

电力机车司机室空调负荷的计算

倪 勇

(电气工程系)

摘 要 本文参照建筑物空气调节负荷的计算方法,借鉴国外有关铁路机车司机室空气调节的研究成果并结合我国的实际情况,以SS-Ⅲ型电力机车为例,对电力机车司机室的空调负荷量进行了计算¹⁹。

关键词 电力机车;司机室空调;负荷计算

分类号 U 260 .38

0 引 言

我国地域广阔,大部分铁路所经过的地区,其夏季白天平均气温为 $27\sim 33^{\circ}\text{C}$,在南方白天的气温常在 35°C 以上¹⁹。由于电力机车本身是一个发热体及车体铁制外壳,在阳光直射下吸热等原因,机车司机室内的气温一般比外界的气温总要高一些¹⁹。此外,往往还会伴随下列情况,即司机室内空气湿度较低或较高,大阳光线直接照射到机车乘务员的工作位置上等等¹⁹。总的来说,在夏季,司机室小范围内的气候条件是较差的¹⁹。

当人们在上述条件下工作时,身体就会感到不适,劳动积极性、注意力、反应能力下降,从而降低了铁路运输的安全性¹⁹。根据西柏林科技大学的研究结果,当外界气温为 32°C 时,无空调系统的运输设备比有空调系统的运输设备的事故率高40%¹⁹。而且在不舒适的条件下持续从事生产业务,对人们的健康不利¹⁹。因此,国外有些国家(如前苏联)就对司机室小气候的最佳参数进行了研究并提出了要求¹⁹。即对于各种气候条件下的地区,当外界气温为 33°C 时,司机室的气温应在 24°C ,在外界气温更高的情况下,司机室的气温应比外界气温低 $15\sim 16^{\circ}\text{C}$ 或 $10\sim 12^{\circ}\text{C}$ ¹⁹。此外,还要求司机室内空气相对湿度为20%~70%,气流速度不大于 0.7 m/s ,送入的空气量不小于 $100\text{ m}^3/\text{h}$ 等等¹⁹。虽然上述要求并不完全符合我国国情,但仍可借鉴¹⁹。为改善夏季司机室的小气候,目前,在部分国产电力机车的司机室中装设了空调系统¹⁹。但在实际运行中,大多数制冷效果并不理想,其中一个重要原因是缺乏对司机室空调冷负荷进行科学的理论计算¹⁹。

本文就电力机车司机室空调冷负荷的计算进行一些探讨¹⁹。

1 司机室空调冷负荷的计算

司机室热工状况的改善程度取决于司机室内的热流量,也取决于空调机的制冷能力¹⁹。如果空调机功率过大,不仅造成浪费,并且空调机的参数(如功率、外形尺寸、重量等)都将过大¹⁹。功率过小,又达不到预期的效果¹⁹。

司机室空调机的冷负荷主要来自以下热源

- (1) 从室外通过墙壁传入的热量;
- (2) 通过玻璃窗传入的热量;
- (3) 人体的热量;
- (4) 打开门窗时进入的热量;
- (5) 室内设备发出的热量¹⁹。

为正确计算空调负荷,必须考虑所有热源¹⁹。

1.1 通过墙壁进入司机室的热量 Q_1

通过墙壁传入司机室的热量可分为两部分:一是由于室内外空气温差引起的热量;二是太阳辐射墙壁使墙壁温度升高而引起的热量¹⁹。考虑到机车构造的特殊性,计算时,这两部分热量可一并考虑,即采用极端情况下的近似计算¹⁹。可认为两部分热量是由司机室的上、前、左、右四壁及隔墙进入的,并且假设前四个面的墙壁温度梯度是一样的,计算公式如下

$$Q_1 = KA(t_1 - t_2) \quad (13)$$

式中 K —— 传热系数, $W/(^{\circ}C \cdot m^2)$ ¹⁹。机车司机室内外壁之间的构架孔格内装有超细玻璃棉缝合毡等隔热材料,隔热层厚度一般在60~100 mm 的范围内¹⁹。在这种情况下非透明墙壁的平均传热系数为 $1.5 \sim 1.7 \times 1.163 W/(^{\circ}C \cdot m^2)$;

A —— 司机室墙壁计算面积(玻璃窗除外), m^2 ¹⁹。司机室前、左、右、上四壁的面积通过计算约为 $21.4 m^2$ (不包括窗户面积) 隔墙面积约为 $6.6 m^2$ (SS-III型机车);

$t_1 - t_2$ —— 通过墙壁的温度梯度, $^{\circ}C$ ¹⁹。其中 t_1 为室外的最高综合温度¹⁹。夏季在阳光的直射下,司机室外综合温度可达60~70 $^{\circ}C$ 左右,机车动力间内温度可达50 $^{\circ}C$ ^[4]左右; t_2 —— 为室内空调设定温度¹⁹。考虑到我国国情建议司机室设定温度为28 $^{\circ}C$ ^{[3][5]} ¹⁹。

则

$$Q_1 = 1.7 \times 1.163 \times 21.4 \times (70 - 28) + 1.7 \times 1.163 \times 6.6 \times (50 - 28)$$

$$= 1777.02 + 287.07$$

$$= 2064.09 (W) \quad 19.$$

1.2 通过玻璃窗传入司机室的热量 Q_2

通过玻璃窗传入司机室的热量同样分为两部分¹⁹。一是由于室内外空气温差引起的热量;二是太阳辐射玻璃窗引起的热量,由于玻璃的透明性,由太阳辐射引起的热量不容忽视¹⁹。计算时应予以分别计算¹⁹。

1.2.1 室内外空气温差引起的热量 Q_{2-1} 计算

在司机室内,玻璃窗所占面积约为 $3 m^2$,玻璃窗冷负荷计算温度的取值,考虑到机车的流动性,宜取高温地区可能达到的最高值,如长沙为40.6 $^{\circ}C$ ¹⁹。从全国大部分地区的极端最高温度来看,建议室外温度取值为40 $^{\circ}C$,则计算公式如下

$$Q_{2-1} = KF(t_w - t_2) \quad (13)$$

式中 K —— 窗户传热系数, $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$;

F —— 窗户面积, m^2 ;

t_w —— 夏季室外最高温度,℃¹⁹.

司机室窗户均为橡胶框结构,前窗玻璃厚度为 $2\times 5\text{ mm}$,侧窗玻璃厚度为 5 mm ,前窗玻璃面积 $F_1 = 1.73\text{ m}^2$,侧窗面积为 $F_2 = 2\times 0.69\text{ m}^2$,对于前窗其传热系数 $K_1 = 3.01\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{℃})$,侧窗传热系数为 $K_2 = 5.94\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{℃})$,则有

$$\begin{aligned} Q_{2-1} &= K_1 F_1 (t_w - t_2) + K_2 F_2 (t_w - t_2) \\ &= 3.01 \times 1.73 \times (40 - 28) + 5.94 \times 1.38 \times (40 - 28) \\ &= 160.85(\text{W}) \end{aligned} \tag{13}$$

1 2 2 太阳辐射引起的热量 Q_{2-2} 的计算

计算公式为

$$Q_{2-2} = X_z F J_z C_L$$

式中 X_z —— 窗户的遮阳系数;
 J_z —— 透过玻璃的太阳光辐射强度, W/m^2 ;
 C_L —— 玻璃窗的冷负荷系数¹⁹.

这里,前窗的遮阳系数 $X_{z1} = 1$,侧窗采用深绿色窗帘遮阳,其综合遮阳系数 $X_{z2} = 1 \times 0.60 = 0.60$ ⁽¹³⁾考虑到同一时刻前窗、两边侧窗其朝向是不同的,而不同朝向太阳辐射强度也不同,因此,计算时应分别予以计算,取最大值⁽¹³⁾通过比较,在 北纬 30° 地区,当机车前窗朝向为东或西时,所受太阳辐射强度为最大,其最大幅射强度分别为: $J_{z\text{东}} = J_{z\text{西}} = 538\text{W}/\text{m}^2$, $J_{z\text{南}} = 173\text{ W}/\text{m}^2$, $J_{z\text{北}} = 115\text{ W}/\text{m}^2$,玻璃窗的冷负荷系数在不同朝向出现最大值、出现的时刻及辐射热量值分别如表1所示¹⁹.

表1 不同朝向玻璃窗不同时间的冷负荷系数及辐射热量值

窗朝向		时 间							
		8 时	9 时	10 时	11 时	12 时	13 时	14 时	15 时
前窗	$C_{L\text{东}}$	0.49	0.60	0.56	0.37	0.29	0.29	0.28	0.26
	$Q_{2-2\text{东}}$	456.06	558.44	521.21	344.37	269.91	269.91	260.61	241.99
侧窗	$C_{L\text{南}}$	0.26	0.40	0.58	0.72	0.84	0.80	0.62	0.45
	$Q_{2-2\text{南}}$	18.62	28.65	41.54	51.57	60.16	57.30	44.41	32.23
	$C_{L\text{北}}$	0.54	0.65	0.75	0.81	0.83	0.83	0.79	0.81
	$Q_{2-2\text{北}}$	12.36	30.95	35.71	38.56	39.52	39.52	37.61	33.80
Q_{2-2}		487.04	618.04	598.46	434.5	369.59	366.73	342.63	308.02

表中 Q_{2-2} 的计算公式为:

$$\begin{aligned} Q_{2-2} &= Q_{2-2\text{东}} + Q_{2-2\text{南}} + Q_{2-2\text{北}} = X_{z1} F_1 J_{z\text{东}} C_{L\text{东}} + \\ &X_{z2} F_2 J_{z\text{南}} C_{L\text{南}} + X_{z2} F_2 J_{z\text{北}} C_{L\text{北}} = 1 \times 1.73 \times 538 \times C_{L\text{东}} + \\ &0.6 \times 0.69 \times 173 \times C_{L\text{南}} + 0.6 \times 0.69 \times 115 \times C_{L\text{北}} \end{aligned}$$

由表可见,出现最大冷负荷的时刻为9时,其辐射热量的最大值为 $Q_{2-2} = 618.04\text{ W}$ ¹⁹.

1 2 3 通过玻璃窗传入司机室的热量 Q_2

$$Q_2 = Q_{2-1} + Q_{2-2} = 160.85 + 618.04 = 778.89(\text{W})$$

1.3 换气热 Q_3

据有关数据,司机室新鲜空气的进入量,夏季白天为 $20 \sim 25 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})^{[6]}$,按司机室最多乘员人数4人计算,取 $100 \text{ m}^3/\text{h}$,保证司机室内空气新鲜度¹⁹.

进入司机室的室外空气被冷却到司机室内的空气参数,所放出的热量称为换气热,其计算公式为

$$Q_3 = 1.163 n V \rho (h_w - h_n)$$

式中 V —— 司机室净容积, m^3 ;

n —— 每小时换气次数,等于每小时换气量 $/V$;

ρ —— 司机室空气密度, kg/m^3 , 28°C 时, $\rho = 1.172 \text{ kg}/\text{m}^3$;

h_n, h_w —— 室内、室外空气焓值, J/kg ¹⁹.

焓值的计算公式如下

$$h = 0.24t + (597.3 + 0.441t) \times 0.001d,$$

$$d = 622 \frac{\Phi p_B}{B - \Phi p_B} \quad (13)$$

式中 B —— 标准大气压, $B = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$;

p_b —— 饱和水蒸气的分压力, Pa ;

Φ —— 空气的相对湿度, %;

i —— 空气的焓, J/kg ;

t —— 空气的温度, $^\circ\text{C}$;

d —— 空气的含湿量, g/kg ¹⁹.

1.3.1 h_n 的计算

司机室内空气参数设定为: $\Phi = 70\%$, $t = 28^\circ\text{C}$, $B = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, 则查表得 $p_b = 0.0378 \times 10^5 \text{ Pa}$

$$\text{则 } d = 622 \times \frac{0.70 \times 1.013 \times 10^5}{1.013 \times 10^5 - 0.70 \times 0.0378 \times 10^5} = 16.68 (\text{g}/\text{kg}) \quad (13)$$

$$h_n = 0.24 \times 28 + (597.3 + 0.441 \times 28) \times 0.001 \times 16.68 = 16.89 (\text{J}/\text{kg}) \quad (13)$$

1.3.2 h_w 的计算

司机室外空气参数以北纬 30° 左右区域内为例: $\Phi_{\max} = 80\%$, $t_{\max} = 40^\circ\text{C}$, $B = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, 则查表得 $p_b = 0.0738 \times 10^5 \text{ Pa}$

$$\text{则 } d = 622 \times \frac{0.80 \times 0.0738 \times 10^5}{1.013 \times 10^5 - 0.0738 \times 10^5} = 38.50 (\text{g}/\text{kg}) \quad (13)$$

$$h_w = 0.24 \times 40 + (597.3 + 0.441 \times 40) \times 0.001 \times 38.50 = 33.28 (\text{J}/\text{kg}) \quad (13)$$

1.3.3 Q_3 的计算

$$Q_3 = \frac{100}{V} \times V \times 1.172 \times 1.163 \times (33.28 - 16.89) = 2234.02 (\text{W}) \quad (13)$$

根据机车运行中的实际情况,进入司机室的新鲜空气可以认为包括了以下几部分:(1) 门窗渗入的风量;(2) 司机巡视车内时关闭走廊门进入的空气;(3) 司机打开口门或侧窗时进入的空气¹⁹所以在计算换气热时已考虑了渗透热、开门热等¹⁹.

1.4 操作热 Q_4

因室内操作人员、各种发热设备工作等其他因素产生的热量称为操作热¹⁹主要包括照明热、动力热、人体热等¹⁹在机车司机室中,各种有电设备在运行过程中会散发出热量,但由于这部分电器设备绝大部分属于控制回路,电流小,电压低,其散热量相对其它热量小得很多,计算时可忽略¹⁹另外,司机室最大冷负荷出现在白天,所以由照明设备引起的热量也可忽略,因此操作热主要指人体热¹⁹人体热的计算公式如下

$$Q_4 = nq$$

式中

n ——司机室最大工作人员数⁽¹³⁾一般情况下为两人,个别情况下可达四人⁽¹³⁾计算时取 $n = 4$ 人;

q ——司机室每个人员所产生的散发热¹⁹司乘人员的工作性质为低强度工作,在温度为

28°C 时,每人的散发热为 182 W ,则

$$Q_4 = 4 \times 182 = 728 (\text{W})^{19}$$

由此可以计算出司机室空调总的冷负荷量 Q 为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 2\,064.09 + 778.89 + 2\,231.26 + 728 = 5\,805.0 (\text{W})^{19}$$

2 空调制冷量的选择

按以上的分析计算,可得出司机室空调的冷负荷量,它为选择空调制冷量提供了基本依据¹⁹必须指出,以上计算是按电力机车司机室空调冷负荷可能出现的最大值计算的¹⁹根据电力机车运行工况的特点,即电力机车在运行中经常要通过接触网分相段以及“跳弓”现象,若空调电源直接取自机车辅助电路,考虑到空调的“失电→保护延时→起动”特点,空调机的制冷量宜大不宜小,建议选择大于 $5\,800\text{ W}$ 为好;若用不间断电源作为空调电源,则空调机的制冷量可适当小些¹⁹.

参 考 文 献

- 1 单寄平¹⁹空调负荷实用计算法¹⁹北京:中国建筑工业出版社,1989
- 2 电子工业部第十设计研究院¹⁹空气调节设计手册(第二版)¹⁹北京:中国建筑工业出版社,1995.1~131
- 3 井上宇市著,范存养,钱以明等译¹⁹空气调节手册¹⁹北京:中国建筑工业出版社,1986.2~3
- 4 刘友梅¹⁹韶山Ⅲ型电力机车¹⁹北京:中国铁道出版社,1990
- 5 黄素逸,林秀诚,叶志瑾¹⁹采暖空调制冷手册¹⁹北京:机械工业出版社,1996.194~70
- 6 刘阳春¹⁹四季如春的空调列车¹⁹铁道知识,1995.3:20~21
- 7 О Е С. МИШЛЯЕВ 著,内燃机车司机室的空气调节装置(上)¹⁹沈虹译¹⁹国外内燃机车,1987(11):42~50
- 8 О Е С. МИШЛЯЕВ 著,内燃机车司机室的空气调节装置(下)¹⁹谷青译¹⁹国外内燃机车,1987.12:34~43

The Calculation of Aircondition Load in the Steering Room of an Electric Locomotive

Ni Yong

(Electrical Engineering Department)

Abstract By reference of the calculation method of aircondition load of a structure, with the help of abroad research achievements in the aircondition load in the locomotive steering room and in combination with the actual situation of our country, this article has made calculations of the aircondition load in the steering room of an electric locomotive.

Key words electric locomotive; steering room; aircondition; the calculation of aircondition load

(上接第38页)

The Implementation of CAI Software Based on FOXBASE Instruction

Ding Zhenfan

(Campus Network Information Center)

Abstract This paper presents the design of FOXBASE CAI system implemented by MFOXBASE⁺ in Novell network. The system combinds functions such as instruction demonstrating, experiment tutoring, exercise drilling, and paper testing.

Key words CAI; examination questions base; computer-aided test; computer-aided experiment