

可降解汽车尾气的沥青路面质量控制指标体系

李梦晨¹,赵之仲^{1*},韩斐²,王彦敏¹,周浩³,陈文凯⁴

1. 山东交通学院 交通土建工程学院,山东 济南 250357;

2. 山东省齐河县交通运输局,山东 德州 251100;

3. 山东羽然市政工程有限公司,山东 泰安 271099;

4. 中国交通建设集团第三航务局,第一公司 上海 200020

摘要:因施工质量检验及控制的缺乏导致实际施工时沥青路面对汽车尾气的降解效率与室内试验结果偏差较大,建立沥青路面降解汽车尾气试验全过程的质量控制指标体系。结合层次分析法和专家评定法,对初步筛选的汽车尾气降解效率的影响因子分别建立判断矩阵,通过计算其特征向量和特征值,确定权重,对影响因子排序,筛选得到最终质量控制指标,进而建立质量控制体系,对沥青路面降解汽车尾气试验实现全过程质量控制,保证施工质量。

关键词:质量控制指标;汽车尾气;降解效率;沥青路面;质量控制体系

中图分类号:U416.217;X734.2

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)01-0079-09

引用格式:李梦晨,赵之仲,韩斐,等.可降解汽车尾气的沥青路面质量控制指标体系[J].山东交通学院学报,2022,30(1):79-87.

LI Mengchen, ZHAO Zhizhong, HAN Fei, et al. Quality control index system of asphalt pavement with degradable automobile exhaust[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(1): 79-87.

0 引言

近年来,随着纳米光催化材料在沥青路面中的应用研究,其在实际施工过程中的降解效率成为研究热点。一般先进行室内试验确定改性乳化沥青中各组分的配合比及其单位面积内的最佳喷涂量,然后铺筑现场试验段进行对比研究^[1-2],结果表明实际工程中汽车尾气的降解效率仅能达到室内试验的39%。原因是现场环境复杂多变,并且从确定配合比开始至试验段铺筑完成的整个施工过程中未进行施工质量的检验及控制^[3]。由于现场环境因素不易进行人工控制,因此对TiO₂光催化降解试验全过程进行质量控制,建立质量控制指标体系成为当前亟待解决的问题。郭大进等^[4]提出的质量控制体系可在提供局部定量分析和整体定性分析的基础上,帮助施工管理者做出科学的决策;李海滨等^[5-6]将改进层次分析法与模糊综合评价法结合得到控制指标体系,可控制路面施工质量。

目前的质量控制体系可合理把控路面施工质量,为施工和管理提供决策支持。但大部分质量控制体系均基于理论建立,与实际工程结合较少,针对TiO₂光催化降解效率偏差建立的质量控制体系更少。本文基于室内外不同环境下降解效率的差异,对TiO₂光催化降解试验全过程进行质量控制,建立质量控制指标体系。

收稿日期:2021-07-15

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2020QE274);山东省重点研发计划(软科学项目)(2020RKB01602);山东省交通运输科技计划(2019B63,2020B93);山东交通学院研究生科技创新基金资助项目(2021YK09)

第一作者简介:李梦晨(1996—),女,山东泰安人,硕士研究生,主要研究方向为基础设施建设,E-mail:herolmc@163.com。

***通信作者简介:**赵之仲(1978—),男,山东德州人,副教授,工学博士,硕士生导师,主要研究方向为道路与铁道工程,E-mail:86994896@qq.com。

1 室内外试验

在室内试验中,将各组分按照纳米 TiO₂、纳米 CaCO₃、沸石粉、PVP-3000 的质量比为 1 : 1 : 2 : 0.04 配备后搅拌分散在 100 mL 的乳化沥青中,形成雾封层用光催化改性乳化沥青^[7-8],将此改性乳化沥青以雾封层的形式喷涂在 2 块 15 cm×15 cm×5 cm 的试件表面,自然风干 1 h 后,将 2 块试件同时放入封闭的气箱中,通入初始质量浓度为 20 ug/mL 的纯 NO₂ 气体,采用 M60 型紫外线灯照射 2 h,辐照度为 300 μW/cm²,2 h 内 2 块试件中 NO₂ 的降解效率如图 1 所示。

在济南市历下区山大路部分路段铺筑现场试验段。依据室内试验得到的雾封层用光催化改性乳化沥青配合比,将纳米 TiO₂、纳米 CaCO₃、沸石粉、PVP-3000 依次加入含有乳化剂的水罐中,搅拌反应大约 1 h 后,得到施工现场雾封层用改性乳化沥青。在路表清理、标线保护好的前提下,按照 0.3 ~ 0.5 kg/m² 的喷洒面质量,采用雾封层车喷洒改性乳化沥青。施工前后大气污染物的质量浓度降解效率

$$Z = (\rho_0 - \rho_1) / \rho_0, \quad (1)$$

式中 ρ_0 、 ρ_1 分别为施工前后大气污染物的质量浓度。

施工后大气污染物质量浓度的监测结果如图 2 所示。按照式(1)计算可得 SO₂、NO₂、O₃、PM_{2.5} 的降解效率分别为 35%、25%、21%、80%。

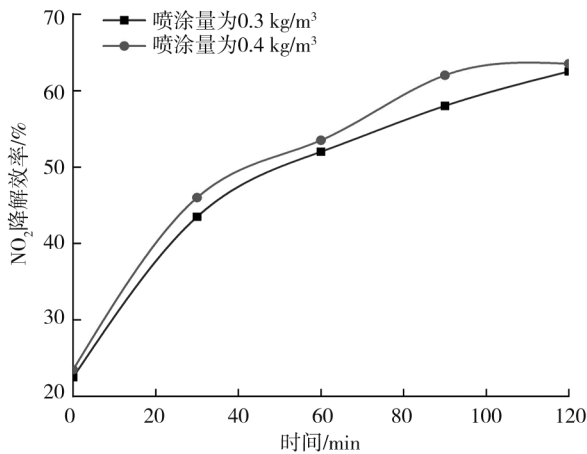


图1 室内试验中 NO₂ 的降解效率

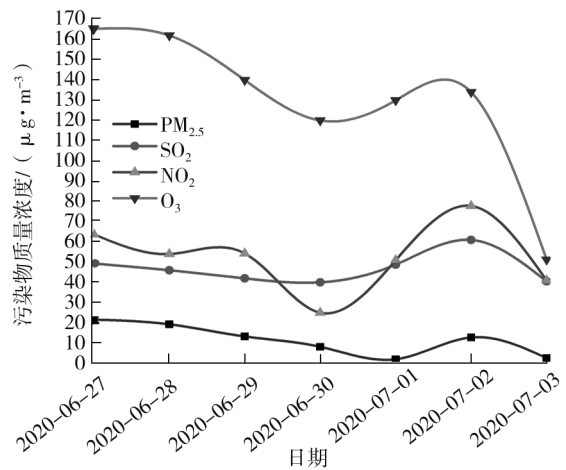


图2 施工后污染物质量浓度

由图 2 可知:施工后大气污染物质量浓度总体呈下降趋势,受现场环境影响出现波动。分析施工后 7 d 内 TiO₂ 降解效率的影响因素可知,紫外线强度、温度、湿度等因素对降解效率影响显著^[9-11]。施工后 7 d 内的现场环境状况如表 1 所示,根据文献[12]的紫外线指数标准对施工后 7 d 的紫外线强度等级进行划分,如表 1 所示。

表 1 施工后 7 d 内环境状况

| 日期 | 天气 | 温度/℃ | 平均相对湿度/% | 紫外线指数 | 紫外线强度等级 |
|------------|------|-------|----------|-------|---------|
| 2020-06-27 | 小雨 | 23~32 | 74 | 5 | 强 |
| 2020-06-28 | 小雨 | 21~32 | 74 | 5 | 强 |
| 2020-06-29 | 多云转晴 | 23~33 | 74 | 11 | 极强 |
| 2020-06-30 | 晴转多云 | 24~33 | 75 | 9 | 很强 |
| 2020-07-01 | 晴 | 25~31 | 73 | 7 | 很强 |
| 2020-07-02 | 小雨 | 24~32 | 81 | 1 | 弱 |
| 2020-07-03 | 阴转小雨 | 24~31 | 88 | 5 | 强 |

由图1、2可知:当改性乳化沥青喷涂量相同时,在室内试验的理想条件下,NO₂的光催化降解效率为63.5%,然而在实际施工过程中,除了温度、湿度、紫外线强度等外界环境因素的影响,质量检验指标及质量控制体系的缺失致使沥青路面上NO₂的降解效率仅为25%,室内外不同环境下的汽车尾气降解效率偏差较大。因此,在采取措施控制外界环境因素的同时,需对整体施工过程建立质量控制指标体系。

2 质量控制指标体系

2.1 设计步骤

根据TiO₂光催化降解试验步骤及室内外降解效率偏差分析,逐层筛选直接影响降解效率的内部因素,得到影响施工质量的主要指标,根据质量控制指标对试验过程进行实时分析与判定,变事后控制为事中控制,施工完成后大气污染物的浓度更加贴近文献[13]中规定的环境空气污染物浓度限值。

设计质量控制指标体系时,前期进行调查分析,确定研究对象,经指标选取、指标赋权、指标量化后采用层次分析法建立指标体系^[14-17]。前期调查对比分析国内外TiO₂光催化降解效率试验中控制的指标,根据资料确定需要解决的问题和研究对象主体;根据TiO₂光催化试验全过程及室内外降解效率偏差分析,逐层确定质量控制指标;邀请专家对指标赋值,进一步筛选与补充控制指标;最终利用层次分析法建立质量控制指标体系^[18-20]。

2.2 层次分析法

2.2.1 确定质量控制指标

实际应用过程中影响施工质量的因素繁多且关系错综复杂,需对整个降解过程按步骤分离出基本指标。这些基本指标都对最终降解效率有一定影响,基本指标之间的相关性影响后续评价效果。合并和筛选基本指标,挑选两两不相关且属于当前施工中需重点控制的指标。邀请道路及材料方面的专家筛选和补充二次筛选的各层指标,确定最终质量控制指体系。

根据质量控制指标间的隶属关系,分层处理,相同层次间的因素相互聚集,不同层次间的因素并列处理,分别确定沥青路面降解汽车尾气的施工过程中控制质量的各级目标层及最后一级目标层的评价因子,基本形成质量控制指标体系。

2.2.2 指标赋权

指标赋权的前提是对各级指标进行重要性标识。各个指标在整个沥青路面施工中的重要性不同,不容易判断相同层级或不同层级之间指标的重要性。引入相对尺度对各层指标进行两两分析,准确地判断各指标的重要性。

设评价因子层中2个因素分别为 x_1 、 x_2 ^[21-23],重要性指数如表2所示。

表2 质量控制指标重要性指数

| x_1, x_2 比较 | 说明 | 重要性指数 |
|---------------------------|-------------------------------|------------|
| x_1 与 x_2 同等重要 | x_1, x_2 对目标有相同贡献 | 1 |
| x_1 比 x_2 稍微重要 | x_1 贡献稍大于 x_2 , 但不明显 | 3 |
| x_1 比 x_2 明显重要 | x_1 贡献明显大于 x_2 , 但不十分明显 | 5 |
| x_1 比 x_2 十分重要 | x_1 贡献十分明显大于 x_2 , 但不特别突出 | 7 |
| x_1 比 x_2 极其重要 | x_1 贡献以压倒性优势大于 x_2 | 9 |
| x_1 比 x_2 处于上述两相邻判断之间 | 相邻两判断的中间值 | 2, 4, 6, 8 |

依据表2的重要性等级,邀请专家评定各质量指标的重要性,并以评定结果的算术平均值作为该指标的最终重要性指数。

在求得所有指标重要性指数的基础上,构造判断矩阵

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

式中: x_{ij} 为 x_i 相对于 x_j 的重要性, $x_{ij} > 0, x_{ij} = \frac{1}{x_{ji}}$ 。

利用合积法分别计算判断矩阵的特征向量和特征值,并进行一致性检验^[24]。

1)对判断矩阵 \mathbf{x} 进行归一化处理,得到矩阵 \mathbf{y} ,其各元素

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}。 \quad (3)$$

2)将矩阵 \mathbf{y} 各行分别求和得到 n 行1列的列矩阵 \mathbf{A} 。

3)对矩阵 \mathbf{A} 按照式(3)再次进行归一化处理后的列矩阵即为特征向量 \mathbf{W} , \mathbf{W} 的各分量即为各指标对应的权重系数,因此 \mathbf{W} 又被称为权向量。

4)利用数值分析中的相关方法计算满足公式 $\mathbf{x}\mathbf{W} = \lambda_{\max}\mathbf{W}$ 的特征根 λ_{\max} 。

5)为了检验层次分析法得到的结果是否合理准确,还应对判断矩阵进行一致性检验,计算公式为

$$C_1 = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)。 \quad (4)$$

一般情况下,若 $C_1 \leq 0.1$,则判断矩阵具有一致性,判断矩阵计算的权重系数具有一定程度的可靠性,对专家评定各指标的重要性结果具有一定的参考价值。根据某一层所有因素对最高层相对重要性的权重,将质量控制指标从高到低排序,建立质量控制指标体系。

3 工程实例应用

3.1 选择质量控制指标

根据试验步骤筛选施工工艺、设备、人员等初步指标。现场施工中改性乳化沥青的配合比是在室内试验得到的,利用其在室内试验中的目标配合比验证生产配合比,可直接判断原材料的性能是否符合标准。因此,目标配合比应作为一个质量控制指标。根据室内外 TiO_2 光催化降解效率结果,邀请专家对初步指标进行进一步补充和筛选,评选相对重要性指标。质量控制指标如表3所示。

表3 质量控制指标

| 1级目标层 | 2级子目标层 | 评价因子层 |
|--------------|---------------------------|--|
| A_1 :目标配合比 | B_1 | C_1 :纳米 TiO_2 、纳米 CaCO_3 、沸石粉、PVP-3000、乳化沥青的质量比为1:1:2:0.04:100 |
| | B_2 :纳米 TiO_2 | C_2 :锐钛型纳米级 TiO_2 |
| | B_3 :纳米 CaCO_3 | C_3 :粒径 |
| | | C_4 :乳化沥青蒸发残留物含量 |
| | | C_5 :乳化沥青筛上剩余量 |
| A_2 :原材料 | B_4 :乳化沥青 | C_6 :乳化沥青储存稳定性 |
| | B_5 :沸石粉 | |

表3(续)

| 1级目标层 | 2级子目标层 | 评价因子层 |
|----------------------|---------------------------|--|
| A ₃ :施工工艺 | B ₆ :室内试验 | C ₇ :15 cm×15 cm×5 cm 的车辙试件 |
| | | C ₈ :紫外线辐照强度 |
| | | C ₉ :试验时间为2 h |
| | B ₇ :工程应用 | C ₁₀ :乳化沥青现场制备 |
| | | C ₁₁ :路表清理 |
| A ₄ :施工设备 | B ₈ :破碎设备 | C ₁₂ :养护时间 |
| | | C ₁₃ :破碎机类型 |
| | B ₉ :计量装置 | |
| | B ₁₀ :胶体磨 | |
| | B ₁₁ :喷涂设备 | C ₁₄ :雾封层车 |
| A ₅ :施工人员 | B ₁₂ :搅拌装置 | |
| | B ₁₃ :室内试验关键人员 | C ₁₅ :具有资质且持证上岗 |
| | B ₁₄ :现场施工人员 | C ₁₆ :具有资质且持证上岗 |
| | B ₁₅ :雾封层车司机 | C ₁₇ :有驾驶证且懂道路方面知识 |

3.2 目标配合比和原材料

根据表2的重要性评价等级,邀请专家对表3的评价因子层两两比较后进行重要性评定,并以各专家认定的重要性指数算术平均值作为该项指标的最终重要性指数^[24]。以目标配合比和原材料为例,专家评定结果如表4所示。

表4 重要性等级专家评定表

| 指标 | 专家1 | 专家2 | 专家3 | 专家4 | 专家5 | 重要性等级平均值 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| A ₁ | 9 | 9 | 9 | 7 | 7 | 8.2 |
| B ₂ | 9 | 7 | 7 | 9 | 5 | 7.4 |
| B ₃ | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5.2 |
| B ₄ | 9 | 7 | 7 | 5 | 9 | 7.4 |
| B ₅ | 5 | 5 | 4 | 6 | 4 | 4.8 |

由表4可知:A₁重要性的平均值最大,A₂次之。在A₂中,B₂与B₄的性能最重要,B₃次之,最后是B₅。结合试验过程分析,在室内试验中,保证生产配合比与目标配合比一致,检测B₂、B₄、B₃的性能,确保配置成改性乳化沥青喷涂后能发挥材料本身的性能,保证施工质量。

根据表4分别构造A₁和A₂的判断矩阵。A₁无子目标层,且仅有一个评价因子层,其判断矩阵为单位矩阵。A₂的判断矩阵

$$x = \begin{pmatrix} 1 & 7.4 & 1 & 7.4 \\ 1/7.4 & 1 & 1/7.4 & 5.2 \\ 1/7.4 & 1 & 1 & 5.2 \\ 1/7.4 & 1/5.2 & 1/7.4 & 1 \end{pmatrix} \circ \tag{5}$$

对判断矩阵进行归一化处理,所得结果为:

$$x' = \begin{pmatrix} 0.06 & 0.44 & 0.06 & 0.44 \\ 0.02 & 0.15 & 0.02 & 0.80 \\ 0.02 & 0.14 & 0.14 & 0.71 \\ 0.09 & 0.13 & 0.09 & 0.68 \end{pmatrix} \circ \tag{6}$$

对式(5)按行求和再按式(2)进行归一化处理得到特征向量 W , W 的各分量即为权重。 A_1 的权重为 1, B_2, B_3, B_4, B_5 的权重分别为 0.508、0.349、0.467、0.216。

根据 $xW = \lambda_{\max} W$ 计算特征值,由所得特征值进行一致性检验, A_1 的 C_1 为负无穷,远小于 0.1, A_2 的 $C_1 = -0.125 < 0.1$, 所得判断矩阵合理,相应指标的重要性指数判断合理, A_1 和 A_2 应作为第 1 级目标层的质量控制指标。

3.3 其他评价因子评价

分析 A_3, A_4 及 A_5 等其他 1 级目标层中的质量控制指标。

1) 邀请专家评价其他评价因子,评价结果如表 5 所示。

表 5 其他控制指标重要性等级各专家评价表

| 第 1 级目标层 | 指标 | 专家 1 | 专家 2 | 专家 3 | 专家 4 | 专家 5 | 重要性等级平均值 |
|----------|----------|------|------|------|------|------|----------|
| A_3 | C_7 | 9 | 7 | 7 | 8 | 6 | 7.4 |
| | C_8 | 9 | 9 | 7 | 9 | 9 | 8.6 |
| | C_9 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5.2 |
| | C_{10} | 9 | 9 | 9 | 7 | 9 | 8.6 |
| | C_{11} | 5 | 5 | 4 | 6 | 4 | 4.8 |
| | C_{12} | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2.0 |
| A_4 | C_{13} | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3.8 |
| | B_9 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2.0 |
| | B_{10} | 7 | 6 | 7 | 5 | 7 | 6.4 |
| | B_{11} | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1.8 |
| | B_{12} | 1 | 3 | 5 | 4 | 3 | 3.2 |
| A_5 | B_{13} | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4.4 |
| | B_{14} | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1.8 |
| | B_{15} | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.2 |

2) 以表 5 重要性等级平均值作为最终重要性指数,构造各指标的判断矩阵, A_3 的判断矩阵

$$x_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1/8.6 & 7.4 & 1/8.6 & 7.4 & 7.4 \\ 8.6 & 1 & 8.6 & 1 & 8.6 & 8.6 \\ 1/7.4 & 1/8.6 & 1 & 1/8.6 & 5.2 & 5.2 \\ 8.6 & 1 & 8.6 & 1 & 8.6 & 8.6 \\ 1/7.4 & 1/8.6 & 1/5.2 & 1/8.6 & 1 & 4.8 \\ 1/7.4 & 1/8.6 & 1/5.2 & 1/8.6 & 1/4.8 & 1 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

A_4 的判断矩阵

$$x_4 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1/7 & 3 & 1/5 \\ 1/3 & 1 & 1/7 & 1/2 & 1/5 \\ 7 & 7 & 1 & 7 & 7 \\ 1/3 & 2 & 1/7 & 1 & 1/5 \\ 5 & 5 & 1/7 & 5 & 1 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

A_5 的判断矩阵

$$x_5 = \begin{pmatrix} 1 & 4.4 & 4.4 \\ 1/4.4 & 1 & 1.8 \\ 1/4.4 & 1/1.8 & 1 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

3)对式(7)~(9)按照式(3)进行归一化处理计算各行和,继续归一化处理,限于篇幅原因,二次归一化后的列矩阵即为特征向量,其内各分向量为权重,如表 6 所示。

4)根据 W ,计算满足 $xW = \lambda_{\max} W$ 的特征值,并进行一致性检验,结果如表 6 所示。

表 6 1 级目标层其他控制指标的权重和一致性检验结果

| 第 1 级目标层 | 指标 | 权重 | 特征值 | C_1 |
|----------|----------|-------|-------|-------|
| A_3 | C_7 | 0.412 | 1.703 | -0.86 |
| | C_8 | 0.672 | 2.608 | -0.68 |
| | C_9 | 0.406 | 4.089 | -0.38 |
| | C_{10} | 0.583 | 5.243 | -0.15 |
| | C_{11} | 0.328 | 6.460 | 0.09 |
| | C_{12} | 0.25 | 3.768 | -0.45 |
| A_4 | C_{13} | 0.321 | 3.321 | -0.54 |
| | B_9 | 0.142 | 4.142 | -0.37 |
| | B_{10} | 0.560 | 2.560 | -0.69 |
| | B_{11} | 0.247 | 3.247 | -0.55 |
| | B_{12} | 0.470 | 2.470 | -0.71 |
| A_5 | B_{13} | 0.328 | 3.328 | -0.53 |
| | B_{14} | 0.214 | 3.214 | -0.56 |
| | B_{15} | 0.132 | 2.132 | -0.77 |

根据表 6 可知:所有指标的 C_1 均小于 0.10,说明构造的判断矩阵合理,各质量控制指标的重要性指数评定结果可靠。

3.4 质量控制体系

根据各层次相应评价因子对最高层相对重要性的权重,将质量控制指标从高到低进行排序,建立质量控制指标体系,如表 7 所示,对于重要性较低的指标不再进行展示。

在试验及施工过程中,根据表 7 建立的质量控制指标体系判断具体试验流程的相应指标,对整个试验过程进行全方位质量控制,减小室内外降解偏差效率,保证施工质量。

表 7 质量控制体系

| 1 级目标层 | 2 级子目标层 | 评价因子层 |
|--------|----------|----------|
| A_1 | B_1 | C_1 |
| | B_2 | C_2 |
| A_2 | B_3 | C_3 |
| | B_4 | C_6 |
| | B_5 | |
| A_3 | B_6 | C_8 |
| | | C_9 |
| | B_7 | C_{11} |
| | | C_{12} |
| | | |
| A_4 | B_9 | |
| | B_{10} | |
| A_5 | B_{13} | C_{15} |
| | B_{14} | C_{16} |

4 结论

1)实际现场施工中沥青路面对汽车尾气的降解效率与室内试验结果偏差较大,原因有 2 方面:一是施工现场受温度、湿度及紫外线强度等环境因素影响,导致改性乳化沥青的降解效率出现偏差;另一方面是未对整个试验过程进行质量检验及控制,造成质量损失。

2)通过室内试验及施工过程逐层筛选质量控制指标,包括目标配合比、施工工艺、原材料、施工设备、施工人员等,利用层次分析法建立质量控制指标体系。

3)邀请专家评定各指标的重要性,将所得重要性的算术平均值作为最终重要性指数,构造判断矩阵,计算权重,确定最终质量控制指标,建立质量控制指标体系,对施工过程进行全方位质量控制,减少室内

外降解效率偏差,保证施工质量。

参考文献:

- [1] 廖东亮,肖新颜,邓沁,等. 二氧化钛光催化降解甲醛反应动力学研究[J]. 化工环保,2003,23(4):191-194.
LIAO Dongliang, XIAO Xinqin, DENG Qin, et al. Study on kinetics of formaldehyde photocatalytic degradation on titanium dioxide[J]. Environment Protection of Chemical Industry,2003,23(4):191-194.
- [2] 马明远. 纳米 TiO₂ 基复合粉体和负载体材料的制备及其协同光催化活性[D]. 吉首:吉首大学,2010.
MA Mingyuan. Preparation and synergistic photocatalytic activity of nano-TiO₂-based composite powder and negative carrier materials[D]. Jishou:Jishou University,2010.
- [3] 郑健龙. 高速公路沥青路面施工质量控制指标体系研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2013.
- [4] 郭大进,沙爱民,孙建华,等. 沥青路面工程质量控制指标体系的研究[J]. 公路交通科技,2007,24(4):71-74.
GUO Dajin, SHA Aimin, SUN Jianhua, et al. Research on asphalt pavement quality control parameter criteria system[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2007,24(4):71-74.
- [5] 李海滨,沙爱民. 路面施工质量控制指标体系及其模糊评价研究[J]. 河北工业大学学报,2008,37(2):103-107.
LI Haibin, SHA Aimin. Research on fuzzy evaluation and index system of pavement construction quality control[J]. Journal of Hebei University of Technology,2008,37(2):103-107.
- [6] 李海滨. 沥青路面工程质量过程控制指标体系的研究[D]. 西安:长安大学,2006.
- [7] 郑剑锋. 基于贵州高速公路沥青路面的施工动态控制研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2018.
ZHENG Jianfeng. Study on research on construction dynamic control based on asphalt pavement of Guizhou Expressway[D]. Chongqing:Chongqing Jiaotong University,2018.
- [8] 郭利杨,徐世法,黄玉颖,等. 纳米 TiO₂ 雾封层对汽车尾气降解效果评价[J]. 北京建筑大学学报,2017,33(3):27-32.
GUO Liyang, XU Shifa, HUANG Yuying, et al. Effect evaluation of automobile exhaust decomposition by using fog seal containing nano-TiO₂[J]. Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture,2017,33(3):27-32.
- [9] 张强,田雨. TiO₂ 光催化性能影响因素的研究进展[J]. 应用化工,2011,40(11):2022-2025.
ZHANG Qiang, TIAN Yu. Research progress on impact factors of photocatalytic ability of TiO₂ [J]. Applied Chemical Industry,2011,40(11):2022-2025.
- [10] 杨扬,刘海苹,钱国平,等. 低温环境下路面喷涂纳米 TiO₂ 降解汽车尾气效能的试验研究[J]. 森林工程,2019,35(6):72-76.
YANG Yang, LIU Haiping, QIAN Guoping, et al. Experimental study on degradation efficiency of automotive exhaust by nano-TiO₂ spraying on pavement in low temperature environment[J]. Forest Engineering,2019,35(6):72-76.
- [11] 孙凤英. 纳米 TiO₂ 光催化降解汽车尾气中的 NO_x [J]. 东北林业大学学报,2009,37(2):65-66.
SUN Fengying. Degradation of NO_x from automobile exhaust with Nanosized TiO₂ photocatalytic material[J]. Journal of Northeast Forestry University,2009,37(2):65-66.
- [12] 张影,李景. 世界气象组织(WMO)[J]. 中国标准化,2017(7):132-136.
- [13] 中国环境科学研究院,中国环境监测总站. 环境空气质量标准:GB 3095—2012[S]. 北京:中国标准出版社,2012.
- [14] 安伯超. 兖州矿区煤巷围岩稳定性影响因素评价及应用研究[D]. 青岛:山东科技大学,2007.
AN Bochao. Appraisal and application study on influence factors of coal roadway surrounding rock stability in Yanzhou mine area[D]. Qingdao:Shandong University of Science and Technology,2007.
- [15] RAJIB M D,胡能,张家新,等. 纳米二氧化钛的制备及其光催化性能[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版),2021,45(3):322-327.
RAJIB M D, HU Neng, ZHANG Jiabin, et al. Preparation of nano-TiO₂ and its photocatalytic performance[J]. Journal of Zhejiang Institute of Science Technology (Natural Sciences Edition), 2021, 45(3):322-327.
- [16] 王延文. 基于物元理论的特高压变压器质量控制有效性评价[D]. 北京:华北电力大学,2018.
WANG Yanwen. Research effectiveness evaluation of UHV transformer quality control based on material element theory[D]. Beijing:North China Electric Power University, 2018.
- [17] 常静. 低等级农村公路路面质量控制研究[D]. 西安:长安大学,2008.
- [18] 丁梅. 产业展会的产业监测模型构建及应用研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2019.

- DING Mei. Establishment and application of industrial monitoring model for industrial exhibitions [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2019.
- [19] 顾国林, 吴冰芝, 王蓓. 基于 SERVQUAL 法的铁路货运服务质量评价研究[J]. 铁道货运, 2021, 39(5): 41-46.
GU Guolin, WU Bingzhi, WANG Bei. Evaluation of railway freight service quality based on SERVQUAL method[J]. Rail Freight Transport, 2021, 39(5): 41-46.
- [20] 莫静玲. 基于人工神经网络的房地产精准营销沙漏模型研究[D]. 桂林: 广西大学, 2018.
MO Jingling. Research on real estate precision marketing hourglass model based on artificial neural network[D]. Guilin: Guangxi University, 2018.
- [21] 秦奕舒. 上海市南供电公司南虹桥 10kV 项目进度计划评价研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.
QIN Yishu. Evaluation research of progress plan of Shanghai Shinan Power Supply Company's South Hongqiao 10 kV Project [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2018.
- [22] 王宏, 崔杰. NGVM 模型及其在城市群道路网交通事故预测中的应用[J]. 价值工程, 2016, 35(2): 200-202.
WANG Hong, CUI Jie. Novel grey verhulst prediction model and its applications in predicting traffic accidents of urban road network[J]. Value Engineering, 2016, 35(2): 200-202.
- [23] 刘璇. 大数据背景下安徽省农产品电商物流发展问题分析[J]. 铜陵学院学报, 2018, 17(2): 26-30.
LIU Xuan. Analysis on the development of agricultural products logistics in Anhui Province under large data background[J]. Journal of Tongling University, 2018, 17(2): 26-30.
- [24] 齐宝库, 李长福. 装配式建筑施工质量评估指标体系的建立与评估方法研究[J]. 施工技术, 2014, 43(15): 20-24.
QI Baoku, LI Changfu. Research on the establishment of fabricated construction quality assessment index system and evaluation methods[J]. Construction Technology, 2014, 43(15): 20-24.

Quality control index system of asphalt pavement with degradable automobile exhaust

LI Mengchen¹, ZHAO Zhizhong^{1}, HAN Fei²,
WANG Yanmin¹, ZHOU Hao³, CHEN Wenkai⁴*

1. School of Civil Transportation Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China;

2. Shandong Province Qihe County Transportation Bureau, Dezhou 251100, China;

3. Shandong Yuran Municipal Engineering Co., Ltd., Taian 271099, China;

4. The Fist Company, Third Harbor Engineering Co., Ltd. of China Communications Construction Group Shanghai 200020, China

Abstract: The lack of construction quality inspection and control leads to a large deviation of the degradation efficiency of asphalt pavement on automobile exhaust gas from the indoor test results during the actual construction process. A quality control index system needs to be established for the whole process of asphalt pavement degradation of automobile exhaust gas test. Combined with hierarchical analysis and expert evaluation method, a judgment matrix is established and weights are calculated for the influence factors of the initial screening of automobile exhaust degradation efficiency. According to the calculation results, the influencing factors are ranked, the final quality control indexes are screened, and the quality control system is established to realize the whole process quality control for the asphalt pavement degradation automobile exhaust gas test, so as to provide quality assurance for the future test and construction.

Keywords: quality control index; vehicle exhaust; degradation efficiency; asphalt pavement; quality control system

(责任编辑:郭守真)