



沥青路面检测与 养护技术研究

Liqing Lumen Jiance Yu
Yanghu Jishu Yanjiu

周迎新 编著

中国建材工业出版社

沥青路面检测与养护技术研究

周迎新 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

沥青路面检测与养护技术研究 / 周迎新编著. —北

京:中国建材工业出版社,2015.3

ISBN 978-7-5160-1157-7

I. ①沥… II. ①周… III. ①沥青路面—质量检验②

沥青路面—路面养生 IV. ①U418.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 029925 号

内 容 提 要

随着我国高速公路网络的逐步完善,路面检测与养护在公路工程中愈发重要。路面检测是合理制定养护策略的前提,本书在对路面使用性能参数及规律进行充分调查和科学分析基础上,基于可靠性理论和优化技术,提出高速公路检测时机优化方法,以使道路检测与路面性能变化规律相一致。同时,本书总结探讨了国内外主要预防性养护技术及施工工艺,并对罩面后沥青路面结构性能变化规律和养护措施进行了探讨。针对渠化交通导致路面横向荷载作用分布不均,造成轮迹带过早破坏问题,本书创造性提出了利用车道调整均衡路面横向荷载分布提高道路使用寿命新方法。

本书可作为公路和城市道路养护管理部门及相关科研单位技术人员的参考书,也可作为大专院校道路与渡河工程、交通工程等相关专业的教师、研究生及高年级本科生教学和学习的参考书。

沥青路面检测与养护技术研究

周迎新 编著

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市海淀区三里河路1号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:13

字 数:236千字

版 次:2015年3月第1版

印 次:2015年3月第1次

定 价:48.80元

本社网址:www.jccbs.com.cn 微信公众号:zgjcgychs

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

目 录

第1章 绪论	1
1-1 研究的意义及目的	1
1-1-1 关于路面检测周期问题	1
1-1-2 关于罩面后路面养护问题	3
1-1-3 关于车道调整提高道路使用寿命问题	5
1-2 主要研究内容	6
第2章 路面使用性能检测与评价	8
2-1 路面使用性能分析	8
2-2 路面性能评价指标体系	9
2-2-1 路面破损状况评价	9
2-2-2 路面行驶质量评价	10
2-2-3 路面抗滑性能评价	11
2-2-4 路面结构承载能力评价	11
2-2-5 路面车辙状况评价	12
2-2-6 路面综合性能评价	13
第3章 路面性能变化规律研究	14
3-1 路面性能变化影响因素分析	14
3-1-1 车辆荷载对沥青路面使用性能的影响	14
3-1-2 环境因素对沥青路面使用性能的影响	14
3-1-3 施工和养护水平对沥青路面使用性能的影响	15
3-1-4 沥青面层对沥青路面使用性能的影响	15
3-1-5 基层类型对沥青路面使用性能的影响	16
3-1-6 沥青路面结构强度对沥青路面使用性能的影响	16
3-1-7 沥青路面结构组合对沥青路面使用性能的影响	17

3-1-8	材料特性对沥青路面使用性能的影响	17
3-2	路面使用性能预测模型	18
3-2-1	使用性能典型衰变模式	19
3-2-2	路面性能预测模型研究现状	20
3-2-3	建议衰变方程形式	23
3-3	罩面后的路面性能变化预测	27
3-3-1	路面罩面后使用性能预测的必要性	27
3-3-2	罩面后路面使用性能预估模型	28
3-4	路面使用性能实用预测方法	30
3-4-1	常规预测模型主要问题	30
3-4-2	动态修正预测方法	31
3-4-3	模型精度验证	36
第4章	路面性能变化可靠性分析方法	38
4-1	可靠性理论提出的意义	38
4-2	路面性能可靠性分析研究现状	39
4-3	沥青路面结构可靠性分析的基本原理	41
4-3-1	沥青路面结构可靠度的定义	41
4-3-2	沥青路面的可靠度分析	42
4-4	路面性能均值和方差变化规律	44
4-4-1	路面性能均值和方差变化调查	44
4-4-2	模型参数的标定	47
4-4-3	模型验证	47
4-5	基于指标方差的可靠性模型	49
4-6	京秦高速路面结构强度指数 <i>PSSI</i> 可靠度实例分析	51
第5章	路面性能检测时机确定方法	53
5-1	路面性能可靠度限值的确定	53
5-2	最佳检测时机的动态确定方法	54
5-2-1	京秦高速公路概况	55
5-2-2	京秦高速公路路面性能指标的预测	56
5-2-3	检测数据的分布拟合检验	60
5-2-4	基于路面性能指标方差的路面可靠性确定	76
5-2-5	确定最佳检测周期	78

5-2-6 基于可靠性的周期优化模型与定周期检测的比较	81
第6章 预防性养护技术综述	83
6-1 预防性养护基本概念	83
6-2 裂缝填封类预防性养护方法	85
6-2-1 普通热沥青或改性热沥青灌缝	86
6-2-2 溶剂型常温改性沥青材料灌缝	87
6-2-3 灌缝胶处理裂缝	87
6-2-4 抗裂贴处理裂缝	88
6-2-5 压缝带处理裂缝	88
6-3 表面涂刷(喷洒)型预防性养护方法	89
6-3-1 雾封层	90
6-3-2 还原剂封层	91
6-4 封层类预防性养护方法	94
6-4-1 石屑封层	95
6-4-2 同步碎石封层	95
6-4-3 乳化沥青稀浆封层	96
6-4-4 微表处封层	98
6-5 罩面类预防性养护方法	99
6-5-1 冷薄层罩面	99
6-5-2 热薄层罩面	100
6-5-3 温拌沥青混合料罩面	104
6-6 各类预防性养护技术小结	104
第7章 罩面后沥青路面养护对策研究	106
7-1 罩面后路面结构性能因素分析	106
7-1-1 罩面方式对高速公路结构性能影响研究	106
7-1-2 旧路开裂对罩面层结构荷载内力的影响分析	118
7-1-3 旧路面病害对罩面后高速公路结构性能的影响研究	120
7-1-4 高速公路罩面后结构性能变化规律研究	132
7-2 以可靠度为中心的高速公路罩面后沥青路面的养护方法	137
7-2-1 沥青路面的养护类型	138
7-2-2 沥青路面病害类型及其危害程度分析	138
7-2-3 高速公路罩面后沥青路面养护性模型分析	142

7-2-4 以可靠度为中心的高速公路罩面后沥青路面养护决策方法	143
7-3 罩面后沥青路面养护费用分析	145
7-4 高速公路沥青路面最佳罩面时机的确定	146
7-5 高速公路罩面后沥青路面养护标准的确定	151
7-5-1 裂缝的养护标准	151
7-5-2 坑槽的养护标准	152
7-5-3 车辙的养护标准	152
7-5-4 其他路用性能养护标准	154
7-6 高速公路罩面后沥青路面养护措施	155
7-6-1 一般性养护维修	155
7-6-2 封层和罩面工程	157
7-6-3 大修工程	160
第8章 车道调整提高路面寿命	162
8-1 轮迹分布规律研究	162
8-1-1 车道分布规律研究	162
8-1-2 行车道车辆轮迹分布规律	165
8-1-3 超车道轮迹分布规律	174
8-1-4 其他高速公路轮迹分布规律调查结果	180
8-1-5 基于标准轴载的轮迹分布计算方法	181
8-1-6 小结	184
8-2 车道平移方案研究	185
8-2-1 车道平移形式研究	185
8-2-2 车道平移量确立方法	187
8-2-3 车道平移的时机	192
8-2-4 车道平移方案制定流程图	194
第9章 结论	196
参考文献	198

第 1 章 绪 论

1-1 研究的意义及目的

自 1988 年我国第一条高速公路沪嘉高速公路建成,到 2014 年年底,中华人民共和国高速公路的通车里程已超过 11 万 km,在短短 20 多年的时间已超过美国,排名世界第一。伴随着高速公路的通车里程的急剧增加,高速公路养护与管理越来越重要,可以预计今后一个时期,我国高速公路将由以建设为主转为建设与养护并举,并逐步过渡为以养护为主的阶段,路面检测与养护在公路工程中愈发重要。

1-1-1 关于路面检测周期问题

道路检测是进行道路养护决策的依据,对于维持良好道路使用性能、提高道路服务水平、延长道路寿命、保障车辆通行安全具有重要作用。

道路检测内容一般包括:路面破损状况、路面结构强度、路面平整度、路面抗滑能力、抗渗能力等,根据相关规范规定,高速公路和一、二级公路,破损状况和平整度每年须进行一次调查,强度和抗滑能力可每两年进行一次调查,因此高速公路路面一般采用定周期检测。

表 1.1 相关研究关于检测周期的建议值

项目	潘玉利推荐频率	乔立群推荐频率
路面破损状况 (PCI)	3 个月 1 次	半年 1 次,病害路段 3 个月 1 次
路面平整度 (RQI)	1 年 1 次	半年 1 次
路面结构强度 (PSSI)	2 年 1 次	每年 1 次
路面抗滑性能 (SRI)	2 年 1 次	每年 1 次
路基、沿线设施和绿化	3 个月 1 次	—

表 1.2 路面性能调查频率

项目	高速公路、一级公路	三、四级公路
路面破损状况 (PCI)	1 年 1 次	每年重点调查
路面平整度 (RQI)	1 年 1 次	每年重点调查
路面结构强度 (PSSI)	1~3 年 1 次	必要时调查
路面抗滑性能 (SRI)	1~3 年 1 次	必要时调查

路面在使用过程中,由于受到荷载和环境因素的影响,路面状况会随着时间的推移不断恶化,其使用性能也随着使用时间和轴载作用次数的增加而明显下降,并且下降速率增加,这也意味着各种道路病害发生的频率和概率明显增加。如图 1.1 所示,图中路面性能变化曲线是大量调查所证实,并被行业技术人员所认可的路面性能变化大致规律。 $T_1 \sim T_5$ 是定周期(等时间间隔)检测的检测时间点,显然在道路建成通车初期,路面性能良好,此时路面状态明显优于性能底限,对 T_1 、 T_2 、 T_3 进行检测并未起到太大作用,对养护方案和措施的制定意义不大;而随着时间推移,路面性能下降趋势加快,反应在图中相同检测间隔内路面性能变化幅度 ΔP_2 明显大于 ΔP_1 ,此时 T_4 检测结果路面仍处于较好状态,而 T_5 时路面已经超过路面性能底限,若根据检测结果来制定养护方案显然已错过路面最佳养护时机,并造成路面恶化加剧,影响道路寿命。

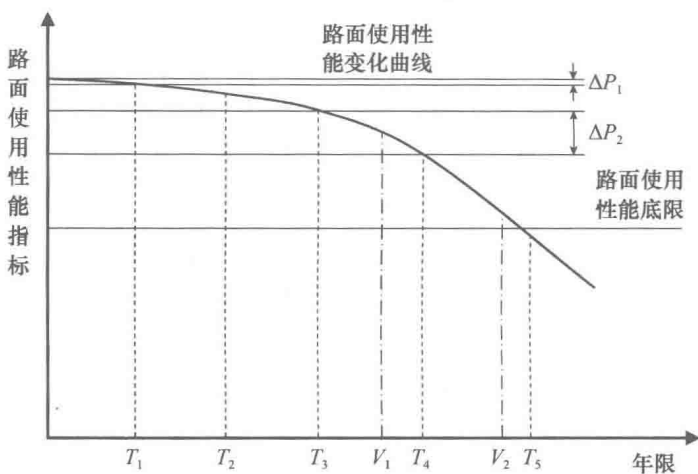


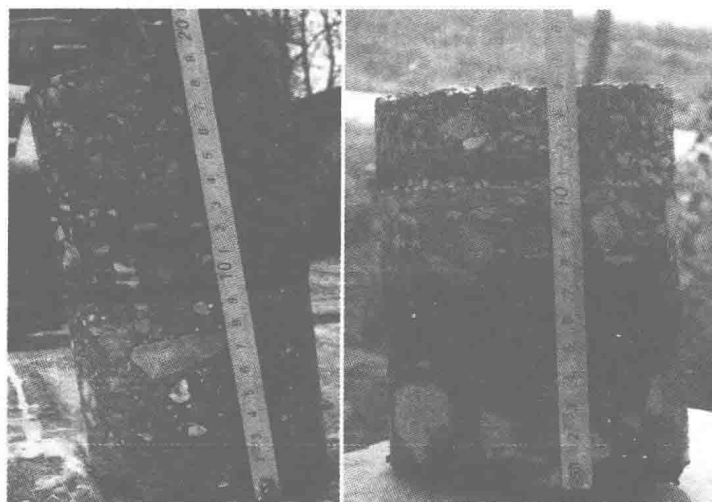
图 1.1 定周期检测示意图

由此可见,由于常规周期检测方案与路面性能变化并不一致,使得通车初期路面状况良好状态下,检测过于频繁造成人力和经费的浪费,而道路寿命中后期路面状况恶化迅速状态下,检测频率又过于稀疏造成不能及时养护而形成安全隐患,影响道路寿命。因此,寻找合适的检测时机就成为路面养护一个必须解决的问题。

本书将在对路面使用性能参数及规律进行充分调查和科学分析基础上,基于可靠性理论和优化技术,提出高速公路各检测指标的最佳检测时机,以使道路检测与路面性能变化规律相一致,从而在节省检测费用同时,更有效地对路面使用状况进行检测,从而为高速公路养护提供可靠的依据。

1-1-2 关于罩面后路面养护问题

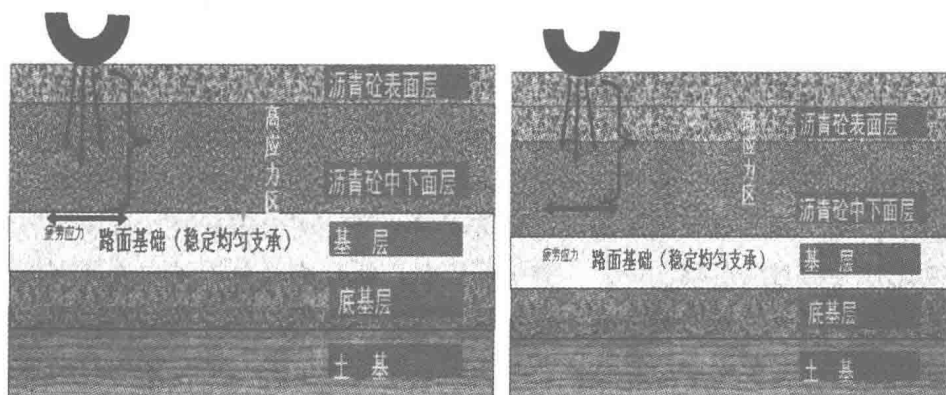
旧沥青路面罩面后，旧路与罩面层将形成新的路面结构。图 1.2、图 1.3 分别为经过一次和两次罩面后的沥青路面芯样。从图中可以看出，罩面前后路面结构受力结构体系发生了变化，尤其是经多次罩面后的路面结构，与设计时差异更大。这种路面新结构在行车荷载、环境等因素综合作用下，路面使用性能将呈现新的变化规律，这与常规（新建）路面使用性能变化规律明显不同，尤其在多次罩面后，随着路面结构厚度及层数的增加，路面性能变化规律与新建路面会截然不同。



(a) 一次罩面

(b) 两次罩面

图 1.2 罩面后路面结构芯样



(a) 罩面前

(b) 罩面后

图 1.3 罩面前后路面结构各层功能变化

此外,由于国内外对原有沥青路面罩面改造仍处于研究、试验阶段,至今仍没有一个效果令人非常满意,施工工艺可行且具有明显社会效益的防治措施和成熟的理论、设计方法。由于这一问题的复杂性和各地交通、气候及筑路条件的差异,在所取得的研究成果之间缺乏共同的认识,给罩面层设计和施工部门的具体操作带来了极大的困难。而且,由于沥青路面上罩面沥青混凝土层存在反射裂缝的问题,如处理不好,原路面上的裂缝会在很短的时间内反射到罩面层上,裂缝虽然对面层使用功能影响不大,但水分会从裂缝中渗漏下去,加速对基层的破坏,使沥青面层出现唧泥,甚至出现湿软地基等现象,大大缩短罩面层的使用寿命。由此可见,罩面层设计方法的不成熟及旧路病害的存在,罩面后尤其是多次罩面后路面使用性能演化规律也将与新建路面结构不同,而其路面使用性能规律的变化,直接影响着罩面后的养护措施实施及养护效果。如图 1.4 所示,能否掌握罩面后路面性能的演化规律是养护成功与否的关键。

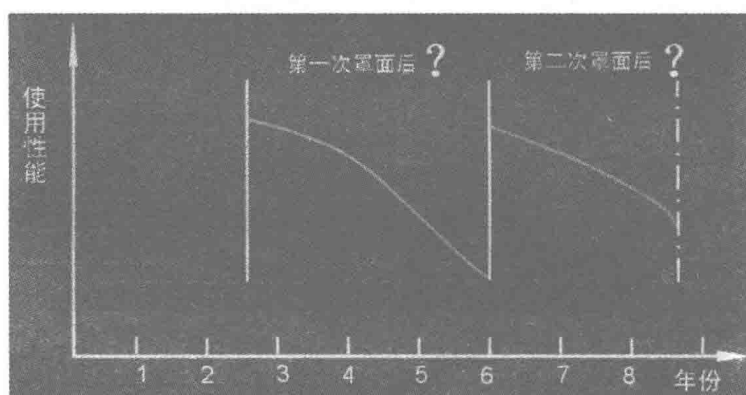


图 1.4 罩面后路面使用性能变化示意图

如何在现有沥青路面罩面及养护技术的基础上,进一步提高公路路面使用性能,实现公路路面性能质量再上新台阶,不仅关系到数额巨大的建设和养护资金的使用效益,还将对高速公路路网整体服务质量产生重要影响。高质量的公路交通基础设施还是促进地区经济发展,实现跨越式发展和全面建设小康社会的物质基础。因此,本书研究在广泛收集并分析国内外原有沥青路面罩面层有关资料的基础上,根据河北省的依托工程以罩面后的京秦高速公路为应用研究对象,结合我国尤其是河北省具体情况,针对在原有路面上罩面沥青层后的路面状况,运用新技术、新材料,对用沥青罩面层改造旧沥青路面后路面使用性能演化规律作进一步的研究,探索旧路面罩面沥青层后病害发展规律的工作机理,有针对性地提出切实可行的罩面后路面的养护

措施。

目前,我国正在大力推进高速公路建设,保证罩面后良好的路面使用性能可以快速、经济地改善当地的交通状况,提高路网的运营能力,为科学地进行沥青罩面层设计与施工提供依据,减少设计和施工中的盲目性和任意性,延长路面的有效使用寿命,确保路面的使用质量,促进公路建设的经济效益和社会效益的发挥。但到目前为止,罩面后路面使用性能变化规律的研究在国外也刚刚起步,一切都处于初步分析和研究中,在国内基本属于空白。因此,开展在原有沥青路面上罩面沥青层路面使用性能变化规律的研究有着非常重要的现实意义。本书研究的重点在于解决工程中的实际问题 and 难点问题,研究罩面后沥青路面使用性能的变化规律,并提出针对性的养护措施,同时为罩面层设计提供决策依据,实现罩面层设计与养护一体化进程,推进原有路面罩面沥青层这个领域研究的深度,将研究成果应用到实际工程。

1-1-3 关于车道调整提高道路使用寿命问题

车道划分是规范车辆行驶、诱导行车视线的必须措施,对于提高道路通行能力、减少车辆冲突、提高道路安全性具有重要作用,但车道划分却导致轴载在主轮迹带上过分集中,路面轴载的空间分布严重不均,造成路面资源浪费。

图 1.5 是相关研究得到标准轴载轮迹在一个车道内的空间分布频率图,从图中可以看出 2、3 号和 6、7 号条带上的轴载作用频数是其他条带的 10 倍,相当于 50% 的路面上承担着 90% 的交通量,而其他 50% 的路面上只承担着 10% 的交通量。

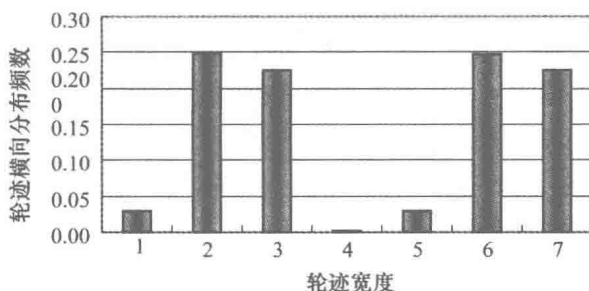


图 1.5 轮迹横向分布图

由于轮迹空间分布严重不均,加剧了路面主轮迹带的破坏,而且大量调查证实路面的病害主要出现在一定的轮迹带上,主要破坏形式“车辙”就是车道划分造成轴载空间分布不均的最形象体现,如图 1.6 ~ 图 1.9 所示。



图 1.6 主轮迹带上裂缝破坏



图 1.7 主轮迹带上唧浆破坏

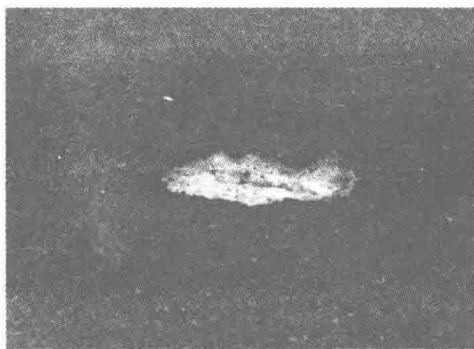


图 1.8 主轮迹带上坑槽及抛光破坏

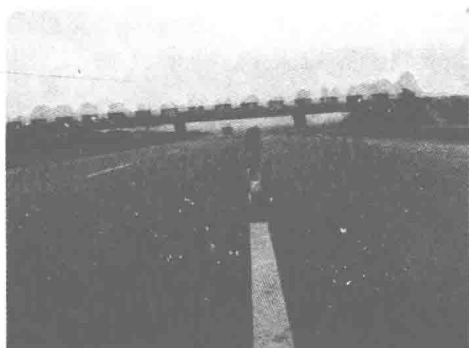


图 1.9 主轮迹带上车辙破坏

综上所述,轴载作用次数是导致路面损坏的主要原因,而车道划分却造成了轴载空间分布的极度不均,因此均衡轴载空间分布将是提高道路使用寿命的有效措施。如上图所示,若车道平移两个轮迹条带,则轮迹将主要作用在基本闲置的4、5号条带上,而2、3号条带轴载作用次数会大幅下降。因此,本书提出的车道定期平移方法,可有效均布荷载在寿命期内的空间分布,必将大大提高道路使用性能和寿命,节省道路维护成本。

1-2 主要研究内容

本书主要内容包括路面检测技术、路面预防性养护技术及罩面后路面养护技术、车道调整提高道路使用寿命技术三个方面。

首先在对路面使用性能参数及规律进行充分调查和科学分析基础上,进行路面使用性能及方差的预估,通过对多条高速公路的路面检测数据的回归分析,找出最优均值-方差模型,并在此基础上基于可靠性理论和优化技术,提

出高速公路各检测指标的最佳检测时机,以使道路检测与路面性能变化规律相一致。

综述了路面预防性养护技术,研究了罩面后路面结构性能变化规律,在此基础上提出了罩面后路面养护技术。

针对车道渠化交通导致路面横向轴载分布不均,进而造成主轮迹带过早破坏问题,在研究轮迹分布规律基础上,探讨了通过车道调整改变主轮迹带位置,提高道路使用寿命技术和方法。

第2章 路面使用性能检测与评价

2-1 路面使用性能分析

路面性能 (*Pavement Performance*) 的概念早在 1962 年即由 AASHO 提出, 此后随着道路修筑技术的日益成熟和人们对道路使用经验和认识的不断增加, 路面使用性能的内涵也在逐渐发展之中。人们对路面使用性能的要求与道路交通水平有相当密切的关系, 在早期的交通条件之下, 人们对于路的要求局限于较少出现或者不出现引起交通中断的较大型损坏, 故而路面设计也仅仅从结构性的要求出发进行考虑。随着现代高速如此快速发展的状态, 人们对道路路面的功能以及服务质量进一步提出了更高、更全面的要求, 使得道路路面性能的内容得到了进一步的丰富和发展。

在现代的交通条件下, 较高等级的公路路面的总体功能, 应当体现为能够满足车辆在一定的设计使用时限内, 安全、高速、经济、舒适行驶。按照功能论思想, 如果从结构的系统和功能的系统概念角度出发, 可以将道路路面性能进一步划分成结构性能以及功能性能。首先结构性能是道路路面作为一种特定工程类结构, 在与周围的环境进行了物质以及能量的交换后保障自身结构具有完备性的能力, 在目前人们普遍关心的结构性能就是路面的强度、耐久性和稳定性; 功能性能是道路路面为完成自身的功能目标而需具有的必要的属性以及其外部的表现, 在通常看来是表示道路路面的安全性、舒适性等保证汽车车辆顺畅行驶质量的固有特性。

考察道路路面结构的性能, 如果从实现功能的效益最优思想出发进行考虑, 一般是要求从它所在结构类属性里分析寻找出对路面功能有着影响的那部分, 并且用恰当的形式来进行表达。而对于道路路面结构的性能, 一般是从路面的破损状况和承载能力两个方面来进行评价的。如果研究功能的性能, 一般是应该通过对功能分析, 寻找出功能的上下位关系, 从而建立起功能逻辑型结构。对于路面的功能类性能一般是通过它的直接的下位功能来进行评价, 通常是包括路面的平整度、噪声水平、抗滑能力、反光的特性等等, 目前对前两者有较多的研究。

沥青路面状况评价范围包括平整度、破损、强度及抗滑系数, 目前养护规

范推荐评价指标为路面状况指数 (PCI)、路面强度系数 (SSI)、行驶质量指数 (RQI)、横向力系数 (SFC)，并分为优、良、中、次、差 5 个等级，也有文献建议高速公路路面使用性能评价采用强度、平整度、破损率、车辙和抗滑性能等五项指标。

在路面性能评价研究方面，以美国、加拿大、日本等为首的发达国家在这个领域的研究比较早，其中最有代表性的评价模型包括 AASHO 的 PSI ，日本的 MCI 和美军工程研究实验室的 PCI 。路况综合评价有系统分析法和回归模型法，系统分析法以层次分析法和模糊数学为代表，由于在系统分析法中人对各因素的认识不同，分析出的结果也就不尽相同。另外，回归模型法是分析路面综合指标与各影响因素的相互关系，并建立两者之间的函数关系模型，该方法通过大量的统计数据分析得到，有其科学依据，但其使用受地域条件的限制，不同的地域条件如气候、温度、土质、材料性能参数的变异，使评价体系受到了较大的约束。20 世纪 80 年代末期，交通部公路科学研究所根据我国沥青路面状况，在参照国外模型的基础上，确定了沥青路面使用性能评价方法，在河北、浙江两省地区选择了代表性的试验路段，组织专家进行了以行驶舒适性和路面使用状况为重点的专家评价和路面数据检测。针对河北省的路面状况，经过数据分析和整理，建立了路面状况评价模型。

2-2 路面性能评价指标体系

参照我国《公路技术状况评定标准》(JTG H20—2007) 中的规定，沥青路面使用性能评价包括路面损坏状况 (PCI)、结构强度 ($PSSI$)、行驶质量 (RQI)、车辙 (RDI) 和抗滑性 (SRI) 能等五项指标。

2-2-1 路面破损状况评价

1. 评价指标 PCI

沥青混凝土路面状况指数 PCI 值可由沥青路面破损率 DR 计算得出。

$$PCI = 10 - a(DR)^b \quad (2.1)$$

$$DR = D/A = \sum \sum D_{ij} \times K_{ij}/A \quad (2.2)$$

式中 DR ——除破损面积率，%；破损面积的计算同《高速公路养护质量检评方法》规定；

a ——标定系数，采用 32.65；

b ——标定系数，采用 0.41；

D ——路段内的折合破损面积, (m^2);

A ——路段内的路面总面积 (m^2);

D_{ij} ——第 i 类损坏、 j 类严重程度的实际破损面积 (m^2);

K_{ij} ——第 i 类损坏、 j 类严重程度的换算系数。

2. 评价标准

PCI 指数范围为 $0 \sim 100$, 其值越大越好。根据路面破损状况, 可将路面质量分为优、良、中、次、差五个等级。评价标准见表 2.1。

表 2.1 沥青路面 PCI 评价标准

评价标准	优	良	中	次	差
路面状况指数 PCI	≥ 85	$70 \sim 85$	$55 \sim 70$	$40 \sim 55$	< 40

2-2-2 路面行驶质量评价

1. 评价指标

道路服务水平是反映路面行驶质量最直观的指标, 它同路面平整度、车辆的动态响应以及乘客对舒适性的要求和颠簸的接受能力有关。研究表明: 平整度对路面行驶质量的影响最大, 因此, 可近似将路面行驶质量看作是路面平整度的单变量函数, 平整度一般以国际行驶质量指数 IRI 为指标。

采用连续式平整度仪或三米直尺连续测得路面不平整的统计标准差来作为行驶质量指数。平整度标准差以 S 表征, 行驶质量指数以 RQI 表征。

$$RQI = 100 / (1 + a \cdot e^{b \cdot IRI}) \tag{2.3}$$

式中 RQI ——国际平整度指数, m/km ;

a ——标定系数, 采用 0.0185;

b ——标定系数, 采用 0.437。

2. 评价标准

行驶质量标准的制定, 一方面要依据乘客对路面使用要求的综合反映, 另一方面, 在很大程度上受经济因素的制约。标准制定的过高, 会使路网内许多路段的路肩需要采取改建措施, 从而提高所需的投资额, 沥青路面行驶质量标准见表 2.2。

表 2.2 沥青路面行驶质量 RQI 评价标准

评价指标	优	良	中	次	差
行驶质量指数 RQI	≥ 90	$80 \sim 90$	$70 \sim 80$	$60 \sim 70$	< 60