



T/CECS G XXXX: 2026

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路资产管理系统技术规程

Road Asset Management System Technical Regulations

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路资产管理系统技术规程

Road Asset Management System Technical Regulations

T/CECS G XXXX: 2026

主编单位：交通运输部路网监测与应急处置中心

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：2026年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2019]22 号）的要求，由交通运输部路网监测与应急处置中心承担《公路资产管理系统技术规程》（以下简称“本标准”）的制订工作。

编写组基于公路资产关键技术的应用与发展，对公路资产管理系统的内涵、建立过程、方法、数据和应用等提出系统性的技术要求和指导性规定，完成了本标准的编写工作。

本标准分为 8 章、6 篇附录，主要内容包括：1 总则、2 术语、3 基本规定、4 数据管理、5 模型建立与应用、6 全资产管理、7 全生命周期设计、8 改进及评估，附录 A 公路综合资产管理常用模型、附录 B 路基资产管理常用模型、附录 C 路面资产管理常用模型、附录 D 桥梁资产管理常用模型、附录 E 隧道资产管理常用模型、附录 F 沿线设施资产管理常用模型。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本标准提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由交通运输部路网监测与应急处置中心负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或虞丽云（地址：北京市朝阳区安定路 5 号院外运大厦 A 座 21 层，邮编：100029；电话：010-65299190，传真：010-65299110；电子邮箱：289095023@qq.com），以便修订时研用。

主 编 单 位：交通运输部路网监测与应急处置中心

参 编 单 位：中公高科养护科技股份有限公司

招商局重庆公路工程检测中心有限公司

北京新桥技术发展有限公司

主 编：虞丽云

主要参编人员：程珊珊 黄祖慰 周志鸿 曹 江 曾知法 卢 杨

张 磊 张 晨 王 萍 王世伟 王超颖 周 雄
姚成睿 陈 卓 王 聪

主 审：李春风

参与审查人员：潘玉利 曹荣吉 金宏忠 吉 林 吴 刚 柏 强

征求意见稿

目 次

1 总则 1

2 术语 2

3 基本规定 4

 3.1 一般规定 4

 3.2 系统组成架构 4

 3.3 主要功能要求 4

 3.4 系统建立方法与过程 5

 3.5 基于风险的工作流程 7

 3.6 安全管理 7

 3.7 成果要求 9

4 数据管理 10

 4.1 一般规定 10

 4.2 路基 10

 4.3 路面 11

 4.4 桥梁 12

 4.5 隧道 12

 4.6 沿线设施 13

 4.7 风险管理 13

 4.8 公路综合 14

 4.9 系统成熟度评价 15

 4.10 资产价值评估 15

 4.11 全生命周期设计 16

 4.12 数据输出与交换 16

 4.13 数据展示 17

 4.14 用户权限管理 17

5 模型建立与应用 18

5.1 一般规定 18

5.2 交通量预测模型 18

5.3 技术状况评价模型 18

5.4 使用性能预测模型 19

5.5 需求分析模型 20

5.6 养护对策模型 21

5.7 优化排序模型 22

5.8 投资效益分析模型 23

5.9 风险评估模型 23

5.10 系统成熟度评估模型 24

5.11 资产价值评估模型 25

5.12 全生命周期劣化模型 25

6 全资产管理 26

6.1 一般规定 26

6.2 技术状况评价 26

6.3 性能预测与风险评估 26

6.4 投资效益与资金优化 26

6.5 养护规划与项目库 26

6.6 资产价值评估 26

7 全生命周期设计 28

7.1 一般规定 28

7.2 资源约束条件 28

7.3 养护方案设计及优选 28

7.4 全生命周期经济评价与效益分析 28

7.5 项目实施后评价 28

8 评估及改进 29

8.1 一般规定 29

8.2 不符合和纠正措施 29

8.3 预防措施	29
8.4 持续改进	29
附录 A 公路综合资产管理常用模型（资料性）	30
A.1 公路技术状况评价相关模型	30
A.2 公路养护资金需求分析相关模型	30
附录 B 路基资产管理常用模型（资料性）	39
B.1 路基技术状况预测模型	39
附录 C 路面资产管理常用模型（资料性）	40
C.1 路面养护方案及费用模型	40
C.2 路面长期性能预测常用模型	41
C.3 路面养护需求分析模型	42
C.4 路面预算分析模型	43
C.5 投资效益分析模型	44
C.6 资金优化分析模型	45
附录 D 桥梁资产管理常用模型（资料性）	47
D.1 桥梁长期性能预测常用模型	47
D.2 桥梁养护资金测算模型	47
D.3 桥梁养护决策多目标优化模型	51
附录 E 隧道资产管理常用模型（资料性）	54
E.1 隧道长期性能预测常用模型	54
E.2 隧道养护投资资金测算模型	54
E.3 隧道养护决策排序优化模型	61
附录 F 沿线设施资产管理常用模型（资料性）	63
F.1 沿线设施长期性能预测常用模型	63
本标准用词用语说明	64

1 总则

1.0.1 本规程旨在推动大数据、人工智能等前沿技术在公路资产管理中的深度应用，通过构建“数据驱动、智能预判、精准施策”的全流程信息化解决方案，规范基本规定、数据管理、模型建立与应用、全资产管理、全生命周期设计、评估及改进等内容，充分发挥信息化系统在公路资产管理决策中的核心工具作用。

1.0.2 本规程适用于高速公路以及普通国道、省道中四级及以上的公路养护运营期公路资产管理系统的建设与运行，县道、乡道和村道公路以及专用公路可参照执行。

1.0.3 本规程涵盖的系统管理对象主要包括路基、路面、桥梁、隧道及沿线设施等公路设施。

1.0.4 公路资产管理系统的建设与运行除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语

2.0.1 公路资产 road assets

对组织具有潜在或实际价值，预期能提供公众服务效能的公路基础设施实体。本规程中特指高速公路以及国道、省道中四级及以上的公路路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等。

2.0.2 公路资产管理 road asset management

系统地计划和安排一系列公路资产在全生命周期范围内的运营、养护、维修等活动，包括所有以满足公众或业主要求为目标，维护基础设施的活动。

2.0.3 公路资产管理系统 road asset management system

支持公路资产管理业务流程的软件、数据与管理程序的集合。该系统集成数据管理、性能预测、风险分析与养护决策等功能模块，主要用于开展基于风险管控的公路资产性能演化趋势预测，辅助制定科学的养护策略，并辅助安排、跟踪和管理具体养护工作。

2.0.4 公路路网级决策 network-level decision-making

针对特定行政管辖区域内的整个公路网技术状况，综合考虑养护资金预算上限、技术政策、风险管理及社会出行需求等因素，量化设定路网整体服务水平目标，在全网养护需求分析的基础上，统筹平衡并编制养护规划的过程。

2.0.5 公路项目级决策 project-level decision-making

针对路网级决策筛选并下达的拟实施养护工程的特定路段或独立设施，开展数据补充采集、病害详细调查与原因诊断分析等，在明确养护措施预期时效目标的前提下，经过资源配置多方案比选，确定年度养护工程计划以及最终推荐工程设计方案的过程。

2.0.6 风险管理 Risk management

对恶劣天气、交通、经济风险进行量化评估，并纳入决策框架，开展全生命周期规划、投资策略制定和风险管理的过程。

2.0.7 公路资产性能预测 road asset performance prediction

公路资产技术状况指标在时间、交通荷载、环境因素及不同养护对策下，未来一定分析期（通常不低于10年）内技术状况的变化趋势。

2.0.8 养护决策优化 maintenance decision-making

在给定资金预算、目标服务水平或风险容忍度的约束条件下，应用科学的分析手段与方法确定养护时机、养护位置和养护对策等信息，并制定养护规划和年度养护计划的活动。

2.0.9 养护投资效益 maintenance investment benefit

公路资产养护投资在技术状况改善、服务水平提升、预期寿命延长或运行风险降低等方面取得的综合技术效果。

2.0.10 系统成熟度评价 system maturity assessment

系统依据规定的指标和分级标准，自动核算数据质量合规率、性能预测准确率及计划执行一致率等客观运行数据，用以评估系统技术精度、决策效能以及日常业务应用深度的自我评价与改进机制。

2.0.11 全生命周期设计 life cycle design

针对公路基础设施单个资产或资产组，在其技术服役寿命特征与退化规律分析的基础上，统筹平衡日常维修、预防养护、修复养护及整体更换等不同阶段的干预策略组合，以最低长期管理成本或最优费效比达成既定服务水平目标的工程方案比选、设计与优化过程。

征求意见稿

3 基本规定

3.1 一般规定

- 3.1.1 系统应为基于数据驱动与模型支撑的软件信息化平台，系统设计应具备高可靠性、高安全性和良好的可扩展性。
- 3.1.2 系统按管理层级可分为路网级公路资产管理系统和项目级公路资产管理系统。
- 3.1.3 系统的管理对象应包含但不限于路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等公路基础设施。
- 3.1.4 系统可作为综合性管理平台，也可通过集成单一专业资产系统（如路面管理系统、桥梁管理系统等）的数据实现综合管理。
- 3.1.5 公路资产管理系统的数据元定义及编码应符合现行《交通信息基础数据元》（JT/T 697.2）的规定。
- 3.1.6 公路资产管理系统空间数据管理应符合统一的公路路线与桩号参照系标准，并满足路网里程桩号变更时的动态追溯与映射要求。
- 3.1.7 公路资产管理系统应具备标准化的数据接口与开放的输出功能，支持路况自动化检测数据的快速导入，并满足国家或行业关于政务信息资源共享、上级管理平台数据对接的规定。

3.2 系统组成架构

- 3.2.1 公路资产管理系统软件架构应采用高内聚低耦合的分层化、模块化设计。系统的总体架构应划分为数据层、模型层、分析层、结果层和展示层五个核心层级。
- 3.2.2 数据层作为系统运行的基础底座，应具备多源异构数据（含基础静态台账、动态检测数据等）的接入、整合、清洗、存储、调用及数据质量管控功能。
- 3.2.3 模型层包含系统的核心算法，应包含但不限于公路路基、路面、桥梁、隧道及沿线设施等资产的技术状况评价模型、性能衰变预测模型，以及用于支撑资金分配的多目标养护决策优化模型。
- 3.2.4 分析层主要实现各项管理业务的逻辑处理与推演。主要包括：开展资产技术状况的动态评价、中长期性能演化趋势预测、养护工程需求测算，以及不同资金与目标约束下的养护投资效益分析。
- 3.2.5 结果层应承接分析层的输出，固化并沉淀系统的核心决策产出。主要包括：生成年度养护计划、形成中长期养护规划建议，以及建立并实施动态跟踪管理的养护工程项目库。
- 3.2.6 展示层应作为系统与用户交互的可视化前端，具备基于地理信息系统（GIS）的空间地图展示及各类技术指标与决策分析图表、统计报表的生成与输出功能。

3.3 主要功能要求

3.3.1 数据管理功能

- a) 系统应具备公路基础设施动态数据和静态数据的分类管理功能。
- b) 系统应具备各类数据定期自动更新功能。
- c) 对于按单项公路资产（路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等）独立建立的管理系统，应预留标准化数据接口，支持与高级别、全资产的公路综合管理系统进行数据对接。
- d) 具有良好的交互性与扩展性，采用标准化数据结果，可方便进行新增、修改、删除、导入、导出、查看、分析等操作。
- e) 应建立数据质量管理体系，实现问题发现、跟踪、治理、评价的全流程闭环管理。
- f) 应建立包含数据架构管理、数据模型管理、数据标准管理、数据质量管理、元数据管理、主数据管理、数据安全管理和数据生命周期管理的数据管理体系。

3.3.2 资产技术状况评价功能

- a) 系统应能对公路资产当前技术状况和历史技术状况进行综合分析和评价。
- b) 公路综合技术状况评价应可计算公路网的公里路段技术状况，以及区域或路线整体的技术状况指标值，应可为公路技术状况评价和养护资金优化分配模块服务。

3.3.3 性能预测与模型管理功能

- a) 系统应具备长期使用性能预测功能，支持对路面、桥梁、隧道等核心资产的未来技术状况衰退规律进行模拟分析。
- b) 性能预测应支持“自然衰变”与“养护维修”等不同情景的推演，预测周期不应低于 10 年。

3.3.4 养护需求分析与养护决策功能

- a) 养护需求分析：系统应基于预设的服务水平目标及性能预测结果，测算分析期内不同养护对象的预防养护和修复养护需求，并测算相应的工程量与资金需求。
- b) 养护方案分析：系统应内置多目标优化排序算法。在养护资金受限条件下，应能基于养护决策目标（如性能增量最大、服务寿命最长或风险最小化）原则，形成决策分析期内养护工程项目和养护资金分配方案。
- c) 投资效益分析：系统应能分析不同养护资金投入水平对公路资产使用性能（或养护预期达成度）的影响，量化展示养护资金投入与养护预期效果之间的投入产出关系。

3.3.5 计划编制与项目库管理功能

- a) 系统应基于养护需求分析与养护决策功能，生成中长期养护规划及年度养护计划。
- b) 系统应具有养护工程项目库管理功能，可依据养护决策分析结果对项目库进行动态管理。

3.3.6 风险管理功能

- a) 系统应具备对资产失效风险、自然灾害风险等风险数据进行采集与分类管理的功能。
- b) 系统应内置风险评估模型，支持基于风险发生概率与致灾后果，自动评定各设施单元的综合风险等级。
- c) 系统应支持将量化风险评级作为控制变量引入资金优化排序引擎，为基于风险评估的基础设施全生命周期养护决策提供底层功能支撑。

3.3.7 全资产管理功能

- a) 系统应服务于公路网中长期战略目标的细化与任务分解，具备公路全资产长周期（不低于 10 年）使用性能演化趋势的推演预测功能。
- b) 系统应具备路网级养护投资效益分析与跨资产资金分配功能，支持在预算约束情景下，按投资效益最优原则在不同设施资产间统筹分配养护资金。
- c) 系统应具备滚动养护工程项目库管理与中长期规划动态编制功能。
- d) 系统应具备资产价值评估功能。

3.3.8 全生命周期设计功能

- a) 系统应承接全资产管理功能下达的建议项目库，并依据下达的战略目标与预算约束条件，开展单项基础设施工程方案的精细化设计与多方案技术经济比选。
- b) 系统应设置标准化接口用以导入专项补充检测调查数据，支持利用多源数据开展基础设施病害成因的精准诊断分析，并动态更新、细化下达的初步处治对策与资金规模。
- c) 系统应支持全生命周期费用分析，匹配各资产技术服役寿命特征，统筹平衡并折现不同生命周期阶段的差异化管养干预策略组合，并以全分析期内管理直接总费用净现值或等额年费用最小化作为方案优选的经济决策指标。

3.3.9 可视化展示与报告生成功能

- a) 系统应设置统一的展示平台，基于地理信息系统（GIS），实现各类公路资产空间分布的可视化展示和集成。
- b) 系统应提供标准化的分析报告模板，支持按年度（或自定义周期）为单位，自动生成涵盖资产指标分析、养护需求与计划建议的综合运行报告，辅助科学决策。

3.4 系统建立方法与过程

3.4.1 模型的建立方法

可选用结构化开发方法、快速原型法、面向对象的系统开发方法、面向数据结构的系统开发方法、面向问题的开发方法。

3.4.2 系统建立过程

- a) 系统的生存周期包括系统分析与软件定义、软件开发、系统运行与维护三阶段。
- b) 系统分析与软件定义阶段需完成系统建设项目建议书（如需要）、系统建设项目可行性研究报告、系统建设项目初步设计。
- c) 软件开发阶段需完成需求分析、概要设计、详细设计、编码与单元测试、组装与系统测试、安装与验收等工作。因系统建设工期等原因限制，在系统开发阶段至少应提交软件需求规格说明书、软件详细设计说明书、软件验证与确认计划、软件验证与确认报告、用户文档（手册或指南）及其他文档。
 - 1) 用户文档格式应满足现行《计算机软件文档编制规范》（GB/T 8567）有关规定。
 - 2) 其他文档应包括系统建设项目实施计划、项目进展报表、项目开发阶段的评审报表和项目开发总结。
 - 3) 系统在竣工验收前应完成。
- d) 系统运行与维护阶段需完成系统交工验收、系统竣工验收、系统应用及系统日常维护，可视情况开展系统运行及使用情况后评价。
 - 1) 系统建设项目交工验收及进行试运行前，建设单位应委托第三方机构进行软件测试、代码安全审计、信息资源目录合规性检测及网络安全等级保护测评。
 - 2) 系统建设项目竣工验收前，建设单位应委托第三方机构开展信息系统网络安全等级保护测评并进行备案，应委托第三方机构开展密码安全性评估。
- e) 系统建设应建立关键节点评审机制。在系统分析与软件定义阶段结束后、软件开发阶段结束后，以及系统试运行前，应组织包括建设、管理、技术、财务等方面专家的评审会，对系统可行性、设计合理性、功能完备性及文档规范性进行审查，并形成评审报告。

3.4.3 系统必要要素

- a) 系统的主要功能是实现 6 类数据集成应用，包括：路线信息集成应用、路面信息集成应用、构造物信息集成应用、交通信息集成应用、技术状况信息集成应用、评价决策信息集成应用。
- b) 系统数据范围应包括国家公路网基础数据、检测数据、监测数据、评价数据、决策数据，包括历史数据、现状数据和未来需求数据。
- c) 系统应具有性能预测模型、需求分析模型、养护对策模型、决策优化模型、投资效益分析模型。
- d) 可视化平台采用 GIS 地理信息技术，结合资产高清图像信息，为公路资产管理提供可视化集成与综合分析功能。
- e) 系统应包含路基管理、路面管理、桥梁管理、隧道管理、沿线设施管理等专项资产管理模块，基本功能应包括公路技术状况评价、公路技术状况性能预测、公路养护需求分析、公路中长期规划。

3.4.4 系统成熟度评价

- a) 公路资产管理系统应配套建立系统成熟度评价机制。系统建设与应用单位宜定期从数据管理、决策支持工具应用、业务流程融合及目标达成度等方面开展差距分析。系统成熟度评价结果应作为组织制定系统迭代升级计划、数据治理整改方案及下一年度养护决策参数标定的重要输入依据。
- b) 公路资产管理系统的成熟度应划分为 1 至 5 共五个级别，具体判定标准如下：
 - 1) 初始级：系统尚未建立或仅作为静态电子台账与报表工具使用。

- 2) 发展级：系统具备基础数据的标准化采集、存储与可视化展示功能，能够生成基于技术状况现状的评价结果。
- 3) 规范级：实现跨专业数据融合互通，具备可靠的中长期性能预测模型及基础的养护需求测算能力。
- 4) 优化级：基于数据的科学决策成为常态，全面应用多目标约束下的路网级养护资金优化分配算法。
- 5) 卓越级：系统深度融入组织的日常运行与战略决策中，系统的性能预测与决策算法具备基于实测数据的自适应校准与动态演进能力。

3.4.5 反馈与优化

系统应建立应用反馈与动态演进机制。在运行维护阶段，应定期收集养护工程实际执行效果与系统预测决策的偏差数据，利用实测闭环数据对底层算法模型进行持续迭代与优化。

3.5 基于风险的工作流程

基于风险评估的风险管理决策宜按照现有设施情况分析、风险源识别、风险暴露情况识别、设施性能评估、适应性方案制定与分析、养护方案确定等流程开展。工作流程见图1。

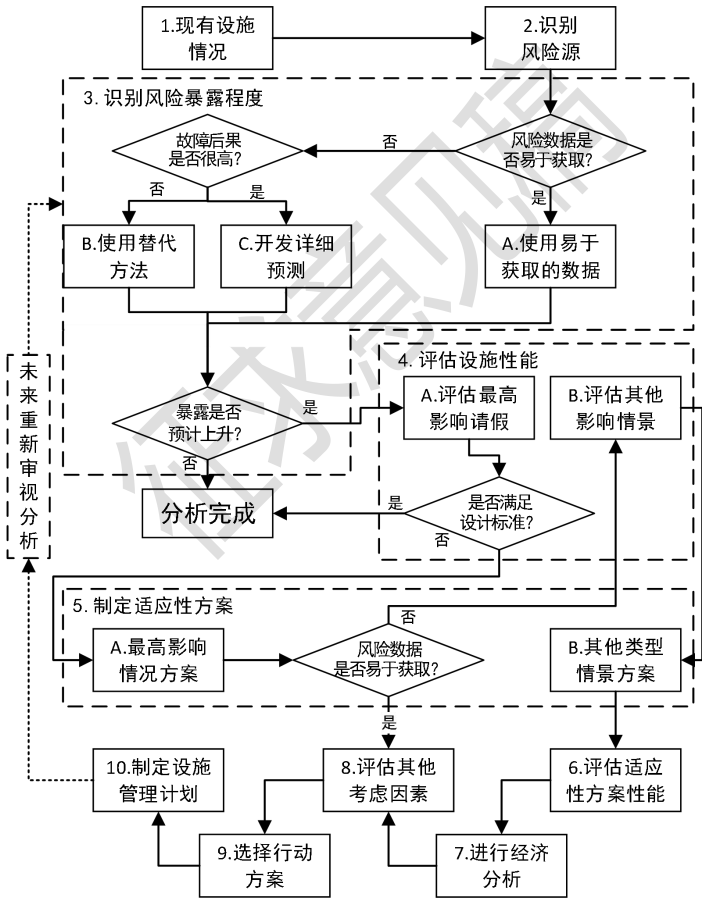


图1 基于风险的工作流程图

3.6 安全管理

3.6.1 一般规定

- a) 公路资产管理系统安全管理应涵盖软件、硬件、网络和管理层面，主要面向设备和计算机安全、应用和数据安全、网络和通讯安全、物理环境安全、密钥管理及制度等 7 个方面。

- b) 信息系统的设备和计算安全、应用和数据安全、网络和通讯安全、物理环境安全应符合现行《信息系统密码应用基本要求》(GM/T 0054)规定。
- c) 系统数据库应定期备份,每周至少一次本地备份,每月至少一次异地容灾备份,容灾备份数据保留时间不应少于3年。
- d) 系统应具有用户和权限分配功能,支持按角色进行菜单级与数据级的访问控制。
- e) 新建的信息系统,在取得项目可行性研究报告批复前,项目应用单位应会同有关部门按照网络安全等级保护制度组织定级评审,明确网络安全保护等级。信息系统网络安全保护等级分为第一级、第二级、第三级、第四级、第五级。
- f) 安全保护等级确定为第三级及以上的,项目建设单位要在项目可行性研究报告中明确密码应用保障方案,做到同步规划、同步建设、同步运行。
- g) 信息系统规划阶段,责任单位应按照现行《信息系统密码应用基本要求》(GM/T 0054)规定,依据密码相关标准,制定密码应用方案,并应委托测评机构进行密码应用方案评估。
- h) 信息系统开发阶段,责任单位应按照现行《信息系统密码应用基本要求》(GM/T 0054)规定,根据国家相关规定,制定密码实施方案。
- i) 责任单位应按照现行《信息系统密码应用基本要求》(GM/T 0054)规定,根据密码产品提供的安全策略,制定信息系统应急预案,做好应急处置。
- j) 新建系统应按照现行《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239)要求进行定级评审。等级保护第三级及以上信息系统在竣工验收前需通过信息安全风险评估、密码应用安全性评估,运行期责任单位每年也应委托密码测评机构开展密码应用安全性评估。
- k) 信息系统中涉及密码的部分,应使用国家密码主管部门认可或行业主管部门认可的密码算法、密码技术、密码产品和密码系统,且配置应与用户手册相符。
- l) 信息系统在详细设计阶段应完成安全总体方案,应制定安全管理制度、密钥管理制度等各种密码安全规章制度。
- m) 各等级保护的管理系统,密码运算和密钥管理应符合 xmxk 《密码模块安全要求》(GM/T 0028)的规定。

3.6.2 设备和计算安全

- a) 需对计算机信息系统设备实施安全保护,包括设备的防毁、防盗、防止电磁信号辐射泄漏、防止线路截获;对 UPS、存储器和外部设备的保护等。
- b) 密码产品包括服务器密码机、签名验签服务器、智能密码钥匙等均应获得国家密码管理局颁发的商用密码产品型号证书。
- c) 信息系统使用的密码算法均应为国密算法,不得使用国外密码算法。
- d) 应采用密码技术对登录的用户进行身份鉴别,应保证系统资源访问控制信息、重要信息资源敏感标记的完整性,应对重要程序或文件、日志记录进行完整性保护。
- e) 应使用密码技术的真实性功能,对登录的用户进行身份标识和鉴别。身份标识具有唯一性,身份鉴别信息应具有复杂度要求并定期更换。
- f) 对等级保护第二级及以上信息系统,在远程管理时,应使用密码技术的机密性功能来实现鉴别信息的防窃听。
- g) 公路资产管理系统应完成白盒测试与黑盒测试。

3.6.3 应用和数据安全

- a) 针对不同等级保护级别的信息系统,按要求采用密码技术保障重要数据在传输、存储过程中的机密性、完整性。
- 注:重要数据包括鉴别数据、重要业务数据、重要用户信息、重要审计数据、重要配置数据、重要视频数据等。
- b) 针对不同等级保护级别的信息系统,按要求采用密码技术对重要程序的加载和卸载进行安全控制。
 - c) 采用密码技术实现实体行为的不可否认性。

- d) 进行用户身份标识和鉴别时，应根据等保级别采用适宜的密码技术，实现身份鉴别信息的防截获、防假冒和防重用，保证应用系统用户身份的真实性。
- e) 应形成数据资产清单，对数据进行定级，明确数据定级的颗粒度，识别数据安全定级要素。

3.6.4 网络和通讯安全

- a) 网络和通讯安全密码应用应符合 GM/T 0054 要求。
- b) 应对不同安全等级保护的信息系统，分级采用密码技术，实现对连接到内部网络的设备进行安全认证、对通讯的双方身份进行认证、保证通讯过程中数据的完整性、保证通讯过程中敏感信息数据字段或整个报文的机密性、保证网络边界访问控制信息及系统资源访问控制信息的完整性，建立一条安全的信息传输通道，对网络中的安全设备或安全组件进行集中管理。

注：网络和通讯安全与媒体安全管理，目的是实现媒体数据的安全删除和媒体的安全销毁，防止媒体实体被盗、毁坏、霉变等。

3.6.5 物理环境安全

主要是对计算机信息系统所在环境的区域保护和灾难保护。要求计算机场地要有防火、防水、防盗措施和设施，有拦截、屏蔽、均压分流、接地防雷等设施，有防静电、防尘设备，温度、湿度和洁净度在一定的控制范围等。

- a) 物理和环境安全密码应用应符合现行《信息系统密码应用基本要求》（GM/T 0054）要求。
- b) 采用密码技术实现的电子门禁系统应遵循现行《采用非接触卡的门禁系统密码应用指南》（GM/T 0036）的要求。
- c) 对安全等级保护第三级及以上的信息系统应符合现行《信息系统密码应用基本要求》（GM/T 0054）要求，分级采用现行《密码模块安全要求》（GM/T 0028）规定的三级及以上密码模块或通过国家密码管理部门核准的硬件密码产品实现密码运算和密钥管理。

3.6.6 密钥管理

- a) 信息系统密钥管理应包括对密钥的生成、存储、分发、导入、导出、使用、备份、恢复、归档与销毁等环节的管理和策略制定全过程。
- b) 不同等级保护的信息系统密钥管理应符合现行《信息系统密码应用基本要求》（GM/T 0054）要求。

3.6.7 制度

不同等级保护的信息系统应按《信息系统密码应用基本要求》（GM/T 0054）的要求制定密码安全管理制度及操作规范、安全操作规范。

3.7 成果要求

3.7.1 成果报告应包含但不限于以下内容：

- a) 养护决策原则和依据。
- b) 各类设施技术状况评价与分析。
- c) 各类设施养护需求确定。
- d) 各类设施技术状况预测。
- e) 各类设施养护资金测算。
- f) 各类设施资金优化分配。
- g) 公路综合资金优化分配（全资产管理成果）。
- h) 模型后评估及优化。

3.7.2 成果报告宜包含但不限于以下内容：

- a) 针对设施的处治设计方案（全生命周期设计成果）。
- b) 资产价值评估报告。

4 数据管理

4.1 一般规定

4.1.1 公路资产管理系统的数据库应涵盖现状数据与历史数据，做到“一数一源、同数同源”，并按相关标准规范及系统应用需求进行定期更新。

4.1.2 系统数据库管理应制定详细的质量控制方案，在数据采集、处理与入库过程中建立数据库质量控制措施，以确保数据的真实性、准确性和一致性。

4.1.3 公路资产基础数据，应至少包含属性数据、交通数据、环境数据、技术状况数据、检测（监测）数据、养护历史数据、风险数据、决策数据等。

a) 属性数据：应包括路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等的静态基础信息数据。

注：公路综合数据指包含以上信息中2项及以上的公路资产。

b) 技术状况数据：应包括路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等的技术状况评定数据。

c) 检测（监测）数据：应包含日常巡查、经常检查与定期检查获取的病害数据；若按需开展了专项检查、应急检查、结构监测工作，则应同步包含由此产生的检测、监测数据。

4.1.4 交通数据：应包括车型组成、年平均日交通量（AADT）、轴重等交通量调查数据，以及年平均日交通量、交通量增长率、累计轴次等交通量统计数据。

4.1.5 环境数据：应包括气候变化信息（气象站数据）、年平均气温、年最高气温、年最低气温及年均降雨量、周边环境及水文地质等。

4.1.6 养护历史数据，应包括历次养护工程的养护时间、养护位置、养护方案、养护单位、养护费用、施工时间、质量验收结论等。

4.1.7 风险评估数据：应包括地质灾害隐患点、交通事故多发路段、应急保通路线数据等。

4.1.8 决策数据：应包括养护工程实施路段、维护投资策略、养护方案及养护费用等。决策数据应用又分为三个层级：基于路况水平的路网级决策和项目级决策、基于风险评估的风险管理决策、基于生命周期费用分析的决策。

4.1.9 当系统定位为公路综合资产管理系统时，应具备跨资产类别的数据管理能力，实现两项及以上单项资产在同一空间参照系下（如GIS或里程桩号等）的数据融合与交叉分析。

4.1.10 公路资产管理系统的数据库管理应划分明确的数据层级，以支撑多层级管养决策的横向统筹、纵向传导，数据层级应包含下列内容：

a) 路网级数据：应包括行政与技术标签、资产规模与现状台账、宏观技术状况统计特征、预算资金上限及路网中长期规划等数据，用以支撑路网级规划与宏观投资效益决策分析。

b) 项目级数据：应包括特定路段或各类设施的病害清单、补充检测数据、病害成因诊断及方案设施设计工程估算等数据，用以支撑项目级设计方案自动生成、全生命周期费用精算与后评价实施跟踪。

4.1.11 数据层级分类示例。

a) 路网级路面数据：路面损坏状况指数（PCI），路面行驶质量指数（RQI），路面车辙深度指数（RDI），路面跳车指数（PBI），路面磨耗指数（PWI），路面抗滑性能指数（SRI），路面结构强度指数（PSSI）。

b) 项目级路面数据：在路网级路面数据的基础上，增加气候环境、地质状况、交通状况、定位信息、路面结构、养护历史、经济参数等基础资料；路况踏勘、钻芯取样、材料试验等详细调查；FWD检测路面动态弯沉盆及回弹模量、GPR检测路面结构层厚度、结构内部缺陷及结构均匀性等辅助调查；DCP检测土基强度及路基各层模量、渗水试验检测结构排水性能等强度调查；裂缝率、修补率的路况指标等信息。

4.1.12 数据格式应包含字段名称、字段类型、大小、值域、单位、中文说明等。

4.1.13 各类设施技术状况及检测（监测）数据应能够自动同步到资产管理系统中。

4.1.14 系统应具备完备的数据资产管理功能，满足数据的增加、删除、修改、模糊查询、统计分析等要求。

4.2 路基

4.2.1 数据要求

- a) 路基属性数据：包括起讫桩号、路基边线、路基宽度、整桩路基横断面、排水系统类型、支挡防护类型、支挡防护尺寸、管养单位等；
- b) 路基技术状况数据：宜包括路肩病害、路堤与路床病害、边坡病害、防护及支挡结构物病害、排水设施病害等指标；
- c) 路基检测监测数据：检测数据应包括定期检查病害数据；若依据现行《公路养护技术标准》（JTG 5110）规定按需开展了专项检查或应急检查，则系统应包含相应的病害台账；结构监测数据宜包括路基沉降量、边坡侧向位移量及裂缝宽度、防护及支挡结构物的裂缝宽度及位移等。

4.2.2 数据获取

- a) 路基属性数据：主要通过人工调查方法结合内业资料梳理获取，宜优先通过建设期、运营期竣（交）工电子档案、历史养护工程竣工台账进行结构化提取与自动导入。
- b) 路基技术状况数据：宜采用人工调查与智能化检测设备相结合的方式采集。
- c) 路基检测监测数据：应按照现行《公路路基养护技术规范》（JTG 5150）的要求采集各类指标数据。对存在较大的病害隐患路段或高边坡重点监控路段，可根据需求安设监测设备，采用测量仪器、探测工具等，实现路基形态及病害发展数据的周期性或实时自动获取。

4.2.3 评价指标及方法

- a) 路基技术状况评定应符合现行《公路路基养护技术规范》（JTG 5150）的规定。
- b) 路基技术状况评定指标应至少包括公路路基技术状况指数（SCI）及以下分项指标：路肩技术状况指数（VSCI）、路堤与路床技术状况指数（ESCI）、边坡技术状况指数（SSCI）、防护及支挡结构物技术状况指数（RSCI）、排水设施技术状况指数（DSCI）。

4.3 路面

4.3.1 数据要求

- a) 路面属性数据：包括道路前方图像、路面破损、平整度、车辙、抗滑（磨耗）、弯沉和地理位置信息等。
- b) 路面技术状况数据：路面损坏状况指数（PCI）、路面行驶质量指数（RQI）、路面车辙深度指数（RDI）、路面跳车指数（PBI）、路面磨耗指数（PW）、路面抗滑性能指数（SRI）、路面结构强度指数（PSSI）。
- c) 路面检测监测数据：路面破损率（DR）、国际平整度指数（IRI）、车辙深度（RD）、路面磨耗率（WR）、横向力系数（SFC）、路面结构强度系数（SSR）。
- d) 路面评价及分析单元应支持动态划分。

4.3.2 数据获取

- a) 路面属性数据：主要通过人工调查结合内业资料梳理获取，宜优先通过建设期或运营期的竣（交）工电子档案、历史养护工程竣工台账进行结构化提取与自动导入；
- b) 路面技术状况数据：宜按照现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）的要求采集各类路面性能检测数据，宜采用自动化的快速测试方法，自动化检测设备的性能要求应符合现行《多功能路况快速检测设备》（GB/T 26764）规定，其采集方法及数据质量控制应按现行《公路路面技术状况自动化检测规程》（JTG/T E61）规定执行。

注：道路前方图像检测满足现行《多功能路况快速检测设备》（GB/T 26764）要求；路面破损、路面平整度、路面车辙检测满足现行《多功能路况快速检测设备》（GB/T 26764）、《公路路面技术状况自动化检测规程》（JTG/T E61）、《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450）规范要求；路面抗滑检测、路面弯沉检测满足现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）规范要求；地理位置信息检测技术满足现行《多功能路况快速检测设备》（GB/T 26764）规范要求。

4.3.3 评价指标及方法

- a) 路面技术状况评定，各地可根据实际情况，可采用但不限于现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）规定的指标对数据进行准确性和一致性校验。
- b) 路面技术状况评定指标应至少包括路面技术状况指数（PQI）及以下分项指标：路面损坏状况指数（PCI）、路面行驶质量指数（RQI）、路面车辙深度指数（RDI）、路面跳车指数（PBI）、路面磨耗指数（PDI）、路面抗滑性能指数（SRI）及路面结构强度指数（PSSI）等。
- c) 平整度数据处理软件中的 IRI 的算法宜采用国际通用的 1/4 车模型。
- d) 车辙数据处理软件中的路面车辙深度计算方法宜采用直尺法。

4.4 桥梁

4.4.1 数据要求

- a) 桥梁属性数据：应至少包含《公路养护统计调查制度》中“表九 公路桥梁明细表”中所列数据。常见属性数据，如桥梁名称、路线编号、起讫桩号、桥梁位置、桥梁类型、跨径组合、桥梁尺寸、通车时间、桥梁结构信息、材料信息、管养单位信息等。
- b) 桥梁技术状况数据：应包括桥梁全桥总体、桥面系、上部结构、下部结构以及各关键部件、构件的技术状况评定等级及评分。
- c) 桥梁检测监测数据：应包含经常检查、定期检查获取的构件病害数据；若依据规范按需开展了特殊检查或部署了结构监测，则系统应同步包含无损检测报告、静动力荷载试验数据以及结构应力、应变、挠度、索力、振动频率等监测数据。

4.4.2 数据获取

- a) 桥梁属性数据：桥梁属性信息主要通过人工调查结合内业资料梳理获取；宜优先通过建设期或运营期的竣（交）工电子档案、桥梁工程信息模型（BIM）进行结构化提取与自动导入。
- b) 桥梁技术状况数据：宜采用人工调查结合智能化检测方法和设备的方式进行采集。采集方法及数据质量控制应按现行《公路桥涵养护规范》（JTG 5120）和《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）规定执行。
- c) 桥梁检测监测数据：检测数据应按现行《公路桥涵养护规范》（JTG 5120）规定的频次进行采集；在原始病害识别阶段，宜积极探索应用无人机、三维激光扫描等智能化装备；对于特大桥或特殊结构桥梁，按需部署结构监测系统获取实时传感数据。数据质量控制应符合现行《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）的相关要求。

4.4.3 评价指标及分析

- a) 公路桥梁技术状况评定可采用但不限于《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）和现行《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）规定的指标、内容及方法。
- b) 桥梁技术状况评定应包括桥梁构件、部件、桥面系、上部结构、下部结构和全桥评定；评定指标应至少包括桥隧构造物技术状况指数（BCI）及以下一项或多项分项指标：分项桥面系技术状况（BDCI）及其各部件/构件技术状况（DCCI/DMCI），桥梁上部结构技术状况（SPCI）及其各部件/构件技术状况（PCCI/PMCI），桥梁下部结构技术状况（SBCI）及其各部件/构件技术状况（BCCI/BMCI）。

4.5 隧道

4.5.1 数据要求

- a) 隧道属性数据：应至少包含《公路养护统计调查制度》中“表十 公路隧道明细表”中所列数据。常见属性数据，如隧道名称、路线编号、起讫桩号、隧道位置、隧道类型、通车时间等基础数据，施工方法、断面形式、衬砌类型、路面结构等结构数据，土建结构、机电设施和其他工程设施配置，养护等级、管养单位等。

- b) 隧道技术状况数据：应包括隧道总体、土建结构、机电设施、其他工程设施的技术状况等级及评分。
- c) 隧道检测监测数据：对于土建结构及其他工程设施，应包含各分项病害的类型、位置、尺寸等；机电设施，应包含各设施故障的问题、位置、参数（如照度、风速、CO 浓度、接地电阻值）等。若部署了隧道结构监测系统，则应包含周边收敛变形、拱顶下沉、衬砌内部应力/应变、地下水渗流压力等监测数据。

4.5.2 数据获取

- a) 隧道属性数据：主要通过人工调查结合内业资料梳理获取；宜优先通过建设期或运营期的竣（交）工电子档案、隧道工程建筑信息模型（BIM）进行结构化提取与自动导入。
- b) 隧道技术状况数据：宜采用人工调查结合智能化检测设备的方式进行采集。采集方法及数据质量控制应按现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）规定执行。
- c) 检测与监测数据：检测数据应按现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）规定的频次进行采集；定期检查及专项检查宜积极引入地质雷达（GPR）、三维激光扫描仪、多功能快速检测车等无损探测装备；机电设施运行参数可通过现场布置的物联网（IoT）传感器与监控平台接口周期性自动获取。数据质量控制应符合现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）的相关要求。

4.5.3 评价指标及方法

- a) 隧道技术状况评定可采用，但不限于现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）和《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）规定的指标、内容及方法。
- b) 隧道技术状况评定应包括隧道土建结构、机电设施、其他工程设施技术状况评定和总体技术状况评定。评定指标应至少包括总体技术状况（BCI）。各专业技术状况：土建结构技术状况（JGCI）及其对应的分项状况值（JGCI_i）、机电设施技术状况（JDCI）及其对应的分项状况值（E_i）、其他工程设施技术状况（QTCI）及其对应的分项状况值（QTCI_i）。

4.6 沿线设施

4.6.1 数据要求

- a) 沿线设施属性数据：应包括沿线各类设施（设施应包括公路交通安全设施、服务设施、管理设施等）的路线编号、起讫桩号、设施类型、通车时间及管养单位等。
- b) 沿线设施技术状况数据：应包括沿线各类设施总体技术状况评分及分项的损坏状况。

4.6.2 数据获取

- a) 沿线设施属性数据：主要通过人工调查结合内业资料梳理获取；宜优先通过交安工程或机电工程的竣（交）工电子档案、公路地理信息系统（GIS）资产库进行结构化批量导入；也可采用移动设施测量车，以车载遥感的方式，实现对公路及公路两旁地物的空间数据、属性数据的快速采集。
- b) 沿线设施技术状况数据：宜采用人工调查结合智能化检测设备的方式进行采集，采集方法及数据质量控制应按现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）规定执行。

4.6.3 评价指标及方法

- a) 设施技术状况评定可采用但不限于现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）规定的指标、内容及方法。
- b) 设施技术状况评定指标应至少包括沿线设施技术状况指数（TCI）指标及其下设施取值（GD_{ITCI}）。

4.7 风险管理

4.7.1 数据要求

风险要素应至少包含资产失效风险、自然灾害风险两大维度。

- a) 资产失效风险：聚焦公路实体资产（如路面、桥隧结构）因性能退化、材料老化或疲劳导致的突发性或渐进性失效概率数据。
- b) 自然灾害风险：涵盖极端气象（如特大暴雨、冰雪冻融、强风）及地质灾害（如滑坡、泥石流）的发生频率与预警数据，以及系统路网在遭遇此类不可控事件时的空间暴露度与脆弱性（如缺乏绕行条件的要道）数据。

4.7.2 数据获取

- a) 系统宜建立标准化的数据接口（API），对接气象部门（灾害预警）、自然资源部门（地质灾害点）及交管部门（事故与流调台账），获取致灾因素与可能性数据。
- b) 系统应建立并动态维护风险辨识手册，结合历年公路水毁、灾毁等历史台账，追踪记录识别出的具体风险源、潜在后果、当前状态及缓解措施。
- c) 公路灾毁信息调查及统计信息、恶劣天气高影响路段信息应按照《公路灾害预警与应急信息管理要求》（JT/T 1570）采集。
- d) 系统应根据动态生成的综合风险等级，自动触发并提示修改人工巡查与设备检测的频次。对风险评级升高的路段或结构物，缩短其检测、监测周期。

4.7.3 评价指标及方法

- a) 系统应内置标准化的风险评估算法模块。单项资产的风险值（Degree/Risk Level）定义为风险发生概率（Likelihood）与风险后果严重程度（Consequence）的乘积。致灾后果维度应综合量化评估对生命安全、路网通行性（通行延误）及物理修复成本的负面影响。
- b) 系统应具备风险评估辅助模块，推演单项资产（如关键桥隧）因风险事件失效后，对路网整体通行能力产生的断崖式影响程度。

4.8 公路综合

当公路资产管理系统集成路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施中两项及以上的专业资产模块时，即构成公路综合资产管理系统。系统不仅应满足各单项资产的独立管理要求，更须实现跨专业的数据融合、协同获取与综合评价，为全局养护决策提供统一支撑。

4.8.1 数据要求

- a) 综合系统的数据字典应全面涵盖所包含的各项专业资产模块（详见 5.2.1 至 5.7.1 节）的属性数据、技术状况数据、检测监测数据及风险管理数据。
- b) 系统应具备跨专业数据字典与唯一标识映射机制。路基、路面、桥梁、隧道及沿线设施的数据必须在同一空间基准（如统一的路线编号、起讫桩号或国家大地坐标系）下实现时空对齐与数据挂接。

4.8.2 数据获取

- a) 各类单项属性数据、技术状况数据、检测监测数据的获取途径与质量控制要求，应严格遵从相应专业小节（5.2.2 至 5.7.2 节）的规定。
- b) 综合管理系统应建立统一的数据总线或标准接口（API）。系统平台应能调用、抓取和汇集各单项资产系统的数据字典与分析处理结果，实现跨业务板块的数据复用。

4.8.3 评价指标及方法

- a) 各单项公路资产的技术状况评价指标、算法，应遵从相应专业小节（5.2.3 至 5.7.3 节）的规定计算并输出。
- b) 系统应内置基于现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）的公路技术状况指数（MQI）计算模型，基于路面（PQI）、路基（SCI）、桥隧构造物（BCI）及沿线设施（TCI）的单项评价得分，按规定权重进行自动加权测算。

- c) 在综合技术状况评价结果的基础上，系统应为后续的多目标决策框架提供数据与计算入口，支撑在同一平台内开展跨资产类别的综合养护决策分析，包括但不限于养护需求分析、长期性能预测、养护预算分析、养护投资效益分析、养护资金优化分配等。

4.9 系统成熟度评价

4.9.1 数据要求

- a) 资产基础数据：应包括属性数据、交通数据、环境数据、技术状况数据、检测（监测）数据、养护历史数据、风险数据的时空覆盖率、底层数据准确性与一致性的自动化校验结果；
- b) 决策应用数据：应包括系统中长期性能预测模块与养护对策情景模拟模块的调用频次、核心预测算法模型（如马尔可夫链、衰变曲线等）参数基于本地历年实测数据的定期校准与拟合记录；
- c) 计划执行数据：应包括系统预设服务水平与实际路况检测结果的对比偏差数据；以及系统生成的推荐年度养护计划，与实际下达的养护工程立项清单的匹配度与执行偏差记录，参数包括但不限于养护工程项目数量与预算分配。

4.9.2 数据获取

- a) 数据校验通过率，模型算法调用频次、拟合记录等客观软件运行指标，应由系统底层的审计模块与数据质量核验中间件常态化自动生成并统计；
- b) 决策计划执行数据应依托标准化软件接口协议，定期从公路养护工程项目管理系统或养护计划下达系统中自动抓取，实现算法推荐计划与工程执行计划的数据比对。

4.9.3 评价指标及方法

- a) 数据质量合规率：通过标准校验规则的底层资产数据记录数/管辖路网总数据记录数 $\times 100\%$ 。
- b) 性能预测准确率： $1 - (\text{实际检测的路况状况指数} - \text{系统早期演化预测值}) / \text{实际检测的路况状况指数} \times 100\%$ 。
- c) 计划执行一致率：实际按系统推荐方案立项的养护工程项目库金额/系统当年输出的最优推荐计划总金额 $\times 100\%$ 。

4.10 资产价值评估

4.10.1 数据要求

- a) 资产基础数据：应包括经校验的各类设施的基础属性、技术状况、养护历史以及风险管理数据，用以作为编制资产清单的底层基础。
- b) 资产初始价值数据：应获取依据国家行政事业性国有资产管理规定或现行会计准则确定的公路基础设施资产初始建造重置成本或历史入账价值的数据。
- c) 资产分类核算信息：应根据技术特征与服役周期将设施划分为两类：一类为使用寿命有限、到期后必须进行资本性整体更换的资产；另一类为通过采取适当的资本性维护措施，能够长期或无限期维持其公共服务性能的长期资产。

4.10.2 数据获取

- a) 基础数据的获取途径与质量控制要求，应遵从相应专业小节（5.2.2 至 5.7.2 节）的规定。
- b) 资产消耗数据应通过系统常规计提的资产折旧和减值进行衡量。
- c) 折旧后重置成本（DRC）应通过资产重置总成本减去累计折旧和累计减值损失进行计算，该数值与账面净值等同，可来源于财务报表。
- d) 资产重置总成本（GRC）应根据现有公路网组成部分的公路资产，在当前建设与采购市场价格水平下，完全更换为现代等效资产所需的全部允许费用。

- e) 资产减值数据应采集由于极端自然灾害、突发性物理失效等不可预见因子引起的基础设施非周期性价值损耗，该损耗应能精准反映资产技术性能较先前评估水平的突然骤降，且尚未通过周期性折旧予以确认。
- f) 现代等效资产（MEA）应为能够提供与现有资产相同潜在收益、同时充分考虑最新技术发展的资产。

4.10.3 评价指标及方法

- a) 资产重置总成本（GRC）的评估应采用重置成本法。系统应支持将路基、路面、桥梁、隧道及沿线设施等单项资产，分别核算其当前工程物理规模与最新材料工艺约束下的现代等效资产（MEA）市场综合单价的乘积之和。
- b) 折旧后重置成本（DRC）的评估应内置“常规价值折旧”与“突发技术状况减值”复核模型，并应符合下列规定：
 - 1) 价值折旧应根据各类设施的法定期限或预计可使用寿命，结合投产年限按时间维度进行折旧计提。
 - 2) 状况减值应与第六章建立的技术状况劣化模型（如 PCI、BCI、TCI 等指数）实施自适应标定联动，将由于长期服役劣化引起的实体状况耗损实时折算为非周期性状况减值损失。
 - 3) 系统输出的折旧后重置成本（DRC）技术数值，应支持与管养机构财务系统中的资产账面净值、累计折旧及减值损失准备进行横向联动核验与数据复核，保障实物资产数据账实相符。

4.11 全生命周期设计

4.11.1 数据要求

- a) 基础数据集：应包含各项专业资产模块（详见 5.2.1 至 5.7.1 节）的属性数据、技术状况数据、检测监测数据、风险管理数据和价值评估数据（详见 5.10 节）。
- b) 日常养护数据：应包含各类设施日常养护的施工方案、历史实施频次及综合单位养护费用数据。
- c) 历史维修数据：应包含历次预防养护工程、修复养护工程和周期性维护的工程量清单（明确涵盖施工空间位置、几何尺寸、决算费用）。
- d) 养护维修方案选择：应内置不同技术状况退化边界的备选维修处治方案、方案实施后的预期使用寿命延长年限以及工程费用清单。

4.11.2 数据获取

- a) 基础数据的获取途径与质量控制要求，应严格遵从相应专业小节（5.2.2 至 5.7.2 节）的规定。
- b) 系统应能自动汇聚各专业资产模块中的日常养护方案及费用、养护工程方案及费用数据。
- c) 系统应建立养护成效长效跟踪反馈机制，通过提取已实施方案路段或设施处治前后的技术状况变化情况，标定和更新不同维修方案的实际性能修复成效。

4.11.3 评价指标及方法

- a) 在制定生命周期设计之前，应评估现有数据的可靠性、质量及数量（包括基础数据及历史维修方案的养护成效）。
- b) 全生命周期设计应随着新入账资产的数据录入、基础数据的定期更新以及养护后评价效果的结果进行常态化修订与模型更新。
- c) 当组织的资产管理战略或政策发生变更时，应同步对全生命周期设计的数据规划与推演规则进行审查与修正。

4.12 数据输出与交换

4.12.1 报表自动生成与导出

系统应支持按照国家或行业主管部门的现行标准格式，自动汇总并分类导出各类专业监测报告与统计报表，支持主流文档格式输出。

4.12.2 跨域系统对接能力

公路资产管理系统应预留标准数据接口，具备与外部高层级行业管理系统的双向对接与数据获取能力，对接范围宜包括但不限于公路网地理信息系统数据、全国公路统计数据、收费公路统计数据、历年国家干线公路网监测数据、各级公路网基础数据及检测评价系统。

4.13 数据展示

系统宜根据不同的保密级别及管理层级，分类汇总并展示数据结果。

4.13.1 展示数据范围

- a) 管辖范围内公路网地理信息系统数据宜包括路线名称、路线编码、起点桩号、终点桩号、路面类型、技术等级、里程桩经度、纬度等。以上数据覆盖我国 31 个省（自治区、直辖市）的所有国、省干线公路；
- b) 管辖范围内公路养护统计数据，宜涵盖管辖范围内国省道的公路、桥隧、路况、灾毁、工程等养护统计数据表，各类表的统计表的主要数据如下：公路路线基本情况明细数据：路线编号、所在行政区划代码、路线名称、路段起止名称、路段起止桩号、里程、技术等级、车道数量、面层类型、路基宽度、路面宽度、面层厚度；
- c) 公路技术状况检测评价数据，宜集成展示 5.2 至 5.6 节规定的路基、路面、桥梁、隧道及沿线设施技术状况检测评价数据，以及未来演化趋势曲线。

4.13.2 可视化平台

- a) 数据要求：路况可视化应基于道路景观图像、路面图像、桥隧构造物图像等，实现与路段属性数据、交通数据、病害数据、路况评价数据、养护决策数据等的集成和联动；
- b) 应用要求：路况可视化应用应基于地理信息系统（GIS）底层架构进行开发，可支持主流的 WebGIS 引擎及空间数据发布服务；
- c) 管理要求：路况可视化应满足公路资产寿命周期的时序数据管理需求，实现同一空间位置（桩号）历史数据及图像的追溯与对比。

4.14 用户权限管理

4.14.1 系统应建立分级分类的用户权限管理机制，明确各类用户的操作范围与数据访问边界。

4.14.2 系统权限应依据数据全生命周期进行分级细化，覆盖数据录入、分类、分析、输出交互及展示等全过程，并实现各环节操作权限的独立管控。

4.14.3 系统应支持基于角色的权限分配，依据用户岗位职责分配数据操作权限，确保关键数据操作可追溯、可审计。

4.14.4 系统应提供用户账号的注册、变更、注销功能，确保用户权限与人员岗位变动实时同步。

5 模型建立与应用

5.1 一般规定

5.1.1 公路资产管理系统中，应包含但不限于交通量预测模型、技术状况评价模型、性能预测模型、需求分析模型、养护对策模型、优化排序模型、投资效益分析模型、风险评估模型、系统成熟度评估模型等。

5.1.2 系统应针对路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等专业特征，分别建立独立的底层分析模型。综合管理系统应支持基于公路网综合技术状况（MQI）的跨资产统筹决策。

5.1.3 各模型间应建立标准化的数据接口。系统应确保评价与预测模型的输出结果，可直接作为需求分析、对策匹配及优化决策等关联模型的输入变量，实现多模型数据联动。

5.1.4 模型应具备参数调整功能，动态优化模型关键参数，规范参数取值与更新周期。

5.1.5 应对各类模型按不低于每两年一次的标准进行定期校核、标定、修正与更新，提高模型精度与本地适用性。

5.1.6 模型的建立方法有决策树法、决策表（决策矩阵）法、数学规划法、模糊变换法和神经网络法等。

5.1.7 本规程中各类模型更多地适用于路网级管理系统。

5.2 交通量预测模型

5.2.1 一般规定

- a) 系统应建立交通量预测模型，应具备交通量的演变预测功能。
- b) 交通量预测模型应以路线或地区为基本分析单元，支持年平均日交通量（AADT）、交通量增长率及各类车型组成比例的动态预测。

5.2.2 技术要求

- a) 应合理划分交通量预测区间，确保在同一区间交通流量、车辆组成及道路物理结构基础一致。
- b) 系统应具备稳定的多源交通量数据接入能力，并应内置自动化数据质量校验与清洗算法，保证数据的准确性。
- c) 当交通量数据颗粒度不满足区间划分颗粒度要求时，缺少交通量数据的区间宜采用相邻正常区间中交通量较大侧的数据。
- d) 交通量数据的分析，宜考虑区域经济需求以及路网变化引发的交通吸引、转移等因素。
- e) 交通量预测可采用但不限于遗传算法、神经网络、支持向量机、灰色理论等预测算法。

5.2.3 数据来源

- a) 预测模型的历史基准数据宜优先采用符合国家及行业标准的自动化设备采集数据；
- b) 对于普通干线公路，可采用连续不少于3年的交调站实测数据或历年区间交通量统计数据；
- c) 对于高速公路，可直接采用ETC门架收集的流量数据。

5.3 技术状况评价模型

5.3.1 一般规定

- a) 系统应具备内置标准化的设施技术状况评价模型，基于5.2至5.6数据及评价方法，实现对路基、路面、桥梁、隧道及沿线设施当前技术状况及各分项指标的自动计算；
- b) 模型计算的基础评定单元应符合现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）、《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）、《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）、《公路路基养护技术规范》（JTG 5150）等各专业强制性标准要求；当路面类型、交通量等级、道路宽度或管养权属发生变化时，系统应支持动态划分与截断评定单元。

5.3.2 技术要求

- a) 系统应具备基于底层病害与检测数据，自动化计算路面、桥梁、隧道及沿线设施技术状况得分及其各分项指标的功能，在此基础上自动计算路网综合技术状况指数（MQI）；
- b) 系统应具备按行政等级、技术等级、管养单位等多维度标签进行交叉汇总与分类统计的功能；
- c) 模型应支持输出不同尺度下的路网统计特征，基于评定得分自动分类并计算路面优等路率、优良路率、次差路率，桥梁、隧道 1 类、2 类率等宏观考核指标；
- d) 系统应具备跨年度技术状况评定结果分析功能，支持历史评定结果的时序比对分析。

5.3.3 数据来源

- a) 评价模型的底层输入数据应优先来源于符合行业标准标定的多功能自动化检测设备采集数据以及桥梁、隧道定期检查结果台账；
- b) 输入系统的底层病害数据应具备明确的空间坐标属性（如路线起讫桩号、经纬度）与时间戳记录。

5.4 使用性能预测模型

5.4.1 一般规定

- a) 系统应建立中长期使用性能预测模型。模型应以技术状况评价模型（6.3 节）的输出结果为初始状态，推演未来不低于 10 年的公路路网整体（MQI）及各单项资产性能的性能衰变趋势。
- b) 系统内置的使用性能预测模型算法可包含但不限于确定型预测模型、概率型预测模型、物理力学模型及人工智能模型等。
- c) 应建立相应路网 MQI 的性能预测模型，宜支持按不同公路行政等级、技术等级、不同区域、不同类型资产等因素进行预测。
- d) 项目级技术状况预测模型应建立研究对象所对应的确定性预测模型。
- e) 预测分析结果应为各单项资产的养护需求分析模型（6.5 节）和养护对策模型（6.6 节）提供底层的性能演化数据支撑。
- f) 系统必须具备预测模型参数的自适应更新功能。预测值应与历年实测技术状况数据形成闭环比对校验；依据现行《公路养护决策技术规范》（JTG/T 5310）的规定，模型参数的自动化更新与标定频率应不低于每两年一次。

5.4.2 技术要求

- a) 路基性能预测应建立路基使用性能预测模型。
 - 1) 预测指标应涵盖现行《公路路基养护技术规范》（JTG 5150）规定的路基技术状况指数（SCI）的变化趋势。
 - 2) 模型应基于本区域历年技术状况调查数据和路基病害类别统计，进行病害特征、成因等维度的分析，宜结合交通数据、环境数据等，进行路基技术状况主要影响因素的研判，应具备对未来病害较集中路段的自动化识别与空间落图功能。
- b) 路面性能预测应建立路面使用性能预测模型。
 - 1) 路面长期使用性能预测应符合《路面管理系统技术要求》（GB/T 32233）的要求。预测指标宜涵盖现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）规定的路面技术状况评定指标和路面损坏指标。
 - 2) 路面使用性能预测模型一般分为确定型、概率型模型以及机器学习类模型，可按现行《公路沥青路面养护设计规范》（JTG 5421）附录 C 选用。
 - 3) 确定型预测模型可采用力学模型、力学经验模型、机理经验模型、回归分析模型等，模型应符合公路基础设施的衰变规律，利用历史数据提炼路面等技术状况与影响变量间的统计拟合，模型形式可采用直线型、负指数、幂指数等。
 - 4) 概率型预测模型可采用马尔可夫模型（详见附录 C）、灰色理论模型等，一般情况下宜用马尔可夫预测模型，利用状态转移概率矩阵分析路面技术状况变化规律。分析时应包含定义状态空间、确定初始状态、计算概率转移矩阵、计算未来路网技术状况概率分布等

步骤，模型应考虑路面面层类型（包含但不限于沥青路面和水泥路面）、面层厚度、路龄、交通量等。

- c) 桥梁性能预测应建立桥梁使用性能预测模型。
 - 1) 预测指标应涵盖 JTG/T H21 规定的桥梁技术状况评价等级（1 类～5 类）的变化趋势。
 - 2) 桥梁技术状况分析模型可通过结构退化的历史统计数据的时间序列预测方法来预测结构将来的状态，也可通过分析桥梁技术状况变化相关的因素、模拟结构各因素退化的时变情况，预测结构的状态。
 - 3) 预测模型可以为物理力学模型、确定型模型（直线外推、回归分析等）、概率型模型（概率分布、灰色预测、马尔可夫（见附录 D）等）、人工智能模型（专家系统、神经网络、事例推理等）等。
 - 4) 桥梁劣化模型应支持线性或非线性的结构退化模拟，应考虑桥梁结构形式、桥梁的内部损伤（包括但不限于施工材料质量、运营时结构的疲劳损伤、钢筋锈蚀等）以及桥梁外部（包括但不限于交通量、车辆荷载变化、气候条件等）等桥梁劣化影响因素。
- d) 隧道性能预测应建立隧道使用性能预测模型。
 - 1) 预测指标应涵盖现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）规定的隧道技术状况评价等级（1 类～5 类）的变化趋势。
 - 2) 隧道的总体技术状况评定采用分层综合评定与隧道单项控制指标相结合的方法，取土建结构和机电设施两者中最差的技术状况类别作为隧道总体技术状况的评定结果。
 - 3) 预测模型可以为物理力学模型、确定型模型（直线外推、回归分析等）、概率型模型（概率分布、灰色预测、马尔可夫（见附录 E）等）、人工智能模型（专家系统、神经网络、事例推理等）等。

5.4.3 数据来源

- a) 预测模型的基准输入数据必须经过严格校核，应至少包含 5～10 年的设施技术状况历史评定数据。
- b) 模型的运行应动态调用交通量预测模型（6.2 节）输出的预测数据，并宜关联历史养护工程台账与区域气象环境参数等外部变量进行分析。

5.5 需求分析模型

5.5.1 一般规定

- a) 系统应建立养护需求分析模型，模型应基于使用性能预测模型（6.4 节）推演的未来技术状况，通过比对设定的养护工程阈值与养护决策目标，自动化识别公路资产的各类养护需求并生成待处治清单，如“养护工程需求清单”。
- b) 养护需求分析模型应全面覆盖公路整体路网，并能独立设定路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等分项设施的养护需求。

5.5.2 技术要求

- a) 系统应支持基于经济水平与资金约束，多情景设定差异化的养护决策目标，宜包含但不限于：最优服务目标（追求最佳效益与通行能力，路况显著提升）、适度发展目标（兼顾资金约束与效益，路况略有提升）及最低服务目标（严重资金受限下的底线维持策略）。

注：养护决策目标应不低于现行国家和行业标准规划纲要等文件要求；养护决策目标不宜低于当前公路技术状况水平；在缺少相关要求的情况下，养护决策目标取值可参考现行《公路养护决策技术规范》（JTG/T 5310）附录 A。

- b) 应根据长期使用性能、交通组成、行驶速度和各项寿命周期费用，确定各路段最佳养护方案、经济效益、费用节省及改变设施养护方案或养护时间所增加的养护费用，进行不同目标、不同方案下全生命周期费用分析（LCCA）。

- c) 系统应支持灵活设定各设施单项或综合指标的养护工程阈值（分为预防养护阈值和修复养护阈值）。养护工程阈值设定要求应符合现行《公路养护决策技术规范》（JTG/T 5310）规范第5.3节要求。
 - d) 需求分析模型应支持基于不同目标时间跨度的动态测算，可输出对应短期（时间跨度宜为1~5年）、中期（时间跨度宜为5~10年）及长期（时间跨度宜大于10年）的阶段性养护需求清单。
 - e) 路基养护需求分析。
 - 1) 应通过对比路基技术状况指数（SCI）预测值与养护目标阈值的差距，判别薄弱环节并生成养护需求。
 - 2) 对现状或预测路基技术状况指数（SCI）为0的路段（如严重结构性损毁、边坡失稳的高风险路段等），系统应触发修复养护优先需求。
 - f) 路面养护需求分析。
 - 1) 路面养护需求分析年限应不小于5年，宜采用10年期的长期演化对比分析。
 - 2) 当路段未来任一年份的路面技术状况指数（PQI）或分项指标（如PCI、RQI等）衰减至设定的养护目标阈值以下时，系统应自动将该路段纳入对应年份的路面养护需求清单。
- 注：路面预防养护阈值可参考现行《公路养护决策技术规范》（JTG/T 5310）规范中表5.3.2-1和表5.3.2-2取值，修复养护阈值应不低于《公路养护技术标准》（JTG 5110）第5.2.2条的规定。
- g) 桥梁、隧道养护需求分析。
 - 1) 模型应基于结构性能的预测衰变趋势触发需求。当桥隧技术状况评定等级衰降至3类或更差，或关键承重构件、结构出现特定高危病害时，应自动生成修复养护需求。
 - 2) 由于行业技术发展水平和各地应用情况的差异，桥梁、隧道的预防养护阈值可根据各地实际情况综合确定。

5.5.3 数据来源

- a) 模型的基准比对数据应来源于技术状况评价模型（6.3节）的现状数据及使用性能预测模型（6.4节）的预测结果数据。
- b) 养护决策目标的设定值应不低于现行国家和行业标准、规划、纲要等文件要求；不宜低于当前公路技术状况水平。

5.6 养护对策模型

5.6.1 一般规定

- a) 养护对策模型，应包含公路的整体技术状况及路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等分项设施的养护方案。
- b) 路网级系统必须建立完善的养护对策库。对策库应包含预防养护和修复养护等方案；其中，修复养护方案应进一步支持细分为结构性修复养护和功能性修复养护，自动化实现“工程措施研判—典型方案匹配—工程预算测算”等功能。
- c) 项目级系统应建立养护对策模型。对6.5节输出的需要采取养护措施的项目，根据公路行政等级、技术等级、交通量及技术状况等因素组合，匹配相应的养护对策，自动化实现“处治对策研判—典型方案设计—工程单价测算”等功能。
- d) 系统应具备对策模型与单价库的版本管理及动态更新功能，更新频率应不低于两年一次。

5.6.2 技术要求

- a) 系统匹配算法可采用决策树或决策矩阵的形式，并支持结合地方管养经验灵活配置。采用决策树时，应支持通过树结构将路网分枝细化；采用决策矩阵时，应支持以二维表格形式将核心影响因素（如技术状况等级、交通需求等级）交叉组合得出优先对策。
- b) 系统在方案比选时，应贯彻绿色养护理念。算法应优先推荐能最大限度利用既有物理结构、处治结构层深层病害，并能加强既有材料循环利用的养护方案。

- c) 系统应具备路基及沿线设施的养护方案与测算功能。应根据结构特性与病害程度，结合区域环境，匹配相应的加固或修复方案。
- d) 系统应具备路面的养护方案与测算功能。
 - 1) 养护方案应区分公路等级（高速、普通干线等）及路面类型（沥青、水泥等），给出对应的典型路面养护方案（如微表处、薄层罩面、铣刨重铺等）。
 - 2) 系统必须建立路面养护基准单价库，费用单价量纲宜统一取“元/m²”。
 - 3) 在缺少地方定制数据和经验的情况下，系统应内置现行 JTG/T 5310 附录 B 作为路面养护对策的默认养护对策库。
- e) 系统应具备桥梁的养护方案与测算功能。
 - 1) 修复养护方案应细分为小修、中修、大修及危桥改造等类别；
 - 2) 资金测算应综合考虑桥梁跨径类型、结构形式、跨越地物类型及桥龄等核心因素；
 - 3) 系统应具备将整桥处治费用折算为“元/m²”的自动化换算功能。
- f) 系统应具备隧道的养护方案与测算功能。
 - 1) 对策模型仅针对隧道土建主体结构（衬砌、路面等）开展匹配，机电设施不参与本模型组合判别。
 - 2) 系统应具备将整隧处治费用折算为“元/延米”的自动化换算功能。
- g) 系统应根据历史养护工程的实施效果与造价决算进行动态修正。

5.6.3 数据来源

- a) 养护对策模型建立所需数据宜采用年度路网技术状况监测数据，优先以符合国评、省检技术要求的自动化设备检测数据为主。
- b) 模型的对策规则与典型方案矩阵，应结合地方养护历史与专家经验构建。
- c) 养护工程单价应参考现行《公路养护预算编制导则》（JTG/T 5610）及相关部门颁布的造价依据和各地经验值提取确定。

5.7 优化排序模型

5.7.1 一般规定

- a) 系统应建立优化排序模型。根据 6.6 节输出的养护工程方案及费用基准，在有限的养护资金和期限下，通过优先排序、方案比选、经济分析及优化决策，确定年度及中长期养护计划。
- b) 除单一资产内部（路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施）的排序优化外，系统应具备跨资产（路、桥、隧）的公路综合优化排序功能。

注：对于隧道，因机电设施的特殊性，本规范只考虑土建结构部分。

- c) 养护资金优化分配时，长期使用性能、周期费用及投资效益的预测期限应不小于 20 年。
- d) 应考虑不同养护策略对公路基础设施总体性能的长期和短期影响，做到全生命周期养护成本最优或者养护费用效益比最低。
- e) 养护资金优化分配需要的各类底层优化算法应定期标定，各类模型参数应每年更新一次。

5.7.2 技术要求

- a) 系统的资金优化排序模型应具备通用性，实现将路面、桥梁、隧道资产纳入优化测算体系，模型应实现将给定的公路养护总费用，按照效益最大原则，优化分配到公路网中那些最需要养护并且具有效益的设施单元。
- b) 桥梁养护决策优化需建立桥梁养护决策多目标优化模型，应实现在给定的规划期内，进行桥梁养护措施的合理安排，达到养护措施费用最小和桥梁技术状况指标最佳。
- c) 系统应建立多目标优化算法模型。模型应实现在给定的规划期与资金约束条件下，统筹协调多个相互冲突的目标，如实现养护措施费用最小化、设施技术状况指标最佳化及全生命周期效费比最大化。

注：桥梁应考虑桥梁承载能力与通行能力、抗灾能力、技术状况等级、结构自然劣化特征等因素；隧道应考虑隧道长度、交通量、技术状况、养护等级、路线等级及隧龄等核心因素。

- d) 系统应内置不同求解策略来计算多目标优化模型，将多目标规划问题转化为单目标问题求解，可采用巨约束法、分层法或综合评估法等。

5.7.3 数据来源

- a) 养护对策模型（6.6 节）输出的养护工程项目库（含工程量、备选对策、基准单价及预期性能提升目标等）
- b) 财政部门下达或预测的年度（及中长期）养护工程资金约束上限。
- c) 优化分配模型中的费用核算基准，应采用公路管理者的直接养护工程总造价（含当期处治费用及分析期内的预估养护成本），不应计入道路使用者费用等非工程类间接指标

5.8 投资效益分析模型

5.8.1 一般规定

- a) 系统应建立养护投资效益分析模型，应根据长期使用性能、交通组成和各项寿命周期费用，确定最佳公路养护投资方案及不同投资水平对整个公路技术状况的影响。
- b) 养护投资效益分析最直接的度量标准为公路全生命周期的费效比，其主要技术指标包括但不限于现行《公路养护技术标准》（JTG 5110）规定的公路技术状况指标。
- c) 投资效益分析的预测与评价年限应不小于 20 年，并且与长期使用性能预测模型（6.4 节）时间跨度保持一致。
- d) 投资效益分析模型应支持跨资产的综合评价，应包含公路整体及路基、路面、桥梁、隧道、沿线设施等分项设施。
- e) 模型可采用世行公路投资效益分析模型 HDM。

5.8.2 技术要求

- a) 系统宜选取养护需求分析（6.5 节）输出的养护资金需求年平均值作为初始输入值，分析养护资金变化对养护决策目标的影响，直至达到养护决策目标。
- b) 系统应可分析不同的公路养护投资费用对路况使用性能的影响（费效比），智能推荐综合投资最佳的公路养护投资战略。
- c) 模型应能测算并输出不同资金优化分配方案下，整体及各项资产的各类技术状况指标均值以及各指标在路网中优、良、中、次、差的比例（如路面技术状况达到“良”及以上的路段占比）。

5.8.3 数据来源

- a) 模型的分析基准数据应来源于需求分析模型（6.5 节）输出的基准资金需求，以及优化分配模型（6.7 节）生成的项目计划及预算执行数据。
- b) 投资效益评价的基础参数，应优先选用反映资产工程属性的物理参量与技术性能评估分值。

5.9 风险评估模型

5.9.1 一般规定

- a) 系统应建立资产风险评估模型。模型应贯彻国际通用公路资产管理体系（如 ISO 55001）与基于风险管理的决策理念，实现对公路资产潜在风险的识别、量化、评估与应对管理。
- b) 风险评估应涵盖直接导致资产物理损毁或加速劣化的外部环境风险（如恶劣天气、地质灾害）与内部运营风险（如结构性能衰退、交通重载疲劳），为养护资金优化分配模型（6.7 节）提供风险管理维度的优先排序依据。
- c) 针对公路网络中的关键节点（如特大桥梁、长大隧道、高边坡），系统宜建立专项的结构性能风险动态监测与评估预警机制。

5.9.2 技术要求

- a) 系统应内置标准化的风险分类与分析体系，算法模型应至少支持对 5.7 节资产失效风险、自然灾害风险两大维度风险的识别与归类。
- b) 系统应采用国际通用的风险量化分析方法，通过风险发生概率与风险后果严重程度的二维乘积关系建立评价矩阵，确定各设施单元的综合风险等级。

注：在测算风险后果严重程度时，系统应考量三个核心子维度：对生命安全的威胁程度、对路网通行性（通行延误）的负面影响，以及物理资产的直接修复成本。

- c) 系统应具备路网级风险评估辅助推演功能。针对关键路段或单项资产（如特大桥梁、缺乏绕行条件的要道长大隧道），系统应能模拟推演其因风险事件失效（或阻断）后，对路网整体通行能力产生的突变式降级或断崖式影响程度。
- d) 系统宜能量化各类养护对策实施后对原始风险等级的削减幅度（风险缓解效益），并将“单位投资的风险削减量最大化”作为资金优化分配模型（6.7 节）的关键辅助约束条件。

5.9.3 数据来源

- a) 模型计算的基础输入应源于系统风险管理数据字典（5.7 节）。
- b) 恶劣天气、地质灾害等外部诱发风险的概率测算，应依据气象部门、地质环境监测部门发布的历史统计频率与中长期预报数据。
- c) 风险源的状态跟踪数据，应来源于系统动态维护的风险辨识手册及历年公路水毁、灾毁等历史台账库。
- d) 针对桥梁、隧道等大型构造物的结构性能风险分析，宜优先融合结构监测的实时动态感知数据与历次特殊检查报告。

5.10 系统成熟度评估模型

5.10.1 一般规定

- a) 系统应建立资产管理系统成熟度评估模型。通过量化测算底层数据的合规性、预测算法的可靠性以及管养决策的落地执行率，实现对公路资产管理系统运行健康度的客观评价。
- b) 评估模型应遵循资产管理体系（如 ISO 55001）的持续改进原则（PDCA Cycle）。成熟度评估结果应作为触发底层算法（如马尔可夫链、衰变曲线等）参数重新校准、优化模型逻辑与改进养护管理流程的核心量化依据。

5.10.2 技术要求

- a) 模型必须内置自动化核算引擎，对 5.9.3 节中的数据质量合规率、性能预测准确率、计划执行一致率 3 个指标进行实时或周期性动态计算。
- b) 数据质量合规率测算：系统应能依据底层资产记录，自动计算通过标准校验规则的数据量占比，量化系统数据资产的完整性与准确度。
- c) 性能预测准确率测算：系统应具备“预测值溯源与比对”功能，提取前期性能预测模型（6.4 节）输出的演化预测值，与当期路况实际检测指数进行比对，自动计算性能预测准确率，并据此研判预测算法的劣化偏差。
- d) 计划执行一致率测算：系统应具备决策追踪功能，通过比对系统推荐的最优养护计划总金额与实际按推荐方案立项的工程库金额，测算决策执行一致率，量化评估系统计算结果在实际管理中的采纳与落地程度。
- e) 系统应建立综合成熟度分级评价矩阵，算法应综合 5.9.3 节 3 个维度指标的得分，科学界定系统当前所处的成熟度阶段，分级标准可参考 4.4.5 节标准。

5.10.3 数据来源

- a) 模型的底层测算数据应严格依据系统成熟度评价数据要求（5.9 节）提取。
- b) 数据合规率与模型算法调用频次等客观运行指标，应由系统底层的审计模块与数据质量核验中间件自动生成并常态化接入。

- c) 决策计划执行比对数据，应依托标准化软件接口协议（API），定期从相关公路养护工程项目管理系统或养护计划下达系统中自动抓取并融合关联。

5.11 资产价值评估模型

5.11.1 一般规定

- a) 资产价值评估模型应作为判断公路基础设施资产保值增值成效，审计资金维护投入合理性的有效工具。
- b) 资产应每五年进行一次全面价值评估。在两次评估期间（通常每年一次），系统应支持采用适当的价格指数对估值报告进行调整。
- c) 系统对公路各类基础设施的价值评估应满足《政府会计准则制度解释第4号》及《交通运输部办公厅关于进一步明确公路公共基础设施养护支出管理有关事项的通知》要求。
- d) 资产价值评估模型宜采用折旧重置成本法和基于历史成本的方法，也可采用各类设施的性能预测模型完成资产价值评估。

5.11.2 技术要求

- a) 折旧重置成本法模型应支持计算用现代等效资产替换原有资产所需的当前成本，并扣除所有物理损耗和减值费用。该模型建立与数据计算宜优先保障覆盖公路路面、桥隧构造物及基础土地等构成公路基础设施资产价值绝大部分的核心实物要素单元。
- b) 基于历史成本的方法可用于评估公路基础设施资产的入账初始价值，但系统应设置决策风险提示组件，用以说明历史成本模型因不能反映资产维护支出对资产状况的具体影响，导致其与实际养护支出需求、长期退化损耗之间产生的偏离度。

5.12 全生命周期劣化模型

5.12.1 一般规定

- a) 系统应建立资产劣化预测模型，预测所采用处理方案的使用寿命，并准确预估下一次管养干预措施的发生时间。
- b) 劣化预测模型应支持根据管养机构的实际管理成熟度、技术能力与数据丰富度，将模型划分为高度复杂型与简易型两种类型，实施分级、分类建立与柔性应用。
- c) 劣化预测模型应具备常态化偏差校验与滚动更新机制，不应因模型的迭代升级而降低公路资产管理的长期战略绩效目标。

5.12.2 技术要求

- a) 高度复杂型预测模型宜采用马尔可夫转移概率矩阵、经验回归方程、力学-经验联合分析（ME预测模型）或自适应人工智能算法，实现对路基、路面、桥梁、隧道及沿线设施多维技术状况指标（如PCI、RQI、BCI、TCI等）的长周期分轨演化推演，其连续预测分析期不应低于40年。
- b) 简易型预测模型可采用基于实物路龄（或累计轴次）的线性衰减曲线或基于技术状况现状等级的确定性状态转移矩阵，利用当前服役时间与表观损坏状态直接标定资产价值劣化速度。
- c) 劣化预测模型必须支持情景推演功能，应能分别模拟“自然衰变”（不采取任何资本性维护）与“养护维修”（采取不同管养干预组合）等不同边界条件下的资产绩效响应。

6 全资产管理

6.1 一般规定

6.1.1 全资产管理的主要内容包括全资产技术状况评价、长期使用性能预测、养护投资效益分析、养护资金优化分配、风险评估、资产价值评估及养护规划制定。

6.1.2 全资产管理系统的分析对象应涵盖管辖范围内路基、路面、桥隧构造物、沿线设施等各类实体公路资产，预测与规划分析期应根据短期、中期、长期养护规划的需求进行设定，长期分析期不应低于10年。

6.1.3 系统应具备养护目标设定功能，支持根据国家及行业相关规划量化设定路网级服务水平考核指标。

6.2 技术状况评价

6.2.1 系统应实现依据《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）完成各类设施技术状况评价，为实现基于病害处置的养护决策分析提供支撑。

6.3 性能预测与风险评估

6.3.1 系统应基于技术状况评价及使用性能预测模型，结合交通量及环境因素，对分析期内公路技术状况指标的演化趋势进行预测，并量化评估当前状况与预设目标的差距。

6.3.2 系统应建立风险评估模块，结合地质灾害、极端气象预警及历史事故数据，识别路网中的高危结构与优先保通路线。

6.3.3 系统应将路网级系统性风险等级状况作为养护资金优化分配的重要输入条件。

6.4 投资效益与资金优化

6.4.1 系统应具备路网级养护投资效益分析功能，测算达到预设养护目标所需的合理资金规模，或分析不同资金投入对路网技术状况的影响。

6.4.2 系统应综合项目的预期效益及资源约束条件，对备选项目进行优先排序。应优先遴选严重影响服役安全、严重影响交通出行及处于加速衰变初期（实施预防养护等措施效益显著）的项目。

6.4.3 系统应支持跨资产资金优化分配。在给定的路网总预算约束下，按综合投资效益最优的原则，在路基、路面、桥梁、隧道及沿线设施间统筹分配养护资金，提出路网级最优投资建议。

6.5 养护规划与项目库

6.5.1 系统应针对不同类型资产建立养护工程项目库，生成短、中、长期养护规划。

6.5.2 项目库的入库规则应符合下列规定：

- a) 应包含当前技术状况低于养护决策阈值的项目。
- b) 宜包含分析期内预测使用性能低于养护决策阈值的项目。
- c) 宜包含全生命周期费用分析（LCCA）费效比最优的项目。
- d) 宜包含风险评估等级为高危或关键保通的项目。
- e) 宜结合养护工程作业连续性要求，将类型相似且空间连续的路段进行归类合并。

6.5.3 养护工程项目库应涵盖未来5年内的备选项目，信息应包括计划实施年份、养护对策、工程量及费用估算。

6.5.4 路网级系统应具备项目库年度动态更新功能，并设置标准数据接口向项目级系统下达规划项目与预算约束指令。

6.6 资产价值评估

6.6.1 系统应具备全资产各组成部分价值评估的功能，采用6.11节规定的资产价值评估模型方法，保障价值度量的可重复性和一致性。

6.6.2 对于使用寿命较长的公共基础设施，系统可内置资产稳定状态维系成本模型，采用维持该资产状态稳定所需投入的常态化更新支出金额，作为衡量其价值流失与消耗的尺度。

6.6.3 当某项资产可分解为具有不同使用年限的可识别组成部分时，系统应以路段总体设计使用年限作为全生命周期设计的控制边界，各单项设施的使用年限应置于路段总体生命周期框架内进行独立核算。

征求意见稿

7 全生命周期设计

7.1 一般规定

7.1.1 全生命周期设计的主要功能应包括资源约束与设计对象选择、全生命设计方案生成、全生命周期经济评价、效益分析、方案优选，以及计划实施跟踪。

7.1.2 全生命周期设计的技术比选、效益演化与经济分析期不应少于 40 年。

7.2 资源约束条件

7.2.1 系统应具备资源配置条件分析功能。约束参数应至少包括：年度资金预算上限、养护施工条件、交通保障条件及环境保护指标。

7.2.2 环境保护指标约束模块应支持将废旧材料规模、碳排放总量及再生材料利用率等指标纳入评价体系。

7.2.3 交通保障条件约束模块应结合路网交通分流能力、交通量状况及项目交通组织方案等因素，对公路网在正常运营状态下所能承受的通行能力降低程度、封闭交通时间及可同时实施的工程数量等进行综合校验。

7.2.4 系统应综合项目的预期效益及资源约束条件，对备选项目进行优先排序，应优先考虑 7.5 节规定的项目。

7.3 养护方案设计及优选

7.3.1 全生命周期设计的对象应为列入年度养护建议计划的养护工程项目，系统应提供接口以导入补充检测调查数据。系统应支持利用补充检测调查数据，细化路网级下达的初步养护对策，更新项目的技术方案和资金规模。

注：补充检查调查内容宜包括损坏详细调查、结构与功能检测，并利用获取的数据开展病害原因诊断分析。

7.3.2 系统应支持养护设计方案的自动生成，方案应涵盖具体的设计参数及预期施工与养护组织方案。

注：设计参数如加铺层厚度、材料类型等，预期施工与养护组织方案如交通组织方式、预期工期等。

7.3.3 设计方案的生成逻辑应支持随设施类型、交通量级别、资金预算限制及养护支出的变化而动态调整。

7.3.4 系统应在资金与资源平衡后，生成明确涵盖实施位置、养护对策及工程估算的年度养护建议计划清单。

7.4 全生命周期经济评价与效益分析

7.4.1 系统应根据各单项公路基础设施资产或资产组合的技术状况特征以及技术退化周期，针对不同技术寿命资产分别制定差异化生命周期策略方案组合。

7.4.2 系统应针对不同寿命周期资产所匹配的策略方案，完整识别并定义日常维护、预防养护、修复养护及整体更换等不同工作类型与相对单位成本。

7.4.3 系统应针对不同服役寿命周期定制的管养策略方案进行资金计算。成本核算应涵盖直接工程总造价（包括初始成本、日常维护费用、养护工程费用）以及分析期末的资产残值。

7.4.4 全生命周期经济评价应统一采用符合国家规定的社会折现率对不同时间节点发生的方案费用进行折现，并以全分析期内管理直接总费用净现值（NPV）或等额年费用（EAC）最小化作为方案优选的经济决策指标，同步计算并输出投资费效比（BCR）。

7.5 项目实施后评价

7.5.1 系统应建立项目实施跟踪与后评价模块。对已实施完毕的工程，应支持录入交竣工验收质量指标、实际造价与养护效果跟踪观测数据。

7.5.2 计划中的专项养护及应急养护项目，应结合历年工程实际发生量，在系统中预留相应的资金与物资额度。

7.5.3 系统的后评价数据应作为系统成熟度评估与底层预测算法校准的输入依据。

8 评估及改进

8.1 一般规定

- 8.1.1 系统应随政策变化及科学的发展做出相应的动态改进。
- 8.1.2 系统应定期对反馈的问题进行相应的完善。
- 8.1.3 新建和改造升级的系统，须经系统测试，验收合格后才能投入运行。
- 8.1.4 系统改进不应降低公路资产管理的目标。
- 8.1.5 应积极寻找基于客户的服务水平和技术性能指标之间建立合理的联系，并对系统不断改进。

8.2 不符合和纠正措施

- 8.2.1 系统应建立常态化的运行状态监视与不符合项识别机制，系统应能自动记录并预警运行期间发生的各类不符合事件。
- 8.2.2 针对成熟度评估模型（6.10 节）及系统生命周期各阶段生成的核心业务结果，系统应支持定期开展技术核验与审查，并保留不符合项及其调查过程的系统电子化日志。
- 8.2.3 系统应具备自动化偏差诊断功能。当系统监测到 6.10 节中任一单项评价指标（如预测准确率、数据合规率）连续低于系统既定安全阈值时，系统应能自动触发短板诊断模块，分析偏差的根本原因，并生成数据清洗或业务流程改进提示。
- 8.2.4 系统生命周期内应针对不同阶段开展技术和管理两方面的评审和审查，以确保系统功能不断改进。

8.3 预防措施

在建立和保持预防措施过程中应考虑的要素包括：

- a) 使用适当的数据和信息来源。
- b) 识别所有潜在的不符合。
- c) 使用适当的方法。
- d) 采取并实施预防措施。
- e) 记录因预防措施而对过程和程序进行的任何变更。
- f) 对预防措施进行评估。
- g) 公路资产管理计划中纳入的预防措施。
- h) 需要保留预防和预测措施的电子化信息。

8.4 持续改进

- 8.4.1 公路资产管理系统应具备结合监测和纠正措施，适时进行识别、评估和实施改进的能力。
- 8.4.2 系统的持续改进不仅限于周期性的软件升级，而应贯穿于日常业务。系统应能结合管理实际与最新业务目标，不断提升多目标优化与资金分配模型（6.7 节）的实用性。

注：持续改进不应被理解周期性（如年度）改进。

- 8.4.3 改进系统的大小和影响可能差异很大，处理改进系统的方法一般包含以下步骤：

- a) 识别改进的需求和潜力；
- b) 评估可选方案；
- c) 风险评估与变更管理；
- d) 选择与执行；
- e) 追踪结果与评审。

- 8.4.4 系统应具备改进措施的成效跟踪能力，对采取了参数重新标定或功能优化的模块，系统应能在后续运行周期内，适时评估其处理结果的准确性提升幅度，验证持续改进的实际有效性。

附录 A 公路综合资产管理常用模型（资料性）

A.1 公路技术状况评价相关模型

- a) 公路技术状况评价应建立技术状况评价模型，计算公路网的公里路段技术状况，以及区域或路线整体的技术状况指标值，并评价养护质量，为公路技术状况评价和养护资金优化分配模块服务。
- b) 公路技术状况评价模型应符合《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）。

A.2 公路养护资金需求分析相关模型

公路养护资金需求分析应建立综合养护资金需求测算模型、养护监测资金需求模型、日常养护资金需求测算模型、养护工程资金需求测算模型、改扩建资金需求测算模型、运行管理资金需求测算模型。

A.2.1 综合养护资金需求测算模型。

- a) 模型依据：现行《公路养护预算编制导则》（JTG/T 5610）以及《公路养护技术标准》（JTG 5110）。
- b) 模型应可汇总计算公路全网、全资产、各养护类型的综合养护资金需求。全路网包含高速公路以及国道、省道中四级及以上的公路；全资产包括五类主要资产，分别为路面、桥梁、隧道、路基、沿线设施；养护类型包括五种，分别为养护检查、日常养护、养护工程、改扩建工程及运营管理。
- c) 相关算法逻辑如下：

$$C = C_e + C_h \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：C——公路全网的综合养护费用，万元；

C_e ——高速公路的综合养护费用，万元；

C_h ——普通公路的综合养护费用，万元。

$$C_e = C_s + C_{ro} + C_p + C_{re} + C_m \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$C_h = C'_s + C'_{ro} + C'_p + C'_{re} + C'_m \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中： C_s 、 C_{ro} 、 C_p 、 C_{re} 、 C_m ——分别表示高速公路养护检查、日常养护、养护工程、改扩建工程及运行管理的资金需求，万元；

C'_s 、 C'_{ro} 、 C'_p 、 C'_{re} 、 C'_m ——分别表示普通公路养护检查、日常养护、养护工程、改扩建工程及运行管理的资金需求，万元。

A.2.2 养护监测资金需求模型。

- a) 模型依据：《公路养护预算编制导则》（JTG/T 5610）、《交通运输部关于进一步加强公路桥梁养护管理的若干意见》（交公路发〔2013〕321号）。
- b) 应可计算公路网的年度养护检查资金需求，具体包括路基、路面、桥涵、隧道、交通工程及沿线设施等的经常性检查资金需求、定期检查（测）资金需求、特殊检查（测）资金需求及监督监测资金需求。
- c) 养护检查总资金需求应包含经常性检查、定期检查资金、特殊检查资金、监测资金。
- d) 经常性检查和定期检查资金需求应包含路面经常性检查和定期检查资金需求、桥梁经常性检查和定期检查资金需求、隧道经常性检查和定期检查资金需求、路基及沿线设施经常性检查和定期检查资金需求。
- e) 相关算法逻辑如下：
养护检查总资金需求

$$C_s = C_{per} + C_{spe} + C_{mo} \dots\dots\dots (1)$$

式中： C_s ——养护检查总资金需求，万元；

C_{per} ——经常性检查和定期检查资金需求，万元，详见公式 5；

C_{spe} ——特殊检查资金需求，万元，详见公式 7；

C_{mo} ——监测资金需求，万元，详见公式 8。

经常性检查和定期检查资金需求

$$C_{per} = C_{p_pav} + C_{p_br} + C_{p_tu} + C_{p_sub} + C_{p_fa} \dots\dots\dots (2)$$

式中： C_{p_pav} ——路面经常性检查和定期检查资金需求，万元，详见公式 6；

C_{p_br} ——桥梁经常性检查和定期检查资金需求，万元，详见公式 7；

C_{p_tu} ——隧道经常性检查和定期检查资金需求，万元，详见公式 8；

$C_{p_sub} + C_{p_fa}$ ——路基及沿线设施经常性检查和定期检查资金需求，万元，详见公式 9。

路桥隧经常检查和定期检查资金需求

$$C_{p_pav} = u_{p_pav} \times l_{pav} / 10^4 \dots\dots\dots (3)$$

$$C_{p_br} = u_{p_br} \times l_{br} / 10^4 \dots\dots\dots (4)$$

$$C_{p_tu} = u_{p_tu} \times l_{tu} / 10^4 \dots\dots\dots (5)$$

式中： u_{p_pav} 、 u_{p_br} 、 u_{p_tu} ——分别为路面、桥梁、隧道的经常性检查和定期检查单价，路面的单位为元/公里，桥梁和隧道的单位为元/延米、元/延米；

l_{pav} 、 l_{br} 、 l_{tu} ——分别为路面、桥梁、隧道的列养规模，路面的单位为公里，桥梁和隧道的单位为延米。

注：1.路面的经常性检查和定期检查一级及以上公路单价 u_{p_pav} 建议取每年600元/车道公里，上下行合计费用每年1200元/公里。二级及以下公路全自动化检测建议取600元/公里（仅检测单向）；半自动化检测人工检测的方式，同路基及沿线设施检查一并进行，平整度机器检建议取120元/公里。

2.桥梁的经常性检查和定期检查单价 u_{p_br} 建议取95元/延米/年，其中桥梁经常检查每年每延米应不低于60元；桥梁定期检查3年全覆盖一次，平均每年每延米应不低于35元。

3.隧道的经常性检查和定期检查单价 u_{p_tu} 建议取100元/延米/年。

路基、沿线设施经常性检查和定期检查资金需求

$$C_{p_sub} + C_{p_fa} = u_{p_sf} \times l_{sf} / 10^4 \dots\dots\dots (6)$$

式中： u_{p_sf} ——路基及沿线设施的经常性检查和定期检查综合单公里费用，因路基及沿线设施通常一并进行人工检查，此处两项取综合单价，元/公里；

l_{sf} ——国家高速或普通国道的列养里程，公里。

$$u_{p_sf} = 2 \times \frac{n \times r \times b}{l} \dots\dots\dots (7)$$

式中： n ——每组检查人员数量，人；

r ——检查频率，次/年；

b ——每天每人补助费用，元/人*天；

l ——平均每人每天人工养护检查里程，km/天。

注：1.路基和沿线设施经常性检查和定期检查通常采用人工检查，费用根据每人每天补助金额、平均每天检查里程、每检查组人员规模、检查频率等计算。不含人员工资。其中：
 2.每组检查人员数量 n 一般取3人/次，包括检测员、记录员、安全员；
 3.检查频率，建议高速取每年4次，普通国道取每年2次；
 4.公路人工养护检查每天每人补助费用 b 建议取50元/人*天；
 5.平均每人每天人工养护检查里程建议取15km/天；
 6.根据公式和各参数所取建议值，计算单公里费用：国家高速80元/km、普通国道40元/km。

特殊检查资金需求

$$C_{spe} = a \times C_s \cdots \cdots (8)$$

式中： a ——特殊检查费占养护检查总资金需求的比例系数。

注：桥隧特殊检查单价和规模难以计算，建议根据检测内容和检测对象具体情况，按工作需要专项安排特殊检查费用，通常占养护检查费用总额的5%~10%，此处取中值，即占养护检查总费用的比例系数 a 取8%。

监督监测资金需求

$$C_{mo} = k \times C_{p-pav} + p \times u_{mo-br} + q \times u_{mo-tu} \cdots \cdots (9)$$

式中： k ——路面抽检费用占经常性检查和定期检查资金需求的比例系数；

p ——桥梁抽检座数，座；

q ——隧道抽检座数，座；

u_{mo-br} ——桥梁监测单价，万元/座；

u_{mo-tu} ——隧道监测单价，万元/座。

注：1.按照路面抽检5年全覆盖一次的目标，每年路面监测费占经常性检查和定期检查费的比例系数，取20%。
 2.根据2017年国检抽检平均每座桥梁13.75万元，平均每座隧道36万元。系统建设时应根据各地市场价格进行制定。

A.2.3 日常养护资金需求测算模型

- 日常养护资金需求模型应可计算公路网的年度日常养护费用，包括道路工程（含路基工程、路面工程）、交通工程及沿线设施（含路段上的机电设施）、绿化工程、桥涵工程（含桥梁相关机电设施）、隧道工程（含隧道机电设施）的日常保养和小修。
- 模型依据：《公路养护预算编制导则》（JTG/T 5610），各年度养护统计年报。
- 逻辑算法：

$$C_{ro} = \sum u_{ro} \times L_{ro} \cdots \cdots (1)$$

式中： C_{ro} ——日常养护总费用，万元；

u_{ro} ——日常养护单价，万元；

L_{ro} ——日常养护列养里程，公里。

表 A.1 高速及普通国道日常养护平均单价对比

区域	高速公路单价（万元/公里）	普通公路单价（万元/公里）	比例
直辖市	30.7	21.7	71%
特殊省份	43.0	10.4	24%
较高水平地区	12.6	7.9	62%
中等水平地区	6.8	5.0	72%
较低水平地区	6.0	2.7	46%

注：1.对于高速公路，日常养护单价建议分为：直辖市、特殊省（区、市）、较高水平地区、中等水平地区、较低水平地区五类，用户也可指定任意省（区、市）的所属单价类型。其中，单价低于6万元/公里的地区，日常养护投入过低，资金需求统一调整为6万元/公里。
 2.对于普通公路，建议取五类地区高速日常养护单价的百分比。其中，直辖市、较高水平地区、中等水平地区

取高速单价的70%；较低水平地区统一调整到4万元/公里；特殊省份根据实际需求考虑，本次取高速单价的25%。

A.2.4 养护工程资金需求测算模型

- a) 养护工程资金需求测算模型可计算公路网的年度养护工程总费用，具体包括道路工程、桥梁工程和隧道工程的预防性养护、修复性养护、专项性养护、应急性养护四部分内容。
- b) 算法逻辑：

$$C_p = C_{p_pr} + C_{p_ma} + C_{p_sp} + C_{p_em} \dots \dots \dots (1)$$

式中： C_p ——养护工程总费用，万元；

C_{p_pr} ——预防性养护费用需求，万元，数据来自路面管理系统、桥梁管理系统、隧道管理系统养护需求测算结果；

C_{p_ma} ——修复性养护费用需求，万元，数据来自路面管理系统、桥梁管理系统、隧道管理系统养护需求测算结果；

C_{p_sp} ——专项养护费用，万元，数据来源见下表；

C_{p_em} ——应急性养护费，万元，按历史实际发生费用占总体的平均比例预留资金。根据养护年报数据，建议取综合费用的1.0%。

表 A.2 各类专项工程数据来源

专项性养护类目	费用计算方法或费用测算结果来源
危旧桥梁改造工程	桥梁管理系统（四五类桥梁养护需求）
病旧隧道改造工程	隧道管理系统（四五类隧道养护需求）
公路安全生命防护工程、灾害防治工程	根据路网改造历史费用测算，“十三五”期间国道平均每年约25亿元。
管理与服务设施改扩建费用、绿化及环保费用、其他专项工程	预留专项性养护费用的10%。

A.2.5 改扩建资金需求测算模型。

A.2.5.1 逻辑算法

- a) 改扩建资金需求测算模型可采用决策树的方式，基于公路技术等级需求与实际承载交通量、实际车速等的匹配程度，即服务水平 v/C 和速度比。
- b) 服务水平 v/C 是最大服务交通量与基准通行能力之比，其逻辑算法如下：

$$v/C = \frac{PHV}{C_b} \dots \dots \dots (1)$$

式中： v/C ——服务水平；

PHV ——高峰小时交通量（单向），pcu/h；

C_b ——公路基本通行能力（单向），pcu/h。

最大服务交通量 v 为通过实测 AADT 折算为高峰小时较大断面交通量（单项）：

$$PHV = AADT \times k \times D \dots \dots \dots (2)$$

式中： $AADT$ ——路段年平均日交通量（双向），pcu/d；

k ——高峰小时交通量系数；

D ——方向不均衡系数。

注：《公路工程技术标准》（JTG B01）建议近郊公路取0.085~0.11、公路0.12~0.15，2014年规范未提供建议值，由

于夜间行车较多，可取2003版规范的下限值0.085。方向不均衡系数，反映了路段上、下行两个方向上交通量的大小差异，高速及一级公路取0.55；二级及以下公路取0.5。

基准通行能力C取各等级道路不同设计时速下对应的基本通行能力。

对于高速及一级公路，其基本通行能力（单向）的计算方法为：

$$C_{be} = C_b \times (N/2 - 1) + C'_b \dots\dots\dots (3)$$

式中：C_b——高速及一级公路非最外侧车道设计车速对应的单车道服务交通量，pcu/(h*ln)；

C'_b——最外侧车道的单车道服务交通量，pcu/(h*ln)，最外侧车道通行能力常因超车等因素折减，此处取内侧车道设计速度减20km/h后所对应的服务交通量，折减后取值如下表；

N——双向车道数，条。

表 A.3 高速及一级公路车道通行能力

公路类型	指标名称	非最外侧车道	最外侧车道	非最外侧车道	最外侧车道	非最外侧车道	最外侧车道
高速公路	设计速度（km/h）	120	100	100	80	80	80
	单车道通行能力（pcu/(h*ln)）	2200	2100	2100	2000	2000	2000
一级公路	设计速度（km/h）	100	80	80	60	60	60
	单车道通行能力（pcu/(h*ln)）	2000	1800	1800	1600	1600	1600

对于二级及以下公路，其基本通行能力（单向）计算方法为：

$$C_{bg} = \frac{C_{bg} \times N}{4} \dots\dots\dots (4)$$

式中：C_{bg}——双车道普通公路的基准通行能力，pcu/(h*ln)，取值如表 5-2；

N——双方向车道数，条。

因此，各等级公路基准通行能力取值建议如下。

表 A.4 二级及以下公路车道通行能力

公路等级	设计速度(km/h)	基本通行能力（双向）（pcu/h）	
二级公路	80	9.0m双车道	1400
	60	9.0m双车道	1250
	40	9.0m双车道	1200
三级公路	40	7.0m双车道	650
	30	6.5m双车道	600
四级公路	20	<6.0m双车道	600

表 A.5 各等级公路基准通行能力

公路等级	设计速度(km/h)	单向通行能力C（pcu/h）	公路等级	设计速度(km/h)	单向通行能力C（pcu/h）
高速八车道	120	8700	二级八车道	80	5600
	100	8300		60	5000
	80	8000		40	4800
高速六车道	120	6500	二级六车道	80	4200
	100	6200		60	3750
	80	6000		40	3600
高速四车道	120	4300	二级四车道	80	2800
	100	4100		60	2500
	80	4000		40	2400
一级八车道	100	7800	二级两车道	80	1400
	80	7000		60	1250

公路等级	设计速度(km/h)	单向通行能力C (pcu/h)	公路等级	设计速度(km/h)	单向通行能力C (pcu/h)
一级六车道	60	6400	三级四车道	40	1200
	100	5800		40	1300
	80	5200		30	1200
	60	4800		40	650
一级四车道	100	3800	三级两车道	30	600
	80	3400	四级两车道	20	600
	60	3200	等外	-	200
公路等级	设计速度(km/h)	单向通行能力C (pcu/h)	公路等级	设计速度(km/h)	单向通行能力C (pcu/h)
高速八车道	120	8700	二级八车道	80	5600

注：基于v/C的改扩建初选标准：改扩建标准通过分析国家公路v/C总体情况确定。建议高速公路取0.75作为改扩建候选路段判断标准；普通公路取0.7作为改扩建候选路段判断标准。

c) 可取速度比 0.4 作为改扩建决策临界值。

A. 2. 5. 2 改扩建决策模型

改扩建决策模型可分为三个步骤：步骤1，建立改扩建决策树模型，主要模型参数包括公路等级、设计速度、服务水平 v/C 等；步骤2：采用决策模型分析改扩建候选路段，根据各路段的 v/C 、车速 v_i/v_0 等，分析各路段的改扩建备选路段；步骤3：判断改扩建区间，以管养单位的管养区间为决策单元，通过计算该单元内改扩建备选路段里程比例，确定整个区间是否进行改扩建。改扩建路段合并原则建议如下：四级公路改扩建备选路段总里程达50%以上；三级公路改扩建备选路段总里程达40%以上；二级公路改扩建备选路段总里程达30%以上；一级和高速公路改扩建备选路段总里程达20%以上。

A. 2. 5. 3 改扩建费用模型

$$C_{re} = \sum_{i=1}^n C_{ij} L_{ij} + \sum_{m=1}^m C_m L_m \dots\dots\dots (1)$$

式中： C_{re} ——改扩建总费用，万元；

C_{ij} ——由 i 级改造为 j 级的单位里程造价，万元/km，取费标准参见下表；

L_{ij} ——由 i 级改造为 j 级的公路里程，km；

C_m ——高速公路扩建 m 个车道的里程造价，万元/km，取费标准见下表；

L_m ——高速公路扩建 m 车道的里程，km；

根据公路工程造价经验值，并参考目前全国公路改建工程招投标的单位投资额，确定公路改建工程费的基准值（单位：万元/km）。

表 A. 6 公路改建造价（万元/km）

编号	改扩建措施名称	基准单价（万元）	地貌调节系数 （可定义）	区域调节系数 （可定义）	综合单价 （万元）
1	高速六改八车道	3000	a_n	b_n	$3000 a_n \times b_n$
2	高速四改八车道	6000	a_n	b_n	$6000 a_n \times b_n$
3	高速四改六车道	3000	a_n	b_n	$3000 a_n \times b_n$
4	一级公路升高速	300	a_n	b_n	$300 a_n \times b_n$
5	二级（八车道）升一级	5600	a_n	b_n	$5600 a_n \times b_n$
6	二级（六车道）升一级	4200	a_n	b_n	$4200 a_n \times b_n$
7	二级（四车道）升一级	2800	a_n	b_n	$2800 a_n \times b_n$

编号	改扩建措施名称	基准单价（万元）	地貌调节系数 （可定义）	区域调节系数 （可定义）	综合单价 （万元）
8	三级（四车道）升一级	4000	a_n	b_n	$4000 a_n \times b_n$
9	三级（四车道）升二级	1500	a_n	b_n	$1500 a_n \times b_n$
10	三级（二车道）升二级	750	a_n	b_n	$750 a_n \times b_n$
11	四级（四车道）升二级	1500	a_n	b_n	$1500 a_n \times b_n$
12	四级（四车道）升三级	500	a_n	b_n	$500 a_n \times b_n$

注：地形调研系数，平原微丘区 a_1 取1.0，山岭重丘区 a_2 取3.0，地形数据来自养护年报21表；区域调节系数，可进行自定义。

A. 2. 5. 4 改扩建资金优化排序模型。

应按以下改扩建有限排序算法，对改扩建候选路段进行方案优先级排序。

$$PN = a \times PN_i + b \times PN_{AADT} \cdots \cdots \cdots (1)$$

$$a + b = 1 \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中： PN ——改扩建优先度得分；
 PN_i ——公路等级优先度得分，其分级及取值建议见下表；
 a ——公路等级优先度系数；
 PN_{AADT} ——交通量优先度得分，其分级及取值建议见下表。
 b ——公路等级优先度系数。

表 A. 7 改扩建优先度取值表

优先度	AADT（车道AADT）	公路等级
100	10000	-
90	9000	高速公路
80	8000	一级公路
70	7000	二级公路
60	6000	三级公路
50	5500	四级公路
40	5000	等外公路
30	4500	-
20	4000	-
10	3000	-
0	0	-

按各养护路段优先级因子从大到小的顺序进行叠加试算，逐个与改扩建资金限额比较，直至满足以下条件则结束计算。

$$\frac{|A_i - b|}{b} \leq 5\% \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中： A_i ——试算的养护路段叠加费用，万元；
 b ——改扩建资金限额，万元。

A. 2. 5. 5 运行管理资金需求测算模型

- a) 应可计算高速公路和普通公路的年度运行管理费，主要包括运行监测费、信息化管理费、决策管理费、应急管理费，以及其他用于公路网管理与服务的费用。
- b) 模型逻辑算法为：

$$C_m = a \times C_e + b \times C_h \dots\dots\dots (1)$$

式中： C_m ——公路网运行管理总费用，万元；

C_e ——高速公路养护总费用，万元；

C_h ——普通公路养护总费用，万元；

a、b——高速公路、普通公路运行管理费占养护总费用的比例（%）。

注：历史统计资料显示，高速公路的运行管理费约占养护总费用的14%；普通公路的运行管理费约占养护总费用的12%。

A.3 养护资金优化分配模型

- a) 养护资金优化分配需建立资金优化分配模型、养护资金来源预测分析模型。
- b) 养护资金优化分配模型应可将有限的资金合理分配到路面、桥梁、隧道上，并反馈至路面、桥梁、隧道系统，达到目标效益最大化；
- c) 养护总预算应扣除养护检测费、日常养护费、改扩建费用、运营管理费、应急性养护费用、路基及沿线设施预留资金后，得到路面、桥梁、隧道的预防性养护、修复性养护、专项养护可支配资金额，再进行优化；
- d) 养护资金应区分高速公路和普通公路区分；
- e) 算法逻辑应如下：
 - 1) 确定路面、桥梁、隧道可优化资金总量。

$$C_{op} = C - C_s - C_{ro} - C_e - C_{sm} - C_{re} - C_m \dots\dots\dots (2)$$

式中： C_{op} ——路面、桥梁、隧道待优化养护资金总量，万元；

C ——高速公路（或普通公路）总体养护资金，万元；

C_s ——高速公路（或普通公路）的养护检查费，万元；

C_{ro} ——高速公路（或普通公路）的日常养护费，万元；

C_e ——高速公路（或普通公路）的应急养护费，万元；

C_{sm} ——高速公路（或普通公路）的专项养护费，万元；

C_{re} ——高速公路（或普通公路）的改扩建费用，万元。改扩建费用需由用户设置比例，根据全国历年改建工程投资在养护总投资中的占比情况，建议取 70%左右（也可自定义）。

C_m ——高速公路（或普通公路）的运行管理费，万元。

- 2) 路桥隧资金切块方法。根据历史路面、桥梁、隧道养护资金比例（预防性养护、修复性养护），切块到 3 类资产，并反馈至路面、桥梁、隧道系统优化后，汇总出全国、各省的路面、桥梁、隧道养护资金。建议根据历史情况进行设置。
- 3) 养护资金来源预测可根据 5 年以上的历史数据，进行线性或非线性的模型进行预测。

A.4 全资产养护预算分析模型

- a) 应结合期待路网服务水平，结合路面、桥梁、隧道养护预算分析模型，通过内插值确定期望的公路养护预算。
- b) 算法逻辑可分为三步。
 - 1) 步骤一：分析并生成 MQI-PQI-BCI 关系。

$$MQI = 0.7PQI + 0.12BCI + Con \dots\dots\dots (3)$$

$$Con = 0.08SCI + 0.1TCI \dots\dots\dots (4)$$

式中： Con ——当前年度路基、沿线设施性能得分，视为常数。

- 2) 步骤二：调用路面管理系统和桥隧管理系统预算分析服务，由各子系统分别计算多个不同养护需求对应的总体路况水平（不少于 4 组），构建性能—费用折线图。
- 3) 步骤三：利用路面性能—养护费用、桥梁性能—养护费用、隧道性能—养护费用函数，通过参数调整，形成满足目标的多种方案（MQI 或总资金）；并通过比较获得满足需求的最佳方案。

征求意见稿

附 录 B 路基资产管理常用模型（资料性）

B.1 路基技术状况预测模型

B.1.1 路基技术状况分析内容

路基技术状况分析，宜分析当前路基技术状况、跟养护目标的差距以及存在的薄弱环节；可按照不同行政等级、技术等级，以及管养特征等进行分析。路基技术状况分析内容见表B.1。

表 B.1 路基技术状况分析内容

分析维度	分析内容
行政等级	国道、省道
技术等级	高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路
管养特征	路线、路段、管养单位、行政区划
特殊路基	软土地区路基、滑坡地段路基、岩坍与岩堆地段路基、泥石流地区路基、岩溶地区地基、多年冻土地区路基、黄土地区路基、膨胀土地区路基、盐渍土地区路基、沙漠地区路基、雪害地段路基、涎流冰地段路基

B.1.2 指数曲线回归模型

指数曲线回归模型是利用实测数据和排水条件，建立路基技术状况回归模型，如式（B.1）。该方法可用于预测路基沉降等路基技术状况指标的预测。

$$S_t = (S_{\infty} - S_d)[1 - \alpha \exp(-\beta t)] + S_d \dots\dots\dots (B.1)$$

式中： S_t 、 S_{∞} 、 S_d 分别为 t 时刻、最终和瞬时的路基技术状况指标值； α 、 β 为模型参数； t 为时间。

B.1.3 双曲线模型

双曲线模型建立路基技术状况指标与时间的双曲线回归模型，如式（B.2）。该方法可用于预测路基沉降等路基技术状况指标的预测。

$$S_t = S_0 + \frac{t - t_0}{\alpha + \beta(t - t_0)} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中： S_t 、 t_0 分别为路基技术状况指标的拟合值及其时间；其他参数同上。

附录 C 路面资产管理常用模型（资料性）

C.1 路面养护方案及费用模型

路面养护方案及费用模型的作用是为公路综合养护投资决策分析、路面养护决策分析提供路面养护方案和工程单价，为全国及各省路面养护工程费用测算提供依据，并为方案费用模型更新提供支撑。

C.1.1 模型建立方法

可所辖范围内高速国道、普通干线国道中的基础数据，结合“十四五”部、省养护投资决策工作经验及相关调研结果，形成国家干线路网综合养护管理系统的路面养护对策及费用模型，包括养护方案模型和养护方案费用模型，其中养护费用模型可按高中低标准进行设置。

C.1.2 模型参数取值

C.1.2.1 养护方案模型

根据全国检测评价及养护决策分析的多年经验，总结典型路面养护方案（包括预防性护、修复养护中的中修、大修），从全国路网分析角度考虑，将每类养护方案简化为1-2种典型方案供参考。

表 C.1 高速公路典型路面养护方案

路面类型	养护性质	典型路面养护方案
沥青路面	预防性养护	方案一：微表处、薄层罩面
	中修	方案二：4-6cm沥青砼罩面
	大修	方案三：4cmAC-13上面层+6cmAC-20中面层+8cmAC-25下面层+40cm水稳碎石基层
水泥路面	预防性养护	方案四：沉陷处置，更换24cm水泥板3%-5%
	中修	方案五：更换24cm水泥板15%
	大修	方案六：24cm水泥砼面层+40cm水稳碎石基层

表 C.2 普通干线公路典型路面养护方案

路面类型	养护性质	典型路面养护方案
沥青路面	预防性养护	方案一：微表处、薄层罩面
	中修	方案二：4-6cm沥青砼罩面
	大修	方案三：4cmAC-13上面层+5cmAC-20中面层+6cmAC-25下面层+25cm水稳碎石基层
水泥路面	预防性养护	方案四：沉陷处置，更换24cm水泥板3%-5%
	中修	方案五：更换24cm水泥板15%
	大修	方案六：24cm水泥砼面层+40cm水稳碎石基层

C.1.2.2 养护费用模型

可参照区域建立单价模型，也可以按照管辖范围内的统计信息建立单价模型。其中，全国各省调研数据，按区域汇总形成东、中、西部典型路面结构的代表单价。

表 C.3 高速公路典型大中修基准单价（万元/双向4车道公里）

养护性质	路面类型	典型养护方案	东部	中部	西部
中修	沥青路面	方案二	171	128	149
	水泥路面	方案五	380	324	298
大修	沥青路面	方案三	759	598	694
	水泥路面	方案六	737	590	487

表 C.4 普通公路典型大中修基准单价（万元/双向公里）

养护性质	路面类型	典型养护方案	东部	中部	西部
中修	沥青路面	方案二	91	61	79
	水泥路面	方案七	126	131	158
大修	沥青路面	方案三	317	223	231
	水泥路面	方案六	313	217	265

C.2 路面长期性能预测常用模型

C.2.1 路面技术状况分析内容

路面使用性能预测模型，一般分为确定型模型、概率型模型以及机器学习类模型，可按现行《公路沥青路面养护设计规范》(JTG 5421)附录C选用。

路面技术状况分析，宜分析当前路面技术状况、跟养护目标的差距以及存在的薄弱环节；可按照不同行政等级、技术等级，以及管养特征等进行分析。路面技术状况分析内容宜符合表C.5的规定。

表 C.5 路面技术状况分析内容

分析维度	分析内容
行政等级	国道、省道
技术等级	高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路
管养特征	路线、路段、管养单位、行政区划
路面类型	沥青路面、水泥路面
路龄情况	0~2 年、3~5 年、6~8 年、9~12 年、12~15 年、15 年以上

C.2.2 路面破损预测模型

路面破损预测模型是根据路面破损的力学分析和实测数据建立的路面破损预测模型。如下式所示：

$$D = e^{(-A/T)} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：D 为路面破损指标，A 为需要根据路面面层和基层的结构计算得到，T 为沥青层中最大拉应变。

C.2.3 路面技术状况指标经验回归模型

经验回归模型可用于预测路面技术状况指标随路龄的变化趋势。该模型可用于预测路面损坏状况指数、路面行驶质量指数等分项指标，也可以用于预测路面技术状况指数的综合指标。根据路面实际状况，其经验回归模型可采用不同线性进行回归分析。回归模型及其参数需要根据实测数据确定。

a) 线性回归模型：该模型主要用于路面从初期投入使用开始，受设计、施工质量、养护情况等因素影响，对路面技术状况指标的预测。式（C.2）中模型参数取值依据路况、施工质量、养护情况等因素。

$$PI = PI_0 - \alpha t \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：PI 为预测路面使用性能指数，PI₀ 为初始路面使用性能指数，α 为模型参数，t 为路龄。

b) 指数回归模型：该模型可以用于未养护路段，随路龄增加，路面技术状况指标衰减速度增加时的指标预测。式（C.3）中模型参数取值依据路面养护模式等方面。

$$PI = PI_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：参数同上。

c) 改进的 S 形回归模型：该模型可用于路面技术状况指数衰减到一定程度，由于采取了养护措施使路面技术状况指标改善，路面技术状况衰变速率减小。式（C.4）中模型参数需要考虑养护历史等方面。

$$PI = PI_{\min} + \frac{PI_{\max} - PI_{\min}}{1 + \beta e^{-\alpha t}} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中： $PI_{\max}$ 和 $PI_{\min}$ 分别为预测指标的最高和最低水平，其他参数同上。
d) 双参数曲线回归模型：该模型综合考虑环境、交通和材料等方面的因素，可以用于模拟沥青路面技术状况衰变情况。式（C.5）中模型参数需要考虑环境、交通和沥青等因素。

$$PI = PI_0 + \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{\alpha}{t} \right)^\beta \right] \right\} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：参数同上。

C. 2. 4 路面技术状况指标预测的马尔科夫模型

路面技术状况指标预测的马尔科夫模型假定当前路段的路面技术状况指标处于状态*i*，则其状态变化只能维持在*i*状态或者变为更差的*i*+1状态，即

$$P_{i,i} + P_{i,i+1} = 1 \dots\dots\dots (C.6)$$

公路技术状况评价通常分为优、良、中、次、差五个状态，并分别用数字1~5代表，则式（C.7）中的频率转移矩阵可变为：

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & 1-P_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{22} & 1-P_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & 1-P_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{44} & 1-P_{44} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (C.7)$$

然后，根据路网中路面技术状况指标的初始状态*P*(0)和式（C.7）可得到*t*年该指标的变化概率*P*(*t*)。

C. 3 路面养护需求分析模型

根据概率转移预测的路面技术状况分布结果，结合养护费用单价模型，估算当前年度或未来多年的路面养护需求及费用。主要过程如下：

a) 建立养护方案对策模型

根据路面养护方案模型，汇总形成对应于5类路况的4种典型养护方案（采用马尔可夫概率转移矩阵方法，养护方案模型采用简化形）的对策模型建议见下表。对应于高速沥青、普通沥青、高速水泥、普通水泥，分别建立4个如下养护处治对策矩阵，其中*T_{ij}*代表对应处治方案的里程比例。

表 C. 6 基于马尔可夫概率转移方法的养护处治矩阵

养护方案	方案1：日常养护	方案2：预防性养护	方案3：中修养护	方案4：大修养护
优	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄
良	T ₂₁	T ₂₂	T ₂₃	T ₂₄
中	T ₃₁	T ₃₂	T ₃₃	T ₃₄
次	T ₄₁	T ₄₂	T ₄₃	T ₄₄
差	T ₅₁	T ₅₂	T ₅₃	T ₅₄

b) 建立养护方案费用模型

根据路面养护方案费用模型，汇总四种情况养护费用综合单价，形成养护单价矩阵。

表 C. 7 基于马尔可夫概率转移方法的养护费用模型

养护方案	高速，沥青，单价	养护方案	高速，沥青，单价	养护方案
方案1：日常养护	UC _{ea1}	UC _{ec1}	UC _{ha1}	UC _{hc1}
方案2：预防性养护	UC _{ea2}	UC _{ec2}	UC _{ha2}	UC _{hc2}
方案3：中修养护	UC _{ea3}	UC _{ec3}	UC _{ha3}	UC _{hc3}

养护方案	高速, 沥青, 单价	养护方案	高速, 沥青, 单价	养护方案
方案4: 大修养护	UC _{ca4}	UC _{ec4}	UC _{ha4}	UC _{hc4}

c) 估算养护资金需求

可求出第 n 年的养护资金需求 Q_n

$$Q_n = P(t_n) \times S \times T(j) \times UC(j) \cdots \cdots (C.8)$$

式中: S 为路网总里程, $T(j)$ 为养护处治对策矩阵 (对应于高速沥青、普通沥青、高速水泥、普通水泥的 4 种), $UC(j)$ 为 5 类路况对应的养护方案的单价矩阵。

C.4 路面预算分析模型

C.4.1 模型分析方法

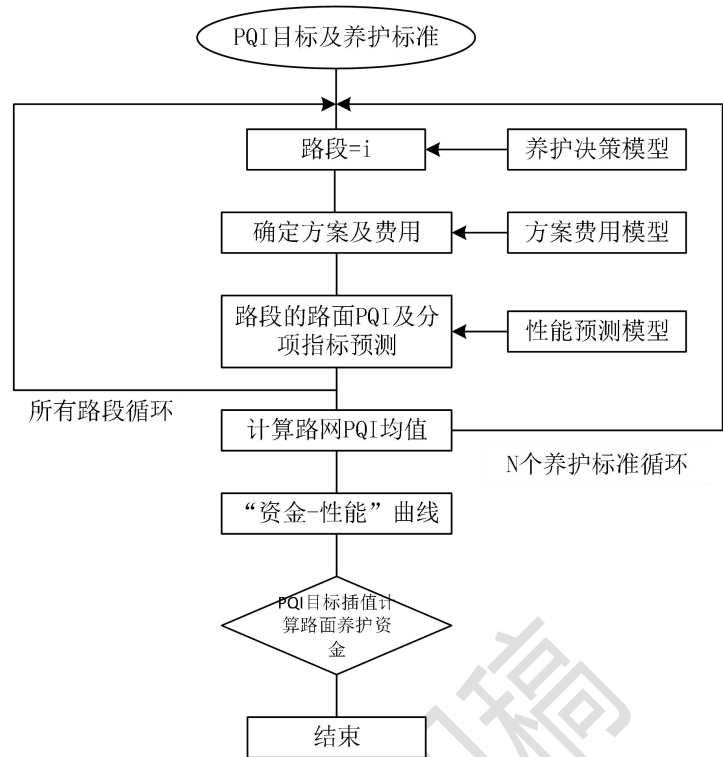
路面养护预算模型的作用是, 为公路综合养护投资决策和路面管理系统提供养护预算测算方法。该模型基于指定的路面技术状况水平 PQI , 测算整个国家公路网的路面养护工程资金总需求, 也可用于管辖区域养护资金在公路基础设施不同资产 (路面、桥梁、隧道) 的资金分配。

利用近似优化分析方法, 根据多次 (不少于 4 次) 不同路面养护标准下的需求分析结果, 获得路面养护资金需求与公路网路面技术状况指标 PQI 水平之间的函数关系, 再根据期望的 PQI (或 PCI 、 RQI) 的水平, 插值计算养护资金需求。

C.4.2 模型算法逻辑

根据目标和约束条件分析, 逻辑过程如下所示:

- 指定 PQI 目标水平 $PQIt$ (百分数值), 系统默认设置 PCI 的 5 个不同等级养护标准, PCI_i ($i=1、2、3、4、5$), 默认步长 3 分 (可设置), 分别对应 PCI 值为: $PQIt-6$, $PQIt-3$, $PQIt$, $PQIt+3$, $PQIt+6$ (任意值不超过 100)。
- 计算第 i 个养护标准下的路网养护需求, 用养护决策模型确定每个路段的养护方案及费用;
- 预测第 i 个养护标准下路网中各路段、各方案的路面使用性能 PQI_{ij} 和路网 PQI_y 年度均值;
- 循环计算完成不同等级养护标准的养护需求分析;
- 形成“费用—性能”关系曲线;
- 根据目标 PQI , 按曲线插值计算对应的养护资金总需求;
- 如果 PQI 目标值不在曲线范围内, 调整养护标准参数, 重新计算。



C. 4. 3 参数取值

路面养护预算分析算法中用到的养护方案费用模型、路面使用性能预测模型和养护决策模型见 C.1,C.2.C.3。

C. 5 投资效益分析模型

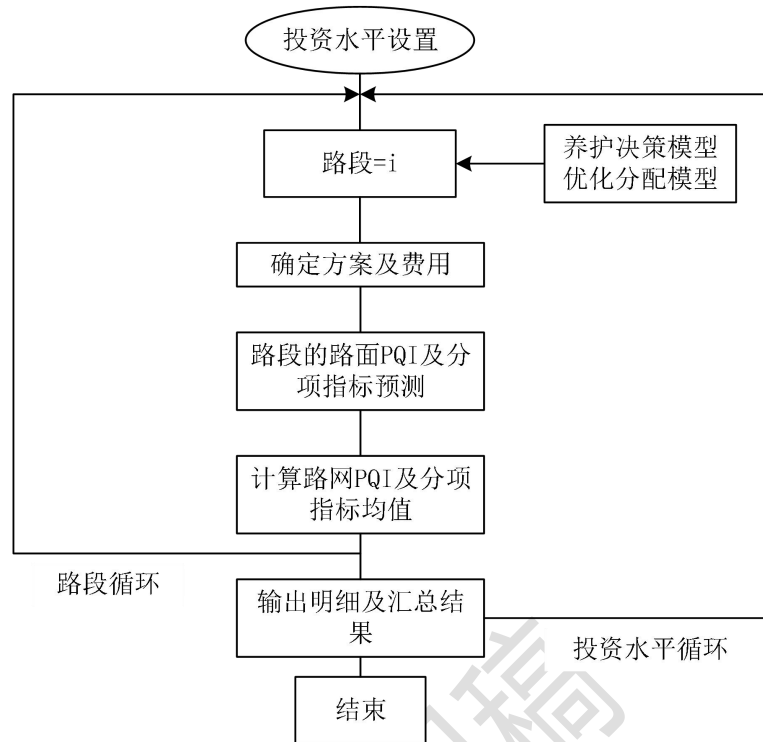
C. 5. 1 模型分析方法

路面养护投资效益分析模型的作用是，分析不同的公路养护投资水平对路网路面使用性能的影响，找出最佳的公路养护投资战略，养护资金投入与路网服务水平关系分析用于了解不同的资金投入所产生的不同效果。参照路面管理系统传统的投资效益分析模型，该方法已在全国各省的年度养护计划及中长期养护规划中，得到广泛应用和实践验证。

C. 5. 2 模型算法逻辑

投资效益模型的算法步骤如下：

- a) 设置不同的养护资金投入，可选择需求资金的 100%、75%，50%和 25%等多种不同的投资方案；
- b) 按养护需求分析和资金优化分配方法，计算各投资方案下的各类指标均值以及各指标在路网中优良中次差的比例；
- c) 输出不同投资方案的养护计划明细及汇总图表。



C. 5.3 模型参数取值

路面投资效益分析算法中用到的养护方案费用模型、养护决策模型和优化分配模型，分别见 C.1,C.3,C.6。

C. 6 资金优化分析模型

C. 6.1 模型分析方法

路面养护资金优化分配模型的作用是，将给定的公路养护费用，按照效益最大原则，优化分配到公路网中那些最需要养护并且具有效益的路段上。

采用CPMS的资金优化分配方法（排序法），该方法在全国各省的年度养护计划中得到实践验证。路网路段间的排序可采用如下两种方法：

- a) 经济指标排序（NPV 或 BCR）；
- b) 技术指标排序（RQI、PCI、AADT 等）；

考虑到经济指标计算所需的数据获取难度较大，建议本项目采用基于多技术指标的PN排序方法。PN排序的原理是确定路网中的最重要的路段，重要路段是在路网中占重要地位的关键地段，当这些路段出现损坏的时候，对整个路网的影响较大，因此在有限资金的情况下采用PN排序确定优先养护的重要路段。CPMS的PN排序考虑以下技术指标因素：

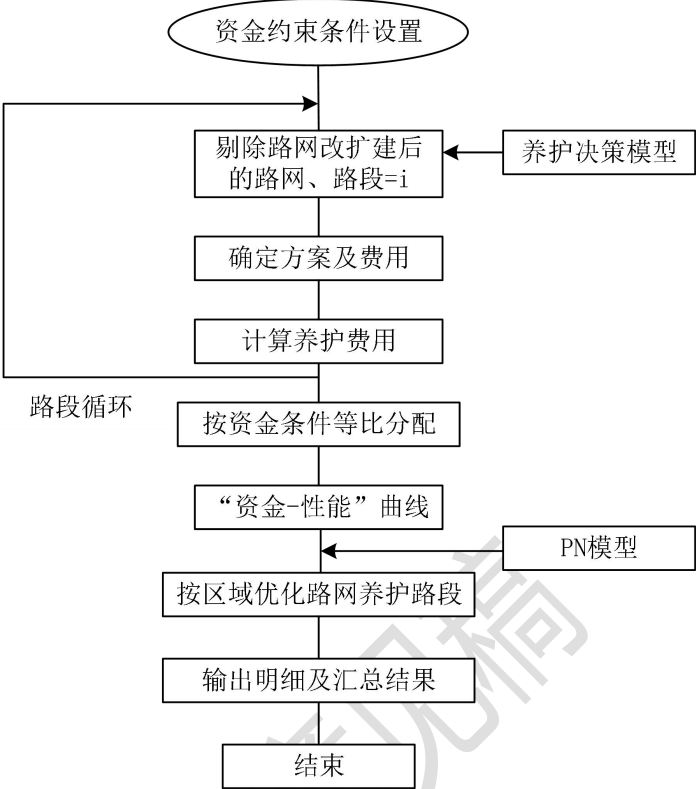
- a) 沥青路面：包括技术等级优先度、AADT 优先度、PCI 优先度、RQI 优先度、PSSI 优先度、RDI 优先度、SRI 优先度等。
- b) 水泥路面：包括技术等级优先度、AADT 优先度、PCI 优先度、RQI 优先度、SRI 优先度等。

C. 6.2 模型算法逻辑

资金优化分配算法逻辑如下：

- a) 设置大中修资金约束条件以及养护分析标准；
- b) 剔除综合决策的改扩建路段；
- c) 根据养护决策模型，分析各路段养护需求、资金需求；
- d) 根据资金约束，按所辖区域养护需求，等比例缩放；

- e) 根据各路段 PN 排序模型，筛选各省的优先处置路段；
- f) 输出养护需求明细和汇总统计。



C. 6. 3 模型参数取值

路面投资效益分析算法中用到的养护决策模型、养护方案费用模型，见C.1和C.2。

优化分配模型采用CPMS已有模型，推荐参数取值如下表，用户可根据需要自定义。表C.8、C.9中SRI和PSSI优先度为可扩展指标，默认精简模型中不采用。

表 C. 8 路面技术指标性能优先度对照表

优先度	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
AADT	10000	9000	8000	7000	6000	5500	5000	4500	4000	3000	0
PCI	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95
RDI	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95
RQI	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95
SRI	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95
PSSI	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95

表 C. 9 道路技术等级优先度对照表

技术等级	优先度
高速公路	90
一级公路	80
二级公路	70
三级公路	60
四级公路	50
等外公路	40

附录 D 桥梁资产管理常用模型（资料性）

D.1 桥梁长期性能预测常用模型

D.1.1 桥梁技术状况分析内容

桥梁技术状况分析，宜分析当前桥梁技术状况、跟养护目标的差距以及存在的薄弱环节；可按照桥梁的不同的类别和组成结构进行统计分析。桥梁技术状况分析内容应符合D.1的规定。

表 D.1 桥梁技术状况分析内容

分析维度	分析内容
行政等级	国道、省道
技术等级	高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路
管养特征	路线、路段、管养单位、行政区划
结构类型	梁桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥
设施类型	主梁（拱）、桥墩、桥台、基础、支座、拉索系统、伸缩缝、桥面铺装、防排水系统、护栏
桥龄情况	0~5 年、5~10 年、10~15 年、15~20 年、20-25 年、25-30 年、30 年以上
设计荷载	公路 I 级、公路 II 级、汽车超 20 级、汽车 20 级、汽车 15 级

D.1.2 桥梁技术状况预测模型

对于混凝土桥梁可以通过预测混凝土碳化深度，评估桥梁技术状况。混凝土随时间的碳化深度模型为：

$$X_c = k\sqrt{t} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：式中， X_c 为碳化深度， t 为时间， k 为碳化系数。

D.1.3 桥梁技术状况指标预测的马尔科夫模型

桥梁技术状况指标预测的马尔科夫模型假定当前桥梁的技术状况指标处于状态*i*，则其状态变化只能维持在*i*状态或者变为更差的*i+1*状态，即

$$P_{i,i} + P_{i,i+1} = 1 \dots\dots\dots (D.2)$$

根据桥梁技术评定等级，则式（C.4.2-1）中的频率转移矩阵可变为：

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & 1-P_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{22} & 1-P_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & 1-P_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{44} & 1-P_{44} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (D.3)$$

然后，根据桥梁初始技术状况指标 $P(0)$ 和式（D.3）可得到 t 年该指标的变化概率 $P(t)$ 。

D.1.4 韦布尔（Weibull）分布残存曲线预测模型

韦布尔分布残存曲线预测模型可用于预测桥梁技术状况随时间的残存概率，其模型如下：

$$S(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} \dots\dots\dots (D.4)$$

式中： $S(t)$ 为*t*时刻桥梁技术状况的残存概率， α 为比例参数， β 为形状参数， γ 为位置参数。

D.2 桥梁养护资金测算模型

桥梁养护资金测算算法的建立原则依据现行的养护规范《公路桥涵养护规范》(JTG 5120),同时参考《公路养护工程管理办法》和《“十四五”公路养护管理发展纲要》的规定和说明。

桥梁养护需求对应的桥梁养护工程划分为三大类,分别为A类养护、B类养护、C类养护,其中B类养护又分为B1和B2两种情况,具体情况见表D.2。表D.2中的B类养护,是根据三类桥的实际情况选择对应的养护措施,即B1和B2两种情况的比例可调节。

表 D. 2 养护工程分类

养护工程分类		养护措施	对应D _j	养护后期望D _j
A类养护		小修保养	一二类桥	一二类桥
B类养护	B ₁ 类养护	小修保养	三类桥	二类桥
	B ₂ 类养护	中修提等		二类桥
C类养护		大修或改建	四五类桥	二类桥

养护需求标准是随着政策、经济、社会效益等情况调整变化的,可以确定的是养护需求的最低标准为消除已发现的全部四五类危桥,即完成所有C类养护目标;最高标准为所有桥梁均达到一二类(理论中的极限最优),即在完成C类养护目标的前提下,全部三类桥按B₂类养护目标进行养护;实际中制定的桥梁养护决策方案是介于最高标准和最低标准之间,并考虑路面整体PQI和MQI指标,综合考虑社会经济因素而定制的。桥梁养护需求目标所对应的养护工程费用计算方法见下式。

$$\begin{cases} E = \rho [E_A + (E_{B_1} + E_{B_2}) + E_C] \\ E_{B_1} \in E_A \end{cases} \dots\dots\dots (D.5)$$

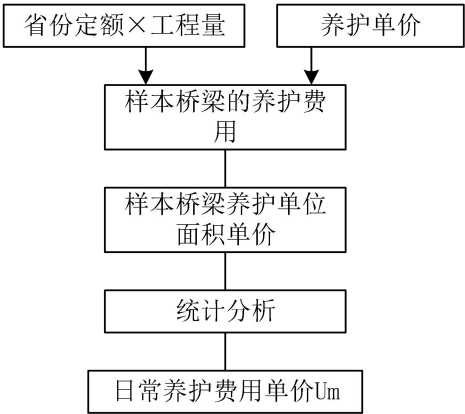
式中: E 为桥梁养护需求目标所对应的养护工程费用; E_A 为 A 类养护费用,即一二类桥日常养护类费用; E_{B_1} 为 B₁ 类养护费用,即三类桥日常养护类费用,这部分费用包含于 A 类养护费用; E_{B_2} 为 B₂ 类养护费用,即三类桥维修提等类费用; E_C 为 C 类养护费用,即四五类桥(危桥)大修或改建费用; ρ 为经济通货膨胀系数,一般取 1.0~1.2 之间。

计算思路为:首先,通过对样本桥梁的统计,计算出养护工程基准单价 U_m ;然后再分别计算出A、B1、B2及C类的养护工程费用 $\{E_A, E_{B_1}, E_{B_2}, E_C\}$;最后,计算桥梁养护需求目标所对应的养护工程费用 E 。

a) 养护工程基准单价 U_m

桥梁的养护单价在宏观统计下一般服从正态分布。养护工程基准单价 U_m 的计算流程如下:

- 1) 依据各省的定额和样本桥梁的历史养护工程的实际工程量、养护基准单价等,按照各类参考值所对应的计算方法,计算出每座样本桥梁的整座桥梁进行养护工程所花费的费用;
- 2) 每座样本桥梁的养护费用除以桥梁面积得到单位面积的单价 U_{mi} ;
- 3) 若设每座样本桥梁的工程单价 U_{mi} 通过假设检验的显著性指标在 90%~95%之间,则可以计算出 A 类养护经费的工程基准单价 U_m 。具体求解流程见下图。



b) 小修养养类养护费用（A类、B₁类费用）

A类和B₁类费用主要是指进行一、二、三类桥梁的小修养养产生的费用，其中B₁∈A，则下文以A类费用指代A∪B₁的费用。小修养养类养护工程的费用计算方法如下：

- 1) 假设跨越陆地的运营交通量一般的且桥龄小于10年的简支梁大桥的养护单价作为工程基准单价 U_{mA} ，通过上文方法求出小修养养对应的养护工程基准单价 U_{mA} ；
- 2) 根据桥梁跨径类型、桥梁结构类型、所在路线类型、跨越地物类型、桥龄及桥梁技术状况等级等影响因子对工程基准单价 U_{mA} 进行修正： $\gamma = \prod_{i=1}^7 \gamma_i$ ；
- 3) 根据步骤2计算得到修正值 γ ，计算其他类型桥梁的养护单价： $U_{mA} \times \gamma$ ；
- 4) 小修养养类养护费用通过下式可以计算。

$$\begin{cases} E_A = \gamma \cdot S \cdot U_{mA} \\ \gamma = \prod_{i=1}^7 \gamma_i \end{cases} \dots\dots\dots (D.6)$$

式中： E_A 为A类养护工程所产生的费用； γ 为桥梁养护费用计算修正系数； γ_i 为桥梁分项修正系数； S 为桥面养护面积， $S = l \cdot B$ ，单位为元/m²，其中 L 表示桥长， B 表示桥宽； U_{mA} 为A类养护工程的工程基准单价。

下面对修正值 γ 求解方法进行说明：

实际中，不同类型、不同环境下的桥梁的养护单价是不同的，这里从桥梁跨径类型、桥梁结构类型、所在路线类型、跨越地物类型、桥龄及桥梁技术状况等级等几个方面作为对单价的影响因素。

所有影响因素共同作用造成不同的养护复杂度，则预达到养护目标函数所期望的养护效果，所花费的养护资金存在差异，即单位面积下桥梁养护投入回报率不同。当确定桥梁养护基准单价后，不同工况下的桥梁可通过“养护投入回报率”修正值计算出相应的养护单价，“养护投入回报率”修正值（ $\gamma_i, i=1,2,\dots,7$ ）具体如下：

1) 桥梁跨径类型修正系数 γ_1

当桥梁长度较长时，单次投入的养护资源利用率较高，即大桥、特大桥的综合养护成本要低于同工况下的中小桥梁，按照特大桥、大桥、中桥、小桥给出修正值见下表。

表 D.3 桥梁跨径类型修正值

桥梁跨径类型	养护复杂等级	修正值 γ_1
特大桥	1	0.8
大桥	2	1.0
中桥	3	1.1
小桥	4	1.2

2) 桥梁结构类型修正值 γ_2

桥梁结构形式不同实施养护的难易程度不同，分别对不同桥梁结构形式给出初步的修正系数，还需根据所选样本桥梁进一步校核，修正值见下表。

表 D. 4 桥梁结构形式修正值

桥梁结构类型	描述	养护复杂等级	修正值 γ_2
简支梁	易检查，易保养	1	1.0
连续梁、连续刚构、T构	较易检查，易保养	2	1.1
拱桥	较难检查，较难保养	3	1.2
斜拉桥、悬索桥	难检查，难保养	4	1.3

3) 所在路线等级修正系数 γ_3

桥梁所在路线的路线等级影响桥梁的运营能力（通行交通量）和养护资金投入水平。以样本桥梁为例核算，根据初步研究成果将修正系数分为五个等级，见下表。

表 D. 5 路线等级修正值

描述	养护复杂等级	修正值 γ_3
四级道路	1	0.9
三级道路	2	1.0
二级道路	3	1.1
一级道路	4	1.2
高速公路、专用道路	5	1.3

4) 跨越地物类型修正值 γ_4

桥梁跨越不同地物条件下的桥梁检查维修也不尽相同：一般而言，跨越铁路的桥梁由于铁路的净空限高要求，很难做到及时到位的检查和维修，故跨越铁路的桥梁最难保养或维修；跨越河海的桥梁也较跨越陆地的桥梁维修难度要高。综上，跨越地物类型的修正值见下表。

表 D. 6 跨越地物类型修正值

跨越地物类型	养护复杂等级	修正值 γ_4
跨陆地	1	1.0
跨河（海）	2	1.1
跨道路	3	1.2

5) 桥龄修正值 γ_5

桥梁是具有一定使用寿命的结构，随着服役时间的增长，桥梁的性能逐渐退化，桥龄对桥梁服役性能的影响不容忽视。根据桥梁结构劣化规律得出桥龄修正系数见下表。

表 D. 7 桥龄修正值

桥龄	养护复杂等级	修正值 γ_5
桥龄 < 10年	1	1.0
10 ≤ 桥龄 < 20年	2	1.1
桥龄 ≥ 20年	3	1.2

6) 桥梁技术状况等级修正值 γ_6

桥梁的技术状况等级可以最直观的反映桥梁的养护需求和其对应的养护工程种类。根据桥梁结构劣化规律得出桥梁技术状况等级修正系数见下表。

表 D. 8 桥梁技术状况等级修正值

技术状况等级	描述	修正值 γ_6
1	全新状态，功能完好	1.00
2	有轻微缺损，对桥梁使用功能无影响	1.05
3	有中等缺损，尚能维持正常使用功能	1.10

技术状况等级	描述	修正值 γ_e
4	主要构件有大的缺损，严重影响桥梁使用功能；或影响承载能力，不能保证正常使用	1.15
5	主要构件存在严重缺损，不能正常使用，危及桥梁安全，桥梁处于危险状态。	1.20

c) 中修提等类养护费用（B₂类费用）

1) 求解养护工程基准单价 U_{mB_2}

应先依据桥梁结构形式和桥梁材料所对应的养护方式的区别，对所辖范围内桥梁数据进行分类整理，下面阐述下中修提等养护工程的工程费用（即B₂类养护工程费用）的计算方法，相关工程基准单价应根据管辖区域定额或实际造价综合考虑：

钢筋（预应力）混凝土梁桥三类桥主要维修措施有封闭裂缝、修复混凝土。封闭裂缝主要工艺有水泥砂浆、环氧砂浆、密封胶、灌浆机灌注水泥浆、环氧树脂空气压力灌注、甲基丙烯酸甲酯空气压力灌注、注浆器注入灌注胶。修复混凝土主要工艺有现浇混凝土修补、环氧混凝土修补、环氧砂浆修补。

由圯工材料构建的三类桥的维修措施主要有维修上下部结构填补圯工材料、抹灰等。

三类钢桥对应的维修措施主要有除锈、油漆。

2) 求解三类桥进行中修的工程量

在预估费用时，当多病害共同组合时，考虑到病害实际发生的概率缩减50%。按照《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）中对部构件病害标度定量描述确定工作量：

裂缝：根据桥梁的跨径及结构形式预估产生裂缝的量见下表。

表 D.9 不同桥梁形式产生裂缝预估数量

序号	结构形式		材料类型		预估数量（延米）
	名称	L24代码	名称	L24代码	
1	实心板	12,18	-	11,12	跨径长度×4
2	空心板	11	非预应力	12	跨径长度× $\frac{\text{桥梁宽度}}{0.3} \times 0.5$
3	肋梁T梁、I梁、 π 梁等	13,14,15,19	非预应力	12	跨径长度× $\frac{\text{桥梁宽度}}{0.3} \times 0.5$
4	空心板	11	预应力	15	跨径长度× $\frac{\text{桥梁宽度}}{1.3} \times 0.5$
5	肋梁（T梁、I梁、 π 梁等）	13,14,15,19,21	预应力	15	跨径长度× $\frac{\text{桥梁宽度}}{1.3} \times 0.5$
6	箱梁	16,22,30,53,54	不限	不限	跨径长度× $\frac{\text{桥梁宽度}}{3.3} \times 0.6$

修复混凝土面积按照桥梁面积的5%计算；

圯工材料类三类桥维修按照单价×桥梁面积×5%；

钢桥三类桥维修按照单价×桥梁面积×15%。

d) 大修或改造类费用（C类费用）

对于四五类桥的大修或改造费用的计算方法，与A类费用计算方法基本相同，具体参见c小节的内容

D.3 桥梁养护决策多目标优化模型

桥梁养护管理决策的核心内容是在指定的预算资金和其他资源的约束下，寻求最优养护策略，使得效益目标最大化，或者是在一定的桥梁结构使用性能要求和资源限制的约束下，寻求最优养护策略，使得费用目标最小化。根据桥梁养护的时间，桥梁养护管理决策又分为预防性养护决策和修复性养护决策。

D.3.1 模型的建立

在一个由许多座桥梁组成的交通网络内，在给定的规划期内，进行桥梁措施、顺利的合理安排，达到产生的养护措施费用最少和桥梁技术状况指标最佳，这样的桥梁养护规划决策就是一个多目标规划，决策变量就是对某桥梁采取某种养护措施。这个决策面对的是桥梁养护管理的上层管理者需要对所需资源量和养护效果进行确定。

设：M为该路网的桥梁数量，C为桥梁技术状况的等级划分矩阵（按《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）的规定，桥梁技术状况一般分为5类）。 $S_{kt} = (S_{kt}^i)_{1 \times 5}$ 为第t个时刻（设时间段总量为T, $t=1, 2, \dots, T$ ）桥梁k的状态， S_{kt}^i 表示为对等级i的确定度（按《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）的规定，桥梁技术状况一般分为5类， $i=1, 2, 3, 4, 5$ ）。同样有养护措施矩阵 $G = G_l$, $l=1, 2, \dots, 5$, l 为第 l 类养护措施（按《公路桥涵养护规范》（JTG 5120）的规定），桥梁的养护措施一般分为日常保养、小修、中修、大修、加固或改扩建5类），决策变量 $X = (X_j^m)_{M \times 5}$, $X_j^m = 0$ 或 1 表示对第m座桥是否进行第j类养护措施。 $P_{jm}^{k,r}$ 表示在选用了养护措施j时，桥梁m从状态k到状态r的概率，此矩阵的确定需要桥梁专业知识或大量相同类型桥梁的养护数据进行统计和预测。 $W = (W_j)_{1 \times 5}$ 表示采取第j种养护措施的工程量（这里将工程量定义为桥梁的面积）， $A = (A_j)_{1 \times 5}$ 表示第j种措施下的单位工程量的养护费用， v 为期间的平均利率。

第t时刻桥梁k的状态为：

$$S_{kt} = S_{k(t-1)} \times P_0 \times \prod_{j=1}^5 (P_{jk} \times X_j^{kt}) \cdots \cdots \cdots (D.7)$$

式中： S_0 为分析期初的原始状态 P_0 为不进行任何养护措施的桥梁自然老化的概率状态矩阵。

第t时刻桥梁k的状态采取养护措施后的费用为：

$$F_{kt} = \sum_{j=1}^5 A_j \times (1+v)^t \times W_j \times X_j^{kt} \cdots \cdots \cdots (D.8)$$

因此，建立该决策问题的多目标规划模型，见下列公式：

$$\text{最佳状态: } \max \left(\sum_{k=1}^M \sum_{t=1}^T S_{kt} / (M \cdot T) \right) \cdots \cdots \cdots (D.9)$$

$$\text{费用最小: } \min \left(\sum_{k=1}^M \sum_{t=1}^T F_{kt} \right) \cdots \cdots \cdots (D.10)$$

$$\text{约束条件: } X_j = 0 \text{ 或 } 1 \cdots \cdots \cdots (D.11)$$

D. 3. 2 模型的求解思路

D. 9, D. 10, D. 11表示的是一个多目标非线性规划模型，又可以从模型特点上将其划为动态规划和整数规划。对于一个规划问题，首先重要的是确定模型参数，再是如何求解的问题。这个模型中与采取某种养护措施关联的措施状态转移矩阵 $P_{jm}^{k,r}$ 是模型的关键参数之一。该参数的获得可以根据桥梁养护的专业知识来评定，也可以通过同类型桥梁与某类养护措施相关的信息集合使用数据挖掘方法进行确定。其次是参数 A_j 单位工程费用的核定，受地理环境和经济因素的影响，不同片区的单位工程费用差别较大。当确定了这两个参数，对这个多目标规划，就可以通过选取不同的多目标规划问题的求解策略来将多目标问题转化为单目标问题，常用的有约束法、分层法、评估函数法。

D. 3. 3 影响因素

在桥梁的寿命周期内，桥梁的技术状况是不断随着时间在变化的，桥梁结构的劣化是一个不可避免的自然过程，桥梁不可能永远保持较高的服务水平。影响桥梁技术状况或结构劣化的因素主要包括桥梁的工程结构、桥梁的荷载、桥梁的交通流量、自然气候、桥梁材料、桥梁养护管理的水平等。

依据《公路桥涵养护规范》（JTG 5120）规定，桥梁评定分为一般评定和适应性评定。一般评定是根据桥梁定期检查资料，通过对桥梁各部件技术状况的综合评定，确定桥梁的技术状况等级，提出各类桥梁的养护措施。桥梁适应性评定包括以下内容：根据桥梁初始检查，定期检查及特殊检查资料，结合

试验与结构受力分析，评定桥梁的实际承载能力、通行能力、抗灾害能力，提出桥梁养护、改造方案。所以，对于三类桥梁的养护工程措施制定，按照其桥梁适应性评定层次综合考虑。

征求意见稿

附录 E 隧道资产管理常用模型（资料性）

E.1 隧道长期性能预测常用模型

E.1.1 隧道技术状况分析内容

隧道技术状况分析，宜分析当前隧道技术状况、跟养护目标的差距以及存在的薄弱环节；可按照隧道的不同的类别和组成结构进行统计分析。隧道技术状况分析内容应符合E.1的规定。

表 E.1 隧道技术状况分析内容

分析维度	分析内容
行政等级	国道、省道
技术等级	高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路
管养特征	路线、路段、管养单位、行政区划
设施类型	洞口、洞门、衬砌、路面、检修道、排水设施、吊顶及预埋件、内装饰、标志标线轮廓标
围岩地质条件	围岩等级、水文地质条件

E.1.2 隧道技术状况指标预测的马尔科夫

隧道技术状况指标预测的马尔科夫模型假定当前隧道的技术状况指标处于状态*i*，则其状态变化只能维持在*i*状态或者变为更差的*i+1*状态，即

$$P_{i,i} + P_{i,i+1} = 1 \dots\dots\dots (E.1)$$

根据隧道技术评定等级，则式（E.1）中的频率转移矩阵可变为：

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & 1-P_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{22} & 1-P_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & 1-P_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{44} & 1-P_{44} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (E.2)$$

然后，根据隧道初始技术状况指标 $P(0)$ 和式（E.2）可得到 t 年该指标的变化概率 $P(t)$ 。

E.1.3 韦布尔（Weibull）分布残存曲线预测模型

韦布尔分布残存曲线预测模型可用于预测隧道技术状况随时间的残存概率，其模型如下：

$$S(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} \dots\dots\dots (E.3)$$

式中： $S(t)$ 为 t 时刻隧道技术状况的残存概率， α 为比例参数， β 为形状参数， γ 为位置参数。

E.2 隧道养护投资资金测算模型

隧道养护资金测算算法必须满足隧道养护的基本目标。基本目标的建立原则是依据现行的规范《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）和《公路隧道养护工程预算定额》（JTG/T M72-01）的规定，同时参考《公路养护工程管理办法》的规定和说明。

E.2.1 隧道土建结构养护资金测算模型

隧道土建结构的养护需求对应的隧道养护工程划分为三大类，分别为A类养护、B类养护、C类养护，具体情况见下表。

表 E.2 隧道土建结构养护工程分类

养护工程分类	养护措施	对应JGCI	养护后期望JGCI
A类养护	清洁保养/预防养护	一二类隧道	一二类隧道
		三类隧道	二类隧道
B类养护	保养维修/修复养护		二类隧道
C类养护	病害处治工程/专项养护	四五类隧道	二类隧道

养护需求标准是随着政策、经济、社会效益等情况调整变化的，可以确定的是养护需求的最低标准为消除已发现的全部四五类隧道，即完成所有C类养护目标；最高标准为所有隧道均达到一二类（理论中的极限最优），即在完成C类养护目标的前提下，全部三类隧道按B类养护目标进行养护；实际中制定的隧道养护决策方案是介于最高标准和最低标准之间，并考虑路面整体BCI和MQI指标，综合考虑社会经济因素而定制的。隧道养护需求目标所对应的养护工程费用计算方法见下式。

$$\begin{cases} E = \rho \left[E_A + (E_{B_1} + E_{B_2}) + E_C \right] \\ E_{B_1} \in E_A \end{cases} \dots\dots\dots (E.4)$$

式中： E 为隧道养护需求目标所对应的养护工程费用； E_A 为A类养护费用，即一二类隧道预防性养护工程类费用； E_B 为B类养护费用，即三类隧道修复性养护工程等类费用； E_C 为C类养护费用，即四五类隧道专项养护工程费用； ρ 为经济通货膨胀系数，一般取1.0~1.2之间。

a) 隧道养护工程基准单价 U_m

隧道的养护单价在宏观统计下一般服从正态分布。养护工程基准单价 U_m 的计算流程如下：

- 1)

依据各省的定额和样本隧道的历史养护工程的实际工程量、养护基准单价等，按照各类参考值所对应的计算方法，计算出每座样本隧道的整座隧道进行养护工程所花费的费用；
- 2)

每座样本隧道的养护费用除以隧道长度得到单位长度的单价 U_{mi} ；
- 3)

若设每座样本隧道的工程单价 U_{mi} 通过假设检验的显著性指标在 90%~95%之间，则可以计算出 A 类养护经费的工程基准单价 U_m 。

b) 预防性养护工程费用（A类费用）

预防性养护工程费用，即隧道清洁类费用，其计算的主要步骤如下：

- 1)

选择中部地区路面隧龄 10 年的宽度 7.5 米的中隧道作为样本隧道，根据现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）规定估算其预防性养护工程的工程量（表 E.2）；
- 2)

根据《公路隧道养护工程预算定额》（JTG/T M72-01）估算样本隧道费用，即基准单价（表 E.3）。
- 3)

综合考虑隧道的路面宽度、隧龄、所在省市、隧道相邻位置进行修正得到，即

$$U_m = \prod_{i=1}^n \gamma_i \cdot U_{mi} \dots\dots\dots (E.4)$$

根据现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）规定的频次预估每个养护年度隧道养护工作量。

表 E.3 隧道土建结构清洁频率

序号	清洁养护工程	工作频率			每个养护年度工作次数		
		一级养护	二级养护	三级养护	一级养护	二级养护	三级养护
1	路面清扫、清污	1次/d	2次/周	1次/旬	365次	104次	36次
2	内装饰、检修道、横通道、标志、标线、轮廓标	1次/月	1次/2月	1次/季度	12次	6次	4次
3	排水设施	1次/季度	1次/半年	1次/半年	4次	2次	2次
4	顶板	1次/半年	1次/年	1次/2年	2次	2次	0.5次
5	斜井	1次/半年	1次/年	1次/2年	2次	1次	0.5次
6	侧墙、洞门	1次/2月	1次/季度	1次/半年	6次	4次	2次

根据《公路隧道养护工程预算定额》（JTG/T M72-01），隧道各项清洁养护工程基价。

表 E. 4 隧道土建结构清洁养护基价

序号	清洁养护工程	基价（元）	基价单位	备注
1	路面清扫	35.0	1000 m ²	机械清扫价格
2	路面清污	234.0	10 m ²	/
3	边墙清洗	845.0	1000 m ²	人工清洗
		195.0	/	机械清洗
4	边沟清理	803.0	100m	盖板排水沟
5	清洗标志、标线	267.0	100 m ²	清洗隧道内标线
		96.0	10块	清洗隧道内标志
		110.0	100块	清洗隧道内轮廓标
6	斜井、风道清扫	439.0	1000 m ²	人工清扫斜井侧壁
		327.0	1000 m ²	人工清扫斜井地面
		149.0	100 m ²	风口清理

综上，依据现有字段进行预估分析实际费用，得到A类费用单个养护年度延米基准价见下表。

表 E. 5 隧道土建结构清洁养护基准单价

序号	公路等级	隧道长度分类	基准价（延米）	备注
U_{m1}	高速路、一级路	长隧道、特长隧道	195元	一级养护
U_{m2}	高速路、一级路	中隧道、短隧道	72元	二级养护
U_{m3}	二级及以下	特长隧道	43元	一级养护
		特长、长隧道、中隧道	21元	二级养护
U_{m4}	二级及以下	长隧道、中、短隧道	14.5元	三级养护

在上述中单价作为基准价，综合考虑隧道的路面宽度、隧龄、所在省市、隧道相邻位置进行修正，具体修正值见如下三表。

1) 隧道路面宽度修正系数 γ_1

当隧道路面宽度越宽时，单次投入的养护费用越多，按照不同隧道路面宽度区间给出修正值。

表 E. 6 隧道路面宽度修正系数

序号	隧道路面宽度	修正值 γ_1
1	$\leq 7.5\text{m}$	0.8
2	$> 7.5\text{m}, \leq 11.25$	1.0
3	$> 11.25\text{m}$	1.2

2) 隧龄修正值 γ_2

隧道是具有一定使用寿命的结构，随着服役时间的增长，隧道的性能逐渐劣化，隧龄对隧道服役性能的影响不容忽视。根据隧道结构劣化规律得出隧龄修正系数见下表。

序号	隧龄	修正值 γ_2
1	$< 5\text{年}$	0.8
2	$\geq 5\text{年}, < 10\text{年}$	0.9
3	$\geq 10\text{年}, < 20\text{年}$	1.0
4	$\geq 20\text{年}, < 30\text{年}$	1.2
5	$\geq 30\text{年}$	1.3

3) 所在省市修正系数 γ_3

隧道所在的省市，包含了隧道当地的地质水文类型与气候类型信息，即隧道围岩类型信息，同时综合考虑在省市的整体管养投入和管养目标高低。将隧道所在的省市按照东部地区、西部地区、中部地区分为三类，分别给出修正系数，见下表。

表 E. 7 所在省市修正系数

序号	所在省市	修正值 γ_3
1	东部地区	1.1
2	中部地区	1.0
3	西部地区	0.9

4) 隧道相邻位置修正系数 γ_4

独立隧道和隧道群的养护费用不同，一般而言，隧道群密度越大，综合养护费用总额越低。隧道群中隧道相邻位置修正筛选相同省市相同路线上的隧道中心桩号修正间距，主要考虑隧道群或隧道分布较集中的情况，养护效率会整体提高。按照隧道间距的远近的修正值见下表。

表 E.8 隧道相邻位置修正系数

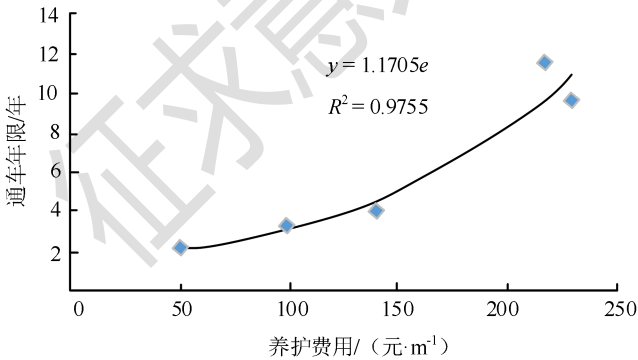
序号	隧道间距（中心桩号为准）	修正值 γ_4
1	<1km	0.7
2	$\geq 1\text{km}, <10\text{km}$	0.8
3	$\geq 10\text{km}, <30\text{km}$	0.9

c) 修复性养护工程费用（B类费用）

隧道土建结构的主要病害是衬砌的病害，病害的成因是衬砌与围岩相互作用引起结构体微破坏或局部疲劳，其力学本构模型是非线性弹塑性力学模型。土建结构病害的成因复杂，修复性养护的工程量不容易确定。通过调研养护单位的数据进行分析，采用非线性回归分析方法，建立隧道保养维修费用估价模型，即，选取相应的指标：隧龄（通车时间）、交通量、所在省份、特殊围岩类型。

1) 影响因素分析

对于隧龄（通车时间），以公路隧道通车之后，在来自围岩荷载的不断作用下，病害逐渐增多，使其性能及技术状态逐渐衰退。根据调查情况，对基础数据中通车年限相同的隧道进行合并平均，然后分析通车年限与养护费用之间的关系如下。



对于交通量，交通量的大小直接影响隧道内路面的劣化隧道，并对下拱脚产生不利影响。分成轻交通、中交通、重交通三类，对应不同程度的隧道路面病害，即对应不同的修复性养护工程量。

对于所在省份，隧道所在的省市，包含了隧道当地的地质水文类型与气候类型信息，即隧道围岩类型信息，同时综合考虑在省市的整体管养投入和管养目标高低。一般按照，东部、中部、西部来划分地区。

对于特殊围岩类型，按照围岩等分为I-V五个等级，不同围岩类型对应不同的病害类型及修复性养护工程的工程量。

2) 隧道土建结构修复性养护费用评估模型

采用非线性回归分析方法，建立隧道工程日常养护费用估价模型，即

$$Z = f(Y_1, Y_2, \dots, Y_i) \dots\dots\dots (E.5)$$

根据对日常养护费用影响因素的系统研究以及对于指标选取的原则，选取多个指标：比如通车年限、交通量、所在省份、围岩类型是否具有特殊性等。具体算法模型实施步骤如下：假设因变量（Y）和各

自变量（Xi）之间的关系是二次项模型，且相关关系是显著；建立因变量（Y）和各自变量（Xi）之间的完全二次项模型，并求得对应函数关系；对模型进行回归验证并优化模型。

d) 专项养护工程费用（C类费用）

专项养护工程费用，即四五类隧道的病害处治费用的计算方法类似保养维修类费用计算，由于目前尚无足够的统计数据，暂时无法得到准确的隧道改造工程的工程基准单价。

E.2.2 隧道机电设施养护资金测算模型

机电设施费用包括日常巡查费用、经常检修、定期检修以及专项费用，由于隧道数量较少、不同规模的隧道机电设施配置区别较大，同时考虑路网BCI的计算，可通过单隧计算的方式计算费用。隧道机电设施养护工程主要有：

- a) 日常巡查是指在巡视车上或通过步行目测以及其他信息化手段对机电设施外观和运行状态进行的一般巡视检查，并对检查结果及时记录。
- b) 经常检修是指通过步行目测或使用简单工具，对设施仪表读数、运转状态或损坏情况进行检查并对检查结果定性判断，对破损零部件应及时进行维修更换。
- c) 定期检修是指通过检测仪器对机电设施运转状态和性能进行的全面检查、标定和维修。
- d) 专项工程是指对机电设施进行的集中性、系统性维修，使其满足原有技术标准。

E.2.2.1 隧道机电设施巡查、检修费用

a) 隧道机电设施巡查类费用

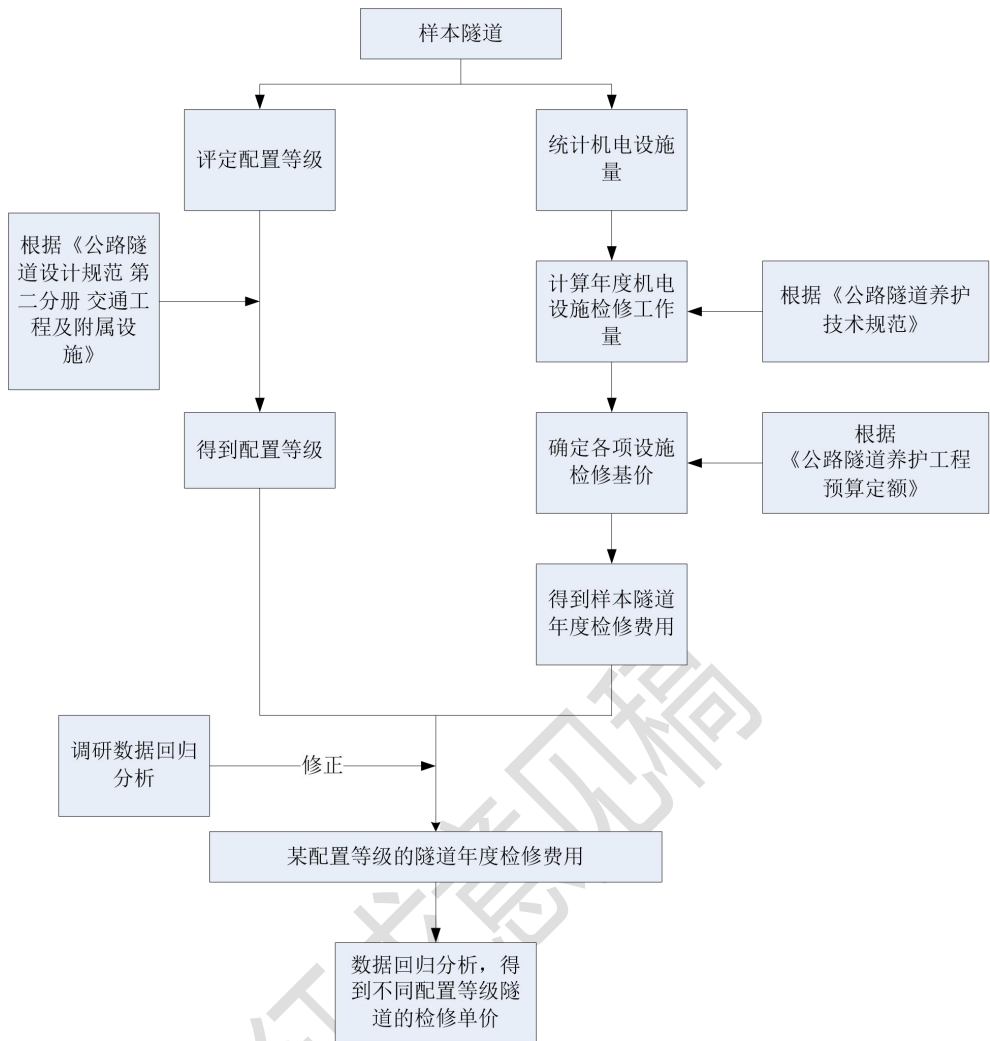
隧道机电设施的日常巡查，根据《公路隧道养护工程预算定额》（JTG/T M72-01）规定的机电设施日常巡查的基价见下表。

表 E.9 机电设施巡查费用基价

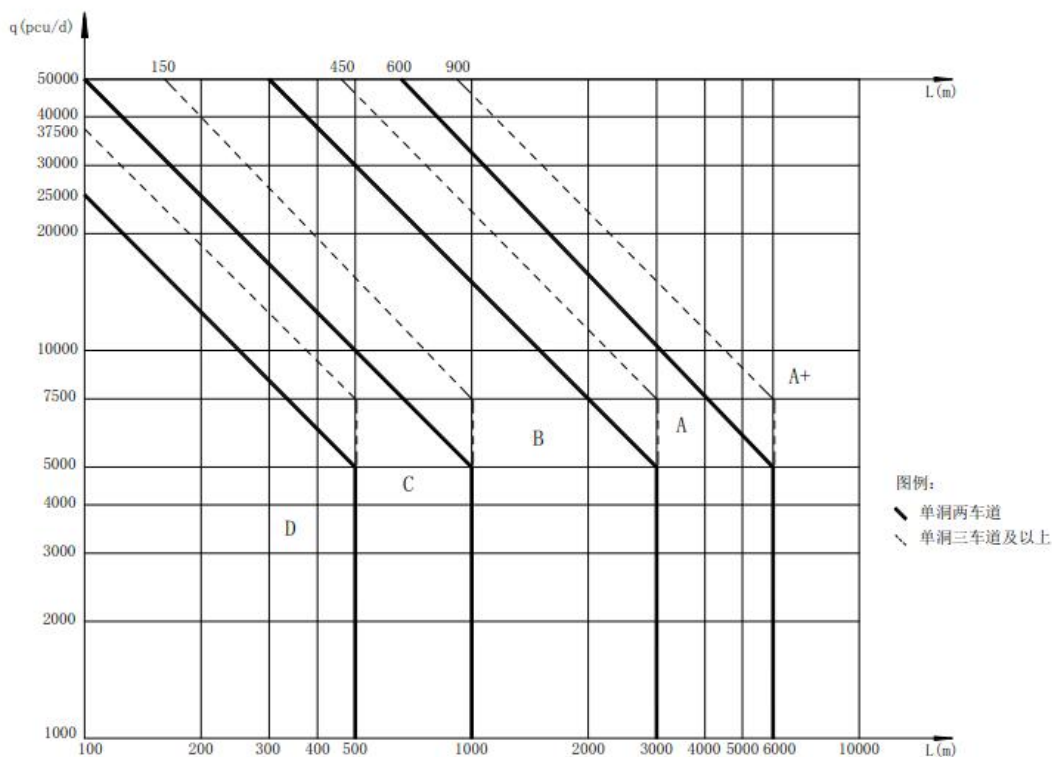
隧道单洞长度L	巡查工程费基价（元/1km·次）
L≤500m	33.0
500m<L≤1000m	39.0
1000m<L≤3000m	41.0
3000m<L	49.0

b) 隧道机电设施检修类费用

对于隧道机电的检修类费用采用对样本隧道测算和调研数据回归分析相结合的方式进行。首先对样本隧道（机电设施数量明确）进行费用测算，再根据调研数据进行回归分析，结果作为测算的修正，工作流程见下图。



选取既有的隧道样本后，确定隧道机电设施的配置等级的同时，根据年度检修工作量和单价，估算隧道机电设施年度检修花费，得到不同配置等级的养护单价。根据《公路隧道设计规范 第二分册 交通工程与附属设施》（JTG D70-2）的规定确定样本隧道机电设施配置等级。



q——隧道单洞年平均日交通量（折合小客车），单位为pcu/d。
L——隧道单洞长度，单位为m。

按照现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）规定经常检修频率为1次/1～3个月、定期检修频率为1次/年。现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）明确规定了每项机电设施的检修内容，部分机电设施的检修内容见下表。通过调研咨询管养单位得到，一般经常检修按照三个月一次的频率分批次执行，定期检修为每年一次。因此，在计算年度养护工作量时按照三个月执行一次经常检修、每年一次定期检修的频率。

表 E. 10 部分机电设施的检修内容

设施名称	检修项目	主要检修内容
高压计量柜	计量仪表	计量仪表有无污染，计量是否准确
高压隔离开关和负荷开关	触头	有无污染、损伤
		接触是否紧密
		灭弧装置是否烧焦
	操作机构	操作机构有无污染
	负荷开关	采用SF6绝缘和灭弧的装置应观测其壳体漏气率是否符合生产厂规定
	高压熔断器	外观有无污染、烧伤痕迹
		熔断丝是否熔断

在已知样本隧道的检修内容和检修频率后，通过现行《公路隧道养护工程预算定额》（JTG/T M72-01）和现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）可计算出样本隧道的检修总费用。通过对样本隧道的测算得到A+、A、B、C、D类配置级别隧道机电设施年度检修类费用基价见下表。

表 E. 11 机电设施年度检修费用基价

级别	基价（元/延米）
A+	145.0
A	108.0

级别	基价（元/延米）
B	100.0
C	93.0
D	95.0

E. 2. 2. 2 隧道机电设备专项养护工程费用

调研隧道机电设施专项类费用（主要指机电设施更换费用）进行分析，得到供配电设施、通风设施、照明设施、消防设施、监控与通信设施的更换周期及费用，进而得到延米单价。

E. 3 隧道养护决策排序优化模型

隧道养护管理决策排序优化的核心内容是全口径养护费用不能满足既定养护目标时，通过隧道养护优先级排序达到最高养护投入产出比。

路网级隧道养护决策优化排序的内容就是确定路网中隧道的养护顺序，即在有限资金的条件下，制定合理的养护顺序，优先安排对交通运输影响大，技术状况较差，养护等级高的隧道进行处治，以达到合理地分配和使用有限资金，保证路网中隧道在较高的服务水平上，使养护维修资金发挥最佳的经济效益和社会效益。

E. 3. 1. 1 隧道养护优化排序原则

路网级养护决策是针对路网内的所有隧道，是从保证整个交通网络的交通质量出发，就需要综合考虑隧道技术状况、道路等级、养护等级等。

由于隧道数量少并且结构单一，在技术状况、养护等级、路线等级、隧龄、所在省份等条件下考虑养护优先级，具体排序原则如下：

- 技术状况等级达到四、五类的优先处置，并且要保证资金；
- 一、二类隧道保持日常养护即可；
- 三类隧道养护优先级根据养护等级、路线等级、隧龄、交通量、隧道长度、所在省份确定。

E. 3. 1. 2 三类隧道养护优先级指标

三类隧道养护优先级根据养护等级、路线等级、隧龄、交通量、隧道长度、所在省份确定。

a) 隧道养护等级

根据现行《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）的相关规定，隧道养护等级由所在路线等级和隧道长度共同决定，隧道养护等级指标值见下表。

表 E. 12 隧道养护等级指标值

标度	养护等级	隧道规模
1	二级	长隧道、中隧道、短隧道
2	三级	全部
	一级	长隧道、中隧道
3	二级	特长隧道
	一级	特长隧道

b) 隧龄（通车年限）

隧道的通车年限的指标值见下表。

表 E. 13 隧龄指标值

标度	隧龄	备注
1	<5年	考虑隧龄增加技术状况衰退的情况
2	≥5年，<10年	
3	≥10年，<20年	
4	≥20年，<30年	
5	≥30年	

c) 所在省份

隧道养护排序需要考虑所在省市的气候及特殊地质普遍存在的情况，主要分为温热地区、寒冷地区、严寒地区及特殊地质地区，具体指标值见下表。

表 E. 14 所在省份指标值

标度	所在省市
1	温热地区
2	寒冷地区
3	严寒地区、特殊地质省

综上，隧道养护优化排序影响因子及指标的分配原则见下表。

表 E. 15 隧道养护优化排序影响因子的指标得分及权重分配

序号	评定类型	权重值	标度级别	分值
1	养护等级	0.4	3	40,60,100
2	隧龄	0.4	5	20,40,60,80,100
3	所在省市	0.2	3	60,80,100

附 录 F 沿线设施资产管理常用模型（资料性）

F.1 沿线设施长期性能预测常用模型

F.1.1 沿线设施技术状况分析内容

表 F.1 沿线设施技术状况分析内容

分析维度	分析内容
行政等级	国道、省道
技术等级	高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路
管养特征	路线、路段、管养单位、行政区划
设施类型	防护设施、隔离栅、标志、标线、绿化

F.1.2 韦布尔（Weibull）分布残存曲线预测模

韦布尔分布残存曲线预测模型可用于预测路灯等沿线设施随时间的正常工作概率，其模型如下：

$$S(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}} \dots\dots\dots (F.1)$$

F.1.3 对数—逻辑斯迪克（log-logistic）分布残存曲线预测模型

对数—逻辑斯迪克分布残存曲线预测模型可用于预测交通信号灯等沿线设施随时间的正常工作概率，其模型如下：

$$S(t) = 1 - \left[1 + \left(\frac{\beta}{t - \gamma}\right)^{\alpha}\right]^{-1} \dots\dots\dots (F.2)$$

本标准用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词采用下列写法

- 1) 表示很严格,非这样做不可的用词,正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;
- 2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词,正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;
- 3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词,正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;
- 4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法:

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时,采用“除应符合本规范的规定外,尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中,当引用的标准为国家标准和行业标准时,表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本规范中的其他规定时,表述为“应符合本规范第×章的有关规定”、“应符合本规范第×.×节的有关规定”、“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。

征求意见稿