

公路设计手册

路面

姚祖康 主编

人民交通出版社

公路设计手册

Lumian

啟 函

Lumian

路面

近年来,我国的公路特别是高等公路,发展迅速,设计任务也越来越多地转向高等级路面。我国设计人员对高等级路面的设计经验不足,亟需引进国外先进的设计思想和概念,结合我国设计方法和参数,以提高设计水平,适应公路发展的需要。

人 民 交 通 出 版 社

500.82, 奇数州220(1-1000), 燈明

(京)新登字091号

册 手 册 新 登 公

内 容 提 要

本手册汇总了国内外有关沥青路面和水泥混凝土路面新建和改建设计的主要方法、有关设计参数以及混合料设计和试验方法。内容包括：设计概念和原理，设计参数，分析方法，新建路面结构设计方法，改建路面结构设计方法，材料组成设计和材料试验方法，共六篇十五章和一个附录。

本手册系统性强，资料全，图表多，查用方便，为道路工程技术人员必备的工具书，也可供有关院校道路工程专业师生和研究人员参考使用。

面 册

主 编 姚 祖 康

公路设计手册

路 面

姚祖康 主编

责任编辑：郭思涛 沈鸿雁 插图设计：汪 萍 正文设计：周 元 责任校对：张 捷

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

(原人民交通出版社印刷厂)

开本：787×1092 1/32 印张：20 字数：499千

1998年6月 第1版

1998年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—11930册 定价：23.00元

ISBN7-114-01563-1

U·01047

前 言

随着交通量和轴重的不断增长,对路面结构强度和使用性能的要求不断提高,路面设计也随此而日益得到重视。路面结构承受交通荷载和环境因素复杂多变的随机作用,其使用性能又受到材料和施工变异以及养护措施等多方面因素的严重影响。要能设计出适应当地条件、符合使用要求而又经济的路面,必须具有系统设计思想,掌握交通荷载作用特性、材料物理力学性能、环境因素影响、路面结构力学分析方法、路面使用性能监测和评价方法、工程经济原理、概率和统计等多方面的知识。

近年来,我国的公路特别是高等级公路,发展迅速。路面设计任务也越来越多地转向高等级路面。我国设计人员对高等级路面的设计经验不足,亟需吸取国外较先进的设计思想和概念,参考其设计方法和参数,以提高设计水平,适应公路发展的需要。

本手册第一篇介绍现代路面设计的系统概念和原理,作为路面设计人员的基础知识。第二篇汇集了进行路面设计所需各项设计参数的概念、确定方法和数值范围。第三篇为路面结构力学分析的各种计算式和计算图表,包括半空间体、多层体系和弹性地基板三种力学图式。第四篇为新建路面结构设计方法,既收集了我国设计规范中规定的方法,也介绍了新近研究成果中建议的方法和国外具有代表性的几种方法[如美国各州公路和运输工作者协会(AASHTO)法,壳牌(Shell)法,美国沥青协会(AI)法和美国波特兰水泥协会(PCA)法]。第五篇重点介绍现有路面使用性能调查和评价方法以及各种加铺层结构的设计方法。路面混合料的组成设计方法汇集于第六篇,而有关材料试验方法则纳入附录。

本手册第一篇由姚祖康编写,第二篇和第五篇第二章由姚祖康和孙立军编写,第四篇第二章由李华和姚祖康编写,第三篇、第四篇第一章和第五篇第一、三、四、五、六章由许志鸿编写,第六篇和附录由郭忠印编写。手册初稿经交通部第一公路勘察设计院武愍民高级工程师和交通部第二公路勘察设计院彭扬言高级工程师审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此致以衷心的感谢。

希望本手册能为路面设计人员提供方便,成为有用的工具书,并有益于提高我国路面设计的水平。

鉴于编写者水平,错漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

姚祖康

1992年9月

目 录

第一篇 路面设计概念和原理

第一章 路面结构组成	1
第一节 路面结构断面	1
第二节 路面类型和结构层次	1
第三节 路肩	2
第四节 排水	2
第二章 路面使用性能及路面设计	3
第一节 路面使用性能	3
第二节 路面设计的任务和内容	5
第三节 设计方法和过程	5
第三章 设计方案的经济评价	7
第一节 费用组成	7
第二节 经济评价方法	8
第四章 结构可靠性分析	10
第一节 可靠度的定义	10
第二节 方差的组成	12
第三节 可靠度水平	13
参考文献	13

第二篇 路面设计参数

第一章 交通	14
第一节 车型和轴型	14
第二节 汽车轴载参数	14
第三节 轴载当量换算	14
第四节 轮迹横向分布	21
第二章 环境	21
第一节 公路自然区划	21
第二节 路面温度状况估算	26
第三章 土基	29
第一节 路基土分类	29
第二节 土基干湿类型	33
第三节 土基压实度	37

第四节 路基土回弹模量	37
第五节 路基反应模量	43
第六节 加州承载比 (CBR)	45
第四章 路面材料特性	45
第一节 应力-应变特性	45
第二节 强度特性	53
第三节 疲劳特性	55
第四节 其它材料特性	57
参考文献	59

第三篇 结构状态分析方法

第一章 弹性半空间体	61
第一节 集中力作用下的应力与位移——布辛氏课题及其推广	61
第二节 圆形均布荷载作用下的应力与位移	62
第三节 圆形均布荷载下任一点任一泊松比的应力、应变与位移	64
第二章 多层弹性体系	70
第一节 一般表达式	70
第二节 双层体系	75
第三节 三层体系	82
第四节 多层体系应力与位移的近似表达式	88
第三章 弹性地基板	96
第一节 荷载应力分析	96
第二节 温度应力分析	119
参考文献	123

第四篇 新建路面结构设计方法

第一章 沥青路面结构设计	124
第一节 公路柔性路面设计方法	124
第二节 城市道路柔性路面设计方法	158
第三节 AASHTO 柔性路面设计方法	169
第四节 SHELL 设计方法	180
第二章 水泥混凝土路面结构设计	188
第一节 我国水泥混凝土路面设计方法	188
第二节 美国 PCA 设计方法	192
第三节 AASHTO 设计方法	201
第四节 路基和垫 (基) 层设计	207

第五节 接缝设计	210
第六节 配筋设计	213

第五篇 改建路面结构设计方法

第一章 改建设计的概念	215
第一节 改建设计的原则	215
第二节 改建设计的过程	215
第二章 路面状况调查和测定	218
第一节 分析路段划分	218
第二节 路面损坏状况调查	222
第三节 路面结构承载能力测定	228
第四节 平整度测定	231
第五节 抗滑能力测定	235
第三章 沥青加铺层	238
第一节 旧柔性路面上的沥青加铺层	238
第二节 旧刚性路面上的沥青加铺层	244
第四章 水泥混凝土加铺层	246
第一节 旧刚性路面上的水泥混凝土加铺层	246
第二节 旧柔性路面上的水泥混凝土加铺层	249
参考文献	252

第六篇 材料组成设计

第一章 矿质集料组成设计	253
第一节 集料级配	253
第二节 集料组成设计	264
第二章 沥青混合料组成设计	267
第一节 沥青混合料组成参数	267
第二节 沥青混合料组成设计(马歇尔法)	270
第三章 水泥混凝土组成设计	274
第一节 水泥混凝土配合比设计	274
第二节 设计示例	279
第四章 稳定类材料组成设计	281
第一节 石灰土及其组成材料要求	281
第二节 设计方法	282
参考文献	286

附录 材料试验方法

附录一 土基回弹模量测试方法(承载板法)	288
----------------------	-----

附录二	路面材料野外压缩回弹模量测试方法	289
附录三	CBR 试验方法	292
附录四	反应模量 k 值测定方法	294
附录五	无机结合料稳定土的无侧限抗压强度试验方法	296
附录六	无机结合料稳定土的间接拉伸强度试验方法	298
附录七	沥青混合料稳定度试验方法	299
附录八	沥青混合料动态模量试验方法	300
附录九	沥青混合料回弹模量的间接拉伸试验	302
附录十	沥青混合料和整体性材料抗弯拉强度和弯拉回弹模量试验方法	304
附录十一	混凝土抗弯拉强度及弯拉弹性模量试验方法	308
附录十二	混凝土间接拉伸强度试验方法	310

纵向排水管，然后排出路基。也可以把基层设计成排水层，或把垫层或基层的一部分设计成排水层。图1-1-2为路面结构材料类型的基层与垫层组合类型。

1. 路面结构本身排水

大断面

第一篇 路面设计概念和原理

第一章 路面结构组成

第一节 路面结构断面

路面结构的典型横断面，如图1-1-1所示。图中，左半侧为沥青路面，右半侧为水泥混凝土路面。设有路面排水结构的横断面，参见图1-1-2。

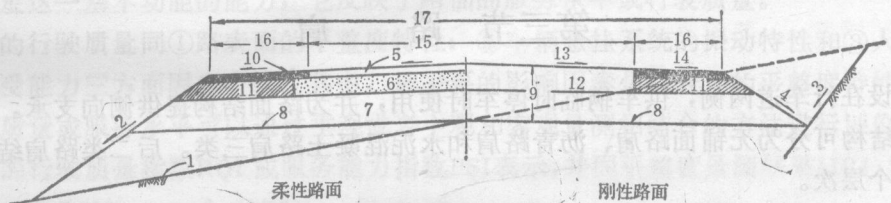


图1-1-1 路面结构典型横断面

1-原地面；2-填方边坡；3-挖方边坡；4-边沟边坡；5-面层；6-基层；7-垫层；8-路基；9-路面结构；10-路肩面层；11-路肩基层；12-路面板；13-路面横坡；14-路肩横坡；15-路面宽；16-路肩宽；17-路基宽

第二节 路面类型和结构层次

路面按面层所用材料的不同，可分为沥青路面、水泥混凝土路面、块料路面和粒料路面四类。

各类路面的结构可分为面层、基层和垫层三个层次。

面层是直接承受行车荷载作用和大气降水和温度变化影响的路面结构层次，应具有足够的结构强度、良好的温度稳定性，耐磨、抗滑、平整和不透水。面层由一层或数层组成；其顶面可加铺磨耗层，其底面有时增设联结层。

基层主要起承重作用，应具有足够的强度。基层有时设两层，分别称为上基层和底基层。

在路基土质较差、水温状况不良时，宜在基层之下设置垫层，起排水、隔水、防冻、防污或扩散荷载应力等作用。

各类路面结构层次可选用的组成材料，如表1-1-1所列。

路面类型、结构层次和组成材料的选择，依据道路等级、交通繁重程度、路基承载能力、材料供应情况、气候条件（气温、降水和冰冻等）、施工考虑（设备、工艺、分期修建、施工期限等）、寿命周期费用、资金筹措等因素，综合考虑和分析后作出决定。

各类路面各结构层次可选用的组成材料

表1-1-1

结构层次	路 面 类 型			
	沥 青 路 面	水 泥 混 凝 土 路 面	块 料 路 面	粒 料 路 面
面 层	沥青混凝土、沥青碎石、 沥青贯入、沥青表面处治	素混凝土、配筋混凝土、 连续配筋混凝土、预应力混 凝土	整齐块石、半整齐 块石、嵌锁式混凝土 块料	泥结碎石、级配砾 (碎)石、粒料改善土
基 层	水泥或石灰稳定粒料(包 括砂砾、砂砾土、碎石土、 土等)； 石灰—工业废渣或石灰— 工业废渣稳定粒料； 沥青稳定土、沥青贯入碎 石；水结或泥灰结碎石、级 配砾石	贫水泥混凝土、水泥或石 灰稳定粒料，石灰—工业废 渣或石灰—工业废渣稳定粒 料； 沥青碎石、沥青贯入碎 石； 水结或泥灰结碎石、级配 砾石	贫水泥混凝土、水 泥或石灰稳定粒料、 石灰—工业废渣或石 灰—工业废渣稳定粒 料； 沥青碎石、沥青贯 入碎石； 水结或泥灰结碎 石、级配砾石	石灰或水泥稳定 土； 天然砂砾
垫 层	石灰或水泥稳定土；砂、砂 砾、碎石或废渣	石灰或水泥稳定土；砂、 砂砾、碎石或废渣	—	—

第三节 路 肩

路肩设在行车道两侧，供车辆临时停车时使用，并为路面结构提供侧向支承。

路肩结构可分为无铺面路肩、沥青路肩和水泥混凝土路肩三类。后二类路肩结构设面层和基层二个层次。

路肩结构设计的内容包括：宽度和厚度的确定、组成材料的选择、路面和路肩交界面的填封处理、路肩排水等。水泥混凝土路肩还包括拉杆和横缝设置等。

路肩铺面应同行车道路面作为一整体进行结构设计，采用相同类型的面层材料，统一考虑路肩和路面结构排水系统，提供路面和路肩交界面的填封措施。

第四节 排 水

通过裂缝、接缝或空隙渗漏，或者由地下水位毛细上升进入路面结构内的水分，会降低路基土和未稳定粒料的强度，导致混凝土路面出现唧泥，并进而引起错台和断裂等病害；促使沥青混合料发生剥落。因而，路面排水是进行路面设计时应予考虑的一项重要内容。

处理路面中水分的方法有三类：

1. 防止水分进入路面

可采取的措施有：拦截流向道路的地下水，设置路拱，填封路表面各种缝隙，采用透水性小的密级配面层混合料等。

2. 迅速排除进入路面结构内的水分

可通过在路面结构内设置排水层，将进入路面结构内的自由水横向排送到设在路肩下的

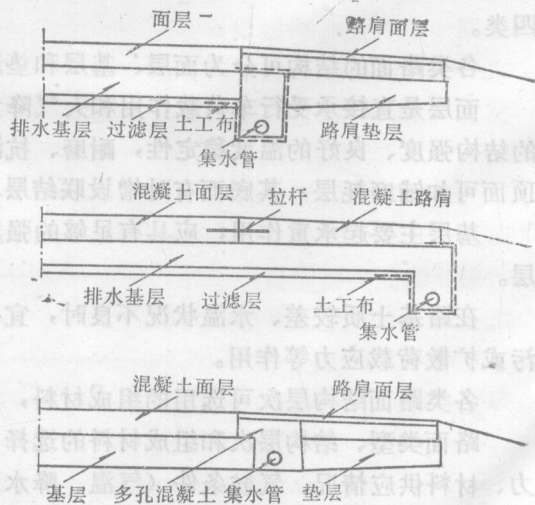


图1-1-2 路面结构中排水布置示例

纵向排水管内，然后排出路基。也可以把基层设计成排水层，或把垫层或垫层的一部分设计成排水层。图1-1-2为路面结构中排水层布置示例。

3. 路面结构本身抗水性

使路面结构具有足够强度以抵抗荷载和水的共同作用。

第二章 路面使用性能及路面设计

第一节 路面使用性能

路面使用性能可分为：①功能性能；②结构性能；③结构承载能力；④安全性；⑤外观等5个方面，前4个为主要方面。

一、功能性能

路面的基本功能是为车辆提供快速、安全、舒适和经济的行驶表面。路面的功能性能是指路面满足这一基本功能的能力，它反映了路面的服务水平或行驶质量。

路面的行驶质量同①路表面的平整度特性；②车辆悬挂系统的振动特性和③人对振动的反应或接受能力三方面因素有关。其中，最主要的影响因素是路表面的平整度特性。

行驶质量或服务水平可以通过主观或者主观和客观量测相结合的方法进行评价，用5分或10分制的行驶质量指数RQI或服务能力指数PSI表示，并同平整度量测结果(IRI)建立联系：

$$RQI \text{ (或 PSI)} = a - b \text{ (IRI)} \quad (1-2-1)$$

式中：a、b——通过评价试验建立的回归方程的参数。

路面的行驶质量或服务能力，随车辆荷载的反复作用、周围环境（温度和湿度）的周期变化影响和路面龄期的增加而逐渐下降（图1-2-1）。当行驶质量指数下降到某一限值时，路面便不能满足基本功能的要求，而需要采取改建或重建措施以恢复其功能。行驶质量指数的限值标准，在很大程度上依据道路等级、交通量和资金条件等确定。

二、结构性能

路面的结构性能，是指路面保持其结构完好而不出现损坏的能力。

路面在使用过程中受到行车荷载和环境等因素的作用而出现各种损坏。这些损坏可归纳为三大类（表1-2-1）：

（1）断裂或裂缝类——路面结构的整体性受到破坏；

（2）永久变形类——路面结构虽仍保持整体性，但形状有较大改变；

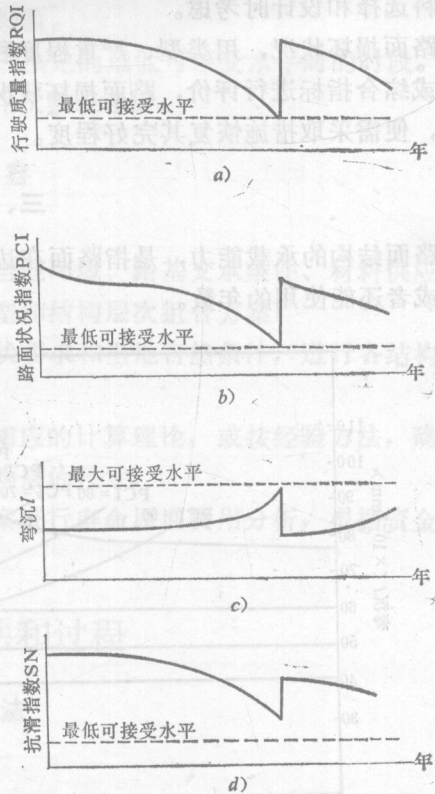


图1-2-1 路面使用性能随时间的变化

损坏模式	一般原因	特 定 原 因	损坏形式
断裂或开裂	车辆荷载	重复荷载 制动力 下层接(裂)缝和车辆荷载	疲劳断裂或龟裂 滑动裂缝 反射裂缝
	环境因素	温度变化 湿度变化 下层接(裂)缝和温(湿)度收缩	横向裂缝 收缩裂缝 反射裂缝
永久变形	车辆荷载	重复荷载 荷载过重	车 辙 塑流或蠕变
	环境因素	膨胀土或冰冻作用 固 结 水 渗 入	隆 起 沉 降 唧泥和错台
耗 损	车辆荷载		磨光, 磨损, 露骨等
	环境因素		剥 落

(3) 耗损类——路面表层部分材料的散失或磨损。

路面结构设计主要考虑前二类损坏, 采取特定措施防止它们在预定的设计期内出现。例如, 沥青路面结构设计主要针对疲劳开裂、低温缩裂、反射裂缝和车辙等, 水泥混凝土路面结构设计主要针对疲劳断裂、唧泥和错台等。而耗损类损坏则主要同面层材料的性质有关, 在材料选择和设计时考虑。

路面损坏状况, 用类型、严重程度和范围(或密度) 3 方面表征, 并采用单项损坏类型指标或综合指标进行评价, 路面损坏状况也随时间而发展(见图1-2-1); 严重到一定程度后, 便需采取措施恢复其完好程度。

三、结构承载能力

路面结构的承载能力, 是指路面在达到预定的损坏状况之前还能承受行车荷载作用的次数, 或者还能使用的年数。

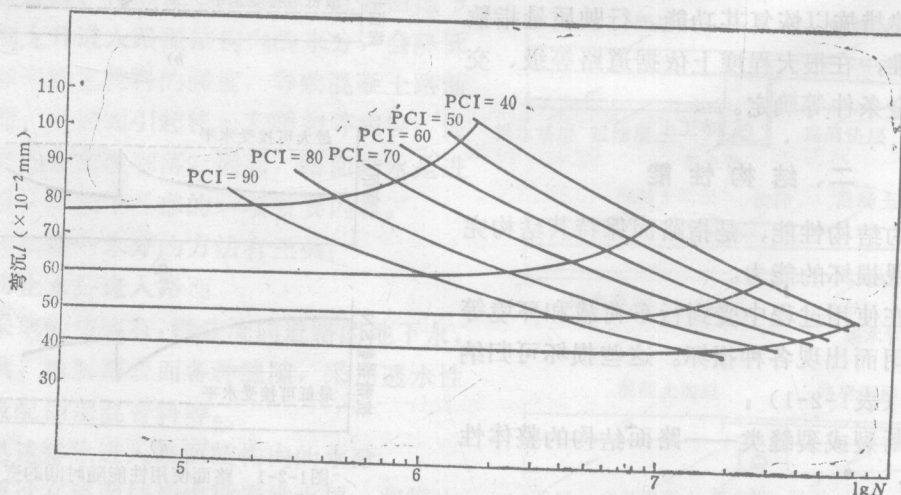


图1-2-2 路面结构承载能力和损坏状况的关系(图中PCI为路面状况指数, PCI越接近100, 路况越完好)

结构承载能力同损坏状况有内在联系。在使用过程中,承载能力逐渐下降,而损坏逐步发展;承载能力低的路面结构,其损坏状况必然很严重(参见图1-2-1和图1-2-2)。

通常采用路表面无破损弯沉测定方法评价路面的结构能力,也即确定其剩余寿命。根据评价结果,可以判断是否需要设置加铺层,并进行加铺层设计。评价结果也可用于分析损坏状况及其发展。

四、安全性

安全性主要指路面表面的抗滑能力。此外,车辙深度超过10~13mm的情况下,车辆高速行驶时会因辙内积水而可能出现飘滑。

路表面的抗滑能力可采用各种量测仪器进行评价,以摩擦系数或抗滑指数表征。随着车轮的不断磨损,路表面的抗滑能力因集料被磨光而逐渐下降(图1-2-1)。当表面摩擦性能下降到不可接受的水平时,便需采取措施(例如,加铺抗滑磨损层),恢复其抗滑能力。

第二节 路面设计的任务和内容

一、设计任务

路面设计的任务在于提供一经济的路面结构,它在预定的设计期内能按要求的可靠度承受行车荷载和环境因素的作用,具有符合使用要求的性能。同时,这种路面结构所需的材料、施工技术和资金,符合当地所能提供的条件和经验。

路面设计期是指新建或改建路面的使用性能达到预定的最低可接受水平时的时段。设计期用年数表示,也可用该时段内标准轴载的累计作用次数表示。

二、设计内容

路面设计内容包含以下4方面:

- (1)路面类型和结构选择——根据使用要求、当地环境、路基支承条件、材料供应、施工和养护技术条件、资金来源等情况,选择路面类型和结构层次组合方案;
- (2)混合料组成设计——根据对所选材料的性状要求和当地自然条件,进行各结构层混合料的组成设计;
- (3)路面结构设计——根据假设的力学模型和相应的计算理论,或按经验方法,确定满足交通和环境条件、可靠度和使用年限要求的各结构层的尺寸;
- (4)经济评价和最终方案选择——对各备选方案进行寿命周期费用分析,根据资金筹措情况和要求可靠度选择成本-效益最佳方案。

第三节 设计方法和过程

一、设计方法

路面的设计方法可分为两大类。

1. 经验或半经验法

通过试验路的试验观测,积累大量有关路面结构、荷载大小和作用次数以及使用性能之间关系的数据,经过整理后建立使用性能指标同路面结构和荷载参数间的经验关系式,据此

设计路面结构。本手册介绍的美国各州公路和运输工作者协会 (AASHTO) 路面结构设计方法, 就属于这类方法。

经验或半经验法实质上并非完全是经验性的, 在整理观测数据过程中都应用了某些理论建立各影响变量之间的关系。这种方法的主要缺点是其应用受环境和材料等条件的限制。

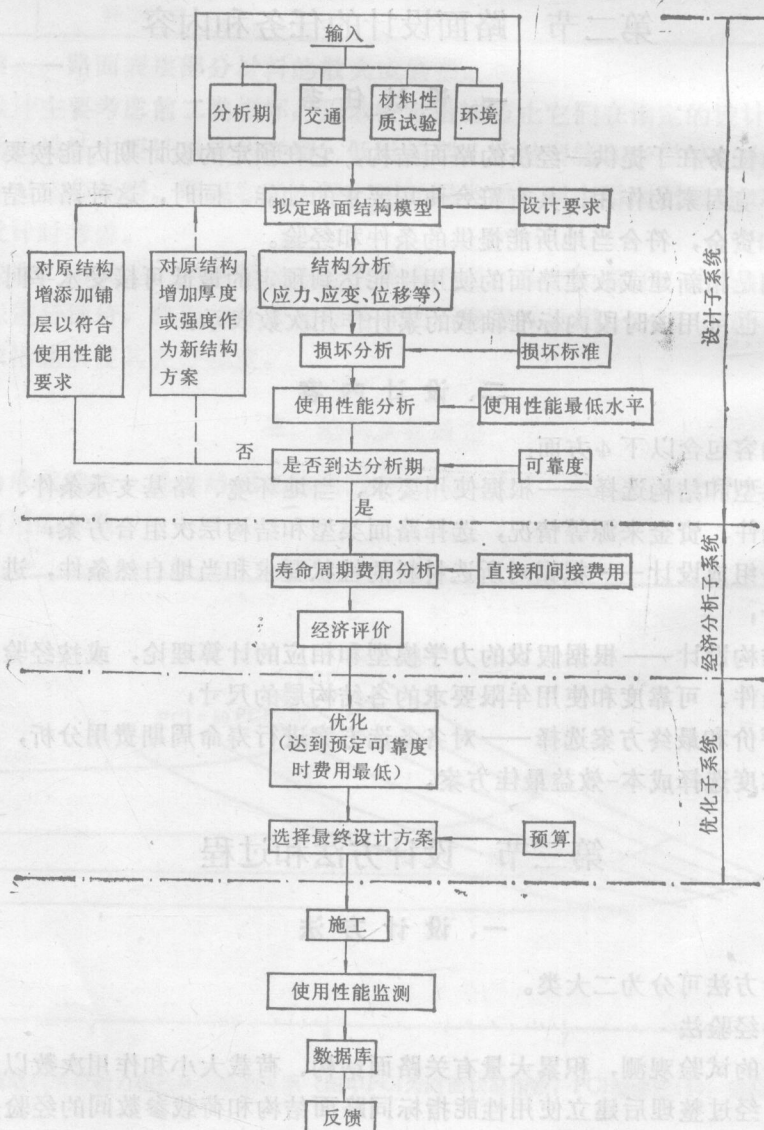
2. 解析法或理论法

这类方法的特征是: ①建立路面结构的力学模型, 寻求此类模型中应力、应变和位移方程的解; ②表征各结构层材料在特定的环境和荷载条件下的力学性质; ③定义以基本的应力、应变和位移量表示的设计标准; ④用简便的方式表示设计系统。

本手册介绍的我国路面设计规范的方法, 壳牌 (SHELL) 和美国沥青协会 (AI) 的沥青路面设计方法, 美国波特兰水泥协会 (PCA) 混凝土路面设计方法都属于这类方法。

二、设计过程

路面设计的过程, 可大致按下述步骤进行:



(1)采集数据——包括：交通（日交通量、轴载组成、年平均增长率等），环境（月平均气温等），材料（料场分布、材料品质和供应条件等），地质和水文（地下水位、土质等），经济（概预算定额、资金来源等），当地技术和设备条件以及路面使用经验等；改建设计时，还应调查和收集现有路面使用状况的数据；

(2)初拟路面结构方案——包括路面类型、结构层次组合、材料组成和结构层大致厚度；

(3)材料组成设计和力学性质试验；

(4)确定有关设计参数——如分析期，可靠度水平，荷载、环境和材料方面的有关参数；

(5)进行结构分析——分析所拟路面结构方案在荷载和环境条件下的应力、应变和位移量，预估其损坏或使用性能；

(6)进行各方案的寿命周期费用分析；

(7)综合各方面的考虑，选择最终设计方案。

高等级公路的路面，进行系统设计的过程，如图1-2-3所示。经济分析时所取的时段，称为分析期。通常，分析期内至少考虑一次路面改建活动（见图1-2-4）。

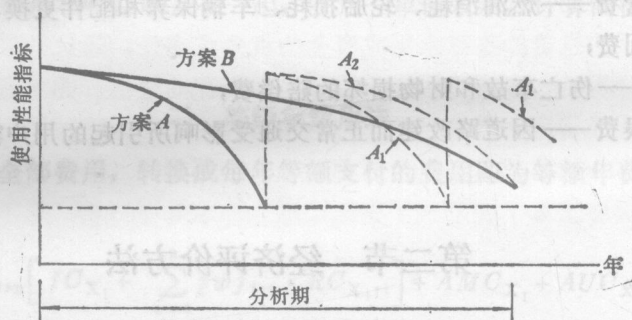


图1-2-4 分析期内的路面结构方案

第三章 设计方案的经济评价

对于路面设计项目的各个设计方案，需要应用工程经济原理分析其成本和效益，通过比较以选择成本-效益最佳方案。

经济分析和评价时所考虑的时段，称作分析期，一般为25~40年，其中可能包含若干次改建活动。

分析时，把分析期内有关路面修建、养护、改建和用户费用等所有直接和间接费用都考虑在内，并用等值表示，可以对方案作出较完整的经济评价。这种分析方法称为寿命周期费用分析法。

经济分析是为决策提供比较的基础，而不是提供决策本身。而且，评价本身同资金的来源和筹措方法无关。

第一节 费用组成

进行经济评价时，应考虑管理部门的费用和用户的费用。通常把费用的减少看作收益。

一、管理部门费用

管理部门费用包括以下几部分:

- (1) 初期修建费;
- (2) 改建费——路面使用性能下降到最低可接受水平时为恢复或提高而进行的改建活动,如加铺层、封层或重建等的费用;
- (3) 养护费——为维持路面的使用性能或使用性能的变坏速率在要求水平上所支出的费用;
- (4) 路面的残值——分析期末路面还剩有部分服务能力或路面材料尚能重新使用的价值;
- (5) 管理费。

二、用户费用

用户在使用道路的过程中支出的费用称为用户费用,它们同路面的平整度或服务能力有关,包括以下几部分:

- (1) 车辆运营费——燃油消耗、轮胎损耗、车辆保养和配件更换、车辆折旧等;
- (2) 行程时间费;
- (3) 事故费——伤亡事故和财物损坏的赔偿费;
- (4) 交通延误费——因道路改建而正常交通受影响所引起的用户额外支出的费用,如减速、绕行等。

第二节 经济评价方法

用于评价路面设计方案的经济分析方法有:现值法(费用现值、收益现值或净现值)、年费用法、回收率法、收益-费用比法、费用-效益法等。

一、现值法

把分析期内不同时期预期支付或收益的费用,按某一规定的折现率 i ,统一折算为现在的费用,称为现值法。通过折换为现值,便可在等值的基础上,用单一的数值来分析各比较方案的经济性。

1. 费用现值

费用现值可用下式表示:

$$PWC_{X_1, n} = IC_{X_1} + \sum_{t=1}^n pwf_{i, t} [RC_{X_1, t} + MC_{X_1, t} + UC_{X_1, t}] - pwf_{i, n} \cdot SV_{X_1, n} \quad (1-3-1)$$

式中:

$PWC_{X_1, n}$ ——方案 X_1 在分析期 n 年内的总费用现值;

IC_{X_1} ——方案 X_1 的初期修建费;

$RC_{X_1, t}, MC_{X_1, t}, UC_{X_1, t}$ ——相应为方案 X_1 在 t 年的改建费、养护费和用户费;

$SV_{X_1, n}$ ——方案 X_1 在分析期 n 年末的残值;

$pwf_{i, t}$ ——折现率为 i 、年数为 t 的现值系数,

$$pwf_{i,t} = 1/(1+i)^t \quad (1-3-2)$$

在其它条件相同时, 应选择总费用现值最小的方案。

2. 收益现值

收益现值以下式表示:

$$PWB_{X_1,n} = \sum_{t=0}^n pwf_{i,t} \cdot UB_{X_1,t} \quad (1-3-3)$$

式中: $UB_{X_1,t}$ ——方案 X_1 在 t 年的用户收益。

3. 净现值

净现值的定义为:

$$NPV_{X_1} = PWB_{X_1,n} - PWC_{X_1,n} \quad (1-3-4)$$

然而, 对路面来说, 方案 X_1 的用户收益是通过同其它方案进行比较后, 按用户费的节省来确定的, 因此, 上式不能直接用于方案 X_1 本身。通常采用不采取改建措施的方案 X_0 , 作为基本或标准方案, 按下式确定方案 X_1 的净现值:

$$NPV_{X_1} = PWC_{X_0,t} - PWC_{X_1,n} \quad (1-3-5)$$

选择净现值最大的方案作为经济方案。

净现值法把方案的费用和收益联系在一起, 并用一单值表示, 计算简捷, 是公路部门最适用的方法。

二、等额年费用法

把分析期内支付的全部费用, 转换成每年等额支付的费用即为等额年费用法, 它可用下式表示:

$$AC_{X_1,n} = crf_{i,n} \left[IC_{X_1} + \sum_{t=0}^n pwf_{i,t} \cdot RC_{X_1,t} \right] + AMC_{X_1} + AUC_{X_1} - sff_{i,n} \cdot SV_{X_1,n} \quad (1-3-6)$$

式中: $AC_{X_1,n}$ ——方案 X_1 在分析期 n 年内的等额年费用;

AMC_{X_1}, AUC_{X_1} ——方案 X_1 的平均年养护费和用户费;

$crf_{i,n}$ ——折现率为 i 、分析期为 n 年的资金回收系数,

$$crf_{i,n} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1-3-7)$$

$sff_{i,n}$ ——折现率为 i 、分析期为 n 年的偿债基金系数,

$$sff_{i,n} = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (1-3-8)$$

各方案在等额年费用的基础上进行比较, 选取年费用最小的方案作为经济方案。这种方法计算工作较简单, 也是较常用的一种方法。

三、回收率法

使费用现值和收益现值相等 (净现值等于零), 即

$$PWC_{X_1,n} = PWB_{X_1,n} \quad (1-3-9)$$