

项目一 轨道交通车辆空调装置概述

【项目描述】

随着我国经济的快速发展，人们生活质量的逐步提高，出门旅行的人数越来越多，人们对旅行所乘坐交通工具的舒适性要求也越来越高。为了满足广大旅客的需要，无论是长途旅客列车还是近程的交通车辆，都把车辆客室内的空气调节作为提高旅客舒适度、改善乘车环境的主要手段。从技术角度来看，车辆的空气调节是车辆的一项极其关键的技术之一，是现代轨道交通车辆先进技术的重要体现。

车辆客室内的空气调节依靠车辆空调装置来完成。车辆空调装置是一个多专业的综合性产品，涉及工程热力学、传热学、流体力学等学科，牵涉机械、电气及控制、材料等领域，技术先进、复杂。车辆空调装置的正确安装、使用、维护和管理是车辆运用与检修人员的一项基本的、重要的工作。铁路客车与城轨车辆的空调装置有其相似之处，但因其运用环境的不同，结构、性能、参数等方面又体现出各自的特点，又因其技术和管理的理念不同，安装、使用、维护和管理方面有着较大的差别。

本项目主要讲述了轨道交通车辆空调概况，包括客车空调装置的作用、组成和分类，城轨车辆空调与铁路客车空调的区别，城轨车辆空调的性能评价指标，城轨车辆空调的现状与发展趋势。

【学习目标】

目标类型	目标要求
知识目标	(1) 掌握空调装置的作用、分类和组成； (2) 了解空调装置不同安装方式的优缺点； (3) 熟悉城轨车辆空调与铁路客车空调的区别； (4) 了解现有城轨车辆空调的现状与发展趋势
能力目标	(1) 能判断空调装置的类型以及优缺点； (2) 能指出空调装置的几大组成系统及其作用
情感目标	(1) 能进行团队协作； (2) 积极参与学习过程，遵守秩序，服从安排

【建议学时】

4 学时。

任务一 空调装置概况认知

任务目标

通过对空调装置整体概况的学习，能够全面地了解轨道交通车辆空调装置的组成及各系统的功能，熟悉城轨车辆空调系统的性能评价指标。

任务准备

一、空调装置的作用及组成

空调装置被广泛应用于我国的工农业生产和人们的日常生活，对我国国民经济发展和人民物质文化生活水平提高具有重要意义。目前，它已被大量应用在轨道交通车辆上，车辆客室内良好的空气调节已经成为车辆舒适乘坐环境的标志。新型的铁路机车车辆和几乎所有的城市轨道交通车辆普遍使用了空调装置。

客车空调装置的作用是将一定量的车外新鲜空气和车内再循环空气混合，经过滤、冷却或加热、减湿或加湿等处理后，以一定的流速送入车内，并将车内一定量的污浊空气排出车外，从而控制客室内温度、湿度、风速、清洁度及噪声，并使之达到规定标准，以提高车内的舒适性，改善乘车环境。

我国空调客车车内空气参数标准见表 1-1-1。

表 1-1-1 我国空调客车车内空气参数标准

空气参数	标准	
	夏季	冬季
温度/ $^{\circ}\text{C}$	24 ~ 28	18 ~ 20
相对湿度/%	≤ 65	≥ 45
微风速/(m/s)	0.15 ~ 0.25	0.15 ~ 0.20
新风量/ $[\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})]$	≥ 10	≥ 10
CO_2 体积分数/%	≤ 0.15	≤ 0.15
含尘量/(mg/m^3)	≤ 1	≤ 1

一般车辆空调系统主要由通风系统、制冷系统、加热系统、加湿系统、自动控制系统等五大系统组成。考虑到车辆实际运行区域的气候条件，有些车辆可不设专门的加热及加湿系统。

图 1-1-1 所示为空调装置实物图。



图 1-1-1 空调装置实物图

1. 通风系统

通风系统起着空气的滤清、输送及分配等作用。通风机将车外新鲜空气吸入车内与再循环空气混合，并滤清灰尘和杂质后，再送入客室内。同时排出客室内多余的污浊空气，以保持客室内空气的洁净度和空气的流动速度。通风系统一般由通风机组、空气过滤器、新风口、送风道、回风口、回风道及排废气口等组成。

2. 制冷系统

制冷系统（也称空气冷却系统）的作用是对车内的空气进行降温、减湿处理，使车内空气的温度与相对湿度保持在规定的范围内。冷却系统工作时，由制冷剂通过蒸发器冷却将要送入车内的空气，而蒸发器表面的温度低于空气的露点温度，空气中的部分水蒸气就会凝结成水滴，形成我们通常所说的“空调水”。因此，空气在通过蒸发器冷却的同时也得到了减湿处理。为保证制冷系统安全、有效地工作，制冷系统除压缩机、蒸发器、冷凝器、节流装置四大件外，还配有储液器、干燥过滤器、气液分离器等辅助设备。

3. 加热系统

加热系统的作用是在低温时对进入车内的空气进行预热和对车内的空气进行加热，以保证车内空气的温度在规定的范围内。加热系统通常包括空气预热器和地面空气加热器两部分。在空气温度较低时，通风系统向车内送风过程中，由预热器对空气进行加热，然后再送入车内，而车内地面式加热器对车内空气加热，以补偿车体和门窗的热损失。

4. 加湿系统

在冬季，当空气被加热而温度提高之后，其相对湿度就可能比较低，空调装置必须对空气进行加湿处理。车辆一般采用喷雾加湿和电极加湿器对空气进行加湿处理。

5. 自动控制系统

自动控制系统的作用是控制各功能系统按给定的方案协调、有序地工作，以使车内的空气参数被控制在规定的范围内，并同时为空调装置起自动保护作用。电气控制系统一般由各设备的控制电器、保护元件及相关仪表和电路等组成。

6. 司机室送风单元

城轨车辆司机室内一般不设单独的空调机组，而设立一个单独的送风单元。该送风单元设有风量和风向可调的送风口，并且送风口可进行关闭，其内置的调速风机，可由司机根据实际需要进行手动控制。送风单元内置的调速风机通过单独的风道从相邻的空调送风道中吸入已处理的空气送入司机室，通过调节送风口大小来调节送风量，通过调节送风口方向来调节送风方向，通过司机室隔门上的百叶窗进入客室实现回风。

二、客车空调装置的分类

按常用制冷压缩机的种类主要分为：往复式、回转式和离心式。

按安装方式分为：分装式和单元式，其中单元式又分为车顶单元式和车底悬挂式。

按客车空调供电方式分为：本车供电和集中式供电。

还可以按使用制冷剂或其他特殊结构进行分类。

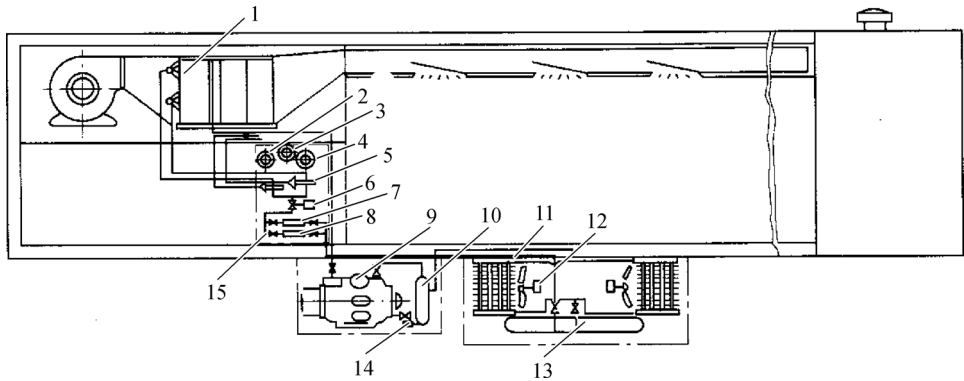
从客车空调供电方式来看，客车空调经历了由本车供电向集中供电的转变。所谓本车供电指的是空调客车装置的用电由单车柴油发电机组供电。这种供电方式的特点是：电压制为 110 V，空调装置的使用不受整车电压的影响，列车编组较为灵活，但车内用电器的互换性较差，维修量大。而集中式供电是指全列车空调装置的用电由地面电站通过接触网集中供电或由列车中编挂的发电车集中供电。这种供电方式的特点是：具有良好的机动性和适应性，不受机车牵引动力的限制；电压制为 380/220 V，车内设备可直接使用民用设备，便于维护和使用。列车集中供电是铁路客车用电制的发展方向。

从压缩机种类来看，客车空调系统使用的压缩机是全封闭式压缩机，这种压缩机结构紧凑、密封性好、体积小、质量小，电机能被制冷剂很好地冷却。但这种压缩机的缺点是不易拆卸，检修困难。其中的活塞式压缩机，尽管发展较早，技术较为成熟，但由于活塞式压缩机必须设吸、排气阀片，易损件较多，维修量大，而且输气量受活塞体积的限制，且活塞往复运动产生的惯性力和振动比较大。回转式压缩机具有结构简单、体积小、质量小、容积效率高、运行平稳、噪声和振动小、可靠性高等优点，我国的铁路客车空调装置正向这方面发展。

从空调机组安装方式来看，客车空调系统经历了由分装式空调机组向单元式空调机组的过渡。

1. 分装式空调机组

所谓分装式空调机组（见图 1-1-2）就是将制冷压缩机、冷凝器、冷凝风机、储液器集中装在一个箱体中，并悬挂在车体底架下，而将蒸发器、通风机、膨胀阀、空气预热器等安装在车顶内部，用铜管将各设备连接起来，组成一个封闭的循环系统。一般上送风，下回风，从车端墙新风口引入新风。送风道布置在车内顶棚中央，其上均匀地布置送风口。电器控制柜安装在乘务员室内。分装式空调机组多采用开启式压缩机或半封闭式压缩机。这种安装形式的特点是车体重心降低，提高了列车运行的平稳性；但由于体积大，拆装和检修不方便，而且制冷管路长、接头多，容易漏泄，有色金属铜的使用量较大。CRH1 型动车组前期采用分体式空调机组，后期采用车顶单元式空调机组。

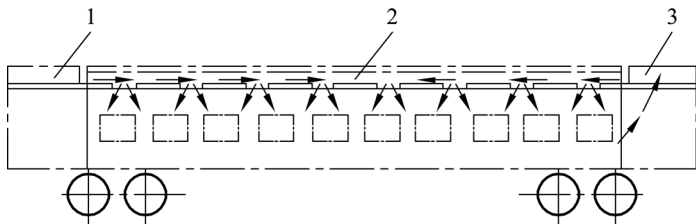


1—蒸发器；2—低压压力表；3—油压表；4—高压压力表；5—热力膨胀阀；6—电磁阀；7—过滤器；8—干燥器；
9—压缩机；10—油分离器；11—冷凝器；12—冷凝器风扇；13—储液器；14—回油阀；15—截止阀。

图 1-1-2 分体式车辆空调机组示意图

2. 单元式空调机组

单元式空调机组（见图 1-1-3）是把压缩机冷凝器、节流装置、蒸发器、通风机、冷凝风机以及空气预热器等部件放置在一个箱体内，组成一个完整的单元，吊装在车体顶部或底部。根据车型的不同，每辆车上使用一个或两个单元式空调机组，送风道布置在车顶棚的中央或两侧。车顶单元式空调机组多采用全封闭式压缩机。这种安装形式结构紧凑、制冷量大、管路短不易泄漏，可以节省大量有色金属，检修起来方便，不占用车下空间。所以，我国 1981 年以后生产的空调客车均采用此种形式。目前，单元式空调机组的主要形式是 KLD29 和 KLD40 型，它们的制冷量在设计条件下分别为 29 kW 和 40 kW，基本上能够满足我国空调客车的舒适性要求。但由于单元式空调机组吊装在车顶，致使车体钢结构的整体承载能力下降，提高了车辆的重心，降低了列车运行的平稳性。而采用车底单元式空调机组，虽然车辆重心低，列车运行的平稳性有所提高，但由于机组离地近，受到地面灰尘等的影响，通风滤网等检修更为频繁，通风质量不够好，而且地面的热辐射也增加了空调机组的制冷负荷，同时水流经空调机组时更容易造成设备的腐蚀等。CRH2 型动车组空调系统即为车底单元式。



1, 3—空调机组；2—通风道。

图 1-1-3 车顶单元式空调机组示意图

三、城轨车辆空调系统的性能评价指标

1. 空调机组

城轨车辆空调系统，一般应达到小型轻量化、耐振性、阻燃性、水密性、可维护性（即免维护性）、耐腐蚀性、电源协调使用性和安全性等要求。归纳起来，城轨车辆空调系统要具备以下特点：

（1）小型轻量化。

小型轻量化是城轨车辆空调通风系统的显著特点。由于城轨车辆一般比铁路车辆小，高度低，运载量大，而空调机组通常置于车辆顶部，这样空调机组体积、重量受到一定限制。所以小型、轻量化是城轨车辆空调机要考虑的一个现实条件。如采用卧式涡旋式压缩机；换热器采用内螺纹管，增强换热效果，减小换热器体积；采用带亲水膜轻质铝翅片，减小换热器质量；引进高效进口风机等，在保证流量、噪声等要求下减小了体积及质量。北京地铁第一台拥有我国自主知识产权的国产化地铁空调机组充分采用了以上新技术。

（2）可靠性高。

城轨车辆空调通风机组本身要抗振、耐腐蚀外，系统各软、硬件也要保证有很高的可靠性能，以满足在不同工况下的安全运行需要。

首先，车辆空调机的耐振性能要好。车辆在运用过程中会产生较大振动，因此车辆空调系统要具备耐振性能。我国铁路标准 TB/T 1804—2017《铁道车辆空调 空调机组》对车辆空调设备做了抗振要求及试验标准。这个标准对运行条件好于铁路车辆的城轨车辆空调系统来说，应该是完全适用的。

其次，耐腐蚀性好。现在城市的污染程度较大，尤其是沿海城市的盐雾影响，对暴露在大气当中的空调机组的电机、换热器壳体的耐腐蚀要求较高，因此空调机在设计、制造当中要充分考虑到这点。如采用防护等级较高的电机，并在电机外部配合处增加电机防护技术措施，在换热器上采用耐酸、碱、盐雾腐蚀的覆膜铝翅片，并采用不锈钢板材制造空调机组壳体，可有效防止腐蚀发生，延长空调机使用寿命。

此外，根据车辆运行特点，空调机组制冷系统尽量采用多系统，避免使用单系统的空调机组。因为如采用单系统，当制冷系统出现问题时，整个空调机组就不能为车辆提供冷量。而多系统的空调机，当某一个系统出现故障时，另外的系统还可以工作，为车辆提供一定的冷量。以下是采用多系统的优点：

- ① 制冷系统故障对双系统或多系统的影响小；
- ② 双系统或多系统的空调机能使车内达到较稳定的温度；
- ③ 由于双系统或多系统的空调机压缩机交替运行，压缩机寿命长；
- ④ 由于双系统或多系统的空调机压缩机分步启动，启动电流冲击小。

（3）免维护程度高。

安装于车辆上的空调机组并不能像地面制冷机组那样，可以给检修、维护人员一个易于检视的环境和空间。因此，尽量使用单元式空调制冷系统、全封闭式制冷循环系统，并提高免维护元件的使用率，尽可能不采用分体式空调机组。

(4) 低噪声。

城轨车辆在隧道中运行时，各种设备发出的噪声难以扩散，要经过隧道壁面的多次反复衰减，因此对城轨车辆上设备的噪声有着严格的控制要求。车内空调通风机和风道内的空气流动是直接的噪声源，必须通过选用低噪声和多叶片的离心风机和消声风道来解决；而在站台上，空调机组冷凝风机的噪声就显得十分突出，冷凝风机必须选用低噪声、低转速、大流量的轴流风机来尽可能降低噪声。

(5) 安全性高。

城轨车辆运行中，对乘客的安全保障是至关重要的。空调系统不仅要提供给乘客一个舒适的乘车环境，也应在紧急情况下，提供必要的保护措施。正常情况下，空调系统工作的交流电源是由列车辅助电源提供的，运行中列车是一个封闭的空间，因此，在整列车交流电源失效的情况下，应能通过空调紧急逆变器将列车蓄电池的直流电源逆变成交流电，维持一定时间的应急通风。保证紧急情况下，乘客在车内停留时所需的氧气量。另外，虽然地铁设计中对隧道内的电线、电缆等材料有相关的防火标准和要求，但设计中也应考虑到，万一隧道内发生火灾，司机应能在司机室关闭列车所有的吸排风口，避免烟雾等对乘客的危害，并便于将列车从火灾区开到安全区域。

2. 空调控制器

空调控制器控制空调系统正常运行，是空调装置的重要组成部分。现代城轨车辆的空调控制器要求自动化程度高、电磁兼容性好、可靠性高。

(1) 自动化程度高。

城轨车辆在运行时没有车辆设备巡检员，这就要求空调系统有较高的自动运行能力，能够在出现问题时自动处理，对非故障问题有自我保护及自我恢复能力；同时，对故障能够进行自我诊断和存储，以便在车辆进站或回库后，能够及时进行修复。目前，很多城市的城轨车辆空调系统都采用微处理器控制，对偶发性非故障现象进行自我判断，对实际故障进行诊断记录，可以通过手提式计算机进行手动调试。

(2) 可触及性。

由于空调控制器元件动作较频繁，并有较多的空调机组保护元件，其维护量较大。在空调机组检修中，还要观察控制器整体的动作情况，以便判明故障原因。因此空调控制器要尽可能布置在检修人员易于触及、易于观察的地方，否则就会给空调机组的维护、检修带来麻烦。

(3) 可靠性高。

目前，车辆空调控制器的关键元件采用的是质量较好的元件，减低了元件的故障率。电路设计经过大量的实际运行验证，可靠性较高。

(4) 电磁兼容性好。

车辆的自动化程度越高，车辆设备及信号控制系统的电磁环境越复杂。因此，空调系统的控制装置要充分考虑电磁兼容性，使其能在预期的电磁环境中正常工作，且无性能降低或故障。

3. 通风系统

经空调机组处理后的空气通过通风系统送入车内，并保持车内送风的均匀。通风系统可制约空调机组的性能发挥，是车辆空气调节的重要组成部分。

目前，城轨车辆空调一般设废排口，尤其在车辆乘客多的情况下，通过车门开闭不能完全置换车内空气，有必要设置废排口。这样做的好处是：① 直接将拥挤人群下部散发的热量通过废排口排出，减少上涌热气流与空调系统送风的有效空气的干扰；② 冬季有利于热气流下沉；③ 使乘客感受更多的新鲜空气。

思考与练习

1. 客车空调装置的作用是什么？
2. 客车空调装置由哪几大系统组成？每个系统有哪些主要组成部件？
3. 简述单元式和分体式空调装置的优缺点。
4. 对空调机组的性能要求有哪些？如何实现小型轻量化？

任务二 我国客车空调装置的发展

任务目标

了解我国铁路客车空调装置的发展历史，熟悉城轨车辆空调系统的发展方向。

任务准备

一、我国铁路客车空调装置的发展

早在 20 世纪 30 年代，铁路空调客车开始在一些工业发达国家出现，至 20 世纪 50 年代已经较大范围地采用，20 世纪 60 年代得到迅速发展，与此同时，空调装置的形式和用电方式也在不断更新。

我国铁路从 20 世纪 50 年代开始生产空调客车，但发展速度较慢。1958 年，四方机车车辆厂设计了我国首列铁路空调客车。1966—1968 年，四方机车车辆厂又设计制造了中越联运 18 型空调软卧和硬卧客车。1976 年以后，为了满足旅游事业不断发展的需求，四方机车车辆厂为广九铁路通车生产了“广九”空调客车。1980—1981 年，四方、长春、浦镇车辆厂又分别试制了 25.5 m 干线空调客车。为了探求适应我国铁路客车空调装置的新形式，从 1980 年开始，长春客车厂引进和试制单元式空调机组，并把它确定为我国铁路客车空调装置的主导型，此后生产的铁路客车空调装置均采用了这种形式。随着我国经济的快速发

展和市场的迫切需求，我国铁路空调客车发展迅速，1989 年我国利用日元贷款生产了 168 辆 25.5 m 新型集中供电空调客车（即 25A 型空调列车），被视为我国铁路空调客车发展史上的一个里程碑。它由原长春客车厂、唐山机车车辆厂、浦镇车辆厂联合设计制造，在生产过程中大量使用新材料、新技术、新工艺和新结构。在运用过程中，采用全列集中供电，并于 1990 年 9 月投入运行。继 25A 型空调客车之后，我国又生产了 25G 型集中供电空调客车，在保证质量和性能的前提下，主要以降低材料成本为目的。1994 年前后，我国又研制了广深准高速铁路 25Z 型全列空调客车，这是一种高档、舒适、快捷的新型铁路空调客车。随着我国铁路跨越式发展，铁路列车全面大提速，空调客车占全国铁路客车保有量的比例越来越大，从而把我国铁路空调客车的发展推进到一个新的历史时期。

城轨车辆与铁路客车空调系统的比较：

（1）轨道状况：铁路线路复杂，轨道状况不一，车辆振动较大，需要空调系统的抗振性好。城轨线路的轨道状况相对统一、稳定，车辆振动频率范围较小，空调系统较易满足要求。

（2）速度：铁路客车速度高，车辆倾摆较大，需要空调机耐倾摆性好。城轨车辆速度较低，最高速度 ≤ 120 km/h，车辆倾摆较小，空调系统较易满足要求。

（3）气候环境：铁路客车运行线路可能贯穿我国南北东西，不同地带的气候环境差异较大，空调系统必须满足不同的气候条件。城轨车辆运营在相对固定的小范围线路上，其空调系统只要针对特定气候环境设计，即可满足要求。

（4）可靠性：铁路客车运行区间较长，进站段检修周期长，因此空调系统应具有较高的可靠性，以减少检修的次数。城轨车辆运行进站段周期较短，可以适当更换车辆，空调系统的可靠性不如铁路客车要求高。

（5）可用空间：铁路客车体积较大，可提供给空调系统较多的安装空间，空调系统易于布置。城轨车辆体积较小，而且客车本身需要携带动力、信号、控制系统等部件，能提供的空间十分有限，空调系统较难排布。

（6）线路环境：铁路客车主要运行于旷野中，只在城市部分区域穿行，所以给城市环境带来的影响相对较小。城轨车辆主要在城市里穿梭，给城市环境带来的影响较大，而且车辆本身使用了较多的电气、电子设备，增大了对周围环境的电磁干扰。

二、变频空调简介

国内城轨车辆上主要有定频型和变频型两种空调系统。定频空调采用定频压缩机，该压缩机单制冷无制热，启动时冲击电流大从而易损伤电源，空调机组的输出制冷能力只能分级调节（一台空调机组包含多个小压缩机），同时客室内温度波动范围大，舒适性较差，冬季时空调机组只有通风功能，客室通过设置客室电加热器和空调机组内辅助电加热器来取暖。而变频空调采用变频压缩机，具有冷暖两用，启动电流小，冷热量随负荷实时调节，客室温度控制精确，冬季时仍可使用空调热泵制热、辅助电加热配合制热，由空调机组自动调配制热，提高了冬季制热节能效果。目前，变频空调已成功在上海轨道交通 5 号线、沈阳地铁 1 号线和 2 号线、长春轻轨等项目上装车运行，并以其稳定运行、舒适性良好等优点获得了各地铁公司用户的认可。

变频空调是一种自动化程度较高的智能空调，除制冷功能、工作原理与传统空调相同外，其控制系统和压缩机与传统空调不同，并增加了变频器。其变频控制机理主要是根据实际环境的温度、湿度、热辐射量及人员情况等因素，通过变频器对电源频率的处理，使供给压缩机的电源频率可以根据需要发生变化，令压缩机的转速也随之变化，控制压缩机排量，使空调系统处于一个合理的运转状态，从而达到既能提供一个舒适的乘车环境，又能节省能源的目的。

变频空调机的主要特点如下：

(1) 变频空调机节约能源。

变频空调机高频降温、低频连续运转维持恒温，使得温度波动小。变频空调机的节电正是由于低速连续小功率运转时具有高效比，且减少了多次开关造成的开关损耗，从而达到节能降耗作用。

(2) 变频空调的低温供暖能力。

变频空调机可利用其高速旋转的特点，额外补充一部分电功率，而使供风温度提高，实现供暖，变频空调机可使使用环境温度扩展到 -10°C 。

(3) 变频空调机的舒适度。

变频空调机实现了低频运转维持温度，相比普通空调机的开关维持温度，其温度波动大大减少，同时又利用了变频空调机的高速运转提升能力，实现迅速降温升温，提高了舒适度。

(4) 变频空调机可实现更宽的工作电压。

变频空调机实现了低频启动，启动电流很小，电源电压波动小。变频空调机可实现更宽的工作电压，自动修正加到压缩机上的电压，使压缩机的工作更稳定，效率更高。

三、城轨车辆空调的发展方向

根据变频空调的特点，未来城轨车辆空调的发展目标如下：

(1) 小型轻量化：采用热泵型冷暖两用车用空调，弥补目前定速车用空调不能供热的不足，提高空调机的利用率，取消电暖气；采用先进的集成技术，使产品体积更小、质量小。

(2) 机电一体化：变频控制器与变频空调机实现了一体化组装，使城轨车辆设备布置简单，安装简易、安全。

(3) 节能：空调机的节能分为三类，第一类是节能元件的选用，例如采用高效压缩机，采用高效的直流风机电机，直流风机电机效率提高了近 1 倍；第二类是提高换热效率，例如采用亲水膜的铝箔，由于水不易形成水珠堵塞风道而提高效率，采用带内螺纹铜管提高效率等；第三类是运行节能控制，即变频节能。实践证明，变频空调机可实现运行节能 30% 以上。

(4) 配电简单：与外部的电气连接只是两个航空插头，节约了布线成本和车辆空间。

(5) 舒适度：动态恒温空调系统，做到冷暖无级调节。

思考与练习

1. 城轨车辆与铁路客车空调系统有何区别？
2. 变频空调如何实现节能？
3. 简述我国城轨车辆空调的发展方向。

