

## 城市轨道交通

广州地铁4号线和5号线  
空调制冷等级调节分析

周 祿

(广州市地下铁道总公司 地铁车辆段, 广东 广州 511436)

**摘 要:**主要分析了广州地铁4、5号线空调制冷等级调节模式,列举了其他类型等级调节模式,并且在结构原理、可靠稳定性及节能方面做了简单对比说明,认为对于当前城市轨道交通空调温度调节的舒适性及节能问题,应该综合考虑到列车运行的环境情况、列车温度调节的响应速度,对应选择合适的节能模式机型,才能取得良好的运行效果。

**关键词:**制冷等级调节;容量控制;分缸控制;空调整能;变频调节;电子膨胀阀

中图分类号:U270.38\*3;U231 文献标识码:B

文章编号:1000-128X(2011)06-0064-02

广州地铁4、5号线车辆空调与其他线路对比,具有温度调节灵敏、调节合理、舒适可靠及节能等特点。这些技术特点主要由空调等级调节模式决定。分析研究广州地铁4、5号线空调制冷等级调节方式,有助于解决其他线路空调温度过冷、过热、温度反应迟钝及节能问题。

针对目前国内地铁车辆空调变级模式整体情况,本文特别对广州地铁4、5号线列车空调容量控制变级模式进行了详细分析,比较对比介绍了热力膨胀阀控制、分缸控制、变频调节变级调节模式空调的主要特点。

## 1 容量控制技术

## 1) 广州地铁4、5号线空调控制技术介绍

广州地铁4、5号线采用的是日本三菱螺旋式压缩机,工作时由高、低压力开关进行实时压力监测保护,其挡位调节采用自动容量控制技术。对一个机组(包括2台压缩机)而言,共有4种挡位调节,分别为100%、85%、70%、50%,且4种挡位的切换均由空调控制器对温度进行实时监测自动控制,具体控制温度特性曲线如图1。

当实时环境温度(回风传感器测出)低于设定温度 $T_1$ 及以上时,机组停止工作,仅为通风状态;当实时环境温度低于设定温度 $0\sim 0.5$ 时,机组50%制冷;当实时环境温度高于设定温度 $0\sim 0.5$ 时,机组70%制冷;当实时环境温度高于设定温度 $0.5\sim 1$ 时,机组85%制冷;当实时环境温度高于设定温度 $1$ 以上时,机组

100%制冷。此温度曲线可以根据地铁列车的客流量及列车所处的区域位置进行程序设定控制。

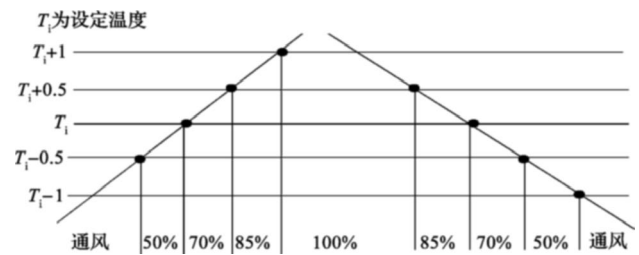


图1 自动控制温度曲线

## 2) 容量控制原理分析

4、5号线空调机组的4级调节模式中,压缩机具体工作状态分为4种(表1)

表1 4级调节模式中压缩机工作状态

序号	压缩机1工作负荷	压缩机2工作负荷	空调机组能量
a	100%	100%	100%
b	100%	70%	85%
c	70%	70%	70%
d	100%	0	50%

由上述可知,4种状态的关键点是单独一台压缩机能够实现70%制冷,这主要是采用容量控制技术。容量控制结构主要由2个容量控制阀、压缩机内部容量卸载阀、压缩机壳内气流装置组成,其中2个容量电磁阀分别接在压缩机的高压、低压侧,并与压缩机内部容量控制装置直接管路相连,如图2所示。

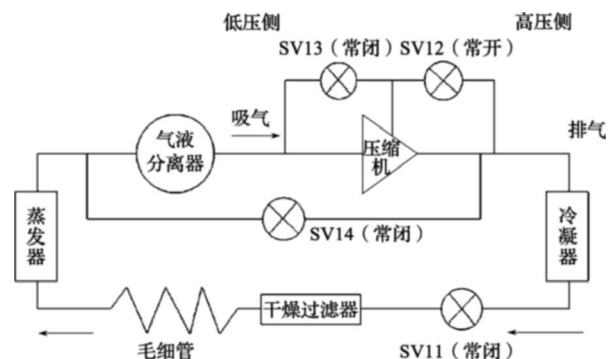


图2 单个空调单元制冷原理图(SV为电磁阀)

其中低压侧电磁阀为常闭,高压侧为常开状态,两电磁阀均由空调控制器根据客室实时温度进行控制,控制原理如图3所示。当单个压缩机需要100%制冷时,两电磁阀均不得电,即低压侧电磁阀处于常闭状态,高压侧电磁阀处于常开状态。此时高压侧制冷剂压力大于中间压力,压紧盖板,压缩室中吸入制冷剂并压缩参与循环制冷;当需要70%制冷时,两电磁阀均得电,即低压侧电磁阀打开,高压侧电磁阀关断。此时中间压力大于低压侧压力,盖板被打开,中间吸入制冷剂的小部分通过压缩机壳体结构与压缩机内部低压侧相连通,使小部分制冷剂不参与循环制冷,如图4所示。

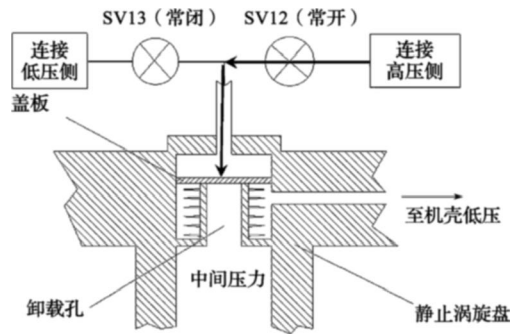


图3 100% 制冷示意图

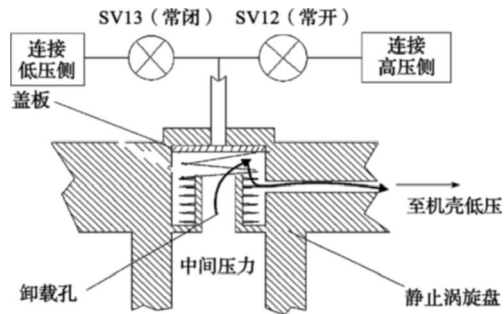


图4 70% 制冷示意图

此等级控制技术的优点是运用较成熟,较适合天气炎热地区使用,且响应能力较快,并能通过容量控制减低压缩机的负载以达到节能的目的,但实际节能效果还需要试验认证。

## 2 热力膨胀阀控制

热力膨胀阀控制技术是一种较为传统的等级调节模式,其作用原理是利用蒸发器出口处蒸汽过热度的变化来调节供液量,随蒸发器压力变化和出口的过热度变化而动作。其由感温包、毛细管、膜片、定值弹簧、节流针阀、调节螺栓等零件组成。感温包、毛细管及膜片所组成的密闭系统中充注低沸点工质作为感温系统。热力膨胀阀装在蒸发器进口端,而感温包紧贴在蒸发器出口端的管上,根据其膜片下蒸发压力的引出点不同而分为内平衡式和外平衡式。

热力膨胀阀控制技术优点是稳定可靠,缺点是无法达到精确控制,且无特别的节能装置。广州地铁1、2、3号线均采用了膨胀阀控制技术,由于其对温度的准确调节不够灵敏,导致温度无法很好满足乘客需求,如3号线经常出现温度过高、2号线又经常出现温度过低等问题,导致乘客大量投诉事件。目前市场还出现了电子膨胀阀控制技术,其主要是通过通过对温度的监测比较,再通过中央控制器的设定计算以控制膨胀阀的开度而达到精确控制的目的,但此技术在地铁列车上运用尚不成熟。

## 3 分缸控制技术

此项控制技术主要由压缩机性能决定,具有代表

性的有德国博克压缩机。此类压缩机内置有4个压缩气缸,1个机组由2台压缩机组成,计划广州地铁6号线部分列车将采用此种控制技术。分缸控制是采用2台双缸压缩机组成1个空调机组,1个机组共计4个缸,需要控制开关压缩机内的2台气缸阀门达到调级控制的目的。

分缸控制根据空调采集到的温度信息控制2台压缩机的4个缸体,具备4级调节功能。当需要100%制冷时,4个缸体均参与制冷;当需要75%制冷时,则需要其中3个缸体参与制冷;当50%制冷时,则关闭1台压缩机,当25%制冷时,则仅需其中1个缸体进行制冷。不参与制冷的缸体被阀门关闭,内部几乎为真空。此时,缸体内活塞阀在真空中压缩运转,但负载略等于零,因此起到了节能作用。

分缸控制技术与容量控制技术相比,节能原理均是通过调节减载实现,不同之处主要是压缩机的结构设计方面。容量控制仅需通过2个容量电磁阀配合压缩机简单的物理结构便可以实现减载节能目的,而分缸控制技术则增加了缸体数量,从设计上增加压缩机的体积达到减载目的。从等级调节的能量级别进行对比分析,容量控制技术为:100%、85%、70%及50%,分缸控制为:100%、75%、50%及25%。笔者认为广州轨道交通由于具有大客流、站间距短、四季温度较高、湿度大的特点,因此25%的能量级别基本无法调节用到;再者,分缸控制的能量值每级相差25%的幅度显得调节不够平滑。当然以上两点还需要待广州地铁6号线长期运营后才能得以证实。

## 4 变频调节控制

变频调节技术的工作原理是通过电源的频率不同来控制变频压缩机的转速大小,从而输出冷、热量的不同来控制温度。变频技术可以完全根据实时温度进行控制,以达到无级调节的效果。合理地运用变频控制技术以达到节能目的的可能性已是不争事实,但笔者认为其在轨道交通上的应用存在不合理性,原因有以下几点:

轨道交通列车负荷变化波动迅速(频繁开关门、车门数量多、客流波动大),无需空调机组有过多的制冷量分级调节。

4级能量调节的节能效果已经较高,再分更多的级数从原理能进一步地节能,但节能潜力有限(见图5),从经济效益角度考虑,意义并不大。

制冷工况从调节到稳定需要一定的时间,系统分的级数过多,会造成工况还未稳定又要向另一个工况进行调节(变频率),达不到应有的效果。

与采用变频系统相比,采用定频压缩机的系统更可靠,初投资和寿命周期成本低。目前国外发达国家

(下转第69页)

表2 列车最高运行速度、紧急制动距离限值、制动率和轴重的关系

列车最高运行速度 / km · h <sup>-1</sup>	闸瓦	紧急制动距离限值 / m	列车换算制动率 / %	轴重 / t
90	高磨合成	800	20.88	30.54
90	高磷铸铁	800	28.90	22.07
120	高磨合成	1 100	28.05	22.74
120	高磷铸铁	1 100	44.32	14.39
120	高磨合成	1 400	20.60	30.95
120	高磷铸铁	1 400	27.25	23.40

从表2可看出：列车最高运行速度90 km/h，轴重大于25 t，采用高磷铸铁闸瓦，已不能满足紧急制动距离800 m限值要求，采用高磨合成闸瓦，制动安全距离余量很小。列车最高运行速度120 km/h，轴重大于23 t，2种闸瓦都不能满足紧急制动距离1 100 m限值要求。紧急制动距离延长至1 400 m，轴重大于25 t，采用高磷铸铁闸瓦，也不能满足紧急制动距离延长后的限值要求，采用高磨合成闸瓦，制动安全距离余量也很小。

表2中列车换算制动率比保持制动过程中车轮不产生滑行容许的制动率还小很多。

## 8 结语

通过以上计算分析可知：

采用高磷铸铁闸瓦，其制动率已不能满足制动距离限值要求，必须采用更高摩擦系数的闸瓦。

列车运行速度和轴重提高，在轮轨制动粘着限制容许范围内，应适当提高货物列车的制动率以缩短制动距离。

轴重提高到25~30 t后，如果制动距离限值不延长，必须降低列车最高运行速度，如果要保证货物列车的最高运行速度，必须延长制动距离限值。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国铁道部. 铁路主要技术政策[M] 北京：中国铁道出版社，2004.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 铁路技术管理规程[M] 北京：中国铁道出版社，2006.
- [3] 黄问盈，杨宁清，黄民. 我国铁道列车紧急制动距离限值标准的探讨[J] 中国铁道科学，2003，24(5).
- [4] 中华人民共和国铁道部. 列车牵引计算规程[M] 北京：铁道部标准计量研究所，1999.

(上接第65页)

家在城轨列车空调上也很少应用变频技术。

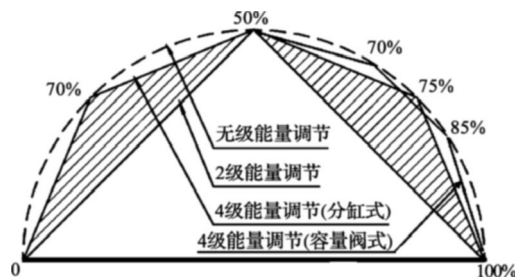


图5 能量调节的级数与节能潜力的关系示意图

注：把半圆面积表示无级能量调节（变频调节）节约能量的理论基数值，则容量阀式对应的多边形面积表示其理论节能值；分缸式多边形对应的面积表示其理论节能值；三角形表示二级调节可能达到的节能值；半圆周的直径表示能等级调节的节能值，此面积为零，即无节能作用。

## 5 结语

通过上述几类变级技术对比与分析，发现4、5号线之所以能灵活迅速地进行温度调节，适应乘客需求，

并且具有较好的节能效果，有如下2个主要原因：

地铁列车需要频繁开关车门，而广州地铁4、5号线的容量阀式4级能量调节由于最低级别为50%等级，因此无论当时空调处理何种工况下，均能够迅速地平衡调节客室温度，达到UIC553标准温度调节需求。

广州地铁4、5号线4级能量调节通过旁通阀进行卸载，较平滑地调节客室温度，降低了压缩机的负载，从而起到合理有效的节能效果。

综上所述，要解决当前城轨车辆空调温度调节的舒适性及节能问题，应该综合考虑到列车运行的环境情况、列车温度调节的响应速度，再对应选择合适的节能模式机型，才能取得良好的运行效果。

参考文献：

- [1] 南车四方机车车辆股份有限公司. 广州市轨道交通KGC35-1T2说明书[M] 青岛：南车四方机车车辆股份有限公司，2006.
- [2] 上海科泰运输制冷设备有限公司. 轨道交通列车节能型空调简介[M] 上海：上海科泰运输制冷设备有限公司，2011.