

多联机系统制冷剂输液管道 温度衰减特性研究*

中建国际(北京)设计顾问有限公司 郑 坤[☆]

西安建筑科技大学 李安桂 南晓红

中国建筑科学研究院 张 景

摘要 对一多联机集中空调系统夏季制冷剂输送管道的温度进行了测试,得到管道温度沿程变化曲线。分析了制冷剂在节流阀前不出现闪发的条件下,多联机作用半径的理论极大值。

关键词 多联机 制冷剂 闪发 温度 作用半径

Temperature decaying characteristics along refrigerant pipeline of multi-coupled unit air conditioning systems

By Zheng Kun[★], Li Angui, Nan Xiaohong and Zhang Jing

Abstract Tests the temperature of refrigerant pipeline of a multi-couple unit central air conditioning system in summer, and obtains the temperature change curves along the refrigerant pipeline. Analyses and finds the maximum theoretical action radius under the condition of no flash vaporization upper stream side of the throttle.

Keywords multi-couple unit, refrigerant, flash vaporization, temperature, action radius

★ China Construction (Beijing) Design International Co., Ltd., Beijing, China

①

由于空调多联机的应用越来越广泛,我们应重视并研究多联机系统设计中存在的问题。最重要的是其作用半径要适当,要考虑高压液管和吸气管的长度和高差引起的沿程阻力、三通分歧管和弯头引起的局部阻力的影响。如果制冷剂管路过长,其管路的沿程阻力加大,总的阻力损失也越大,甚至会出现闪发,导致末端室内机的制冷效率降低^[1]。管路过长,部分润滑油有可能会沉积在管道内而无法回到压缩机,使系统出现故障。由于这些因素的存在,现在的多联机制冷剂配管最长约为 250 m,这样就将它定位于中小型集中空调,因而设计师在面积较大或进深较大的场合对多联机的使用相当谨慎。因此在设计时,只要能适当地延长配管长度,多联机的优势是不言而喻的。

在本文中,笔者将对西安建筑科技大学环境与市政工程学院大楼所安装的多联集中空调 K-1 系统夏季制冷剂输送管道的沿程温度变化进行测

试,并分析实验条件下,为使制冷剂在节流阀前不出现闪发,其作用半径的理论极大值。

1 多联机制冷剂配管能量损失分析

制冷剂管道有:排气管、高压液管、低压液管和吸气管。本文主要研究高压液管与环境换热对制冷机性能的影响。

高压液管输送来自冷凝器或高压储液器的液体到蒸发器前的节流机构。由于管内制冷剂比较接近环境温度,它的换热情况是:因采用风冷式冷凝器,制冷剂液体温度略高于环境温度,制冷剂向环境散热,有助于液体过冷。但是管道外套有保温性能比较好的材料后,与环境的换热量大大减少,从而高压液管的压降造成的节流前液体过冷度降低或出现闪

* 西安建筑科技大学基础研究基金资助项目(编号:JC0611)

①☆ 郑坤,男,1982 年 11 月生,硕士研究生,助理工程师
100013 北京市朝阳区东土城路 12 号怡和阳光大厦 C 座
(0) 13910401942
E-mail: zk20000421@126.com
收稿日期:2007-11-16
一次修回:2007-12-28
二次修回:2009-04-08

发成为必须重视的问题。压降是由长度和高差引起的沿程阻力、三通分歧管和弯头引起的局部阻力引起的,它的影响因素有:管长、高差、管内壁粗糙度、三通分歧管和弯头数量、制冷剂流量等。所以必须根据系统情况仔细计算高压液管压降,通过提高高压液体出冷凝器或储液器时的过冷度予以补偿,过冷度最小要保证在高压液管可能的压降条件下,在节流阀前不出现闪发。

制冷剂管道尺寸按控制管内压降不超过允许值进行设计。原则上,要求排气管压降不使排气压力对应的饱和温度超过冷凝温度 2°C ,吸气管压降不使吸气压力对应的饱和温度低于蒸发温度 1°C 。按此要求确定管内径和管内流速。传统制冷剂(R12, R22, R502)的高压液管经验流速为 $0.5 \sim 1.5 \text{ m/s}^{[1]}$ 。

多联机系统的作用半径问题主要依靠高压液管和吸气管的长度解决,但是两种管道的长度分别受到不同因素的制约。一般而言,作用半径技术资料是通过测量逐步增加管长后的容量衰减来确定的。然而,多联机各生产商并没有统一的技术指标,像铜管材料、保温材料和厚度、制冷机性能等都不一样。本文从制冷技术的角度研究管长的理论极大值,它能保证在夏季高压液管可能的压降条件下,节流阀前不出现闪发。

2 空调多联机系统工质输送管道沿程温度测试及分析

K-1 空调系统的设计参照西安市气象参数。系统主机放置在 7 层屋顶,制冷剂管为紫铜管,外用保温管保温,制冷剂管进入每一房间的支管采用分歧管分流。

2.1 多联机工质管道温度测点布置方案

K-1 系统为智能变频一拖多系统,其室外机连接 2,3 层的 8 台室内机,测点布置如图 1 所示。干管液管管径 $\varnothing 12$,气管管径 $\varnothing 28$;连接室内机的支管液管管径 $\varnothing 10$,气管管径 $\varnothing 16$ 。制冷剂管道外壁面温度用热电偶传感器进行测量,热电偶测头分别粘贴在液管管壁的下部和气管管壁的上部^[2]。2,3 层水平管段测点用数据采集器集中采集,室外机出口和立管测点用数字万用表读取,并记录读数时刻。

2.2 制冷剂管温度衰减曲线

测试分别于 2006 年 8 月 11 日和 12 日进行,测试前 3 h 将测试系统室内机全开,并将室内温度

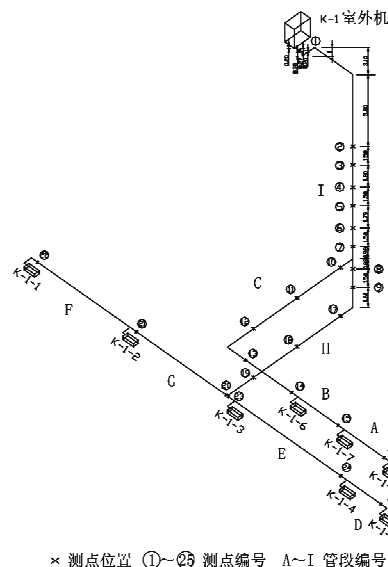


图 1 系统测点布置轴测图

稳定于 $25^{\circ}\text{C}^{[3]}$ 。

2.2.1 8 月 11 日测试结果

测试时室外温度为 36.5°C , 14:05 时的制冷剂管温度变化如图 2~4 所示。

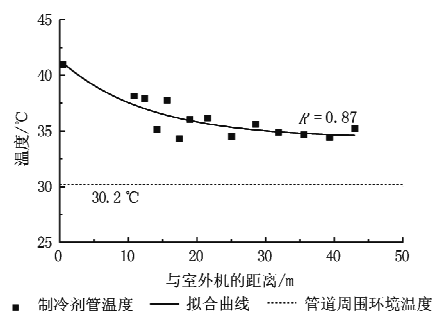


图 2 制冷剂管段 I-C-B-A 的温度变化

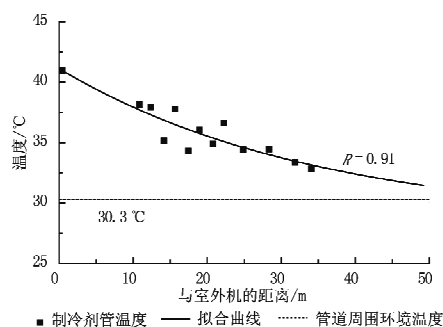


图 3 制冷剂管段 I-H-G-F 的温度变化

由图 2~4 可见,温度随管长 L 先快速下降,然后逐渐平缓,且当 L 分别等于 43.0, 49.16, 46.43 m 时,管壁温度稳定于 $34.6, 30.3, 31.4^{\circ}\text{C}$ (对应液体饱和压力分别为 1.34, 1.20, 1.24 MPa)。

由图 2~4 可知,制冷剂出口温度为 41.1°C ,

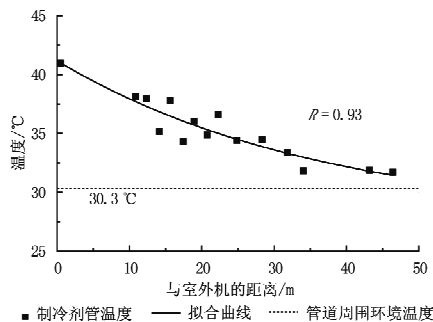


图4 制冷剂管段 I-H-E-D 的温度变化

由于冷凝器有 6℃过冷度,则冷凝温度为 47.1℃。快速温降主要发生在立管上,水平管温降减缓,随后趋于稳定。因制冷剂液体温度高于环境温度,制冷剂向环境散热^[1]。尤其是在前段,因为温差大而温降效果明显。但管道套管采用保温性能比较好的材料后,与环境的换热大大减弱,从而高压液管的压降易引起节流前液体过冷度降低或出现闪发。

2.2.2 8月12日测试结果

测试时室外温度为 35.8℃,14:00 时的制冷剂管温度变化如图 5~7 所示。

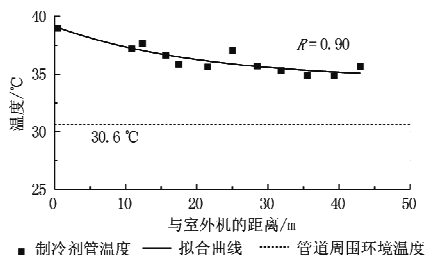


图5 制冷剂管段 I-C-B-A 的温度变化

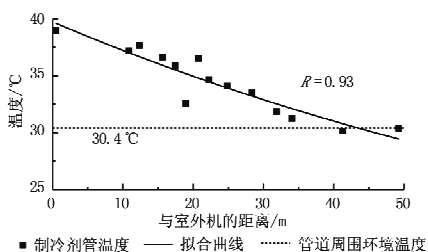


图6 制冷剂管段 I-H-G-F 的温度变化

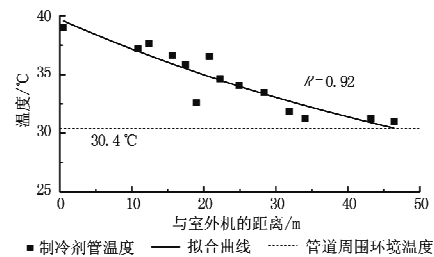


图7 制冷剂管段 I-H-E-D 的温度变化

由图 5~7 可见,温度均随管长先下降,然后逐渐平缓,且当 L 分别等于 43.0, 49.16, 46.43 m 时,管壁温度稳定于 35.0, 29.4, 30.4℃(对应液体饱和压力分别为 1.36, 1.17, 1.20 MPa)。

由图 5~7 可知,制冷剂出口温度为 39.5℃,由于冷凝器有 6℃过冷度,则冷凝温度为 45.5℃。快速温降主要发生在立管上,水平管温降减缓,随后趋于稳定。与 2006 年 8 月 11 日的测试相比,室外温度略低,3 层末端温度稳定值略高,2 层略低,从制冷剂出口到稳定段的温差较大。

2.3 作用半径的理论分析

2.3.1 基于 8 月 11 日的测试

首先,计算系统所服务房间在实验条件下的冷负荷;其次,求得每台室内机的质量流量^[4],并得出每段管道的质量流量,再求每段管道的流速(满管流)^[6];然后,计算每段管道的压降^[6-7]。计算结果见表 1, 2。

表1 室内机制冷剂质量流量的计算

	室内机							
	K-1-1	K-1-2	K-1-3	K-1-4	K-1-5	K-1-6	K-1-7	K-1-8
房间冷负荷/W	5 471	4 636	4 638	4 638	2 723	2 682	2 682	2 723
蒸发温度(4℃过热)/℃	8.5	8.4	6.7	6.6	7.2	6.2	6.3	7.0
蒸发器进出口比焓差(4℃过热)/(kJ/kg)	3.14	3.01	3.14	3.01	3.02	3.02	3.02	3.01
气化潜热/(kJ/kg)	199.39	199.43	200.97	201.06	200.51	201.48	201.39	200.77
质量流量/(kg/s)	0.027	0.023	0.023	0.023	0.013	0.013	0.013	0.013

表2 管道水力计算

	管段								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
质量流量/(kg/s)	0.013	0.026	0.040	0.013	0.036	0.027	0.050	0.109	0.148
流速/(m/s)	0.223	0.232	0.348	0.220	0.314	0.447	0.436	0.951	1.318
管长/m	3.680	3.740	15.650	3.220	9.030	7.950	7.220	14.110	19.880
摩擦阻力系数	0.032	0.029	0.027	0.033	0.027	0.027	0.025	0.021	0.020
压降(包括沿程和局部阻力)/kPa	0.470	0.357	2.645	0.421	1.322	3.197	1.780	-29.647	-134.449

实验所测 3 段支管的压降如下,其过程在 R22 压焓图上的表示如图 8,9 所示,并查得冷凝压力为 1.82 MPa。

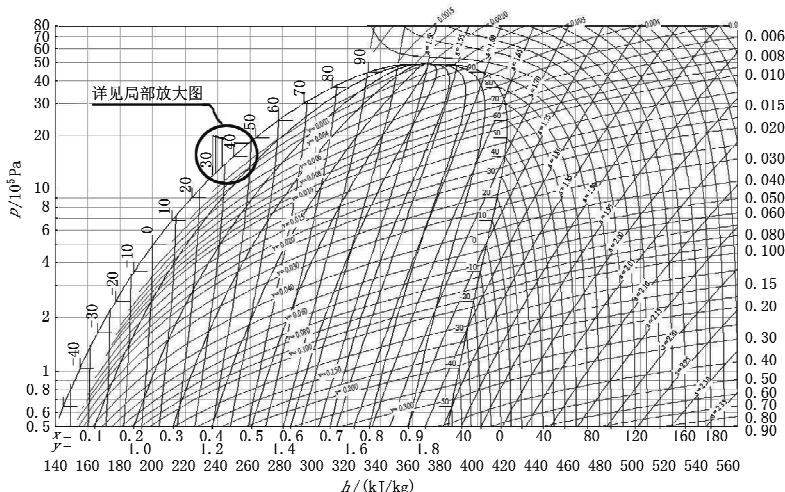


图 8 R22 制冷过程在压焓图过冷区的表示

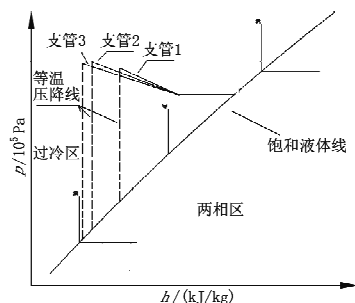


图 9 R22 制冷过程在压焓图过冷区的局部放大图

1) I - C - B - A 段(支管 1): 总压降为 -130.978 kPa。从温度稳定点等温压降到饱和液体线(即闪发临界线)的压差为 0.611 0 MPa,按干管比摩阻折算成内径 11.2 mm、流速 1.318 m/s 的无局部阻力水平紫铜主干管约 354 m(即不闪发最长距离)。

2) I - H - E - D 段(支管 2): 总压降为 -162.353 kPa。从温度稳定点等温压降到饱和液体线(即闪发临界线)的压差为 0.742 4 MPa,按干管比摩阻折算成内径 11.2 mm、流速 1.318 m/s 的无局部阻力水平紫铜主干管约 430 m(即不闪发最长距离)。

3) I - H - G - F 段(支管 3): 总压降为 -159.119 kPa。从温度稳定点等温压降到饱和液体线(即闪发临界线)的压差为 0.779 2 MPa,按干管比摩阻折算成内径 11.2 mm、流速 1.318 m/s 的无局部阻力水平紫铜主干管约 451 m(即不闪发

最长距离)。

可得到该系统在实验条件和沿程不闪发的条件下,作用半径的理论极大值约为 500 m(最长支路长度 49 m+可延长 451 m)。

由图 8,9 可见,沿程和局部阻力引起的压降小于由高差引起的位置水头增量,所以室外机放置位置高于室内机对避免制冷剂在高压液管内闪发是有利的,同时对工质在管内的良好循环也是有好处的。但是,高差增加是有条件的,因为作用半径还包括回气管长,回气管和高压液管共同构成一个环路。若回气管过长,势必使压缩机回气和回油不畅,影响制冷效果,严重时会使之烧坏^[8]。

2.3.2 基于 8 月 12 日的测试

计算方法同上节,结果见表 3,4。

表 3 室内机制冷剂质量流量的计算

	室内机							
	K-1-1	K-1-2	K-1-3	K-1-4	K-1-5	K-1-6	K-1-7	K-1-8
房间冷负荷/W	5 471	4 636	4 638	4 638	2 723	2 682	2 682	2 723
蒸发温度(4℃过热)/℃	8.2	7.6	5.1	5.0	5.4	3.4	3.5	3.2
蒸发器进出口比焓差(4℃过热)/(kJ/kg)	3.07	2.98	2.98	2.98	2.98	2.90	2.98	2.99
气化潜热/(kJ/kg)	199.80	200.18	200.48	202.52	202.10	203.78	203.78	213.24
质量流量/(kg/s)	0.027	0.023	0.023	0.023	0.013	0.013	0.013	0.013

表 4 管道水力计算

	管段								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
质量流量/(kg/s)	0.013	0.026	0.039	0.013	0.036	0.027	0.050	0.108	0.147
流速/(m/s)	0.219	0.230	0.344	0.218	0.311	0.441	0.432	0.946	1.302
管长/m	3.680	3.740	15.650	3.220	9.030	7.950	7.220	14.110	19.880
摩擦阻力系数	0.032	0.029	0.027	0.033	0.027	0.027	0.025	0.021	0.020
压降(包括沿程和局部阻力)/kPa	0.454	0.349	2.581	0.413	1.299	3.152	1.757	-29.814	-135.997

分析得到实验所测 3 段支管的压降如下,其过程在 R22 压焓图上的表示如图 10 所示,并查得冷凝压力为 1.75 MPa。

1) I - C - B - A 段(支管 1): 总压降为 -132.613 kPa。从温度稳定点等温压降到饱和液体线(即闪发临界线)的压差为 0.522 7 MPa,按干管比摩阻折算成内径 11.2 mm、流速 1.302 m/s 的无局部阻力水平紫铜主干管约 308 m(即不闪发最长距离)。

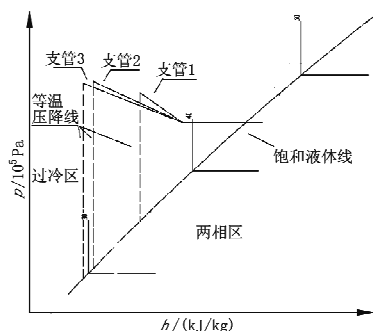


图 10 R22 制冷过程在压焓图过冷区的局部放大图

2) I-H-E-D 段(支管 2): 总压降为 -164.099 kPa 。从温度稳定点等温压降到饱和液体线(即闪发临界线)的压差为 0.7142 MPa , 按干管比摩阻折算成内径 11.2 mm 、流速 1.302 m/s 的无局部阻力水平紫铜主管约 421 m (即不闪发最长距离)。

3) I-H-G-F 段(支管 3): 总压降为 -160.902 kPa 。从温度稳定点等温压降到饱和液体线(即闪发临界线)的压差为 0.7410 MPa , 按干管比摩阻折算成内径 11.2 mm 、流速 1.302 m/s 的无局部阻力水平紫铜主管约 437 m (即不闪发最长距离)。

可得到该系统在实验条件和沿程不闪发的条件下,作用半径的理论极大值约为 486 m (最长支路长度 $49 \text{ m} + \text{可延长 } 437 \text{ m}$)。

对比前后两次测量,本次测量的室外温度低,相应的冷凝温度低,水平管周围环境温度近似相等。支管 1 稳定温度较上节略高,而支管 2,3 稳定温度较低。作用半径理论最长支管均为支管 3,在室外温度为 36.5°C 时,可达约 500 m ,在室外温度为 35.8°C 时,可达约 486 m ,故室外温度越低,理论半径极大值越小。

3 结论与建议

暖通空调传媒机构在广州宣布成立

2009 年 4 月 5 日,在广州琶洲展馆中国制冷展上召开的新闻发布会宣布了暖通空调传媒机构的成立。中国制冷学会、中国制冷空调工业协会、中国建筑学会暖通空调分会、中国勘察设计协会建筑环境与设备分会、中国制冷学会空调热泵专业委员会、中国制冷展组委会等行业组织领导、暖通空调传媒机构专家团部分成员及企业界代表出席了会议。

暖通空调传媒机构,是《暖通空调》杂志社依托原有专家资源、媒体资源和品牌资源,适应暖通空调行业和信息产

业的作用半径是制约其发展的一个重要因素。本文结合西安建筑科技大学环境与市政工程学院大楼所安装的多联机集中空调系统 K-1 制冷剂输送管道的夏季沿程温度变化测试,分析得出:节流阀前不出现闪发的条件下,作用半径的理论极大值随室外温度降低而减小,分别在室外温度为 36.5°C 时可达约 500 m ,在室外温度为 35.8°C 时可达约 486 m 。从而为系统有效作用半径的确定提供了理论依据。可以进一步确定不同地区典型室外工况下多联机作用半径的理论极大值,优化其系统设计。

另外,其他一些因素也制约着管道的长度。比如,由于阻力的增大,液体降压后能否顺利进入室内机;回气管回油、回气是否顺畅;冬季制热时沿程热损失是否太大等等。所以在夏季制冷循环时,适当将高压液管管径增大,以减少低温低压制冷剂液体的流动阻力,或者把回气管加大,以利于压缩机回气,同时补足制冷剂。严格按厂家要求的计算方式增加制冷剂,在此建议必要时补充点冷冻机油。在安装时尽量将管路铺直,减少弯头,避免过多的担搭管道现象出现,减小局部阻力。

参考文献:

- [1] 王如竹,丁国良,吴静怡. 制冷原理与技术[M]. 北京:科学出版社,2003
- [2] 吕崇德. 热工参数测量与处理[M]. 北京:清华大学出版社,1990
- [3] 陕西省第一设备安装工程公司. 空调调试[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1977
- [4] 章熙民,任泽霈,梅飞鸣. 传热学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001
- [5] 蔡增基,龙天渝. 流体力学泵与风机[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001
- [6] 郭庆堂. 制冷工程设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1985:335-337
- [7] 周光炯,严宗毅,许世雄,等. 流体力学[M]. 北京:高等教育出版社,2004
- [8] 湖北工业建筑设计院. 冷藏库设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1980

· 简讯 ·

暖通空调传媒机构在广州宣布成立

业的飞速发展,以《暖通空调》杂志为基础和核心建立的多元化传媒平台。机构秉承“聚合资源、拓展服务、促进发展、提升品牌”的宗旨,将平面媒体、“暖通空调在线”专业网站和行业活动策划等组合起来,为行业提供多种方式的服务。暖通空调传媒机构的成立,昭示着《暖通空调》品牌将以肩负更加重大的行业发展责任的专业传媒形象立足于中国暖通空调行业。

(本刊)