

动车组系列培训教材·机械师

动车组

DONGCHEZU

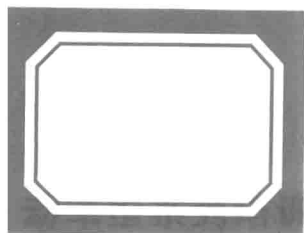
车内环境控制系统

何 涛 主 编

宁 智 张 华 副主编



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>



教材·机械师

动车组车内环境控制系统

何 涛 主 编
宁 智 张 华 副主编

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书内容与实际应用结合紧密,以目前我国在用的 CRH1、CRH2、CRH3 和 CRH5 的空调系统为主体,主要包括:动车组车内环境及其控制系统,动车组车内环境控制的基本原理、通风系统、制冷系统、供热及加湿系统,动车组空调系统的运行控制,典型动车组车内环境控制系统,动车组空调系统的故障分析与检修。

本书可以作为动车组运用维修从业人员职业技术培训教材,也可作为铁道车辆专业和车辆空调专业技术教育教材。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

动车组车内环境控制系统/何涛主编. —北京:北京交通大学出版社,2012.5

(动车组系列培训教材·机械师)

ISBN 978-7-5121-0999-5

I. ①动… II. ①何… III. ①动车-环境控制-控制系统-技术培训-教材 IV. ①U266

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 097744 号

策划编辑:贾慧娟 陈跃琴 吴桂林

责任编辑:陈跃琴 特邀编辑:范跃琼

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编:100044

印 刷 者:北京交大印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:10.5 字数:263 千字

版 次:2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0999-5/U·97

印 数:1~2 000 册 定价:21.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

《动车组系列培训教材·机械师》

编 委 会

顾 问	王梦恕	施仲衡		
主 任	孙守光			
副 主 任	刘志明	章梓茂		
委 员	宋永增	史红梅	陈淑玲	贾慧娟
本书主编	何 涛			

出版说明

2005 年,在铁道部的安排下,北京交通大学根据国外动车组设计资料、国内外技术交流文件,编写了动车组培训讲义,并对从事动车组运用的在职技术人员进行培训;随着中国高速动车组事业的飞速发展,到 2010 年,该讲义已经修订 4 版,先后培训了设计制造企业和运用部门各类人员 4 000 多人。

为适应动车组机械师专业人才培养的需要,北京交通大学机械与电子控制工程学院、北京交通大学出版社,在铁道部有关部门的指导下,组织北京交通大学铁道部动车组理论培训基地的教师,在南车青岛四方机车车辆股份有限公司、北车长春轨道客车股份有限公司、北车唐山轨道客车有限责任公司和青岛四方庞巴迪铁路运输设备有限公司等单位领导和专家的大力支持下,编写了本套“动车组系列培训教材·机械师”。

教材编写突出理论与实用相结合的原则。本着“理论通俗易懂,实操图文并茂”的原则,系统介绍了 4 种高速动车组的基本原理和结构组成。

本系列教材的出版,得到中国工程院王梦恕院士的关注和首肯,以及北京交通大学校领导、专家、教授的指导和支持,在此一并致谢。

北京交通大学机械与电子控制工程学院为该系列教材的出版,投入了大量的人力、物力和财力支持。

本系列教材从 2012 年 1 月起陆续出版,包括《动车组概论》、《动车组车体结构与车内设备》、《动车组转向架》、《动车组制动系统》、《动车组电力电子技术基础》、《动车组供电牵引系统与设备》、《动车组辅助电气系统与设备》、《动车组运行控制系统》、《动车组车内环境控制系统》、《动车组控制与管理系统》、《动车组运用与维修》、《动车组司机室》。

希望本套教材的出版对高速动车组的发展,对提高动车组的安全运行和维修、维护水平有所帮助。

动车组系列培训教材编写委员会

2012 年 5 月

院士推荐

中国高速铁路近年来发展迅速,按照铁路中长期发展规划,到2020年,全国铁路运营里程将由目前的9.1万km增加到12万km,其中时速200~350km的客运专线和城际铁路将达到1.8万km,投入运营的高速动车组将达到1000组。

高速铁路涉及诸多高新技术领域,其中作为铁路运输主要装备的高速动车组是这些高新技术应用的综合体现,它涉及系统集成技术、新型车体技术、高速转向架技术、快速制动技术、牵引传动技术、自动控制技术、网络与信息技术等。大量新技术装备的创新和应用,极大地提高了铁路客货运输的能力和快速便捷的出行,但在实际使用中对于现有参与运营、维修、管理等各类人员提出了更高、更新的要求,以确保高速铁路运营过程的安全与可靠性。目前相对于我国高速铁路里程建设速度,对于在实际运营、管理中迫切需求的大量技术人才培养明显滞后,因此会在高速铁路的长期运营中存在严重的安全隐患,温州“7.23”事故已经给了我们一个沉痛的教训。另外,相对于高速铁路建设发展的需求,目前能够满足高速铁路运营、维修人才培养需求的优质教材也存在严重不足,尚不能满足我国高速铁路发展对各类人才培养的需要。

北京交通大学机械与电子控制工程学院作为“铁道部高速动车组理论培训基地”和北京市动车组优秀教学团队所在单位,已长期从事有关铁道车辆专业的教学与科研工作,不但学术水平高,而且教学经验丰富。从2005年开始结合我国高速动车组技术的引进、消化、吸收和创新项目及高速列车国家科技支撑项目,进行研究和实践,取得了许多成果。在参考了国内外动车组设计资料、与国内外有关设计、制造、管理局等方面进行了相关技术和学术交流,在广泛听取来自企业和运用部门提出应加快对运营单位各专业人员进行岗位培训要求的基础上,组织相关专家、教授、高级技师等进行高速动车组运营工程师、技师培训讲义的编写,在内容的适用性、安全性、可靠性与全面性方面保持与国际高速动车组技术同步,并承担由铁道部下达的各项培训任务,至今已为各单位培训高速动车组运营、维修、管理人才4000余人,为保证我国快速发展的高速铁路事业做出了相应的贡献。

今天,这套倾注了众多专家、教授、技师及铁路部门有关领导和工程技术人员大量心血的“动车组系列培训教材·机械师”即将由北京交通大学出版社付梓面世。这套教材的出版,恰逢其时,我们有理由相信它能够为促进我国高速铁路动车组的安全可靠运营和维护提供一个良好的支撑!

祝我国的高速铁路事业进一步健康、蓬勃、快速发展。

中国工程院院士

2012年5月

前 言

进入 21 世纪,我国铁路进入了一个高速发展时期,其中动车组的引进为我国铁路客运交通事业带来了新的机遇。近几年动车组的数量增长迅猛,据我国铁道部的统计资料显示,仅 2004 年 9 月到 2005 年 5 月,铁道部通过投标方式分两次采购时速 200 km 动车组 160 列,计 1 280 余节。

动车组的应用使得我国铁路客运在速度与舒适性方面得到了长足进步,其中车内空气环境对乘客旅途的舒适性影响巨大。与传统国产空调客车比较,动车组的车辆空气调节出现了一些新技术和新装备。为了适应这种新的变化,及时反映铁路车辆空气环境调节技术的最新发展,编写本教材,以供动车组运用维修从业人员、铁道车辆专业和车辆空调专业职业技术教育教学使用。本书共分 8 章,具有以下几个特点。

(1) 在理论知识方面突出了“必需、够用”的原则。在理论知识的介绍方面,简化了烦琐的理论分析和计算,力求让读者能够迅速入门,为后续实际结构与系统配置方面的学习做好必要储备。

(2) 教学内容与实际应用结合紧密。以目前我国在用的 CRH₁、CRH₂、CRH₃ 和 CRH₅ 的空调系统为主体,介绍了空调装置的结构、系统组成、工作原理、工作过程、运行控制、安装调试、维护检修和常见故障处置。

(3) 本书内容编写采用了“合-分-合”的构架。为使读者迅速建立环境控制的基本概念,第 1 章首先在总体上介绍了车内空气环境及其控制系统,随后对涉及的基础理论知识和各环境控制子系统进行分解展开。最后本书第 7 章以 CRH₁、CRH₂、CRH₃ 和 CRH₅ 等四种典型动车组为实例进行讲述,为读者比较鉴别各车型车内空气环境控制系统的技术特点提供了方便。

(4) 本书内容借鉴了很多动车组生产厂家提供的技术资料,在技术参数、系统设备、设备构造、运行控制和维护检修方面的叙述可以对动车组运用和维护检修从业人员提供实际帮助。

本书由北京交通大学何涛担任主编,北京交通大学宁智担任副主编。参加编写的有:北京交通大学张华(第 1 章、第 2 章)、宁智(第 3 章、第 4 章、第 7 章)、何涛(第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章)。全书由何涛统稿。

本书的编写过程中参考了大量的有关资料和教材,在此谨向各位著作者表示感谢。特别感谢北京交通大学徐宇工和李国岫对本书编写提供了大量的指导。

由于编者的水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评、指正。

编 者

2012 年 5 月

第1章 动车组车内环境及其控制系统	1
1.1 动车组车内环境	1
1.1.1 动车组车内环境的构成	1
1.1.2 动车组车内环境的特点	2
1.1.3 动车组车内环境的影响因素	2
1.2 动车组车内热环境的综合评价方法	4
1.2.1 人体热平衡与热舒适感	4
1.2.2 影响人体热舒适的因素	5
1.2.3 热环境的综合评价方法	6
1.3 动车组车内环境控制系统的组成及功能	11
1.3.1 动车组车内环境控制系统的组成	11
1.3.2 动车组车内环境控制系统的类型	11
1.3.3 动车组车内环境控制系统的主要功能	13
第2章 动车组车内环境控制的基本原理	14
2.1 空气调节	14
2.1.1 湿空气的组成及物理性质	14
2.1.2 湿空气的焓-湿图	16
2.1.3 空气处理过程在焓-湿图上的表示	18
2.2 制冷原理及制冷剂	19
2.2.1 蒸汽压缩式制冷的工作原理	20
2.2.2 蒸汽压缩式制冷的理论循环	21
2.2.3 蒸汽压缩式制冷的实际循环	23
2.2.4 制冷剂	24
2.3 气流组织	28
2.3.1 气流组织的概念	28
2.3.2 气流组织的方式	29

2.3.3 气流组织的评价	33
2.4 空气净化	37
2.4.1 空气净化的概念	37
2.4.2 内部空间空气净化化的要求	37
2.4.3 空气净化技术	38
2.5 自动控制	42
2.5.1 自动控制系统的组成	42
2.5.2 计算机控制系统	43
第3章 通风系统	44
3.1 通风系统的组成及各部分功能	44
3.1.1 通风机(组)	45
3.1.2 风道	45
3.1.3 进风口、送风口及其调节板	46
3.1.4 车内空气净化设备——空气过滤器	46
3.1.5 空气压力波动控制装置	47
3.2 诱导通风简介	50
3.2.1 诱导器及诱导通风工作原理	50
3.2.2 诱导通风系统的特点	51
3.3 应急通风	52
第4章 制冷系统	53
4.1 制冷压缩机的类型	53
4.2 活塞式制冷压缩机的基本构成及工作原理	54
4.2.1 活塞式制冷压缩机的基本构成	54
4.2.2 活塞式制冷压缩机的工作原理	56
4.3 滚动转子式制冷压缩机的基本构成及工作原理	59
4.3.1 滚动转子式制冷压缩机的基本工作原理	59
4.3.2 滚动转子式制冷压缩机的基本构成	60
4.3.3 滚动转子式制冷压缩机的特点	62
4.4 涡旋式制冷压缩机的基本构成、特点及工作原理	62
4.4.1 涡旋式制冷压缩机的基本构成	62
4.4.2 涡旋式制冷压缩机的工作原理	63
4.4.3 涡旋式制冷压缩机的特点	64
4.5 换热器及其他辅助设备	65
4.5.1 换热器	65
4.5.2 辅助设备	67
4.6 制冷自动控制元件	69
4.6.1 热力膨胀阀及毛细管节流装置	69
4.6.2 控制电磁阀	71
4.6.3 压力控制元件	72

第 5 章 供热及加湿系统	74
5.1 供热系统的形式	74
5.2 电加热供热装置	74
5.2.1 管状电热元件	74
5.2.2 电预热器	75
5.2.3 电加热器	76
5.3 热泵	77
5.3.1 热泵原理	77
5.3.2 四通换向阀	78
5.3.3 四通换向阀在制冷时的工作原理	78
5.3.4 四通换向阀在制热时的工作原理	79
5.4 空气加湿系统	80
第 6 章 动车组空调系统的运行控制	81
6.1 客车空调系统的基本电气控制原则	81
6.1.1 运行控制原则	81
6.1.2 常见保护功能	81
6.2 CRH ₂ 动车组空调系统的运行控制	82
6.2.1 控制系统组成与工作原理	82
6.2.2 主要控制装置	82
6.2.3 主要控制内容	89
6.3 CRH ₁ 动车组空调系统的运行控制	97
6.3.1 控制系统组成	97
6.3.2 控制方法	98
6.3.3 主要控制装置	98
6.3.4 运行控制模式	99
第 7 章 典型动车组车内环境控制系统	101
7.1 CRH ₁ 动车组车内环境控制系统	101
7.1.1 概要	101
7.1.2 空气调节系统	101
7.1.3 司机室空调系统	105
7.2 CRH ₂ 动车组车内环境控制系统	105
7.2.1 概要	105
7.2.2 空气调节系统	106
7.2.3 司机室空调系统	112
7.3 CRH ₃ 动车组车内环境控制系统	113
7.3.1 概要	113
7.3.2 空气调节系统	114
7.3.3 司机室空调系统	118
7.4 CRH ₅ 动车组车内环境控制系统	119

7.4.1 概要	119
7.4.2 空气调节系统	120
7.4.3 司机室空调系统	121
第8章 动车组空调系统的故障分析与检修	124
8.1 客车空调系统的维护与检查	124
8.1.1 空调机组的正常工作状态	124
8.1.2 电气装置的维护与检查	125
8.1.3 通风系统的检查	126
8.2 客车空调机组的故障判断与处理	128
8.2.1 电气故障一般检查和分析方法	129
8.2.2 制冷系统常见故障分析	131
8.3 客车空调制冷系统的检修操作	134
8.3.1 添加制冷剂	134
8.3.2 制冷系统的检漏	136
8.4 CRH ₂ 动车组空调系统的维护、检修与故障处置	137
8.4.1 空调装置的安装与运行	137
8.4.2 空调系统的检修与更换	137
8.4.3 空调系统的常见故障及处置	145
8.4.4 检修作业	147
附录 A 空调运行模式设定对照表	150
附录 B DATA 显示内容说明	151
附录 C 重故障代码表	154
附录 D 轻故障代码表	155
参考文献	156

第1章 动车组车内环境及其控制系统

环境是以人类为主体的外部世界，即人类赖以生存和发展的各种因素的综合体。根据其特征和功能的差别，环境可分为自然环境和人工环境。动车组车内环境属于典型的人工环境，它是以车厢围护结构为边界，一切与乘车人相关的周围事物的总称。

动车组的车内环境是人们按照自己的意志所创造出受控的室内环境，它受到人为的干预与控制，以达到乘客所需求的舒适度。要使动车组的车内环境达到规定的要求，就必须有一整套的设备及相应的控制系统加以保障。车内环境控制系统是使车内环境达到预期要求的所有设备的集合体。它的基本功用是满足车内的照明和噪声要求，并维持车厢中规定的空气温度、相对湿度、洁净度和压力。

1.1 动车组车内环境

1.1.1 动车组车内环境的构成

动车组车内环境由多方面因素共同作用而构成。一般来说，它应包括车内空气环境、车内声环境及车内光环境。但本书的内容将不涉及车内声环境和车内光环境，主要论述车内空气环境。车内空气环境主要由热环境、湿环境和空气品质等部分构成。热环境好坏由空气温度的高低来判定；湿环境的优劣主要由空气的相对湿度来表征；空气品质则由新风（新鲜空气）量的多少或空气的洁净度来表征。

动车组车内空气环境舒适性的指标除了空气温度和相对湿度之外，还包括空气流速。空气品质的指标为新鲜空气量、含尘量及二氧化碳含量。我国铁路部门对空调客车车内空气环境的基本要求如表 1-1 所示。

国际上，UIC553 标准中给出了推荐参考用的旅客列车中舒适性温度与湿度的相关图，如图 1-1 所示。对于车内空气清洁度，UIC553 标准规定空气中的二氧化碳容积浓度不大于 0.15%，空气中的含尘量不得超过 0.5 mg/m^3 ；客室内人均新鲜空气量夏季应达到 $15 \sim 20 \text{ m}^3/\text{h}$ ，冬季应达到 $10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{h}$ ，相对湿度夏季不大于 70%，冬季不小于 30%；温度范围夏季应达到 $24^\circ\text{C} \sim 28^\circ\text{C}$ ，冬季应达到 $18^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ 。司机室内人均新鲜空气量夏季应达到 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ，冬季应达到 $25 \text{ m}^3/\text{h}$ 。UIC553 标准还规定，车内平均微风流速不允许超过 0.3 m/s ，在夏季制冷系统工作时，气流速度要高于 0.07 m/s ，以避免出现“静态区域”。

车内空气环境控制，实质上就是借助于各种技术手段通过对车内空气的温度、湿度、

速度和洁净度的调节使车内空气保持理想的状态,也就是说,空气调节是实现对空气环境控制的必要手段。

表 1-1 我国空调客车车内空气
环境的基本要求指标

空调参数	控 制 标 准	
	夏季	冬季
空气中 CO ₂ 容积浓度/%	≤0.15	≤0.15
空气中含尘量/(mg/m ³)	≤0.5	≤0.5
新鲜空气量/[m ³ /(h·人)]	15~20	10~15
司机室内新鲜空气量 /m ³ /(h·[人])	30	25
空气流速/(m/s)	≥0.07	≤0.3
相对湿度/%	≤70	≥30
温度范围/℃	24~28	18~20

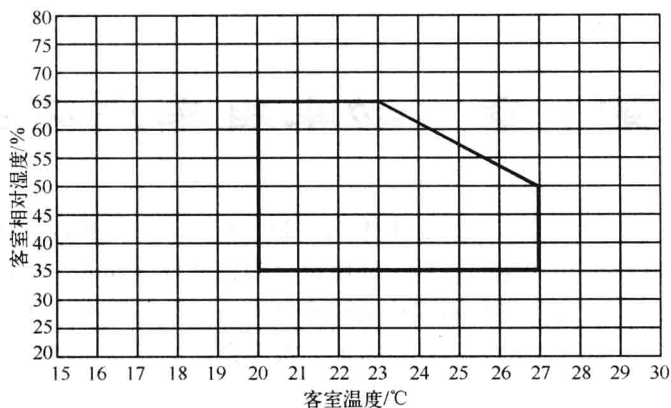


图 1-1 客车内舒适性温度与湿度的相关图

1.1.2 动车组车内环境的特点

当列车以高速运行时,如果车厢密闭不严或开启车窗,则车内会产生强烈的紊流和噪声。因此,高速动车组与常速列车的区别之一就是它的车厢在列车运行时几乎是个密闭的空间。列车工作条件的特殊性造成它的内部环境与普通建筑空调房间的室内环境有许多不同之处,具体表现在以下 5 方面:

- ① 列车内的人员密度大,二氧化碳及人体异味排放量大;
- ② 车厢空间相对狭小,加上车内设施布置紧密,因此不利于空气流通,难以达到合理的气流组织;
- ③ 各种健康状况的人员在相对较长的时间内保持近距离接触,易于发生病菌传播;
- ④ 列车单位空间的外表面积大,与外界的热交换量大,近车厢壁面处空气的温度梯度较大,所以车厢内不易形成均匀的温度场;
- ⑤ 车窗所占比例相对较大,易受阳光直射,因此由辐射热引起的空调负荷较大。

因此,若使车内环境达到要达到温度、湿度适宜及空气清洁的要求,在车内环境控制系统的设计中,必须充分考虑上述特点。

1.1.3 动车组车内环境的影响因素

众所周知,一个既定空间的空气环境,一般要受到两方面的干扰:一是来自空间内部的热、湿和其他有害物质的干扰;二是来自空间外部太阳辐射和气候变化所产生的热作用及外部空气中有害物质的干扰。

列车处于自然环境之中,其车内空气环境必然受到存在于外部和内部的两类热源的综合作用。外部热源主要是指太阳和大气;内部热源则可能包括人体及与人类活动相关的照明、车内机电设备、器具或其他一些能量消费与传递装置。热源总是以导热、辐射或对流方式与外部环境之间进行着热能的交换,进而形成加载于环境的热负荷。高温热源总是将热量传进车内,形成正值热负荷(夏季常称为“冷负荷”);低温热源则自车内带走热量,

形成负值热负荷（冬季往往表现为“热损失”）。

太阳是最重要的外部高温热源。它以辐射的方式与车厢围护结构或车内器具表面进行热交换，在材料层中产生吸热、蓄热和放热效应。材料吸热、蓄热升温后，或者分别向车外、车内两个方向传导热量，或者在车内各表面间反复进行长波辐射热交换，与此同时又逐渐向空气中放出对流热，形成车内的热负荷。

大气温度受自然环境和某些人为因素的影响，随时间、空间而有显著变化，属于一种典型的变温热源。它对车内环境的热作用分为两种形式，其一是通过围护结构壁体以温差传热的形式直接或间接地将热量传入或传出车内，进入车内的热量以与太阳辐射类似的传递过程逐渐形成车内的热负荷；另一种则是伴随通风空调系统的新风供应或外围护结构的新风渗透将一定的热量带入或带出车内，并即时地转化为室内热负荷。

各种车内热源主要是借助温差作用与环境之间进行着热交换，这种热交换热量同围护结构传热量一样包含着辐射成分和对流成分，故其在车内逐渐形成热负荷的过程与上述外热源的作用机理是完全一致的。

在自然环境中，车内空气环境在接受外部、内部热源综合作用的同时，也受到存在于外部和内部两类湿源的综合作用。湿源表面与环境空气间总会存在一定的水蒸气分子浓度差或分压差，由此推动水蒸气分子的迁移，并借助其蒸发、凝结或渗透、扩散实现与车内环境之间的湿交换，形成相应的湿负荷。

车外大气由于自然界中水分的蒸发、汽化而常以湿空气的形式出现，并成为主要的外部湿源。当然，这种湿空气中的水汽含量也因时间、空间和气候等影响而有差异。大气中的湿分主要借助通风空调系统新风供应传进车内。

车内的湿源是多种多样的。一般情况下，人体是基本的散湿源。此外，散湿源还包括与乘客活动相关的生活用水器具、炊事、餐饮设备等。人体通过呼吸和体表汗液蒸发散发湿量，其他湿源则借助自由液面或器具、材料表面水分的蒸发、汽化，通过对流扩散将水蒸气混入空气中。

车内湿负荷的大小影响着空气相对湿度的高低，而相对湿度既是影响人体热舒适的一个重要参数，也是影响人体健康的一个重要因素。人体热平衡在气温较高时更多地依靠汗液蒸发，所以相对湿度的影响将显得更为重要。高温高湿会令人感觉闷热难耐，并易导致肺病、肺炎。相对湿度超过70%时，还将为许多微生物的滋长提供充足的水分和营养源。当然，相对湿度过低也是不利的，特别在低温环境里会令人产生干冷的感觉。相对湿度过低还会促使呼吸系统黏膜上黏液和黏毛运动速度减缓，由此也为细菌、病菌的繁殖创造了良好的条件。

应当指出，湿源散湿过程中，伴随水蒸气的移动同时发生潜热的迁移，热源和湿源及热传递与湿传递这两种物理概念在这里也就变得难以区分。因此，在研究车内空气环境控制时，人们已习惯于将湿源视为一种广义的热源，并且将湿负荷对环境的影响同热负荷及空气流动一道归入热污染这一范畴。

空调客车车内空气污染物的来源主要包括车内人员、材料、设备及部分车外污染空气。其中，车内人员、材料、设备对客车空气品质的影响如表1-2所示；车外污染物对客车车内空气品质的影响如表1-3所示。

表 1-2 车内人员、材料、设备对客车空气品质污染分析表

来 源		产生的污染物	危 害
内饰材料		甲醛、苯、TVOC	头痛、头晕、恶心、乏力、神经疲劳、咽喉刺激、流泪、神经毒性作用
呼吸、皮肤、汗腺代谢、活动		CO ₂ 、NH ₃ 、CO、甲醇、乙醇、醚	—
吸烟		CO ₂ 、CO、NO、烷、烯烃、尼古丁、焦油、芳香烃等	呼吸系统疾病
车内设备	发动机	CO、汽油挥发物	不能适应
	空调设备	微生物	—
	电视	微量的电磁辐射	—
室内微生物		细菌、真菌、病毒、螨虫	各种传染病

表 1-3 车外污染物对客车空气品质污染分析表

来 源	产生的污染物	危 害
交通污染	CO、HC	—
光化学污染	O ₃	破坏深部呼吸道
工业污染	SO ₂ 、NO ₃ 、TSP、HF	呼吸系统疾病
植物	花粉、孢子	哮喘、皮疹、皮炎、过敏反应
环境中的微生物	细菌、真菌、病毒、螨虫	各种传染病

用以消除上述干扰的技术手段主要是通过对空间输送并合理分配一定质量（按需要处理）的空气，与内部环境的空气之间进行热、质交换，然后排出等量的已经完成调节作用的空气来实现。

1.2 动车组车内热环境的综合评价方法

1.2.1 人体热平衡与热舒适感

人体是靠食物的化学能来补偿肌体活动所消耗的能量。人体新陈代谢过程所产生的能量以热量的形式释放给环境，从而使体温维持在 36.5℃ 左右。人体的热平衡可以用下式来表示：

$$\Delta q = q_m \pm q_c \pm q_r - q_w \tag{1-1}$$

式中 Δq ——人体热负荷，即人体产热率与散热率之差，W/m²；

q_m ——人体新陈代谢产热率，W/m²；

q_c ——人体与周围环境的对流换热率，W/m²；

q_r ——人体与环境的辐射换热率，W/m²；

q_w ——人体蒸发散热率，W/m²。

人体与周围环境的换热方式有对流、辐射和蒸发 3 种，而换热的余量即为人体热负荷

Δq 。在正常情况下, $\Delta q = 0$, 这时人体因为保持了热平衡而感到舒适。据卫生学研究, Δq 的值与人们的体温变化率成正比。当 $\Delta q > 0$ 时, 体温将升高; 当 $\Delta q < 0$ 时, 体温将降低。如果这种体温变化的差值不大, 时间也不长, 则可以通过环境因素的改善和肌体本身的调节, 逐渐消除, 恢复正常体温状态, 不致对人体产生有害影响; 若变动幅度大, 时间长, 人体将出现不舒适感, 严重者将出现病态征兆, 甚至死亡。因此, 从环境条件上应当控制 Δq 的值, 而要维持人体体温恒定不变, 必须使 $\Delta q = 0$, 使人体处于热平衡状态, 即:

$$q_m \pm q_c \pm q_r - q_w = 0 \quad (1-2)$$

上式的意义是人体的新陈代谢产热量正好与人体所处环境的热交换量处于平衡状态。显然, 人体的热平衡是达到人体热舒适的必要条件。由于式中各项还受到其他一些条件的影响, 可以在较大的范围内变动, 许多种不同的组合都可能满足上述热平衡方程, 但人体的热感觉却可能有较大的差异。换句话说, 从人体热舒适考虑, 单纯达到热平衡是不够的, 还应当使人体与环境的各种方式换热限制在一定的范围内。据研究, 当达到热平衡状态时, 对流换热约占总散热量的 25% ~ 30%, 辐射散热量占 45% ~ 50%, 呼吸和有感觉蒸发散热量占 25% ~ 30% 时, 人体才能达到热舒适状态, 能达到这种适宜比例的环境便是人体热舒适的充分条件。

1.2.2 影响人体热舒适的因素

人体热舒适是人们对周围热环境感到满意的一种主观感觉, 它是多种因素综合作用的结果。热舒适性涉及车内空气温度、空气的相对湿度、气流速度、车内表面的平均辐射温度、空气品质等物理因素, 同时也取决于乘客的活动、衣着状况, 以及生活习惯等主观因素。人对环境的要求常因体质、年龄、性别、习惯和健康状况而不一样。但在正常情况下, 多数人的要求还是大致相同的。适宜的温度、适宜的湿度、适宜的气流和清洁的空气, 构成了舒适性环境的基本要素。一个完整的列车空气环境控制系统是通过调节温度、湿度、风速和换气等, 来达到营造车厢内舒适环境的目的。

1. 温度

一般来说, 车内空气温度是热舒适性的重要影响因素, 因为人们对温度最敏感。微小的热刺激会因肌体反射性血管舒缩调整而引起感觉, 室内环境的热污染必然导致室内空气温度、内壁面温度及平均辐射温度偏离舒适范围, 打乱人体的正常热平衡。高温环境促使排汗量增加, 导致体温上升, 产生热感; 低温环境导致体温下降, 产生冷感。尽管人体所能忍受的温度范围较宽, 在 10℃ ~ 32℃ 可以长期停留, 在 43℃ 或 -25℃ 也可以短时间停留, 但是人体最感舒适的温度在冬季为 20℃ ~ 23℃, 夏季则不宜超过 27℃。过热、过冷的环境不仅影响人体舒适、健康和工作效率, 严重时甚至会危及人的生命。

2. 湿度

相对湿度, 习惯上人们简称之为湿度, 是表征大气中含有水蒸气多少的物理量, 它是衡量空气环境潮湿程度的一项重要指标。环境空气(室内)湿度的过大或过小, 都对人体的健康不利, 很容易导致人们生病。环境空气相对湿度过大, 人体出汗散热的功能就不能充分发挥, 人便会感到闷热。相对湿度过小, 人体水分便蒸发得过多或过快, 人们就容

易感到口干舌燥,还易患感冒、支气管炎、哮喘等疾病。根据现代科学研究试验,40%~60%的环境空气相对湿度对人体的健康最有利,人体的抗病能力也最强。在这样的环境空气湿度范围内,人们也会感到最适宜,人的皮肤含水率也最高,且显得丰润而有光泽、有弹性。列车车厢内空气的相对湿度受外界气候的影响很大。由于自然环境的相对湿度往往会随时间、地点的不同而发生很大的变化,所以跨区域运行的高速列车在这方面所受到的影响则更为明显。因此,湿度控制是动车组环境控制系统的一项不可缺少的重要任务。

3. 风速

风速即空气流速,对人体舒适度也有相当大的影响。舒适环境要求人体附近的空气流速应足够大,以排除人体产生的热量,但是又不应有明显的吹风感觉。合适的空气流速可以通过车内送风口的合理布置和采用各种空气分布装置来获得。特别是在人要求舒适的地方,空气流速的重要性是不能低估的。如果在温暖潮湿的环境中,空气流速高,人们就会感受到舒适,但如果在低温的环境中,空气流速过高,人们就越感到不舒适,一般讲,在单个人体周围,空气流速为0.25 m/s左右时,普通的人是会感到舒适的。专家建议,人居环境的风速,在夏季以不小于0.15 m/s,冬季以不大于0.3 m/s为宜。

另外,由于列车车厢空间狭小,比表面积相对较大,所以车内表面平均辐射温度对热舒适性有着不可忽视的影响。特别是在夏季当太阳直射车窗及寒冷地区冬季夜间行车时,由于近车窗处温度梯度较大,其影响尤为显著。

1.2.3 热环境的综合评价方法

由于影响热环境的因素较多,且它们具有综合性和相互补偿性,因此,难以简单地用单一因素指标正确评价热环境的优劣。数十年来,许多学者探求了对热环境的综合评价方法,至今已从不同的途径提出了多种不同的评价指标或评价方法。在此简要介绍几种较为通用的方法。

1. 有效温度

有效温度(Effective Temperature, ET)是美国暖通、空调、制冷工程师学会(ASHRAE)在20世纪上半叶所提出的热舒适性评价指标。它依据半裸的人及穿夏季薄衫的人在一定条件的环境中所反应的瞬时热感觉作为决定各项因素综合作用的评价标准。该指标是以空气温度、空气湿度和气流速度为影响因素而制定的综合评价图。有效温度(ET)的定义为:它是一个将干球温度、湿度、空气流速对人体温暖感或冷感的影响综合成一个单一数值的任意指标。它在数值上等于产生相同感觉的静止饱和空气的温度。有效温度通过人体试验获得。在决定此热感指标的实验中,受试者在环境因素组合不相同的两个房间中来回走动;调节其中一个房间的各项条件,使得人由一个房间进入另一房间时有相同的热感觉。如果上述3个因素的任何组合得出同一个有效温度,则均能产生同样的热感觉,且与处于温度和该热指标值相同的饱和静止空气所产生的热感觉相同,因此它也常被称为“等感温度”。图1-2为有效温度指标图。只要已知空气的干球温度、湿球温度和气流速度,即可从该图中查出有效温度。