

水泥混凝土路面改造方案研究

刘贵谦¹, 郝晓丽², 杨 帅²

(1.山东省建筑设计研究院有限公司, 山东 济南 250000; 2.济南市规划设计研究院, 山东 济南 250000)

摘 要: 混凝土路面因其强度高、耐久性好等特点,应用广泛在道路的建设中,但后期极易出现各类病害,行车舒适性不足。后期改造可在现状路面综合评定、病害处理的基础上,合理选用“白加黑”的处理方式。以山东某城市郊区混凝土道路改造为例,总结水泥混凝土路面改造的常用措施,从混凝土路面处理和层间组合设计两个方面提出了延缓反射裂缝的措施,并对沥青加铺层进行了验算,为后续类似项目提供借鉴和指导。

关键词: 水泥混凝土路面;白加黑;病害处理;反射裂缝;沥青加铺层

中图分类号: U416.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)06-0052-04

0 引言

水泥混凝土路面具有强度高、耐久性好、使用寿命长等优点^[1],一直在道路建设中占据相当大的比例。混凝土是刚性材料,路面存在大量的纵横缝,导致混凝土路面的行车舒适性不佳。在车辆的长期作用下,极易出现错台、断板、裂缝等各类病害,不利于行车安全。评估现有混凝土路面的技术状况,合理采用“白加黑”的处理方式对原有混凝土路面进行改造,可以充分利用原有水泥混凝土路面的强度,在短期内提升道路的行车舒适性,提升周边出行环境,具有施工方便、造价低、见效快的特点。混凝土路面改造的核心是延缓混凝土路面构造缝和裂缝处的反射裂缝,延长路面使用寿命。本文以山东某城市郊区混凝土路面改造为基础,总结水泥混凝土路面改造中的要点。

1 项目情况概述

山东某城市郊区道路长2 355.82 m,道路全线为水泥混凝土路面。道路于2012年建成通车,已运营9 a。道路全线分为4段。K0+000~K0+949,道路宽16 m,其中车行道12 m,两侧人行道各有2 m。K0+949~K1+124,道路宽12 m,两侧无人行道,本段于2018年改建。K1+124~K2+355.82,道路宽约10 m,两侧无人行道。由于道路两侧多为厂房,交通量较大,现路面出现不同程度的病害,影响到了行车安全

性和舒适性。为提升周边的出行环境,并充分利用原有道路,特对道路进行改造。

2 现状混凝土路面的评定

2.1 原有混凝土路面状况评定

原路面结构为22 cm混凝土层+15 cm水泥稳定碎石+15 cm二灰碎石+15 cm石灰土垫层。根据现状病害调查与统计,本条道路的主要病害有裂缝、板角破裂、错台和破碎板。4类病害约占到道路总病害的89%。根据相关规范对原混凝土路面的损伤状况、接缝传荷能力和板底脱空状况进行评定。其评价标准和结论见表1。

表1 路面评价指标分级

路面评价指标	等级	优良	中	次	差
路面损坏状态 分级标准	断板率/%	≤5	5~10	10~20	>20
	平均错台量/mm	≤3	3~7	7~12	>12
接缝传荷能力 分级标准	接缝传荷系数	≥80	60~80	40~60	<40

2.2 原有混凝土路面参数的评定

混凝土路面参数主要为混凝土面层的厚度、混凝土面层的弯拉强度、混凝土面层的弯拉弹性模量。除此之外,还可参考基层当量回弹模量标准值。采用钻芯和落锤式弯沉仪获取的相关数据见表2、表3。

计算混凝土厚度标准值:

$$h_e = \bar{h}_e - 1.04s_h = 22.0 \text{ cm}$$

计算混凝土劈裂强度标准值:

$$f_{sp} = \bar{f}_{sp} - 1.04s_{sp} = 2.79 \text{ MPa}$$

收稿日期: 2021-08-18

作者简介: 刘贵谦(1990—),男,硕士,工程师,从事道路交通规划与设计工作。

表2 原有路面状况等级评定

序号	桩号	断板率 /%	平均错 台量/mm	接缝传荷 系数/ K_j	综合评 定等级
1	K0+000~K0+949	18.5	6.5	60.2	次
2	K0+949~K1+124	6.1	3.2	72.3	中
3	K1+124~K1+680	20.1	7	58	次
4	K1+680~K2+355.82	11.5%	3.8	78	中

表3 混凝土厚度和劈裂强度数据

指标	平均值	标准差
厚度/cm	22.5	0.41
劈裂强度/MPa	3.03	0.23

计算混凝土层弯拉强度标准值:

$$f_r = 1.87 f_{sp}^{0.87} = 4.57 \text{ MPa}$$

计算混凝土弯拉弹性模量值:

$$E_c = \frac{10^4}{0.09 + \frac{0.96}{f_r}} = 33\,310 \text{ MPa}$$

从路面损坏状况和接缝传荷能力两个指标来看,K0+000~K0+949、K1+124~K1+680 损坏严重,断板率均已接近 20%。根据实测弯沉,两段平均弯沉基本上超过了 40(0.01 mm),局部较严重的地方已接近 80(0.01 mm),破坏严重,已基本没有必要再测定基层顶面当量回弹模量。K0+949~K1+124 段于 2019 年刚整修完,K1+680~K2+355.82 两侧厂区相对较少,各类指标表现良好。因此,本项目仅对这两段进行基层顶面当量回弹模量的测定。其结果见表 4。

表4 弯沉值测定

测量位置	ω_0	ω_{300}	ω_{600}	ω_{900}
弯沉值/ μm	305.6	270.2	228.8	167.0

$$SI = \frac{\omega_0 + \omega_{300} + \omega_{600} + \omega_{900}}{\omega_0} = 3.18$$

$$E_t = 100e^{3.6 + 24.03\omega_0^{-0.057} - 15.63SI^{0.222}} = 208.79 \text{ MPa}$$

根据计算可以看出,目前混凝土弯拉强度标准值在 4.5 MPa 以上,基层顶面当量回弹模量达到 208 MPa,表明混凝土路面和基层仍具有再利用的价值。

3 混凝土路面的处理

3.1 局部破除新建

3.1.1 破除原路面后新建

K0+000~K0+949 段两侧厂区较多,路面破坏严重,在混凝土路面评价分级为次,且平均弯沉超过 40(0.01 mm),局部较严重的地方已接近 80(0.01 mm)。

按规范不满足采用沥青混凝土加铺的要求,可将原有混凝土路面碎石化后作为下基层使用。但此方案需要将原有路面标高提高约 40 cm。考虑两侧厂区已经形成,提升 40 cm 后会带来厂区排水不畅。综合以上考虑,本段采用全部破除原有混凝土路面后新建 36 cm 水泥稳定碎石(分两层)后加铺 10 cm 沥青混凝土的方案。

3.1.2 碎石化技术的应用

K1+124~K1+680 的整体情况与 K0+000~K0+949 的损坏情况类似。本段厂区较为稀疏,混凝土路面评价分级为次,弯沉也超出了规范采用沥青混凝土加铺的范围。综合以上考虑,采用碎石化后作为道路的下基层,加铺 20 cm 水泥稳定碎石后加铺 10 cm 沥青混凝土层。

建议采用共振破碎法,将混凝土路面一次性破碎为粒径 2~40 cm 的咬合嵌挤碎块的柔性结构。施工时应严格控制破碎粒径与破除角度^[2]。

3.2 混凝土路面病害处理

K0+949~K1+124 和 K1+124~K1+680 两段混凝土路面相对较好,可通过病害处理,充分利用原有的路面强度。

3.2.1 板角损坏的处理

现状板角处存在不同程度破碎,有轻微剥落,有的裂缝为 5~20 mm 之间,根据《公路技术状况评定标准》,为中等到严重的破坏程度。

对轻微的剥落应清理干净剥落的混凝土面,按要求加铺沥青混合料。裂缝不超过 10 mm 的裂缝,应先清理裂缝,采用 SBS 改性乳化沥青进行灌缝修复。超过 10 mm 的板角的贯穿裂缝,应挖除裂缝范围内的混凝土板,用 C35(原混凝土标号)混凝土恢复至路面标高,并在新旧混凝土板设置拉杆。若开挖后发现路面基层已破坏,可用级配碎石或 C20 素混凝土恢复^[3]。

3.2.2 错台的处理

现状混凝土板纵缝与横缝之间存在一定程度的错台现象,以 5~25 mm 为主。根据《公路技术状况评定标准》,为中等到严重的破坏程度。

小于 10 mm 的错台,直接用磨平机磨平。大于 10 mm 的错台,应先判定混凝土板底是否存在脱空。如存在脱空,应采用注浆方式处理后,再用磨平机磨平。

3.2.3 脱空板注浆处理

接缝处平均弯沉值在 20~45(0.01 mm)之间,或弯沉差大于 20(0.01 mm)时,视为脱空板,应采取注

浆方式进行处理。旧混凝土板脱空点采用小型施工机具钻孔,孔中心距板边不应小于 50 cm,钻孔直径 5 cm,钻透混凝土板。钻孔后用压缩空气将孔中的混凝土碎屑、杂物清除干净,采用压力灌浆机或压力泵灌注水泥灰浆液^[4]。灌浆压力为 1.5~2.0 MPa,使板底基层与面板脱空处联结密实。

3.2.4 构造缝、裂缝处理

先清理原混凝土缩缝、胀缝等构造缝内的一切杂物,要求深度不小于 4 cm,然后用 SBS 改性乳化沥青进行灌缝^[5]。

对宽度不大于 15 mm 的非贯穿裂缝,缝周边无严重破坏,可按混凝土构造缝的处理方式进行处理。对宽度大于 15 mm 的贯穿裂缝,混凝土板全厚开槽应不小于 80 cm,用 C35(原混凝土标号)混凝土恢复至路面标高,并在新旧混凝土板设置拉杆。若开挖后发现路面基层已破坏,可用级配碎石或 C20 素混凝土恢复。

采用以上方式处理后,需经检验合格后方可加铺沥青层。合格标准见表 5。

表 5 病害处治合格标准

项目	标准
混凝土弯拉强度 /MPa	4.5
静态弯沉 /mm	<0.20
相邻板弯沉差 /mm	<0.06

4 层间组合设计

4.1 旧混凝土路面铣刨处理

为保证沥青面层与原混凝土基层能够良好结合,避免后期沥青层滑移,应在铺设沥青层前对原有混凝土面层进行统一铣刨,厚度以不超过 1 cm 为宜。铣刨后清理道路废渣,并用高压水枪清洗干净。

4.2 抗裂贴与玻纤格栅的应用

抗裂贴是一种由玻璃纤维、沥青等材料复合而成的材料。它具有性价比抗拉强度高、施工方便、耐高温、隔水防渗等优点,可以与混凝土较好地结合。结合本工程的实际特点,在施工的所有构造缝和裂缝全部敷设 32 cm 宽自黏式抗裂贴。为更好地控制使用后期的反射裂缝,在敷设完抗裂贴后,在构造缝和裂缝周边全部敷设玻纤格栅,宽度不小于 1.5 m。

4.3 SBS 改性沥青黏层的应用

为保证原混凝土路面层与新铺沥青层的结合,在原有混凝土路面上层统一采用 SBS 改性沥青黏层^[6],原混凝土路面与沥青层间用量为 0.5~0.8 kg/m²,

沥青层间用量为 0.3~0.5 kg/m²,撒布黏层后应马上铺筑沥青层,避免黏层受到污染,黏性降低。

4.4 应力吸收层的应用

应力吸收层是改性沥青的混合料,具有高弹性、不透水、抗裂性好的特点,可以有效地缓解构造缝和裂缝处的应用集中现象,对于延长沥青产生反射裂缝的时间作用明显。结合项目的具体情况,本道路全线采用 1.5 cm 的橡胶沥青应用吸收层。

4.5 上面层选用 SMA

与密级配沥青混凝土不同,SMA 是粗集料多、矿粉多、沥青多、细集料少的间断级配的沥青混合料。它以粗集料为主骨架的嵌挤结构,对于抗高温、抗车辙、抗滑、抗低温开裂、抗疲劳破坏和抗反射裂缝优势明显。根据目前国内对白加黑路面的设计经验,SMA 可以有效地改善、缓解因混凝土路面构造缝和裂缝引起的反射裂缝^[7]。因此本项目上面层统一采用 4 cm SMA 混合料。

5 沥青加铺层的验算

混凝土路面加铺沥青层的验算,应利用双圆均布荷载作用下的弹性层状连续体系,对混凝土加铺层下的混凝土层进行理论计算,要求混凝土层可承受设计基准期内荷载应力和温度应力的综合疲劳作用。此外,还应承受最大荷载作用下和最大温度梯度作用下的一次强作用。

5.1 初拟沥青加铺层结构

根据现状调研,道路最大轴载水平为 $P_m=200$ kN,设计轴载取 $P_s=100$ kN。经调研,设计车道日作用次数约为 3 500 次,道路设计基准期取 20 a,已运营 9 a,车辆轮迹横向分布系数取 0.35,年交通增长率取 5%,则剩余基准期内设计车道作用次数 N_e 为:

$$N_e = \frac{N_s [(1+g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta = 635 \times 10^4 \text{ 次}$$

根据规范,属重交通等级。结合实际设计经验,初步拟定沥青路结构为 6 cm 中粒式沥青混凝土+4 cm SMA 沥青玛蹄脂混合料。

5.2 计算路面刚度半径

根据混凝土路面参数的评定,取混凝土泊松比为 0.15,则各参数数据见表 6,计算混凝土路面风度半径。

表 6 原混凝土各参数数值

参数	E_c /MPa	E_s /MPa	ν_c	f_c /MPa	h_c /m
数值	208.79	33 310	0.15	4.57	0.220

$$r=1.21 \times \sqrt[3]{\frac{E_c h_c^3}{12(1-\nu^2)}}/E_t = 0.64 \text{ m}$$

5.3 计算荷载疲劳应力和极限轴载应力

设计轴载产生的荷载应力:

$$\sigma_{ps} = 1.47 \times 10^{-3} r^{0.7} h_c^{-2} P_s^{0.94} = 1.67 \text{ MPa}$$

极限轴载产生的荷载应力:

$$\sigma_{pm} = 1.47 \times 10^{-3} r^{0.7} h_c^{-2} P_m^{0.94} = 3.20 \text{ MPa}$$

由 $h_c=0.20$, $E_c/E_t=131.63$, 查规范得 $\xi_a=1.72$ 。

计算有沥青混凝土加铺层时旧混凝土板产生的荷载应力 σ_{psa} 和极限荷载应力 σ_{pma} :

$$\sigma_{psa} = (1 - \xi_a h_a) \sigma_{ps} = 1.38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pma} = (1 - \xi_a h_a) \sigma_{pm} = 2.65 \text{ MPa}$$

计算疲劳荷载系数 $k_f = N_e^{0.057} = 1.44$ 。

道路采用混凝土路肩。路肩作为非机动车道使用,应力折减系数 $k_r=0.9$ 。

道路等级为二级公路 $k_c=1.05$ 。

计算混凝土面层的疲劳应力 σ_{pr} 和极限疲劳应力 $\sigma_{p,max}$:

$$\sigma_{pr} = k_r k_f k_c \sigma_{psa} = 1.89 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,max} = k_r k_c \sigma_{pma} = 2.51 \text{ MPa}$$

5.4 计算温度疲劳应力

道路位于Ⅱ区,最大温度梯度取 85°C , $h_a=0.1 \text{ m}$, 温度梯度修正系数取 $\xi_t=0.59$, 则温度为 $T_g=51^\circ\text{C}$, 板横缝间距为 5 m 。计算温度应力系数:

$$t = \frac{L}{3r} = 2.61$$

$$C_L = 1 - \frac{\sinh t \cos t + \cosh t \sin t}{\cos t \sin t + \sin t \cosh t} = 1.05$$

$$B_L = 1.77e^{-4.48h_c} C_L - 0.131(1 - C_L) = 0.77$$

计算最大温度梯度下最大温度应力

$$\sigma_{t,max} = \frac{\alpha_c E_c h_c T_g}{2} B_L = 1.30 \text{ MPa}$$

项目位于Ⅱ区,查得温度疲劳系数参照表7。

表7 温度疲劳系数

参数	a_t	b_t	c_t
数值	0.828	1.323	0.041

$$\text{则 } k_t = \frac{f_r}{\sigma_{t,max}} \left[a_t \left(\frac{\sigma_{t,max}}{f_r} \right)^{b_t} - c_t \right] = 0.41$$

计算混凝土面板的温度疲劳应力:

$$\sigma_{tr} = k_t \times \sigma_{t,max} = 0.54 \text{ MPa}$$

$h_c=0.22$ $E_c=33\ 310 \text{ MPa}$, 查规范 $\xi'_a=0.79$ 。

计算有沥青加铺层时混凝土面板温度疲劳应力

和最大温度力:

$$\sigma_{tra} = (1 + \xi'_a h_a) \sigma_{tr} = 0.58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,max} = (1 + \xi'_a h_a) \sigma_{t,max} = 1.41 \text{ MPa}$$

5.5 综合疲劳作用校核

二级公路目标可行性为85%,变异水平为中,可确定可靠度系数为 $r_r=1.1$ 。

$$r_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tra}) = 3.09 \leq 4.57 \text{ MPa}$$

因此,设计方案可满足荷载应力和温度应力的综合疲劳作用。

5.6 路面结构极限状态校核

$$r_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tra}) = 4.30 \leq 4.57 \text{ MPa}$$

因此,设计方案可满足最大轴载在最大温度梯度下的一次强作用。

6 结 语

混凝土路面改造的核心是采用合理的方式延缓反射裂缝,延长道路的使用寿命。本文总结水泥混凝土路面改造的要点,总体来说有以下三点:

(1)重视原混凝土路面的处理。在混凝土路面综合评定的基础上,合理选用去除新建、碎石化及各类病害处理措施,保证原混凝土板面满足要求。

(2)加强层间组合设计。结合项目实际情况,采用路面铣刨、抗裂贴与玻纤格栅层、应力吸收层等方式加强层间组合,减缓反射裂缝。

(3)沥青加铺层厚度应满足要求。先定设计方案,后应从综合疲劳作用和极限荷载作用两个方面对路面结构进行验算,确保设计方案在设计基准期内的正常使用。

参考文献:

- [1] 曾俊祥.公路水泥混凝土路面加铺改造技术研究[D].广州:华南理工大学,2013.
- [2] 王立勇,冯培.市政道路白加黑路面反射裂缝防治技术研究[J].城市道桥与防洪,2020(5):56-58,12.
- [3] 吴建军.浅谈省道S318线山城至书洋段路面改造工程“白加黑”设计方案[J].低碳世界,2017(11):245-246.
- [4] 韩冰,廖述清.“白加黑”路面罩面改造设计要点[J].公路与汽运,2012(3):154-156.
- [5] 刘军军,高建荣.水泥混凝土路面“白加黑”路面工程设计与研究[J].城市道桥与防洪,2017(7):230-232,239,25.
- [6] 杨志坚.高速公路水泥混凝土路面“白加黑”改造关键技术探讨[J].西部交通科技,2019(6):38-41,85.
- [7] 王赛.“白加黑”路面反射裂缝成因及防治措施[J].交通世界,2021(8):77-78.