

ICS 93.080.20

CCS P 66

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DBXX/ XXXX—XXXX

沥青路面一体化就地热再生集成施工技术 规范

(征求意见稿)

(编制说明)

Technical specifications for hot-in-place recycling integrated construction of asphalt
pavement

XXXX - XX -XX 发布

XXXX -XX -XX 实施

陕西省市场监督管理局 发 布

《沥青路面一体化就地热再生集成施工技术规范》

编制说明

1 工作简况

1.1 任务来源

截止 2023 年末，全国公路总里程为 543.68 万公里。其中，高速公路里程为 18.36 万公里，四级及以上等级公路里程为 527.01 万公里，农村公路里程超过 450 万公里。随着我国社会经济的高速发展，被广泛应用于各级公路的沥青混凝土路面也逐渐进入大规模的养护和大中修阶段。为践行建设“资源节约型、环境友好型”社会的国策要求，以碳达峰目标和碳中和愿景为引领，以深度降碳为目标，旧料再生技术在沥青路面养护中逐渐得到推广应用。

在众多的沥青路面养护技术中，就地热再生作为重要的功能修复技术，可用于修复沥青路面面层（厚度约 4cm）的各种病害，并具有“旧料再生工艺链短、碳排放少、回收沥青路面材料（RAP）循环利用率高、施工过程对交通影响小”等突出优势，在国内外已经得到大量应用。

就地热再生技术是一种适用于沥青路面面层功能修复的绿色环保的预防性养护技术，指采用专用的就地热再生设备，对旧沥青路面进行加热、翻松，就地添加再生剂、新沥青、新沥青混合料等，经搅拌、摊铺、压实等工序，一次性修复再生表面层旧沥青混凝土路面的技术。就地热再生的施工过程主要由加热，翻松，拌和，摊铺和压实等工序组成，需要就地热再生机械设备具备就地加热，翻松，再生混合料的搅拌和摊铺等功能。因此，就地热再生施工机械设备需要加热系统，再生系统两部分：加热系统主要用于加热和软化旧路面；再生系统需要完成旧路面的翻松，新旧混合料的搅拌、摊铺甚至碾压等工序。

传统的就地热再生施工设备机组列车式大型设备和以坑槽挖补式的小型设备为主。应用受限困局主要有以下几点：

（1）大型列车式设备机组长度较大、宽度无法调节，一般多用于高速公路，在低等级公路施工时受路幅宽度等条件限制，应用较少；

（2）大型热再生施工机组施工时，在对沥青路面进行充分加热时，产生大量烟尘，对道路两侧绿植损毁严重。

（3）小型坑槽挖补设备由于施工效率低，应用范围更加狭小。



图 1 传统就地热再生大型机组施工流程



图 2 热再生大型机组施工现场烟尘

因此，针对目前传统就地热再生施工存在问题，编写组依托公路建设与养护智能装备交通运输行业研发中心，对传统就地热再生技术的配合比设计方法及施工设备、施工工艺及质量控制等关键参数进行了创新性研究，一体化就地热再生集成施工技术是对传统热再生施工技术进行了创新性优化及技术突破：

（1）该技术采用集成一体化施工设备即可实现就地热再生工程施工，有效破除了大型热再生机组施工受限的困局，扩大热再生技术的应用场景与范围；

（2）采用的优化废气回收净化除尘设备，弥补了传统设备的不足，避免了大型机组施工产生的烟气污染；

（3）采用添加不同粒径新集料进行级配设计，突破了传统就地热再生技术添加新沥青混合料的配合比设计方法，优化了就地热再生混合料配合比设计方法；

（4）施工采用预铺单粒径碎石的方法，优化了复拌就地再生技术施工工艺。

形成的集成化再生施工技术成果，在陕西榆林、延安等地市已进行了大面积应用。

编写组结合前期科研成果及实体工程应用效果，在对该技术进行进一步优化、完善的基础上，拟制定《沥青路面一体化就地热再生集成施工技术规范》，对一体化就地热再生集成施工技术相关指标及关键工艺参数进行规范化要求、标准化实施。内容包括对一体化就地热再生集成施工技术的定义及适用条件的规定；通过对相关材料、配合比设计方法、施工设备、工艺及质量控制措施等技术指标进行标准化要求，将就地热再生技术推广应用至高速公路、国省干线公路、市政道路、农村公路等各等级公路，扩大就地热再生技术的应用场景与范围，

促进一体化就地热再生集成施工技术科学化、规范化和标准化推广应用。

拟制定的《沥青路面一体化就地热再生集成施工技术规范》可实现回收沥青混合料RAP100%利用；减少CO₂排放量80%以上；缩短工期50%以上，节约施工成本50%左右；全面提高废旧路面材料回收利用效率，发挥减少资源消耗和降碳的协同作用，减少环境污染、促进路用资源集约节约高效利用、降低路面养护成本，助力实现交通行业“碳达峰、碳中和”。

根据陕西省市场监督管理局下发的《陕西省市场监督管理局关于下达2022年地方标准计划的通知》（陕市监函〔2022〕380号），由西安公路研究院有限公司主要承担陕西省地方标准《沥青路面一体化就地热再生集成施工技术规范》（SDBXM072-2022）的起草工作。

1.2 主要工作过程

2022年1月由西安公路研究院有限公司向陕西省市场监督管理局提出申请的《沥青路面一体化就地热再生集成施工技术规范》标准获得批准立项。本标准制订任务下达后，西安公路研究院有限公司联合西安公路研究院有限公司、延安市公路局、西安国琳养护工程有限公司、榆林市公路局、河北扶波机械制造有限公司、西安华泽道路材料有限公司等，积极组织，成立标准编写小组，明确标准编写任务。

编制组在对国内外已有相关技术标准充分调研的基础上，依托陕西交通科技项目《回收油脂再生剂研制及其再生沥青混合料应用研究》（17-12K），陕西省科技厅项目《回收油脂对SBS改性沥青的老化性能及结构演变行为研究》（2022GY-427），陕西省公路局科研项目《沥青路面就地热再生一次成型施工技术推广应用研究》；项目编号：G22-06K，等多个就地热再生技术相关研究成果；结合试延安市普通干线公路养护大中修工程（三级公路），西安市2022年普通干线公路大中修及预防性养护工程（G312），以及榆林市2024年养护大中修工程中，沥青路面一体化就地热再生集成施工技术应用效果及现场检测情况，编制了本文件。各编写人员就标准内容反复进行了认真讨论，并邀请相关专家提供建设性的意见和建议。编制组就专家提供的意见和建议进行了分析讨论，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，确定标准草案，2022年7月完成了《沥青路面一体化就地热再生集成施工技术规范》（初稿）及编制大纲，经大纲评审会讨论后，编制组就专家提供的意见和建议进行了分析讨论，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，确定标准草案，经多次修改完善于2024年6月初步形成了标准征求意见稿。以网上公示、电话调研、邀请等形式向省内外施工单位、地方公路局、设计单位、高等院校等征求意见后，于2024年10月形成《沥青路面一体化就地热再生集成施工技术规范》（征求意见稿）。

1.3 起草组成员及其所作的主要工作

起草组组长： 。主要工作：对标准编制进行全面审核；参与室内试验，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。

起草组副组长： 。主要工作：对标准编制进行全面审核；负责室内试验，对施工工艺及关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与编制本标准；负责试验段现场指导，对施工工艺及关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与试验段现场指导；参与试验段现场指导与室内试验，对原材料性能等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与试验段现场指导；参与试验段现场指导与室内试验，对原材料性能等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与室内试验，对原材料性能及配合比设计等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与试验段铺筑，对施工工艺及质量控制等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与室内试验，对原材料性能及配合比设计等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与试验段铺筑，对施工工艺及质量控制等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与试验段铺筑，对施工工艺及质量控制等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与试验段现场指导，对施工工艺及质量控制等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与试验段现场指导，对该标准编制全过程进行监督及管理。

起草组成员： 。主要工作：参与室内试验，对原材料性能及配合比设计等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与试验段铺筑，对施工工艺及质量控制等关键指标进行研究。

起草组成员： 。主要工作：参与试验段铺筑，对施工工艺及质量控制等关键指标进行研究。

2 标准编制原则和主要内容

2.1 标准编制原则

本标准的编制重点为沥青路面一体化就地热再生集成施工技术，立足于我省就地热再生技术的应用现状，以相关科研成果为依据，积极采用国内外先进标准与规范，遵循“科学性、实用性、统一性、规范性”的原则，重点突出一体化就地热再生集成施工技术的适用条件、材料要求、配合比设计及施工工艺要求，并注重标准的指导性、合理性、可操作性，能广泛适用于陕西省一级及以下公路沥青路面就地热再生的施工。有利于促进该项技术进步，扩大就地热再生技术的应用场景，规范就地热再生的设计与施工，提高路面使用质量。

2.2 主要技术内容

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. 符号；5. 适用范围及条件；6. 材料；7. 配合比设计；8. 施工；9. 质量控制；附录 A（规范性附录）一体化集成施工就地热再生混合料配合比设计。

2.3 与原标准主要差异情况

本标准为首次发布。

3 主要技术要求确定的说明

3.1 试验（或验证）准确度、可靠性、稳定性的分析和说明

本标准根据陕西实际情况，制定了一体化就地热再生集成施工技术标准，针对一体化就地热再生集成施工技术的适用条件、材料技术要求、配合比设计、施工、质量管理提出了系列要求。明确了一体化就地热再生集成施工技术适用的公路等级，规定了集成化就地热再生混合料配合比设计技术要求和方法，提出了一体化就地热再生集成施工设备的具体要求，明确了施工工艺和质量检验及控制指标要求。

本标准在制定期间，采用室内试验、现场检测、调研等手段，反复对一体化就地热再生集成施工的各项技术指标进行详细地分析与提炼，确保各项技术标准在准确度、可靠性、稳定性方面均有定量评价。经验证，本标准技术要求下的就地热再生路面路用性能和服务功能良好，经济效益和社会效益显著。

3.2 试验结果综述

3.2.1 一体化就地热再生集成施工技术的定义

JTG 5521-2019《公路沥青路面再生技术规范》2.1.7中对“就地热再生”的定义为“采用专用设备对沥青路面就地进行加热、翻松，掺入一定数量的新沥青、新集料、沥青再生剂等，经热态拌和、摊铺、碾压等工序，实现旧沥青路面面层再生的施工技术。”并分为复拌再生及加铺再生两种。一体化就地热再生集成施工技术作为一种复拌型就地热再生技术，参照就地热再生的定义，本标准对一体化就地热再生集成施工技术定义为“采用专用就地热再生集成化施工设备对沥青路面就地进行加热、翻松，掺入一定数量的新沥青、新集料、沥青再生剂等，经热态拌和、摊铺、碾压等工序，实现旧沥青路面面层再生的施工技术。”

3.2.2 适用范围

一体化就地热再生集成施工技术属于沥青路面预防性养护措施，适用于处理沥青路面早期出现裂缝、轻微车辙、松散（老化）、抗滑性能下降等表面功能性病害。

JTG 5521-2019《公路沥青路面再生技术规范》4.2.1中规定就地热再生技术仅适用于二级及以上等级公路，由于大型列车式就地热再生设备机组长度较大、宽度无法调节，一般多用于高速公路，在低等级公路施工时受路幅宽度等条件限制无法施工。而一体化就地热再生集成施工技术采用集成化施工设备，有效破除了大型热再生机组施工受限的困局，扩大热再生技术在低等级公路的应用场景与范围。因此，本标准规定一体化就地热再生集成施工技术适用于一级公路及以下等级沥青路面预防养护工程，其他道路可参照使用。

本文件表2参照JTG 5521-2019《公路沥青路面再生技术规范》4.2.3，按照一级公路及其他等级公路分类，分别提出了一体化就地热再生集成施工技术适用的公路技术状况具体指标要求。

3.2.2 材料要求

一体化就地热再生集成施工技术所用材料包括：沥青混合料回收料（RAP）、沥青再生剂、道路石油沥青以及新集料，所有材料技术要求应符合JTG/T 5521及DB61/T 1335-2020的规定。

3.2.3 配合比设计

本节主要是在规范要求的传统就地热再生混合料配合比设计方法的基础上，结合就地热再生一次成型施工的工艺特点，提出一体化就地热再生集成施工技术配合比设计方法。

3.2.3.1 传统就地热再生配合比设计方法

就地热再生沥青混凝土混合料是由新集料、新沥青与旧沥青混合料、再生剂等按一定

比例配合设计的。再生沥青混合料设计国内基本上还没有形成一个完整的系统，更没有这方面的规范，国外的设计方法很多方面也不太符合我们的实际情况，实际操作中其配合比设计原理和思路与普通沥青混合料基本一致。但由于旧料的加入，再生沥青混凝土设计与普通沥青混合料有所不同。

再生混合料配合比的正确设计是旧沥青路面再生的一个关键步骤，是保证再生路面使用性能的条件之一。旧沥青路面在载荷作用和自然因素长期作用下，沥青混合料的骨料颗粒受到反复搓磨甚至压碎，导致沥青混合料级配变化，偏离规范要求。因此需要在对 RAP 检测结果的基础上，有针对性的进行热再生混合料的配合比设计。就地热再生混合料配合比设计室内试验流程如图 3 所示。

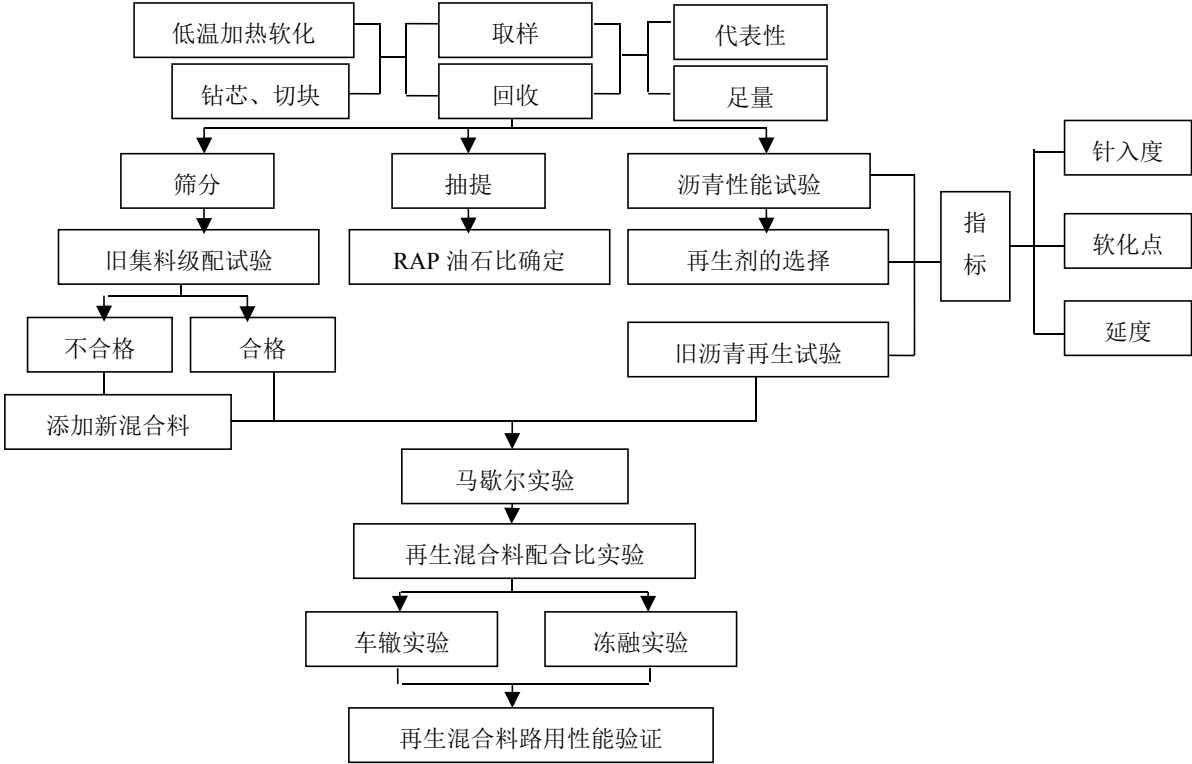


图 3 就地热再生混合料配合比设计室内试验流程

(1) 再生剂添加量的确定

就地热再生混合料是指喷洒了再生剂、热沥青（需要时）的原路面沥青混合料和新添加沥青混合料按试验确定的比例进行拌和的沥青混合料^[1]。在进行复拌型再生混合料的配合比设计时，应首先分别对添加的再生剂以及新料进行研究。再生剂添加量以使旧沥青性能恢复至原路面所使用沥青标号的下一等级为目标。

(2) 热拌沥青混合料级配及油石比的确定

就地热再生混合料需掺入一定比例的新热拌沥青混合料，以达到综合有效的改善原路面材料级配的目的。新热拌沥青混合料的级配应与原路面材料的级配相近，并具有良好的高

温稳定性、低温抗裂性、水稳定性等性能。

在进行混合料级配和油石比的确定时，需要进行一系列的实验和检测。首先，应进行原路面材料的性能测试，包括级配、油石比、硬度、耐磨性、抗拉强度等指标。然后，根据测试结果，制定新热拌沥青混合料的级配方案，并进行油石比的确定。

（3）新料添加比例的确定

在确定新添加料级配后，需要对新料添加比例进行确定。在满足再生路面设计级配及《沥青路面再生技术规范》相关要求条件下，尽可能的提高旧料的利用率，新料掺加一般不超过 30%。

（4）新沥青添加量的确定

就地热再生沥青混合料的新沥青最佳添加用量是保证混合料具有最佳的路用性能的新添加沥青用量。对拟定级配的再生混合料进行马歇尔试验，得出马歇尔稳定度、流值、密度、饱和度、空隙率等物理指标，并计算出最佳沥青用量。

（5）就地热再生混合料配合比设计检验

最后，根据确定的配合比进行现场施工检验。在检验过程中，需要对再生混合料的拌和均匀性、施工性能、路面性能等方面进行检测。如果检验结果不符合要求，需要对配合比进行调整，并重新进行检验，直到符合要求为止。

3.2.2.2 一体化就地热再生集成施工技术配合比级配设计

设计要点

一体化就地热再生集成施工技术采用预撒一定量非完整级配的新料的工艺，而传统就地热再生技术采用完整级配的矿料作为新料，因此一体化就地热再生集成施工技术与传统就地热再生技术配合比设计最大的区别在于级配设计。

一体化就地热再生集成施工技术级配设计关键因素包括：

1. 预撒新料的性能要求：一体化就地热再生集成施工技术采用预撒新料的工艺，因此需要对不同的碎石类型，进行相应的性能检测和评定，以保证其性能满足上面层原材料质量要求。

2. 预撒新料的粒径选择：需要针对 RAP 旧路面材料级配分析结果，以满足设计级配范围要求为目标，合理选取拟采用的新料粒径。

3. 预撒新料的掺配比例：预撒新料的比例是影响再生混合料性能的重要因素，因此需要根据旧路面材料的实际情况，合理确定预撒新料的比例，并按照再生规范要求控制在 30% 以内。

级配设计示例

下文举例说明一体化就地热再生集成施工技术的级配设计过程及要点。

项目一：原路面 AC-16，RAP 抽提后筛分结果见表 1。设计级配仍为 AC-16，提供满足上面层质量要求，规格为 3-5mm、5-10 mm、10-15mm、10-20mm 的碎石。各档新碎石筛分结果见表 2。

表 1 项目一旧沥青路面材料（RAP）级配

级配类型		通过下列筛孔（方孔筛 mm）的质量百分率（%）										
		19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-16	级配上限	100	100	92	80	62	48	36	26	18	14	8
	级配下限	100	90	76	60	34	20	13	9	7	5	4
	级配中值	100.0	95.0	84.0	70.0	48.0	34.0	24.5	17.5	12.5	9.5	6.0
RAP 级配		100.0	99.2	93.9	78.0	46.5	26.9	22.0	17.2	8.2	5.8	4.3

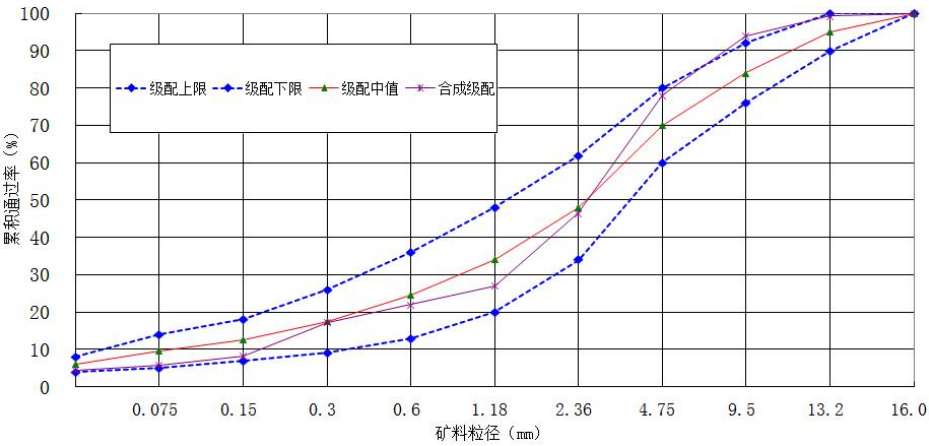


图 4 旧沥青混合料回收料（RAP）曲线图

从原路面材料级配曲线图（图 4）可以看出，级配曲线在 4.75~9.5 mm 的筛孔范围内略微超过了级配上限，可见旧集料略微偏细，考虑补充部分粗集料，各档粗集料筛分结果见表 2。

表 2 各档新集料筛分结果

矿料规格	通过以下筛孔（mm）的通过率（%）										
	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
15-20mm	100.0	53.9	24.6	3.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10-15mm	100.0	97.8	93.6	11.3	1.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5-10mm	100.0	100.0	100	99.7	8.1	4.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3-5mm	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	1.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

经试配，掺加 5%15-20mm 的新碎石，再生混合料可满足 AC-16 的级配要求。再生混合料级配计算表见表 3。合成级配曲线见图 5。

表 3 热再生沥青混合料级配组成及要求

材料			通过以下筛孔（mm）的质量百分率（%）										
			19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
原材料 级配	RAP	100%	100.0	99.2	93.9	78.0	46.5	26.9	22.0	17.2	8.2	5.8	4.3
	15-20mm	100%	100	53.9	24.6	3.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
再生料 中的含 量	RAP	95%	95.0	94.3	89.2	74.1	44.1	25.6	20.9	16.3	7.8	5.5	4.1
	15-20mm	5%	5.0	2.7	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合成级配		100.0%	100.0	97.0	90.4	74.3	44.1	25.6	20.9	16.3	7.8	5.5	4.1
级配中值			100.0	95.0	84.0	70.0	48.0	34.0	24.5	17.5	12.5	9.5	6.0
要求 级配范围		AC-16	100	90	76	60	34	20	13	9	7	5	4
			~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
			100	100	92	80	62	48	36	26	18	14	8

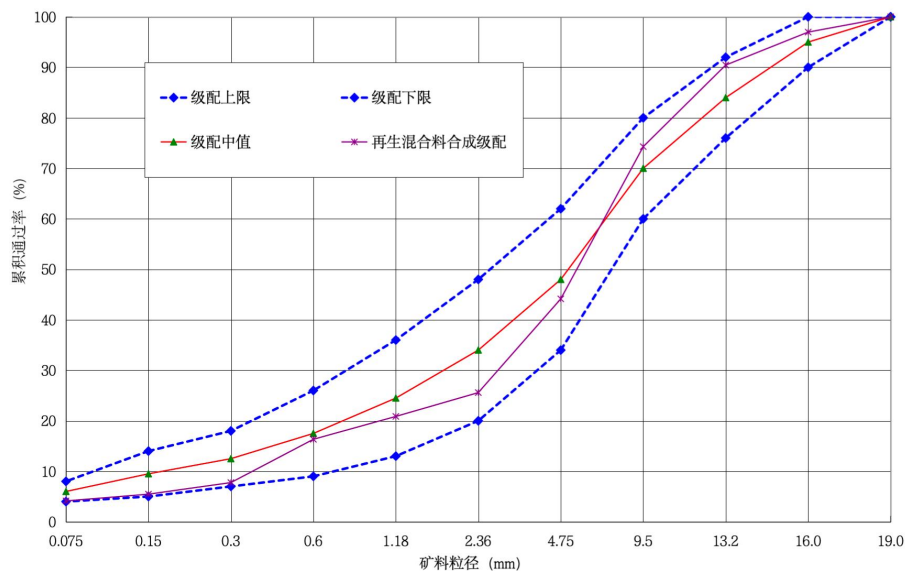


图 5 热再生沥青混合料合成级配曲线图

因此，项目一 AC-16 再生沥青混合料级配设计结果为 RAP：15-20mm=95:5。

项目二：原路面 AC-13，RAP 抽提后筛分结果见表 4-4。设计级配仍为 AC-13，提供满足上面层质量要求，规格为 5-10 mm、10-15mm 碎石。从表 4-4 可以看出，原路面 RAP 级配仍满足 AC-13 级配要求，为进一步优化面层级配，对添加的 5~10mm、10~15mm 碎石进行筛分，对 RAP 及新集料进行级配合成及分析结果见表 4 和图 6。

表 4 热再生沥青混合料级配组成及要求

材料		通过以下筛孔（mm）的质量百分率（%）									
		16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
RAP	100%	100.0	94.7	77.9	50.1	36.0	27.7	19.9	13.3	9.7	6.6

10~15mm	100%	100.0	84.4	1.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5~10mm	100%	100.0	100.0	97.3	12.0	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
RAP	90.0%	90.0	85.3	70.1	45.1	32.4	24.9	17.9	12.0	8.7	5.9
10~15mm	5.0%	5.0	4.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5~10mm	5.0%	5.0	5.0	4.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合成级配	100.0%	100.0	94.5	75.0	45.7	32.4	24.9	18.0	12.0	8.7	5.9
规范要求级配中值		100.0	95.0	76.5	53.0	37.0	26.5	19.0	13.5	10.0	6.0
规范要求级配范围	AC-13	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		100	100	85	68	50	38	28	20	15	8

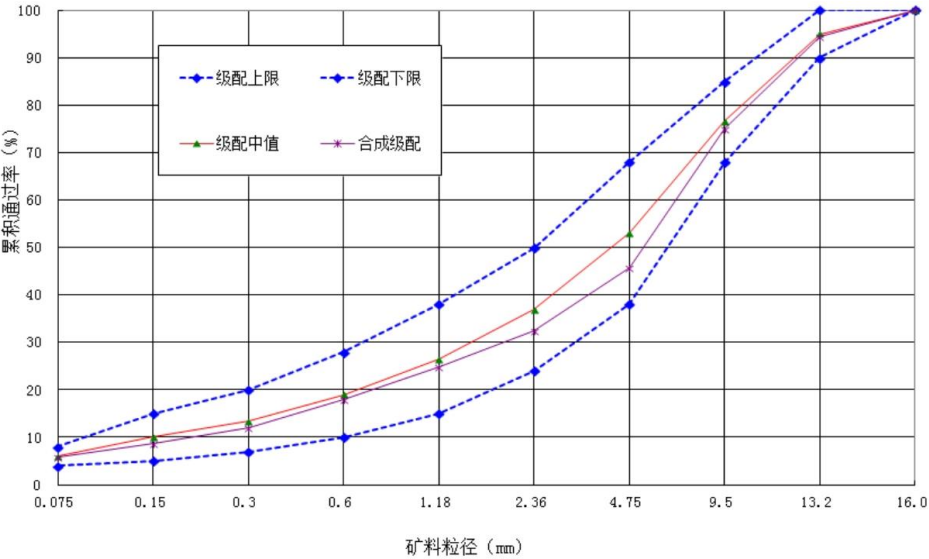


图 6 热再生混合料级配曲线图

因此，项目二 AC-13 再生混合料级配设计结果为 RAP：10~15mm：5~10mm=90:5:5。

级配设计总结

一体化就地热再生集成施工技术再进行级配设计时，需要注意以下几点：

1. 针对不同等级公路，需要选择不同的级配类型。一般来说，陕西省一级及以下等级公路沥青上面层级配类型一般为 AC-13 或 AC-16。要对 RAP 级配性质及目标级配有清晰的分析，准确选取合适粒径新集料。
2. 在设计时，需要充分考虑原路面的 RAP 级配情况。可以将 RAP 与各档新集料分别作为再生沥青混合料中的一种矿料进行矿料级配设计。
3. 在使用新集料时，需要注意控制新集料的掺加量不超过再生混合料总质量的 30%。这样可以保证再生沥青混合料的质量和性能。
4. 在进行级配设计时，需要充分考虑施工工艺和机械设备的适用性。一体化就地热再生集成施工技术需要使用到碎石撒布设备、加热设备、拌和设备等，因此需要充分考虑这些

设备的工作效率和适用性。

5. 热再生一次成型施工技术再生混合料材料组成：RAP+非完整级配新料（掺加量小于30%，按再生混合料的总质量计）+再生剂+新沥青

3.2.2.3 一体化就地热再生集成施工技术配合比设计流程

在一体化就地热再生集成施工技术中，由于采用大型路面再生设备对原路面材料进行加热、搅拌、摊铺和整平，因此需要对原路面材料的加热温度、搅拌时间、摊铺速度、整平工艺等参数进行合理控制。这些参数的确定需要进行实验研究和模拟分析，以保证再生路面的力学性能和路用性能。

针对不同的原路面材料类型、不同的气候和环境因素、不同的施工要求等，需要进行不同的配合比设计。因此，一体化就地热再生集成施工技术配合比设计需要结合具体的施工条件和实际情况进行研究和调整。

一体化就地热再生集成施工技术配合比设计流程见图 7。具体要求见标准文本。

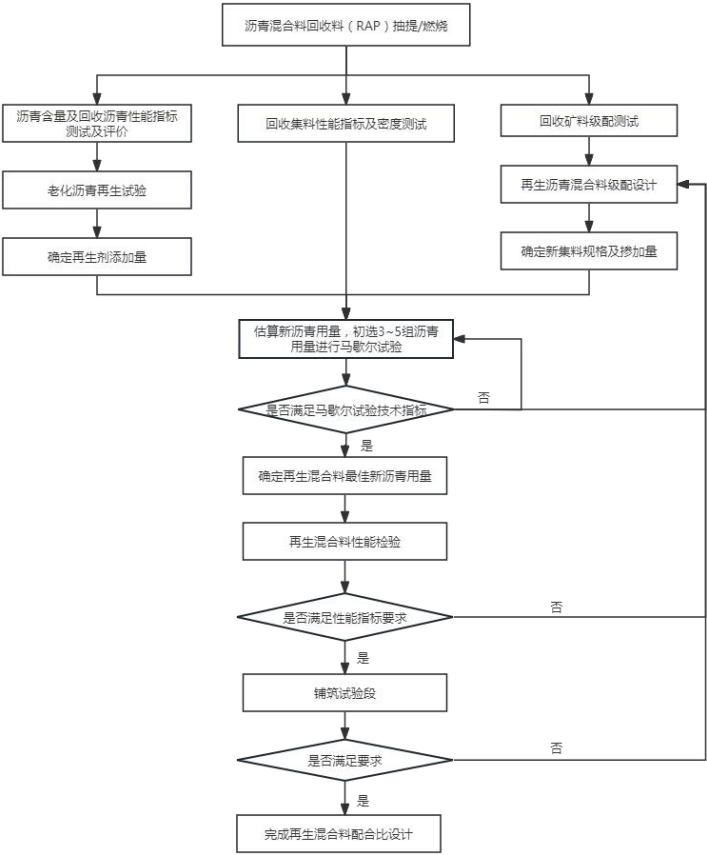


图 7 一体化集成施工就地热再生混合料设计流程图

3.2.2.4 施工

一体化就地热再生集成施工技术是指通过预铺设一定质量及规格矿料、拌和机组内添

加再生剂和新沥青的方式，专用的就地热再生设备，对旧沥青路面进行加热、翻松，就地添加再生剂、新沥青、新沥青混合料等，经搅拌、摊铺、压实等工序，一次性修复再生表面层旧沥青混凝土路面的技术。具体施工流程如下：

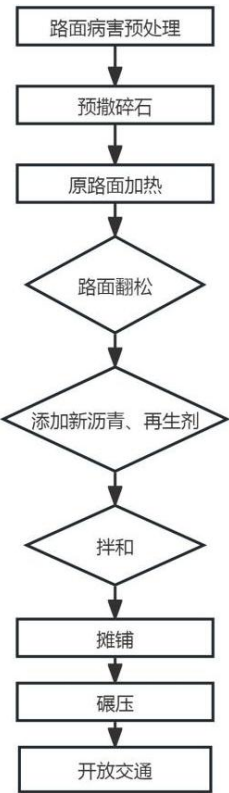


图 8 就地热再生一体化施工流程图

1、与传统就地热再生施工工艺的不同点：

（1）传统添加新沥青混合料的就地热再生技术称为复拌型就地热再生，该技术是将新矿料及新沥青在沥青混合料拌合站实施厂拌后，运输至施工现场，导入复拌再生机组中，与原路面 RAP（沥青混合料回收率）在复拌机中拌和后，再传输至摊铺机进行摊铺，碾压后形成就地热再生路面。

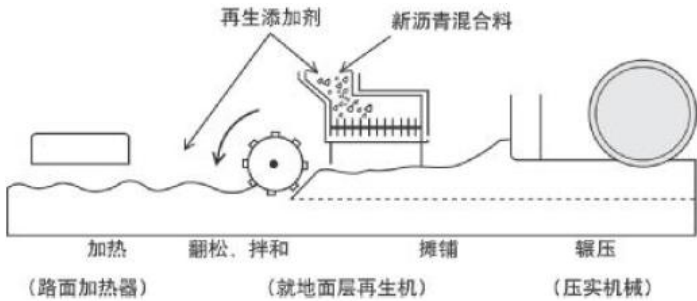


图 9 复拌型就地热再生工艺

（2）就地热再生一次成型施工技术则在原路面直接预撒一定质量矿料，采用红外加热板一起加热预撒矿料及原路面，随后铣刨鼓在就地耙松的同时将预撒矿料及原路面材料一起

进行搅拌，由于铣刨和拌合转子采用螺旋结构，再生混合料向中央聚集形成料垒，保证了再生混合料的横向均匀性。

随后，从再生机铣刨鼓到摊铺机熨平板长度范围内的材料，在拌料仓进行了有效的拌和，保证再生混合料的纵向动态均匀性。随后再生混合料料堆经具有螺旋叶片装置的尾端摊铺设备进行摊铺，碾压后即可形成就地热再生路面。

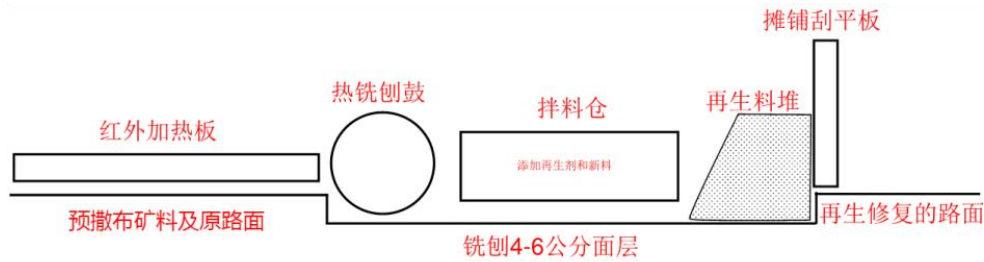


图 10 就地热再生一次成型施工技术工艺流程

2、与传统就地热再生施工设备的不同点：

(1) 传统就地热再生机组一般包括3~4台加热机、1台铣刨机、1台自卸车、1台复拌机、1台摊铺机、2台钢轮压路机、1台轮胎压路机，机组总长度约150m，不可伸缩调节，适用于高速公路及一级公路等高等级公路。

(2) 就地热再生一次成型施工设备只有一台车，装备有3块加热板、热铣刨鼓、拌料仓、摊铺设备（含螺旋叶片及刮平板），该型设备可伸缩，总长度为18~20m。因设备短小，转场方便，适用于一级及以下等级公路。

3.3 实证效果

基于前期研究成果，在西安市2022年普通干线公路大中修及预防性养护工程（G312）推广应用就地热再生一次成型施工技术累计15KM，并进行路用性能观测。

3.3.1 RAP 及原材料

3.3.3.1 旧沥青混合料回收料（RAP）

旧沥青混合料回收料（RAP）为西安市 2022 年普通干线公路大中修及预防性养护工程（G312）就地热再生试验路现场再生机翻松的原路面沥青混合料。对RAP按照《公路沥青路面再生技术规范》（JTG/T 5521-2019）要求进行相关试验。指标检测结果见表5。

表 5 RAP 试验结果

试验项目	规范要求	试验结果
沥青含量（%）	≥3.8	4.47%
25℃针入度（0.1mm）	≥20	58

最大颗粒粒径 (mm)	≤设计级配允许的最大粒径	16.0
-------------	--------------	------

3.3.3.2 集料

采用陕西孟泰建筑装饰工程有限公司生产的 5~10mm、10~15mm集料。技术检测指标结果见表6。

表 6 粗集料试验结果

试验项目	规范要求	试验结果	
		5~10mm	10~15mm
毛体积密度 (g/cm ³)	/	2.673	2.675
表观相对密度	≥2.60	2.736	2.738
针片状颗粒含量(%)	≤18	9.2	8.7
吸水率 (%)	≤2.0	0.8	0.7
水洗法<0.075mm 颗粒含量 (%)	≤1	0.3	0.1

3.3.3.3 沥青

采用陕西国琳建设工程有限公司生产的 A-70 基质沥青。技术检测指标结果见表7。

表 7 A-70 道路石油沥青技术指标检测结果

检验项目		检测结果	技术要求
针入度 (25℃, 100g, 5s) /0.1mm		65	60~80
针入度指数 PI		-1.0	-1.5~+1.0
延度 (5cm/min, 15℃) /cm		>100	≥100
延度 (5cm/min, 10℃) /cm		40.0	≥20
软化点 (环球法) /℃		47.5	≥46
溶解度 (三氯乙烯) /%		99.84	≥99.5
动力粘度 60℃/Pa·s		242	≥180
闪点 (TOC) /℃		282	≥260
密度 (15℃)		1.032	实测
含蜡量 (蒸馏法) /%		1.2	≤2.2
薄膜加热试验, 163℃, 5h	质量损失/%	-0.154	±0.8
	针入度比/%	65	≥61
	延度 (10℃) /cm	7.0	≥6

3.3.2 配合比设计

因RAP中旧沥青针入度较高，且沥青含量高，新添加沥青为A-70号基质沥青，较原路面采用沥青（A-90）标号已低一个等级，考虑采用不加再生剂的方式，进行室内配合比设计研究。

3.3.2.1 再生混合料级配设计

按JTG E20-2011 试验规程对RAP 进行燃烧测定沥青含量与级配， 得到该沥青混合料的沥青含量为 4.47%（油石比 4.68%），对添加的 5~10mm 、10~ 15mm 碎石进行筛分，对 RAP 及新集料进行级配合成及分析结果见表8和图11。

表 8 热再生沥青混合料级配组成及要求

材料		通过以下筛孔（mm ）的质量百分率（%）									
		16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
RAP	100%	100.0	94.7	77.9	50.1	36.0	27.7	19.9	13.3	9.7	6.6
10~ 15mm	100%	100.0	84.4	1.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5~ 10mm	100%	100.0	100.0	97.3	12.0	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
RAP	90.0%	90.0	85.3	70.1	45.1	32.4	24.9	17.9	12.0	8.7	5.9
10~ 15mm	5.0%	5.0	4.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5~ 10mm	5.0%	5.0	5.0	4.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合成级配	100.0%	100.0	94.5	75.0	45.7	32.4	24.9	18.0	12.0	8.7	5.9
规范要求级配中值		100.0	95.0	76.5	53.0	37.0	26.5	19.0	13.5	10.0	6.0
规范要求 级配范围	AC- 13	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4
		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		100	100	85	68	50	38	28	20	15	8

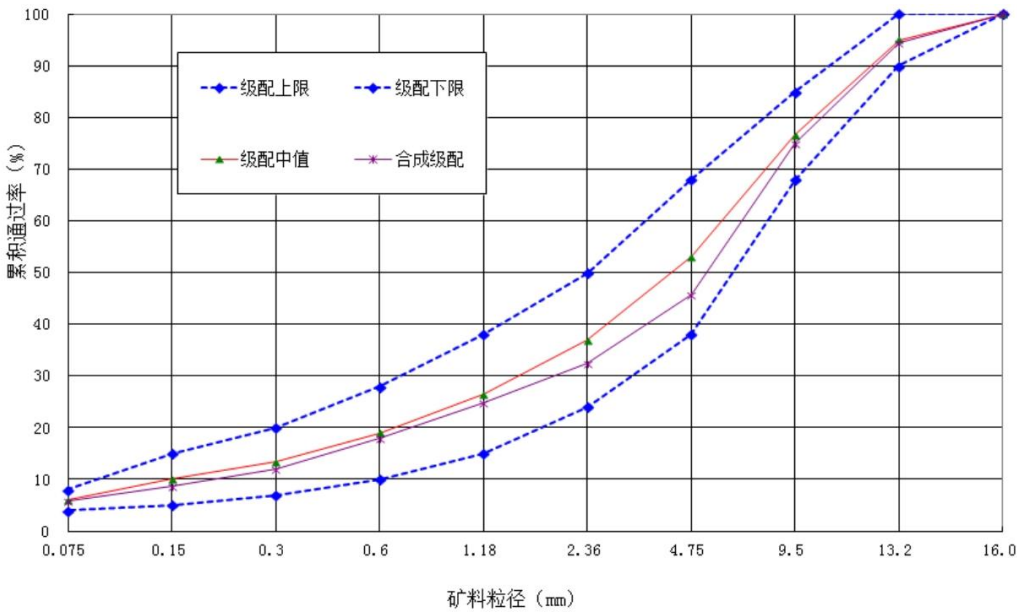


图 11 热再生混合料级配曲线图

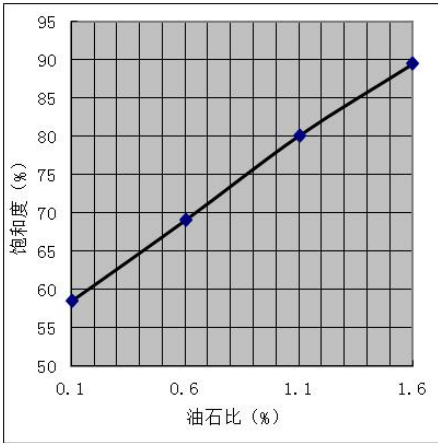
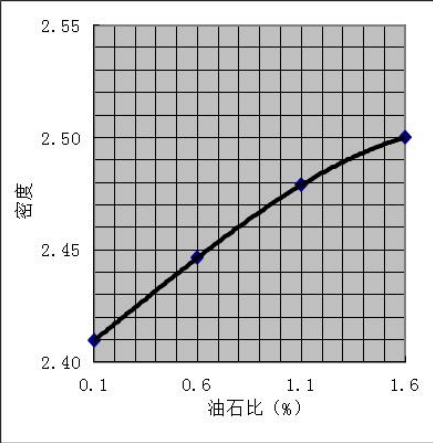
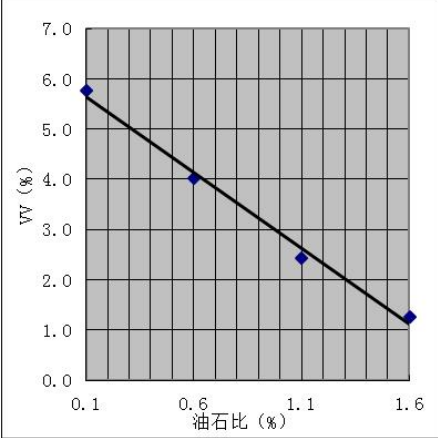
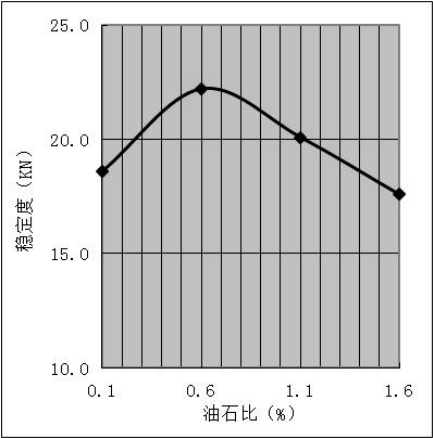
合成的热再生沥青混合料建议级配为 RAP：10~ 15mm：5~ 10mm=90:5:5。

3.3.2.2 新沥青添加量的确定

新添加的沥青用量以合成后的再生混合料质量为基准，按油石比0.1%、0.6%、1.1%、1.6%的量分别进行添加。依据JTG E20-2011试验规程进行热再生混合料配合比马歇尔新沥青用量试验，试验结果见表9和图12。

表 9 热再生混合料马歇尔试验结果

油石比 (%)	最大理论相 对密度	毛体积相 对密度	空隙率 (%)	矿料间隙率 (%)	饱和度 (%)	稳定度 (KN)	流值 (mm)
0.1	2.405	2.405	5.9	14.1	57.7	18.6	3.4
0.6	2.443	2.443	4.2	13.1	68.3	22.2	3.8
1.1	2.541	2.479	2.4	12.3	80.1	20.1	4.1
1.6	2.532	2.500	1.3	11.9	89.4	17.6	4.6
技术要求	/	/	3~6	不小于 13	65~75	不小于 8	2~4



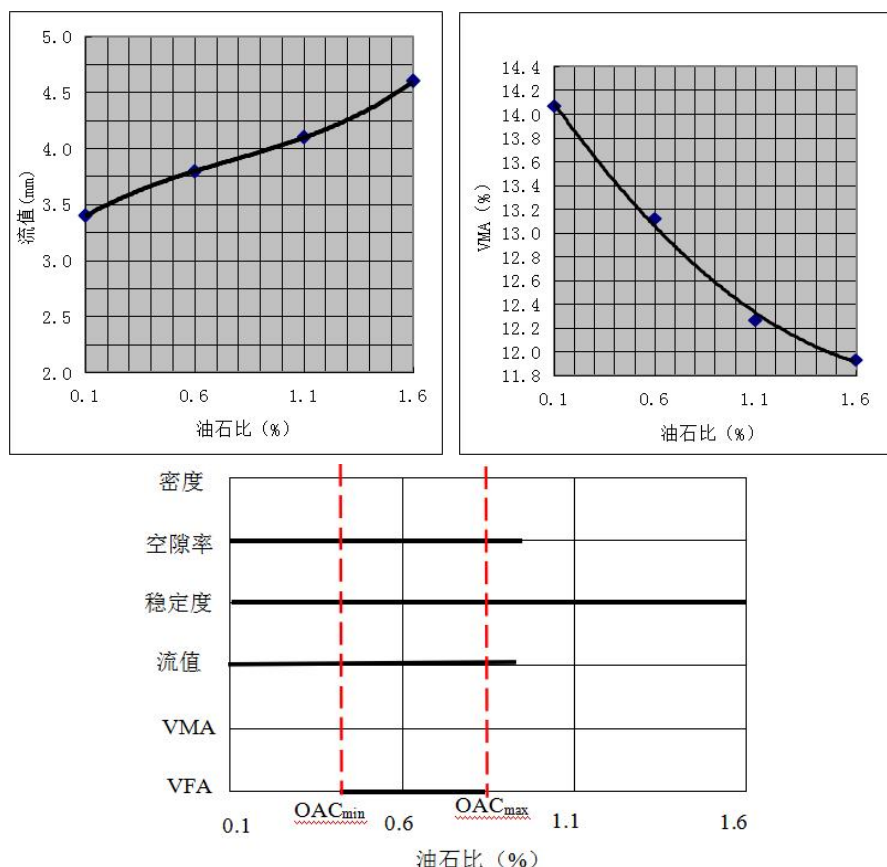


图 12 热再生沥青混合料马歇尔试验结果关系曲线图

以油石比为横坐标，分别以空隙率、视密度、稳定度、流值、饱和度为纵坐标绘制关系图，确定各项指标：

由于密度无峰值，目标空隙率 $VV=4.0\%$ 对应的油石比 $a_3=0.63\%$ ，因此，最佳沥青用量的初始值 $OAC_1=a_3=0.63\%$ ；

各指标符合 AC-13 型沥青混合料技术标准的油石比范围 $OAC_{min} \sim OAC_{max} = 0.41\% \sim 0.87\%$ ； $OAC_2 = (OAC_{min} + OAC_{max}) / 2 = 0.64\%$ ；

因此，最佳油石比 $OAC = (OAC_1 + OAC_2) / 2 = 0.64\% \approx 0.6\%$ ；

根据 AC-13 型沥青混合料马歇尔配合比设计要求和《公路沥青路面施工设计规范》(JTG F40-2004) 中热拌沥青混合料配合比设计方法建议新沥青用量（油石比）为 0.6%，考虑到实际施工中存在的各种变异性因素，新沥青用量可增加浮动 $\pm 0.2\%$ 。最佳油石比时的马歇尔试验结果见表 10。

表 10 最佳沥青用量时马歇尔试验结果

最佳油石比 (%)	最大理论相对密度	毛体积相对密度	空隙率 (%)	矿料间隙率 (%)	饱和度 (%)	稳定度 (KN)	流值 (mm)
0.6	2.549	2.443	4.2	13.1	68.3	21.8	3.8

3.3.2.3 路用性能检验

对最佳油石比下的热再生混合料制备试件，分别进行热再生沥青混合料的车辙试验、

低温弯曲试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验，以此检验在最佳沥青含量下的再生沥青混合料的高、低温稳定性和水稳定性。试验结果如表 11 所示。

表 11 热再生沥青混合料路用性能检验结果

项目	再生沥青混合料	设计要求
动稳定度（次/mm）	4335	≥ 1000
残留稳定度（%）	83.3	> 80
冻融劈裂强度比（%）	76.6	> 75
最大弯拉应变 ϵ_B （ $\mu\epsilon$ ）	2311.7	≥ 2000
渗水系数（ml/min）	12.4	≤ 120

由表 11 可知，热再生沥青混合料配合比路用性能满足普通 AC-13 型沥青混凝土路用性能检验要求。

3.3.3 施工

3.3.3.1 施工准备

- 施工前应对集成化就地热再生无法修复的路面病害进行预处理，并应符合下列规定：
- 1) 破损松散类病害：破损松散类病害的深度超过集成化就地热再生施工深度，应予挖补。
 - 2) 变形类病害：根据再生设备的不同，变形深度为 20mm~50mm 时，再生前应进行铣刨处理。
 - 3) 裂缝类病害：分析裂缝类病害成因，影响热再生工程质量的裂缝应予处理。

3.3.3.2 施工关键参数

施工关键工艺及参数见标准文本 8 施工。



图 13 试验路现场热再生路面碾压后效果



图 14 再生前后路面表面对比

3.3.4 实施效果及性能观测

3.3.4.1 芯样分析

对现场所取芯样（厚度平均值 4cm，图 15）进行了毛体积密度的测定，计算得到芯样空隙率 3.98%。



图 15 试验路现场取芯

3.3.4.2 再生前后路面性能分析

对实施一次成型就地热再生技术的 G312 路面,进行再生前后路面性能、再生后 10 个月路面性能检测结果对比分析。



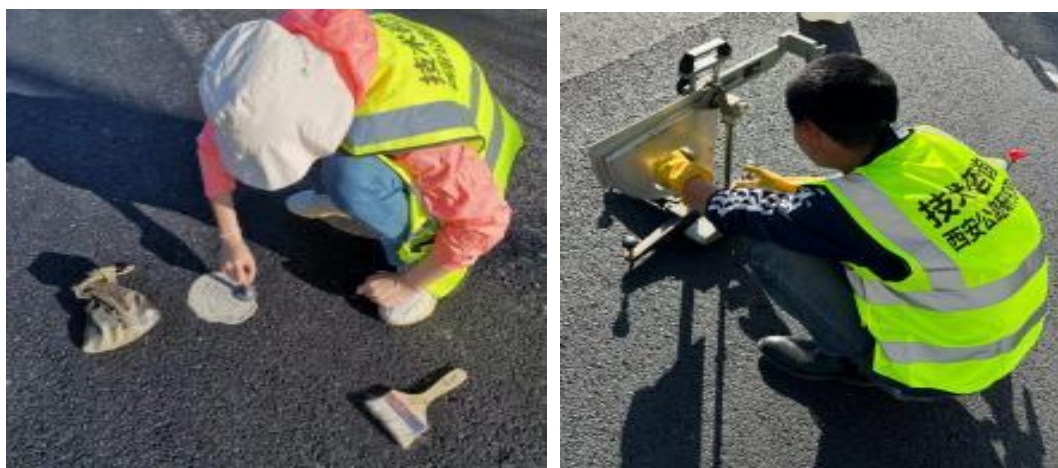


图 16 再生路面 2022 年 9 月现场检测



图 17 2023 年 7 月热再生路面表面及现场检测

表 12 再生路面试验段现场检测结果

检测项目		再生前	再生后 (2022 年 9 月)	再生后 (2023 年 7 月)	质量要求
渗水系数 (ml/min)		57.3	18.6	19.7	≤ 120
平整度 (mm)		2.0	1.5	1.7	/
抗滑性	摆值 (BPN)	48	52	49	≥ 45

能	构造深度 (mm)	0.58	0.65	0.62	≥ 0.6
---	-----------	------	------	------	------------

综合再生路面试验段检测结果可知：

(1) 平整度检测结果分析

沥青路面再生前和再生后，分别选取有代表性的测段进行平整度检测。路面平整度检测采用三米直尺法，检测结果表明，再生前路面平整度总体较好，再生后沥青路面平整度进一步提高，沥青路面的使用性能得到一定改善。再生路面服役 10 个月后，平整度略微增大。

(2) BPN 检测结果分析

再生前后路面摩擦系数采用摆式摩擦系数测定仪测定，检测结果表明，再生后路面抗滑性能得到了有效提高。再生路面服役 10 个月后，摆值略微减小，这是由于 G312 交通量较大且重车较多，造成了路面碎石表面进一步磨光。

(3) 构造深度检测结果分析

再生前后路面构造深度检测采用手工铺砂法测定，检测结果表明，再生前各测段路面构造深度均值小于 0.6mm，再生后均大于 0.6mm，说明再生后有效提高了沥青路面构造深度，改善路面抗滑性能。再生路面服役 10 个月后，构造深度无明细变化，说明再生混合料级配合理，压实后表面纹理深度清晰。

(4) 渗水系数检测结果分析

采用渗水仪测定法对再生前后沥青路面渗水系数进行测定，检测结果表明，就地热再生前后路面渗水系数均小于 120mL/min，但再生后路面渗水性能得到了进一步改善。

4 知识产权说明

本标准的最终知识产权归西安公路研究院有限公司、延安市公路局、西安国琳养护工程有限公司、榆林市公路局、河北扶波机械制造有限公司、西安华泽道路材料有限公司、西安科技大学共同所有。

5 采标情况

本标准为首次起草的陕西省地方标准，未采用国际标准和国外先进技术。

6 重大分歧意见的处理经过和依据

无

7 标准性质的建议说明

本标准对沥青路面一体化就地热再生集成施工定义、适用范围、材料、配合比设计、施工、质量控制进行了详细而明确的规定，能为陕西省就地热再生技术的在一级及以下等级公路的实施提供有力的技术指导，填补了就地热再生技术在低等级公路应用的空白，建议本标准审批发布为推荐性行业标准。

8 其他应予以说明的事项

无