

MS-2 型微表处抗滑处治应用效果

王国忠¹, 周维锋²

(1. 公路检测部 山西省交通建设工程质量检测中心(有限公司), 山西 太原 030032;

2. 公路工程研究院 山西省交通科技研发有限公司)

摘要:通过对 13 段已进行 MS-2 微表处处治, 但交通荷载等级、纵坡坡度不同的路段开展处治效果问卷调查, 定性分析抗滑处治效果与交通荷载等级、纵坡坡度的关系; 选取 2 条交通荷载等级分别为中等、重的高速公路, 对已进行过 MS-2 型微表处处治且纵坡坡度为 1.0%~4.5% 的路段开展抗滑性能跟踪检测, 定量分析抗滑处治效果与交通荷载等级、纵坡坡度的关系。结果表明: 交通荷载等级为中等、纵坡坡度小于 3.8% 的路段, MS-2 型微表处可有效改善路面抗滑性能, 寿命一般为 2.5 年左右; 交通荷载等级为重级的高速公路, 纵坡坡度小于 2.8% 的路段, MS-2 微表处进行抗滑处治寿命一般为 1.0~1.5 年。

关键词: MS-2 型微表处; 抗滑性能; 纵坡坡度; 交通荷载等级

随着中国高速公路网的不断完善, 路网运营能力得到不断的提升, 中国高速公路建设从设计水平、管理经验、施工能力、验收手段等多方面, 均得到充足发展, 整个社会对安全的关注达到了空前程度, 公路作为人、物等运输载体, 安全自然不可或缺, 由于路面抗滑不足而引发的交通事故也倍增。英国研究者调查表明: 因路面抗滑不足引起的交通事故占全年交通事故的 24% 左右; 日本抽样调查显示: 该类交通事故数占日本全年交通事故的 25%。虽然中国目前缺乏此类数据调查, 但是从交通系统组成的各部分技术成熟度来分析, 由于抗滑能力不足而引起的交通事故比例不会低于英国、日本, 因此开展与路面抗滑性能相关的研究, 具有重要的理论及实用价值。

现阶段中国公路养护有限的经费只能满足局部严重病害的处治, 对公路安全意识的理解还比较局限, 大多数的公路管养者关注更多的是车辆运输过程中的安全, 以及路面表象的、严重破损的路段(如坑槽、松散、沉陷、滑坡、坍塌等), 忽视了路面抗滑不足, 为事故的发生埋下较大的隐患, 所以路面抗滑性能应该作为一项重要的指标引起足够的重视。

目前针对路面抗滑不足的处治措施多种多样, 从经济角度出发 MS-2 型微表处作为路面抗滑处治措施使用最为广泛, 但其使用效果评价褒贬不一, 因此, 该文研究 MS-2 型微表处抗滑处治效果有着重要的

意义。

1 调查及检测方式

通过前期深入养护单位了解 MS-2 型微表处对改善路面抗滑性能的效果, 选择 13 段交通荷载等级、纵坡坡度不同的典型路段作为问卷调查对象, 调研内容包含路段名称、桩号范围、年平均日交通量、纵坡坡度、原路面结构、处治年限、规模及处治措施、处治效果评价, 定性分析 MS-2 型微表处抗滑性能与交通荷载等级、纵坡坡度的关系; 为进一步验证 MS-2 微表处在改善路面抗滑性能方面的效果, 选取 2 条交通荷载等级分别为中等、重的高速公路, 对已进行过 MS-2 型微表处处治且纵坡坡度为 1.0%~4.5% 的路段开展抗滑性能跟踪检测, 采用 MK6 双轮式横向力系数测试仪每隔 0.5 年对其跟踪检测 1 次, 每次每段检测 3 遍, 以每段为基本单元统计代表值, 将 3 遍代表值的平均值作为该路段检测结果。

2 问卷调查结果

选择已进行 MS-2 微表处处治(交通荷载等级、纵坡坡度不同)且通车年限在 3 年以内的 13 个路段, 将预先编制好的调查问卷分发给相应路段长期从事公

路养护工作的一线人员(工作经验在 7 年以上),每段由 3 位经验丰富的技术人员填写,综合分析各路段在进行 MS-2 微表处处治后的使用效果,问卷调查结果如表 1 所示。

表 1 调查问卷整理结果

| 序号 | 通车年限/年 | 交通荷载等级 | 纵坡坡度/% | 使用状况评价 |
|----|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 1.5 | 轻 | 2.4 | 好 |
| 2 | 1.5 | 中等 | 4.0 | 差 |
| 3 | 1.8 | 中等 | 1.5 | 中 |
| 4 | 1.7 | 中等 | 1.5 | 好 |
| 5 | 1.6 | 中等 | 4.2 | 好 |
| 6 | 1.5 | 中等 | 3.5 | 好 |
| 7 | 2.0 | 中等 | 4.2 | 中 |
| 8 | 1.7 | 中等 | 1.5 | 好 |
| 9 | 2.5 | 中等 | 1.6 | 差 |
| 10 | 0.6 | 重 | 1.5 | 中 |
| 11 | 2.2 | 重 | 1.6 | 差 |
| 12 | 1.2 | 重 | 1.5 | 差 |
| 13 | 1.6 | 重 | 3.8 | 差 |

注:使用状况分“好”、“中”、“差”3 个层次,“好”指外观良好,无剥落情况,抗滑指标优良率达 100%;“中”指局部段落剥落,抗滑指标优良达 80%;“差”指大面积剥落,或抗滑指标整体处于中及以下。

通过对问卷调查结果统计分析可知:微表处处治效果与交通荷载等级有着较大的关系,在重载交通作用下微表处效果在 0.6 年就开始明显下降;交通荷载等级在中等及以下时,MS-2 微表处可有效改善路面抗滑效果,当使用 1.8 年以后开始下降,2.5 年以后效果损失明显。

3 跟踪检测结果

为进一步验证 MS-2 微表处处治效果与荷载等级、纵坡坡度的关系,分别选取交通荷载等级为“中等”、“重”的公路各 1 条,荷载等级为“中等”的公路命名为“公路 1”,荷载等级为“重”的公路命名为“公路 2”,选择纵坡坡度为 1.0%~4.5%且已进行 MS-2 微表处处治的路段,公路 1 选取 5 段,公路 2 选取 4 段,路段信息见表 2、3,通过查找原材料送检报告及试验室资料得到粗集料主要技术指标及对应路段当天抽提试验的矿料级配、沥青含量(沥青采用 SBS 改性乳化沥青),分别见表 4、5。采用 MK6 双轮式横向力系数测试仪每隔 0.5 年对其跟踪检测 1 次,每次每段检测 3 遍,以每段为基本单元统计代表值,将 3 遍代表值的平均值作为该路段检测结果,检测结果见表 6、7。

表 2 “公路 1”横向力系数跟踪检测路段

| 路段 | 路幅/车道 | 起始桩号 | 终止桩号 | 长度/m | 纵坡坡度/% |
|---------|-------|----------|----------|-------|--------|
| 第 1-1 段 | 右幅行车道 | K610+900 | K612+300 | 1 400 | 4.2 |
| 第 1-2 段 | 右幅行车道 | K678+100 | K684+300 | 2 200 | 2.5 |
| 第 1-3 段 | 左幅行车道 | K567+400 | K569+700 | 2 300 | 1.6 |
| 第 1-4 段 | 左幅行车道 | K652+600 | K657+000 | 1 400 | 3.8 |
| 第 1-5 段 | 左幅行车道 | K718+000 | K720+000 | 2 000 | 4.0 |

表 3 “公路 2”横向力系数跟踪检测路段

| 路段 | 路幅/车道 | 起始桩号 | 终止桩号 | 长度/m | 纵坡坡度/% |
|---------|-------|---------|---------|------|--------|
| 第 2-1 段 | 右幅行车道 | K2+300 | K2+500 | 200 | 1.5 |
| 第 2-2 段 | 右幅行车道 | K12+350 | K12+850 | 500 | 2.8 |
| 第 2-3 段 | 左幅行车道 | K33+420 | K33+780 | 360 | 3.2 |
| 第 2-4 段 | 左幅行车道 | K51+240 | K51+380 | 140 | 4.7 |

表 4 粗集料技术指标

| 路段 | 石料压碎值/% | 洛杉矶磨耗损失/% | 坚固性/% | 粗集料的磨光值 PSV |
|------|---------|-----------|-------|-------------|
| 公路 1 | 17.3 | 20.2 | 1 | 45 |
| 公路 2 | 14.2 | 19.2 | 1 | 46 |

由表 6 可知:研究路段当交通荷载等级为“中等”时,通车 2 年后 MS-2 微表处横向力系数均为 40 以上;纵坡坡度越大,横向力系数衰减越快,通车 2.5 年时,纵坡坡度小于 3.8%的段落横向力系数仍满足要求,纵坡坡度大于等于 3.8%的段落已不满足使用要

求,通车 3 年时上述段落均不满足使用要求。可见交通荷载等级为中等、纵坡坡度小于 3.8%时,MS-2 型微表处可有效改善路面抗滑性能,寿命一般为 2.5~3.0 年。

表 5 各路段矿料级配及沥青含量

| 级配类型 | 通过下列筛孔(方孔筛:mm)的质量百分率/% | | | | | | | | 沥青含量/% |
|-----------------|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 | |
| MS-2 | 100 | 95~100 | 66~90 | 45~70 | 30~50 | 18~30 | 10~21 | 5~15 | |
| 公路 1(1-1、1-2 段) | 100 | 97.3 | 75.2 | 59.6 | 43.2 | 22.5 | 17.6 | 8.8 | 6.8 |
| 公路 1(1-3 段) | 100 | 96.9 | 78.4 | 60.2 | 41.5 | 24.1 | 16.5 | 8.2 | 7.5 |
| 公路 1(1-4、1-5 段) | 100 | 98.3 | 77.4 | 62.1 | 39.4 | 25.3 | 16.5 | 10.3 | 7.4 |
| 公路 2(2-1、2-2 段) | 100 | 96.2 | 80.1 | 58.3 | 40.2 | 23.5 | 15.8 | 10.1 | 6.6 |
| 公路 2(2-3、2-4 段) | 100 | 97.1 | 78.4 | 58.2 | 40.3 | 26.5 | 17.1 | 9.4 | 7.1 |

表 6 “公路 1”统计分析结果

| 处治路段 | 横向力系数代表值(SFC) | | | | | | 差值(第 1 次 —第 6 次) | 衰减率/ % |
|---------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-----------|
| | 第 1 次 | 第 3 次 | 第 4 次 | 第 5 次 | 第 6 次 | 第 7 次 | | |
| 第 1-1 段 | 86.32 | 76.72 | 64.22 | 48.82 | 34.92 | — | 51.40 | 59.5 |
| 第 1-2 段 | 80.14 | 73.34 | 65.54 | 55.34 | 45.74 | 38.40 | 34.40 | 42.9 |
| 第 1-3 段 | 80.60 | 73.00 | 67.20 | 60.00 | 51.84 | 39.10 | 28.76 | 35.7 |
| 第 1-4 段 | 81.01 | 70.81 | 61.91 | 49.31 | 39.48 | — | 41.53 | 51.3 |
| 第 1-5 段 | 74.42 | 65.92 | 56.72 | 43.92 | 33.70 | — | 40.72 | 54.7 |

表 7 “公路 2”统计分析结果

| 处治路段 | 横向力系数代表值(SFC) | | | | | 差值(第 1 次 —第 3 次) | 衰减率/ % |
|---------|---------------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-----------|
| | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 | 第 4 次 | 第 5 次 | | |
| 第 2-1 段 | 72.6 | 57.7 | 48.5 | 40.4 | 34.6 | 24.10 | 33.2 |
| 第 2-2 段 | 80.3 | 56.8 | 41.3 | 37.6 | — | 39.00 | 48.6 |
| 第 2-3 段 | 75.4 | 60.3 | 37.6 | — | — | 37.80 | 50.1 |
| 第 2-4 段 | 78.6 | 59.8 | 32.5 | — | — | 46.10 | 58.7 |

注:对检测过程中 SFC 小于 40 的路段不再跟踪检测。

由表 7 可知:由于部分段落通车 1 年后 SFC 小于 40,对 SFC 小于 40 的段落不再对其跟踪检测。由表 6、7 可知:研究路段当交通荷载等级为“重”时,随着通车时长的增加,MS-2 微表处横向力系数在通车 1 年后有 50%的段落衰到不足 40,1.5 年后有 75%的段落衰减到不足 40;分析衰减率与纵坡坡度关系时,采用通车 1 年的数据,纵坡坡度越大,横向力系数衰减越快,当纵坡坡度大于等于 2.8%时,MS-2 微表处横向力系数在通车 1 年有 66.7%的段落不满足使用要求,通车 1.5 年后均不满足使用要求。可见交通荷载等级为“重”,纵坡坡度大于等于 2.8%时,MS-2 微表处进行抗滑处治寿命一般为 1.0~1.5 年。

通过定性、定量分析 MS-2 型微表处抗滑处治效

果与纵坡坡度、交通荷载等级的关系,可以得知:对于研究路段,当交通荷载等级为“中等”、纵坡坡度小于 3.8%时,MS-2 型微表处可有效改善路面抗滑性能,寿命为 2.5~3.0 年;重载交通作用下微表处抗滑处治效果在 0.6 年就开始明显下降;交通荷载等级为“重”,纵坡坡度大于等于 2.8%时,MS-2 微表处进行抗滑处治寿命一般为 1.0~1.5 年,为了更加科学、合理分析 MS-2 在改善路面抗滑性能方面的效果,今后的研究中需注重搜集更广的样本加以分析、提炼。

4 微表处抗滑性能衰变机理分析

表征路面抗滑性能的指标有构造深度和横向力系

数,同种材料二者有着很好的相关性,路面平均构造深度可通过矿料级配和沥青含量计算得到;通过多元非线性回归模型建立各筛孔通过率与距离最大密度线的加权平均值,公式如下:

$$E = \sum \left(\left\{ \left[\left(\frac{D}{Agg_{max}} \right)^{0.45} \times 100 \right] - p \right\} \times D \right)$$

式中: E 为距离最大密度线的加权平均值; D 为筛孔直径; Agg_{max} 为集料最大粒径; p 为各筛孔通过率(%)。

平均构造深度与距离最大密度线的加权平均值、沥青含量关系如下:

$$TD = 0.025E^2 + 0.037E - 0.0265P_b + 0.052$$

式中: TD 为路面构造深度; P_b 为沥青含量。

该文通过不同路段施工过程中的矿料级配及沥青

含量计算得到施工初期的路面平均构造深度,同时到最后 1 次抗滑性能跟踪检测时对第 1—2 段、1—3 段、2—1 段进行路面构造深度检测,构造深度计算结果、实测结果及横向力系数第 1 次、最后 1 次跟踪检测结果见表 8。

由表 8 可知:MS—2 型微表处路面横向力衰减与路面构造深度的衰减有着密切的关系,横向力系数平均衰减率为 52.0%,构造深度平均衰减率为 37.4%,横向力系数衰减速度为构造深度衰减率的 1.4 倍,但由于该文数据量有限,缺少构造深度跟踪检测数据,无法建立两者衰变的关系。今后的研究中需进一步加强同种材料横向力系数与构造深度衰减规律(机理)的研究,从而建立两者的衰变关系,对采用磨耗指标表征路面抗滑性能的衰变起到重要的作用。

表 8 构造深度、横向力系数结果

| 路段 | 第一次跟踪检测横向力系数 | 计算构造深度/mm | 最后 1 次横向力系数跟踪检测结果 | 实测构造深度/mm | 横向力系数衰减率/% | 构造深度衰减率/% |
|---------|--------------|-----------|-------------------|-----------|------------|-----------|
| 第 1—1 段 | 86.32 | 0.53 | — | — | — | — |
| 第 1—2 段 | 80.14 | 0.53 | 38.4 | 0.32 | 52.1 | 36.9 |
| 第 1—3 段 | 80.60 | 0.46 | 39.1 | 0.28 | 51.5 | 39.1 |
| 第 1—4 段 | 81.01 | 0.48 | — | — | — | — |
| 第 1—5 段 | 74.42 | 0.48 | — | — | — | — |
| 第 2—1 段 | 72.6 | 0.58 | 34.6 | 0.37 | 52.3 | 36.2 |
| 第 2—2 段 | 80.3 | 0.58 | — | — | — | — |
| 第 2—3 段 | 75.4 | 0.54 | — | — | — | — |
| 第 2—4 段 | 78.6 | 0.54 | — | — | — | — |

5 结论

(1) 微表处抗滑处治效果与交通荷载等级有较大关系,在重载交通作用下 MS—2 微表处处治效果在 0.6 年就开始明显下降。

(2) 研究路段交通荷载等级为“中等”、纵坡坡度小于 3.8%时,MS—2 型微表处可有效改善路面抗滑性能,寿命一般为 2.5~3.0 年。

(3) 研究路段交通荷载等级为“重”,纵坡坡度大于等于 2.8%时,MS—2 微表处进行抗滑处治寿命一般为 1.0~1.5 年。

(4) 微表处横向力系数衰减与构造深度衰减关系密切,需加强同种材料 2 种指标的跟踪检测,以对采用磨耗指标表征路面抗滑性能的衰变起到重要的作用。

参考文献:

[1] K. Musey, S. Park. Pavement Skid Number and Horizontal Curve Safety[J]. Procedia Engineering, 2016, 145: 828—835.

[2] Mario De Luca, Francesco Abbondati, Monica Pirozzi, et al. Preliminary Study on Runway Pavement Friction Decay Using Data Mining[J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14: 3 751—3 760.

[3] 赵鸿铎,伍梦竹,吴世涛. 沥青道面摩擦系数随水膜厚度的变化规律[J]. 中国民航大学学报, 2015(2).

[4] 李长城,刘小明,荣建. 不同路面状况对路面摩擦系数影响的试验研究[J]. 公路交通科技, 2010(12).

[5] JTG H10—2009 公路养护技术规范 [S].

[6] 王国忠. MS—2 型微表处在路面抗滑性能处治中的适用性研究[J]. 交通科技, 2015(4).