

北京市交通标准化技术文件

BJJT/ 0057—2020

公路沥青路面修复养护设计指南

Technology Guide for Corrective Maintenance Design of Highway

2020 - 10 - 15 发布

2021 - 1 - 1 实施

北京市交通委员会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语定义和符号	2
4 基本规定	4
4.1 设计原则	4
4.2 设计流程	4
5 调查与评价	6
5.1 一般规定	6
5.2 基础数据	6
5.3 路面技术状况数据	7
5.4 专项检测数据	8
5.5 数据分析评价	9
6 病害诊断与养护需求分析	12
6.1 一般规定	12
6.2 养护设计单元划分	12
6.3 病害原因诊断	12
6.4 养护需求分析	12
7 技术设计	13
7.1 一般规定	13
7.2 设计年限与交通量	13
7.3 结构组合设计	14
7.4 路面结构力学验算	16
7.5 方案综合比选	16
8 施工图设计	17
8.1 一般规定	17
8.2 材料组成设计	17
8.3 路面排水设计	17
8.4 交通组织设计	17
8.5 设计文件编制	18
附录 A（规范性附录） 路面数据检测方法	19
附录 B（规范性附录） 旧路检评标准与修复养护设计方法	33
附录 C（规范性附录） 沥青路面修复养护设计文件编制要求	39
附录 D（资料性附录） 算例	45

前 言

沥青路面是我国公路采用最广泛的路面型式，北京市的沥青路面在全国极具代表性和典型性。为满足公路养护管理的需要，北京市交通委员会于 2013 年颁布了《北京市沥青路面大中修养护设计指南》（试行）。该指南对于引导北京地区公路沥青路面修复养护设计的科学化和规范化发展起到了重要作用。

近年来，随着公路养护规模的不断扩大，沥青路面路龄的不断增加，路面修复养护工程数量和规模也逐渐增大。交通运输部于 2018 年先后出台了《公路养护工程管理办法》、《公路沥青路面养护设计规范》、《公路技术状况评定标准》，规范了调查与评价、病害诊断与养护对策选择、技术设计、施工图设计。按照交通运输部关于做好《公路沥青路面养护设计规范》贯彻实施工作的通知要求，各地结合自身管养特点及实际需求，细化编制地方标准或技术指南。基于此，北京市交通委员会修订并编制《公路沥青路面修复养护设计指南》。

请各单位在使用过程中，将发现的问题和意见，函告北京市道路工程质量监督站（地址：北京市丰台区潘家庙 222 号，邮编：100076，电话：010-87502225-8730），以便下次修订时参考。

本文件按照《标准化工作导则 第 1 部分 标准的结构和编写》（GB/T 1.1）的规定起草。

本文件由北京市交通委员会公路管理处提出并归口。

本文件由北京市交通委员会公路管理处组织实施。

本文件主要起草单位：北京市道路工程质量监督站、公路养护技术国家工程研究中心（中公高科养护科技股份有限公司）、北京国道通公路设计研究院股份有限公司、北京市交通委员会顺义公路分局、北京市道路路网管理与应急处置中心

本文件主要起草人：薛忠军、刘宝林、周绪利、宋波、李强、于海臣、杨宁、佟慧超、朱美蓝、李鹏飞、孙建林、李东、吴学敏

1 范围

本文件规定了公路沥青路面修复养护设计的内容和基本要求。

本文件适用于北京地区各等级公路沥青路面修复养护设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件。不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG E20	公路工程沥青及沥青混合料试验规程
JTG D30	公路路基设计规范
JTG F40	公路沥青路面施工技术规范
JTG E42	公路工程集料试验规程
JTG D50	公路沥青路面设计规范
JTG E51	公路工程无机结合料稳定材料试验规程
JTG 3450	公路路基路面现场测试规程
JTG 5210	公路技术状况评定标准
JTG/T 5521	公路沥青路面再生技术规范
JTG D5421	公路沥青路面养护设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

路面损坏 pavement distress

路面损坏包括结构性损坏和功能性损坏。结构性损坏主要指路面结构承载能力不足引起的破坏；功能性损坏主要指由于表面功能性能衰减引起的破坏，整体结构强度仍保持良好。

3.1.2

评价单元 evaluation unit

评价单元是进行路面技术状况评定的最小路段长度，一般取 1000m，但可根据实际情况进行调整。

3.1.3

设计单元 design unit

设计单元是将评价单元按照一定的规则进行合并，形成若干个路段连续且满足最小施工长度要求的评价单元集合，将其作为路面病害原因诊断的基本单元。

3.1.4

设计对象 design object

设计对象是将路况相近，病害原因相同的设计单元统称为一类设计对象，作为养护需求分析及养护方案设计的基础单元。

3.1.5

养护目标 maintenance objective

养护目标指根据实际路况特点及病害原因诊断结果，结合道路中长期养护规划及养护资金情况确定对各设计对象进行养护工程所要达到的预期效果，包括路面结构使用年限及使用年限内的路况水平两方面。

3.1.6

养护设计分类 maintenance classes

根据设计单元的养护目的及养护对象确定养护类型，分为预防养护和修复养护两类。

3.1.7

路面修复养护 corrective maintenance

在沥青路面出现明显病害或部分丧失服务功能的情况下，为恢复路面技术状况而进行的修复性养护工程，分为功能性修复和结构性修复两类。

3.1.8

结构性修复 structural maintenance

针对沥青路面结构整体或部分发生严重破损或使用功能严重丧失的路段，实施的以修复沥青路面病害，恢复路面功能且不低于原路面结构承载能力为目的的养护工程。

3.1.9

功能性修复 functional maintenance

针对路面结构的一般性损坏和功能衰减进行定期维修,以恢复至不低于路面原有技术标准的养护工程。

3.1.10

道路寿命周期费用分析 life cycle cost analysis

道路寿命周期费用分析是指在新建路面或维修工程方案分析评价时,不仅考虑路面的初始费用,还计算寿命周期内的路面养护维修费用、用户费用和分析期末的路面残值,综合评价方案的长期经济效益的理念和方法。

3.1.11

面层损坏指数 SDI surface damage index

落锤式动态弯沉仪实测弯沉盆曲线上,以荷载中心最大弯沉值 D_0 与距离荷载中心 20cm 位置处的弯沉值 D_{20} 之差, D_0-D_{20} 作为表征路面面层损伤的指数,简称 SDI。

3.1.12

基层损坏指数 BDI base damage index

落锤式动态弯沉仪实测弯沉盆曲线上,以距离荷载中心 20cm 位置处的弯沉值 D_{20} 与距离荷载中心 60cm 位置处的弯沉值 D_{60} 之差, $D_{20}-D_{60}$ 作为表征路面基层损伤的指数,简称 BDI。

3.1.13

结构损坏指数 PDI pavement damage index

落锤式动态弯沉仪实测弯沉盆曲线上,以荷载中心最大弯沉 D_0 与距离荷载中心 60cm 位置处的弯沉值 D_{60} 之差, D_0-D_{60} 作为表征路面结构损伤的指数,简称 PDI。

3.1.14

结构模量 EP Structural modulus

按路基路面双层结构,由实测弯沉盆数据反算,得到的路面结构有效模量。

4 基本规定

4.1 设计原则

沥青路面修复养护设计应遵循下列原则：

- 1) 应按照“分段设计、分类处理、分期实施、合理决策”的养护设计基本要求，保证养护设计方案的针对性和科学性；
- 2) 应从“结构、材料、荷载、环境、经济”等方面综合考虑，实现养护方案结构力学强度与路面使用性能的匹配，技术指标与经济指标的兼顾；
- 3) 应结合路面养护方案的长期性能预测和养护规划结果，采用全寿命周期经济分析方法评价路面养护方案的长期经济效益；
- 4) 应积极采用成熟的路面材料循环利用及节能环保的养护新技术。

4.2 设计流程

沥青路面修复养护设计应包括旧路调查与评价、病害诊断与养护需求分析、技术设计和施工图设计等内容。

- 1) 旧路调查与评价阶段的主要工作内容包括基础资料收集、路面技术状况检测、专项数据检测和数据分析评价四部分，通过调查、检测收集养护设计所需的各类路面数据，并对各数据进行分析评价。
- 2) 病害诊断分析阶段主要包括确定主要损坏类型、病害原因诊断、养护性质确定和养护对策选择等工作内容，利用各类检测数据分析评价结果，确定各路段的病害产生原因和发展层位，并结合其路况特点，进行针对性的养护决策分析工作。
- 3) 技术设计阶段主要包括确定设计年限、计算累计当量轴次、方案结构组合设计、结构力学验算和方案综合比选等工作内容，通过对养护方案的结构强度、功能性能和经济效益的综合考虑，优选技术合理、经济效益最佳的养护方案。
- 4) 施工图设计阶段主要针对推荐方案，进行详细的路面材料设计、施工工艺要求、路面排水设计和交通组织设计等工作，并编制设计文件以满足养护工程的施工要求。

公路沥青路面修复养护设计的主要工作流程如图 1 所示。



图1 修复养护设计流程图

5 调查与评价

5.1 一般规定

5.1.1 调查数据应包括基础数据、路面技术状况数据和专项检测数据三类。

- 1) 基础数据主要包括路线属性信息、管理信息、交通状况、沿线自然条件和经济参数等；
- 2) 路面技术状况数据主要包括路面损坏、路面平整度、路面车辙、路面抗滑性能与路面结构强度等；
- 3) 专项检测数据主要包括路面详细病害、路面结构实际厚度、内部结构状况、旧路材料性能、旧路结构参数及排水状况等。

5.1.2 基础数据不全，应进行补充调查；路面技术状况数据可在路况检评结果的基础上，按需要进行进一步检测；专项检测应在前两类数据分析评价的基础上开展。

1) 一般道路管理单位都可提供现有路面结构形式、养护历史、交通量状况等基础资料。另外，可通过补充调查对基础数据进行完善，如通过钻芯取样确定现有路面结构形式、交通量补充调查确定现有交通状况等。

2) 根据《公路技术状况评定标准》(JTG 5210)的相关规定，沥青路面技术状况评价采用路面损坏、路面平整度、路面车辙、路面跳车、路面磨耗、路面抗滑性能和路面结构强度七项指标。在养护设计中，对于当年检测的网级路况数据可用于路面修复养护设计的路况分析和评价，但数据检测时间间隔大于6个月，则该类数据将不能作为路况评价的依据，应重新检测。另外，在上述《标准》中，规定弯沉数据为抽样检测，检测范围控制在公路网列养里程的20%。而在养护设计中，路面弯沉指标要求进行全线检测，用于评价路段全线的结构强度状况。故该指标应在原有数据的基础上进行补充检测。

3) 通过对基础数据及路面技术状况数据的分析，掌握项目路段的实际路况特点，并据此制定专项检测方案，有针对性的选择专项检测数据开展检测，为病害诊断及养护需求分析提供依据。

5.1.3 专项检测是在对基础数据及全线路面技术状况指标进行分析的基础上，根据修复养护设计的实际需求，针对各种典型路况及主导病害开展的检测工作。

5.2 基础数据

5.2.1 基础数据应包括项目路段技术标准、养护信息、交通状况、自然条件和经济参数等资料，如表1所示。

表1 基础数据收集项目

序号	收集项目	详细内容
1	技术标准	公路等级、设计标准、路面结构、几何线型等
2	养护信息	养护历史、历年路况数据、历史处治措施及效果等
3	交通状况	历年交通量、交通组成数据、轴载谱等
4	自然条件	气候条件、地形地貌、水文地质等
5	经济参数	工程材料单价、人工费用、地方经济指标等

5.2.2 技术标准信息可通过查阅设计文件或现场补充调查得到；养护信息和经济参数应向道路管理部门收集。

5.2.3 公路运营过程中，应进行交通量和路面使用性能的连续观测，若实际交通量发生突增时，应重新进行交通量调查与预测，并进行加铺补强设计。

5.2.4 交通状况数据应包括交通组成数据及轴载谱数据。

交通组成数据应至少包含近 3 年的数据,条件不具备时可采用以设计路段的抽样调查并辅以相邻路段交通数据共同确定;轴载谱数据调查及分析方法应符合现行《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)的相关规定。

5.2.5 准确掌握北京地区的自然气候条件及养护路段的地质水文状况。

北京市属暖温带半湿润干旱大陆性季风气候,四季分明。年平均气温 11~13℃,1 月平均气温-7~-4℃,7 月平均气温 25~26℃,年无霜冻期 180~200 天。年降水量,山前一带 650~750 毫米;山后和平原南部地区为 400~500 毫米。夏季降水量占年降水量的 74%。自然区划为 II4,地面冻结深度在 0.5~1.2 米。

5.3 路面技术状况数据

5.3.1 检测时间不足 6 个月的路面技术状况数据可用于修复养护的技术设计,超过 6 个月的应按照《公路技术状况评定标准》(JTG 5210)的相关规定重新检测。

5.3.2 路面技术状况数据的检测要求应根据公路等级的不同进行区分,并符合表 2 的要求。

表2 路面技术状况数据检测要求

序号	检测指标	高速、一级		二级及以下	
		需求	范围	需求	范围
1	路面损坏	必需	全线/分车道	必需	全线/单向
2	路面平整度	必需	全线/分方向	必需	全线/单向
3	路面车辙	必需	全线/分车道	可选	全线/单向
4	路面抗滑性能/路面磨耗	必需	全线/分方向	可选	全线/单向

5.3.3 路面损坏状况可采用快速自动化检测设备或人工调查的方式进行检测,路面损坏数据应以 100m(人工检测)或 10m(快速检测)为单位长期保存。人工调查路面详细损坏检测应包括各种路面损坏类型的出现位置、破坏形态、严重程度、影响面积等,可通过路面快速自动化检测设备或人工统计的方式进行调查。详细损坏检测方法可参考附录 A.1。

5.3.4 路面平整度应采用快速自动化检测设备进行检测;当条件不具备时,可以采用三米直尺进行人工检测。路面平整度数据应以 100m(人工检测)或 10m(快速检测)为单位长期保存。

5.3.5 路面车辙应采用快速自动化检测设备进行检测;当条件不具备时,路面车辙可以采用路面横断面直尺进行人工检测。路面车辙深度数据应以 100m(人工检测)或 10m(快速检测)为单位长期保存。

5.3.6 路面抗滑性能和路面磨耗为二选一指标,在检测和调查中可在二项检测指标中任选一项。路面抗滑性能应采用基于横向力系数的路面抗滑性能自动化快速检测设备进行检测;当条件不具备时,路面抗滑性能可以采用摆式仪、DF 摩擦力系数测试仪等设备进行检测。横向力系数检测数据应以 10m 为单位长期保存。路面磨耗宜采用快速自动化检测设备进行检测;当条件不具备时,可以采用铺砂法检测,检测位置应包括车道的左轮迹带、右轮迹带和无磨损的车道中线或同质路肩。

5.4 专项检测数据

5.4.1 专项检测数据的检测要求应根据公路等级的不同有所区分,并符合表 3 的要求。

表3 专项检测数据检测要求

序号	专项检测指标	高速、一级	二级及以下
1	路面结构强度	全线/分方向	全线/分方向
2	路面结构实际厚度	抽样/分方向（选做）	抽样/单向
3	结构层完整性	抽样/分方向	抽样/分方向
4	旧路材料性能	抽样/分方向	抽样/单向（选做）
5	旧路结构参数	抽样/单向	抽样/单向
6	排水状况	抽样/分方向	抽样/分方向

1) 路面结构强度属于必需的数据类型，对于各等级公路，应分方向进行连续检测。

2) 路面实际厚度属于可选的数据类型。高速和一级公路的质量控制水平较高，养护管理资料齐全，路面厚度可以基础数据调查为准；对于二级及以下公路，可将全幅路面作为整体，挑选破坏严重的一条车道进行实际厚度检测；该项数据应采用自动化快速检测设备连续检测，结合钻芯取样抽样验证的方式进行采集；

3) 结构层完整性属于必需的数据类型。对于各等级公路，应分方向，挑选典型破坏位置进行检测，检测要求应符合《公路沥青路面养护设计规范》（JTG/T 5421）；

4) 旧路材料性能属于可选的数据类型，条件允许情况下应开展该项检测。对于高速、一级公路，要求分方向，挑选典型路况位置或典型损坏位置进行材料试验；对于二级及以下公路，可将全幅路面作为整体，挑选典型路况位置或典型损坏位置进行材料试验；另外，对于软土地基路段或明显存在路基病害的路段，应开展路基填土材料性能检测工作。

5) 旧路结构参数属于必需的数据类型。对于各等级公路，可将全幅路面作为整体，挑选典型路况位置进行相关检测。

6) 排水状况属于必需的数据类型。路基路面排水状况调查包括路基路面范围内排水与积水情况，有无积雪、积沙，地下水位等。对于各等级公路，应将全幅路面作为整体，对沿线排水设施进行抽样调查。

5.4.2 路面结构强度宜采用落锤式动态弯沉仪进行检测，每一双车道路面（不超过 1km）测量检查点数不少于 40 点，多车道公路应按车道数与双车道之比，相应增加测点。弯沉盆参数的检测方法参考附录 A.2。

5.4.3 路面结构实际厚度应包括沥青面层厚度、基层厚度、路基结构厚度等，可通过钻芯取样测量或探地雷达图谱判读等方式进行检测，检测方法可参考《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450）。

5.4.4 结构层完整性应包括结构内部损坏类型、病害发展层位及破坏严重程度、结构层间粘结状况等，可通过钻芯取样、挖坑观测、探地雷达图谱判读等方式进行检测。

5.4.5 利用钻孔或切割取得的试样进行材料试验，若芯样中包含不同层位的沥青混合料，应根据原结构组合情况将其分离后分别进行试验。旧路材料性能应包括旧路沥青性质、沥青混合料组成情况、基层材料强度、路基材料性质等，可通过室内材料试验、动力贯入锥触探等方式进行检测。各项材料试验方法可参考《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20）及《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450），完好的基层芯样强度和模量检测方法可参考附录 A.3。

5.4.6 旧路结构参数检测项目应根据路面损坏状况确定：

(1) 对既有路面破坏不严重且结构强度充足的路段，应检测各结构层模量，可采用弯沉盆反演或芯样实测的方法获得。采用弯沉盆反演旧路结构参数的抽样频率不少于 20 点/（km. 单向）。

(2) 对既有路面破损严重或结构强度不足的路段，应检测路面表面或去除破坏层位的整体模量，可采用弯沉盆反演或承载板实测的方法获得。采用弯沉盆反演旧路结构参数的抽样频率不少于 20 点/（km. 单向）。

5.4.7 排水状况应包括路表排水设施状况、结构内部排水状况、地下排水状况等内容，可通过人工调查、渗水仪检测、挖坑观测等方式进行检测，详细检测方法参考附录 A.4。

5.5 数据分析评价

5.5.1 应针对基本评价单元进行旧路分析评价，基本评价单元的长度可根据路段实际情况确定，宜为 1000m。当路面类型、交通量、路面宽度、大型构造物等因素发生变化或存在需要特殊处理的路段时，基本评价单元长度可不受上述限制。

5.5.2 应利用交通量调查结果，根据《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）的规定确定现状交通量等级；并结合人工或实测轴载谱数据，估算路面结构已承受当量轴载作用次数，据此计算剩余轴载作用次数。

5.5.3 应分别针对各个基本评价单元进行路面破损状况的评价，评价指标包括路面破损率（DR）及路面损坏状况指数（PCI），评价方法参考《公路技术状况评定标准》（JTG 5210），同时应分析各类型路面病害的分布特点及主导病害类型。

5.5.4 应针对各基本评价单元进行路面行驶质量状况、路面车辙状况及路面抗滑性能状况的评价，评价指标包括路面行驶质量指数（RQI）、路面车辙状况指数（RDI）、路面抗滑性能指数（SRI），评价方法参考《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）。

5.5.5 应针对各基本评价单元进行路面结构强度状况评价，评价指标包括最大弯沉 D_0 和弯沉盆参数 SDI、BDI、PDI，计算方法见附录 A.2。

5.5.6 路面结构层完整性评价应包括结构内部损坏状况、结构层间粘结状况等部分，评价标准应符合表 4 的要求。

表4 路面结构层完整性评价

评价内容	评价标准	评价等级	指标类型
结构内部损坏状况	病害仅在表面层发展，其下部结构完整；	好	病害发展层位； 结构层破坏严重程度；
	病害发展至整个面层，基层结构完整；	中	
	病害发展至整个路面结构层，整体结构基本已发生破坏	差	
结构层间粘结状况	各结构层之间粘结紧密，形成整体；	好	各沥青面层之间粘结状况； 面层与基层之间粘结状况；
	层间结合部位出现部分材料松散，但仍能形成整体；	中	
	各结构层完全脱离，层间结合部位材料松散。	差	

5.5.7 材料性能评价应包括面层材料性能、基层材料性能两方面。面层材料性能评价内容包括旧路沥青性能、沥青混合料组成情况及力学强度等；基层材料性能主要评价其力学强度状况。评价标准应符合表 5 的要求。

表5 材料性能评价

评价内容	评价标准	评价等级	指标类型
沥青面层材料性质	沥青材料没有发生老化变质； 混合料组成情况满足设计要求；	好	沥青针入度（25℃）； 沥青延度（15℃）； 沥青软化点（5℃）；

评价内容	评价标准	评价等级	指标类型
	沥青材料轻度老化； 混合料组成不能完全满足设计要求；	中	混合料沥青含量； 矿料级配； 空隙率；
	沥青材料严重老化； 混合料组成完全不满足设计要求；	差	
基层材料性质	芯样完整；	好	芯样完整性；
	芯样局部松散；	中	芯样抗压强度；
	芯样大部分松散；	差	芯样回弹模量；
路基材料	1 路基稳定； 2 路基土强度充足，CBR 指标满足设计要求； 3 沿线地质状况稳定；	好	天然含水量； 液限；
	1 路基处于中湿状态，含水量偏高； 2 路基土强度接近或低于设计下限，CBR 指标偏低； 3 沿线地质状况复杂，存在高填方、水流冲刷等路段；	中	塑限； CBR 值；
	1 路基处于潮湿状态，含水量过高； 2 路基土强度不足，CBR 指标不满足设计要求； 3 属于软土地基、多年冻胀地基等不稳定基础类型；	差	压实度； 压缩系数。

5.5.8 排水状况评价内容包括路表排水状况、结构内部排水状况、地下排水状况等，评价标准应符合表 6 要求。

表6 排水状况评价

评价内容	评价标准	评价等级	指标类型
排水状况	1 路表排水设施完整，水流通畅，路表面水可以迅速排出结构，无积水； 2 结构内部排水系统通畅，渗入结构内部的自由水可迅速排出结构，结构内部无积水； 3 地下排水系统可有效拦截、旁引、排除含水层的地下水，降低地下水位或疏干坡体内地下水；	良好	路表排水设施结构完整性； 路表排水设施排水效率；
	1 路表排水设施有损坏或堵塞，水流不畅，路表面水无法迅速排出结构，表面存在积水； 2 结构内部排水系统堵塞，渗入结构内部的自由水无法迅速排出结构，甚至积聚在结构内部； 3 地下排水系统无法有效拦截、旁引、排除含水层的地下水，导致地下水向上渗透，路基含水量过大；	不良	结构内部含水状况； 排水结构层排水时间； 地下水位状况； 是否存在地下水外渗；

6 病害诊断与养护需求分析

6.1 一般规定

6.1.1 各设计单元的养护对策应在开展专项数据调查、确定病害发展层位、诊断病害产生原因、判断病害发展趋势后进行选择。

6.1.2 路面病害原因诊断应综合考虑路况专项检测数据、交通荷载、气候环境、施工质量等因素。

6.1.3 养护对策选择应最大限度利用既有路面结构，并对结构层中的病害进行处治。

6.2 养护设计单元划分

6.2.1 根据旧路调查评价结果，应首先对项目路段进行养护设计单元划分。

6.2.2 将公路等级、交通等级相同，路面结构状况、主要病害类型相近的相邻评价单元进行合并，形成养护设计单元；设计单元的长度一般不少于2个基本评价单元，当存在需要特殊处理的路段时，基本设计单元长度可不受上述限制。

6.2.3 设计单元划分结束后，应对各个设计单元的路况特征进行描述，主要包括各设计单元结构特点及交通状况、主导病害类型及其分布、各项路况指标均值及波动范围等，以验证其划分效果。

6.3 病害原因诊断

6.3.1 应分别针对各养护设计单元进行病害原因诊断，确定病害产生原因、发展层位及发展趋势。

6.3.2 路面病害产生原因应根据旧路调查分析评价的结果，并结合养护管理人员及工程师经验进行综合判断。

6.3.3 病害原因诊断结束后，应对路段全线各养护设计单元病害诊断结果进行综合性描述。

6.4 养护需求分析

6.4.1 应将结构状况相近、病害原因相同的设计单元合并为同一设计对象，据此分析确定其养护需求。养护需求包括设定养护目标和确定养护性质。

6.4.2 设计单位应根据各设计对象实际路况特点，结合项目路段中长期养护规划及养护资金安排情况确定其养护目标。

6.4.3 设计单位应根据各设计对象的养护目标确定其养护性质。养护性质分为功能性修复、结构性修复及预防性养护三类。

7 技术设计

7.1 一般规定

7.1.1 确定为结构性修复的设计对象，养护方案设计应包括确定设计年限、计算设计交通量、结构组合设计、结构力学验算和方案综合比选等内容。

7.1.2 确定为功能性修复的设计对象，养护方案设计应包括确定预期使用年限、结构组合设计和方案综合比选等内容。

7.1.3 应加强路面养护方案的结构组合设计和结构力学验算，提高路面功能性能与结构强度的协调匹配性，并采用全寿命周期经济分析方法评价各养护方案的长期经济效益，推荐技术较为合理、经济效益最佳的养护方案。

1) 通过科学合理的结构层与结构组合设计可有效提高路面结构的功能性能，如抵抗车辙、水损坏和反射裂缝等病害的性能；通过路表弯沉值、层底拉应力等力学指标的验算，保证路面结构承载能力能够满足设计年限内累计当量轴载作用。

2) 目前，我国在进行公路沥青路面养护方案设计时，对于养护方案的经济效益重视不够，往往仅

以养护工程投资为标准对养护方案进行比选,对于养护方案的长期经济效益考虑不足。为此,路面养护方案设计时,应采用全寿命周期经济分析方法计算分析期内各路面养护方案的全寿命周期费用,并据此选择长期经济效益最佳的路面养护方案。

7.1.4 应根据各设计对象的养护需求,结合设计年限和交通量分析结果,至少提出2个设计方案进行比选,并应明确推荐方案。

7.1.5 养护方案设计应包括旧路病害处治措施的选择,旧路病害可分为旧路表面病害和旧路铣刨挖除后下卧层病害两类。旧路病害处治作为路面养护方案中的主要内容,应根据交通等级、病害类型、产生原因、发展层位、施工要求等情况,结合《公路沥青路面养护设计规范》(JTG 5421)的相关规定进行选择。

7.2 设计年限与交通量

7.2.1 确定为结构性修复的设计对象,应根据养护目标确定设计年限,并进行交通量预测分析。

7.2.2 各级公路沥青路面的结构性修复设计年限不宜低于表7的要求,若有特殊使用要求,可适当调整。

表7 各级公路沥青路面结构性修复设计年限

公路等级	设计年限	公路等级	设计年限
高速公路、一级公路	10~15	三级公路	6~10
二级公路	8~12	四级公路	5~8

7.2.3 功能性修复预期使用年限应根据公路等级、交通组成、旧路状况、养护措施、地区施工技术水平等因素综合确定,并不宜低于表5.2.3的要求。

表8 各级公路沥青路面功能性修复预期使用年限

公路等级	设计年限	公路等级	设计年限
高速公路、一级公路	5~8	三级公路	3~4
二级公路	4~6	四级公路	3~4

注1:在确定沥青路面功能性修复设计年限时,对于交通量较大、属于地区路网中的干线以及地区养护技术成熟的情况,应选择上限;若交通量较小、属于地区路网中的支线或者养护投资受限的情况,应选择下限。

注2:在功能性修复的使用寿命年限内,允许设置合理的日常养护和小修保养措施,以保证甚至延长路面功能性修复养护使用寿命。

7.2.4 根据3.2.3交通量调查与评价结果,按照公式(1)计算设计年限内的累计当量轴次。

$$N_e = \frac{[(1+\gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} N_1 \eta \dots\dots\dots (1)$$

式中:

N_e —— 设计年限内一个车道的累计当量轴次(次/车道);

t —— 设计年限(年);

N_1 —— 当前年份双向平均当量轴次(次/d);

γ —— 设计年限内交通量的平均年增长率(%);

η —— 车道系数, 按照《公路沥青路面设计规范》(JTG D50) 的相关规定选取。

7.2.5 设计年限内的交通量年平均增长率 (γ) 应在历史交通量实际增长趋势和本地区经济发展状况等资料的基础上分析确定。

7.3 结构组合设计

7.3.1 应根据设计对象的养护需求, 结合病害诊断结果、养护投资计划、本地区养护经验和典型结构进行结构组合设计。

7.3.2 设计过程中原则上鼓励采用新材料、新工艺及新技术, 但需进行单独设计, 并提出相应的施工工艺要求。

7.3.3 既有路基的回弹模量需满足《公路沥青路面设计规范》(JTG D50) 对路基顶面回弹模量的要求。采用 FWD 动态弯沉测试时, 由弯沉盆反算得到的回弹模量需乘以 1/3 的修正系数, 作为既有路基的动态回弹模量。

7.3.4 应加强旧路材料再生利用, 相关技术应满足《公路沥青路面再生技术规范》(JTG/T 5521) 的要求。对于路面旧料 (包括面层及基层材料) 回收率应不低于 95%, 循环利用率应不小于 70%, 同时应明确旧料的回收地点与应用位置。应加强温拌沥青混凝土、橡胶沥青混凝土等节能环保材料的运用, 使用率不应少于沥青混凝土使用总量的 85%, 其中, 橡胶沥青混凝土原则上只用于城镇路段。

7.3.5 旧路铣刨挖除后, 应先对其下卧层病害进行彻底处治再进行加铺罩面, 其中:

- 1) 沥青混凝土表面病害类型及处治方法可参考《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ 073.2);
- 2) 对于已发生松散破碎等病害的半刚性基层结构, 应将基层全部挖除后重新回填, 回填材料包括 C15 贫混凝土、水泥稳定碎石、沥青碎石 ATB 等;
- 3) 对于已发生严重裂缝 (裂缝宽度大于 5mm) 的基层结构, 可在裂缝两侧 0.5m 范围内进行开挖, 开挖深度一般到达基层底部, 再回填适合的材料;
- 4) 对于存在轻度裂缝 (裂缝宽度小于 0.5mm) 的半刚性基层结构, 可采用乳化沥青灌缝的方法进行修补;
- 5) 对于发生唧浆的基层结构, 可采用浅层注浆工艺进行修复, 注浆材料为水泥浆。

7.3.6 修复养护工程土石方调配设计应保持“填挖平衡”, 设计中应明确填方取土来源或挖方材料消纳场所。

7.3.7 结构组合设计除应满足现行《公路沥青路面设计规范》(JTG D50) 的相关要求外, 还应结合既有路面病害程度及养护需求情况, 有针对性地开展设计。充分利用旧路结构性能, 进行分类评价和处治, 分类处治与验算可参考本指南附录 B。

7.3.8 旧路加铺补强的设计方案应根据设计年限内的累计当量轴次, 结合各设计对象对路面结构防排水、抵抗反射裂缝、车辙和疲劳损坏等方面的性能要求, 进行结构组合设计。

1) 加铺层宜采用沥青混合料, 应避免在旧路表面直接加铺半刚性材料, 并应根据交通量和旧路强度状况确定加铺层数和厚度;

2) 对于旧路水损坏严重的路段, 宜采用透水性沥青混凝土下面层加密实沥青混凝土表面层的组合形式提高路面结构的防排水性能;

3) 对于旧路裂缝较多的路段, 可适当增加加铺层厚度, 并在旧路表面设置应力吸收层, 下面层宜采用性能良好的骨架嵌挤型混合料;

4) 旧路表面与新加铺结构之间以及新加铺各结构层之间应喷洒黏层油。

7.3.9 面层铣刨重铺的设计方案应根据设计年限内的累计当量轴次, 结合各设计对象的旧路主要损坏类型、旧路基层顶面强度状况以及各性能的要求, 进行结构组合设计。

1) 旧路基层顶面应喷洒透层油, 并铺设下封层;

2) 新加铺面层应积极采用面层铣刨旧料的循环利用技术,并根据旧路主要损坏类型、旧路基层顶面强度状况、设计交通量以及各方面的性能要求,按本指南第 5.3.7 条的有关规定确定新加铺面层的结构组合形式。

7.3.10 面层铣刨基层补强应根据设计年限内的累计当量轴次,结合各设计对象的旧路主要损坏类型、旧路基层状况以及各性能的要求,进行结构组合设计。

1) 应根据旧路基层损坏状况确定基层处治措施,包括局部修复、挖除重铺、就地冷再生、厂拌冷再生等;

2) 应按照设计年限内的累计当量轴次、养护投资计划、施工周期要求和旧路基层处治措施等,确定新加铺基层类型和厚度;

3) 路面各结构层之间的模量比应符合《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)的相关要求。

4) 应根据各设计对象的旧路主要损坏类型和各性能的要求,按本指南第 5.3.7 条的有关规定选择结构组合形式。

7.3.11 路面结构重建应根据设计年限内的累计当量轴次,按照新建路面设计。

7.3.12 直接加铺罩面应对旧路病害进行彻底处治,并在旧路表面喷洒黏层油,对于重、特重交通等级、水损坏严重的路段,宜在旧路表面设置封层或应力吸收层,并加强加铺层混合料的抗车辙和封水性能。

7.3.13 铣刨加铺罩面应对铣刨后下卧层的病害进行彻底处治,并在旧路表面喷洒黏层油。

7.4 路面结构力学验算

7.4.1 各设计单元的修复养护设计方案宜按现行《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)中的方法进行结构厚度验算。

7.4.2 按照分段设计、分类处理基本要求,路基路面结构重建的养护方案应按新建路面进行结构厚度验算;其他类型的修复养护方案宜充分利用旧路结构性能,对旧路状况进行分类评价和设计验算,可参考本指南附录 B 执行。

7.4.3 旧路面结构的设计参数应根据室内外试验检测结果确定,新铺各结构层参数可借鉴本地区已有的试验资料或工程经验确定。

7.5 方案综合比选

7.5.1 方案综合比选应针对同一设计对象的不同设计目标分别进行,可从技术因素、经济因素、环境因素、交通及安全因素等方面进行分析。

7.5.2 技术因素比选时,应综合考虑路面性能恢复情况、施工难易程度、施工工期、环境保护与资源节约效果、本地区施工技术水平等因素,并结合实际养护工程需求,选择技术上最合理的养护方案。

7.5.3 经济因素比选时,可采用全寿命周期经济分析方法计算各候选方案的初期养护投资、后期养护费用、用户费用和路面残值,并选择分析期内全寿命周期费用最低的养护方案。

8 施工图设计

8.1 一般规定

8.1.1 施工图设计应在路面方案设计的基础上进行补充完善，主要包括材料组成设计、拓宽改造设计、路面排水设计、交通组织设计等，并进行施工图文件编制。

8.1.2 施工图设计应结合路面养护方案，按照现行相关规范的要求对路线、路基、桥面铺装、交通工程、排水及附属设施等相关内容进行设计，并安排施工组织计划、编制预算，各项设计成果须经养护管理部门审核通过。

8.1.3 局部改善路段，拓宽设计应根据旧路状况、道路两侧土地使用情况、两侧土质状况、施工难易程度等综合确定拓宽方式、拓宽部分结构组合形式和新旧路面结构的搭接方案等内容。

8.1.4 施工图设计文件的编制应参照现行《公路工程基本建设项目设计文件编制办法》，并根据养护工程规模，合理组织篇章、增减篇章内容。

8.2 材料组成设计

8.2.1 应按照《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）和《公路沥青路面施工技术规范》（JTJ F40）的相关规定进行材料组成设计，包括材料选择、配合比设计、设计参数确定和施工工艺要求等；旧路材料再生应符合《公路沥青路面再生技术规范》（JTG F41）的相关要求。

8.2.2 应根据沿线料场分布和材料性能检测结果，并结合材料性能要求和地区路面使用经验，选择路面材料。

8.2.3 应对筑路材料进行现场取样，按照《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）等相关规范的要求，进行混合料的配合比设计。

8.2.4 无机结合料稳定的质量要求应按照《无机结合料稳定材料质量管理规定》的相关规定，沥青混合料的质量要求应按照《沥青混合料质量管理规定》的相关规定。

8.2.5 应选取各结构层混合料的实测设计参数，按照《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）的相关规定，进行路面养护方案的结构力学验算。

8.2.6 详细设计应按照《公路沥青路面施工技术规范》（JTJ F40）和《公路沥青路面再生技术规范》（JTG/T 5521）等的相关规定，明确各结构层混合料的施工工艺要求。

8.2.7 橡胶沥青混凝土的详细设计应按照《北京市废胎胶粉沥青及混合料设计施工技术指南》的相关规定，明确其施工工艺和质量管理要求。

8.3 路面排水设计

8.3.1 应根据旧路现状调查和旧路病害状况，结合水文地质情况，对现有排水系统进行改造完善。

8.3.2 针对采用透水性材料的路面养护方案，应按照《公路排水设计规范》（JTG/T D33）进行排水系统的补充设计。

8.4 交通组织设计

8.4.1 应根据具体道路施工特点，可在不同的施工阶段、不同的施工路段灵活组合应用交通组织形式，如错峰施工、夜间施工、快速施工等，以实现“精细化管理、无痕服务”的目标。

8.4.2 沥青路面修复养护工程应根据道路特征、公路里程、交通量大小、工程实施特点等因素进行交通组织设计，并应符合以下规定：

1) 交通量较小，有平行道路作为分流道路，且工期较短的路段，可采用全封闭式交通组织形式。

2) 采用分离式路基或者有中央分隔带的道路，可采用半幅封闭式交通组织形式。其中，施工路段较长且有平行道路分流的道路可采用半幅分流的组织形式；施工路段较短或交通量较小的路段可采用半幅双向行驶的组织形式。

3) 无中央分隔带的整体式路基道路, 若为单向多车道也可采用半幅封闭式的交通组织形式, 施工时注意对左右幅车道做好隔离措施。

4) 在保证施工安全与车辆行驶安全的情况下, 可采用封闭部分车道的交通组织形式, 将施工作业区段按车道划分, 不改变交通流方向, 封闭单向车道中的部分车道, 利用其余车道通行; 该交通组织方式要对施工作业区段所在方向的交通流进行交通管制, 对于对向行驶的交通流没有影响, 但施工作业和同向交通流之间的干扰因素较多, 给安全、组织和管理带来较多困难。该交通组织方式适合小面积、小范围的局部施工作业。

5) 全幅区分车型分流的交通组织形式限制部分车型驶入施工道路, 将部分车辆分流至其他道路; 该方式车辆须限速通行, 需交通协管人员进行交通管制。

6) 半幅区分车型分流的交通组织形式限制部分车型驶入半幅施工道路, 将单向部分车辆分流至其他道路, 分流道路可为平行道路或其他道路, 或对向半幅道路的部分车道。该交通形式可适当减轻对分流道路的交通影响, 但施工期间交通组织复杂。

8.4.3 在满足施工机械台班工作量, 利于大规模机械化作业平面展开的基础上, 充分考虑过往车辆通行的顺畅, 结合中央分隔带开口、互通式立交或平面交叉出入口的具体位置, 灵活设置养护作业控制区段。

8.4.4 公路养护作业控制区布置、安全设施配备及养护安全作业应符合《公路养护安全作业规程》(JTG H30) 的相关规定。

8.5 设计文件编制

8.5.1 应根据施工图设计成果编制养护工程施工图设计文件。

8.5.2 路面修复养护设计文件的组成及内容应满足本指南附录 C 的要求。

附 录 A
(规范性附录)
路面数据检测方法

A.1 路面详细损坏检测

A.1.1 路面病害调查时，应详细记录各个路面病害的位置（包括路面横向位置和纵向桩号）、类型、严重程度以及损坏长度或面积，并绘制出路面病害分布图。详细调查病害的类型及现场记录表格可参考表 A.2。

表A.1 病害分类及图例

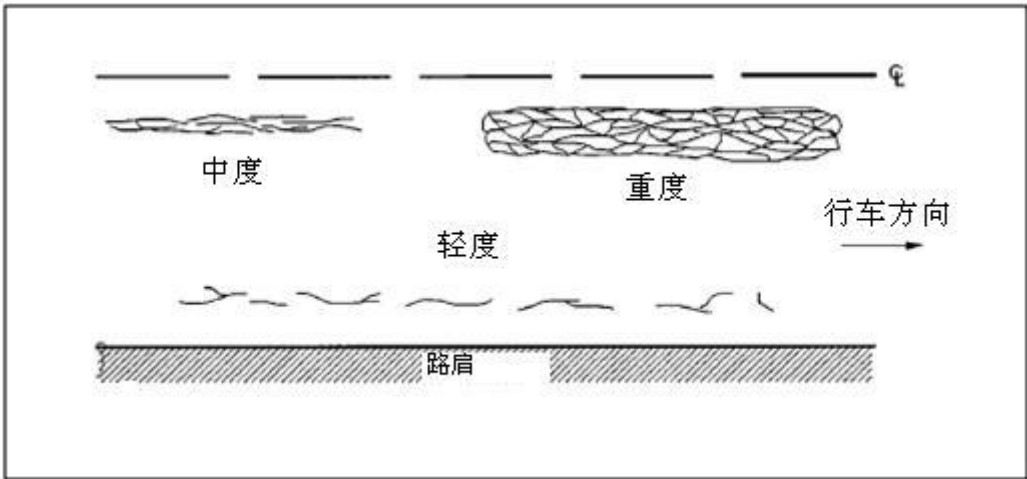
序号	病害类型	图例			计量单位
		轻	中	重	
1	龟裂	*L	*M	*H	面积
2	块状裂缝	#L	—	#H	面积
3	纵向裂缝	L	—	H	长度
4	横向裂缝	—L	—	—H	长度
5	坑槽	△L	—	△H	面积
6	松散	※L	—	※H	面积
7	沉陷	∨L	—	∨H	面积
8	波浪拥包	≈L	—	≈H	面积
9	泛油	∞L	—	∞H	面积
10	块状修补	□L	—	□H	面积
11	修补不良	■L	—	■H	面积
12	唧浆	◎L	—	◎H	面积
13	车辙	∪L	—	∪H	长度

注：*L5 —— 表示存在轻度龟裂病害，龟裂面积为5m²；
—L7 —— 表示存在轻度横向裂缝病害，横向裂缝长度为7m。

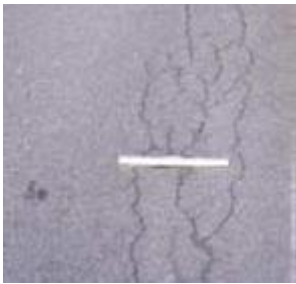
表A.2 详细损坏调查记录表

桩号	距右侧边线距离/m	是否轮迹带	病害描述	车道	备注

A.1.2 龟裂病害应根据《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）的规定划分为轻、中、重三个等级，并分别记录各等级龟裂的长度和宽度；若在路面的相同区域上存在不同等级的龟裂病害，且难以区分，则按最严重的病害等级计算。各等级龟裂病害见下图 A.1。



a) 龟裂图示



b) 轻度龟裂



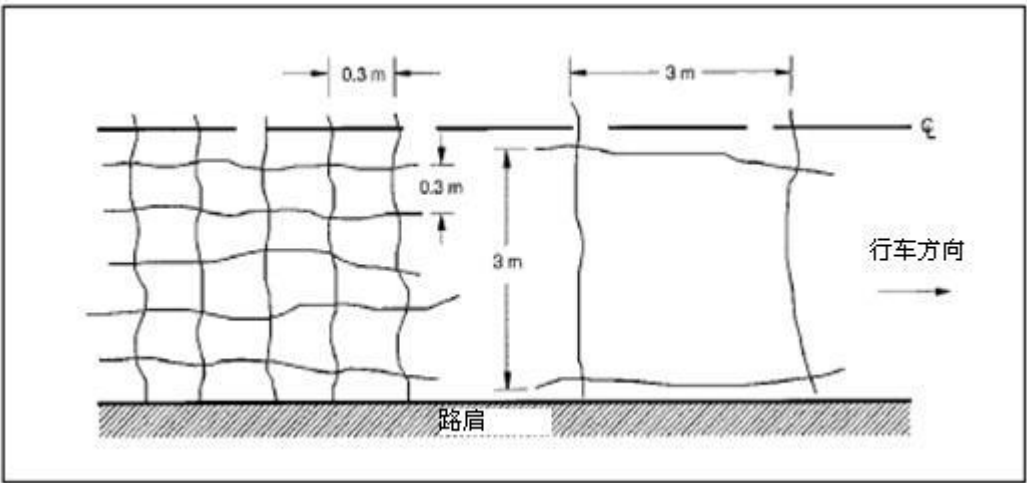
c) 中度龟裂



d) 重度龟裂

图A.1 龟裂病害分级图示

A.1.3 块状裂缝应根据《公路技术状况评定标准》(JTG 5210)的规定可划分为轻、重两个等级，并分别记录各等级块裂的长度和宽度。若在路面的相同区域上存在不同等级的块裂病害，且难以区分，则按最严重的病害等级计算；另外，若在块裂区域内存在龟裂，则计算块裂面积时需减去龟裂部分的面积。各等级块状裂缝病害见下图 A.2。

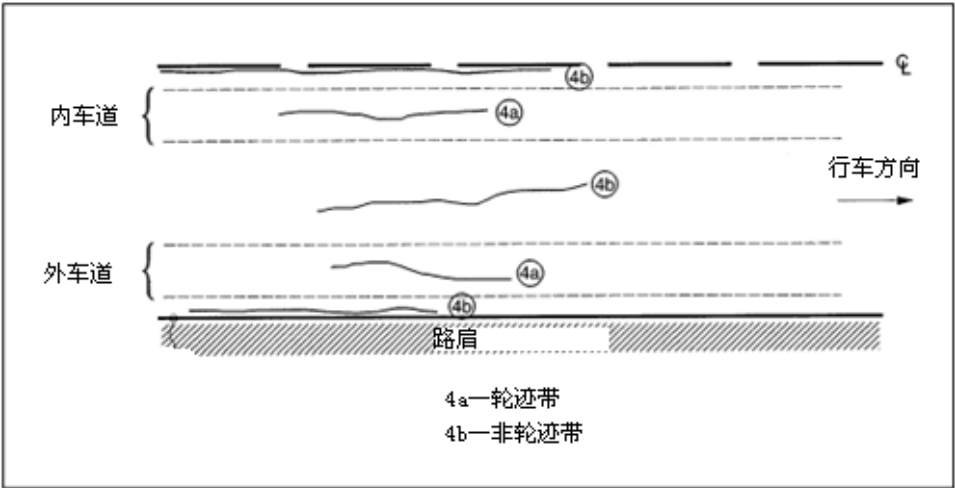


a) 块裂图示



图A. 2 块状裂缝病害分级图示

A.1.4 纵向裂缝应根据《公路技术状况评定标准》(JTG 5210)的规定划分为轻、重两个等级，并分别记录各等级纵向裂缝的长度及裂缝周边支缝发展形态。若在路面的相同区域上存在不同等级的纵向裂缝，且难以区分，则按最严重的病害等级计算；同时，若纵向裂缝穿过龟裂的区域，则该区域里纵向裂缝的长度不算入纵向裂缝计算的总长度内；另外，对于已进行灌缝的纵向裂缝，仍按照纵向裂缝记录，病害等级记为轻度。各等级纵向裂缝病害见下图 A.3。

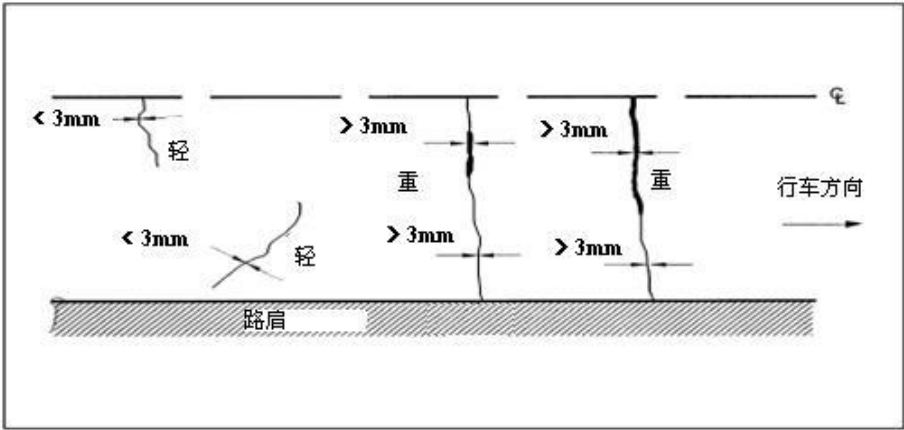


a) 纵向裂缝图示



图A. 3 纵向裂缝病害分级图示

A.1.5 横向裂缝应根据《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）的规定划分为轻、重两个等级，并分别记录各等级横向裂缝的长度及裂缝周边支缝发展形态。若在路面的相同区域上存在不同等级的横向裂缝，且难以区分，则按最严重的病害等级计算；同时，若横向裂缝穿过龟裂的区域，则该区域里横向裂缝的长度不算入横向裂缝计算的总长度内；另外，对于已进行灌缝的横向裂缝，仍按照横向裂缝记录，病害等级记为轻度。各等级横向裂缝病害见下图 A.4。



a) 横向裂缝图示



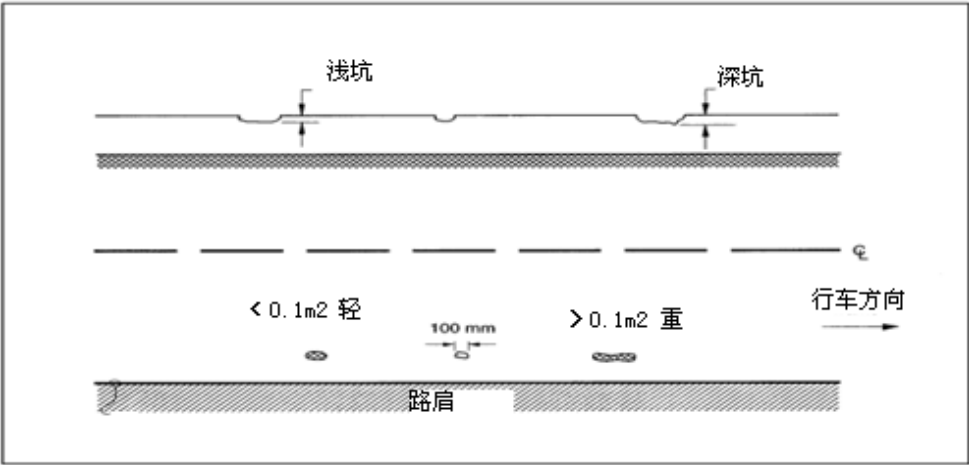
b) 轻度横向裂缝



c) 重度横向裂缝

图A.4 横向裂缝病害分级图示

A.1.6 坑槽病害应根据《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）的规定划分为轻、重两个等级，并分别记录各等级坑槽病害的面积及深度。若在路面的相同区域上存在不同等级的坑槽病害，且难以区分，则按最严重的病害等级计算；同时，若坑槽的区域包含有龟裂病害，则记录坑槽总面积时应减去龟裂的面积。各等级坑槽病害见下图 A.5。



a) 坑槽病害图示



b) 轻度坑槽



c) 重度坑槽

图A.5 坑槽病害分级图示

A.1.7 松散病害应根据《公路技术状况评定标准》(JTG 5210)的规定划分为轻、重两个等级，并分别记录各等级松散病害的面积、集料散失情况、坑洞数量等。若在路面的相同区域上存在不同等级的坑槽病害，且难以区分，则按最严重的病害等级计算。各等级松散病害见下图 A.6。



a) 轻度松散病害



b) 重度松散病害

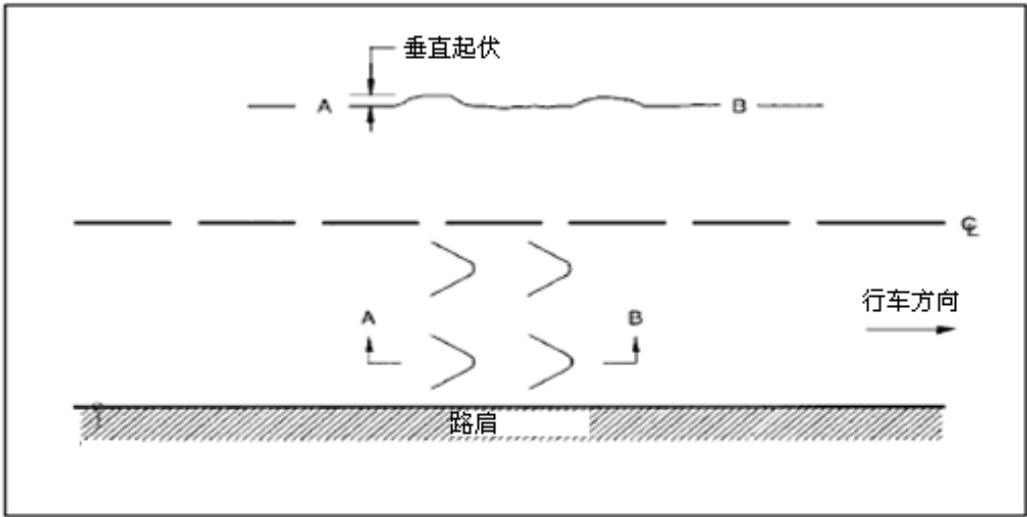
图A.6 松散病害分级图示

A.1.8 沉陷病害应根据《公路技术状况评定标准》(JTG 5210)的规定划分为轻、重两个等级，并记录沉陷区域的面积及沉陷最大深度。各等级沉陷病害见下图 A.7。



图A.7 沉陷病害分级图示

A.1.9 波浪拥包病害应根据《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）的规定划分为轻、重两个等级，并应分别记录各等级波浪拥包病害的面积、波峰和波谷之间的高差等。波浪拥包病害见下图 A.8



a) 波浪拥包病害图示



b) 推移病害

c) 波浪拥包

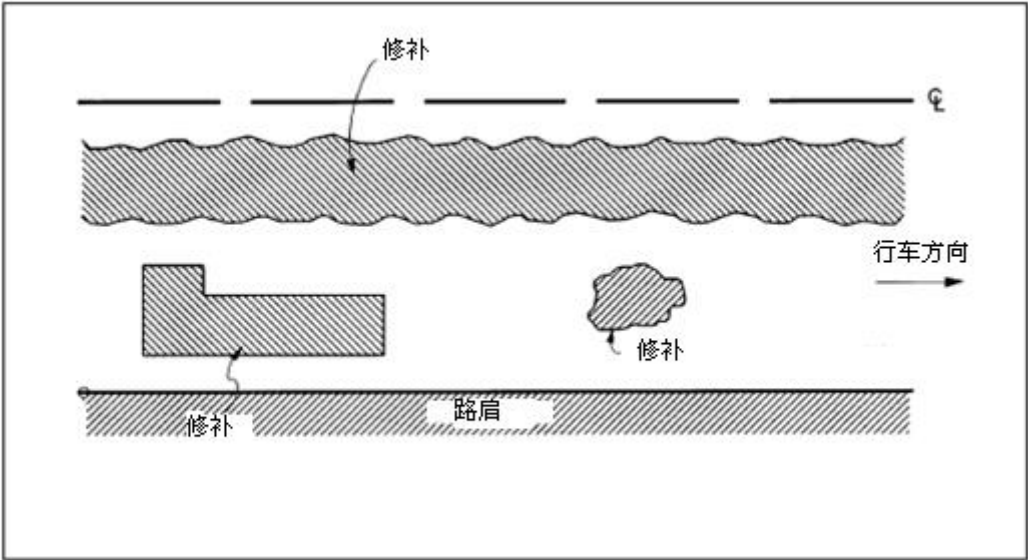
图A.8 波浪拥包病害图示

A.1.10 泛油病害应详细记录其发生的位置及影响面积，并描述路表泛油严重程度。路表不同位置泛油病害见下图 A.9。



图A.9 泛油病害图示

A.1.11 块状修补调查应分别记录修补完好及修补不良两种病害类型。修补完好位置应记录其修补面积；修补不良位置应记录修补面积、修补位置病害类型及其影响面积、周边原路面损坏状况等。块状修补病害见下图 A.10。



a) 修补病害图示



图A.10 修补病害图示

A.1.12 唧浆病害调查应详细记录其病害发生位置、影响面积、原路面病害类型等。不同位置唧浆病害见下图 A.11。



a) 修补位置唧浆



b) 横向裂缝位置唧浆

图A.11 唧浆病害图示

A.1.13 车辙病害应根据《公路技术状况评定标准》(JTG 5210)的规定划分为轻、重两个等级，并应分别记录各等级车辙病害的最大车辙深度、车辙发展形态及车辙部位次生的其他病害类型等。不同等级车辙病害见下图 A.12。



a) 轻度车辙



b) 重度车辙

图A.12 车辙病害图示

A. 2 FWD落锤式动态弯沉仪的弯沉盆检测方法

A. 2. 1 FWD落锤式弯沉仪设备技术要求

FWD 落锤式弯沉仪应满足《落锤式弯沉仪(JJG 交通 133-2017)》计量检定规程的要求，推荐的弯沉传感器位置如下：

弯沉传感器编号	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
距离承载板的距离/cm	0	20	30	60	90	120	150	180	210

A. 2. 2 FWD现场检测要求

主要包括：①测试点应尽量选择平整和稳定的位置；②将落锤提升至不同高度标定测试荷载，目标荷载采用5T；③提升落锤至合适高度并落锤，并记录弯沉盆和最大荷载；④比较同一测点不同落锤的弯沉值，如果弯沉值的变化大于 3%，最大荷载的变化大于 10%，应做好记录，并考虑重新测量。每个测点的落锤数不应大于4次，通常第一锤主要用于承载板的安放目的。后3次测试荷载应在50KN上下，以便对弯沉盆数据进行归一化。

A. 2. 3 现场测试中的异常情况

FWD测试软件通常提供数据检查程序，在测试路段对每一个测试点进行测试时，一旦发生了此类错误，都要放弃数据，找出错误原因，重新测试。主要异常状况有以下几点：

- ①滑动：当单个弯沉传感器在落锤落下后60ms内不能归零。
- ②不递减：D1到D9九个弯沉传感器的弯沉值不递减。
- ③超限：弯沉超出范围。
- ④荷载变异：当落锤荷载值大于或小于平均荷载的 3%时。
- ⑤弯沉变异：当落锤弯沉值大于或小于平均弯沉的 1% 时。

A. 2. 4 数据处理与分析

温度修正：沥青混合料属于温度敏感性材料，夏季高温时沥青混合料的模量、强度下降，所测得的结构弯沉将较大；反之，冬季低温时测得的结构弯沉将减小。因此，在采用FWD弯沉盆数据对路面结构层状况进行评价时，应对实测弯沉值进行温度修正。弯沉温度修正系数K按《公路沥青路面设计规范》公式计算。

对任一测点测试完毕后，取后三次弯沉测试数据，将弯沉盆数据归一化为 50KN 目标荷载下的标准测试弯沉盆数据。按下列公式分别计算 SDI、BDI、PDI 弯沉盆参数：

$$\text{面层损坏指数 SDI} = D_0 - D_{20} \quad (2)$$

$$\text{基层损坏指数 BDI} = D_{20} - D_{60} \quad (3)$$

$$\text{结构损伤指数 PDI} = D_0 - D_{60} \quad (4)$$

式中：D₀表示在承载板中心测量的弯沉，D₂₀表示距离承载板中心 20cm 位置测量的弯沉，D₆₀表示距离承载板中心 60cm 位置测量的弯沉。

路面结构模量反算：路面结构层模量可以通过 SIDMOD、MODULUS、MODCOMP、EVERSERS 等软件反算获得，也可由 EXCEL 表迭代计算由沥青路面结构模量 E_p 的反算公式得到。具体反算公式如下：

$$\frac{M_R d_0}{qa} = 1.5 \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{1 - \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right)}{\frac{E_p}{M_R}} \right\} \quad (5)$$

式中： M_R 表示路基回弹模量， q 表示承载板压力， d_0 表示在承载板中心测量的弯沉， D 表示路基上方的路面层的总厚度， a 表示承载板半径， E_p 表示路基以上所有路面层的有效模量。

A.3 基层芯样抗压强度和模量测试方法

A.3.1 适用范围

本方法适用于测定半刚性基层圆柱形芯样的无侧限抗压强度和回弹模量

A.3.2 仪器设备

路面取芯钻机：牵引式（可用手推）或车载式，钻机由发动机驱动，宜选用 $\phi 150\text{mm}$ 钻头直径，并配备淋水冷却装置。根据路面结构层厚度选取钻头长度；

电子天平：量程 15kg，感量 0.1g；

盛样器（袋）或铁盘等；

试样标签；

压力机或万能试验机：压力机应符合现行《液压式压力试验机》（GB/T3722）及《试验机通用技术要求》（GB/T 2611）中的要求，其测量精度为 $\pm 1\%$ ，同时，应具有加载速率指示装置或加载速率控制装置。上下压板平整并有足够刚度，可以均匀地连续加载卸载，可以保持固定荷载。开机停机均灵活自如，能够满足试件吨位要求，且压力机加载速率可以有效控制在 1mm/min ；

球形支座；

钢尺和游标卡尺；

试模和垫块：试模的直径 \times 高= $\phi 150\text{mm}\times 230\text{mm}$ ，配套两块垫块的直径 \times 高= $\phi 150\text{mm}\times 40\text{mm}$ ；

电动脱模器；

标准养护室：标准养护室温度 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度在 95% 以上；

水槽：深度应大于芯样高度 25mm；

机油：若干；

其他：量尺、毛刷、硬纸等

A.3.3 钻芯

A.3.3.1 取芯位置及数量

取芯位置的选择需要考虑如下因素：路面厚度、病害的位置和类型、病害和弯沉的连续性、弯沉值高或低等离异值的位置、行车道的宽度和交通导改措施的安全。

根据取芯目的确定相应的钻芯位置，通常在行车道轮迹带中部、车辙、裂缝等代表性部位取芯，且单车道每 200m 至少钻取 1 个芯样。单车道横向相同位置取芯 3 个试件作为 1 组。

A.3.3.2 钻芯

（1）在选取钻芯位置的路面上，先用喷漆或粉笔对钻芯位置做出标记。

（2）用钻机在钻芯位置垂直对准路面放下钻头，固定安放钻机，使其在运转过程中不得移动。

(3) 开启冷却水, 启动发动机, 徐徐压下钻杆, 钻取芯样, 但不得使劲下压钻头。待钻透路面结构全厚之后, 上抬钻杆, 拔出钻头, 停止转动, 不使芯样损坏, 取出芯样。

A. 3. 3. 3 芯样标识

将钻取的芯样妥善盛放于盛样器中, 必要时用塑料袋封装。填写样品标签, 标注路线或工程名称、车道位置、取样位置、取样时间、取样人、路面结构及厚度等信息。

A. 3. 4 芯样检查

A. 3. 4. 1 外观检查

观察钻取的圆柱形芯样是否有明显的裂缝、破损等缺陷, 重点检查路面病害位置钻取的芯样与轮迹带中部芯样是否具有明显差异。

A. 3. 4. 2 尺寸测量

(1) 平均直径: 用游标卡尺测量芯样中部和 $1/4$ 高度, 在相互垂直的位置上, 记录二次测量的算术平均值, 精确至 0.2mm 。

(2) 芯样高度: 用钢板尺进行测量, 精确至 1mm 。

(3) 垂直度: 用游标量角器测量两个端面与母线的夹角, 精确至 0.1° 。

(4) 平整度: 用钢板尺或角尺紧靠在芯样端面上, 一面转动钢板尺, 一面用塞尺测量与芯样端面之间的缝隙, 沿芯样高度任一直径与平均直径相差不宜大于 2mm 。

A. 3. 5 试验前准备

A. 3. 5. 1 芯样尺寸检查

芯样尺寸偏差及外观质量超过下列数值时, 不得用作无侧限抗压强度试验。

- (1) 经端面切割后的芯样高度小于 $0.95D$ 时;
- (2) 沿芯样高度任一直径与平均直径相差达 2mm 以上时;
- (2) 芯样端面的不平整度在 150mm 长度内超过 0.15mm 时;
- (3) 芯样端面与轴线的不垂直度超过 2° 时;
- (4) 芯样有裂缝或其他较大缺陷时。

A. 3. 5. 2 芯样端面处理

钻取的芯样须做端面处理以达到试验要求的端面平整度、高径比。

如果芯样高度大于 150mm 且完整无破损, 可以通过机械切割的方法使其达到规定的端面平整度。

如果芯样高度不足 150mm 时, 机械切割芯样一端使其达到规定的端面平整度, 且切割后的芯样高度不小于 $0.95D$ 。将另一端面污物清除干净, 再将芯样放入置好垫块的试模中, 用水湿润端面, 将适量水泥净浆装入试模, 用镩刀沿试模边缘刮去多余净浆, 材料硬化前, 用湿布覆盖水泥净浆表面。待硬化 $2\sim 4$ 小时后, 在电动脱模器上取出处理后的芯样试件, 立即放入塑料袋中封闭, 移放至养生室。

A.3.5.3 芯样的湿度处理

对于通过切割即满足尺寸要求的芯样，应将芯样试件放入水槽中，在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 水中浸泡不小于 48 小时，水槽水面在试件顶上约 2.5cm。

对于高度不足需补平的芯样，应将脱模后的芯样试件放入养生室，试件宜放在铁架或木架上，间距至少 10-20mm，试件表面应保持一层水膜，并避免用水直接冲淋。待水泥净浆强度不低于芯样强度时，将试件放入水槽浸水 1 天。

A.3.6 芯样的抗压强度和回弹模量试验

(1) 芯样的抗压强度试验，按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51) T0805 的试验步骤进行试验。

(2) 芯样的回弹模量试验，按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51) T0808 的试验步骤进行试验。

A.3.7 结果整理

(1) 抗压强度保留 1 位小数，回弹模量用整数表示。

(2) 应以同一组试件测试值的算术平均值，作为该组试件的抗压强度或回弹模量平均值。

(3) 试验报告应包含芯样桩号、位置、尺寸、端面处理方式、测试值、平均值、标准差等信息。

A.4 排水状况调查

A.4.1 排水状况检测的内容及范围应根据公路等级和损坏状况的不同进行确定。

(1) 对于一级公路，应对全线路表排水状况、结构内部排水状况及地下排水设施排水效果等进行调查；

(2) 对于二级及以下的公路，应对全线路表排水状况进行调查，并对产生明显水损坏的路段进行结构内部排水状况及地下排水设施排水效果调查；

A.4.2 排水状况调查工作应包括资料收集、人工记录、仪器检测及材料试验等方面，调查的项目及要求可参考表A.3和表A.4。

表A.3 排水状况调查内容

调查项目	调查内容	调查指标
资料收集	设计排水方式	表面排水
		内部排水
	几何尺寸	纵坡
		横坡
		路面宽度
		路基宽度
	气候资料	降雨量
		蒸发量

调查项目	调查内容	调查指标
	地质状况	冻结深度
		地下水位
		河流、湖泊水平面
		土质分布状况
排水设施	排水沟	尺寸
		沟内水位
		是否通畅
		是否长有亲水植物
	排水管道	管道直径
		管道粗糙程度
		纵坡
	预置圬工结构	圬工结构流动区深度
		出水口深度
		出水口间距
	路表面	路肩是否有积水
		裂缝或接缝处是否有积水
		横向裂缝间距
		裂缝渗透率
结构层排水	排水时间	有效孔隙率
		综合排水长度
		综合排水坡度
		渗水系数
		透水基层厚度
材料试验	抗水侵蚀性能	石料压碎值
		材料抗压强度
		路基含水量

表A.4 排水状况调查方法及调查频率

检查项目	建议检查方法	检查频率
资料收集	向道路设计单位、管理单位、养护运营单位收集	基础资料，随时调用
边缘排水系统	察看附属结构位置	检查之初进行 1 次，以后可更新
	道路状况	每两年 1 次
	外部察看	每年 1~2 次
	视频监控	每年 1~2 次
	记录检查信息	需要时

检查项目	建议检查方法	检查频率
结构层排水	资料收集或实地丈量路基路面结构尺寸、结构空隙率等	与病害调查同步进行
材料	挖坑、钻芯、材料试验等	根据公路等级及路面状况 抽样调查
	《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450）、《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTJ E20）	

A.4.3 对于路面出现明显水损坏破坏的路段，应进行结构渗水试验，检测其渗透系数。渗水系数检测采用的仪器为渗水仪。渗水仪检测过程中，在检测路段应测定5个测点，检测完毕后以5个测点测定渗水系数的平均值作为检测结果。渗水试验方法可参照《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450）。

附 录 B
(规范性附录)
旧路检评标准与修复养护设计方法

B.1 旧路检评标准及分类处治流程

B.1.1 根据旧路技术状况数据和专项检测数据，应首先对项目路段进行养护设计单元划分，划分标准可采用表B.1。

表B.1 沥青路面结构分类评价标准

检测项目		A 类	B 类	C 类	D 类
路表病害	高速、一级公路	表面裂缝不明显，或只存在大间距小缝宽的横向裂纹，面层损坏指数 $SDI < 30\mu m$	路表横向裂缝仅限于行车道，轮迹带的纵向裂缝轻微， $30\mu m \leq$ 面层损坏指数 $SDI \leq 100\mu m$	轨迹带的横向和纵向裂缝均明显，出现频率中等或较高， $30\mu m \leq$ 面层损坏指数 $SDI \leq 100\mu m$	轨迹带的横向和纵向裂缝均明显，且出现频率高，面层损坏指数 $SDI > 100\mu m$
	二级及以下公路	$PCI > 80, RQI \geq 80$	$PCI \leq 80, RQI \geq 80$	$PCI \leq 80, RQI \geq 80$	$PCI \leq 80, RQI < 80$
裂缝程度		横向裂缝总体上达到 1 类水平	横向裂缝总体上达到 2 类水平，纵向裂缝总体上达到 1 类水平	横向裂缝达到 2、3 类水平，纵向裂缝总体达到 2 类水平	横向裂缝和纵向裂缝总体达到 3 类水平
基层损伤状况（高速、一级公路）		横向裂缝荷载传递良好，基层损坏指数 $BDI < 50\mu m$	横向裂缝间形成的块体较大。无纵向裂缝或纵向开裂轻微，裂缝间荷载传递良好，基层损坏指数 $BDI < 50\mu m$	横向裂缝较明显，裂缝间块体较大，出现明显纵向裂缝， $50\mu m \leq$ 基层损坏指数 $BDI \leq 100\mu m$	基层块体较小，最大间距小于 4 米。横向和纵向裂缝多，荷载传递不良。基层损坏指数 $BDI > 100\mu m$
基层芯样强度 f_b		$\geq 5MPa$	$\geq 5MPa$	$< 5MPa$	$< 5MPa$

结构模量 E_p	$E_p > 5000 \text{ MPa}$	$2000 < E_p \leq 5000 \text{ MPa}$	$1000 \leq E_p \leq 2000 \text{ MPa}$	$E_p < 1000 \text{ MPa}$
结构损伤指数 PDI	$\text{PDI} < 50 \mu\text{m}$	$50 \mu\text{m} \leq \text{PDI} < 100 \mu\text{m}$	$100 \mu\text{m} \leq \text{PDI} \leq 200 \mu\text{m}$	$\text{PDI} > 200 \mu\text{m}$
结构完整性评价等级	好	中	差	差
弯沉状况 D_0	弯沉代表值低于设计值	均值达到设计要求，路面结构强度指数 $\text{PSSI} \geq 80$	路面结构强度指数 $\text{PSSI} < 80$	测量值高于设计值
养护对策	预防性养护	功能性修复	结构性修复	改建重建

注：裂缝程度分类：

1类裂缝：间距较宽的裂缝（ $> 10\text{m}$ ），一般缝宽 $\leq 0.5\text{mm}$ ，无磨损。

2类裂缝：一定间距的裂缝（ $5\text{--}10\text{m}$ ），一般缝宽 $\leq 1.0\text{mm}$ 。

3类裂缝：间距不等的裂缝，一般缝宽 $> 1.0\text{mm}$ 。

B.1.2 修复养护应根据养护设计单元，遵循分段设计、分类处理基本要求。基于B.1.1的旧路结构四分标准，沥青路面修复养护的分类处治设计流程见图B.1。

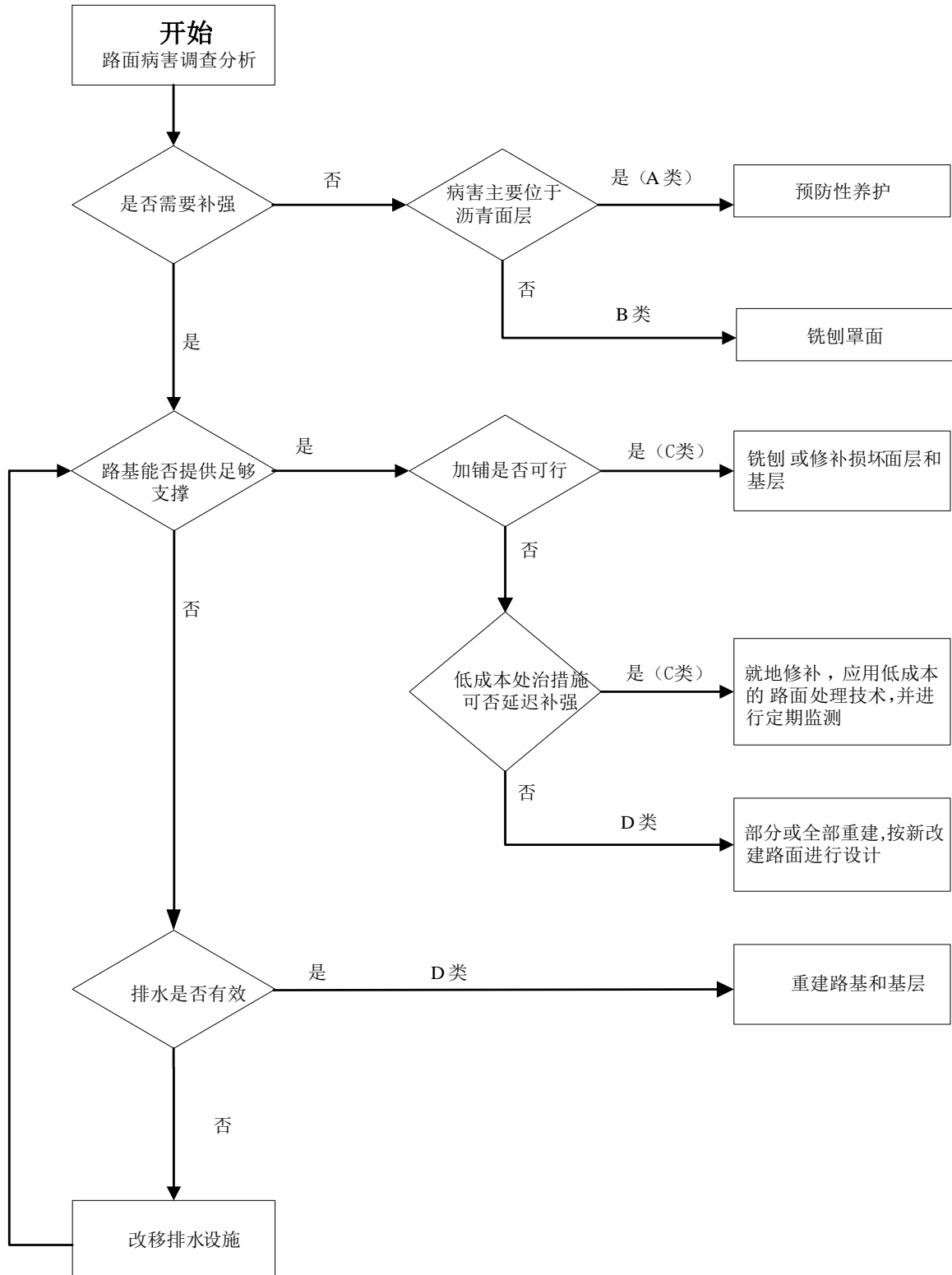


图 B.1 分类处治流程

B.1.3 各设计对象的修复养护设计方案宜按照《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)中的方法进行路面结构力学验算,验算指标包括路面结构层底拉应力和沥青层永久变形。修复养护结构验算按图B.2进行。

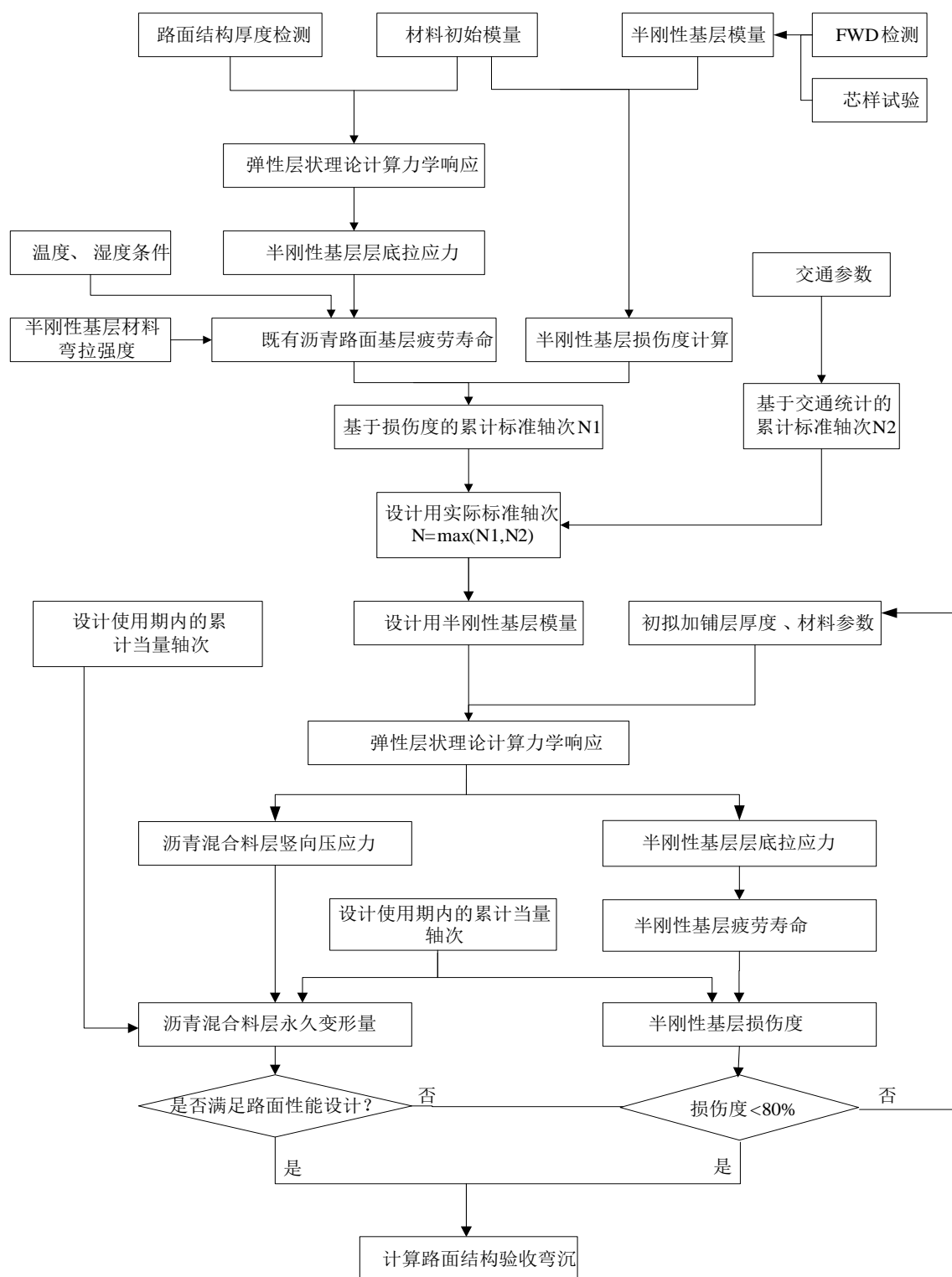


图 B.2 沥青路面修复养护结构验算流程图

按照修复养护设计流程,修复养护设计主要包括既有沥青路面检测和评价、设计参数取值、力学验

算和验收弯沉计算四个部分。

(1) 设计指标

半刚性基层疲劳损伤、沥青混合料层永久变形。

(2) 既有沥青路面检测评价

通过专项检测，按照表B.1既有沥青路面结构状况分类评价标准，对路面状况进行评价。

按照图B.1既有沥青路面分类处治流程，对既有道路进行分类处治设计。

(3) 确定设计参数

通过资料调研和现场实测，确定既有沥青路面的结构模量、厚度等信息，对既有沥青路面进行力学分析，计算既有沥青路面的半刚性基层层底拉应力。

无机结合料稳定层弯拉强度，宜根据现场取芯实测的芯样抗压强度按公路沥青路面设计规范（JTG D50）的式7.4.3计算，并考虑强度折减。可采用轮迹带位置与行车道中部或轮迹带位置与硬路肩位置芯样的强度比作为强度折减系数。

由公路沥青路面设计规范（JTG D50）的式B.2.1-1计算半刚性基层的疲劳寿命。

由现场FWD测试和钻芯取样的半刚性基层芯样力学性能试验，综合确定半刚性基层结构模量，结合半刚性基层初始模量，由式（6）计算半刚性基层损伤度，并以此计算基于损伤度的累计当量轴次 N 。

收集当地交通数据、车型分布，计算基于交通统计的累计当量轴次。

以基于损伤度的累计当量轴次、基于交通统计的累计当量轴次二者的较大数据作为设计用累计当量轴次，由式（7）重新计算半刚性基层结构模量，并将其作为加铺层设计的基层模量。

$$D = 1 - \frac{E_N}{E_0} = 1 - \left(1 - \frac{N}{N_f} \right)^A \quad (6)$$

$$E_N = \left(1 - N/N_f \right)^{a \cdot (\sigma/S)^b} \cdot E_0 \quad (7)$$

式中： E_N 为半刚性基层当前模量， E_0 为半刚性基层无损状态的模量， N 为实际作用次数， N_f 为累计疲劳作用次数， σ/S 为半刚性基层承受的应力水平， a, b 为半刚性基层材料参数（表B.2）。

表B.2 半刚性基层材料参数取值表

半刚性基层材料	a	b
石灰粉煤灰稳定类	0.0502	-4.136
水泥稳定类	0.063	-4.991

(4) 力学验算

根据当前的交通参数、当地经济发展情况和加铺后路面结构的使用年限，确定路面结构修复养护期的累计当量轴次。

初拟沥青路面加铺层厚度、沥青混合料弹性模量等参数，计算加铺后路面结构的半刚性基层层底拉应力，重新用公路沥青路面设计规范计算加铺结构的半刚性基层的疲劳寿命。

由式（7）计算加铺后路面结构的半刚性基层疲劳损伤度。如果损伤度小于80%，则认为路面结构安全；否则重新调整厚度或材料参数计算。

通过公路沥青路面设计规范（JTG D50）的式B. 3. 2-1，对加铺后的路面结构永久变形量进行计算，判断沥青混合料累计永久变形量是否满足设计规范要求。如果不能，重新调整材料参数进行计算。

（5）验收弯沉计算

按照公路沥青路面设计规范（JTG D50）的附录B. 7，计算修复养护后路面结构的验收弯沉值，完成既有沥青路面结构力学验算。

附 录 C
(规范性附录)

沥青路面修复养护设计文件编制要求

公路养护工程施工图设计文件的编制内容与组成应符合《公路沥青路面养护设计规范》(JTG 5421-2018)的相关规定。根据北京市路面养护维修工程工作阶段特点,分别对项目建议书、技术设计及施工图设计三个阶段设计文件编制进行如下要求:

C.1 项目建议书

编写项目建议书应包括以下几方面内容:

1、工程概况

1.1 概述

应介绍工程背景、项目路段地理位置、在区域路网中的地位、建设规模、自然条件等。

1.2 现有路面结构及养护历史情况

应统计现有路面结构形式、通车至今经历过的修复养护工程情况等。

1.3 交通量

至少调查项目路段最近 3 年的交通量、交通组成情况,评价交通等级;应收集路段交通量长期观测数据,统计累计当量轴载作用次数。

2、存在问题

2.1 现有路面技术状况

实测或收集近 6 个月以内的路面技术检测数据,包括 PCI、RQI、RDI、SRI、PSSI 等,分析其分布情况。

2.2 主要病害发展情况

调查现有路面主导病害类型及其主要分布情况,并挑选典型病害位置进行钻芯取样,观察病害发展程度。

2.3 病害原因分析

结合路况数据及取芯结果,简要分析病害产生原因。

3 建议方案

给出建议方案，包括：设计方案、施工方法（半幅或断路）、交通导改方案（是否具备绕行条件，是否需要修临时便线），应至少给出 2 套备选方案，并进行技术经济性比较，最终给出推荐方案。

4 项目投资估算

根据给出的建议方案，合理计算出项目投资估算

C.2 技术设计

编写技术设计文件应包括以下几方面内容：

1 概述

1.1 工程背景

说明项目实施单位、实施背景、项目路段地理位置、自然条件等基本情况；应附项目路段地理位置图。

1.2 工作概况

包括工作依据、工作内容及工作进度情况介绍。

1.3 主要结论

介绍主要设计成果，包括路况特点、病害原因诊断、推荐养护方案及养护工程投资情况等。

2 基础资料收集

包括沿线自然地质情况、道路建设技术标准、原路面结构形式、养护维修历史等。

3 交通量分析

分析历年交通量变化情况、交通组成情况、交通轴载状况等，计算累计当量轴载作用次数。

4 路况检测与评价

4.1 检测内容与方法

介绍路况检测的项目、检测方法。

4.2 检评结果分析

对路况检测数据进行详细分析，包括路面损坏状况、行驶质量、车辙状况、抗滑性能、结构强度、钻芯取样状况、路基承载能力状况等，应附上各类病害空间分布图、特殊病害照片及取芯照片。

5 路段划分及病害原因诊断

根据路况检评结果进行均匀路段划分，并针对各个均匀路段分析其典型病害产生原因及发展趋势。

6 养护方案设计

6.1 设计目标

开展详细方案设计前，应综合考虑路况检评结果、项目路段中长期养护规划情况及养护资金投入情况，确定养护设计目标。

6.2 路面病害处治

根据病害原因诊断结果，提出典型病害的处治工艺；

6.3 结构组合设计

路面加铺的厚度、宽度、结构类型、材料、维修形式、维修后的弯沉控制指标等，并进行结构力学验算。

6.4 方案比选

通过技术、经济两方面进行对养护方案进行综合比选，经济比选应考虑养护方案全寿命周期内总的经济效益，并给出推荐养护方案。

6.5 纵断面设计

1 一般路段（罩面一般为等厚加铺，补强需说明设计原则）

2 特殊路段（桥头、平交口、互通等路段设计原则）

6.6 横断面设计（原则上维持现状）

6.7 重要材料及技术要求

若采用“四新”技术进行重点说明。

6.8 安全设施及其他附属工程改造设计方案

包括标志标线恢复方案、交通安全设施改造方案、排水改造方案等。

6.9 施工组织计划

施工期限、主要工程的施工方法、工期、进度及措施；主要材料供应、运输方案等。

6.10 交通组织设计

施工期间交通组织方案。

7 设计概算

包括编制依据、概算总金额，有多种方案时，则说明各方案的工程概算。

8 图表及附件

1 路基、路面、排水、交通工程等设计方案图

- 2 路面使用状况评定表
- 3 概算表
- 4 附件（有关部门的意见及协议、纪要等复印件）

C.3 施工图设计

1 总说明

1.1 项目地理位置图

示出路路面修复养护工程的路段在整条公路的位置（标注工程的起终点）以及沿线主要城镇。

1.2 说明书

1) 概述

介绍工程背景、工作情况、项目实施路段等内容

2) 设计依据、规范及原道路技术标准

介绍设计依据、原道路等级、设计速度、荷载等级、路基路面宽度、路面横坡、路线纵断面线形、原路面结构、厚度等技术标准等。

3) 路面使用状况调查及评价

各项路况调查数据评价及分析。

4) 病害处治设计

病害原因诊断及典型病害处治工艺。

5) 结构组合设计

绘制各路段养护方案图，并对材料性能及施工工艺进行规定。

6) 安全设施及其他附属工程改造设计

标志标线恢复方法、交通安全设施改造方法等

7) 施工注意事项（若采用“四新”技术进行重点说明）

8) 施工组织计划（施工期限、主要工程的施工方法、工期、进度及措施；主要材料供应、运输方案等）

9) 设计预算（编制依据、预算总金额）【中修工程中间稿如有多种方案时，则说明各方案的工程预算】

2 路线安全设施

绘制路线平面图、纵断面设计图（针对大修路段）、交通安全设施改造方案等

3 路基、路面设计

3.1 路基标准横断面图

在原路基标准横断面图的基础上，示出罩面、补强、翻修的路面宽度，并在附注中应说明路面横坡的调整范围（罩面除外）。

3.2 路面病害处治设计

1) 路面病害调查表

根据病害的密集、严重程度进行分段，列出桩号段落，统计出每段的病害类型及数量（长度、面积、个数、块数），备注应对于特殊病害进行描述。

2) 路面病害处治设计图

示出病害类型、处治面积、深度、修补材料及回填材料。附注应说明施工程序、重点、难点。

3) 路面病害处治工程数量表

3.3 路面结构设计图

示出原路面结构层，不同路段加铺层结构类型、材料的名称、厚度、宽度及段落桩号（针对多种加铺厚度）等，提出加铺后的弯沉控制指标。附注中说明施工的重点及注意事项。

3.4 路面设计及加铺工程数量表

列出段落桩号（参照纵断面桩号）、分左右幅、长度、宽度、A 点（路面设计线的点）和 C 点（路面加铺层外边缘点）的原路面及设计标高、横坡。列出路面各加铺层的结构类型、材料名称（包括黏层、透层等）、厚度、数量，桥头或平交口等特殊路段铣刨原路面工程数量，备注中说明桥的位置。

4 其他工程设计

4.1 路基排水设施改造图

示出原路基布置，绘出改造后排水的结构形式（主要绘出新增加的排水沟结构型式等），统计出排水设施改造的工程量。附注中说明施工注意事项。

4.2 路基防护工程改造图

示出原路基挡土墙的结构形式，绘出改造后挡土墙的结构形式（主要绘出新添加的材料结构、名称、厚度等），统计出挡土墙改造的工程量（新添加材料工程数量）。附注中说明施工注意事项。

4.3 分隔带改造图

绘出一般路段中分带改造后路面以上的结构（路缘石的拔高、中分带填土及顶面坡度等），绘出中分带路缘石拔起的大样图。附注中说明施工要点及注意事项。

绘出超高路段中分带及排水设施改造后的结构（排水设施的样式、位置等），

绘出排水设施改造的大样图（重要组件的结构、材料、尺寸等）。附注中说明施工要点及注意事项。

4.4 分隔带改造工程数量表

列出起讫桩号、长度、超高段长度、幅别、分隔带改造所需的材料名称、规格、数量等。

5 施工组织计划

施工期间临时交通组织设计图。绘出交通限流、分流、封闭及绕行等交通管制措施设计图。

6 施工图预算

施工图预算文件可单独成册，文件格式、组成及内容应符合有关编制办法的要求， 主要由下列七部分组成：

- 1) 编制说明
- 2) 总预算表
- 3) 人工、主要材料、机械台班数量汇总表
- 4) 建筑安装工程费计算表
- 5) 其他工程费及间接费综合费率计算表
- 6) 工程建设其他费用计算表
- 7) 人工、材料、机械台班单价汇总表

附 录 D
(资料性附录)
算例

北京顺义区的一条二级公路，南起顺义区顺平路，北止密云区城关镇，道路全长 33.31 公里，道路技术等级为二级公路。该道路建于 1992 年，路面结构为 6cm 沥青混合料+18cm 二灰稳定砂砾+18cm 石灰土；2006 年，旧路加铺一层 4cm 沥青混合料。

D.1 既有沥青路面结构评价

按照沥青路面结构状况综合检测方法，对既有路面结构状况开展检测。根据表 D.1 对试验路进行分类评价，试验路结构状况分类评价结果如表 D.1 所示。

表 D.1 试验路结构状况评价对照表

检测指标	A 类标准	K13+500~K14+000 实测值
路表病害	PCI>80,RQI≥80	PCI=83.74, RQI=96.34
裂缝程度	横向裂缝总体上达到 1 类水平	横向裂缝 16 条, 4 条已灌缝, 未封缝的裂缝宽度小于 0.5mm, 最小间距 13.9m。
基层芯样强度 f_b	≥5MPa	3 个基层芯样平均抗压强度为 13.7 MPa
结构模量 E_p	$E_p > 5000\text{MPa}$	5 个基层芯样平均模量为 6258 MPa, 结构反算模量 E_p 为 5119 MPa
结构损伤指数 PDI	PDI<50 μ m	PDI 平均值为 42.8μm
结构层完整性评价	好	雷达探伤未发现结构病害和层间结合不良
弯沉状况 D_0	弯沉代表值低于设计值	弯沉代表值为 22.8 (0.01mm), 所有弯沉实测值均小于设计值 (30.6)
检测指标	B 类标准	K13+000~K13+500 实测值
路表病害	PCI≤80,RQI≥80	PCI=91.03, RQI=97.08
裂缝程度	横向裂缝总体上达到 2 类水平, 纵向裂缝总体上达到 1 类水平	横向裂缝 8 条, 2 条已灌缝, 未封缝的裂缝宽度小于 0.5mm, 最小间距 18.7m。
基层芯样强度 f_b	≥5MPa	3 个基层芯样平均抗压强度为 14.3MPa
结构模量 E_p	2000MPa< E_p ≤5000MPa	5 个基层芯样平均模量为 5654 MPa, 结构反算模量 E_p 为 3747 MPa
结构损伤指数 PDI	50 μ m ≤PDI<100 μ m	PDI 平均值为 81.3μm
结构层完整性评价	中	雷达探伤发现 1 处基层厚度偏小, 长度范围为 36m; 个别位置存在材料松散。

弯沉状况 D_0 均值达到设计要求，路面结构 弯沉代表值达 37.85（0.01mm），PSSI=80.87
强度指数 PSSI≥80

从表 D.1 来看，前 500 米既有沥青路面状况评定为 B 类，可通过保留原有路面基层，铣刨老化沥青混合料加铺新的沥青路面结构层，实现路面使用寿命的延长。后 500 米路面状况评定为 A 类，可全部保留原沥青面层，通过拉毛后加铺适当厚度的沥青面层，延长路面结构的使用年限。

D.2 加铺层设计

(1) 设计用半刚性基层模量

试验路 K13+000~K13+500 路段，在沥青面层铣刨前后均进行了 FWD 检测，对比两次检测反算得到的基层模量（图 D.1）。数据表明，由于沥青面层铣刨前后，结构厚度变化半刚性基层受到 FWD 激振力不同，结构反算得到的基层模量也有较大的差别。面层铣刨前反算的基层模量平均值为 3014MPa，面层铣刨后反算的基层模量平均值为 5418MPa。基层顶面测得的基层模量，约为路表 FWD 检测的反算基层模量的 1.8 倍。

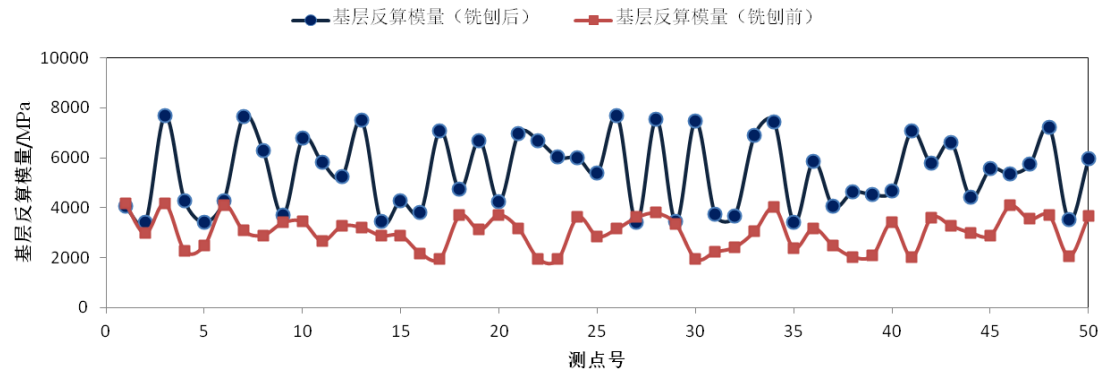


图 D.1 试验路半刚性基层模量对比

对钻芯取样的半刚性基层试件进行回弹模量试验，获得半刚性基层芯样回弹模量见表 D.2。通过对十个高径比合格的二灰稳定砂砾基层试件的回弹模量试验，其回弹模量平均值为 5956 MPa，与铣刨后基层顶面 FWD 测试得到的基层模量相当。

表 D.2 半刚性基层芯样回弹模量实测值

试验路的 10 个二灰稳定砂砾基层芯样抗压回弹模量（MPa）					
6433	5702	5938	4815	5380	7295
5537	6819	5288	6352		

由于试验路的二灰稳定砂砾基层建成年代、材料配合比、生产厂家均一致，本文采用前 500 米试验路面层铣刨后 FWD 基层反算模量的代表值，作为试验路的基层模量。在保证率取 95%的情况下，基层

模量代表值 $E_b = \overline{E_b} - t_\alpha S / \sqrt{n} = 5418 - 0.284 \times 1468.8 = 5000.9 \text{MPa}$ 。

当前基层模量取 5000MPa，石灰粉煤灰初始模量取 10000MPa，由式（6）计算得到当前的基层疲劳损伤度为 50%。通过 BISAR 软件计算得到二灰稳定砂砾基层层底的拉应力为 0.39MPa，取半刚性基层弯拉强度为 1.034 MPa，由公路沥青路面设计规范，计算旧路半刚性基层的疲劳寿命 N_f 为 9690 万次。

利用式（7）验算累计当量轴次，石灰粉煤灰稳定集料取 $a=0.0502$ ， $b=-4.136$ ，计算得基于损伤度的累计当量轴次为 2104 万次。

由于该二级公路早期未建立交通量观测站，采用近五年的实测交通量对道路承担的累计当量轴次进行推演计算，得到试验段 22 年的单车道累计当量轴次为 1983 万次。基于交通统计的累计当量轴次与基于损伤度的累计当量轴次，二者相差 5.1%。

按照既有沥青路面延寿设计方法，本设计取 2104 万次，作为设计用实际标准轴次，故设计用半刚性基层模量取 5000 MPa。

（2）设计期的损伤度验算

试验路段 2014 年日平均当量轴次为 5318 次，设计年限取 20 年，考虑沿线经济发展及历年的交通量增长规律，设计年限交通量的平均年增长率取 5%，该试验路的设计期累计当量轴次约 6400 万次。

试验段借鉴新建长寿命路面按功能层位选取沥青混合料的思想，基于沥青路面受力特征，初拟试验段的路面结构组合和材料见表 D.3。

表 D.3 试验路段加铺层结构组合

桩号	K13+000～K13+500(断面一)	K13+500～K14+000（断面二）
路面结构组合	4cm ARAC-13C(橡胶沥青混凝土)	
	9cm AC-25C(高模量沥青混凝土(外掺剂))	4cm ARAC-13C(橡胶沥青混凝土)
	10cm ARAC-25(橡胶沥青混凝土)	10cm AC-25C(高模量沥青混凝土(30号沥青))
	4cm FL-13(富沥青抗疲劳层)	旧路面层(保留原路面直接加铺)
	旧路基层(铣刨旧路面层到设计标高)	

断面一为利用基层结构的既有路面延寿设计的结构组合，材料模量按 FWD 反算和试验室配合比试验结果取值，如表 D.4。

表 D.4 断面一计算用材料参数

厚度/cm	材料	材料模量/MPa	泊松比
4	ARAC-13C 橡胶沥青混凝土	10000	0.25
9	AC-25C 高模量沥青混凝土	11000	0.25
10	ARAC-25 橡胶沥青混凝土	10000	0.25
4	FL-13 富沥青抗疲劳层	8000	0.25
18	二灰稳定砂砾	5000	0.25
18	石灰稳定土	600	0.25
-	土基	100	0.4

计算铣刨加铺后的半刚性基层层底拉应力为 0.1798 MPa，加铺后的半刚性基层疲劳寿命为 2.1×10^9 。将设计期累计当量轴次和疲劳寿命代入式（7），加上维修前的疲劳损伤度，计算得到路面结构疲劳损伤度为 61.6%，满足设计期内的结构安全要求。

断面二为利用旧路基层和面层的大修工程沥青路面结构组合，材料模量按 FWD 反算和试验室配合比试验结果取值，如表 D.5。

表 D.5 断面二计算用材料参数

厚度/cm	材料	材料模量/MPa	泊松比
4	ARAC-13C 橡胶沥青混凝土	10000	0.25
10	AC-25C 高模量沥青混凝土	13000	0.25
10	旧路沥青面层	10000	0.25
18	二灰砂砾	5000	0.25
18	石灰土	600	0.25
-	土基	100	0.4

计算铣刨加铺后的半刚性基层层底拉应力为 0.197MPa, 新铺后的半刚性基层疲劳寿命为 1.704×10^9 。将修复养护期的累计当量轴次和疲劳寿命代入式（7），加上维修前的疲劳损伤度，计算得到路面结构疲劳损伤度为 66.1%，满足设计寿命期内的结构安全要求。