式 (E.2-2) 计算：

$$T_{sh} = \frac{Q_{sf}}{UC} + T_{pr} \quad \text{..... (E.2-2)}$$

当最高工艺要求温度 T_{pm} 高于最高管道计算温度 T_{pr} 时，则用 T_{pm} 代替 T_{pr} ，则式（E.2-2）就变为式（E.2-3）：

$$T_{sh} = \frac{Q_{sf}}{UC} + T_{pm} \quad \dots\dots\dots (E.2-3)$$

式中：

- T_{sh} ——电伴热器的护套温度，℃；
- C ——电伴热器的周长，m；
- U ——总传热系数，W/(m²·K)；
- T_{pr} ——计算的最高管道温度，℃；
- T_{pm} ——最高工艺要求温度，℃；
- 其他代号的定义同公式（F.2-1）。

对于每一种电伴热器，不同的型式、安装方法和系统外形，总传热系数也不同。它们是导热、对流和辐射三种传热方式的组合。 U 值可以为12W/(m²·K)（对流传热为主的空气中圆柱形伴热带）至170W/(m²·K)及以上（主要是采取了导热措施的电伴热器）。根据要求，伴热供应商应提供给定应用下的 U 值，或提供经计算或凭经验确定的护套温度。

选择的电伴热器输出功率 Q_{sf} 应提供稳态结构并且电伴热器的护套温度 T_{sh} 应不超过温度组别。

E.3 金属容器和护套温度的理论计算

类似的，容器可能达到的最高温度是在最高环境温度和电伴热器连续通电条件下计算得出的。计算可能的最高容器温度的公式是根据热损失公式重新整理得出的，见式（E.3-1）：

$$T_{wr} = Q_{sf} \left[\frac{1}{h_i} + \frac{b_1}{k_1} + \frac{b_2}{k_2} + \frac{1}{h_{co}} + \frac{1}{h_o} \right] + T_a \quad \dots\dots\dots (E.3-1)$$

式中：

- T_{wr} ——计算的最高容器温度，℃；
- Q_{sf} ——对于稳态结构，为按110%额定电压和制造商的电伴热器输出功率上限修正的电伴热器输出功率，W/m²；
- k_1 ——内绝热层在其平均温度下的导热系数，W/(m·K)；
- k_2 ——当有外绝热层时，外绝热层在平均温度下的导热系数，W/(m·K)；
- T_a ——最高给定设计环境温度，℃；
- D_1 ——内绝热层内径，m；
- D_2 ——内绝热层外径，m，如果有外绝热层，则为外绝热层的内径；
- h_i ——如果从管道到绝热层内表面存在空间层，其空气传热系数，W/(m²·K)；
- h_{co} ——如果从外绝热层表面到气候防护层存在空间层，其空气传热系数，W/(m²·K)；
- h_o ——气候防护层与周围空气间的传热系数，W/(m²·K)。

为了得出 T_{wr} ，公式（E.3-1）可采用迭代法进行计算，因为绝热材料的导热系数和伴热带输出功率可能随容器温度的变化而变化。

电伴热垫或盘的护套温度应有下式计算：

$$T_{sh} = \frac{Q_{sf}}{U} + T_{wr} \quad \dots\dots\dots (E.3-2)$$

当最高工艺要求温度 T_{wm} 高于最高容器计算温度 T_{wr} 时, 则用 T_{wm} 代替 T_{wr} , 则公式(E.3-2)就变为公式(E.3-3):

$$T_{sh} = \frac{Q_{sf}}{U} + T_{wm} \quad \dots\dots\dots (E.3-3)$$

式中:

T_{sh} ——电伴热器的护套温度, °C;

C ——电伴热器的周长, m;

U ——总传热系数, W/(m²·K);

T_{wr} ——计算的最高容器温度, °C;

T_{wm} ——最高工艺要求温度, °C。

其他代号的定义同公式(F.3-1)。

对于每一种电伴热器, 不同的型式、安装方法和系统外形, 总传热系数也不同。它们是导热、对流和辐射三种传热方式的组合。 U 值可以为12W/(m²·K) (对流传热为主的空气中圆柱形伴热带) 至170W/(m²·K) 及以上 (主要是采取了导热措施的电伴热器)。根据要求, 伴热供应商应提供给定应用下的 U 值, 或提供经计算或凭经验确定的护套温度。

选择的电伴热器输出功率 Q_{sf} 应提供稳态结构并且电伴热器的护套温度 T_{sh} 应不超过温度组别和任何其他上述最高温度限制。

E.4 护套温度-金属应用

通过测量电伴热器护套温度或人工热点的温度, 用限温器限制。当传感器直接安装在伴热器上时, 护套温度可由式(E.4)计算:

$$T_{sh} = T_L + \Delta T_{offset} \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

式中:

T_L ——限温器的设定温度, °C;

ΔT_{offset} ——传感器和伴热器实际最高护套温度间的差值, 由经验数值得出。该值是多个变量共同作用的结果, 比如电伴热器和传感器的几何形状和质量、伴热器的输出功率、热转换效率和控制系統滞后等因素。

E.5 理论护套温度计算-非金属应用

对于应用于非金属管道或容器的电伴热器, 因非金属材料不易传热, 故应考虑工件热阻。非金属材料的导热系数(k 值)是钢的1/200, 随伴热带的输出功率密度不同, 在管壁内外侧或罐壁内外侧存在较大的实际温差。与金属管道和容器相比, 非金属管道或容器高于正常温度会导致:

- a) 可能超过非金属工件的最高允许温度;
- b) 可能超过电伴热器最高允许温度。

在正常操作条件下电伴热器的护套温度原则上可由式(E.2-2)、式(E.2-3)、式(E.3-2)和式(E.3-3)求出。但是, 计算 U 值应考虑工件热阻的影响。塑料表面的总传热系数为:

$$\frac{1}{U_p} = \frac{1}{U_m} + \frac{L}{k_p} \quad \dots\dots\dots (E.5-1)$$

式中：

U_p ——非金属管道总传热系数，W/(m²·K)；

U_m ——金属工件总传热系数，W/m²；

L ——工件壁厚，m；

k_p ——工件壁材料的导热系数，W/(m·K)。

因为非金属材料的额外热阻，工件壁上将有温差。也就是说，外管壁和流体温度与金属管道相比是不同的。因此，应考虑流体的温度。

可由式（E.5-2）求出非金属管道的伴热器护套温度：

$$T_{sh} = \frac{Q_{sf}}{U_p C} + T_f \quad \dots\dots\dots (E.5-2)$$

式中：

Q_{sf} ——对于稳态结构，为按110%额定电压和制造商的电伴热器输出功率上限修正的电伴热器输出功率，W/m；

T_f ——流体温度，℃；

其他代号的定义同前。

类似的，对于非金属容器，伴热器护套温度计算公式为：

$$T_{sh} = \frac{Q_{sf}}{U_p} + T_f \quad \dots\dots\dots (E.5-3)$$

式中：

Q_{sf} ——对于稳态结构，为按110%额定电压和制造商的电伴热器输出功率上限修正的电伴热器输出功率，W/m²；

T_f ——流体温度，℃。

公式（E.5-2）和公式（E.5-3）是对复杂问题的简化保守公式，它们包括了超出本规范范围的一些参数。电伴热器制造商应提供特定应用条件下护套温度。

选择的电伴热器输出功率应提供稳态结构，并且护套温度 T_{sh} 不应超过温度组别或任何其他最高温度限制。

E.6 理论护套温度计算——非金属应用

通过测量电伴热器护套温度或人工热点的温度，用限温器限制。当传感器直接安装在伴热器上时，护套温度可由式（E.6）计算：

$$T_{sh} = T_L + \Delta T_{offset} \quad \dots\dots\dots (E.6)$$

式中：

T_L ——限温器的设定温度，℃；

ΔT_{offset} ——传感器和伴热器实际最高护套温度间的差值，由经验数值得出。该值是多个变量共同作用的结果，比如电伴热器和传感器的几何形状和质量、伴热器的输出功率、热转换效率和控制系统滞后等因素。

附录 F (资料性附录) 绝热

F.1 概述

绝热层的材料选择、安装与维护对电伴热系统的性能起关键作用。绝热系统一般用于防止大量热损失，由电伴热系统来弥补损失的热量。因此绝热将直接影响电伴热系统总体的性能。

绝热层的主要功能是，在高于环境温度的条件下，降低从工作表面散热的速度，这样可以：

- 降低运行成本；
- 改善系统性能；
- 提高系统输出能力。

在对需要电伴热的管线、容器或其他机械设备进行热损失分析之前，应了解绝热系统的选择，考虑的主要因素如下：

- 绝热材料的选择；
- 气候防护层的选择（保护层）；
- 经济绝热厚度的选择；
- 选择合适的绝热层尺寸。

F.2 绝热材料的选择

选择绝热材料时应考虑以下几个重要方面：

- 温度级别；
- 导热率， λ ；
- 机械性能；
- 化学稳定性和耐腐蚀性；
- 耐潮性；
- 安装时人员的健康风险；
- 耐火性；
- 失火时产生的毒性；
- 成本。

通常可使用的绝热材料包括：

- 膨胀蛭石；
- 岩棉；
- 泡沫玻璃；
- 聚氨酯泡沫；
- 玻璃棉；
- 硅酸钙；
- 聚亚氨酯；
- 珍珠岩。

对于软质绝热材料（岩棉、玻璃棉等），在多数情况下可通过将绝热材料扎紧的办法，使用与管道实际尺寸相同的绝热层。应注意防止将电伴热器夹在绝热材料中，因为这样会损坏电伴热器或限制其正

常的传热。也可采用比管道尺寸大一号的绝热层尺寸，以便能容易地将管道和电伴热器包裹起来。对于硬质绝热材料（硅酸钙、膨胀蛭石、泡沫玻璃等）来说，如果切割的形状适合沿轴向拼接，绝热层尺寸也可以与管道尺寸相同。这种类型的安装方式通常被称作错缝拼接法。另外，可以选择大一号的绝热层尺寸以适合电伴热器。在所有情况下，均应明确规定绝热层尺寸和厚度。

阀门、法兰、仪表和其他不规则形状的设备绝热层可以制成特殊形状。可以由成型制品或绝热块，或柔软的可拆卸外罩制成。

未采取隔热或部分采取隔热措施的管道支架或设备需增大功率输入来补偿其较大的热损失。应采用绝热胶泥或纤维材料来填充缝隙和接缝。当采用绝热胶泥对不规则表面进行完全绝热时，相应加厚绝热胶泥的厚度以达到所要求的绝热性能。

F.3 气候防护层（保护层）的选择

电伴热系统的正常运行取决于绝热材料的干燥性。通常情况下，电伴热器输出的功率不足以干燥潮湿的绝热材料。有些绝热材料从管线上拆下来后，即使对其进行强制干燥处理，也不能使之恢复到吸湿前其原有的特性。

直管可以用金属保护层、聚合物或胶泥系统作为气候防护层。当使用金属保护层时，应形成“S”形的轴向接缝并保持平滑，端部的环形接缝应使用绑带扎紧，并在外边沿上或重叠处涂密封胶（见图 F.3）。

没有密封胶的搭接或封闭防护层不能有效地防潮。下雨时允许少量的雨水透过单个的未密封的接合处渗透到绝热材料，但是宜明确防护层的防水密封的要求，使其可以适于长时间的暴风雨环境。

所用气候防护层的型式至少应具备以下几个条件：

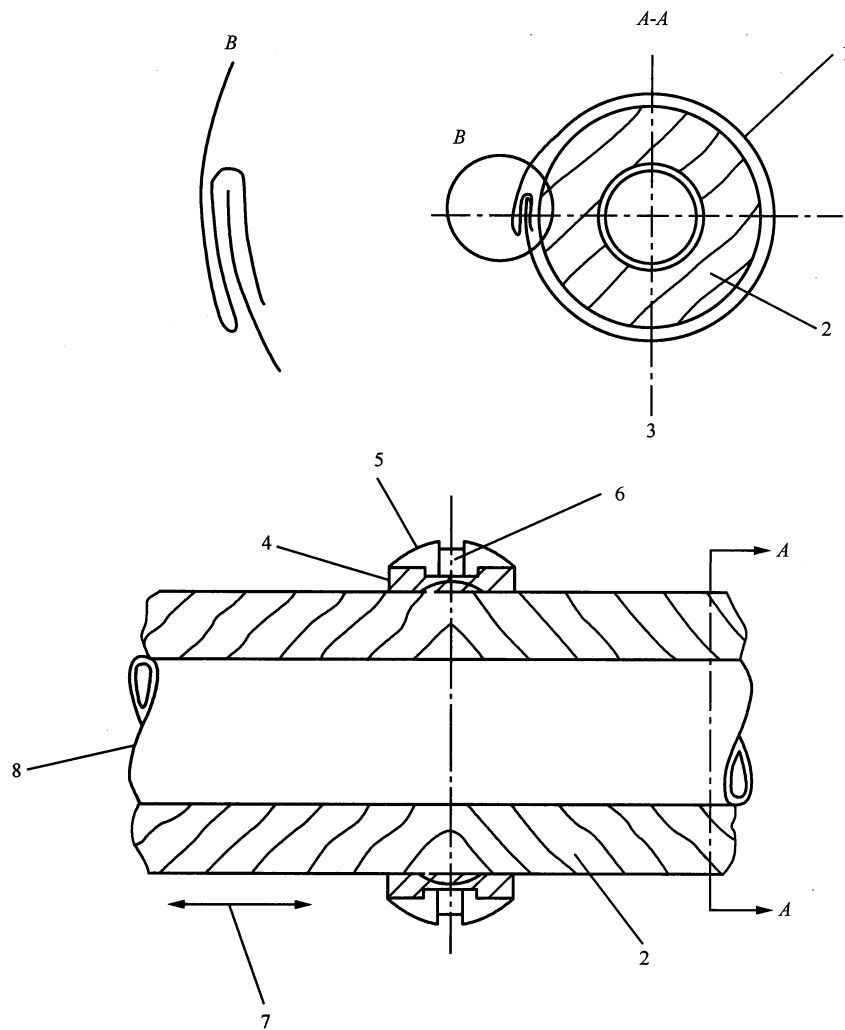
- 有效的防潮性；
- 场所中的化学抗腐蚀性；
- 防火要求；
- 耐机械损坏能力；
- 成本。

F.4 经济厚度的选择以提供最优化的伴热设计

考虑绝热材料的经济性，至少要权衡材料和安装的一次成本与材料在使用寿命期间的节能。应注意，实际的绝热厚度不总是与公称的绝热厚度完全相对应。当选择绝热层尺寸时，应考虑实际的管道绝热层尺寸是否适合于管道和电伴热器。

电伴热系统设计宜考虑绝热层的选择。电伴热管道的最优的绝热层厚度可以实现：

- 减少每一个伴热器的功率输出；
- 增加伴热器回路的长度；
- 减少伴热器回路的数量；
- 减少电伴热系统的总功率输出。



- 1—金属外防护层；
- 2—绝热层；
- 3—被绝热管道；
- 4—密封胶；
- 5—绑扎箍；
- 6—绑带；
- 7—位移；
- 8—管道。

图 F.3 绝热-气候防护层的安装

参 考 文 献

- [1] IEC 60079-30-1-2015 Electrical resistance trace heating—general and test requirements
- [2] IEC 60079-30-2-2015 Electrical resistance trace heating—application guide for design, installation and maintenance
-

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本标准（规范、规程）条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国石油化工有限公司行业标准

石油化工电阻式伴热系统设计规范

条文说明

2020年 北京

制定说明

《石油化工电阻式伴热系统设计规范》(SH/T 3212—2020), 经工业和信息化部 2020 年 12 月 9 日以第 48 号公告批准发布。

本规范制定过程中, 编制组对扬子石化-巴斯夫有限责任公司、中石油乌鲁木齐 100 万 t/a 对二甲苯芳烃联合装置、中国石油四川石化 65 万 t/a 对二甲苯芳烃联合装置等的电伴热使用情况进行了调研, 同时参考了国内外的技术标准和规范的内容, 在广泛征求意见的基础上审查定稿。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定, 《石油化工电阻式伴热系统设计规范》编制组按章、条顺序编制了本标准的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1 范围	36
3 术语和定义	36
4 基本规定	36
5 电阻式伴热系统	36
6 使用环境	36
6.2 爆炸性气体危险环境	36
6.3 腐蚀性环境	36
7 伴热器选择	36
8 控制、监测和报警	37
8.8 监测和报警	37
9 配电	37
9.1 一般规定	37
9.2 电源和电压偏差	37
9.3 配电屏、配电箱和分配电箱	37
9.5 电气保护	37
10 绝热层	38
11 其他要求	38

石油化工电阻式伴热系统设计规范条文说明

1 范围

本规范不适用于集肤效应电伴热系统、感抗电伴热系统。本规范不适用于长输管线的电伴热系统设计。

3 术语和定义

为了便于使用，本标准重复列出了 GB/T 19518.1 中的某些术语和定义。

3.32 上限温度要综合考虑石油化工危险区爆炸环境温度组别、流体温度极限如相变或变性温度、伴热材料的温度极限即最高耐受温度，三个温度取最低值。

4 基本规定

本条规定了电伴热系统的设计内容和基本要求。

5 电阻式伴热系统

5.1~5.2 参考国内外标准，从“用途”和“工艺温度控制精度”两方面对电阻式伴热系统进行了分类。

电阻式伴热系统可以实现“加热工艺介质”和“固体介质的再熔化”等功能，考虑到这些功能在目前石油化工企业的运用还较少，根据审查会议中大多数与会专家的意见，暂未列入本规范。

5.3.1 支撑、人孔、底座等会造成热损失，有时候会给伴热器选择和电伴热设计带来较大的影响，因此，热损失计算时需考虑支撑等的影响。

5.3.4 此条根据之前石油化工企业的经验及审查会议中与会专家的意见确定。

6 使用环境

本条文规定了电伴热系统的安装和使用条件，包括正常环境、爆炸性气体危险场所、腐蚀性区域等。

6.2 爆炸性气体危险环境

爆炸危险区域内安装的电伴热系统，应取得国家或国际权威法定鉴定机构认可的防爆合格证。对取得防爆合格证的设备和材料的任何改变都将使合格证无效。

6.3 腐蚀性环境

具有氯化物腐蚀环境的装置或单元，建议考虑伴热电缆的外护套或冷端连接的外护套的腐蚀。

7 伴热器选择

本条文列出了石油化工行业常用的电伴热器类型伴热器选择的基本原则。

7.1 需要考虑管道和设备吹扫可能引起的高温，该温度与用于吹扫的蒸汽压力等级相关，可以从工艺专业获得该信息。

8 控制、监测和报警

本条文规定了电伴热系统的温度设计、监控和报警系统设计的基本原则。从基于工艺温度控制精度、基于安全、伴热器的过热保护等方面阐述了温度设计的原则；提出了温度控制器、传感器的布置原则，明确了监测和报警系统的目的和设置原则。

8.8 监测和报警

以下2条在 IEC 60079-30-2 中有要求，在国际上有应用，在国内应用还较少，根据大多数与会专家的意见，未列入正文中。

电伴热回路可以设置回路报警，通过检测检测电流损失、电压损失或伴热电路的连续性的方式来检测伴热回路。此时，应满足下列要求：

- a) 采用电流传感器监控伴热回路电流。在温度开关闭合的条件下，当电流降至预设的最小值时应发出报警信号。
- b) 应采用电压传感器监控并联型伴热电缆末端电压或监控伴热器的回路电压。
- c) 当需要在断电时监控伴热回路的完整性时，应采用电阻传感器或连续性传感器。应将低压信号或脉冲信号传输到伴热加热器上并进行监控。

监控系统还可以设置一些其他的报警和信号，如：

- a) 伴热回路接触器辅助接点信号：伴热回路供电正常时该接点闭合。
- b) 剩余电流保护装置报警和动作信号：当电气回路的接地剩余电流超过预设值时发出信号或切断电气回路。剩余电流保护需同时满足本规范 8.5.4 的要求。
- c) 开关启动报警：报警通常由温度控制器上的辅助触点启动。
- d) 电流传感装置：该装置由温度控制旁路开关和电流表，或电流敏感型继电器和报警器组成。
- e) 自诊断报警：该报警由电控制器内的诊断电路启动。当内部控制故障、数据处理逻辑回路故障或温度传感装置的故障时发出信号。
- f) 断开设备报警：该报警由断开设备上的辅助触点激活，指示“断开设备已打开”。

9 配电

9.1 一般规定

本条文提出了电伴热系统的供配电设计的原则。

9.2 电源和电压偏差

宜采用 660V 或 380V。当电网系统中的电机负荷较多、较频繁起动时，在进行电伴热系统设计，国外有些项目建议考虑+10%和-20%的供电电源电压偏差。

9.3 配电屏、配电箱和分配电箱

为了规范配电屏、配电箱和分配电箱的设计原则，本条款给出了相关规定。

9.5 电气保护

为了规范电气保护原则，本条对电伴热系统的电气保护原则作出了规范要求。

10 绝热层

石油化工有限公司工艺管道、容器等的绝热材料、厚度往往不由电伴热厂家确定，但电伴热设计应考虑绝热的影响。

11 其他要求

本条列出了部分电伴热系统设计的特殊要求。

11.3 每个弯通所需电伴热器长度建议不小于管线公称直径的 2 倍。每个法兰所需电伴热器长度建议不小于管线公称直径的 3 倍。

中华人民共和国
石油化学工业标准
石油化工电阻式伴热系统设计规范
SH/T 3212—2020

*

中国石化出版社出版发行
地址：北京市东城区安定门外大街 58 号
邮编：100011 电话：(010) 57512500
石化标准编辑部电话：(010) 57512453
发行部电话：(010) 57512575
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail: press@sinopec.com
北京艾普海德印刷有限公司印刷
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.75 字数 74 千字
2021 年 5 月第 1 版 2021 年 5 月第 1 次印刷

*

书号：155114·1824 定价：55.00 元
(购买时请认明封面防伪标识)