

文章编号: 1007-2373 (2007) 03-0084-05

二灰碎石基层产生纵向贯通性裂缝的原因分析

李自林, 董 鹏, 朱 斌, 吴亮秦

(天津城市建设学院 土木工程系, 天津 300384)

摘要 津涞公路二灰碎石基层 K3+000~K37+504 段建成一年左右出现了长距离纵向贯通性裂缝, 这些裂缝不是出现在新旧路接缝处, 也不是由于路基不均匀沉降而引起的, 已有的国内外文献都不能够解释产生这些裂缝的原因。通过对道路纵向贯通性裂缝的试验研究和理论分析, 找出了产生纵向裂缝的主要原因, 提出了切实可行的防止措施, 为今后的道路工程设计、施工提供了重要的参考依据。

关键词 道路工程; 二灰碎石基层; 力学分析; 纵向裂缝

中图分类号 U416.214

文献标识码 A

Analysis of Reason for Longitudinal through Cracks Occurrence in Lime-fly Ash Stabilized Aggregate Base Course

LI Zi-lin, DONG Peng, ZHU Bin, WU Liang-qin

(Department of Civil Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract Long longitudinal through cracks occur in the next year after lime-fly ash macadam base course on Jinlai highway K3+000~K37+504 has been completed. These cracks do not appear at joints of newly-built road and the old. They are not the result of uneven settlement of subgrade either. At present none reference home and abroad can explain the reason for the cracks. By experimental research and theoretical analysis on longitudinal cracks of pavement, author suggest major reason for the cracks and then countermeasures are put forward, which provide reference to design and construction of pavement.

Key words road engineering; lime-fly ash macadam base course; mechanical analysis; longitudinal cracks

0 工程概况

津涞公路起点为天津市静海县小河村南与河北省大城县交界处, 由南向北贯穿静海县西部, 跨子牙河, 在八堡村附近与津霸公路相接, 再经津静公路, 进入西青区, 终点为外环线津静立交。技术等级为二级, 路基宽 12 m, 路面宽 9 m。路面结构大部分为新辟线。

津涞公路新建路面 20 多公里范围内出现了大量有规则的纵向裂缝, 表现为两条或一条或三条与路中线平行或重合的长距离纵向贯通性裂缝, 裂缝的位置在路面 1/2 幅、1/4 幅处。该路段二灰碎石基层在 1999 年 7 月施工完毕, 经过两个月爆晒后开始做面层, 面层为 2.5 cm 厚的细粒式沥青混凝土+4.5 cm 粗粒式沥青混凝土。铺筑面层之前未发现裂缝, 通车后开始出现裂缝并且裂缝逐渐扩展, 裂缝宽度在 3~10 mm 之间。这些裂缝不是出现在新旧路接缝处, 也不是由于路基不均匀沉降而引起的, 已有文献都不能解释产生这些裂缝的原因^[1-10]。裂缝的出现严重影响了道路的美观, 不仅使道路景观受到影响, 而且使道路结构的整体强度下降、稳定性降低, 使用寿命缩短。

通过试验研究、理论分析和计算, 找出纵向裂缝产生的原因, 提出切实可行的处理措施, 给出避免新建公路产生此类问题的施工方法, 为今后的道路工程设计、施工提供重要的参考依据, 具有十分重要的意义。

收稿日期: 2006-05-18

作者简介: 李自林 (1953-), 男 (汉族), 教授。

1 试验研究

1.1 路面裂缝调查

通过对津涞公路 K3+000 ~ K37+504 路段共 34 km 路面裂缝调查,发现被调查路段 80 % 的部分都产生了连续的长距离纵向裂缝,最长的可达 3 km,最短的也有 300 m;裂缝宽度在 3 ~ 10 mm 之间,裂缝的位置在路面的 1/2 幅、1/4 幅处;裂缝为三条或两条或一条与路中线平行或重合的长距离纵向裂缝;裂缝的深度无法从表面看出,只能通过现场钻芯、切割挖坑试验等方法来确定。

1.2 现场钻芯试验

津涞道路工程纵向裂缝的深度是多少?是否仅仅发生在面层?是否贯穿整个面层?为了搞清楚这个问题,用钻芯机在路面裂缝处,沿着道路纵向,取出若干个深度为 10 cm 的圆柱体,均发现裂缝宽度在 3 ~ 10 mm 之间,且裂缝贯穿整个圆柱体,将圆柱体芯样分成两个独立部分。由此可以看出,纵向裂缝贯穿了整个沥青混凝土面层,并深入到了二灰碎石基层。由于钻芯机钻取试件的深度受到限制,无法了解裂缝深入到道路结构层的那一个部位,为此必须进行现场切割挖坑试验,从而确定裂缝的深度。

1.3 现场切割挖坑试验

要了解津涞道路工程纵向裂缝产生的原因,需要在现场进行切割挖坑试验观测,得出裂缝的深度。为此,首先沿着道路的纵向在裂缝处用切割机切出若干个宽 80 cm,长 120 cm,深 7 cm (沥青混凝土路面厚度)的长方体(如图 1)。可看出,裂缝已贯穿了厚度 7 cm 的整个路面面层,面层顶面裂缝宽度为 8 mm、面层底面裂缝宽度为 4 mm,二灰碎石基层顶面裂缝宽度为 8 mm。接着人工用铁镐将 18 cm 厚的二灰碎石基层全部挖出(如图 2),发现裂缝贯穿了整个厚度,且沿厚度方向裂缝宽度从顶面的 8 mm,变化到底面的 6 mm。二灰碎石基层下面 15 cm 厚的石灰土表面仅能看到细微裂缝,宽度在 0.1 mm 左右,深度在 1 cm 左右,再往下没有裂缝发生。



图 1 津涞公路路面现场切割试验
Fig. 1 Pavement incision in the field experiment on Jinlai highway



图 2 津涞公路路面现场挖坑试验
Fig. 2 Pavement excavation in the field experiment on Jinlai highway

2 产生纵向裂缝的原因分析

通过以上的试验研究,发现津涞公路长距离纵向裂缝不是由于路基不均匀沉降引起的,而是由二灰碎石基层首先产生贯通性裂缝,然后再导致路面面层产生裂缝。津涞公路二灰碎石基层产生纵向裂缝的原因主要有以下几方面。

2.1 由于暴晒而引起的干缩纵向裂缝

新铺半刚性基层随着混合料中水分的减少要产生干缩应变和干缩应力,水分减少愈多愈快,产生的干缩应力愈大,水分减少的慢,干缩应变缓慢产生,干缩应力逐渐增长。由于材料的应力松弛性质和材料强度随龄期增长,材料的抗应变能力增强。干缩能够在暴露的二灰碎石基层表面产生很大的拉应力,干缩应力在施工后几天内就达到最大值,随后逐渐降低。干缩应力高度集中在暴露的表面,随深度急剧降低。合适的养生能减小干缩应力和减少裂缝。

现在来研究由于高温而引起的干缩应力的计算。

取 $9 \times 9 \times 0.18 \text{ m}^3$ 的二灰碎石板体,在平均板温差的影响下板内任一点的应变为

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y) + \alpha_t \Delta T \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x) + \alpha_t \Delta T \quad (1)$$

式中 ΔT 为平均板温的变化量 ($^{\circ}\text{C}$)。

由于板中部受到二灰碎石基层与石灰土层之间摩阻力的完全约束,在温度变化下不能变形,即

$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$ ，由式(1)解得由此产生的拉应力为

$$\sigma_x = \sigma_y = -\frac{E \alpha_s \Delta T}{1 - \mu^2} \quad (2)$$

取 $E = 1600 \text{ MPa}$ ， $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$ ， $\mu = 0.2$ ；二灰碎石顶面 $\Delta T = 35^\circ \text{C}$ ，二灰碎石底面 $\Delta T = 25^\circ \text{C}$ 。将以上数值代入式(2)计算得：二灰碎石顶面产生的拉应力为 $\sigma_x = -0.7 \text{ MPa}$ ；二灰碎石底面产生的拉应力为 $\sigma_x = -0.5 \text{ MPa}$ 。

津涞公路二灰碎石基层于1999年7月施工完毕，经两个月暴晒，才开始做面层。通过上面计算得知，二灰碎石基层在压缩完成后几天内就会产生很大的干缩应力，而此时混合料抗拉强度还很小，因此很容易产生干缩裂缝。津涞公路二灰碎石基层摊铺压实后，经过7d的洒水养护，然后浇透层油，而没有及时进行沥青混凝土面层施工，也没有再进一步做养生处理，让二灰碎石基层在一年当中气温最高的7~9月之间，整整暴晒了2个月。虽然2个月后铺筑面层时未发现裂缝，但微小裂缝已经在二灰碎石基层中形成。开始时，干缩裂缝往往很细，随着暴晒时间的增长，二灰碎石基层中水分继续减少，裂缝会逐渐扩展。经过现场调查、钻芯、挖坑等试验，发现津涞公路干缩裂缝主要是纵向的，且发生在靠近路面的中线或路面宽度的四分之一处，而且是长而直的有规则的纵向贯通性裂缝（从7cm厚的沥青混凝土面层一直延伸到18cm厚的二灰碎石基层）。在这个过程中，二灰碎石基层的强度没有达到设计要求，铺筑面层通车后，汽车车轮荷载作用在道路中央、1/4路幅处机率最大，而且轮载作用位置处由于轮载引起的各层的横向拉应力最大，二灰碎石基层在这种横向拉应力的反复作用下，当这种横向拉应力超出了二灰碎石基层施工中已形成的抗拉极限强度时，就会形成长距离的纵向贯通性裂缝。

2.2 由于温差使二灰碎石板体内产生翘曲应力而引起的纵向裂缝

取道路横断面9m宽，纵向9m长，厚度18cm的二灰碎石板体来研究由于温差而引起的翘曲应力。如果二灰碎石板体不受到底基层石灰土的约束，温度变化时可以自由翘曲变形，板不会产生翘曲应力，如图3所示。当板与地基的连接出现足够的约束时，板的翘曲将会被阻止，此时将产生翘曲应力。

如果二灰碎石板体受到底基层石灰土的刚性约束，温度变化时板体不能自由翘曲变形，因为板顶温度高于板底温度，所以，板体底部将会产生翘曲拉应力，板体顶部将会产生翘曲压应力，其最大值发生在板体中部的截面上边缘各点，如图4所示。其值可按以下公式计算^[6]

$$\sigma_{tx} = \frac{E \alpha_s \Delta T}{2} \left(\frac{C_x + \mu C_y}{1 - \mu^2} \right) \quad \sigma_{ty} = \frac{E \alpha_s \Delta T}{2} \left(\frac{\mu C_x + C_y}{1 - \mu^2} \right) \quad (3)$$

式中： σ_x 和 σ_y 为沿道路纵向和横向的翘曲应力，MPa； E 为二灰碎石回弹模量，取 $E = 1600 \text{ MPa}$ ， ΔT 为二灰碎石基层底面与顶面的温差，取 $\Delta T = T_2 - T_1 = -30^\circ \text{C}$ ； C_x 和 C_y 为与板尺寸有关的系数，取 $C_x = C_y = 0.98$ ； $\mu = 0.2$ ， $\alpha_s = 6 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$ 为二灰碎石的线膨胀系数。代入式(3)计算可得： $\sigma_x = \sigma_y = -0.176 \text{ MPa}$ 。

津涞公路夏季施工时温度较高，二灰碎石基层在暴晒的两个个月时间里，由于层顶与层底存在着较大温差，且层顶温度高于层底温度，从而使二灰碎石基层板体发生向上凹的翘曲，在纵缝处二灰基层的下边缘产生最大拉应力，接着在自重作用下向下弯曲，又使二灰碎石基层上边缘产生最大拉应力，这样应力反复循环、交替变化，当最大拉应力小于或等于二灰碎石基层的劈裂强度时，就会在最大拉应力处产生裂缝。二灰碎石基层材料模量随龄期的增长而不断增长，这种基层早期具有柔性路面的力学特性。当环境适宜时，其强度和刚度都会随时间的增长而增强，但其最终抗弯拉强度和弹性模量还是远小于刚性基层。二灰碎石

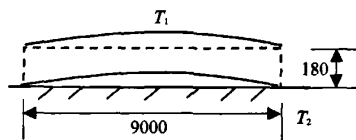


图3 二灰碎石板体不受约束
Fig. 3 Unrestrained lime-fly ash stabilized aggregate plate

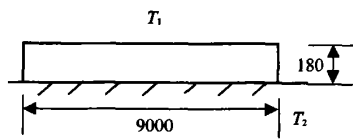


图4 二灰碎石板体受到刚性约束
Fig. 4 Lime-fly ash stabilized aggregate plate with rigid restraint

基层材料的强度不仅与材料品种有关,而且与试验及养生条件有关。二灰碎石基层结构与柔性路面相比,具有强度高、稳定性好、刚度大、整体性好等优点。其不足之处是脆性大、抗变形能力差。

由于干缩引起的拉应力与温度引起的翘曲拉应力叠加,二灰碎石顶面产生的拉应力 $\sigma_x = -1.02\text{MPa}$;二灰碎石基层底面产生的拉应力 $\sigma_x = -0.7\text{MPa}$,在这种拉应力作用下,使二灰碎石基层首先产生纵向贯通性裂缝。在二灰碎石基层上铺筑较薄沥青面层(津涞公路为7 cm厚的沥青混凝土面层)时,由于沥青对温度的敏感性,以及在疲劳荷载作用下,二灰碎石基层裂缝便反应到面层上形成反射裂缝。

2.3 由于设计方面的原因而引起的纵向裂缝

二灰碎石配合比及级配设计不合理。用二灰碎石半刚性材料作为沥青路面的基层,要想使它强度高、刚度大,必须使结合料的胶结作用以及集料的嵌挤作用发挥到最佳点。就是说其中的集料真正能够形成相互嵌挤的骨架作用,而结合料又能填充其中的空隙将其包裹、胶结形成强度。若太粗(集料太多粒径太大),在目前一般要求使用摊铺机摊铺的情况下,拌和料就会产生离析,集料与结合料形不成密实结构,产生不了强度,而且容易出现平整度难以掌握,易起波浪的现象;若太细(集料太少或粒径太小)则容易引起干缩裂缝,形不成板体,影响强度的形成,并会在沥青面层上有所反映,出现所谓的反射裂缝。因此,集料的级配不合理,二灰的含量不恰当,也是导致二灰碎石基层产生纵向裂缝的原因之一。

2.4 由于施工方面的原因而引起的纵向裂缝

施工时含水量控制不够准确,没有在最佳含水量或接近最佳含水量下进行碾压,养护不及时或养护方法不当;碾压工艺不合理成型温度较高,强度形成较快;碎石中含泥量较高;石灰未充分消解,现场挖坑取样发现有灰块存在;暴晒2个月,使二灰碎石基层严重失水,产生了较大的干缩应变及干缩应力,且干缩应变及干缩应力达到了二灰碎石基层材料的应变和应力的极限值,从而产生了纵向裂缝。

3 防治措施

由以上分析可知,津涞公路沥青路面长距离纵向反射裂缝是由于二灰碎石基层首先产生长距离纵向贯通性裂缝引起的,而二灰碎石基层纵向裂缝的形成具有复杂的原因,但最主要的原因还是由于二灰碎石基层施工完毕后经过7 d的洒水养护,然后浇透层油,接下来没采取任何养护措施,让二灰碎石基层在一年中气温最高的7~9月之间,整整暴晒了2个月,其强度没有达到设计要求,铺筑面层通车后由于汽车荷载作用使其在道路中央、1/4路幅处引起横向拉应力超出了二灰碎石基层强度,导致二灰碎石基层产生长距离的纵向贯通性裂缝,为防止今后道路施工中类似裂缝的发生或尽量少发生,特提出以下几点防治措施。

1) 二灰碎石基层碾压结束后,必须及时进行养生(一般养生期为7 d),养生结束后应及时铺筑面层而不让二灰碎石基层暴晒。不同地区的实践都已证明,二灰碎石基层竣工后,如不及时铺筑面层而让其暴晒,基层或迟或早会产生干缩裂缝(包括可见和不可见两种裂缝),这种干缩裂缝将会反映到沥青面层上形成反射裂缝或对应裂缝。京石高速公路和京津塘高速公路中的某些路段都发生过这种现象。京石高速公路正定试验路第1段和第7段的基层材料、厚度相同,两段的沥青面层分别厚9 cm和6 cm,由于第1段暴晒时间过长(达99 d),铺筑面层前基层已产生了干缩裂缝,而第7段是正常养生时间(7 d),所以,虽然第1段的面层较厚,它的裂缝率($33.3\text{ m}/1000\text{ m}^2$)仍明显大于第7段的($27.1\text{ m}/1000\text{ m}^2$)^[7]。

2) 采用合理的二灰碎石配合比及级配。从设计上提供一个合理的二灰碎石配合比及级配。设计时也不能单从规范和计算来定出二灰碎石配合比及级配,也要通过试验并根据规范和计算的结果定出最佳配合比及级配,也就是要使结合料的胶结作用以及集料的嵌挤作用发挥到最佳点。集料应采用断级配类型,才能保证二灰碎石内骨料形成框架;同时二灰含量必须与集料振实空隙率相当,才能满足强度要求,同时具有良好的抗裂性。配合比设计中,根据多组试验、按计算所取的二灰含量,取值时应尽量采用符合强度要求的二灰含量的低值,以保证二灰碎石具有足够的强度和较好的抗裂性。

3) 施工控制。a) 含水量控制要准确。半刚性基层所产生的裂缝,很大程度上是由于含水量控制不

够准确或养护不及时产生的干缩裂缝所引起。因此,施工时必须严格控制拌和料的含水量。为此,采取以略高于最佳含水量0.5%的情况下拌合,在最佳含水量下碾压,碾压完成后立即检测,若经检测碾压后的压实度合格,立即洒水养护,保护刚碾压完成后的二灰碎石基层含水量不受损失,此后正常养护一周左右,决不能让基层暴晒变干开裂。b) 二灰碎石基层碾压完成后或最迟在养生结束后,应立即喷洒稀释沥青或沥青乳液,做成透层或粘层。在透层或粘层上要撒布3~8 mm的碎石或砾石,石料不需密布,要露黑,用量约3 kg/m²。不能撒布砂和0~5 mm的石屑,石料既可作为摊铺沥青混合料时的工作平台,使运料卡车和摊铺机不致将粘层沥青卷起,又可保证上层沥青混合料与二灰碎石基层间有良好的粘结。砂和石屑虽能防止粘层沥青被车轮卷起,但也能阻碍上下层间的粘结。c) 透层或粘层完成后,应尽快铺筑沥青面层。透层或粘层虽有一定的保温保湿作用,但时间稍长,二灰碎石基层混合料中的水分也会损失并产生干缩裂缝;在温差大的情况下,二灰碎石基层也可能产生温缩裂缝,为了保证基层不产生收缩裂缝,必须尽快铺筑沥青面层。

4) 在进行半刚性路面设计时,首先应该选用抗冲刷性能好、干缩系数和温缩系数小和抗拉强度高的半刚性材料做基层,必要时可加入早强剂以提高其早期强度,使其弯拉强度增大而弯拉模量变化不大,温湿效应减弱,耐用性提高,抗裂性能增强,减少基层自身裂缝或使其不产生裂缝。

5) 在二灰碎石基层上设置下封层。由于二灰碎石基层不可避免地要产生收缩裂缝,一经雨水浸害,裂缝处基层将很快失去强度。因此,有必要改变过去只在基层间喷洒透层油的做法而应设置下封层,下封层厚1.0~1.5 cm,如下封层为改性乳化沥青稀浆封层,其厚度为0.5 mm左右,隔断下渗水对基层的侵蚀破坏。同时铺筑面层时,设置沥青面层上封层,厚度要大于或等于2 cm,且要用细粒式沥青混凝土。

6) 在沥青面层与二灰碎石基层之间,铺设土工织物应力吸收薄膜夹层。在沥青路面基层上铺设一层土工织物,其上再铺筑设计厚度面层。这样铺筑的路面对防止基层裂缝反射,减少路面车辙,延长路面使用寿命,具有显著的效果。土工织物在施工中应注意清除铺设层面的杂物,并使其铺设牢固、顺直、搭接合理(一般15~20 cm)、粘层油温度适中,避免人为或施工机具对其损坏而达不到预期效果。

7) 加强边坡防护,不让水浸入地基和路基。使路基两侧的边沟排水通畅,及时排除边沟中的雨水;加强边坡防护,不让水进入地基和路基,保证地基和路基具有足够的强度、刚度和稳定性。

4 结论

二灰碎石基层碾压结束后,必须进行养生、铺筑面层,而不让二灰碎石基层暴晒;采用合理的二灰碎石配合比及级配;严格控制施工质量;在二灰碎石基层上设置下封层,隔断下渗水对基层的侵蚀破坏;铺筑面层时,设置沥青面层上封层,且要用细粒式沥青混凝土;在沥青面层与二灰碎石基层之间,铺设土工织物应力吸收薄膜夹层;加强边坡防护,不让水浸入地基和路基。

参考文献:

- [1] 蒋新明, 郑舟. 二灰碎石抗裂性的研究 [J]. 中国公路学报, 2002, 15 (3): 28-32.
- [2] 黄卫, 钱国超. 南京机场高速公路半刚性基层特性研究 [A]. 江苏省交通厅, 南京机场高速公路建设指挥部. “省门第一路”建设论文集 [C]. 北京: 人民交通出版社, 1998. 86-87.
- [3] JTJ058-2000. 公路工程集料试验规程 [S].
- [4] 李经业, 马玉文, 张俊峰. 二灰碎石半刚性基层裂缝问题的防治研究 [J]. 华东公路, 2001 (5): 40-41.
- [5] 李祖伟. 水泥砼路面的温度翘曲与翘曲复合应力 [J]. 重庆交通学院学报, 2002, 21 (4): 24-26.
- [6] 姚祖康. 公路设计手册: 路面 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [7] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [8] 杨成忠, 陈万祥. 半刚性基层沥青路面反射裂缝形成机理初探 [J]. 东北公路, 2002, 25 (3): 25-27.
- [9] 王玉顺. 京秦高速公路沥青路面裂缝修补方法 [J]. 公路交通科技, 2003, 20 (3): 61-63.
- [10] 吴齐正, 钱宪明. 二灰碎石基层裂缝成因及防治措施研究 [J]. 公路, 2004 (10): 29-33.
- [11] 隋永芹, 顾小东. 灌浆加固处理二灰碎石基层裂缝的实践研究 [J]. 中外公路, 2005, 25 (5): 14-16.