

# 独库高速公路复杂自然环境下长寿命路面设计关键技术研究

张威

北京交科公路勘察设计研究院有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i4.7253

[摘要] 本文针对独库高速公路复杂的自然地理条件和较高的工程建设目标, 拟定长寿命路面技术对策, 将沥青路面设计使用年限由15年提升至30年, 推荐了长寿命路面交通荷载计算方法及分路段结构方案, 并提出关键材料设计要点等, 可供独库高速及类似工程借鉴。

[关键词] 独库; 长寿命; 路面设计; RIOHTrack

## Research on Key Technologies for Long Life Pavement Design of Duku Expressway in Complex Natural Environment

Zhang Wei

Beijing Jiaoke Highway Survey, Design and Research Institute Co., Ltd

[Abstract] In response to the complex natural geographical conditions and high engineering construction goals of the Duku Expressway, this article proposes long-term pavement technology countermeasures, increases the design service life of asphalt pavement from 15 years to 30 years, recommends the calculation method of traffic load for long-life pavement and segmented structure schemes, and proposes key material design points, which can be used as a reference for Duku Expressway and similar projects.

[Key words] Duku; Long lifespan; Road surface design; RIOHTrack

### 1 项目背景

独库高速公路是新疆交通规划“6横6纵7枢纽8通道”公路主骨架中第2纵的重要组成部分, 是实现南北疆直接联系的重要通道之一。基于其显著的功能定位和社会影响, 主管单位将打造“百年品质工程”作为建设目标; 同时, 项目路线里程长, 跨越了多个自然区划和气候分区, 且多极端气候, 沿线地形、地质条件也极度复杂。项目较高的建设目标与不利自然条件之间的矛盾给路面设计造成较大挑战。基于此, 本文提出长寿命路面技术策略, 以尝试解决在苛刻的自然地理环境下路面长期使用性能问题。

### 2 长寿命路面研究现状

长寿命路面概念最早由欧洲提出, 亦命名为永久性路面。美国、日本、加拿大等国家都较早的开展了相关研究, 并取得了一定成果。国外长寿命路面结构安全寿命一般在50年以上。我国在该领域的研究起步较晚, 当前高速公路沥青路面设计使用年限仍为15年, 与国外存在较大差距。部分省市修建了长寿命沥青路面实体工程, 但多为试验段, 尚未得到大规模的推广应用。近年国内长寿命路面研究也在积极推进并取得一定成果, 如, 交通运输部首条野外足尺加速加载路面试验环道RIOHTrack, 其模拟和研究了多种路面结构的长期服役性能, 截止到2023年春, 已经完成8000万标准轴次加

速加载试验, 相当于重载交通等级40年以上的荷载水平, 为长寿命路面技术提供了重要数据支撑。

结合国内研究现状, 本文认为国内长寿命路面采用两步走的方案较为适宜, 即当前阶段将沥青路面的设计年限提升至30年, 后续再逐步形成50年及以上的长寿命路面技术体系。为此, 将独库高速沥青路面设计年限拟定为30年, 设计年限内不产生结构性破坏。

### 3 交通荷载分析与计算

在一般路面设计工作中, 通过获得基础交通量预测资料, 可按现行规范计算沥青路面设计年限15年内轴载累计作用次数 $N_{e(1-15)}$ 。但对于设计年限延长至30年的长寿命路面, 在现行规范和计算软件中未明确如何计算, 需进一步分析探索。

本项目拟采用分段计算再累加的方法, 即分别计算1-15年和16-30年两个区段的轴载累计作用次数 $N_{e(1-15)}$ 和 $N_{e(16-30)}$ , 之后再计算代数和得到30年设计年限内的轴载累计作用次数 $N_{e(1-30)}$ 。 $N_{e(1-15)}$ 执行现行《沥青路面设计规范》(JTG D50)附录A.4节规定。

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

图1 《沥青路面设计规范》(JTG D50-2017)式A.4.2

$N_{e(16-30)}$ 的计算本文尝试提出两种方法。方法一, 按前一区段累计作用次数直接计算: 即以 $N_{e(1-15)}$ 为基数, 按16-30

年的增长率直接计算  $N_{e(16-30)}$ ; 方法二, 按前一区段反算本区段  $N_i$  后再计算: 即根据  $N_{e(1-15)}$  反算出第 16 年对应的设计车道日平均轴次  $N_i$ , 进而再按规范 A. 4.2 公式计算  $N_{e(16-30)}$ 。以

巴音布鲁克草原段为例, 根据本项目交通量专题成果, 该路段基础交通量预测数据如下:

表 1 分路段交通量预测结果 (单位: pcu/d)

路段	2030	2035	2040	2045	2049	2059
巴音布鲁克草原段 (拉尔敦互通-巴音郭楞互通)	12521	17430	23152	29556	34635	44890

该路段采用双向六车道断面, 方向系数取 0.5, 车道系数取 0.55。设计基年按 2030 年计, 根据交通量数据、车型构成比例以及交通量年增长率等资料, 以半刚性基层路面为

例, 计算 30 年内设计车道累计大型客车和货车交通量及沥青混合料层永久变形、无机结合料层疲劳开裂对应的当量设计轴载累计作用次数。两种方法的计算结果详见下表:

表 2 交通荷载计算及交通等级对比表 (30 年设计年限)

计算方法	设计车道累计大型客车和货车交通量	沥青混合料层永久变形的当量设计轴载累计作用次数	无机结合料层疲劳开裂的当量设计轴载累计作用次数	交通等级
方法一	1.91E+07	1.85E+07	1.30E+09	特重交通
方法二	2.20E+07	2.09E+07	1.49E+09	特重交通

由上表可见, 根据  $N_{e(16-30)}$  两种不同计算方法得出的 30 年内设计车道上的累计交通量或当量设计轴载累计作用次数  $N_{e(1-30)}$  有所偏差, 但总体水平基本相当, 均处于特重交通等级。方法一较为简单直接, 便于快速计算, 但与现行规范算法有所偏差; 方法二相对复杂, 但与规范算法贴合度更高, 逻辑上更严密。综合分析后, 本文推荐采用方法二, 即按前一区段反算本区段  $N_i$  后再计算  $N_{e(16-30)}$ , 之后再与  $N_{e(1-15)}$  代数叠加求得设计年限 30 年内的  $N_{e(1-30)}$ 。

新疆气候分区 I、II、III 区主导病害类型为裂缝类, 以横缝为主, IV 区主导病害类型为车辙类。

从区域内高速公路沥青路面的使用情况来看, 存在路面整体结构承载能力偏弱、强度不足的情况, 在车辆荷载和不利自然环境综合作用下, 多较早产生了病害, 长期使用性能不足, 较难完成正常设计年限的服役。

#### 4 自然地理环境及区域内在役公路路面调研

#### 5 长寿命路面结构方案及关键材料设计

##### 4.1 自然地理环境分析

##### 5.1 长寿命沥青路面结构方案

独库高速由北向南横穿天山山脉, 自然地理环境多样且复杂。全线跨越了 2 个自然区划 (VI2 绿洲荒漠区和 VI4 天山界山山地区)、3 个气候分区 (2-2-4 夏热冬寒干旱区、1-2-4 夏炎热冬寒干旱区和 2-2-3 夏热冬寒半干旱区)、5 个新疆气候分区、5 种地形地貌和 10 余种地质条件。与其他高速公路相比, 本项目具有鲜明的跨越性特点, 而且部分路段具有极端的气候因素、十分不利的地形和地质条件, 上述因素对路面结构与材料方案的选择存在直接影响。

根据前节所述交通荷载情况、沿线自然地理环境等因素, 拟定传统半刚性基层结构、加强型半刚性基层结构、厚沥青混凝土结构、刚性基层结构、倒装结构、柔性基层结构等结构类型进行比选, 具体结构组合在交通运输部公路科学院 RIOHTrack 足尺试验环道的典型结构中选取和优化调整。通过足尺环道 8000 万标准轴次对不同路面结构类型的验证, 可发现如下规律: 在裂缝方面, 倒装路面和厚沥青面层裂缝最少, 半刚性基层路面裂缝相对较多; 在车辙方面, 加强型半刚性基层路面 > 厚沥青面层 = 传统半刚性路面 > 倒装路面; 在整体安全性方面, 厚沥青面层和加强型半刚性基层路面均具有优良的结构安全性。

##### 4.2 区域内在役公路沥青路面调研

将独库高速全线划分为不同路段, 分析论证备选的路面结构和路面材料的适应性。不同与以往其他项目, 本项目在不同路段交通荷载计算和路面结构验算的基础上, 将各段的地形地貌、气候分区、自然区划、海拔高度、筑路材料分布、建养条件、经济性等作为拟定路面结构方案的重要考量因素。经综合比选, 推荐的各路段典型长寿命路面结构如下:

新疆区域内高速公路绝大部分为半刚性基层沥青路面, 一般采用 2 层沥青面层、2 层半刚性基层和 1 层粒料类底基层, 路面整体结构厚度在 60-65 厘米左右。通过对十余条主干公路的调研, 发现常规路面结构实际使用寿命不理想, 大多较早出现了纵横裂缝、龟裂、车辙、雍包等病害。同时发现, 处于不同气候分区的沥青路面主要破坏形式也存在不同,

表 3 典型长寿命路面结构推荐方案

结构层	起点山前段	北天山越岭段		巴音布鲁克段	南天山越岭段		终点山前段	备注
		桥隧密集路段	一般路段		一般路段	桥隧密集路段		
方案名称	厚沥青混凝土路面	刚性基层路面	加强型半刚性基层路面		刚性基层路面	厚沥青混凝土路面		
上面层	4cm 改性沥青混凝土 AC-13	4cm 改性沥青混凝土 AC-13	4cm 改性沥青混凝土 AC-13		4cm 改性沥青混凝土 AC-13	4cm 改性沥青混凝土 AC-13		
粘结层	I 型改性沥青防水黏结层	I 型改性沥青防水黏结层	I 型改性沥青防水黏结层		I 型改性沥青防水黏结层	I 型改性沥青防水黏结层		

结构层	起点山前段	北天山越岭段		巴音布鲁克段	南天山越岭段		终点山前段	备注
		桥隧密集路段	一般路段		一般路段	桥隧密集路段		
方案名称	厚沥青混凝土路面	刚性基层路面	加强型半刚性基层路面		刚性基层路面	厚沥青混凝土路面		
下面层	8cm 高模量沥青混凝土 AC-25	8cm 高模量沥青混凝土 AC-25	8cm 高模量沥青混凝土 AC-25		8cm 高模量沥青混凝土 AC-25	8cm 高模量沥青混凝土 AC-25		
粘结层	II 型改性沥青防水黏结层	II 型改性沥青防水黏结层	II 型改性沥青防水黏结层		II 型改性沥青防水黏结层	II 型改性沥青防水黏结层		
上基层	8cm 沥青混凝土 AC-25+8cm 沥青混凝土 AC-25	26cm 水泥混凝土	18cm 水泥稳定碎石		26cm 水泥混凝土	8cm 沥青混凝土 AC-25+8cm 沥青混凝土 AC-25		
下基层	18cm 水泥稳定碎石+18cm 水泥稳定碎石		18cm 水泥稳定碎石			18cm 水泥稳定碎石+18cm 水泥稳定碎石		
底基层	20cm 水泥稳定砂砾	20cm 水泥稳定碎石+20cm 水泥稳定砂砾	20cm 水泥稳定砂砾+20cm 水泥稳定砂砾		20cm 水泥稳定碎石+20cm 水泥稳定砂砾	20cm 水泥稳定砂砾		

## 5.2 关键路面材料设计

### (1) 原材料

本项目跨越多个气候分区, 需选择宽温域、综合性能优良的沥青材料。根据本次进行的克拉玛依产基质沥青 SHRP-PG 分级试验结果, 90# 沥青为 PG64-28, 70# 沥青为 PG64-22, 50# 沥青为 PG70-22, 30# 沥青为 PG76-22。70#、50#、30# 沥青的低温等级相同, 表明低温性能基本相当, 但三种沥青的高温服役温度依次增加。当符合使用条件时, 为了保证具有更好的工程性能, 推荐使用更低标号沥青。鉴于克拉玛依 50# 沥青高温性能与 SBS (I-C) 改性沥青相当, 低温性能与国内普通 AH-70 号沥青相当, 推荐将其用于本项目高模量沥青混合料下面层。

沥青表面层用碎石推荐使用玄武岩或辉绿岩等耐磨耗材料, 中下面层可使用石灰岩。用于长寿命路面水泥稳定类基层、底基层中的粗集料不做岩性的特殊要求, 可根据沿线筑路材料分布, 采用碎石 (新开采或隧道弃渣)、破口砾石、砂砾等。沿线筑路材料总体较丰富, 但存在不均衡情况, 自采利用过程中应综合考虑砂石料储量、运距等因素。

### (2) 混合料

沥青混合料设计指标应突出低温抗裂、抗疲劳性能及抵抗冻融破坏的性能, 同时兼顾高温稳定性能。沥青混合料推荐采用最紧密状态原理进行配合比设计, 确定油石比。对于各层沥青混合料, 4.75mm 及其以上各档粗集料推荐采用单一粒径备料, 对于细粒式沥青混合料 3~5mm 和 0~3mm 应分别备料。单一粒径指集料经过筛分, 在相邻筛孔间剩余的质量应占其总质量的 85% 以上, 即保留在上一档筛孔和通过下一档筛孔的集料质量不应大于总质量 15%。

水泥稳定材料的设计同样遵循均衡设计的思路, 用于基层、底基层的集料推荐采用单一粒径的碎石和石屑配制而成。为更好的保证水泥稳定类混合料拌和的均匀性, 推荐采用两次拌和 (两台拌和机串联) 的生产工艺, 达到延长拌和时间

的目的, 以改善混合料均匀性。RIOHTrack 足尺路面环道水泥稳定基层采用 CBG25-40 级配, “25” 是混合料的公称最大粒径, “40” 表示混合料中 4.75mm 碎石通过率为 40%, 这种级配碎石含量比较高, 同时保证了混合料的密实性, 且施工和易性好, 不容易离析, 推荐在本项目中使用。

### (3) 其他

本项目采用防水粘结层替代常规的粘层、封层, 兼具防水和增强层间黏结的作用。防水粘结层采用改性沥青, 洒布量较高且具有一定的沥青膜厚度。防水粘结层用碎石撒布时温度不低于 80℃, 以保证与沥青油的良好衔接。碎石应为单一粒径, 上下面的防水黏结层、基层顶部防水黏结层规格分别为 13.2~16mm 或 19~26.5mm, 且超粒径含量应不大于 15%。

## 6 小结

本文围绕新疆独库高速公路百年品质建设目标, 在充分调研沿线自然条件和区域内在役路面使用状况基础上, 提出了长寿命路面技术策略, 并推荐了交通荷载计算方法、分路段典型路面结构方案及关键材料设计要点等, 是解决复杂自然环境中路面长期使用性能问题的积极探索和尝试, 可供独库高速或类似项目在设计工作中参考。

### [参考文献]

- [1] 公路沥青路面设计规范 (JTG D50-2017) [Z]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- [2] 新疆公路沥青路面设计指导手册 [Z]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区交通运输厅, 2013.
- [3] 徐希忠, 韦金城, 闫翔鹏, 张正超. 长寿命沥青路面研究现状及展望 [J]. 中外公路, 2023 (01).
- [4] 王旭东, 肖倩. 长寿命路面技术发展与实践 [J]. 科学通报. 2020 (30).
- [5] 张蕾, 周兴业, 王旭东. 基于 RIOHTrack 足尺加速加载试验的长寿命沥青路面行为研究进展 [J]. 科学通报. 2020 (30).