



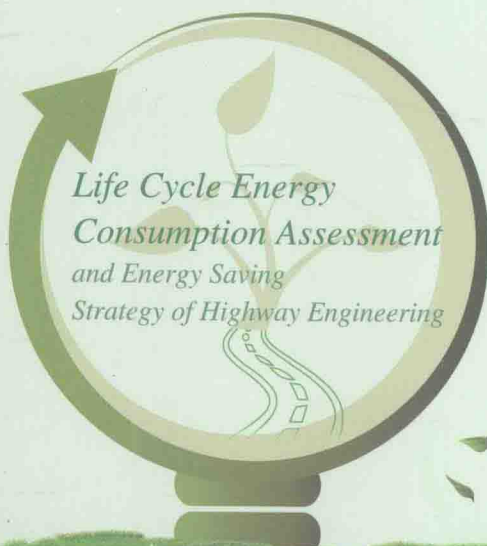
New views on Traffic Science and Technology of Highway

公路交通科技

新论

公路全生命周期 能耗分析与节能策略

徐 剑 王随原 黄颂昌 / 著



Life Cycle Energy
Consumption Assessment
and Energy Saving
Strategy of Highway Engineering



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

公路全寿命周期能耗 分析与节能策略

徐 剑 王随原 黄颂昌 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书内容包括生命周期评价(LCA)、高等级公路路面材料能耗清单、高等级公路路面结构生命周期能耗评价、温拌沥青技术、公路工程生命周期低碳化建议、低碳公路评价标准等。

本书可供从事道路工程节能相关科研、设计、施工及管理人员参考,亦适合高等院校与科研机构的教师及相关专业技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路全寿命周期能耗分析与节能策略 / 徐剑,王随原,黄颂昌著. —
北京:人民交通出版社股份有限公司,2016.7

ISBN 978-7-114-13081-6

I. ①公… II. ①徐… III. ①道路工程—能量消耗—
研究 IV. ①U415.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 127890 号

书 名:公路全寿命周期能耗分析与节能策略

著 作 者:徐 剑 王随原 黄颂昌

责任编辑:丁润铎 任雪莲

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:720×960 1/16

印 张:15.25

字 数:284千

版 次:2016年8月 第1版

印 次:2016年8月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13081-6

定 价:54.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

交通运输行业是国家节能减排和应对气候变化的重点领域之一,是生态文明建设不可或缺的重要一环,建立低碳交通运输体系对于我国应对气候变化、实现碳减排目标具有重要作用。公路交通基础设施是提供公路交通运输服务的载体和前提,公路基础设施建设与运营对社会经济、大气环境、声音环境、自然景观和生态环境等将产生显著影响。

公路工程虽然在工程可行性研究阶段也要求对环境影响进行分析评价并提出相应的环保措施,但由于公路工程施工对沿线土地资源、水资源、森林资源、野生动物资源、景观资源等造成的影响和破坏程度大多没有量化指标,因而在实际操作过程中,从管理层到设计人员,往往忽略工程建设与使用对环境造成的负面影响,从而导致公路规划与设计在环保方面的不足。

本书以公路工程能耗为突破口,对公路工程设计、施工、运营维护等全寿命周期的能耗情况进行定量分析,根据分析结果提出公路工程节能策略,构建低碳公路评价标准。全书共9章,第1章为绪论,第2章为生命周期评价(LCA),第3章为高等级公路路面材料能耗清单研究,第4章为高等级公路路面结构生命周期能耗评价,第5章为温拌沥青技术,第6章为沥青路面冷再生技术,第7章为公路工程生命周期低碳化建议,第8章为低碳公路评价标准,第9章为结论。

本书得到了科技部国际科技合作研究计划等科技项目的支持。交通运输部公路科学研究所李峰副研究员、曾蔚副研究员、秦永春研究员、石小培工程师,长安大学沙爱民教授、马峰副教授,云南公投建设集团有限公司李国锋正高工、蒋鹤高工,北京市政路桥建材集团柳浩正高工、杨丽英正高工,山东省路桥集团有限公司徐磊工程师等参与了本书相关研究或相关内容编写。在本书撰写过程中还得到了诸多研究人员和单位的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不足,望读者批评指正。

作者

2016年3月

目 录

1 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 交通运输节能减排的重要意义	2
1.3 公路基础设施建设低碳化的重要性	3
1.4 国内外低碳公路相关研究和应用	5
2 生命周期评价(LCA)	9
2.1 生命周期评价方法的概念和起源	9
2.2 生命周期评价的定义	10
2.3 生命周期评价方法的主要内容	11
2.4 国内外研究现状	24
2.5 本章小结	44
3 高等级公路路面材料能耗清单研究	45
3.1 能源的清单分析	45
3.2 原材料的能耗清单分析	47
3.3 路面混合料生产和施工的能耗清单分析	55
3.4 工程定额法测算路面生产施工能耗	65
3.5 本章小结	74
4 高等级公路路面结构生命周期能耗评价	77
4.1 建设期沥青路面生命周期清单分析	78
4.2 运营期沥青路面生命周期清单分析	88
4.3 沥青路面全生命周期清单分析	100
4.4 本章小结	102
5 温拌沥青技术	105
5.1 技术概述	105
5.2 温拌沥青混合料性能指标试验评价	113
5.3 温拌沥青混合料工程应用案例	142
5.4 本章小结	176
6 沥青路面冷再生技术	178
6.1 技术概述	178
6.2 冷再生工程案例	184

6.3 冷再生路面路用性能与寿命预期	193
7 公路工程生命周期低碳化建议	202
7.1 规划阶段	202
7.2 建设前期阶段	202
7.3 施工阶段	206
7.4 运营阶段	212
8 低碳公路评价标准	214
8.1 低碳公路概念与特征	214
8.2 低碳公路建设评价体系的构建和基本规定	215
8.3 控制项	217
8.4 优选项	218
9 结论	221
9.1 主要研究结论	221
9.2 需进一步研究的问题	226
参考文献	227

1 绪 论

1.1 背景

自工业革命以后,伴随着人口的迅速增长和工业化、城市化步伐的加快,全球环境问题也日渐突出。资源耗竭、能源危机、臭氧层破坏、全球变暖、酸雨、富营养化、光化学污染、生物多样性减少等许多环境问题,引起了世界许多国家的广泛关注。面对不合理的生产和生活方式所带来的严重环境问题,全世界范围内掀起了一场缓解生态压力、减少环境影响的生态革命。

1972年,罗马俱乐部在其《增长的极限》一文中指出了发展过程带来的严重的环境问题。同年,在斯德哥尔摩举行的联合国人类环境研讨会上第一次正式讨论了可持续发展(Sustainable development)的概念,共同界定人类在缔造一个健康和富有生机的环境上所享有的权利。自此以后,各国致力于界定“可持续发展”的含义,目前已拟出的定义已有几百个之多,涵盖范围包括国际、区域、地方及特定界别的层面,是科学发展观的基本要求之一。1980年,国际自然保护同盟的《世界自然资源保护大纲》指出:“必须研究自然的、社会的、生态的、经济的以及利用自然资源过程中的基本关系,以确保全球的可持续发展。”1981年,美国布朗(Lester R. Brown)出版的《建设一个可持续发展的社会》提出,以控制人口增长、保护资源基础和开发再生能源来实现可持续发展。1987年,世界环境与发展委员会出版的《我们共同的未来》,将可持续发展定义为:“既能满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展。”作者是Gro Harlem Brundtland,挪威首位女性首相,她对于可持续发展的定义被广泛接受并引用,这个定义系统阐述了可持续发展的思想。1992年6月,联合国在里约热内卢召开的环境与发展大会,通过了以可持续发展为核心的《里约环境与发展宣言》《21世纪议程》等文件。

全球性能源紧张和气候变化,已成为国际社会普遍关注的重大全球性问题。作为世界上最大的发展中国家,我国成为全球应对能源紧张和气候变化重点关注的对象。我国党和政府高度重视节能减排与应对气候变化工作,我国政府编制的《中国21世纪人口、资源、环境与发展白皮书》,首次把可持续发展战略纳入我国经济和社会发展的长远规划。1997年,我国把可持续发展战略确定为我国

“现代化建设中必须实施”的战略。2006年初,我国政府提出希望到2010年单位GDP(国内生产总值)能耗比2005年降低两成、主要污染物排放减少一成,这两个指标结合在一起,就是我们所说的“节能减排”。2009年底的哥本哈根世界气候变化大会上,时任国务院总理温家宝向世界各国宣布,到2020年,我国单位GDP的二氧化碳排放量将比2005年下降40%~45%。这个减排指标将作为约束性指标被纳入我国国民经济和社会发展的中长期规划。“十八大”强调把生态文明建设放在突出地位,提出“推进绿色发展、循环发展、低碳发展”和“建设美丽中国”。中央政府成立了国家应对气候变化及节能减排工作领导小组,发布实施了《中华人民共和国节约能源法》《国务院“十二五”节能减排综合性工作方案》《国务院“十二五”控制温室气体排放工作方案》等法律法规及政策文件,采取了一系列应对能源紧张和气候变化的对策措施。

在这种背景下,许多国家开始探索环境保护的途径和方法,并推出各种法规和政策,通过制度创新、技术进步以及管理变革来协调人与自然之间的关系,促进人类社会的可持续性发展,产品的绿色性能越来越受到重视。产品生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)理论应运而生,已成为产品系统环境管理的重要工具之一,也成为工业生态学的核心思想,即强调产品“从摇篮到坟墓”的全过程管理,整个生命周期内不应对环境和生态系统造成危害。产品生命周期,包括原材料采掘、原材料生产、产品制造、产品使用以及产品用后处理。

1.2 交通运输节能减排的重要意义

交通运输是国民经济和社会发展的主动脉,同时又是国家节能减排和应对气候变化的重点领域之一,是生态文明建设不可或缺的重要一环,是国家节能减排与应对气候变化工作部署中确定的以低碳排放为特征的三大产业体系之一。建立低碳交通运输体系对我国应对气候变化、实现碳减排目标具有重要作用。

从全球范围看,交通运输业在世界能源消费和温室气体排放中所占比重均超过20%,且仍呈较快上升态势,节能减排责任重大。世界各国纷纷将发展低碳交通作为战略重点,见表1-1。我国是世界第一人口大国,资源相对匮乏的基本国情,决定着我国必须加快构建节能低碳型综合交通运输体系,否则资源支撑不住,环境容纳不下,社会承受不起,交通发展将难以为继。据统计,交通运输行业能源消费量约占全社会能源消费总量的8%,三分之一以上的汽柴油等石油制品消耗在交通运输领域。因此,加快建立以低碳为特征的交通运输体系,是加快交通运输发展方式转变、发展现代交通运输业的本质要求和战略选择,也是交通运输行业服务资源节约型、环境友好型社会建设的必然选择。

世界主要国家交通运输占全社会终端能源消费总量比重(%) 表 1-1

年份	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
美国	25.3	25.2	26.3	26.4	26.1	26.9	27.2	27.6	27.4	27.9	28.2	28.5	28.6
日本	18.4	20.8	21.8	23	24.1	24.1	24.9	24.5	24.5	24.6	24.4	24.6	—
欧盟 25 国	—	—	—	26.8	28.8	30.7	30.3	30.9	30.5	30.8	—	—	—
中国	—	4.81	4.84	4.6	4.47	7.27	7.24	7.36	7.33	7.43	7.47	7.55	7.77

注:在《中国统计年鉴》中,我国的交通运输占全社会终端能源消费总量为交通运输、仓储及邮电业能源消费总量占全社会终端能源消费总量,与国外的统计口径不完全一致。

交通运输部一直以来高度重视低碳和绿色交通工作,注重促进交通运输行业节能减排工作相关的政策法规的制定,并取得了一定的成效。2008年,交通运输部制定了《公路、水路交通实施〈中华人民共和国节约能源法〉办法》《公路水路交通节能中长期规划纲要》《关于交通运输行业深入开展节能减排工作的意见》。2009年,印发了《资源节约型环境友好型公路水路交通发展政策》《道路运输车辆燃料消耗量检测和监督管理办法》。道路运输业“十二五”发展规划纲要提出,建立健全节能减排检测考核体系,尽快建立道路运输行业能源消耗和排放统计及分析制度,将节能减排统计指标纳入交通运输部门统计体系,研究建立道路运输行业节能减排评价体系。

1.3 公路基础设施建设低碳化的重要性

公路交通基础设施是提供公路交通运输服务的载体和前提。公路工程建设必定会对环境产生影响,主要表现为对社会经济、大气环境、声音环境、自然景观和生态环境等的影响。

长期以来,公路的规划、设计人员没有对如何解决公路的环保问题给予足够的重视。虽然在工程可行性研究阶段也要求对环境影响进行分析评价并提出相应的环保措施,但由于公路工程施工对沿线土地资源、水资源、森林资源、野生动物资源、景观资源等造成的影响和破坏程度大多没有量化指标,因而在实际操作过程中,从管理层到设计人员,往往忽略工程建设与使用对环境造成的负面影响,从而导致公路规划与设计在环保方面的不足。

施工期,包括施工放样、场地清理、征地及拆迁安置、建立施工驻地等施工前期准备工作和正式组织施工两大活动。施工期间,由于挖土填土、借土弃土、改移河道、清理表土、开采料场等活动,会造成地表植被破坏、地形改变、沟谷大量消失,恶化生物栖息的生态环境,加速地表侵蚀,增大地表径流,增加水土流失,改变自然流水形态,加剧水质恶化,从而直接导致对自然环境的破坏。同时应注意,公路工程建设对砂石土、石灰、水泥、沥青、化学添加剂等建材资源的依

赖性很强。据统计,我国每年新建超过 10 万 km 的公路,仅路面工程就消耗天然砂石料、水泥、沥青和各类石油衍生品高达约 6 亿 t,将这些建材砌成 1m^2 截面的墙可绕地球赤道 6.8 圈。公路工程建设,从原材料的获取,到现场施工整个过程都要消耗大量的能源,同时也造成了大量温室气体的排放。

营运期开始意味着项目巨大的经济效益和社会效益开始发挥作用,同时也意味着对沿线环境产生长期负面影响的开始。随着交通量的与日俱增,噪声和汽车尾气及粉尘污染逐渐加剧,噪声对沿线居民、学校和机关单位的学习、工作和休息产生长期的不利影响。

可见,公路建设不可避免地会引发很多生态问题,有必要更新公路建设理念,以生态学理论和系统论指导公路这一特殊生态系统的建设。在公路规划、设计、施工和运营各阶段,将自然、人和公路进行有机的结合。融入生态设计方法,不仅要考虑到人的活动和公路之间的相互影响,而且还要特别注重维护人们与生存的自然条件相互融洽和遵循其自然发展规律,形成行车安全舒适、运输高效便利、景观完整和谐的带状公路交通生态系统和区域交通生态系统。

推动公路交通基础设施建设、运营和养护过程中的节能减排,打造低碳公路体系,是交通运输行业节能减排、建设低碳交通运输体系的有机组成部分与重要环节,是公路工程绿色化、生态化的应有之意。这就迫切要求把节能减排与应对气候变化摆到更加突出的位置,推动公路建管养全过程的低碳化,实现公路建管养各环节能源资源利用效率的显著提升和碳排放强度的明显下降。具体来说,就是从公路规划、设计、施工、运营、维护等全寿命周期中的一个或几个阶段入手,采用低碳新理念、新材料、新方法、新工艺,实现公路工程全寿命周期范围内二氧化碳排放强度的显著降低,并为公路运输行业的节能减排创造有利条件,是未来公路基础设施建设的主流发展方向。例如:

(1)在路网规划阶段,强化连接线、断头路等薄弱环节,提高路网通行能力和效率;优化公路运输站场布局,建设布局合理、结构优化、与其他运输方式有效衔接的公路运输站场服务体系;提升路网技术等级和路面等级,提高路面铺装率等。

(2)在公路设计阶段,优化路线走向和纵横断面设计,设计采用长寿命或耐久性路面结构,采用合理的桥隧方案、路基填挖方案以及合理布局服务区,减少建设土地占用等。

(3)在公路施工阶段,积极应用温拌沥青等低能耗材料,积极应用粉煤灰、废旧路面、废旧轮胎、大宗固体废弃物等,优化施工组织方案和施工工艺,淘汰高能耗、高排放施工设备等。

(4)在公路运营和维护阶段,积极采用沥青路面材料再生利用技术、预防性养护技术、材料与结构延寿技术等,延长公路使用年限;加强生态防护、植被恢复

与绿化建设,增加碳汇能力;通过提高高速公路联网不停车收费覆盖率等手段,为车辆安全、畅通、高效的营运创造良好交通条件;加大公路隧道、服务区、收费站等交通基础设施的节能技术改造力度,强化运营管理,提升运营效率和服务水平。

1.4 国内外低碳公路相关研究和应用

1) 国外低碳公路评价体系

为了减少公路生命周期范围内对环境的影响,有必要提出低碳公路评价体系以便对公路建设的规划、设计、施工、运营各阶段进行评价。目前,国外比较著名的评价系统是美国华盛顿大学的“绿色道路”系统(The Greenroads Rating System)^[30]和美国联邦公路局的 INVEST(Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool)系统(FHWA(2011))^[31]。

“绿色道路”系统(The Greenroads Rating System)是道路设计和施工项目可持续性的评价系统。该系统依据可持续发展的实践性为道路工程打分,通过得分的高低来评价工程的可持续性。充分完善的绿色道路系统具有以下内容和功能:①鼓励更多道路工程尝试可持续性的实践。②为道路可持续性评价提供一种标准和方法。③使工程设计更优。④使业主单位能评判道路工程的优劣。该系统包括 11 个项目基本要求(环境保护计划、寿命周期费用分析、寿命周期清单、施工质量控制、减噪计划、废旧物管理计划、污染预防计划、路面管理系统等)和 6 大类得分项(环境和水、通达和公正性、施工活动、材料和资源、路面技术)。鼓励使用温拌沥青混合料技术、排水路面、低噪声路面和再生技术。为了鼓励材料、设备、工艺的创新,还设定了自定义项,根据创新情况进行加分。

INVEST(Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool)是美国联邦公路局研发的公路可持续性的自评工具,包括系统规划和过程(SP)、项目开发(PD)、运营和养护(OM)三个部分。这个工具是用来识别可持续性公路的特点、提供相关信息和技术、帮助业主在公路项目建设过程中集成可持续性的最佳实践方法。该系统的核心内容和“绿色道路”系统相似,主要区别在于按照公路建设和管理程序分阶段提出评价指标。

2) 国外典型的低碳公路实施建议

加拿大在 21 世纪初开展了工业能源保护计划,在该计划的资助下,加拿大施工协会于 2005 年出版了《加拿大道路维修节能指南》。该指南通过以农村二级公路和主干线公路的维修为基础,分析了每公里每条车道原材料、运输和施工设备的能耗,得出了施工各个阶段能耗的比例。通过各施工项目的调研,总结得

出了各种道路材料的能耗以及生产各阶段能耗的比例,最后分析了在道路材料生产阶段、运输和施工设备的节能措施^[32]。

澳大利亚昆士兰环境署于 1999 年发布了《沥青混合料生产排放预估手册》,该手册通过大量调研,分析了沥青混合料生产各个环节产生的主要排放物以及控制措施,最后提供了帮助沥青混合料生产企业预估排放物的方法^[33]。

根据美国能源局的统计,石料开采和破碎及其相关行业属于能源消耗密集型工业,用于破碎的石料占到美国石料消耗的 42%,而其中大部分作为公路的集料使用。基于 GDP 增长计划,破碎石料的增长率要高于其他主要材料。因此,应鼓励采用石料再生利用技术,减少对石料的使用量^[34]。

美国联邦环境保护局也开展了多项研究,调查统计了目前施工机械设备的能耗与排放数据,并结合不同的机械设备类型,提出了减少施工机械设备能耗与排放的措施^[35]。

Chappat & Bilal (2003)详细分析了 20 种不同路面类型每生产 1t 材料所消耗的能量和排放的温室气体,结果表明水泥路面需要的能源最多,其次是热拌沥青路面。该报告也表明,就地冷再生是能耗最少的施工工艺^[36]。

Terrel & Hicks (2008)分析了就地热再生的能耗,发现该工艺比热拌沥青混合料路面的耗能少^[37]。

Miller & Bahia (2009)在一个关于可持续性路面的报告中指出,提前养护是最好的节能方法,因为这样可以以很小的代价改善路面结构和表面层。同时,作者认为冷补工艺和表面处治最节能^[38]。

Jim Chehovits & Larry Galehouse(2010)研究了沥青路面维护工艺对能耗和温室气体排放的影响。结果表明,不同维护工艺的能耗不同,新建、大修、薄沥青加铺层以及就地热再生的能耗最高,碎石封层、稀浆封层、微表处和裂缝填充能耗较低,封缝和雾封层能耗最低,该研究中能耗评价标准为能耗除以单位面积和路面的延长寿命,即单位为 $J/(m^2 \cdot \text{年})$ ^[39]。

3) 国内的绿色建筑评价体系

2014 年住房和城乡建设部发布了国家标准《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2014)。该编制是在原《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2006)基础上修订完成的。它将绿色建筑定义为:在全寿命期内,最大限度地节约资源(节能、节地、节水、节材)、保护环境、减少污染,为人们提供健康、适用和高效的使用空间,与自然和谐共生的建筑。财政部 2012 年发布《关于加快推动我国绿色建筑发展的实施意见》,2013 年 1 月 6 日国务院发布《国务院办公厅关于转发发展改革委、住房城乡建设部绿色建筑行动方案的通知》,提出“十二五”期间完成新建绿色建筑 10 亿 m^2 ;到 2015 年末,20% 的城镇新建建筑达到绿色建筑标准要求。

《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2014)规定的绿色建筑评价指标体系由节地与室外环境、节能与能源利用、节水与水资源利用、节材与材料资源利用、室内环境质量、施工管理、运营管理 7 类指标组成。每类指标,均包括控制项和评分项。评价指标体系还统一设置加分项。标准采用打分的方式,评价指标体系 7 类指标的总分均为 100 分。在得到 7 类指标各自的评分项得分 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 、 Q_5 、 Q_6 、 Q_7 后,绿色建筑评价的总得分按下式进行计算,其中评价指标体系 7 类指标评分项的权重 $w_1 \sim w_7$ 按表 1-2 取值。

$$\sum Q = w_1 Q_1 + w_2 Q_2 + w_3 Q_3 + w_4 Q_4 + w_5 Q_5 + w_6 Q_6 + w_7 Q_7 + Q_8$$

权重取值表

表 1-2

项 目		节地与室外 环境 w_1	节能与能源 利用 w_2	节水与水资源 利用 w_3	节材与材料 资源利用 w_4	室内环境 质量 w_5	施工管理 w_6	运营管理 w_7
设计 评价	居住建筑	0.21	0.24	0.20	0.17	0.18	—	—
	公共建筑	0.16	0.28	0.18	0.19	0.19	—	—
运行 评价	居住建筑	0.17	0.19	0.16	0.14	0.14	0.10	0.10
	公共建筑	0.13	0.23	0.14	0.15	0.15	0.10	0.10

注:1.表中“—”表示施工管理和运营管理两类指标不参与设计评价。

2.对于同时具有居住和公共功能的单体建筑,各类评价指标权重取为居住建筑和公共建筑所对应权重的平均值。

绿色建筑分为一星级、二星级、三星级 3 个等级。3 个等级的绿色建筑均应满足《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2014)所有控制项的要求,且每类指标的评分项得分不应小于 40 分。当绿色建筑总得分分别达到 50 分、60 分、80 分时,绿色建筑等级分别为一星级、二星级、三星级。

4) 国内相关研究

国内学术界于 1997 年才真正开始关注 LCA,1998 年国家技术监督局开始全面引进 ISO 14040 系列标准,将其等同转化为国家标准,相应国家标准代号为 GB/T 24040 系列,即《环境管理 寿命周期评价 原则与框架》(GB/T 24040—1999)、《环境管理 寿命周期评价 目的与范围的确定和清单分析》(GB/T 24041—2000)、《环境管理 寿命周期评价 寿命周期影响评价》(GB/T 24042—2002)和《环境管理 寿命周期评价 寿命周期解释》(GB/T 24043—2002)。近几年,随着绿色制造、清洁生产的兴起,许多高校、科研单位对寿命周期评价进行了大量的研究。

国内目前对单个建筑材料的评价研究比较多,如龚志起^[40]对钢材、建筑玻璃、水泥的寿命周期环境影响评价研究;刘顺妮^[41]对硅酸盐水泥和混凝土所做的分析;郑莉^[42]对路面材料水泥混凝土、再生水泥混凝土和粉煤灰水泥混凝土

开展了寿命周期评价的研究。

目前,国内对高速公路的寿命周期评价的研究还很少,尚春静等^[43]通过应用基于过程的生命周期评价(LCA)理论与方法,对高速公路水泥路面生命周期消耗的能源及产生的大气排放进行计算,将公路生命周期分为建筑材料生产、建造、养护和拆除废弃4个阶段。为了计算方便,研究中做了许多假设和简化。

就路面领域如何实现公路建设过程中低碳化,国内从材料技术、评价体系上也进行了一些研究。一些学者比较了温拌沥青混合料与热拌沥青混合料能耗和排放效果。秦永春^[44]的研究表明,在生产阶段,温拌沥青混合料可比相应的热拌沥青混合料节能22.9%,改性温拌沥青混合料可比相应的改性热拌沥青混合料节能28.7%。程玲等^[45]对温拌沥青混合料摊铺节能减排效果进行了量化研究,研究表明,每吨沥青混合料制备可节约能耗22.4%。张雷、徐静珍^[46]探讨了水泥企业节能减排量化指标体系的构建和评价方法的设计,指出水泥行业节能减排评价指标体系应遵从综合性、公平与效率、引导性、环境与经济的原则,并从污染物排放、能源消耗、资源综合利用和节能减排支撑能力4个方面,建立了水泥行业节能减排评价指标体系以及综合评价指标体系。

综上可知,发达国家对路面生命周期评价的研究比较深入,对公路建设影响能耗和排放的影响因素有较深刻的认识,拥有公路可持续性评价体系指导公路的设计和施工。我国对公路工程生命周期评价研究较少,生命周期清单缺少基本的数据支撑,因此也难以进行生命周期影响评价,尚无有效的生命周期评价模型;现在对公路工程建设过程中的节能减排也越来越重视,但仅限于工艺能耗上的比较,针对具体项目而言,没有具体系统的指导性节能措施;尚无有效实用的低碳公路评价体系,用来指导公路的设计、施工和运营。

2 生命周期评价(LCA)

2.1 生命周期评价方法的概念和起源

生命周期评价的思想萌芽产生于 20 世纪 60 年代末到 70 年代初。在这一时期,全球爆发了石油危机,人类意识到资源和能源的有限性,开始关注资源与能源的节约问题,最初 LCA 主要集中在分析产品的能源和资源消耗。1969 年,美国中西部资源研究所开展的可口可乐公司的饮料包装评价研究,被认为是生命周期评价研究的开始标志^[1]。该研究旨在从最初的原材料采掘,到最终的废弃物处理,进行全过程的跟踪与定量分析一次性塑料瓶和可回收玻璃瓶两种方案对资源、能源和环境的影响,所采用的分析方法为当时已比较成熟的能源分析方法,也称之为资源与环境状况分析(Resource and Environment Potential Assessment, REPA)。与此同时,美国还开展了 50 多项 REPA 研究,欧洲一些国家也相继开展了类似的研究,如英国的 BOUSTEAD 咨询公司、瑞典的 Sundstrom 公司等,该阶段的主要特征为工业企业的内部决策行为、研究对象大多数为产品包装的废弃物问题。

20 世纪 70 年代中期到 80 年代末期,生命周期评价方法论得到了较好的发展。随着资源和能源问题不再如以前突出,其他环境问题逐渐进入人们的视野。LCA 方法因而被进一步扩展到废物管理的研究,最早的事例之一是美国国家科学基金的国家需求研究计划,该项目采用类似于清单分析的“物料—过程—产品”模型,对玻璃、聚乙烯和聚氯乙烯等包装材料生产过程所产生的废物进行比较与分析。然而,由于 LCA 缺乏统一的研究方法论,分析所需的数据经常无法得到,实际上不能解决许多现实问题,导致工业界的研究兴趣逐渐下降。而学术界关于 LCA 的方法论研究仍在有条不紊地进行,欧洲和美国的一些研究和咨询机构依据 REPA 的思想进一步发展了废弃物管理的方法论,更深入地研究环境排放和资源消耗的潜在影响。如,英国的 BOUSTEAD 咨询公司针对清查分析方法做了大量研究,奠定了著名的 BOUSTEAD 模型的理论基础;瑞士联邦“材料测试与研究实验室”开展了有关包装材料的项目研究,首次采用了健康标准评估系统,后来发展为临界体积方法。

20 世纪 80 年代中期到 90 年代初,LCA 研究得到了快速发展。随着区域性

与全球性环境问题的日益严重和全球环境保护意识的增强,推动了可持续发展思想的普及和可持续发展行动计划的兴起。发达国家推行环境报告制度,要求对产品形成统一的环境影响评价方法和数据;一些环境影响评价技术,如对温室效应和资源消耗等的环境影响定量评价方法,为 LCA 方法学的发展奠定了基础。1989 年“荷兰国家居住、规划与环境部”针对传统的“末端控制”环境政策,首次提出了制订面向产品的环境政策,涉及从产品的生产、消费,到最终废弃物处理的所有环节,并对产品整个生命周期内的所有环境影响进行评价。荷兰政府历时三年开展了“荷兰废物再利用研究”,该研究的大量成果,尤其是 1992 年出版的研究报告“产品生命周期环境评价”,奠定了后来 SETAC 方法论的基础,即 1993 年 SETAC 出版的“生命周期评价纲要:实用指南”报告,为生命周期评价方法提供了基本技术框架,成为生命周期评价方法论研究的里程碑。

20 世纪 90 年代初期以后,由于欧洲和北美 SETAC 以及欧洲生命周期评价发展促进委员会(Society for Promotion of Life-cycle Assessment Development,简称 SPOLD)的大力推动,LCA 方法在全球范围内得到较大规模的应用。国际标准化组织制定和发布了关于 LCA 的 ISO 14040 系列标准(ISO 14040:2006、ISO 14044:2006、ISO 14047:2003、ISO 14048:2002)^[2]。同时,各种 LCA 软件和数据库纷纷推出,促进了 LCA 的全面应用。LCA 在许多工业行业中取得了很大成功,并在决策制订过程中发挥了重要的作用,已经成为产品环境特征分析和决策支持的有力工具。目前,生命周期评价仍在发展中,还有很多地方有待完善。

2.2 生命周期评价的定义

2.2.1 国际环境毒理学和化学学会(SETAC)的定义

生命周期评价是一种通过对产品、生产工艺及活动的物质、能量的利用及造成的环境排放进行量化和识别而进行环境负荷评价的过程;是对评价对象能量和物质消耗及环境排放进行环境影响评价的过程;也是对评价对象改善其环境影响的机会进行识别和评估的过程。生命周期评价,包括产品、工艺过程或活动的整个生命周期,即原材料的开采、加工,产品制造、运输和分配,使用、重新利用、维持,循环以及最终处理^[3]。

2.2.2 联合国环境规划署(UNEP)的定义

生命周期评价是评价一个产品系统生命周期整个阶段——从原材料的提取和加工,到产品生产、包装、市场营销、使用、再使用和产品维护,直至再循环和最

终废物处置的环境影响的工具。

2.2.3 国际标准化组织(ISO)的定义

生命周期评价是对产品系统整个生命周期的输入、输出及潜在环境影响的汇集和评价^[4]。生命周期评价是一种评价产品整个生命周期——从摇篮到坟墓的环境影响和资源消耗的方法论。生命周期评价的核心特征是能够全面反映产品系统功能的环境影响,而不局限于单个过程。图 2-1 所示为产品系统生命周期的一般模式。



图 2-1 产品系统生命周期的一般模式

2.3 生命周期评价方法的主要内容

1993 年,SETAC 把 LCA 描述成由 4 个相互关联的组分组成的三角形模型。它们分别是目标定义和范围界定、清单分析、影响评价和改进评价,如图 2-2 所示。1997 年,ISO 14040 进一步把 LCA 的实施步骤分为目标和范围定义、清单分析、影响评价和结果解析 4 个部分,如图 2-3 所示。

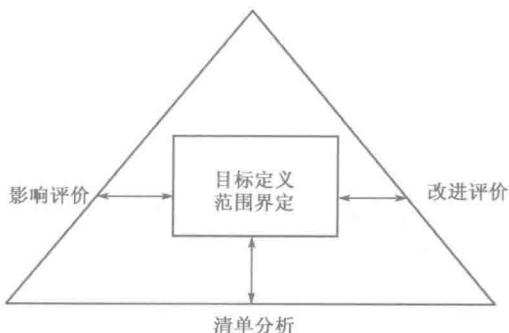


图 2-2 SETAC 生命周期评价的理论框架

2.3.1 研究目的和范围界定

1) 研究目的

研究目的的确定是对即将提供的环境信息的决策过程。它为后续的解释阶