

管道伴热选型、设计、施工

Pipeline Heat Tracing Selection, Design, Construction

选型须知的参数

电伴热系统选型设计的原则是：根据对电伴热保温系统计算求出的所需维持温度时的热量损失，用一定规格、数量的电伴热产品所产生的等值热量进行替代补偿。为此，在选型设计之前，必须要先确定下列各参数：

- (1)管道内介质(物料)的工艺上限温度(T_上)和下限温度(T_下)。
- (2)介质管道材料、公称直径(DN)、长度(m)和管道附件(闸门、弯头、法兰、托架等)数量。
- (3)产品安装处冬季最低气温(T₀)和年平均气温(T_{平均})可查“全国主要城市气象资料”得到。
- (4)拟用何种材质的保温材料？其厚度(δ)为多少 mm？

注：保温层的经济厚度可根据国家标准“GB4272”、“GB8175-87”或中石化总公司标准“SHJ10-90”进行计算确定。

- (5)是否安装在易燃、易爆场所？属几类防爆场所？是室内还是室外？室外风速有多大？是管架敷设还是埋在地下？安装场所是否有腐蚀性气(液)体。

- (6)管道附近有哪几种电源，容量、电压是否满足要求，对电网平衡是否有要求？

管道散热功率和需用电伴热线长度的计算要确定电伴热线需要使用的长度，首选要计算出管道的散热功率，然后计算管道附件的散热功率，最后根据加热管路系统的总散热功率，计算出需用电伴热线的规格和长度。

具体计算方法如下：

- (1)求单位长度管道的散热功率 P_实

- ①求单位长度管道标准散热功率 P_标

若已知：管道内径 DN(mm)和要求介质工艺温度上限为 T_上(℃)，下限为 T_下(℃)；当地最低环境温度 T₀(℃)；保温材料导热系数为 λ [W / (m·℃)]；保温材料厚度为 δ (mm)。

则：管道内介质工艺温度

$$T_{介} = (T_{上} + T_{下}) / 2 \text{ } ^\circ\text{C} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{最大温差 } \Delta T = T_{介} - T_0 = (T_{上} + T_{下}) / 2 - T_0 \text{ } ^\circ\text{C} \dots\dots\dots(5)$$

然后根据 DN、ΔT、δ 三个参数查“表 6”可得出厚度为 δ 的玻璃纖維保温材料，在风速 9m/s 的室外单位长度金属管道的标准热散失功率 P_标(W/m)。如果“表 6”中没有直接所求的 ΔT(或 DN 或 δ)数值，则可采用“数学内插法”或“坐标作图法”求值。

- ②求单位长度管道的实际热散失功率 P_实计算公式：

$$P_{实} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot P_{标} \dots\dots\dots(6)$$

式中：P_实—单位长度管道实际热散失功率；

P_标—单位长度管道的标准热散失功率，由“表 6”求得；

K₁—保温材料导热系数修正值，查“表 7”可得；

K₂—管道的修正系数，查“表 8”；

K₃—风速的修正系数，查“表 9”。

单位长度管道应敷设电伴热线的长度系数 K 管

计算公式:

$$K_{管} = P_{实} / P_0 (\geq 1) \dots \dots \dots (7)$$

式中: P 实—单位长度管道的实际散热功率, 由公式 6 计算出, 单位 W/m。

P₀ 能适用于介质最高维持温度的伴热线的米功率, 查产品电性能表选取表 6。

表 6: 管道散热量(Q 标)条件: 金属、玻璃纤维保温材料、室外、风速 9m/s。 单位: W/m

保温厚度mm	温差 ΔT ℃	管道内径(mm/英寸)														
		15	25	40	50	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600
		1/2"	1"	1.5"	2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
10	20	7.2	10.1	13.6	16.4	23.0	28.8	41.1	52.6	64.7	76.1	83.3	94.6	105.9	117.2	139.3
	30	11.0	15.4	20.7	24.9	35.0	43.8	62.5	80.0	98.5	115.8	126.7	143.9	161.1	178.3	212.6
	40	14.9	20.8	27.9	33.7	47.3	59.2	84.5	108.2	133.2	156.6	171.3	194.6	217.9	241.1	287.4
20	20	4.6	6.2	8.0	9.5	13.0	16.0	22.5	28.5	34.9	40.9	44.7	50.7	56.7	62.6	74.6
	30	7.0	9.4	12.2	14.5	19.8	24.4	34.3	43.4	52.2	62.3	68.0	77.1	86.2	95.3	113.4
	40	9.5	12.7	16.5	19.6	26.7	33.1	46.3	58.7	71.9	84.2	92.0	104.3	116.6	128.9	153.4
25	20	4.1	5.3	6.9	8.1	10.9	13.4	18.6	23.5	28.7	33.5	36.5	41.4	46.2	51.1	60.7
	30	6.2	8.1	10.4	12.3	16.6	20.3	28.3	35.7	43.6	51.0	55.6	63.0	70.3	77.7	92.4
	40	8.4	11.0	14.1	16.6	22.4	27.5	38.2	48.3	59.0	69.0	75.2	85.2	95.1	105.1	124.9
30	20	3.7	4.8	6.1	7.1	9.5	11.6	15.9	20.0	24.4	28.5	31.0	35.1	39.2	43.2	51.3
	30	5.6	7.3	9.2	10.8	14.4	17.6	24.3	30.5	37.1	43.3	47.2	53.4	59.6	65.8	78.1
	40	7.6	9.8	12.5	14.6	19.5	23.8	32.8	41.3	50.2	58.6	63.8	72.7	80.6	88.9	105.6
40	20	3.2	4.0	5.0	5.8	7.6	9.2	12.6	15.7	19.0	22.1	24.0	27.4	30.2	33.3	39.4
	30	4.8	6.1	7.7	8.9	11.6	14.1	19.1	23.9	28.9	33.6	36.6	41.3	45.9	50.6	60.0
	40	6.5	8.3	10.4	12.0	15.7	19.0	25.9	32.3	39.1	45.5	49.4	55.8	62.1	68.5	81.1
50	20	2.8	3.6	4.4	5.0	6.5	7.8	10.5	13.1	15.7	18.2	19.8	22.3	24.7	27.2	32.2
	30	4.3	5.4	6.7	7.7	9.9	11.9	16.0	19.9	23.9	27.7	30.1	33.9	37.6	41.4	48.5
	40	5.9	7.3	9.1	10.4	13.4	16.1	21.7	26.9	32.3	37.5	40.7	45.8	50.9	56.0	66.2
60	20	2.3	2.8	3.4	3.8	4.8	5.7	7.4	9.0	10.7	12.3	13.3	14.9	16.4	18.0	21.1
	30	3.5	4.3	5.2	5.8	7.3	8.6	11.3	13.7	16.3	18.7	20.2	22.6	25.0	27.4	32.1
	40	4.8	5.8	7.0	7.9	9.9	11.6	15.2	18.5	22.0	25.3	27.3	30.6	33.8	37.0	43.5
80	20	2.3	2.8	3.4	3.8	4.8	5.7	7.4	9.0	10.7	12.3	13.3	14.9	16.4	18.0	21.1
	30	3.5	4.3	5.2	5.8	7.3	8.6	11.3	13.7	16.3	18.7	20.2	22.6	25.0	27.4	32.1
	40	4.8	5.8	7.0	7.9	9.9	11.6	15.2	18.5	22.0	25.3	27.3	30.6	33.8	37.0	43.5
100	20	2.3	2.8	3.4	3.8	4.8	5.7	7.4	9.0	10.7	12.3	13.3	14.9	16.4	18.0	21.1
	30	3.5	4.3	5.2	5.8	7.3	8.6	11.3	13.7	16.3	18.7	20.2	22.6	25.0	27.4	32.1
	40	4.8	5.8	7.0	7.9	9.9	11.6	15.2	18.5	22.0	25.3	27.3	30.6	33.8	37.0	43.5
120	20	2.3	2.8	3.4	3.8	4.8	5.7	7.4	9.0	10.7	12.3	13.3	14.9	16.4	18.0	21.1
	30	3.5	4.3	5.2	5.8	7.3	8.6	11.3	13.7	16.3	18.7	20.2	22.6	25.0	27.4	32.1
	40	4.8	5.8	7.0	7.9	9.9	11.6	15.2	18.5	22.0	25.3	27.3	30.6	33.8	37.0	43.5
140	20	2.3	2.8	3.4	3.8	4.8	5.7	7.4	9.0	10.7	12.3	13.3	14.9	16.4	18.0	21.1
	30	3.5	4.3	5.2	5.8	7.3	8.6	11.3	13.7	16.3	18.7	20.2	22.6	25.0	27.4	32.1
	40	4.8	5.8	7.0	7.9	9.9	11.6	15.2	18.5	22.0	25.3	27.3	30.6	33.8	37.0	43.5
160	20	2.3	2.8	3.4	3.8	4.8	5.7	7.4	9.0	10.7	12.3	13.3	14.9	16.4	18.0	21.1
	30	3.5	4.3	5.2	5.8	7.3	8.6	11.3	13.7	16.3	18.7	20.2	22.6	25.0	27.4	32.1
	40	4.8	5.8	7.0	7.9	9.9	11.6	15.2	18.5	22.0	25.3	27.3	30.6	33.8	37.0	43.5
180	20	2.3	2.8	3.4	3.8	4.8	5.7	7.4	9.0	10.7	12.3	13.3	14.9	16.4	18.0	21.1
	30	3.5	4.3	5.2	5.8	7.3	8.6	11.3	13.7	16.3	18.7	20.2	22.6	25.0	27.4	32.1
	40	4.8	5.8	7.0	7.9	9.9	11.6	15.2	18.5	22.0	25.3	27.3	30.6	33.8	37.0	43.5

表7：保温材料导热系数及保温修正系数 K_1

保温材料	导热系数[W/(m·K)]10°C时	保温系数
玻璃纤维(管壳、棉毡)	0.036	1.0
岩棉(管壳、棉毡)	0.044	1.22
矿渣棉	0.038	1.06
水泥蛭石管壳	0.128	3.6
珍珠岩管壳	0.047	1.31
硅酸钙	0.054	1.50
石棉松绳	0.084	2.33
泡沫石棉	0.04~0.048	1.11~1.33
聚氨酯泡沫塑料	0.024	0.67
发泡塑料	0.042	1.17

表8：管道材料修正系数 K_2

管道材料	修正系数
碳钢	1.0
铜	0.9
不锈钢	1.25
塑料	1.5

表9：风速的修正系数 K_3

环境条件	修正系数
室外风速20m/s	1.10
室外风速9m/s	1.0
室外风速5m/s	0.95
室内	0.9

表10：风的级数与风速之间的关系表

风级数	风速(m/s)	风级数	风速(m/s)	风级数	风速(m/s)
1	0.3~1.5	5	8.0~10.7	9	20.8~24.4
2	1.6~3.3	6	10.8~13.8	10	24.5~28.4
3	3.4~5.4	7	13.9~17.1	11	28.5~32.6
4	5.5~7.9	8	17.2~20.7	12	32.7~36.9

(2) 求管道附件的散热功率

①每个阀门需用加热线长度 $L_{阀}$ 为1m等径管道电热电缆长度系数 $K_{管}$ 乘以阀门修正系数 $K_{阀}$

即：

$$L_{阀} = K_{阀} \cdot K_{管} \dots\dots\dots (8)$$

式中： $K_{阀}$ —阀门修正系数，查“表11”可得

表 11：阀门修正系数 $K_{阀}$

阀门类别	闸阀	球心阀	球阀	蝶阀	节流阀
修正系数	1.3	1.2	0.8	0.7	0.7

②每个法兰需用加热线长度 $L_{法}$ 为管道直径DN的2倍；

$$L_{法} = 2 \cdot DN \cdot K_{管} \dots\dots\dots (9)$$

③每个弯头需要用加热线长度 $L_{弯}$ 为管道直径DN的1.5倍；

$$L_{弯} = 1.5 \cdot DN \cdot K_{管} \dots\dots\dots (10)$$

④每个托架需用加热线长度 $L_{架}$ 为管道直径DN的4倍；

$$L_{架} = 4 \cdot DN \cdot K_{管} \dots\dots\dots (11)$$

(3) 管道电伴热系统所需加热线的总长度

一处完整的电加热系统所需加热线总长度 $L_{总}$ 为各段管道所需电伴热线长度之和，再加上各种管道附件所需的加热线长度为安装用长度。

即：

$$L_{总}=a \cdot K_{管}+b_1 \cdot L_{阀}+ b_2 \cdot L_{法}+ b_3 \cdot L_{弯}+ b_4 \cdot L_{架}+L_{安} \cdots \cdots (12)$$

式中：a —管道总长度，m

$K_{管}$ —单位长度管道敷设电伴热线的长度系数，由公式5求取。

b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 —分别为管道阀门、法兰、弯头和托架的个数。

$L_{阀}$ 、 $L_{法}$ 、 $L_{弯}$ 、 $L_{架}$ —分别为管道阀门、法兰、弯头和托架需用加热电缆的长度，可由公式(8) (9) (10) (11)求得。

$L_{安}$ —安装用长度，视各种接线盒总数确定，一般每个接线盒留1米长度。

电伴热线选型

计算出管道的散热量后，就可以进行具体的选型。

(1) 根据供电条件，电网负荷及电伴热电缆使用长度等因素来选择电伴热电缆的型号、电压等级，以便确定用并联式还是串联式，是单相还是三相。对于长输管线，为使一个电源接线盒能传输尽可能长的距离，以减速少配电盒数量，则可用三相电伴热电缆。

(2) 根据管道总散热量和选定的电缆米功率，计算出长度，由于现场管线的长度不易准确确定，因此订货长度一般应计算长度增加5%~10%。

电伴热线选型计算示例

某厂一条长100米的3" 介质工艺温度保持在90℃~110℃之间，管道为带有二个闸阀的焊接钢管道，敷设在室外；该地区冬季最冷为-15℃，年平均气温8℃，最大风速20m/s，采用厚度为50mm岩棉保温，该管线附近有三相四线制的低压电源线，试进行电伴热电缆的选型和年用电量计算。解：

(1) 计算管道标准散热量： $\Delta T=(90+110)/2-(-15)=115^\circ\text{C}$ ，又据DN=3" 保温层厚 $\delta=50\text{mm}$

查表6，当 $\Delta T=100^\circ\text{C}$ 时， $P_{标1}=36.7\text{W/m}$ ；当 $\Delta T=120^\circ\text{C}$ ， $P_{标2}=45.5\text{W/m}$

用内插法计算 $\Delta T=115^\circ\text{C}$ 时标准散热功率：

$$P_{标}=36.7+(45.5-36.7) \div (120-100) \times (115-100)=43.3(\text{W/m})$$

(2) 单位长度管道实际散热功率： $P_{实}=K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot P_{标}=1.22 \times 1.0 \times 1.10 \times 43.3=58.1(\text{W/m})$

(3) 电伴热线的管道敷设系数：

选用 $P_0=30\text{W/m}$ 的电伴热线， $K_{管}=P_{实}/P_0=58.1 \div 30 \approx 2$

(4) 管道附件所需电伴热电缆长度： $L_{阀}=K_{阀} \cdot K_{管}=1.3 \times 2=2.6(\text{m})$

(5) 管道所需电伴热线总长度： $L_{总}=a \cdot K_{管}+ b_1 \cdot L_{阀}=100 \times 2+2 \times 2.6=205.2(\text{m})$

(6) 管道伴热总功率： $P_{总}=L_{总} \cdot P_0=205.2 \times 30=6156(\text{W})$

(7) 查表计算：

$$\Delta T=(90+110)/2-8=92^\circ\text{C}$$

单位长度管道年平均散热功率：

$$P_{平均}=28.5+\frac{36.7-28.5}{100-80} \times (92-80)=33.42(\text{W/m})$$

每年用电量为:

$$Q_{\text{平均}}=33.42 \times 100 \div 1000 \times 24 \times 365=29276 \text{ (kWh)}$$

有关公式

(1)管道热损失公式:

$$P_T = \frac{2\pi\lambda(T_{\text{管}} - T_0)}{\ln[(d + 2\delta) \div d]} \dots\dots\dots(13)$$

式中: P_T — 管道实际散热量, W /m;

λ — 保温材料的导热系数W/(m·°C);

t_0 — 冬天最低气温°C;

d — 管道外径mm;

δ — 保温层厚度mm。

(2)电能量的换算公式: $1\text{kW}\cdot\text{h}=860\text{k cal} \dots\dots\dots(14)$

(3)保温材料导热系数单位换算公式: $1\text{kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{°C})=1.16\text{W}/(\text{m}\cdot\text{°C}) \dots\dots(15)$

电伴热产品安装与运行

(1)安装用附件

- ★ 电伴热控制柜: 用于电伴热系统的配电与控制。有单路、多路220V/380V, 可根据要求定制。
- ★ 不锈钢卡箍: 可用于电伴热线与管道在潮湿有腐蚀性场合、温度较高场合的强力固定, 也可用于防爆附件的固定。宽度13mm, 长度可任意剪切。
- ★ 铝胶带: 用于电伴热线的辅助固定, 宽40mm~50mm, 特点是接触面积大, 有一定的导热作用, 但强度较差。
- ★ 耐热胶带: 用于电伴热线的辅助固定, 宽20mm, 特点是有一定强度。
- ★ 热收缩管: 用于非防爆场合, 干燥性环境或防护等级要求不高场合的电源与电伴热线的绝缘或电伴热线与电伴热线之间的绝缘, 以及电伴热线尾端的封头。
- ★ 电源电缆: 用于防爆控温和电源接线盒的电源引线。
- ★ 密封硅胶: 用于接头的密封。
- ★ 电源接线盒: 用于电源电缆与电伴热线之间的连接。
- ★ 中间盒: 用于电伴热线与电伴热线之间的连接。
- ★ 尾端盒: 用于电伴热线尾端的密封。

注: FJC系列电伴热线所用的中间盒、电源接线盒、尾端盒不能与ZSJ R系列加热线通用。

(2)安装运行

- ①产品安装前, 首先要了解和掌握电伴热产品的结构、性能及安装方法。
- ②电伴热线应在管路安装结束, 并经水压试验(或气密试验)检查合格后再进行安装, 电伴热安装后, 严禁电焊、气焊作业, 而安装保温层, 防水层应在电伴热系统安装、调试合格, 并试供电正常后进行。
- ③电伴热线放线时严禁打折, 或在地上拖。
- ④电伴热线一般安在管路下方, 用铝箔胶带粘贴在管道上。并且边施工边粘贴, 并用力压实, 使之与管道紧密接触。
- ⑤电伴热线安装时最小弯曲半径为: 一般不小于其直径10倍。
- ⑥ZSJ R电伴热线外管应可靠接地。由于ZSJ R电伴热绝缘物为矿物质, 极易吸潮, 应烘干后用胶封住头尾。
- ⑦电伴热线外管应逐个回路进行电气测试, 先用500V兆欧表检查绝缘电阻, 再用万用表测量直流电阻值, 还

要检查三相电阻是否平衡，正常后可试送电。

⑧试送电后，检查电伴热线各段发热情况，并检查电气各参数是否正常。

⑨试送电正常后，停电进行保温层和防水施工，保温层要干燥，且要保证其质量和厚度，安装时要防止损坏伴热线。

⑩安装防水及保温层后，需重新测试，合格后方可送电，带负荷运行5小时以上，无问题后可宣告电伴热线施工完毕。

(3) 电伴热线安装使用注意事项

- a. 保温施工时，注意不要损伤伴热带。
- b. 安装和存放要避免化学侵蚀和机械损伤，电伴热线不得承受过大拉力，严禁冲击、锤打。
- c. 电伴热线连接附件安装时应暴露在保温层外，不得隐蔽，以便检修。
- d. 敷设的管线表面应无油污、杂物及锐利的棱边锐角，若有应打磨光滑，再粘上铝胶带遮盖上。
- e. FJC电伴热线敷设禁止交叉、重叠，以防过热，影响使用寿命。
- f. 实际敷设电伴热线的长度会由于管道接头、阀门等，而比计算值略大，因此订货时一般应比计算长度增加5%~10%。
- g. 安装前应测量绝缘电阻 $\geq 10 \text{ M}\Omega$ ，芯线电阻合格，方可进行安装，安装后绝缘电阻 $\geq 10 \text{ M}\Omega$ ，芯线电阻合格，方可进行试运行。
- h. 试运行前，应检查电控柜各功能开关，接线是否正常，各部分工作无异常方可进行管道的保温施工。
- i. 根据管道走向，在保温层外沿线贴警示标牌。
- j. 电伴热线电源连接处应牢固、紧密。
- k. 电伴热线的安装必须在管线和周围紧邻管路全部安装结束，并经水压试验(或气密试验)检查合格，管壁防锈漆干燥后开始。电伴热线安装后，严禁电焊、乙炔焊作业，以防止电焊引弧损坏电伴热线。
- l. 天气潮湿，阴雨天，禁止施工。
- m. 法兰处易产生泄漏，敷设应避免其正下方，管道附件或设备有拆卸的可能性，安装时应作充分考虑。

订货须知

订货时应注明加热电缆的：

- ①型号、规格、米功率
- ②数量
- ③使用温度及是否有防爆要求
- ④其它技术及质量要求
- ⑤订货单位的地址、电话及联系人等。