

国家重点研发计划——先进轨道交通“轨道交通列车环境友好技术”
(2017YFB1201100) & “复杂环境下轨道车辆全生命周期能力保持与优化研究”
(2017YFB1201200)

轨道交通列车 环境友好学初探

程祖国 徐刚 罗敏 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书尝试性地给轨道交通列车环境友好学下定义,以人认知环境的眼、耳、鼻、舌、身、意为逻辑轴线,系统地介绍轨道交通列车环境友好各维度集的主要研究方向,简略勾画轨道交通列车环境友好学理论架构。全书共9章,第1章从人类生存空间及人的生活环境的界定入手,引出若干定义;第2章介绍列车外环境、自环境和内环境;第3~8章介绍基于眼、耳、鼻、舌、身、意的列车“六识”环境友好维度群;第9章展望轨道交通列车环境友好学研究未来。

本书可作为高等院校轨道交通专业、环境工程专业研究生以及环境偶领域单极、双极研究人员、工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

轨道交通列车环境友好学初探 / 程祖国,徐刚,罗敏编著. —上海:同济大学出版社,2020.7
ISBN 978-7-5608-9222-1

I. ①轨… II. ①程… ②徐… ③罗… III. ①城市铁路—轨道交通—列车—环境—研究 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第059659号

轨道交通列车环境友好学初探

程祖国 徐刚 罗敏 编著

责任编辑 朱勇 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路1239号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 700 mm×1000 mm 1/16

印 张 11.5

字 数 230 000

版 次 2020年7月第1版 2020年7月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-9222-1

定 价 58.00元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

加快：第一次工业革命带来了蒸汽机；接着，人类社会进入了电气化时代。随着人类改造自然取得节节胜利，人们对自己的力量做出了过高的估计，俨然以大自然的征服者自居。然而，人类没有想到，大自然对人类的征服一定会进行惩罚和报复。

恩格斯的话如雷贯耳：“不要过分陶醉于我们人类对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都会对我们进行报复。”果然如此，近现代社会所发生的能源危机、环境污染、生态破坏、瘟疫流行等，无一不是大自然对人类的报复。

痛定思痛，人们终于认识到人类也是自然界的一员，人类和自然界构成了一个大生态系统。“斗志昂扬一声吼，地球也要抖三抖！”地球是人类的家园，人们生于斯、长于斯，为什么要去吓唬地球呢——地球可不能随便抖，“抖三抖”就是大地震！如同人无法提着自己的头发离开地球一样，“天人合一”要比“人定胜天”更符合辩证法。因此，出路只有一条：协调自然，与大自然和谐共生！

城市也是个生态系统。交通系统对于城市来说，相当于人体的血液循环子系统，每天为城市输送氧气和养料，排除废弃物。减轻轨道交通带来的环境、能源负荷，提高交通效率和维持合理成本，为社会各阶层提供公平、优质的服务——这些都是建设资源节约型、环境友好型社会所必需的交通条件。

城市轨道交通作为城市公共交通大动脉，由于运能大、速度快、安全舒适、节能环保，已成为广大市民出行的首选。在我国抗击新冠疫情下恢复城市轨道交通运营的41个大城市中，一些特大城市的轨道交通客运量已经超过了道路公交客运量。

轨道交通列车和轨道交通车站，二者一动一静，是为市民提供优质服务、与市民接触最亲密的重要载体。尤其是轨道交通列车，如何使它更节能环保，更有利于维护公共卫生安全，建立更高效的应急处置体制机制，都有大量的研究课题等待我们去攻坚克难、持续创新。

《轨道交通列车环境友好学初探》一书以仿生学、拟人化的思路和方法，对环境友好型列车展开多学科研究，并试图建立起一门子学科的框架。我十

分赞赏研究团队的勇气和智慧,这是一种独到的尝试和创新。我衷心希望这本新书能得到读者的欢迎和关爱,从而使它不断完善,共同推进全社会的环境友好文化建设。

“小荷才露尖尖角,早有蜻蜓立上头。”祝愿轨道交通列车环境友好学科能在各方的支持下茁壮成长!

同济大学老科技工作者协会会长
《城市轨道交通研究》杂志社主编
原上海铁道大学副校长



2020年4月13日

前 言

世界上许多国家的科学家、工程技术人员及政府、组织致力于环境的友好,环境友好理念、环境友好技术、环境友好产品层出不穷。自然科学、社会科学领域论述环境友好的著作不胜枚举,但鲜见以“环境友好学”命名的理论专著,笔者不惜冒昧予以初步尝试。

国家重点研发计划“先进轨道交通”领域 2017 年设立了“轨道交通列车环境友好技术”“复杂环境下轨道车辆全生命周期能力保持与优化研究”等课题,20 多家单位参与。研究者们从覆盖轨道交通列车全生命周期的空间、时间轴上挖掘了物理学、化学、生物学、医学及社会学相关学科蕴藏的环境友好理念,开发出使人直接、间接地感受到环境趋向友好的种种治理技术,研制出形形色色的环境友好产品、部件。为梳理、完善和展望上述涉及自然科学和社会科学的成果,笔者集聚上述宝贵素材,苦思整编顶层架构时,想到中国传统文化指出的人的“六识”——视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉、感觉,遂以之为主轴,对轨道交通列车的环境对象进行逻辑分类。是为初探“轨道交通列车环境友好学”的缘起。

中车青岛四方机车车辆股份有限公司列车总体首席科学家杨基宏教授级高工带领的专家团队,反复听取了本书编写组的汇报,每次都细致地质询,使本书的编撰逻辑和内容覆盖面得到进一步完善,也给编写组克服方方面面困难完成此书注添心力。

本书由同济大学程祖国、中车青岛四方机车车辆股份有限公司徐刚、同济大学罗敏编写。第 1 章从人类生存空间及人的生活环境的界定入手,引出若干定义;第 2 章介绍列车外环境、自环境和内环境;第 3~8 章介绍基于眼、

耳、鼻、舌、身、意的列车“六识”环境友好维度群；第9章展望轨道交通列车环境友好学研究未来。第3~8章汇集了国家重点研发计划——先进轨道交通“轨道交通列车环境友好技术”(2017YFB1201100)、“复杂环境下轨道车辆全生命周期能力保持与优化研究”(2017YFB1201200)课题的研究成果。感谢课题组的封亚、罗雁云、姜卫星、任利惠、王美娣、薛晓红、丁伟风、程祖明等成员，尤其感谢中车青岛四方机车车辆股份有限公司的张恒志、张志龙、闫磊、张敬明、李忠元等对本书提出的宝贵建议！编写涉及大量资料的收集、整理、编辑和列车环境性能指数实验测试工作，感谢众多同学为此付出了辛勤劳动，他们是：同济大学2015级邬雨萱、刘添锐、饶钰、俞路漫同学，2017级储文韬、勾兆丁、蔡晨涛、王子玮同学，2018级李丰荣同学；西南交通大学2018级程子易泓同学；上海嘉定一中2017级浦祺玥、张浩康、邱皓聪同学；山东聊城市外国语学校中学部2018级范炫烨同学。本书借鉴、参考、引用了国内外学者的相关著作、论文、研究成果，难以在参考文献中一一列出，在此深表谢意！也向所有给予本书建议的朋友致谢！

还要感谢浑融生命科技(上海)有限公司李正香、上海京华超音波有限公司程宏伟、上海鹤之韵轨道交通科技开发有限公司李萍、上海畅元生态农业科技有限公司王万健，谢谢他们为本书的完成给予的高度关注、大力支持和慷慨付出！

由于编者水平、精力有限，书中错误或欠妥之处，恳请批评指正。

祈愿首次探索性的轨道交通列车环境友好学的理论能给轨道交通行业、环境专业、环境偶研究群体以及政府和国际、国内环境友好组织带来有益的参考。

编著者

2019年9月20日

同济大学铁道与城市轨道交通研究院复楼

目 录

序

前言

1 绪论	001
1.1 人类生存空间及人的生活环境	002
1.1.1 人类赖以生存的空间	002
1.1.2 环境实相与分类	002
1.1.3 环境属性在高科技介入后已然改变	005
1.1.4 人与环境的交互通路	006
1.2 环境友好与研究环境的既有学科	007
1.2.1 友好与环境友好内涵	007
1.2.2 研究环境的现有学科	007
1.2.3 环境友好学亟待创建	010
1.2.4 环境友好学研究对象及其与相关学科的关系	010
1.2.5 环境友好学研究方法	011
1.3 轨道交通列车环境友好学及其特征	012
1.3.1 轨道交通、城市轨道交通与轨道交通列车	012
1.3.2 轨道交通列车环境友好与否评判维度与阈值	014
1.3.3 轨道交通环境友好学与轨道交通列车环境友好学	015
1.3.4 轨道交通列车环境友好学学科链	016
1.3.5 轨道交通列车环境友好学特征	017

1.3.6	小结	018
2	轨道交通系统与列车	019
2.1	轨道交通系统(列车外环境)	019
2.1.1	供电系统	019
2.1.2	通信系统	021
2.1.3	信号系统	024
2.1.4	自动售检票系统	024
2.1.5	自动升降系统	025
2.1.6	屏蔽门系统	025
2.1.7	通风空调系统	025
2.1.8	给排水系统	027
2.1.9	防灾系统	027
2.1.10	轨道工程	027
2.1.11	路基工程	029
2.1.12	车站	029
2.2	列车结构(列车自环境)	030
2.2.1	车体及内部布置	030
2.2.2	车钩和缓冲器	033
2.2.3	车门系统	033
2.2.4	照明系统	034
2.2.5	通风空调及采暖	035
2.2.6	转向架	035
2.2.7	牵引与电制动	038
2.2.8	空气制动系统和风源系统	039
2.2.9	辅助电源系统	040
2.2.10	列车控制和诊断系统	041
2.2.11	车载通信和乘客信息系统	043

2 3	列车客室(列车内环境)	043
3	眼识友好维度群	046
3 1	基于视觉的眼识友好机理	046
3 1.1	视觉友好基本要求	048
3 1.2	视觉友好与生理需求	050
3 1.3	视觉友好与心理需求	051
3 1.4	视觉友好与行为需求	054
3 2	列车色彩友好性选择	057
3 2.1	色彩视觉引发的环境认知	057
3 2.2	列车色彩的友好性	059
3 3	列车自环境外表面视觉友好性	060
3 3.1	车头	060
3 3.2	车灯	061
3 3.3	车窗	062
3 3.4	车门	063
3 4	列车自环境内表面视觉友好性	063
3 4.1	照明	063
3 4.2	座椅	063
3 4.3	内饰	064
4	耳识友好维度群	066
4 1	轨道交通列车噪声	067
4 1.1	噪声度量	067
4 1.2	噪声友好性评判方法	068
4 1.3	轨道交通噪声声源	072
4 1.4	轨道交通列车噪声传播路径	074
4 2	非运行时列车自环境固有声友好性	074

4.2.1	制动系统声特性	075
4.2.2	空调系统声特性	075
4.2.3	牵引系统、电器系统声特性	075
4.2.4	车体模态分析与隔声阻尼材料	076
4.2.5	车内装饰及车体悬挂联结件隔声性	077
4.2.6	列车自环境伴随噪声	078
4.3	不同外环境下列车自环境激励声友好性	080
4.3.1	高架外环境下列车自环境激励声友好性	081
4.3.2	地面外环境下列车自环境激励声友好性	083
4.3.3	地下外环境下列车自环境激励声友好性	083
4.4	列车自环境声友好化治理	086
4.4.1	降低声源噪声	086
4.4.2	阻隔传播途径	087
4.4.3	全方位综合治理	088
5	鼻识友好维度群	090
5.1	概述	090
5.1.1	列车客室空气品质研究肇始	090
5.1.2	地铁空气质量标准研究现状	091
5.1.3	列车自环境空气品质的评价方法	095
5.2	列车内环境空气品质污染因素种类	097
5.2.1	物理性主要因素	098
5.2.2	化学性主要因素	099
5.2.3	生物性主要因素	104
5.3	列车内环境空气品质友好化	104
5.3.1	客室气味友好化	105
5.3.2	客室空气温湿度友好化	106
5.3.3	客室气压友好化	107

5.3.4	客室空气化学性因素友好化	111
5.3.5	客室空气生物性因素友好化	112
5.4	为客室提供新风的列车外环境通道友好化	115
5.4.1	风亭友好化	116
5.4.2	区间与车站空调设施友好化	116
6	舌识友好维度群	117
6.1	食品的环境属性	117
6.2	列车内食品加工污染与列车内饮食方式	118
6.3	消费环境友好型食品是对环境的友好保护	119
7	身识友好维度群	121
7.1	面向操控的列车自环境友好性	121
7.1.1	显示类仪表的视觉友好性	122
7.1.2	声音类操作提示的听觉友好性	123
7.1.3	触动类常规按钮、把手的手动速度协调友好性	124
7.1.4	触动类非常规操作开关契合人的条件反射性	125
7.1.5	驾驶室空间布局应考虑手足动作轨迹并规范动作	126
7.1.6	驾驶室空间布局应考虑形体动作空间因素	127
7.2	面向乘用的列车自环境友好性	127
7.2.1	车门、贯通道的畅通性	128
7.2.2	坐具的舒适性	129
7.2.3	坐卧具编号的醒目识别性	130
7.2.4	灯光、显示的明亮性	130
7.2.5	座椅、扶手表面的触觉性	131
7.2.6	空气的嗅味、温感友好性	131
7.2.7	车厢的动感友好性	132
7.2.8	运行信息与乘客需求信息的双向互动性	133

7.3	提升列车内环境乘客身识友好性的专项服务	134
7.3.1	列车清洁	134
7.3.2	列车交付使用前的净化处置	134
8	意识友好维度群	135
8.1	列车环境友好与否与轨道交通所有涉及者	136
8.1.1	轨道交通相干人群的精神可靠性	136
8.1.2	环境友好的轨道交通列车运行域全域覆盖	137
8.2	列车司乘人员公共卫生安全	137
8.2.1	工作场所有害因素职业接触限值	137
8.2.2	轨道交通职业卫生阈值测试方法	138
8.2.3	列车客室卫生管理标准化	139
8.3	列车研发总设计的环境友好理念参照系	140
8.3.1	友好性的清洁认知与正能量传播	140
8.3.2	环境情感化	140
8.3.3	治理有价值化	141
8.3.4	准则时代化与国际化	141
8.3.5	友好客观化	141
8.4	列车建造的全工业链环境友好理念	142
8.4.1	建设环境友好型轨道交通系统	142
8.4.2	环境友好型列车生产体系与工业生产体系	144
8.5	列车运行的经济级、资源级环境友好理念	144
8.5.1	车站照明能耗经济性	144
8.5.2	车站电梯系统能耗经济性	145
8.5.3	车站通风空调系统能耗经济性	145
8.5.4	车站水消耗经济性	145
8.6	列车及轨道交通依仗的环境友好意识与文化	146
8.6.1	伦理共识	146

8.6.2	道德共识	146
8.6.3	面向未来的环境友好示范性政策建设	147
9	友好的本质及环境友好学研究展望	149
9.1	环境偶与环境友好学未来	149
9.1.1	环境偶	149
9.1.2	反观追求环境友好的内因与背景	150
9.1.3	建设环境友好学学科成为共识	152
9.2	轨道交通列车环境友好学研究覆盖列车全生命周期	154
9.2.1	概念形成至需求分配阶段	154
9.2.2	设计阶段	155
9.2.3	制造阶段	155
9.2.4	安装至验收阶段	155
9.2.5	使用至报废阶段	156
9.3	集聚全人类合力促进环境友好	156
9.3.1	蝴蝶效应	156
9.3.2	环境友好的到来仰仗全人类的合力促进	157
附录	轨道交通列车环境友好技术准则	158
参考文献	166

1 绪 论

怎样看待环境？是一一历数、分析构成环境的万事万物的最小微量，还是对环境整体地研究？科学家们观点不一。德国理论物理学家海森堡(Werner Karl Heisenberg, 1901—1976)说：“二千五百年以来，哲学家和自然科学家一直在讨论这个问题：如果人们试图把物质一次又一次地不断分割下去，将会出现什么情况？什么是物质的最小成分？不同的哲学家对这个问题作出了很不同的回答。所有这些回答都对自然科学的历史产生了影响。”^①中国科学院院士、复旦大学教授、享誉世界的核物理学家卢鹤绂(1914—1997)说：“20世纪物理学的最大成果，是量子物理学的发展”，“发现微观客体的物理量变化大都有着基本的不连续性，即某些物理量只能是其最小微量的倍数，这就是‘量子’。”^②即量子是物质不断分割下去的最小成分(最小微量)。但德国著名物理学家普朗克(Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858—1947)却认为：“科学是内在的整体，它被分解为单独的整体，不是取决于事物的本身，而是取决于人类认识能力的局限性。实际上存在着从物理到化学，通过生物学和人类学到社会学的连续的链条，这是任何一处都不能被打断的链条。”即人类若突破认识能力的局限性，就会发现世界是无限连续的，任何一处都不能被打断，不存在最小成分(最小微量)。这表明：海森堡认为物质无限可分、存在最小微量，而普朗克则认为万事万物是相互联系的、是一整体。本书认同普朗克的观点，认为普朗克间接认可了5000多年前中国

① 海森堡.W 基本粒子是什么？[M].范岱年，译.//《现代物理学参考资料》编写组.现代物理学参考资料：第三集.北京：科学出版社，1978.

② 钱维华，徐敏子.当代物理学的发展——访著名物理学家卢鹤绂教授[N].文汇报，1981-12-7(4).

古人提出的宇宙整体观：一就是多、多就是一，天人合一。

宇宙整体观是中国古人对宇宙内在特性的描述。拿人作比方，一个人有五官，五官是这个人的；环境可通过眼、耳、鼻、舌、身、意去认知，眼、耳、鼻、舌、身、意等维度所认识的是同一个环境。

1.1 人类生存空间及人的生活环境

1.1.1 人类赖以生存的空间

浩瀚宇宙的银河系中有太阳系，太阳的行星——地球上生存着我们人类。地球带着我们在宇宙中翱翔。翱翔中会遇到什么？地球的脚步会变化吗？地球会变化吗？地球上的各种生物（包括我们人）会变化吗？各种生物间的关系会变化吗？……人类中的善于思考者不断发问、不断解答，人类对自身生存空间的认知越来越清晰。

绝大多数人的生活只在地球的一小块表面上展开，不关心地球的其余表面，更不用说整个地球、太阳系、银河系……地球的这一小块表面及其上的“附着”就是绝大多数人的生活环境。

1.1.2 环境实相与分类

环境是人类生存的空间及其中可以直接或间接影响人类生活和发展的各种自然因素之和。对人的心理发生实际影响的整个生活环境也称为环境，更多称为心理环境。本书认为：人的心理也是自然中的一种客观存在，环境是能影响人的物质生活、精神生活的各种因素的总和。

1. 环境的内涵

人们的生活环境包括自然环境和社会环境，它囊括了对人发生影响的一切过去、如今和将来的人、事、物等全部社会存在，其中历史传统、文化习俗、社会关系等社会现实，则是更为重要的心理环境。人不能反映生活环境中的全部事物，实际上对人心理发生影响作用的心理环境只是人整个生活环境的一部分。

2. 环境分类

人类活动对整个环境的影响是综合性的,而环境系统也是从各个方面反作用于人类,其效应也是综合性的。人类与其他的生物不同,不仅仅以自己的生存为目的来影响环境,使自己的身体适应环境,而是为了提高生存质量,通过自己的劳动来改造环境,把自然环境转变为新的生存环境。这种新的生存环境有可能更适合人类生存,但也有可能恶化了人类的生存环境。在这一反复曲折的过程中,人类的生存环境已形成一个庞大的、结构复杂的、多层次、多组元相互交融的动态复杂环境体系。

(1) 环境通常被分为自然环境和社会环境。自然环境亦称地理环境,是指环绕于人类周围的自然界,包括大气、水、土壤、生物和各种矿物资源等。自然环境是人类赖以生存和发展的物质基础。在自然地理学上,通常把这些构成自然环境总体的因素,分别划分为大气圈、水圈、生物圈、土壤圈和岩石圈这五个自然圈。社会环境是指人类在自然环境的基础上,为不断提高物质和精神生活水平,通过长期有计划、有目的的发展,逐步创造和建立起来的人工环境,如城市、农村、工矿区等。社会环境的发展和演替,受自然规律、经济规律以及社会规律的支配和制约,其质量是人类物质文明建设和精神文明建设的标志之一。

(2) 按现代科学既定理论来分类,可分为物理环境、化学环境和生物环境等。

(3) 按支撑人类生存的环境要素来分类,可以分为大气环境、水环境、地质环境、土壤环境及生物环境。

(4) 按人类生存环境的空间范围来分类,可由近及远、由小到大地分为聚落环境、地理环境、地质环境和星际环境等层次结构,而每一层次均包含各种不同的环境性质和要素,并由自然环境和社会环境共同组成。

(5) 按基于哲学二元论的环境偶概念来分类,可以分为实环境和虚环境。虚环境也就是心理环境。心理环境,可理解为人的头脑中的环境映象。诸多环境刺激作用于人,经过认知选择、评价,产生情绪体验,编织成个人对环境的统一图景。