

# 《公路隧道温拌阻燃沥青路面技术指南》 (征求意见稿)

## 编制说明

《公路隧道温拌阻燃沥青路面技术指南》编写组

2024 年 11 月

# 目 录

<b>1 工作概况 .....</b>	<b>1</b>
1.1 任务来源.....	1
1.2 目的意义.....	1
1.3 主要工作过程.....	2
1.4 编制单位及人员分工.....	2
<b>2 标准编制原则和标准主要内容 .....</b>	<b>4</b>
2.1 标准制订指原则.....	4
2.2 标准的适用范围与主要内容.....	5
2.3 关键指标的确定依据.....	5
<b>3 实证研究 .....</b>	<b>10</b>
<b>4 知识产权说明 .....</b>	<b>13</b>
<b>5 采标情况 .....</b>	<b>13</b>
<b>6 重大意见分歧的处理 .....</b>	<b>13</b>
<b>7 其他应说明的事项 .....</b>	<b>13</b>

# 1 工作概况

## 1.1 任务来源

根据陕西省市场监督管理局下发的《关于下达 2023 年度陕西省地方标准制修订项目计划的通知》（陕市监函〔2023〕410 号），由陕西交通控股集团有限公司主持承担陕西省地方标准《公路隧道温拌阻燃沥青路面技术指南》的起草工作。

承担单位：陕西交通控股集团有限公司

参编单位：陕西交通控股集团有限公司宝坪高速公路建设管理处、长安大学、中交第一公路勘察设计研究院有限公司

## 1.2 目的意义

（1）温拌阻燃沥青混合料可以有效降低沥青混合料生产施工温度，节约燃油成本 20%~30%，降低有害气体排放 70%以上，改善了隧道施工人员工作环境质量，对公路沥青路面的低碳发展具有重要意义；延长了隧道沥青路面的施工季节和日施工时间，可以一定程度上缩短工期。

（2）温拌技术延缓了沥青老化，提高了沥青混合料的耐久性，延长了隧道沥青路面使用寿命；阻燃技术能够有效地降低运营过程中隧道内发生火灾时沥青参与燃烧的可能性及燃烧时所产生的烟尘，提高了隧道路面的运营安全性。

（3）该标准的制定不仅可以为公路隧道温拌阻燃沥青路面的设计施工提供更深入详细的指导，提升公路隧道运营安全，还可以完善公路隧道标准体系，从而更好地服务和适应我省公路隧道建设需求，推动我省交通建设技术的绿色高质量发展。

（4）本项目组由建设单位、高校和科研企业联合组成，并结合交通科技支撑计划的研究成果，可以促使陕西省公路隧道建设技术标准体系更完善、更合理，以规范和引导陕西省相关技术的发展。

### 1.3 主要工作过程

2023 年 4 月由陕西交通控股集团有限公司向陕西省市场监督管理局提出申请的《公路隧道温拌阻燃沥青路面技术指南》标准获得批准立项。本标准制订任务下达后，陕西交通控股集团有限公司积极组织，成立标准编写小组，明确标准编写任务。

标准编制过程中，开展了资料成果收集和典型工程调研工作。通过广泛调研，为标准编制工作奠定了坚实基础。开展资料成果收集，收集了国内外关于公路隧道温拌阻燃沥青路面设计施工的相关技术标准、规范、科研论文，梳理总结了成功的工程经验、成熟的科技成果。开展了典型工程调研，掌握了典型公路隧道温拌阻燃沥青混合料设计参数、施工工艺等，为规范编制提供了依据。

草案形成：2023 年 4 月完成了标准草案后，编写人员就标准内容反复进行了认真讨论，并邀请相关行业内知名专家提供建设性的意见和建议。而后编制组就专家提供的意见和建议，分析比对，借鉴其他地方标准经验、查阅资料，向国内工程建设单位一线技术人员了解现状，经多次修改完善于 2023 年 11 月形成了标准初稿。

征求意见稿形成：2023 年 11 月通过大纲评审后，编制组根据评审专家意见有对标准初稿进行了反复讨论与修改，于 2024 年 10 月形成了征求意见稿。

### 1.4 编制单位及人员分工

本标准由陕西交通控股集团有限公司主编，参编单位包括：为陕西交通控股集团有限公司宝坪高速公路建设管理处、长安大学、中交第一公路勘察设计研究院有限公司。

编制组人员组成及分工如下：

表 1 单位分工表

序号	单位名称	分工
1	陕西交通控股集团有限公司	标准编制的承担单位,负责标准的起草,资料的搜集、调研,相关指标的验证,组织省内外专家的研讨。
2	陕西交通控股集团有限公司 宝坪高速公路建设管理处	标准的参与编制单位,参与标准的起草,重点参与相关指标内容编写及其验证工作。
3	长安大学	标准的参与编制单位,参与标准的起草,重点参与相关指标内容编写及其验证工作。
4	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	标准的参与编制单位,参与标准的起草,重点参与特长公路隧道疲劳缓解带设计标准内容的编写。

表 2 编写组分工一览表

序号	姓名	职称	主要分工
1	路 杨	正高	起草组组长。对标准编制进行全面审核;对一些关键指标进行研究;组织定期召开标准编制讨论会议,研究进展和实施深度,并根据标准编制进展情况对下阶段重点工作进行布置。
2	郝培文	教授	起草组副组长。对标准编制进行全面审核;负责现场试验,对一些关键指标进行研究。
3	仵 涛	高工	起草组副组长。对标准编制进行全面审核;负责现场试验,对一些关键指标进行研究。
4	王春	高工	起草组主要成员。参与编制本标准;负责试验段现场指导,对一些关键指标进行研究。
5	赵超志	正高	起草组主要成员。参与编制本标准;负责试验段现场指导,对一些关键指标进行研究。
6	韩常领	正高	起草组主要成员。参与编制本标准;负责试验段现场指导,对一些关键指标进行研究。
7	董长松	正高	起草组主要成员。参与编制本标准;负责试验段现场指导,对一些关键指标进行研究。
8	张伟	工程师	起草组成员。参与编制本标准。
9	赫连超	高工	起草组成员。参与编制本标准。
10	杨 波	高工	起草组成员。参与编制本标准。

11	苟超	工程师	起草组成员。参与编制本标准。
12	李绍辉	讲师	起草组成员。参与编制本标准。
13	富志鹏	正高	起草组成员。参与编制本标准。
14	陈彦君	高工	起草组成员。参与编制本标准。

## 2 标准编制原则和标准主要内容

### 2.1 标准制订指原则

#### （1）制订工作要突出重点、有的放矢

重点针对公路隧道温拌阻燃沥青路面设计施工过程中的关键技术指标、施工工艺等，开展标准制订工作。

#### （2）技术内容要科学、合理、可靠、实用

吸纳最新科研成果、工程经验和做法，按照规定的格式要求，合理编排章节与条款内容，广泛征求主管部门、建设单位、设计、施工单位等的意见，凝聚共识。制订的技术内容要充分考虑工程实施的可行性和可操作性。

#### （3）与相关规范要协调一致

注重规范间协调一致、互为补充、系统配套的原则，处理好本规范与现行相关技术规范《温拌沥青混凝土》（GB/T 30596-2014）、《道路用阻燃沥青混凝土》（GB/T 29051-2012）、《沥青混合料改性添加剂第6部分：温拌剂》（JT/T 860.6-2016）、《沥青混合料改性添加剂第3部分：阻燃剂》（JT/T 860.3-2014）以及《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2004）的关系。本规范是对现有相关规范的完善和补充。

#### （4）用语标准、简洁、明确

按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求规范编写，进一步规范用语、细化条款，形成适用于公路隧道温拌阻燃沥青路面设计施工的技术标准。

## 2.2 标准的适用范围与主要内容

(1) 本地方标准的适用范围：本文件适用于不同等级公路隧道路面应用温拌阻燃沥青的情况。

(2) 本地方标准包含以下主要内容：1 范围、2 规范性引用文件、3 术语和定义、4 材料、5 配合比设计、6 机械设备、7 施工、8 施工质量管理和检查验收、9 施工安全和环境保护。

## 2.3 关键指标的确定依据

### (1) 阻燃沥青极限氧指数杯形测试法

评价沥青阻燃效果的方法有多种，但使用较多的还是极限氧指数法、热重试验法（TG）和水平垂直燃烧法（UL94）法等，其中极限氧指数法使用最普遍，多个国家都在使用该方法评价聚合物材料的燃烧性能并已纳入且相关技术规范，如美国的 ASTM D2863，英国的 BS2782 Part 1-141，我国的 GB/T 2406-1993 等。故本项目也采用沥青的极限氧指数来评价阻燃沥青的阻燃效果。

极限氧指数（Limit Oxygen Index, LOI）试验是 1996 年美国学者 CP.Fenimore 等提出用于评价塑料燃烧性能的一种测试方法。这种方法是指在规定的试验条件下，测定通入试样燃烧筒内的氮氧混合气体中能够刚好维持材料燃烧时的氧气浓度，以体积百分数表征，其计算公式如式（1）。氧指数越大，表示材料越不容易点燃，则其安全性越高，目前我国阻燃沥青相关规范要求极限氧指数不小于 23%。

$$LOI = \frac{[O]}{[O]+[N]} \times 100\% \quad (1)$$

式中：[O]—临界氧浓度时混合气流中氧气的体积流量；

[N]—临界氧浓度时混合气流中氮气的流量。

由于沥青材料与塑料在受热状态下有着较大差异，导致该方法将沥青制成条状试样（见图 1（a））进行试验时，试样在点燃过程中流淌现象较为严重，根本无法保持直立状态，甚至无法被点燃就已经完全滴落流淌。

鉴于以上问题，本项目开发了一种新的沥青极限氧指数试样制备方法——杯

形试样法（以下简称杯法），经前期反复测试，最终确定杯型不锈钢容器的直径是 1cm，高也是 1cm，见图 1（b）。试验时将要测试的沥青倒入容器中，然后在沥青中间插入一种难燃且吸油的介质，类似于平常所用的蜡烛灯芯，本项目采用玻璃纤维，目的是有助于沥青被快速点燃。待制好的试样冷却至室温后即可进行试验。本项目采用 JF-3 型氧指数测定仪（见图 2），参照 JT/T 860.3 的规定进行测试，试验温度为 10~35℃，氮气和氧气分别满足 GB3864 和 GB3863 的规定，一组试样不少于 6 个。

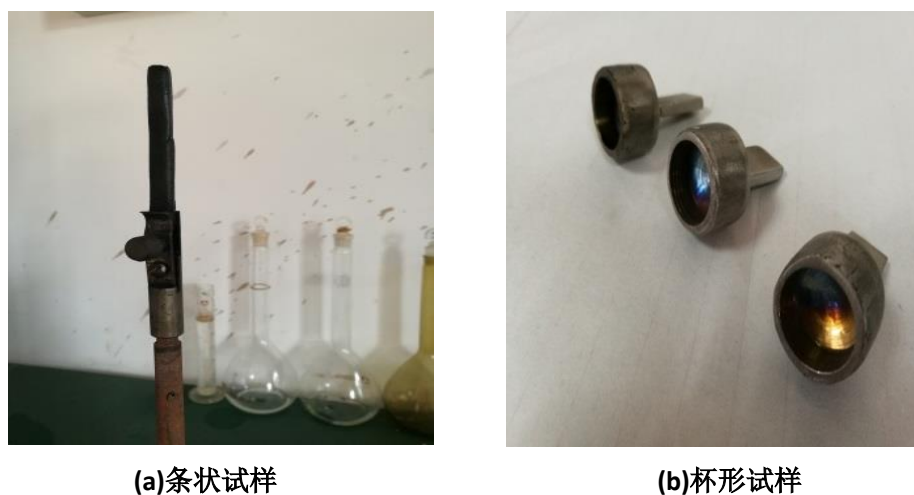


图 1 极限氧指数试验试样



图 2 极限氧指数仪及杯形试样燃烧状态

采用杯法制备试样测试沥青氧指数的关键步骤如下：

① 制备试样。将待测沥青放入 110℃烘箱中加热至流动状态，搅拌均匀后倒入事先准备好的洁净钢杯中，沥青装入量与杯口齐平，随后将 0.5cm 长的玻璃纤维插入沥青中，放置冷却至室温 2h 以上。过程中避免将沥青滴落在杯壁上。

② 确定开始试验时的氧浓度。根据经验或在空气中的燃烧状况估计初始氧



浓度，普通 SBS 改性沥青的极限氧指数一般在 20%左右。

③ 安装试样。将试样钢杯底部垂直安装在燃烧筒中心位置的夹具上，使待测试样距离燃烧筒上下两端均在 10cm 以上，以保证环境气体的均匀性。

④ 调节气体控制装置。根据步骤②确定的初始氧浓度调节氮气和氧气流量控制阀，使其以  $40\pm 10\text{mm/s}$  的速度流经燃烧筒至少 30s 以排除筒内空气。

⑤ 点燃试样。使用氧指数仪配套的点火装置，点火时的火焰不宜过大，应控制在  $16\pm 4\text{mm}$  左右。点燃试样时使火焰最低部分接触试样并将试样表面覆盖。每隔 10s 中移开一次点火器观察试样是否被点燃，整个点燃过程最多持续 30s，在 30s 内仍未被点燃应增大氧浓度直至 30s 内点燃为止。

⑥ 燃烧行为评价方法及误差控制与传统条形试样法的标准相同，详见《沥青燃烧性能测定 氧指数法》（NB/SH/T 0815）。

## （2）温拌沥青混合料拌和压实温度确定方法

沥青混合料的和易性，也称工作性，是表征沥青混合料拌和、摊铺及压实难易程度的一个重要指标，对沥青混合料的生产温度及施工质量都有显著影响。沥青混合料的和易性差会严重影响沥青路面的摊铺压实性能，进而影响沥青路面的施工质量。

众所周知，温拌沥青混合料与传统的热拌沥青混合料相比，最大的优点就是增加了沥青混合料的和易性，降低了沥青混合料的生产施工温度。由于温拌剂的添加，使得沥青高温粘度降低，沥青混合料在较低的温度下即可具有与热拌沥青混合料相同的和易性。然而，如何来定量的评价混合料和易性大小，目前国内外都尚无统一的测试方法与评价标准。目前国内的研究大多采用沥青粘度试验、马歇尔击实试验以及 Superpave 旋转压实试验等来测定沥青粘度、沥青混合料的密度或空隙率等指标来间接评价沥青混合料的和易性，然而这些方法并不能完全反映沥青混合料真实的和易性。其中，沥青粘度试验对于评价基质沥青及其混合料的和易性还比较准确，但是对于改性沥青混合料的评价结果却总是与实际情况差异较大。马歇尔击实试验和 Superpave 旋转压实试验则都是通过分析沥青混合料的体积特性来评价其和易性，虽然评价结果相对于沥青粘度试验更符合实际，但是仍不够全面。本项目采用自行研发的简易沥青混合料和易性测试仪（如图 3

所示），对三种代表性温拌技术及相应的热拌沥青混合料进行和易性测试分析，测试方法如下：

在进行沥青混合料和易性测试时按照仪器开发调试时确定好的试验步骤进行，具体如下：

（1）按已经调好的级配及确定的油石比准备 15kg 矿料与沥青，并将其加热到指定温度；

（2）按照每种温拌技术的拌和顺序拌制温拌沥青混合料及热拌沥青混合料，拌和完成后应测量混合料温度；

（3）当拌制好的混合料温度较低时，应将其放置于恒温烘箱中均匀加热至略高于待测温度（建议夏天 5℃，冬天 10℃，加热时间约需 5~10 分钟）；

（4）将加热好的混合料取出并立即装入和易性测试仪的料桶中，装料时应从盖板两侧开口处轮流倒入，在所有料都装完后，应用铁铲拨平料表面，并采用插入式热电偶温度计测量并记录内部料温；

（5）启动扭矩扳手，并将其调至峰值模式，然后开始测量，测量过程中扭矩扳手转速应控制在约 1/3 转/秒，并尽量保持匀速转动；

（6）由于搅拌叶片倾角的问题，测量时应按逆时针旋转，这时在搅拌叶片的带动下混合料处于上升方向，对后几圈测试结果影响较小；

（7）由于采用的是峰值模式，在每转完成后，扭力扳手的数据采集系统会自动记录当圈的最大扭矩值，以此作为一次测量值，记为  $W_{Ti}$ ，单位为  $N\cdot m$ ；

（8）每圈测完并记录读数后应清零然后进行下一次测量，每个温度下应至少测量 5 次，然后取平均值作为这一温度时所测混合料的和易性值  $W_T$ 。

（9）根据以上测得的扭矩值  $W_T$  按式（2.1）计算得到沥青混合料的和易性指数  $K_T$ ，单位为  $(N\cdot m)^{-1}$ 。

在测试过程中，每个温度的测量都应单独备料，以避免因沥青反复加热老化所造成的影响。当某种混合料同一批料需测量多个温度时，应按从低温到高温的顺序进行，且每个温度测试完成后应将料从和易性测试仪的料桶中取出，然后置于烘箱中加热至下一个待测温度。



图 3 沥青混合料和易性测试仪

采用 AC-13 级配测试结果如表 3 所示。

表 3 AC-13 基质沥青混合料和易性测试结果（单位：N·m）

混合料类型	拌和温度（℃）					
	120	130	140	150	160	170
HMA	28.02	24.27	20.52	16.19	14.38	12.46
Sasobit WMA	21.58	20.44	16.11	12.02		
Aspha-min WMA	21.00	19.74	16.59	13.83		
DAT WMA	21.24	19.10	13.29	11.46		

对表 3 中各沥青混合料和易性测试结果进行回归分析发现，沥青混合料和易性与温度有良好的线性相关关系，其相关系数基本都大于 0.95。而且温拌沥青混合料的和易性随着混合料温度的升高而降低的趋势要比热拌沥青混合料快，也就是说温拌剂使得温拌沥青混合料的和易性随着温度的升高而增长的更快，即混合料温度越高，其自身的粘滞阻力更小，更易于施工。

鉴于以上沥青混合料和易性试验结果，可以考虑采用等矩法来确定温拌沥青混合料的拌和压实温度，即通过比较同条件下热拌沥青混合料与温拌沥青混合料

的和易性试验测得的扭矩——温度曲线,通过回归方程计算与热拌沥青混合料拌和压实温度(已知的)下的扭矩值相等时温拌沥青混合料的温度,并将此温度作为温拌沥青混合料的最佳拌和压实温度。具体步骤如下:

(1) 采用沥青混合料和易性仪分别测试热拌与温拌沥青混合料在不同温度下的扭矩值(和易性),并绘制其扭矩温度曲线;

(2) 根据经验选定热拌沥青混合料的拌和压实温度,并根据(1)确定的热拌沥青混合料的扭矩温度回归方程计算其拌和压实温度对应的扭矩值;

(3) 将(2)计算得到的热拌沥青混合料的拌和压实温度对应的扭矩值代入各温拌沥青混合料的扭矩温度回归方程,计算得到温拌沥青混合料的拌和压实温度;

(4) 每种混合料应至少测试 3~5 个温度的扭矩值。

### 3 实证研究

#### (1) 阻燃沥青极限氧指数杯形测试法测试结果

本项目选用同一种 SBS 改性沥青分别制备成条状试样和杯形试样进行了对比试验。试验结果如表 4。

表 4 基于不同试样的测试方法试验结果

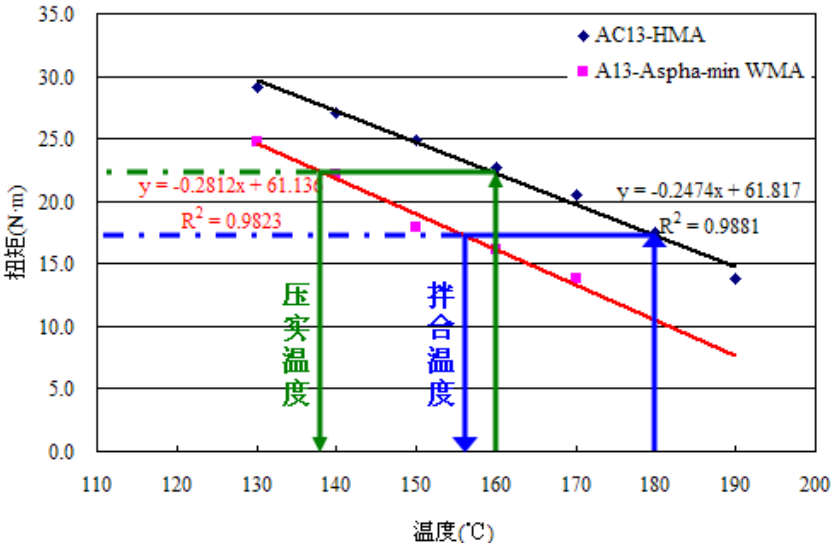
测试方法	LOI (%)	均值	变异系数 Cv
条形试样	18.1	18.9%	5.54%
	17.4		
	18.3		
	20.0		
	20.3		
	19.3		
杯形试样	19.8	20.1%	3.12%
	20.3		
	20.7		
	19.2		
	21.0		
	19.6		

从表 4 结果可看出,不同试验方法对试验结果存在一定的影响,即在同等试验条件下杯形试样测试方法相比传统条状试样测试方法的氧指数增大了 1.2%,同时从变异系数结果可看出,条形试样的变异系数明显大于杯形试样,说明杯形

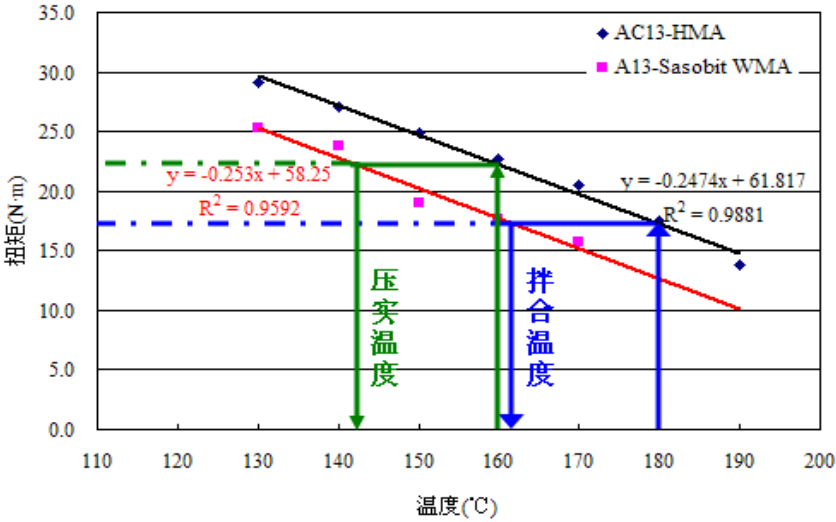
测试法的试验稳定性优于传统条形法，有助于提高试验精度。以上试验结果也表明，条状试样测试法对应的氧指数评价标准 23%不再适用于杯形试样测试法，故采用杯形试样测试法时极限氧指数标准可提高至 24%。

(2) 等矩法——温拌沥青混合料拌和压实温度确定方法验证

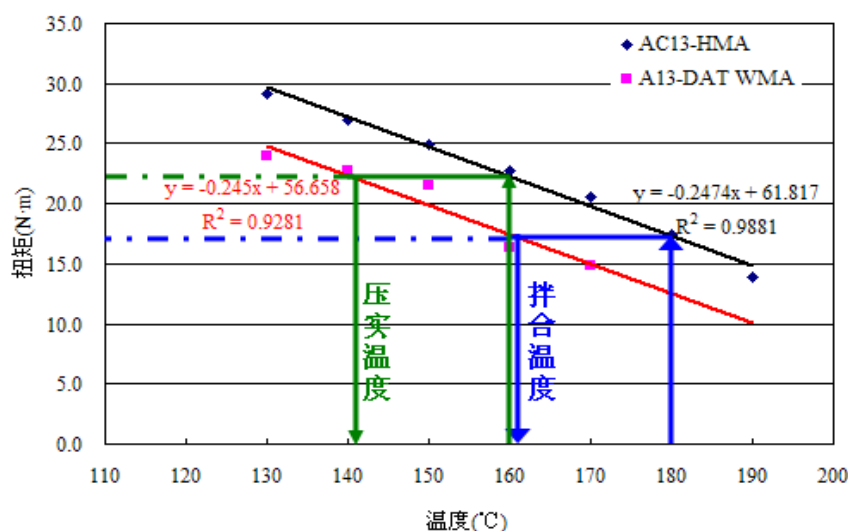
采用本项目提出的沥青混合料和易性指数测试方法对 Aspha-min、Sasobit 和 DAT 三种温拌改性沥青混合料与热拌改性沥青混合料的和易性进行了测试，得到其扭矩温度曲线如图 4 所示。



(a) 添加 Aspha-min 的温拌与热拌沥青混合料扭矩曲线对比图



(b) 添加 Sasobit 的温拌与热拌沥青混合料扭矩曲线对比图



(c) 添加 DAT 的温拌与热拌沥青混合料扭矩曲线对比图

图 4 温拌与热拌沥青混合料扭矩曲线对比图

由图 4 可知，当 SBS 改性热拌沥青混合料的最佳拌和压实温度按经验分别取为 180℃、160℃，按图 4 中回归得到的方程可计算得到热拌沥青混合料最佳拌和压实温度对应的扭矩值（如表 5 所示），然后按等扭矩原则将热拌沥青混合料的拌和压实扭矩值分别代入温拌沥青混合料的扭矩温度方程，即可分别计算得到三种温拌沥青混合料的最佳拌和压实温度如表 6 所示。

表 5 等扭矩法计算得到的拌和与压实扭矩

热拌改性沥青混合料	拌和温度（℃）	压实温度（℃）
	180	160
拌和压实扭矩值（N·m）	17.29	22.23

表 6 等扭矩法计算得到的拌和与压实温度

项目	拌和温度（℃）	压实温度（℃）	降温幅度（℃）
热拌改性沥青混合料	180	160	-
Aspha-min 温拌改性沥青混合料	156	138	24
Sasobit 温拌改性沥青混合料	162	142	18
DAT 温拌改性沥青混合料	161	141	19

注：表中降温幅度是按拌和温度计算得到的。

由表 6 可知，三种温拌沥青混合料的拌和压实温度相比热拌沥青混合料均有较大幅度的下降，其中降幅最大的 Aspha-min 降低了 24℃，添加 Sasobit 和 DAT 的也分别降低了 18℃和 19℃，结果与文献资料建议的降温幅度也比较一致。可见，三种温拌剂都有效的起到了降低沥青混合料拌和压实温度的作用。说明采用

等矩法确定温拌沥青混合料的拌和压实温度是可行的。

## 4 知识产权说明

本标准依托陕西省交通运输科技项目《超长公路隧道安全阻燃型沥青路面应用技术研究》（2015-11K），涉及相关知识产权如下：

（1）发明专利：一种沥青极限氧指数试验用试模及其使用方法，202110230251.9（申报中）

（2）发明专利：一种沥青混合料和易性指数测试仪及测试方法，ZL201310269585.2

## 5 采标情况

本标准未采用任何国际标准。

## 6 重大意见分歧的处理

无。

## 7 其他应说明的事项

无。