

# 石安高速公路沥青混凝土路面车辙病害分析

彭亚荣<sup>1</sup>, 张 虎<sup>2</sup>

(1. 河北省石安高速公路管理处 石家庄市 050031; 2. 河北省高速公路管理局 石家庄市 050051)

**摘 要:** 论述了车辙的定义和类型, 介绍了石安高速公路路面结构和通车几年来交通量增长情况, 通过车辙发展的数据分析, 阐述了车辙产生的内外因, 并提出了对车辙病害进行防治的主要措施, 为今后高速公路的建设、养护管理提供建议和参考。

**关键词:** 沥青混凝土; 路面; 车辙; 分析

## 1 车辙定义

在高速公路上, 车辆按照车道行驶, 形成渠化交通, 尤其是近几年来超限车辆的增多, 行车道的轮迹位置承受着大量重车的反复作用。在夏季高温时, 沥青混合料的强度和劲度大幅度下降, 在大量重车的反复作用下, 轮迹带逐渐变形下凹, 两侧逐渐鼓起, 形成车辙, 继续发展则成辙槽。

车辙达到一定的深度, 辙槽内就易积水并影响行车舒适和安全。因此, 一些国家限制车辙的深度在一定的范围之内。当车辙深度超出此范围, 就要采取处治措施。例如, 在英国, 当行车道的车辙深度达到 10 mm 时, 就认为路面开始进入临界状态, 需加铺面层以恢复路面原有的结构质量和延长其使用寿命; 当车辙深度达到 20 mm 时, 就认为路面已经进入破坏状态。美国沥青协会的路面设计方法中规定的容许车辙深度(临界状态)为 13 mm。在日本, 当路面需要罩面补强时, 车辙深度一般为 20 mm。在美国 AASHTO 路面设计方法中, 对主要干道的现时服务能力指数规定为  $PSI > 2.5$ 。北美的大量路况调查表明, 当  $PSI = 2.5$  时, 路面的平均车辙深度达 15 mm。我国《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ073.2-2001)规定的临界值为 15 mm。

## 2 车辙类型

### 2.1 结构性车辙

指由于荷载作用超过路面各层的强度, 发生在沥青混凝土面层以下包括路基在内的各结构层的永久形变。这种车辙宽度较大, 两侧没有隆起现象, 横

断面成凹字形。

### 2.2 流动性车辙

在高温季节, 车轮反复碾压路面, 荷载应力超过沥青混合料的稳定度极限, 使流动变形不断积累形成车辙。这种车辙一方面使车轮作用部位下凹, 另一方面使车轮作用甚少的车道两侧向上隆起, 在弯道处明显向外推挤, 车道线和停车线因此变形成曲线。

### 2.3 磨损性车辙

由于车辆不断地磨损路面, 特别是大量重型超载车辆渠化地行驶在行车道上, 也会形成车辙。

### 2.4 压实性车辙

这属于非正常情况的车辙, 是由于施工控制不严造成的。由于沥青混凝土面层本身压实不足, 致使通车后的第一个高温季节混合料继续被压密, 在车辆荷载的反复碾压下, 空隙率不断减小, 达到极限残余空隙率时才趋于稳定。它不仅产生压实形变, 而且平整度迅速下降, 形成明显的车辙。这种由于施工不良引起的车辙也不少见。

## 3 石安高速公路基本情况

### 3.1 路面标段划分情况(见表 1)

### 3.2 路面结构基本情况

全线路面结构为: 4 cm 多碎石沥青混凝土 + 5 cm 粗粒式沥青混凝土 + 6 cm 粗粒式沥青混凝土 + 20 cm 水泥稳定碎石 + 35~40 cm 二灰砂、二灰土或石灰土底基层。

石安高速公路沥青混凝土路面主要集中在 1997 年完成, 路面表面层为 4 cm 多碎石型沥青混

表 1

标段	A 标	B 标	C 标	D 标	E 标	F 标	G 标	H 标	I2 标	I1 标
桩号	K271+345 ~K283+200	K283+200 ~K304+295	K304+295 ~K333+694	K333+694 ~K360+924	K360+445 ~K395+900	K395+900 ~K414+967	K415+661 ~K427+594	K427+594 ~K452+054	K452+054 ~K466+360	K466+360 ~K487+358

凝土(SLH-20),中面层为粗粒式沥青混凝土(《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ032-94)中 LH-30 I 型),底面层为粗粒式沥青混凝土(LH-35 I 型)。沥青材料表面层和部分中面层沥青采用了进口 AH-90 号重交通道路石油沥青,部分中面层、下面层沥

青采用国产 AH-90 号重交通道路石油沥青。骨料:中、底面层为石灰岩,表面层为玄武岩或安山岩、硬质辉绿岩类等。沥青表面层主骨料粒径为 10~20 mm、5~10 mm,采用玄武岩、安山岩,5 mm 以下石屑、石粉为石灰岩(C 标)。

表 2 各结构层沥青混合料矿料级配

结构层次	混合料类型	通过下列各号筛孔(圆孔筛 mm)累计百分率/%													
		40	35	30	25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074
表面层	SLH~20				100	90~100	61~79	43~56	28~38	21~29	16~24	12~20	10~18	8~15	6~10
中面层	LH~30 I		100	95~100	75~90	60~80	52~72	47~60	30~50	25~42	18~32	13~25	8~18	5~13	3~7
底面层	LH~35 I	100	90~100	78~93	60~78	43~64	36~56	28~48	18~38	12~28	8~20	4~14	3~4	2~7	1~5

注:SLH~20 为多碎石密级配。

表 3 各结构层沥青混合料技术要求

项目指标	结构层次		
	表面层	中面层	底面层
击实次数	两面各 75 次	两面各 75 次	两面各 75 次
稳定度/kN	>7.5	>7.5	>5.0
流值/0.1 mm	20~40	20~40	20~40
空隙率/%	3~6	3~6	4~10
沥青饱和度/%	70~85	70~85	60~75
残留稳定度/%	>75	>75	>70
矿料间隙率/%	≥14.5	≥12.5	≥12.5

竣工检测主要技术指标如下:横向力系数平均 61,合格率 90.65%;平整度 IRI=1.47( $\sigma=0.635$ ),合格率 100%;弯沉合格率 98.32%;几何尺寸合格率 100%;路拱横坡值合格率 89.5%。

4 石安高速公路交通量分析

石安高速公路通车后交通量增加较快,尤其是大型车辆所占比重较大,这是因为石安高速公路是京珠高速公路的重要路段,是我国中南部进京的一条重要通道,货物运输量相对较大。例如 K280+326 处 2001 年 10 月 30 日一昼夜自动检测交通量的数据为:上行方向共计 7 548 辆,其中小型车占 21.93%,中型车占 7.71%,大型车却占到了 70.36%;下行方向共计 6 531 辆,其中小型车占 42.75%,中型车占 7.30%,大型车却占到了

49.95%。从中可以看出大型车在整个交通量组成中所占比例是很大的。

在大型车辆中,超载、超限车辆所占比例较大,达到了 60%~70%。通车几年来平均交通量情况列于图 1(2003 年数据为 1~4 月)。

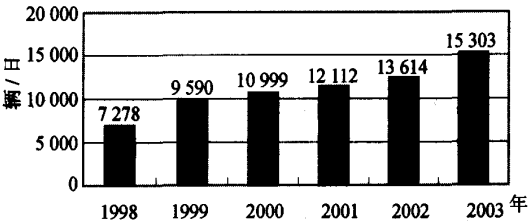


图 1 1998~2003 年交通量情况

5 石安高速公路车辙数据分析

1999 年、2001 年和 2002 年我们采用人工测量的方法对石安高速公路的车辙进行了 3 次跟踪测量,测量方法为每公里一个断面,采用 4.5 m 直尺直接测量。图 2 为西半幅行车道在 1999 年、2001 年、2002 年的车辙变化情况统计结果。

2001 年 3 月份的具体测量结果为:东半幅行车道共计测量 216 点,平均车辙深度 9.69 mm,最大点 31 mm,大于 25 mm 的 6 处;西半幅测量 216 点,平均车辙深度 10 mm,最大 34 mm,大于 25 mm 的 7 处。2002 年 7 月进行的车辙调查,行车道车辙情况具体测量结果见表 4。

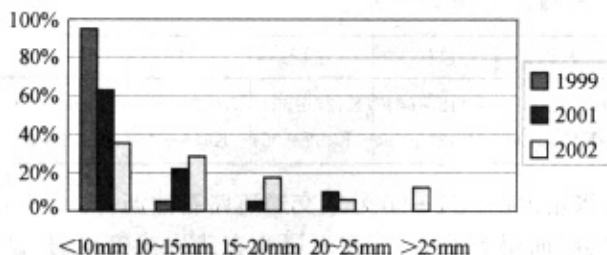


图 2 西半幅行车道车辙变化情况

表 4 2002 年车辙统计汇总

东半幅			西半幅		
分类	长度/km	比重/%	分类	长度/km	比重/%
<10 mm	79	36.41	<10 mm	77	35.48
10~15 mm	60	27.65	10~15 mm	62	28.57
15~20 mm	35	16.13	15~20 mm	38	17.51
20~25 mm	16	7.37	20~25 mm	13	5.99
>25 mm	27	12.44	>25 mm	27	12.44
合计	217	100	合计	217	100

从西半幅行车道 1999、2001 和 2002 年三年车辙情况分析车辙的发展,大于 25 mm 的数量增长较快,增长率为西半幅 347.48%,东半幅 283.95%,车辙大于 15 mm 的路段所占比重为 35.94%,从各标段的情况来看,C、D、E 标较为严重,A、I1、I2 标较轻,全线除 F 标东半幅重于西半幅外,其余均是西半幅重于东半幅。由于高速公路渠化交通的特点,行车道在大型车辆的碾压下,很容易产生车辙。随着车辙的增加,平整度降低,行车舒适性降低。

## 6 车辙形成内外因分析

### 6.1 形成车辙的原因分析

车辙的产生受内因和外因的综合影响,内因是指沥青混凝土路面结构设计和沥青混凝土本身,外因是指气候、交通量、交通组成、施工等外界因素。

### 6.2 车辙产生的应力分析

中面层的主要作用是抗永久形变或抗辙槽。通过石安高速公路切割的车辙横断面来看,在厚 15 cm 的沥青混凝土面层中,面层内 3~8 cm 范围内的剪应力最大。夏季面层表面下 4~9 cm 的温度最高,因此,中面层是产生剪切形变和严重辙槽的层位,符合半刚性路面抗剪应力基本原理。换句话说,中面层的主要作用应是抵抗剪切形变或抗辙槽。美国的经验表明,沥青混凝土面层产生辙槽的主要层位是表面下 5~10 cm,它证明力学分析的结果是正

确的。

### 6.2.1 形成车辙的内因分析

沥青混凝土的强度取决于混合料的内摩擦角(力)和粘结力。可以用 Mohr-Coulomb(莫尔-库伦)方程来说明矿料和沥青对沥青混凝土抗剪强度的影响:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

式中: $\tau$  为沥青混凝土的抗剪强度; $c$  为沥青或沥青-填料胶泥的粘结力; $\sigma$  为沥青混合料所受的正应力; $\varphi$  为内摩擦角。

影响内摩擦角的主要因素如下。

#### (1) 集料的颗粒形状

通常要求集料的颗粒形状接近立方体,同时规定扁平长条颗粒的含量不允许超过 15%。因为颗粒形状越接近立方体,混合料的内摩擦角越大。

#### (2) 表面纹理深度

集料表面的纹理深度(或微观构造)或集料品种,对混合料的内摩擦角有显著影响。

#### (3) 天然含砂量

由于天然砂是圆角而且表面光滑,如果沥青混合料中采用天然砂必然影响沥青混合料的强度,天然砂用得越多,对强度的影响越大。

#### (4) 沥青用量

混合料中沥青用量不宜过多,自由沥青就相当于润滑油,它会大幅度降低矿料的内摩擦角,并导致混合料的强度大幅度下降。

#### (5) 混合料的级配和密实度

增大集料粒径对提高其抗车辙能力有一定效果,沥青混合料的密实度决定着混合料中的空隙率的大小,密实度越大,空隙率越小,混合料的抗辙槽能力越强。但是,空隙率也不能太小,不能小于 4% 的临界值。

影响沥青混合料粘结力大小的主要因素有 5 个。

#### (1) 沥青的针入度和粘度

沥青的针入度和粘度是两个不同的指标,针入度相同的沥青,其粘度可能有较大的差别。例如一般 AH-70 沥青的 60℃ 粘度在 2 kPa 左右,而高粘度 AH-70 沥青的 60℃ 粘度可高达 6~7 kPa。沥青的针入度越大,混合料的粘结力越小,沥青混合料的强度或抗辙槽能力就越差。沥青的粘度越高,混合料的强度或抗辙槽能力就越大。

#### (2) 沥青的感温性

沥青的感温性是指沥青粘度随温度变化而变化

的程度,温度变化时,如沥青的粘度产生大的变化,沥青的感温性就大,反之沥青的感温性就小。沥青的感温性越大,高温时沥青混合料的粘结力越弱,抗辙槽能力也越小。

### (3) 沥青与碎石的粘结力

沥青与碎石的粘结力越大,沥青混合料的粘结力也越大。同一种沥青与不同种岩石碎石的粘结力有显著的差别。碱性石料与沥青的粘结性好,中性石料与沥青的粘结性中等,酸性石料与沥青的粘结性差。实践证明,在沥青混合料中添加抗剥落剂,不但能够增加石料与沥青的粘结力,还可以显著提高沥青混合料的抗辙槽能力,其抗辙槽能力甚至大于沥青与碎石粘结力已达5级但不加抗剥落剂的沥青混合料。

### (4) 填料种类和比例

常用填料有石灰石粉、水泥和消石灰等。用水泥或消石灰粉会大幅度增加混合料的粘结力和高温强度。对于传统的连续级配沥青混凝土,矿粉与沥青之比常为0.6~1.2。对于粗集料断级配沥青混凝土,矿粉与沥青之比可高达1:6以上。

### (5) 沥青用量

沥青是各种尺寸矿料混合料的粘结剂,它将各种尺寸的矿料混合粘结在一起,经过压实后形成强度高的沥青混合料。实际情况并不是沥青用量多,包覆矿料的沥青膜厚,沥青混合料的粘结力就大。因此,沥青用量过多不但会显著降低沥青混凝土的内摩阻力,还会显著降低其粘结力,其结果是大幅度降低沥青混凝土的抗辙槽能力。

石安高速公路采用多碎石沥青混凝土 SAC-16 时,规定天然砂的用量不超过7%(矿料总质量的3%)。这在一定程度上能够减少车辙。

## 6.3 形成车辙的外因分析

交通量增长快、超载车辆多以及温差大是形成车辙的主要外因。

(1) 综合分析石安高速公路的交通量增长情况,2001年与2000年相比,交通量增长为10.12%;2002年和2001年相比,交通量增长为12.40%;2003年和2002年相比,交通量增长为12.12%,而且大、中型车辆约占车辆总数的67%左右,大、中型车的严重超载,是产生车辙的主要原因之一。

(2) 河北地区夏季、冬季温差较大,夏季路面温度高达69℃,冬季最低温度达-15℃。这是产生车辙和温度裂缝的主要外因。温度是导致沥青混凝土弹性模量降低的主要因素,国外有经验公式:0℃

时  $E=21\ 000\text{ MPa}$ ;20℃时  $E=3\ 500\text{ MPa}$ ;49℃时  $E=150\text{ MPa}$ 。沥青混凝土的刚度随温度的升高而急剧下降,从而随温度增加,沥青混凝土的结构强度急剧下降。

## 7 减少和预防车辙的主要措施

### 7.1 材料选用

#### 7.1.1 选用粘度高的沥青或改性沥青

石安高速公路面层选用了进口90号重交通沥青,但是相对于现在标号70号或SBS改性沥青来说,其高温稳定性相差很远,表现在和石料的粘结力差,抗车辙能力差等方面。在改性沥青中,以掺加再生聚乙烯和合成橡胶的SBS沥青抗形变能力最佳。如果当时选用针入度小、软化点高和含蜡量低的沥青或改性沥青,车辙深度会有一定程度的减轻。

#### 7.1.2 控制沥青用量

施工时要严格将沥青用量控制在规范容许的误差范围内,自由沥青的润滑作用会大幅度降低矿料的内摩擦角,直接降低沥青混合料的强度。在石安高速公路不同的路段,由于施工队伍的不同,在沥青用量方面也有一些差别,市政公司在市区道路施工较多,所以沥青用量在容许范围内偏多些,反映在路面上车辙出现早,车辙程度深。而高速公路施工经验丰富的施工队在沥青用量上,则在容许范围内偏少些,反映在路面上车辙出现较晚、较轻。

#### 7.1.3 矿料质量控制

采用粒径较大和碎石含量多的矿料,尽量选用颗粒形状接近正方体的矿料,并控制碎石中的扁平、针状颗粒的含量不超过15%的规定值。石安高速公路采用多碎石沥青混凝土 SAC-16,高温稳定性明显高于京石高速公路河北段 LH-20-1 型级配。这在车辙反应上可以看出,相对而言,京石高速公路的车辙出现年限早,车辙深度大。

#### 7.1.4 矿粉数量控制

保持矿粉与沥青之比为1:1.2,保证有足够数量的矿粉来减少起润滑作用的游离沥青,减薄沥青膜的厚度。在配合比实验过程中,严格控制沥青含量,增加足够矿粉能延缓后期使用中车辙的出现。

#### 7.1.5 注意调整石料的酸碱度

河北省中、南部大部分硬质岩类石料偏酸性,酸性骨料降低混合料的水稳定性和高温稳定性,当时石安高速公路选用的石料是石灰岩、玄武岩或安山岩、硬质辉绿岩,均属于酸性岩料,在一定程度上可

文章编号: 0451-0712(2004)07-0124-08

中图分类号: U418

文献标识码: B

# 桥头跳车成因分析及防治技术研究

蒋应军, 武建民, 陈忠达, 戴经梁

(长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室 西安市 710064)

**摘 要:** 在深入分析桥头不均匀沉降产生原因的基础上, 从地基、路堤、路面等方面提出桥头跳车综合防治技术。并针对常规桥头搭板设计方法中存在的弊端, 提出了改进的搭板设计方法, 同时对排水系统也做了分析和改进。

**关键词:** 桥头跳车; 不均匀沉降; 防治技术; 桥头搭板; 排水措施

随着公路等级的不断提高, 桥涵构造物所占比重也越来越大。据不完全统计, 仅通道与涵洞而言, 高等级公路平均约 3 座/km。但从目前已投入使用的高等级公路营运情况来看, 存在一些不尽人意之处, 尤其是在这些构造物台背回填处普遍存在“桥头跳车”的现象。桥头跳车在高等级公路中危害极大, 具体表现如下。

(1) 降低了行车舒适性和安全性。高速行驶的车辆跳跃时不仅对汽车的正常行驶、司乘人员的舒适产生不利影响, 有些严重的跳车甚至会引起重大的行车事故。

(2) 增加了车辆运营费用。因跳车而不得不在桥头频繁减速, 以减轻汽车的颠簸, 无论是减速行驶还是颠簸现象的发生, 都对汽车机件造成不同程度地损坏和轮胎的磨损; 同时汽车行驶速度的不稳定, 无形中既浪费了燃料, 又增加了废气的排放; 另外, 还

增加了车辆的行驶时间。因此, 桥头跳车的出现, 提高了车辆的运营成本。

(3) 影响公路养护费用及使用寿命。台阶的存在使得车辆通过时产生跳动和冲击, 从而对桥梁和路面造成附加的冲击荷载, 加速桥头路面及伸缩缝的破坏。为了维持良好的使用状况, 对出现的台阶要进行及时的维修与养护。不断地维修养护不仅耗费了大量的人力、物力和财力, 而且也产生了不良的社会影响。

由此可见, 桥头跳车病害的发生使高等级公路不能达到高效运营、安全行驶、节省投资及舒适乘车的目的, 在很大程度上降低了高等级公路的服务水平, 损害了公路使用者的利益, 从而严重影响了高等级公路的社会经济效益。因此, 桥头跳车问题已成为高等级公路建设及营运中应该重视并亟待解决的问题。

收稿日期: 2004-02-25

能降低了混合料的水稳性和高温稳定性, 加剧了车辙的发展。因此建议使用此类石料时应掺加抗剥落剂或用 2% 的水泥代替矿粉, 增加路面的稳定性。

## 7.2 施工控制

施工过程中一定要加强碾压, 切忌片面追求平整度而放松压实度, 要确保压实度, 降低孔隙率, 把孔隙率控制在规范要求的范围内, 这是避免压实度不足而引起车辙的有效途径。

## 7.3 交通控制

大量重型超载车辆在行车道上的行驶, 缓慢而且渠化现象严重, 尤其在夏季高温季节的行驶, 是造

成行车道车辙的主要原因。目前大部分车辆超载已经是运输业运输成本降低的主要途径。虽然高速公路交通和交警部门都采取了一定的手段, 例如建立超限治理站, 通过卸载和相应罚款来限制超载车辆, 但是超限车辆之多让交通管理部门几乎防不胜防。因此在所有高速公路入口设立称重装置来限制超限车辆, 是解决问题的根本方法, 但是从经济角度和人力资源看还不太可能。如果不采取果断措施, 车辙等病害必将成为高速公路运营成本增加的主要因素。