

# 高速公路改扩建沥青路面设计关键问题探析

姜正晖

(浙江省交通规划设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310006)

**摘要:**从高速公路改扩建路面典型病害及损坏特点出发,分析了拼接路面的典型破坏模式,结合改扩建后的运营特性,探讨了现行路面设计规范在改扩建工程设计中存在的不足,提出高速公路改扩建路面设计方法。

**关键词:**高速公路;改扩建;路面拼接

## 1 概述

中国沥青路面设计方法是以理论分析为基础,主要基于半刚性基层提出,采用弹性层状体系理论计算结构层厚度。考虑到“强基薄面”理念在高等级公路中常见的问题以及重载作用下新出现的破坏模式等,现行设计规范不仅增加了交通量等级划分,而且将设计指标从原单一的路表弯沉修正为路表弯沉、沥青面层层底拉应力与半刚性基层层底拉应力,同时鼓励有条件时对剪切强度进行验算等。在具体实践中,面层也有适当加厚的趋势,并且进行了柔性基层、长寿命路面、超重车轴载换算方法等研究,取得了一定的积极成果。这些均是从实际病害发生机理出发,强调基于性能设计、改善结构层内部应力应变状态的理念。但由于这些研究还未成熟到足以纳入规范的程度,故目前设计理论和实践存在一定的脱节现象,一定程度上需

要依赖地区经验或设计人员经验,便可能出现设计不够合理或针对性不强的现象。

高速公路改扩建工程具有鲜明的工程特点,改扩建后一般实行渠化交通管理又是其运营特点,与新建工程相比,需考虑的因素更多。目前中国改扩建实践虽已较多,但仍处于起步发展阶段,对改扩建路面的损坏模式、机理等还没有系统的研究,设计时往往针对性不足。改扩建路面设计包含拼宽新建路面、旧路面利用与处治、路面拼接3个主要部分。该文基于浙江省高速公路改扩建实践,经长期跟踪,总结改扩建路面常见病害的类型与特点,分析其破坏机理,提出若干针对性措施以及设计解决思路。

## 2 沥青路面拼宽典型病害分析

### 2.1 典型路面结构

改扩建工程拼宽是其工程特点,一般情况下原路

- \*\*\*\*\*
- [7] Hemant, C., Field Investigation of Subgrade Non-Uniformity Effects on Concrete Pavement[D]. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2013.
- [8] 郑传超,王秉纲.非均匀地基水泥混凝土路面板的力学分析[C].第三届全国结构工程学术会议论文集(上),1994.
- [9] 罗翥.水泥混凝土路面板底支承不均匀的力学分析[D].交通部公路科学研究所硕士学位论文,2003.
- [10] 邱伟,易善昌,龚维亮,等.基于EPS的海相深厚软基区路基不均匀沉降处治研究[J].中外公路,2018(4).
- [11] 张锋,臧宏阳,冯德成,等.基于FWD的道路复合模量不均匀特征研究[J].中外公路,2017(2).
- [12] Packard, R. G., Tayabji, S. D.. New PCA Thickness Design Procedure for Concrete Highway and Street Pavements[J]. Third International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation. West Lafayette, IN: Purdue University, 1985: 225-236.
- [13] Barnes R. J.. Geostatistics for Subgrade Characterization [R]. Final Report, Minnesota Department of Transportation Office of Research Administration, 1993.
- [14] 陈荣生,唐伯明,秦家宽.刚性路面板下两种地基模型的对比研究[J].中国公路学报,1990(2).

收稿日期:2020-01-25(修改稿)

基金项目:浙江省交通运输厅科研计划项目(编号:2018019)

作者简介:姜正晖,男,教授级高工, E-mail:874738814@qq.com

面保留利用,外侧拼宽新建路面,为改善路表功能或补强原路面进行单一罩面或补强罩面,典型的构造如图1所示。

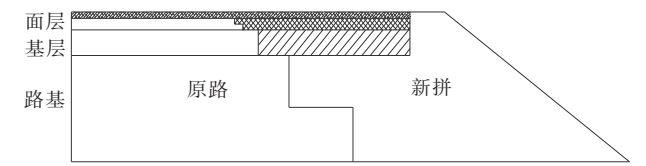


图1 拼宽路面典型构造

2.2 典型病害类型

沪杭甬高速公路是浙江省第一条,也是中国较早实行改扩建的高速公路之一,分三期建设并于2003、2005、2007年陆续建成。由于该高速公路处于软土地

区,旧路沉降较大且稳定期长,为避免一次投入加铺量过大及引起加速沉降,路面设计采用先拼宽,后期结合养护加铺逐渐改善线形的方法。在后期养护的纵坡调整过程中,对路面性能、病害进行了较为全面的检测与评价。对病害进行总结区分后,剔除与新建工程共性的类型,总结改扩建工程的6种典型病害,分析其发生频率、现象特点、发生原因及损坏机理,具体见表1。

表1中,除第1种属于路基解决的问题,第2种需通过施工解决外,其余均主要与路面自身有关,这些病害发生的频率多少与调查项目路段的实际有一定关联,但同时也是改扩建项目共性的易发病害,改扩建工程路面设计的主要关键就是要针对这些病害进行预防性设计。

表1 改扩建工程典型路面病害及分析

序号	病害	图例	发生部位	现象特点	主要产生原因	一般病害机理	发生概率
1	纵向裂缝		老路侧	纵向连续有一定长度	拼宽侧路基或地基固结沉降引起新老路差异沉降过大	差异沉降引起拉应力超过允许应力,属拉张裂缝	偶见
2	拼接部沉陷及开裂		拼接部靠新路侧	①纵向零星分布,无规律;②轮迹带位置更严重	拼宽侧路床、路面施工控制不足,压实不到位、不充分	局部压实不足,车辆荷载作用下压缩变形,继而引起开裂	较常见
3	车辙		新路侧	①纵向连续分布;②发生于重车轮迹带位置	①混合料剪切流动变形;②车辆荷载作用下补充压密	混合料高温稳定性不足,压密变形	最常见
4	拼接纵向裂缝		拼接部	①位置与基层拼接缝对应;②裂缝贯穿面层	拼接部基层无法形成整体,传荷能力差,面层受力不利	偏载作用下弯沉差诱使剪切疲劳开裂	常见
5	“3+4”组合		同上“3+4”				较常见
6	老路沉陷及开裂		老路侧原硬路肩	①纵向零星分布,无规律;②轮迹带位置更严重	老路遗留有强度不足、局部压实不足、轻微脱空等缺陷	局部压实不足,车辆荷载作用下压缩变形,继而引起开裂	较常见

注:①其他与改扩建关联不大的病害未列;②图例中罩面层未示。

2.3 拼接纵向裂缝的破坏机理

表1中拼接纵向裂缝这一类型是改扩建拼宽路面特有的一种病害,目前对该类病害形成机理已有了一定的研究,但实践中的认识还比较模糊。以往对于路面拼接主要从差异沉降引起路面开裂的角度作为切入点进行研究,提出控制差异沉降的技术指标和工程措施,较少从新老路基层拼接的天然缺陷(即极小的传荷能力)、拼接细部构造等对路面内部应力状态影响的角

度进行研究。

笔者在工程实践中发现:①该类裂缝与基层拼接面位置具有对应现象;②即使路表目测很细的裂缝,同时也未见沉陷现象,但取芯显示实际裂缝均贯穿整个面层。据此推断:裂缝是自下而上反射的,类似传统半刚性基层或水泥板上加铺层反射裂缝的机理,由于基层传荷能力小,在偏载作用下,弯沉差使得面层内部剪应力水平过高,重复荷载作用下发生剪切疲劳开裂。

现场调查、取芯的照片如图 2 所示。



图 2 拼接位置及对应面层芯样

文献[2]采用有限元方法从理论上分析了不同荷载位置、基层连续或不连续、是否设置台阶等不同条件下拼接路面的力学响应,得出如下主要结论:

- (1) 偏载是最不利荷载位置。
- (2) 新老基层模量差异越大,面层内部剪应力越大。
- (3) 基层拼接面不连续时,面层内最大剪应力及层底剪应力增大明显。
- (4) 设置台阶、增强界面黏结有利于改善面层剪应力水平。

这些理论分析结论,与笔者通过实践得出的推断有着非常好的契合性,表明剪切疲劳破坏是拼接纵向裂缝的根本原因。由于拼接缝与行车方向相同,疲劳作用的时间远大于半刚性基层的横向反射裂缝,拼接开裂扩展速度会非常快,尤其当位于轮迹带位置且重车较多时。实践也表明,即使面层厚度在 16 cm 以上,部分位置两年之内即反射至了路表,这种速度远远大于半刚性基层传统的反射裂缝,危害也更大。

## 2.4 车辙

车辙主要由于高温及重载作用下,混合料内部剪切变形引起,对此的研究目前已很多,结论也比较明确,也是与混合料模量、强度有关,在此不再赘述,改扩建后的运营特点决定了比一般新建工程更需关注。

## 2.5 老路硬路肩沉降与开裂

改扩建后运营往往采用分车型分道行驶管理,内侧一、二车道以客车为主,外侧三、四车道以货车为主。在原路正常养护的前提下,对一、二车道的使用需求,一般简单维修、罩面后都能满足。但原硬路肩,拼宽后作为第三车道使用,却往往带来一些问题:

- (1) 原路若存在施工缺陷,之前未经车辆行驶反映不出,但改扩建后将会反映出来。
- (2) 缺乏初始压密以及路基压缩、干湿循环等作用,使得路基路面间可能存在微小的脱空,未经车辆行驶,路基路面材料自身的协调适应能力之前难以发挥,

累计后突遇行车荷载作用,对路面结构受力不利。

(3) 沥青老化,长期雨水等作用,使混合料水稳定性、抗裂性等降低。

(4) 与部分拼宽新建路面共同组成三车道,二者协调变形性差。

这些问题在使用中可能反映出一定的病害,实践中也得到了证明(表 1)。但目前看其发生机理与传统病害无本质区别。

## 3 现有设计方法适宜性分析及对策

从前述可知,对改扩建工程无论是拼宽新建、旧路利用还是路面拼接,均有与新建不同的特点,典型病害及其发生特点决定了设计理念需要更进一步更新,改变常规设计习惯,更多从预防典型病害的角度,从结构内部应力应变状态的角度去进行综合设计。

### 3.1 分车道设计

现行规范采用累计轴次将路面设计与交通量建立关联,对不同轴载采用轴载换算系数折算成标准轴载,对不同车道采用横向分布系数考虑实际行驶特性差异。一个横断面上不同车道的设计标准是相同的,控制指标也是相同的。笔者认为对改扩建工程,仍然延续这一方法值得商榷。

(1) 目前主要的设计指标仍是弯沉,设计弯沉对应一定的轴次,而实际上改扩建后车道间的作用次数差异非常大,用单一弯沉控制要么造成外侧车道不足,要么造成内侧车道富余过大,前者势必引起外侧车道实际寿命缩短,后者引起改扩建时原路利用率降低、处治难度及投资增加。

(2) 分车道设计可能带来分车道施工,冷接缝施工质量主要取决于现场控制,工艺并非不成熟;渠化交通特点也使冷接缝可能带来的隐患大大减小,事实上上面层往往统一罩面,其下分车道施工并不带来表观形象的缺憾。

事实上在实际设计中,各地已经或多或少、或有意或无意地运用了分车道理念,比如对拼宽新建部分适当加厚结构层厚度、使用模量高的沥青混合料等。文献[3]介绍了沪杭高速公路嘉兴段分车道设计的实际案例,至今将近 10 年的使用实践证明了其效果的显著性。

### 3.2 设计指标完善

车辙和拼接纵向裂缝二者均与混合料内部所受的剪应力水平过高有关,从病害发生机理看,路表弯沉、层底拉应力往往并非主要控制指标。文献[4]、[5]提



出了基于抗剪强度的设计方法,实践中应积极探索应用,尤其是对应的试验、检测方法。

现有的理论分析表明,新老路基层模量差异越大,对接接部上方面层的受力越不利,但受旧路状况及路段差异、运营特点、边通车边施工等限制,现实中难以互相有效匹配,这就从另一个方面对面层沥青混合料模量与强度提出了更高的要求。

### 3.3 加强对应拼接构造的力学响应分析计算

不同项目受结构组合、厚度以及老路状况等因素的影响,合适的细部拼接构造不完全相同,构造设计中要综合考虑受力与施工两个方面。以往设计时更多从利于施工控制、利于拼接压实与黏结的角度,较缺乏力学计算。从拼接纵向裂缝的破坏机理看,今后有必要加强对具体拼接构造的力学分析,针对不同的台阶设置位置、宽度等进行计算,避免或减少拼接部不利的受力模式,重点减小面层的剪应力。

### 3.4 加强老路硬路肩结构状况的分析评价

改扩建工程旧路面的利用标准较复杂,目前大多通过一定的检测,根据经验判定是否利用或如何利用,有一定的人为因素和主观随意性。沪宁高速公路改扩建时曾对此作了一定研究尝试,从宏观(技术状况)、中观(混合料级配、松散程度等)、微观(沥青指标等)3个层面逐级评价,探索定量的利用标准,但受旧路养护、运营、检测方法等影响,实践中操作可能仍较困难,最终仍以综合破损状况、强度状况进行评价,现场按一定的标准经验判别的方式进行。

检测评价时,由于原路硬路肩未经车辆作用,基本保留着原始的结构状态,往往会被忽略。如前述的一些原因,其实对硬路肩的评价有时反而更加关键。早期高速公路的早期损坏现象比较普遍,与路面结构性能考虑不足、施工质量不好等多因素有关。一、二车道历经多年养护其缺陷可能逐渐得到修复,加上运营特性以客车为主,一般问题不大。硬路肩则反而易在改扩建后再步后尘,重复之前的病害过程。故评价时对该路的病害特点、养护历史等需要更加详细了解。另拼接前侧面的目测评价也是重要的依据,施工过程中,需要一个再评价程序,以对设计过程中的结论作进一步修正。当然目测评价主要依赖主观经验,目前并没有一个固定的判定标准,不同道路情况存在差别,需要参建各方认真对待,统筹分析。

### 3.5 拼接缝位置

轮迹带是个相对的范围或宽度,其在车道中的位

置与车道数量、渠化管理、车型特点等有关,左右侧轮迹也非完全在车道上对称分布。文献[6]给出了上海外环线轮迹在车道的横向分布,显示八车道高速公路,外侧车道主要供大型车行驶时,轮迹带宽度约为1.0 m,分布在距左边缘0.5~1.5 m、距右边缘0.2~1.2 m,留给拼接缝布设的相对理想的位置并不多。虽如此,但却非常重要,从上述提及的病害机理及扩展速度来看,应尽可能将基层拼接缝设置于车道中心或二、三标线位置,设计时应予以特别重视,若做不到须有其他的解决措施。

### 3.6 综合设计

综上可见,拼宽新建、路面拼接、旧路利用处治几方面互相影响,如旧路硬路肩状况影响拼接位置及构造,拼接构造影响面层受力状态,进而影响面层厚度及类型设计等。改扩建路面需要综合设计,不能互相割裂按常规的习惯“单独设计”。

## 4 结论

(1) 对改扩建工程路面典型病害、现象特点、发生原因与机理等进行了总结;提出拼接纵向裂缝这一改扩建工程特有病害的发生机理,即剪切疲劳破坏。

(2) 鉴于工程特点及运营特点,有必要进一步更新改扩建工程路面设计理念,从典型病害预防、改善路面内部应力状态等方面着手,探索有效的设计方法;提出分车道设计、以抗剪强度为主要设计指标等来进行。

(3) 需重视改扩建路面的综合设计,重视力学计算、拼接缝位置选择、旧路硬路肩状况评价等,综合考虑选择面层厚度及混合料类型以及拼接构造。

### 参考文献:

- [1] JTG/T L11-2014 高速公路改扩建设计细则[S].
- [2] 马晓晖. 扩建公路新老拼接路面结构力学响应分析[D]. 同济大学硕士学位论文,2008.
- [3] 姜正晖,王涓,胡斌,等. 沪杭高速公路嘉兴段沥青混凝土路面主要问题及改造对策[J]. 公路,2011(8).
- [4] 林绣贤. 关于沥青混凝土路面设计中抗剪指标的建议[J]. 公路,2014(12).
- [5] 刘黎萍,孙立军. 高速公路沥青路面轮迹横向分布研究[J]. 同济大学学报,2005(11).
- [6] 谢家全,吴赞平. 沪宁高速公路(江苏段)扩建工程原路面利用研究[C]. 沪宁高速公路江苏段扩建工程论文集,2008.