DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260327

城镇化地区公路提级改造方案要点分析

王之怡
(北京市市政专业设计院股份公司,北京市 100097)

摘　要: 伴随着怀柔科学城东区的发展建设以及周边规划路网的实施进程,密新路一方面承担着怀密两区的过境交通,一方面解决科学城东西区通勤和沿线村民出行的集散交通,从传统的二级公路转变为典型的城镇化地区公路。城镇化地区公路提级改造方案设计要点主要有提级改造必要性论证,道路等级和车道数的确定,设计速度的选择,横断面布设,路基加宽方案,路面结构方案及材料比选等。结合密新路实体工程,从技术可行,节能环保,经济合理,利于施工等方面进行深入分析,全面系统地阐述了各关键性设计要点的确定过程,以期为相关工程提供借鉴和参考。

关键词: 城镇化公路;提级改造;横断面布设;路基加宽方案
中图分类号: U412.36;TU997　　**文献标志码:** B　　**文章编号:** 1009-7716(2026)09-0147-06

Analysis on Key Points of Highway Upgrading and Reconstruction Schemes in Urbanized Areas

WANG Zhiyi
(Beijing Municipal Engineering Design Institute Co., Ltd., Beijing 100097, China)

Abstract: With the development and construction of the east area of Huairou Science City and the implementation of surrounding planned road networks, on the one hand, Mixin Road undertakes the transit traffic between Huairou and Miyun Districts; on the other hand, it solves the transportation distribution for commuting between the east and west areas of the Science City and the travel of villagers along the line, which has transformed from a traditional second-class highway into a typical highway in urbanized areas. The key points of highway upgrading and reconstruction schemes in urbanized areas mainly include the argumentation of the necessity of upgrading and reconstruction, the determination of road grade and lane number, the selection of design speed, the cross-sectional layout, the subgrade widening scheme, the pavement structure scheme and the material comparison. Combined with the Mixin Road Project, the in-depth analysis is conducted from the aspects of technical feasibility, energy conservation and environmental protection, economic rationality, and construction convenience. The determination process of each key design point is comprehensively and systematically expounded in order to provide reference and guidance for related projects.

Keywords: urbanized highway; upgrading and reconstruction; cross-section layout; subgrade widening scheme

0　引　言

截至2024年我国公路总里程已达549.04万km,北京市公路总里程约1.63万km。一方面,随着交通量和车辆荷载的日益增长,早期修建的公路已不能满足承载力与通行需求;另一方面,随着我国城镇化迅速发展,城市规模和人口不断扩张,城市用地不断向郊区扩展[1],公路逐渐被城镇“包围”[2],其交通组成也随之变化,除机动车外,非机动车和行人的通行需求逐年增加,机非人混行问题日益凸显,行车安全存在极大隐患,将传统公路改造为城市道路的需求越来越大。

近年来,我国穿城镇段公路发展重点主要包括公路改扩建,公路的城市化改造,公路的快速化改造[2],城镇化地区公路立交节点改造[3-4]等。目前国内公路市政化改造研究主要为高速公路的市政化改造,如深圳龙大高速市政化改造提出“主线快速路+辅道主干路”的复合模式[5],石家庄某高速公路市政化改造中,结合沿线不同建设条件,因地制宜,主路采用地面快速路、高架快速路、下沉式快速路等多种敷设形式[6]。北京地区公路改扩建项目多见于两种情况,一种为高速公路加宽工程,不改变道路等级,根据交通需求增加车道数,如京开高速(魏永路-西

收稿日期:2026-03-17
作者简介:王之怡(1988—),女,硕士,高级工程师,从事道路工程设计、研究工作。

黄垡桥)段拓宽工程,京平高速改扩建工程,主路均由双向四车道拓宽为双向六车道;另一种为传统的低等级公路提级改造工程,如国道 111 北京段(汤河口-市界)提级改造工程,将三级公路提级为一级公路[7],国道 230 在平谷区境内部分路段由三级公路提级为二级公路等。北京城镇化地区公路改造项目,特别是公路的城市化改造目前少有案例,而上述国内高速公路市政化改造项目,一部分是针对所在城市的产业分布,路网特点,因地制宜的提出改造方案,还有一部分着眼于宏观,偏于理论和策略性研究,对北京城镇化地区公路改造项目实际指导意义不大。

本文以密云区密新路提级改造工程为例,在怀柔科学城全面建设的大背景下,结合怀密两区既有的路网布局,路网规划,详细阐述了负荷度计算过程,科学合理的确定了道路等级和车道数,结合地域特点,从技术可行,节能环保,经济合理,利于施工等方面,详细分析了横断面布设,路基加宽方案,路面结构方案及材料比选等方案设计要点的确定过程,填补了北京城镇化地区公路提级改造的空白,对未来相关工程的实施具有参考意义。

1　项目背景与功能定位

北京市怀柔、密云两区路网特点是区域内部南北向路网骨架实施率较高,如京加路、通怀路、西统路等,直接贯通两区的东西向路网骨架较少,主要为京承高速,京密路。现况密新路位于密云区西部,始建于 2006 年,东侧起点位于韩各庄路口,与密云城区西门外大街相接,西侧终点与西统路相交,是一条东西向二级公路,主要承担怀、密两区过境交通和沿线村民出行。从区域路网来看,怀、密两区无法通过密新路直接实现交通往来,需绕行借助西统路和京密路等,见图 1。

2017 年怀柔科学城开工建设,规划将科学城东区设置在密新路以南,同时将在现况密新路与西统路相交路口以西新建二级公路,与怀柔科学城新峰街相接,实现怀柔科学城内部东西向道路的全线贯通。该道路规划方案一方面将加强各科研单位之间的交通联系,提高科研资源共享效率,保障通勤,另一方面将增加怀、密两区的横向直接联系通道,减少绕行,缓解京密路、京承高速的交通压力。怀柔科学城建成后,密新路机动车、非机动车和行人的交通量都将显著增长,属于典型的城镇化地区公路,既有道路不能满足未来交通发展需求,本文将针对密新路提级改造的方案要点进行深入研究,提出经济合理的改造方案。



图 1　区域路网图

2　现状调查

现状密新路为二级公路,东侧起点位于韩各庄路口,西侧终点与西统路相交,全长约 5.07 km,设计速度 60 km/h,横断面为一幅路形式,路面宽 12 m,两侧土路肩各宽 1.5 m,路基总宽 15 m。道路两侧种植有行道树,横向距离为 17 ~ 18 m。道路沿线主要为村庄和农田用地,分布有韩各庄村、朝阳村、渤海寨、水洼屯等。排水方式为土边沟排水。怀柔科学城东区位于密新路以南,目前,地球系统数值模拟装置、泛第三极环境综合探测平台等“1+5”大科学装置科研单位正在紧密建设中。

3　提级改造方案要点分析

城镇化地区公路提级改造项目设计方案要点主要有提级改造的必要性论证,道路等级和车道数的确定,设计速度的选择,横断面布设及路基加宽方案比选,路面结构方案及材料比选等,以下将结合密新路提级改造实体工程针对上述各方案要点进行详细论述。

3.1　交通量预测

根据项目区域的城市规模、城市形态分割,结合对用地组团布局特征,区域路网结构等因素的考虑,将密新路周边影响范围划分为 7 个交通小区,预测未来 20 年交通量。

3.1.1　过境交通量和集散交通量

根据现况交通调查,密新路交通量主要为过境交通量和集散交通量,过境交通主要通过南北向西

统路、密关路与京密路、京承高速实现交通转换；集散交通主要为沿线村庄及单位出行交通量，交通量预测结果见表 1。

表 1　密新路年平均日交通量（过境交通和集散交通）

预测表　　单位：pcu/d

特征年	2025 年	2030 年	2035 年	2040 年	2045 年
韩各庄路口－西统路	4 705	6 846	8 949	9 943	10 734

3.1.2　诱增型交通量

主要考虑因素为怀柔科学城建成后新增东西两区通勤车辆，以及道路全线贯通后诱增的过境交通量，见表 2。

表 2　密新路年平均日交通量（诱增型交通）

预测表　　单位：pcu/d

特征年	2025 年	2030 年	2035 年	2040 年	2045 年
韩各庄路口－西统路	7 842	11 410	14 916	16 571	17 891

将上述两种交通量汇总，即得目标年 2045 年双向交通量为 28 625 pcu/d。

3.2　提级改造的必要性分析

根据《公路工程技术标准》（JTG B01—2014），二级公路的年平均日设计交通量宜为 5 000~15 000 辆小客车，一级公路的年平均日设计交通量宜在 15 000 辆小客车以上。根据交通量预测结果，到 2045 年怀柔科学城建成后，密新路交通量将远大于二级公路设计交通量。另外，对未来交通量条件下二级公路服务水平进行分析，采用负荷度 v/C 来衡量拥挤程度[8]。v 为最大服务交通量，单位为 pcu/h，二级公路应按双向整体交通量计算，只考虑高峰小时系数[9]，按 0.1 取值，v=28 625×0.1≈2 863 pcu/h；C 为基准通行能力，单位为 pcu/h，设计速度 60 km/h 的二级公路对应的基准通行能力为 2 500 pcu/h[8]。

由上述取值计算 v/C=1.145＞1，服务水平为五级，不满足《标准》[8]中二级公路服务水平应不低于四级的规定。

从上述交通量预测及服务水平分析可以看出，怀柔科学城东西区道路全线贯通后，现况二级公路不能满足交通量增长需求，亟需进行提级改造。

3.3　道路等级和车道数的确定

根据交通量预测初步确定提级后道路等级为一级公路，根据道路等级，方向不均匀系数，高峰小时系数等，确定机动车道数见表 3。

一级公路按机动车双向四车道建设，即可满足远景目标年使用需求。进一步对服务水平进行分析，计算负荷度 v/C。v 为最大服务交通量，单位为 pcu/（h·ln），一级公路应按分方向交通量计算，考虑方向不均匀系数和高峰小时系数[9]，分别按 0.6 和 0.1 取值，ln 为单向车道数，由上述车道数计算 ln 为 2，v=28 625×0.6×0.1÷2≈859 pcu/（h·ln）；C 为基准通行能力，单位为 pcu/（h·ln），即五级服务水平条件下对应的最大小时交通量，为 1 600 pcu/（h·ln）[8]。

表 3　车道数计算表

道路等级	目标年预测交通量/（pcu·d^{-1}）	方向不均匀系数	高峰小时系数	单车道设计通行能力/（pcu·h^{-1}）	单向车道数/个
一级公路	28 625	0.60	0.10	1 100	1.56

由上述取值计算 v/C=0.54，服务水平为三级，满足《标准》[8]中一级公路服务水平应不低于三级的规定，因此确定提级为一级公路是合理的。

3.4　设计速度的选择

本工程贯穿怀柔科学城东西区，同时也是怀、密两区重要的横向联系通道，沿线分布有怀柔科学城东区，村庄和农田，属于典型的城镇化地区公路。一级公路设计速度分为 100、80、60 km/h[9]，本次采用 60 km/h，主要原因如下：

（1）根据《城镇化地区公路工程技术标准》（JTG 2112—2021）[10]，作为集散的一级公路，或一级公路与主干路衔接的路段，设计速度宜采用 60 km/h。

（2）密新路东侧与密云城区西门外大街相接，西门外大街为城市主干路，设计速度 60 km/h，西侧与规划二级公路相接，设计速度 60 km/h，从设计速度和交通流连续性角度考虑，密新路提级改造设计速度宜采用 60 km/h。

（3）现况二级公路设计速度为 60 km/h，与现况路设计速度保持一致，可最大程度的与现况路线形拟合，提高旧路路基利用率，降低工程造价，减少新增占地。

3.5　横断面综合比选

本工程在满足规范和道路使用功能的前提下，主要对 3 种横断面形式进行比选，具体如下：

3.5.1　方案 1：一般整体式断面形式

设置双向 4 车道，依据《城镇化地区公路工程技术标准》（JTG 2112—2021）[10]中关于机动车道宽度的规定，内侧车道宽 3.25 m，外侧车道宽 3.5 m，中间带宽 2 m，硬路肩宽 2.5 m，土路肩宽 0.75 m，路基总宽 22 m，排水边沟位于道路外侧，2.5 m 宽硬路肩可供非

机动车和行人使用，详如图2所示。

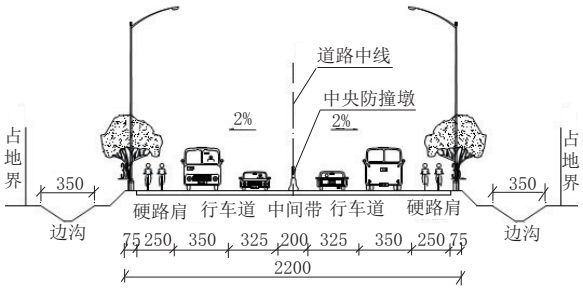


图2　一般整体式断面形式（单位：cm）

3.5.2　方案2：设置机非隔离带的三幅路形式

依据《城镇化地区公路工程技术标准》（JTG 2112—2021）[10]，如图3所示，采用三幅路形式，机动车道宽16.5 m，双向4车道，中间带宽2 m，内侧车道宽3.25 m，外侧车道宽3.5 m，机非隔离带宽2.5 m，非机动车道宽3.5 m，两侧人行道宽3.5 m（含1.5 m宽行道树设施带）。采用管道排水，排水管道位于非机动车道下方，机动车道和非机动车道外侧设置雨水篦子，收集路面水。非机动车和行人有独立的通行空间。

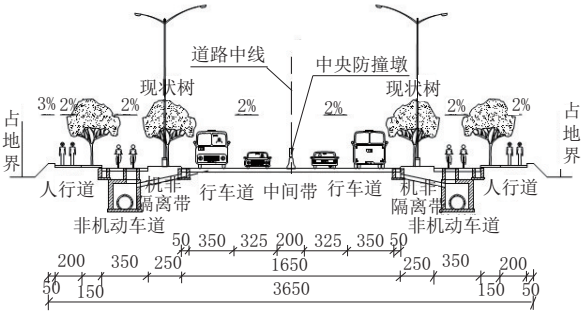


图3　设置机非隔离带的三幅路形式（单位：cm）

3.5.3　方案3：设置边沟的三幅路形式

依据《城镇化地区公路工程技术标准》（JTG 2112—2021）[10]，如图4所示，采用三幅路形式，机动车道宽16.5 m，双向四车道，中间带宽2 m，内侧车道宽3.25 m，外侧车道宽3.5 m，机非隔离带宽4.75 m（含土路肩和新建土边沟），边沟外侧设置非机动车道，宽3.5 m，两侧人行道宽3.5 m（含1.5 m宽行道树设施带）。

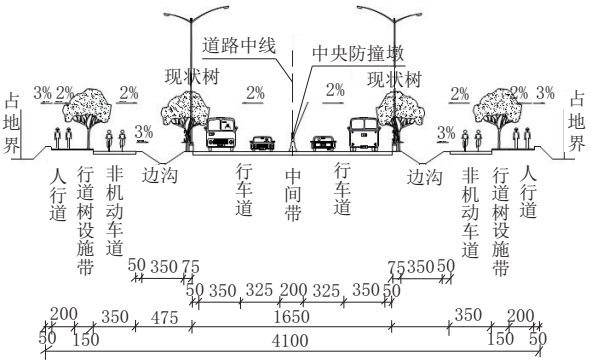


图4　设置边沟的三幅路形式（单位：cm）

通过上述3种横断面方案比选可以看出（见表4），三幅路形式满足《城镇化地区公路工程技术标准》中关于设计速度大于等于50 km/h时，机动车与非机动车不宜混行的规定，具有独立的非机动车和行人通行空间，安全性高，更能适应道路周边城镇化发展需求，其中，方案2采用管线排水，工程造价较高，雨水篦子易发生堵塞，不利于后期养护，因此采用方案3为推荐断面。

表4　横断面方案技术经济综合比较

项目	方案1：一般整体式断面形式	方案2：设置机非隔离带的三幅路形式	方案3：设置边沟的三幅路形式
交通功能	满足道路交通使用功能，解决过境交通和集散交通，硬路肩供非机动车和行人使用，存在安全隐患	满足道路交通使用功能，解决过境交通和集散交通，设置独立的非机动车道和人行道，安全性较高	满足道路交通使用功能，解决过境交通和集散交通，设置独立的非机动车道和人行道，安全性较高
服务功能	传统的整体式一级公路横断面形式，非机动车和行人没有独立路权[11]，不能很好的满足道路周边城镇化发展对道路出行条件的需求	采用三幅路形式，非机动车和行人具有独立的通行空间，能更好的满足道路周边城镇化发展对道路出行条件的需求	采用三幅路形式，非机动车和行人具有独立的通行空间，能更好的满足道路周边城镇化发展对道路出行条件的需求
排水功能	排水边沟位于道路两侧，属于常规的公路排水方式，能够满足排水需求	通过流量计算，雨水管线能够满足道路排水需求，但由于密新路属于城镇化地区公路，过境运输车辆以及农用车较多，遗洒现象时有发生，雨水篦子易发生堵塞，不利于道路养护	边沟位于机动车道和非机动车道之间，除满足排水需求外，兼具机非隔离带的功能
占地	采用一幅路形式，占地最少	采用三幅路形式，机非隔离带宽2.5 m，占地较多	采用三幅路形式，边沟位于机动车道和非机动车道之间，上口宽3.5 m，左右两侧土路肩分别宽0.75 m和0.5 m，相当于机非隔离带宽4.75 m，占地较多
工程造价	建安费最低，约为7 500万元	全线采用管线排水，建安费最高，约为8 300万元	采用边沟排水，建安费相对较低，约为7 800万元

3.6　路基加宽方案

考虑到节约资源，减少拆迁，以及工程的经济性，本着最大程度利用旧路的原则进行路基加宽设计。由于非机动车道和人行道需沿着现况路两侧新建，因此本次研究的方案要点是机动车道的路基加宽方案，分为单侧加宽和双侧加宽。根据现况调

查，现况路面宽 12 m，两侧土路肩各宽 1.5 m，路基总宽 15 m，土路肩外侧种植有行道树，横向间距 17～18 m。提级后机动车道沥青路面宽 16.5 m，若采用单侧加宽方案，需向一侧新建沥青路面 4.5 m，若采用双侧加宽方案，需向两侧分别新建沥青路面 2.25 m，方案对比情况见表 5。

表 5　路基加宽方案对比表

方案	优点	缺点
方案 1：双侧加宽	现况行道树基本可以保留，房屋拆迁量少，工程总投资较低，有利于工程顺利实施	施工质量需严格控制，否则路基容易产生不均匀沉降裂缝
方案 2：单侧加宽	需做好路基搭接，施工质量相对容易控制	需对一侧行道树进行伐移，房屋、蔬菜大棚等拆迁量相对较多，不利于工程的顺利实施，工程总投资较高

综上所述，本项目机动车道路基采用双侧加宽方案。

3.7　路线方案

本工程路基采用双侧加宽，且设计速度与现况路一致，道路定线原则基本沿着现况路中线，满足设计速度 60 km/h 的线形指标要求。

3.8　路面结构方案

3.8.1　旧路结构利用方案

根据档案资料，现况密新路路面结构如下：

（1）细粒式沥青混凝土 AC-13C 3 cm；

（2）中粒式沥青混凝土 AC-20C 5 cm；

（3）石灰粉煤灰稳定碎石 16 cm；

（4）石灰粉煤灰稳定碎石 16 cm；

（5）天然砂砾 30 cm。

根据交通量预测和路面结构验算，确定交通等级为重交通，现况路面结构不能满足一级公路车辆荷载对承载力的要求。对于既有道路提级改造，路面结构设计的方案要点是如何利用旧路结构，使改造后的路面结构满足新的承载力要求。首先对旧路技术状况进行评定，根据 2022 年，2023 年，2024 年，2025 年《公路技术状况评定报告》，现况密新路 PCI、PQI 等指标以优、良为主，从现场调查和取芯结果判断，病害主要集中在沥青面层，主要表现为沥青老化和块状裂缝，基层使用状况良好，因此，决定铣刨旧路沥青面层，保留旧路基层，在旧路基层之上新建一层基层和三层沥青面层。对于机动车道两侧加宽 2.25 m 部分，全部采用新建路面结构。

3.8.2　路面材料比选

结合密新路实际情况，对目前工艺成熟的路面材料进行综合比选，见表 6。

表 6　路面结构材料技术经济综合比较

材料类型		技术指标	
		优点	缺点
沥青上面层材料	普通细粒式沥青混凝土 AC-13C	1. 路用性能良好，混合料拌合和施工工艺成熟，施工质量容易控制；2. 造价较低	1. 采用悬浮密实结构，其路用性能比 SMA 略差；2. 废旧沥青混合料不能循环利用
	改性（SBS）沥青玛蹄脂碎石混合料 SMA-13	1. 混合料采用间断级配、骨架密实型结构，骨架空隙采用沥青玛蹄脂填充，其高温、低温及水稳定等路用性能优良；2. 粗集料采用玄武岩，路面构造深度大，耐磨及抗滑性能更好	造价较高
	温拌细粒式沥青混凝土 WAC-13C	1. 具有与普通热拌沥青混合料一致的路用性能，工艺成熟、施工经验丰富；2. 有效降低沥青混合料的拌合温度，减少有害气体排放，节能环保	造价较普通热拌沥青混合料略高
沥青中下面层材料	普通中粒式/粗粒式沥青混凝土 AC-20C/AC-25C	1. 路用性能良好，混合料拌合和施工工艺成熟；2. 造价适中	废旧沥青混合料不能循环利用
	厂拌热再生中粒式/粗粒式沥青混凝土 ZAC-20C/ZAC-25C	1. 具有与普通热拌沥青混合料一致的路用性能，拌合和施工工艺成熟；2. 铣刨沥青旧料循环利用，节能环保；3. 造价适中	沥青旧料利用率不高，一般为 20%～30%[12]
基层材料	水泥稳定级配碎石	1. 早期强度高，施工经验丰富；2. 水泥质量和材料供应稳定	1. 容易出现收缩裂缝，对集料级配要求更严格；2. 延迟碾压时间 2~3 h，施工时间紧迫，施工组织要求高
	石灰粉煤灰稳定碎石	1. 对集料级配适应性强，收缩性小，抗裂性较好；2. 延迟碾压时间一般不超过 24 h，施工压实方便；3. 大量利用工业废渣，节能环保，经济性好	1. 早期强度较低，施工进度受影响；2. 石灰粉煤灰质量及材料供应不稳定

本文项目铣刨现况路沥青面层 8 cm，产生沥青旧料约 4 800 m^3，1.1 万 t，若废弃，堆放旧料将占用土地资源，污染环境，若将废旧沥青混合料重新用于沥青路面中，可减少对新石料的开采，降低能源消耗。参考《公路沥青路面设计规范》（JTG D50—2017）[13]，中面层 AC-20C 厚度采用 5 cm，下面层 AC-25C 厚度

采用8 cm，提级后机动车道沥青路面宽16.5 m，考虑灯控路口渠化等因素，总面积约95 000 m²，因此，中下面层沥青混合料总体积约12 350 m³。铣刨旧料回收率按80%考虑，约3 840 m³，约占中下面层总体积的31%，北京地区厂拌热再生混合料旧料添加比例一般为20%～30%[12]，另外，相关研究表明，30%旧料掺量的热再生沥青混合料有着与新沥青混合料相似甚至更好的疲劳性能[14]，因此将铣刨沥青旧料全部用于提级后机动车道的中下面层是合理的，可有效节约资源，降低工程造价。本项目为城镇化地区公路，沿线分布有怀柔科学城东区、民房、种植园、企业等，对环保要求较高，在满足同等路用性能的前提下，推荐上面层采用温拌细粒式沥青混凝土。综合上述材料比选结果，确定路面结构方案见表7。

表7　路面结构方案

机动车道利用旧路结构：铣刨旧路沥青层8 cm，新建上基层18 cm和沥青面层17 cm，路面抬高27 cm	机动车道拓宽新建结构	非机动车道结构
温拌细粒式沥青混凝土WAC-13C 4 cm 改性(SBS)乳化沥青黏层油 厂拌热再生中粒式沥青混凝土ZAC-20C 5 cm 改性(SBS)乳化沥青黏层油 厂拌热再生粗粒式沥青混凝土ZAC-25C 8 cm 下封层 乳化沥青透层油 水泥稳定碎石18 cm 旧路结构	温拌细粒式沥青混凝土WAC-13C 4 cm 改性(SBS)乳化沥青黏层油 厂拌热再生中粒式沥青混凝土ZAC-20C 5 cm 改性(SBS)乳化沥青黏层油 厂拌热再生粗粒式沥青混凝土ZAC-25C 8 cm 下封层 乳化沥青透层油 水泥稳定碎石18 cm 水泥稳定碎石16 cm 水泥稳定碎石16 cm	温拌细粒式沥青混凝土WAC-13C 4 cm 乳化沥青透层油 水泥稳定碎石16 cm 水泥稳定碎石16 cm

4　结　语

本文结合密新路实体工程，对城镇化地区公路提级改造方案设计过程中所涉及的要点问题深入分析，全面系统的阐述了各关键性设计要素的确定过程，可为相关工程提供借鉴和参考。

（1）科学合理的论证了公路提级改造的必要性。从宏观角度分析了怀、密两区的路网骨架特点，从微观角度分析了怀柔科学城东西两区通勤和周边村镇的出行需求，二者定性的阐述了既有道路提级改造的必要性；详细分析预测了未来20年密新路过境交通量，集散交通量，以及诱增交通量，根据交通量预测结果，通过负荷度计算对既有道路服务水平进行评价，确定现况密新路不能满足交通量增长需求，定量的论证了道路提级改造的必要性。

（2）结合交通量预测结果，详细阐述了一级公路，二级公路负荷度计算过程和各参数取值，合理的确定了提级后道路等级和建设规模。

（3）结合周边路网条件，衔接条件，既有道路的线形条件，以及道路的功能定位等因素确定设计速度。

（4）在满足规范和道路使用功能的前提下，提出3种典型的道路横断面形式，结合道路周边用地性质，从交通组成，服务功能，排水功能，工程造价等方面进行综合比选，确定了经济合理的道路横断面形式。

（5）本着减少拆迁、伐树，最大程度利用旧路的原则进行路基加宽设计，详细分析了机动车道路基单侧加宽和双侧加宽的优缺点、可实施性，最终确定了双侧加宽方案。

（6）详细阐述了既有道路结构评价方法，确定了旧路结构利用方案。

（7）列举了几种目前工艺成熟的典型路面材料，详细分析了各结构层材料的路用性能，节能环保，工程经济性，结合密新路实际情况进行综合比选，确定了最佳路面结构方案。

参考文献：

[1] 张婷，刮俊，王帅，等. 高速公路市政化改造设计研究[J]. 公路，2023，68(1)：19-22.

[2] 郭晶，朱美蓝. 穿城镇段公路规划设计分析及探讨[J]. 价值工程，2025，44(3)：33-36.

[3] 钱玮. 公路互通立交改造为城市互通立交方案研究[J]. 土木工程与绿色建筑，2022(1)：22-26.

[4] 王兵，张婷，付元坤. 高速公路市政化改造互通立交设计研究思路[J]. 路基工程，2025(1)：161-167.

[5] 张志龙. 高速公路市政化改造的几点思考[J]. 交通世界，2021(8)：22-23.

[6] 付元坤，张钰. 城区段高速公路市政化改造总体设计理念研究[J]. 中外公路，2024，44(5)：259-268.

[7] 张学军. 低等级沿溪线公路提级改造设计[J]. 城市道桥与防洪，2011(5)：35-40.

[8] JTG B01—2014 公路工程技术标准 [S].

[9] JTG D20—2017 公路路线设计规范 [S].

[10] JTG 2112—2021 城镇化地区公路工程技术标准 [S].

[11] 王俊佳. 干线公路改造为城市道路设计要点分析[J]. 大众标准化，2024(6)：99-101.

[12] 王真. 沥青再生的升级之路[J]. 中国公路，2019(7)：33-36.

[13] JTG D50—2017 公路沥青路面设计规范 [S].

[14] 周洲. 不同RAP料掺量热再生改性沥青混合料耐久性能研究[D]. 南京：东南大学，2015.