

轨道交通寿命周期费用 理论与应用

■ 董锡明 王华胜 编著



GUIDAO JIAOTONG SHOUMING ZHOUQI FEIYONG
LILUN YU YINGYONG

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

责任编辑：赵昱萌 田 甜

封面设计：郑春鹏

■ 轨道交通寿命周期费用理论与应用

GUIDAO JIAOTONG SHOUMING ZHOUQI FEIYONG LILUN YU YINGYONG



中国铁道出版社

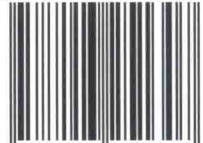
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

地址：北京市西城区右安门西街8号

邮编：100054

网址：<http://www.tdpress.com>

ISBN 978-7-113-25130-7



9 787113 251307 >

定 价：98.00 元

轨道交通寿命周期费用 理论与应用

董锡明 王华胜 编著

中国铁道出版社

2019年·北京

内 容 简 介

本书针对轨道交通装备系统寿命周期费用理论、方法和运用技术进行了详细的论述。主要内容包括寿命周期费用基本概念、费用模型、影响因素、估算方法、分析方法、评价方法、管理和控制技术、实例应用等,并对其中涉及的经济学进行了深入浅出的解析。

本书从技术和经济综合权衡的角度为各级管理人员提供了一种全新的思维模式和管理理念,不仅可作为高校教学用书、科研人员工作参考书,也可作为寿命周期费用方法实践应用的指导用书。

图书在版编目(CIP)数据

轨道交通寿命周期费用理论与应用/董锡明,王华胜
编著. —北京:中国铁道出版社,2019.1

ISBN 978-7-113-25130-7

I. ①轨… II. ①董… ②王 III. ①轨道交通-设备
时间利用率-研究 IV. ①U2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 259035 号

书 名: 轨道交通寿命周期费用理论与应用
作 者: 董锡明 王华胜 编著

策划编辑: 赵昱萌

责任编辑: 赵昱萌 田 甜

编辑部电话: 010-51873626

封面设计: 郑春鹏

责任校对: 苗 丹

责任印制: 高春晓

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

版 次: 2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 33.25 字数: 733 千

书 号: ISBN 978-7-113-25130-7

定 价: 98.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480



现代轨道交通系统要求系统装备在使用期内安全、可靠、易于维修,以较高的完好率成功、顺利地完成任务。同时,至关重要的还有费用问题,从获取系统装备开始,就要考虑费用问题。系统装备是否购买不仅受其采购费用的影响,而且还取决于它们在使用期内的运用和维修费用。为了使用户满意,系统装备的制造厂家必须设计出可靠而且在费用上有竞争力的产品。这里所说的费用,不仅包含装备的购置费用,还包括装备的运用维修保障费用,也就是在整个寿命周期内发生的全部费用,称为寿命周期费用(life cycle cost, LCC)。现代技术装备的经济目标是在保持装备效能不变的情况下,尽可能降低 LCC,这种最佳费用的理念应当贯穿产品从设计直至退役的整个寿命周期。因此,需要对系统装备进行 LCC 分析,其意义在于:

(1)LCC 是衡量装备经济性最合理的指标,只有在 LCC 最小时装备才是最经济的。装备整个寿命周期中的耗费,购置费只占较小的比例,运用维修费用则占较大的比例。实践表明,购置费用是一次性投资,而运用维修费用则是若干年内的连续性投资,因此在装备研制过程中增加一些投资来改善可靠性和维修性,将会换来 LCC 的较大节省。

(2)LCC 是产品寿命周期各个阶段进行决策的重要依据。LCC 分析为产品设计、开发、运用维修等过程的各种决策,诸如:不同设计方案的比较选择,产品的经济可行性评估,费用主导因素的鉴别,产品不同运用、维修、试验、检查等方法的比较和评价,质量保证的验证和评估等,提供了重要的经济依据。

(3)LCC 是制造厂家优化产品质量、控制系统装备费用、参与市场竞争的有力武器。可以应用 LCC 分析,对产品进行设计优化,实施“费用设计”,实现投标

合同中对 LCC 做出的承诺。在设计阶段就对运用维修方案、保障资源的配置进行筹划和评估,以达到优化产品总寿命周期费用的目的,从而提高产品在市场上的竞争力。

(4)LCC 是用户谋求最佳经济效益的有力保证。用户在购置装备时不再像过去那样,只注重装备的性能和购置费,还要对装备进行 LCC 分析。在购置合同中要求供货商对产品的 LCC 做出承诺,并在产品交付使用后进行验证。另外,还要通过 LCC 分析,对产品的运用维修方案进行比较评估,对产品运用维修阶段内的技术决策和资源配置进行优化。

近些年来,我国轨道交通技术装备发展迅猛。铁路运输掀起了高速化、重载化的新高潮,迎来了高速铁路和重载运输的新时代;全国各大城市都在大规模地建立或扩展城市轨道交通网,兴建地下铁道;磁悬浮、自动导轨等各种形式的轨道交通运输系统得到了研究、应用和发展,我国轨道交通展现出一派生机勃勃的景象。尤其是高速铁路及高速动车组数量逐年增长,运营里程、运用速度、车组数量均为世界领先。随着我国铁路产品对外经济技术交流的不断扩大,寿命周期费用理论和方法逐渐引起人们的高度关注。为使高速铁路及轨道交通产品更好地与国际要求接轨并参与竞争,国内多家科研单位和生产厂商已经开始关注和研究其产品的寿命周期费用问题,设计、生产出性价比更优的产品,以便赢得更大的市场。

在这种形势下,急需全面介绍轨道交通 LCC 理论和技术的专业参考书。但遗憾的是,全面、详细介绍轨道交通系统 LCC 的专著却很少,特别是结合轨道交通系统保障技术、RAMS(可靠性、可用性、维修性、安全性)详细论述 LCC 技术的书籍,市场还未见到。基于这种背景,撰写了这本轨道交通系统 LCC 理论和技术的专著,对轨道交通系统相关的 LCC 理论、方法及技术做了详细的介绍,并列举了大量实例说明 LCC 的应用。

本书共分十章。第一章为概述,介绍了 LCC 技术的目的和意义,LCC 的发展简史、主要内容、应用和发展趋势;第二章简述了 LCC 的基本概念,论述了寿命、寿命周期的概念及其管理,寿命周期费用的定义、分布及 RAMS 影响,并介绍了 LCC 经济学概念;第三章论述了 LCC 模型,介绍了 LCC 模型概况,费用分解结构,工作分解结构(WBS),以及常用的几种 LCC 模型,其中包括轨道交通系统



LCC模型;第四章阐明了LCC的时间价值和影响因素,论述了费用的时间价值,通货膨胀的影响,学习曲线的概念与计算,费用不确定性和敏感性分析;第五章介绍了LCC估算方法,其中包括费用单元估算,费用数据的收集与处理,费用估算关系类型,制造费用的评估;第六章论述了LCC分析,概述了LCC分析特点、要求和目的,介绍了LCC分析工作内容与过程,寿命周期中的费用处理,LCC与RAMS的关系;第七章阐明了LCC的评价,概述了LCC评价的意义、作用和程序,介绍了LCC评价方法,论述了LCC经济评价方法和费用—效能分析法,最后介绍了价值工程的概念与方法;第八章介绍了LCC管理,概述了LCC管理的主要内容、管理大纲和计划,阐明了LCC管理组织机构与关系,合同及其费用管理,最后论述了装备费用风险管理,包括费用风险概念、识别、分析、评价与决策,以及减少风险的途径;第九章阐明了LCC控制,概述了系统装备LCC控制对策,控制思想、控制方针与类别,介绍了按费用设计(DTC)、将费用作为独立变量(CAIV)的设计方法,技术方案的综合权衡分析,持续采办与寿命周期保障(CALS),装备的获取费用及其控制,运用和保障费用及其控制;第十章介绍了LCC应用及其案例,其中包括:我国高速动车组LCC分析评价,地铁车辆LCC评价,我国内燃机车LCC建模与分析,瑞典X2000型高速动车组采办过程中LCC的应用,LCC在德国高速动车组ICE研究中的应用。

本书的素材一方面来自作者及其同事们近年来在这一领域内的研究成果;另一方面来自国内外的许多文章、资料和书籍,在此对他们表示诚挚的谢意。

感谢中国铁道科学研究院集团有限公司机车车辆研究所维修理论研究室的同志们在编写这本书过程中所给予的支持与帮助,特别要感谢杨帆和李昊两位同志的帮助。最后,还要感谢黄厄文女士,她帮助进行了大量的图表文整工作,使本书得以顺利完成。

由于水平所限,遗漏、谬误恐所难免,对所提出的批评指正,谨表谢意!

编者

2018年4月于北京



第一章 概 述	1
第一节 LCC 技术的目的和意义	1
一、LCC 技术的主要目的	1
二、LCC 技术的重要意义	2
第二节 LCC 技术发展简史	4
一、国外 LCC 工作发展概况	4
二、我国 LCC 工作发展概况	7
第三节 LCC 技术的主要内容、应用和发展趋势	8
一、LCC 技术的主要内容	8
二、LCC 技术的应用	9
三、LCC 技术在轨道交通系统上的应用	10
四、LCC 技术的发展趋势	15
第二章 寿命周期费用基本概念	18
第一节 寿命及其管理	18
一、寿命的概念	18
二、寿命的定义	19
三、寿命分类	23
四、寿命分布	25
五、寿命的确定方法	30
六、寿命管理	32
第二节 寿命周期及其管理	35
一、寿命周期概念	35
二、寿命周期工程方法	40
第三节 LCC 概念	51



一、LCC 定义	51
二、LCC 分布	52
三、RAMS 对 LCC 的影响	53
第四节 LCC 经济学概念	54
一、费用的概念与分类	54
二、费用的分解结构(CBS)	59
三、费用的时间价值	59
四、经济投入和产出	61
第三章 LCC 模型	65
第一节 LCC 模型概况	65
一、LCC 模型的特点	65
二、LCC 模型要求	65
三、LCC 分解	66
第二节 费用分解结构(CBS)	67
一、LCC 分解结构的编制及其原则	67
二、典型的 LCC 分解结构	67
三、轨道交通系统 LCC 分解结构	79
第三节 工作分解结构(WBS)	83
一、工作分解结构(WBS)概念	83
二、工作分解结构(WBS)的用途和意义	84
第四章 LCC 时间价值和影响因素	89
第一节 费用的时间价值	89
一、费用的时间价值及相关概念	89
二、资金等价概念	94
三、资金等价计算	96
四、轨道交通系统费用时间价值的计算	101
第二节 通货膨胀的影响	102
一、通货膨胀和通货紧缩	102
二、实际货币和不变货币的分析	105
三、费用的贴现及通货膨胀	107
四、考虑通货膨胀的费用时间价值计算	110
第三节 学习曲线	111
一、学习曲线的概念	111

二、学习曲线的计算	112
第四节 费用不确定性和敏感性分析	113
一、不确定性基本概念	113
二、盈亏平衡分析	114
三、敏感性分析	116
第五章 LCC 估算方法	123
第一节 概 述	123
一、LCC 及其组成	123
二、LCC 估算	123
第二节 费用单元估算	126
一、类比估算法	126
二、参数估算法	128
三、工程估算法	146
四、实际推算法	149
五、费用估算方法的选择和应用	150
第三节 费用数据的收集与处理	154
一、我国费用数据采集状况	154
二、费用数据要求	155
三、数据收集的步骤和程序	155
四、费用数据的来源	156
五、费用数据的处理	158
第四节 费用估算关系类型	164
一、参数估算函数	164
二、费用估算关系示例	167
第五节 制造项目费用的评估	168
一、制造费用的评估方法	168
二、评估中所用的数据	172
三、对估算的评价	172
第六章 LCC 分析	174
第一节 概 述	174
一、LCC 分析的定义与特点	174
二、LCC 分析面临的经济形势与要求	175
三、LCC 分析目的与鉴别	176

第二节 LCC 分析工作	176
一、影响 LCC 的活动	177
二、LCC 分析工作计划与内容	177
第三节 LCC 分析过程	183
一、LCC 分析过程步骤	184
二、LCC 分析过程中几个重要问题	189
第四节 寿命周期中的费用处理	191
一、费用剖面的开发	191
二、通货膨胀因素的引入	193
三、考虑学习效应	194
四、费用等价确定	195
第五节 LCC 与 RAMS	195
一、故障及其分析	195
二、可靠性	198
三、维修性	201
四、可用性	205
五、安全性	211
六、可信性	213
七、LCC 与 RAMS	214
第七章 LCC 评价	226
第一节 概 述	226
一、LCC 评价的定义、意义和作用	226
二、LCC 评价的程序	227
三、LCC 评价方法	229
第二节 LCC 经济评价	232
一、LCC 经济评价方法	233
二、LCC 经济评估的应用	240
第三节 费用—效能分析	261
一、概 述	261
二、费用—效能权衡分析	268
三、费用—效能分析应用	279
第四节 价值工程	281
一、价值工程基本概念	282
二、对象选择与信息收集	284

三、功能分析	288
四、功能评价	290
五、方案改进和创新	296
第八章 LCC 管理	300
第一节 概 述.....	300
一、LCC 管理的基本任务	300
二、LCC 管理的主要内容	301
三、LCC 管理大纲和计划	301
四、LCC 评审	305
第二节 LCC 管理组织机构与关系	305
一、LCC 管理组织	305
二、消费者/生产者/供应商的界面	306
第三节 合同及其费用管理.....	308
一、合同的概念	308
二、合同的招标	310
三、合同内容	312
四、合同中的三个重点范畴	313
五、LCC 分析的评价审核检查清单	315
第四节 装备费用风险管理.....	317
一、概 述	317
二、费用风险识别	331
三、费用风险分析	337
四、费用风险评价	348
五、费用风险决策分析	350
六、减少风险的途径	352
第九章 LCC 控制	358
第一节 概 述.....	358
一、系统装备 LCC 的特点与控制对策	358
二、LCC 控制思想与方针	359
三、LCC 控制类别	365
第二节 按费用设计(DTC)	366
一、DTC 定义与目标	366
二、DTC 程序与方法	367

三、DTC 方法应用例	369
第三节 以费用为独立变量(CAIV)	370
一、CAIV 产生的背景	370
二、CAIV 定义与特点	371
三、CAIV 工作内容	372
四、CAIV 费用目标值	372
五、CAIV 与 DTC 的区别	373
第四节 技术方案的综合权衡分析	374
一、技术识别、评价和选择(TIES)方法的过程分析	374
二、技术识别、评价和选择(TIES)方法的应用例	376
第五节 持续采办与寿命周期保障(CALS)	378
一、采办与 CALS 定义	378
二、CALs 目的和意义	378
三、持续采办	379
四、寿命周期保障	387
第六节 装备的获取费用及其控制	395
一、采购的定义	395
二、采购要求与原则	396
三、轨道交通运输装备的采购、获取与控制	398
第七节 运用和保障费用及其控制	412
一、概 述	413
二、装备运用保障费用计划管理	415
三、经济寿命的确定方法	418
四、维修保障费用估算	419
五、维修保障费用的分配与控制	426
六、供应保障与需求量的确定	427
第十章 LCC 应用及案例	433
第一节 我国高速动车组 LCC 分析评价	433
一、我国高速动车组特点及运用维修状况	433
二、动车组 LCC 模型	440
第二节 地铁车辆 LCC 评价	455
一、概 述	455
二、地铁车辆寿命周期费用(LCC)模型	455
三、地铁车辆 LCC 估算	459

四、四辆编组地铁车辆 LCC 估算结果	471
第三节 我国内燃机车 LCC 建模与分析	472
一、我国内燃机车特点及运用维修状况	472
二、内燃机车 LCC 建模	477
第四节 LCC 在瑞典 X2000 型高速动车组中应用	479
一、X2000 型高速动车组的基本特征和主要技术参数	479
二、X2000 型高速摆式列车技术及其发展	480
三、X2000 型动车组采购中 LCC 的应用	481
四、运用和维修经验	489
五、总 结	494
第五节 LCC 在德国 ICE 型高速动车组研究中的应用	494
一、LCC 在 ICE3 型高速列车设计中的应用例	494
二、作为德国铁路公司机车车辆战略决策的有力工具	495
附录 A 术语及缩略语	497
附录 B 复利系数表	505
参考文献	513

第一章 概 述

第一节 LCC 技术的目的和意义

产品寿命周期是指系统或设备从论证开始到退役为止所经历的全部时间,产品寿命周期费用(LCC)则是指是设备或系统在其寿命周期内所支付的全部费用,包括产品的论证与方案、设计与研制、制造与安装、运用与维修、退役与处理所发生的费用总和。寿命周期费用是系统或设备“一生”的全部费用投入,是重要的经济性参数,已成为现代产品质量观念的重要内涵和要素,是产品各种关键活动决策的重要依据,其英文缩写为 LCC(life cycle cost)。LCC 在国内有多种译名,最常用的名称有:寿命周期费用、生命周期费用、生命周期成本和全寿命费用等。本书将 LCC 译为寿命周期费用。

一、LCC 技术的主要目的

1. 提高装备全寿命经济性

过去人们往往只追求采购费用的节省而较少考虑运用、维修费用问题,常常导致在运用阶段支付大量的运用、维修费用,从而造成寿命周期费用过高。随着科技的不断进步,设备的性能日趋完善,结构日益复杂,运用维修要求日益提高,不仅使采购费用大幅增加,运用维修费用也迅猛增加,造成用户“买得起、用不起”。因此,现代大型、复杂技术装备的供应商,宜采取措施提高设备在整个寿命周期各个阶段的经济性,达到 LCC 最小的目标。

2. 适应现代技术装备发展经费紧张的趋势

随着我国经济建设规模快速增长,产品品种迅速增加,技术含量越来越高,使得费用急剧增长。因此,各行各业的建设投资常常出现捉襟见肘的局面,使建设需求与费用支持之间的矛盾日益突出。因此,只有重视和加强寿命周期费用分析的研究,才能以最小的经济代价,取得最佳的经济建设效果。

3. 改变传统的经济决策观念

传统的“重性能、轻费用”的装备研制原则和“最低价格”的装备采购观念,一直在我国技术装备发展中占据着主导地位。技术装备采办过程的管理分散在政府和企业的多个职能部门,装备的全寿命管理理念尚未在技术装备的建设中得到体现,以成本为核心的全寿命周期管理理念还很薄弱。只有加强寿命周期费用分析和管理,才能从全系统、全方位和全寿命的角度去正确认识技术装备的发展问题,改变传统的经济决策概念,以适应社会主



义市场经济体制的变化。

4. 为用户的装备采办过程提供指导

技术装备采办过程中需要多项决策,诸如装备发展规划的制定、装备的论证和各类采购合同的制定等,其中的费用问题是决策的重要因素。如何科学合理地确定装备立项费用需求?如何确认供货商产品报价的正确性?如何正确地确定费用目标值?只有深入研究寿命周期费用,才能对上述问题做出正确的回答和决策。否则,用户作为采购方就难以与承制方进行费用协商,在谈判中提出理由和根据;也难以以为费用目标控制和过程控制提供强有力的论据,最终难以避免装备费用的急剧增长。

5. 推动装备 RAMS 的提高

寿命周期费用分析是对产品的采购和运用维修总体费用进行评估的经济分析方法,这种方法的最基本目标是在满足产品性能、可靠性、可用性、维修性和安全性(RAMS)和其他要求的基础上评价和优化其寿命周期费用。研究表明,在装备的寿命周期费用中,运用和保障费用是主要组成部分,而可靠性和维修性又是影响运用和保障费用的关键因素,RAMS 提高会使系统装备效能进一步增长。因此,开展装备寿命周期费用分析,不仅可使人们从全局角度提高对设备 RAMS 的重视程度,也可以推动技术装备 RAMS 水平的提高。

二、LCC 技术的重要意义

1. LCC 是衡量装备经济性的最合理指标

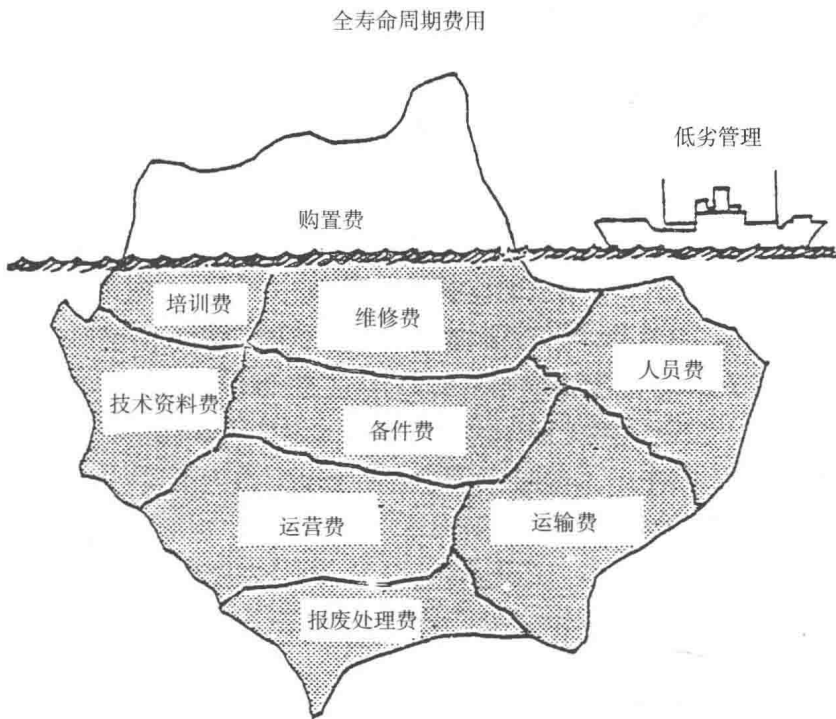
在进行系统装备的各种分析时,只有 LCC 才能真实地反映装备的经济性,即只有 LCC 最小时装备才是最经济的。在装备整个寿命周期的耗费中,采购费只占较小的比例,运用维修费用则占较大的比例,而且两者间是彼此密切相关的。表 1-1 列出了某些装备采购费与运用维修费的对比。从表 1-1 可以看出,机车车辆的 LCC 大约是采购费的 3~8 倍,其中运用维修费在 LCC 中的占比高达 66%~88%。因此,如果人们在机车车辆采购或研制时,只注重机车车辆的性能和采购费,对影响 LCC 的运用维修费重视不够,会使采购或研制出来的机车车辆运用维修费用高昂,完好率和效能却不高。图 1-1 LCC 冰山图就是对这种现象的形象比喻。采购费只是冰山露出水面的部分,所占比例较小,而水面下的运用维修费却大得多。如果船长(决策者)看不到这一点,那么他驾驶的航船(整个项目)就会撞到冰山上,付出惨重的代价。装备设计研制阶段,在保证性能的前提下提高装备的 RAMS 要求,则会增加投资费用,导致运用维修费用减小。实践表明,采购费用是一次性投资,而运用维修费用则是使用期间的连续性投资,因此通常在装备研制过程中适当增加投资改善 RAMS,将会换来 LCC 的较大压缩。

表 1-1 装备采购费和运用维修费的对比

装备名称	采购费(%)	运用维修费(%)	LCC/采购费
机车车辆	12~34	66~88	2.9~8.3
战斗机	30~50	50~70	2.0~3.3

续上表

装备名称	采购费(%)	运用维修费(%)	LCC/采购费
装甲车辆	20~30	70~80	3.3~5.0
驱逐舰	25~40	60~75	2.5~4.0
空调装置	30	70	3.3
通风装置	21	79	4.8
彩色电视机	51	49	1.9
洗衣机	27.5	72.5	3.6
冰箱	29	71	3.4



2. LCC 技术是改变我国技术装备决策观念 and 发展的必然要求

技术装备“重性能、轻费用”“重采购费用、轻运用维修费用”的传统决策观念，一直在我国技术装备的发展中占有主导地位。只有深入进行 LCC 技术研究，才能彻底摒弃这些观念，从全系统、全寿命的角度去认识装备发展的一系列问题。随着我国技术装备规模日趋壮大，品种越发丰富，技术愈来愈高，所需费用也急剧增大，项目经费却越来越紧张，造成装备需求与有限费用之间的矛盾日益突出。因此，重视和加强寿命周期费用的分析研究、节约运用费用，才能以最低的经济代价，取得最优的经济效益；才能保持技术装备持续稳定的发展，以适应国民经济发展的需要。