

我国旧水泥混凝土路面改造技术决策初步研究

周淑芬¹, 匡虹桥², 游强盛², 吴光华², 黄俊文², 王子轩²

(1.南昌工程学院土木与建筑工程学院,江西 南昌 330099;2.江西省市政工程设计研究院有限公司,江西 南昌 330077)

摘要:通过对旧水泥混凝土路面的改造技术进行深入研究,提出路面改建方案和加铺方案两种不同方案下各种改造技术的适用条件,厘清改造过程需关注的重难点问题,完善现有规范体系下我国旧混凝土路面改造技术的决策框图。可给类似改造项目的研究工作和工程实践提供重要参考。

关键词:旧水泥混凝土路面;改造;旧路评价;反射裂缝;改造决策

中图分类号: U418.8

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)08-0094-06

0 引言

上世纪60年代以来,伴随着水泥工业的发展,国内开始大规模铺筑水泥混凝土路面。截止2019年底,据不完全统计,全国有路面铺装的公路总里程约为191.80万km,其中水泥混凝土路面达137.55万km,约占总里程的72%,数量十分巨大。水泥混凝土路面的大量应用出现在上世纪八九十年代,至今已远超了30a的设计使用年限。近几年修成的水泥混凝土路面,设计使用年限虽未到,但受交通量增加迅猛,特别是重载交通的增量及施工和养护质量控制不佳等原因,也大量出现了路面破损,行驶质量不佳、道路交通噪声大等弊病,与各级政府倡导的品质提升、改善人居环境和构建和谐社会的总体要求存在一定差距。相比于沥青路面,水泥混凝土路面的修补工作相对较难。水泥混凝土的传统改造方式就是路面快速修补、局部挖除和加铺罩面,一般仅凭经验确定,因此往往存在较大的主观性和不确定性。道路改造时,病害处理不得当、改造效果不理想的情况常有发生,经济效益和社会效益遭受很大损失。如某城市主干路原结构采用24cm水泥混凝土+18cm水泥稳定碎石基层+18cm水泥稳定碎石底基层+15cm级配碎石垫层。该主干路建成约10a,路面状况和接缝传荷良好,仅路面平整度及抗滑性等使用指标有一定下降。为提升道路品质,该路拟采用白改黑方案,具体方案为多锤头碎石化方案。路面破碎后,顶部设置了36cm厚水泥稳定碎石补强层及17cm

厚沥青混凝土面层。该方案将既有水泥混凝土路面的结构强度白白舍弃,没有利用原路面的“剩余价值”,转而增设半刚性基础补强,造成了资源的严重浪费。

因此,对旧水泥混凝土路面应先进行调查评价,根据不同的要求和不同的道路状况,如何选择适宜的改造方案,以使原路面结构发挥最大的剩余价值,是目前旧混凝土路面改造中急需解决的技术问题。

1 旧水泥混凝土路面改造技术路线

我国早期对旧水泥混凝土路面的处理一般有两种方法。一种是采用特种混凝土(如环氧或快凝混凝土)对混凝土板块进行修复,另一种是在旧板块上加铺沥青混合料。一段时间后,路面病害又一次地显现出来,改造效果较差。路面改造涉及的问题比较多,情况比较复杂。现结合我国近些年在旧混凝土路面改造方面的科技成果及相关项目经验,针对不同目标,不同路况的路面,提出了适宜的旧水泥混凝土路面改造路线框图,见图1所示。

由图1可知,对改造道路而言,首先应开展有针对性的调查分析工作,为改造方案决策和设计施工提供依据。旧路面状况调查,主要包含旧路基础资料、气候条件、交通量、旧路面技术状况及沿线设施等内容。当旧水泥路面的路面损坏状况和接缝评价等级为A或B时,可采用加铺方案;当评价等级为C或D时,则宜采用改建方案,即把旧水泥混凝土面板打碎作为基层或者底基层使用。

对于加铺方案,加铺厚度一般较薄,加铺层仅能有限地降低旧混凝土板的荷载应力,混凝土面板仍起主要承载作用。对于改建方案,旧板破碎后承载能力急剧下降,仅能作基层或底基层使用,加铺层需重新

收稿日期:2020-12-22

作者简介:周淑芬(1982—),女,博士,讲师,从事道桥工程的教学研究工作。

混凝土面板反射裂缝处理、旧混凝土面板与沥青加铺层的层间结合性能、旧混凝土面板的病害处理及补强层等一系列问题。

3.1 加铺层结构设计理论

沥青加铺层的结构设计,目前仍没有统一的方法。国外的研究较早,主要的设计方法有:有效厚度法、美国沥青协会的弯沉法、美国 AASHTO 经验法和基于断裂力学的沥青加铺层法等。

3.1.1 有效厚度法

原理是加铺厚度是新修路面的所需要的厚度与旧路面的有效厚度之差。

$$h_a = h_n - h_e$$

式中: h_a 为加铺层厚度; h_n 为新修路面厚度; h_e 为旧路面的有效厚度。

该方法假定路面在运营一段时间后,出现了部分损坏,也就是道路的有效厚度减少了。道路的有效厚度同路面层次类型、状况及厚度息息相关。计算时,所有新铺的路面结构和旧路面结构均需根据其类型和状况换算成沥青混凝土当量厚度。

3.1.2 美国沥青协会的弯沉法

该方法认为,沥青加铺层的开裂,最重要的原因就是旧水泥混凝土在路面接缝(或裂缝)处的弯沉或弯沉差引起的。在旧混凝土面板上加铺沥青层,可以有效降低接缝或裂缝处的弯沉值,通常认为每 1 cm 厚密级配沥青加铺层可降低 2% 的弯沉量。同时按以下标准作为控制指标:

接缝(或裂缝)两侧的板边弯沉差 ≤ 0.05 mm;

接缝(或裂缝)两侧的板边平均弯沉 ≤ 0.36 mm;

接缝(或裂缝)两侧的弯沉差和平均弯沉的降低,除增加沥青加铺层厚度外,尚可以通过提高旧混凝土路面接缝(或裂缝)处的刚度、设置补强层和应力吸收层等方式来解决。

3.1.3 美国 AASHTO 经验法

美国 AASHTO 法实用性较强,常常作为参照比对象。所需的加铺层厚度考虑了路面损坏情况及修复系数、耐久性系数、疲劳损坏程度系数;引入了混凝土厚度缺额函数,将混凝土层与沥青层厚度进行了当量转换,再按新沥青路面设计的方法,来确定沥青加铺层的厚度。AASHTO 法还引入了可靠度的概念,同时与新路面的设计步骤类似,因此应用广泛。唯一的缺点是确定旧混凝土面板的有效厚度时,引入了路面损坏情况、修复系数、耐久性系数、疲劳损坏程度系数等。这些系数在确定时,受人为判断影

响较大,因此,在确定旧面板的有效厚度时,存在一定主观性。

3.1.4 基于断裂力学的沥青加铺层法

在荷载裂缝应力强度因子和温度裂缝应力强度因子的基础上,引入了加筋对加铺层开裂的影响,建立了沥青加铺层的加筋材料受力模型。据此,利用 Paris 疲劳断裂公式,计算沥青加铺层的厚度。

以上几种沥青加铺层结构设计方法,充分考虑了旧混凝土路面的状况及相关工程经验。但由于国外的气候、材料、交通组成及路面设计理论与我国的实际情况均有一定差异,因此很难照搬套用。

我国的沥青层加铺改造技术研究起步较晚,尚未形成完善的理论及设计体系。现行规范仅对旧混凝土路面的沥青加铺层作了些指导性的要求^[1-9],如《公路水泥混凝土路面设计规范》要求,高速、一级公路的加铺层最小厚度宜为 10 cm,其他等级公路的最小厚度宜为 8 cm。《城镇道路路面设计规范》要求,在稳定的旧水泥混凝土板上加铺沥青层时,对快速路、主干路(或中及中以上交通)厚度不宜小于 10 cm,其他道路不宜小于 7 cm。

沥青加铺层下旧混凝土板的应力分析按规范给定的方法进行。主要验算在极限承载状态下,旧混凝土板在荷载和温度梯度综合作用下不超过混凝土的弯拉强度为控制指标。计算未考虑接缝(或裂缝)等其他病害的影响,也未考虑补强层、调平层影响。

可以看出,国内外各种沥青加铺层的设计理论,无论是厚度控制,还是弯沉控制,都指向一个共同的问题,那就是反射裂缝的控制处理。

3.2 反射裂缝的处理

反射裂缝的控制是沥青加铺层设计的重点。反射裂缝处理是否得当,将直接影响路面加铺效果的好坏。

3.2.1 反射裂缝的成因和危害

反射裂缝是由于旧混凝土面层出现较大位移,引起其沥青加铺层出现应力集中。它包括水平位移竖向剪切位移(见图 2)。

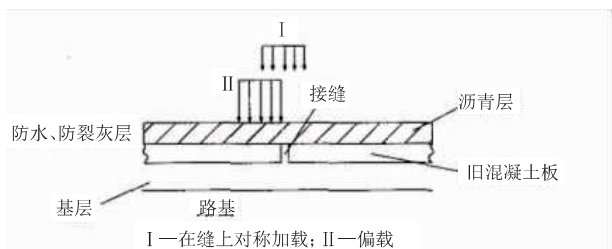


图 2 反射裂缝形成机理示意图

反射裂缝不仅影响行车舒适性,而且会引起雨水下渗,进而影响路基的稳定性。在荷载的反复作用下,会引起裂缝迅速扩展,大大缩短了加铺层的使用寿命。

3.2.2 反射裂缝的主要防治技术

反射裂缝的处治措施很多,但单一的方法效果不明显,往往需要多管齐下、综合治理。综合处置技术总体来讲可以分成三大措施:旧混凝土板的稳定技术,沥青加铺层与旧混凝土板间应力集中消解技术及耐疲劳、高韧性材料的应用。只有这三大技术综合使用,才能有效地防止和控制好反射裂缝的出现。

3.2.2.1 旧混凝土板的稳定技术

旧路加铺的前提是旧混凝土面板仍有一定的承载能力,可作为整体式加铺路面的一部分,因此在沥青面层加铺之前,应对旧水泥混凝土路面进行稳定处理。对旧混凝土面板的稳定处理,是反射裂缝防治的基石。一般来讲,对旧混凝土面板稳定处理的主要方式包括:接缝(或裂缝)的处理、整板更换、板块的局部处置及板底的脱空处理。根据《城镇道路路面设计规范》(CJJ 169—2012)的要求,经处治后的路段代表弯沉需低于 0.20 mm、接缝(或裂缝)两侧的板边弯沉差小于 0.06 mm 时,方可加铺沥青层。

3.2.2.2 板间应力集中消解技术

在交通荷载与温度梯度作用下,旧混凝土面板接缝或裂缝处,会产生垂直和水平相对位移,进而引起沥青加铺层内产生较大的拉剪应力,引发反射裂缝。如果在旧混凝土面板和沥青加铺层之间设置一层缓冲层,它依靠自身的塑性变形来释放变形,将两者之间的能量传递全部或部分消耗掉,缓解应力集中现象,因而能起到较明显的防裂作用。国内外对此种防裂措施开展了大量试验研究,并取得了一定成果。常用的措施有:

(1)土工合成材料,包括玻纤格栅、聚酯玻纤无纺布土工织物、长丝纺粘针刺非织造土工织物、聚丙烯非织造土工织物等,其既有较高的抗拉强度,又有塑性变形能力,对温度和荷载引起的反射裂缝都有一定的抑制能力。

(2)碎石封层,包括橡胶沥青、改性 SBS 沥青或改性乳化沥青碎石封层,厚度一般 1~2 cm,其作用为降低旧混凝土面层与沥青加铺层之间的黏附阻力,从而减少温度下降引起的反射裂缝。

(3)应力吸收层,包括改性沥青砂、橡胶沥青(SAMI)、ISAC、STRATA 等,厚度一般为 2~3 cm,

作用原理与碎石封层类似。

(4)裂缝缓解层,包括大孔隙沥青稳定碎石和水泥稳定碎石,厚度分别为 8~12 cm 和 10~15 cm,其作用为削弱拉应力与剪应力的传递能力,同时消散荷载应力和温度应力。

3.2.2.3 耐疲劳、高韧性材料的应用

沥青加铺层直接承受荷载和温度等的疲劳作用,同时受旧混凝土面板反射裂缝的影响。因此,要求具备耐疲劳、高韧性的特点。在沥青混合料中一般要求加入橡胶及纤维等改性剂。如橡胶沥青一般将废胎硫化橡胶粉加入到基质沥青中形成高弹性、高韧性的橡胶沥青,替代 SBS 改性沥青。这样既保证路面结构承载能力,又显著提高疲劳耐久能力。

3.3 旧混凝土面板与沥青加铺层的层间结合性能分析

沥青加铺层与旧水泥混凝土层是两种不同特性的材料,两者结合面的摩阻力远低于沥青混合料,层间界面存在抗剪不足的薄弱环节。当路面受到较大的水平剪切力时,极易发生剪切位移,从而使沥青加铺层发生水平推移、车辙及拥包等病害(见图 3)。



图3 路面推移、拥包病害示意图

为保证复合式路面的使用性能,必须在沥青加铺层与旧水泥混凝土层间设置粘结层。因此,所选择的粘结材料必须能满足复合式路面的层间力学特征。

一般粘结材料有改性乳化沥青、改性热沥青及 AMP-LM 二阶反应型防水粘结材料等。以下是对三种常用层间防水粘结材料的比较分析(见表 1)。

AMP-LM 二阶反应型防水粘结材料,应用不广泛,投资成本也高于普通粘结材料,故一般推荐采用改性乳化沥青粘结材料。

3.4 补强层和调平层的设置

沥青加铺层一般为两层或三层。但当旧混凝土面板的强度或基层顶面当量回弹模量不足时,应按要求设置补强层。补强层一般采用沥青稳定碎石或水泥稳定碎石,具体的厚度需根据计算决定。

此外,旧水泥混凝土路面修复后应保证平整度

表 1 层间防水粘结材料的比较分析表

项目	改性乳化沥青	改性热沥青	AMP-LM
作用过程	水分蒸发	—	二阶化学反应
用量 /(kg·m ⁻²)	0.6 ~ 1.2	0.8 ~ 1.2	0.3 ~ 0.6
施工方式	常温喷洒	热熔喷洒	常温喷洒
施工设备	洒布车	洒布车	洒布车
渗透能力	一般	差	良好
粘结强度	25℃,0.3 MPa 左右	25℃,0.3 MPa 左右	25℃,1.0 MPa 左右
	60℃,0.1 MPa 左右	60℃,0.1 MPa 左右	60℃,0.4 MPa 左右
剪切强度	25℃,0.3 MPa 左右	25℃,0.3 MPa 左右	25℃,1.0 MPa 左右
	60℃,0.1 MPa 左右	60℃,0.1 MPa 左右	60℃,0.4 MPa 左右
水破坏能力	与水亲和,易脱层	与水不亲和,难脱层	与水不亲和,难脱层
抗破坏能力	易刺破	易刺破	难于刺破,且可恢复
运营阶段	易出现推移病害	易出现推移病害	不易出现推移病害
适用范围	主干路、次干路等	各级道路	快速路及重要干路

小于 5 mm,否则应设置调平层。调平层一般采用沥青砂或细粒式沥青混凝土,厚度一般不超过 4 cm。

4 路面改建

当路面的综合评价等级为次或差级时,应选择路面改建方案。改建方案包含了整体翻挖重建方案,但考虑该方案在资源节约及环境保护方面社会影响较大,同时其经济性及交通影响上劣势明显。现仅对发裂再生和碎石化再生两种目前较为成熟的水泥混凝土路面再生利用技术进行研究分析。

当旧水泥混凝土路面的路面评价等级为次等级时,路面改建宜选择发裂再生方案,当路面评价等级为差等级时,路面改建宜选择碎石化再生方案。

4.1 发裂再生

发裂再生技术是采用板式破碎机或冲击压实机等专用设备将旧水泥混凝土路面原位破碎成不规则的块状嵌挤体,作为底基层使用的技术。这种施工工艺将水泥混凝土板块破碎成边长 45 ~ 75 cm 的碎块,发裂后裂纹贯穿块与块直接的形成的嵌锁体,保全了原路面大部分结构刚度。发裂处理后,能有效减少板的过度位移,又能使发裂板作为加铺层的稳定基础。

目前,发裂再生工艺的质量控制目标一般从破碎程度和沉降量两方面进行控制。

在破碎程度上,要求从垂直向裂缝要贯穿,水平向要求尺寸控制 45 ~ 75 cm,块与块之间保持嵌锁状态。在沉降量上,破碎压稳的过程,沉降量一般经历从小到大,再从大到小的过程。板块脱空先是得到克

服,碎块稳固,而后板下土基得到进一步压密。一般要求,相邻的两次作业,沉降量小于 5 mm 才算合格。

发裂再生后,路面的平均强度降低,加铺是必然的。沥青加铺层的结构设计分为预估设计和优化设计两个阶段。破裂完成后,在实测旧混凝土板顶当量回弹模量后,可按我国弹性层状体系理论进行路面设计。加铺路面包括补强层和沥青面层,补强层可以选用沥青稳定碎石或水泥稳定碎石。沥青面层宜为两层或三层。一般地,快速路、主干路、高速公路、一级公路等高等级道路采用三层式沥青面层,次干路、支路、三级公路、四级公路采用两层式沥青面层。

4.2 碎石化再生

碎石化再生技术是采用多锤头破碎机或共振破碎机专用设备将旧水泥混凝土路面原位破碎成具有一定尺寸的颗粒嵌挤体,作为基层或底基层使用的技术。这种施工工艺将水泥混凝土板块破碎成 7.5 ~ 37.5 cm 的颗粒,碎石化层的刚度大约是普通级配碎石的 3 倍。碎石化处理后,既解决了板底脱空等难题,又解决了反射裂缝的问题。

根据国内外的工程经验,水泥板破碎粒径是控制加铺层结构不出现早期反射裂缝及保留旧路面板残余强度的关键参数。破碎粒径太小会使旧板块强度损失过大,经济性较差。而破碎粒径过大破碎后再生层的强度不均匀,板底脱空和反射裂缝出现的风险又会增高。因此要对破碎粒径范围作出限制:要求表面层粒径小于 7.5 cm,中层小于 22.5 cm,底部小于 37.5 cm。

碎石化路面结构的计算理论和计算过程与发裂

再生技术类似,本文不再赘述。

5 改造决策实例

作者有幸参与了江西省鹰潭市城区 14 条老旧道路综合提升改造的前期研究工作。研究的重点之一就是对其 7 条旧水泥混凝土路面的改造技术进行决策分析。研究首先对体育馆东路、湖东路等 7 条混凝土道路进行了旧路检测和评价。表 2 是道路的断板率检测结果。

表 2 水泥路面断板率检测结果汇总表				
序号	路线	板块数 / 块	断板数 / 块	断板率 / %
1	体育馆东路	1 208	18	1.5
2	体育馆北路	660	0	0.0
3	正大路	412	7	1.7
4	湖东路	270	10	3.7
5	院里路	944	31	3.3
6	安仁街	964	10	1.0
7	体育馆路东段	1 244	15	1.2

从表 2 可以看出,各道路的断板率均在 4% 以内,路面损坏状况等级均为优良级别。根据旧混凝土路面改造决策分析的结论,该项道路改造宜选用路面加铺方案。这与建设单位初拟的碎石化方案相比,无论在利用旧混凝土面板的剩余强度,降低工程造价上,还是在环境友好,提升社会效益上,均有较大优势。具体做法是,先对旧混凝土板块进行灌缝等稳定处理后,选用经我院验证可靠的 2.5 cm 厚的 STRATA 应力吸收层,各道路加铺的面层根据道

路等级及交通量情况等选用两层式或三层式沥青面层。

6 结 语

本文分析了国内外旧水泥混凝土路面改造的各种方法,并结合实际案例,提出了一套行之有效的旧混凝土路面改造技术的决策思路,主要结论包括:

(1)提出了根据旧混凝土路面的不同状况,采取适宜的改造技术决策体系,旨在充分利用旧路面的剩余价值。

(2)提出了沥青加铺层需重点考虑反射裂缝的整治。整治方案需综合考虑旧混凝土面板的稳定处理、板间应力消解及高韧性材料,才能起到较好的防治效果。

(3)当采用路面改建方案时,需对施工过程中发裂指标及碎石化要求作出具体要求,以期达到适宜的碎裂效果。改造设计时,尚应特别注意优化设计阶段相关设计参数的调整。

参考文献:

[1] CJJ 37—2012(2016 年版),城市道路工程设计规范[S].

[2] CJJ 169—2012,城镇道路路面设计规范[S].

[3] CJJ 36—2016,城镇道路养护技术规范[S].

[4] JTJ 073.1—2001,公路水泥混凝土路面养护技术规范[S].

[5] JTG/T F31—2014,公路水泥混凝土路面再生利用技术细则[S].

[6] CJJT 43—2014,城镇道路沥青路面再生利用技术规程[S].

[7] JTG 5421—2018,公路沥青路面养护设计规范[S].

[8] GB/T 50290—2014,土工合成材料应用技术规范[S].

[9] JTG 5142—2019,公路沥青路面养护技术规范[S].

(上接第 84 页)

9 总 结

本项目在小镇街道设计中尝试运用了街道设计的新理念,并通过采取相应的技术措施来实现理念的落实。具体可以总结如下。

(1)将街道设计的理念落实在具体设计中,改变了道路设计就是解决交通问题的传统观念,在街道设计中全面落实以人为本的理念,更加关注人的交流和生活方式。

(2)在具体设计中将“慢行优先”的安全性设计给予了充分的关注和具体的安排。安全是道路设计中最重要的一部分,特别是在小孩和老人过马路时。

好的街道,应该鼓励更多的步行和骑行。在“上海市街道设计导则”中提出建设健康城市慢行交往空间,倡导慢行交通空间设计。

(3)街道设计从单一道路设计转向整体街道空间环境设计,对街道铺装、城市家具、绿化和灯光照明灯给予足够的关注。

(4)在设计中建议使用持续耐用的街道铺装材料,并对施工提出具体要求,这些设计确保了街道使用的耐久性。铺装材料的颜色、大小、硬度、花纹等都有相应设计,以便为步行、跑步、骑行及有需要帮助的人群提供便利,铺装的施工与分缝、路缘转角、透水性也是道路使用持续性的重要影响因素。