
北京市温拌沥青混合料路面技术指南

Guideline for Pavement Using Warm Mix Asphalt in Beijing

北京市交通委路政局

二〇〇九年六月

前 言

温拌沥青混合料路面技术是国际上近几年研发并正在逐步推广应用的新技术、新材料。与相同类型热拌沥青混合料相比，在基本不改变沥青混合料材料配比和施工工艺的前提下，可使沥青混合料拌和温度降低 30℃~40℃ 以上，性能达到热拌沥青混合料的要求。国内外大量研究和工程实践证明，采用温拌混合料技术可节省燃油 20%~30%，减少温室气体（二氧化碳等）排放 50% 左右，减少沥青烟等有毒气体排放 80% 以上，是名副其实的高节能、低排放的高新技术。

北京市从 2005 年 4 月起在我国率先对温拌沥青混合料技术进行研究，至 2008 年底已完成了 10 多条温拌沥青混合料试验路和实体应用工程，积累了大量的成功经验。温拌沥青混合料技术符合建设资源节约、环境友好型社会的要求，顺应“人文北京、科技北京、绿色北京”的发展理念，有利于节能减排和可持续发展。为推动温拌沥青混合料技术的应用，保证温拌沥青混合料路面的工程质量，制定本指南。

本指南是在总结了国内外研究成果和成功应用经验的基础上编写而成，温拌沥青混合料技术对全世界来说都是新技术，有许多问题需要深入研究。希望有关单位和工程技术人员在使用本指南过程中，将发现的问题和修改意见随时告知编写单位（电话：62079525、邮箱：zhanglibin@bjlzj.gov.cn、sc.huang@rioh.cn），以便修订时研用。

主编单位：北京市交通委路政局、交通部公路科学研究院、北京市政路桥建材集团有限公司

主要起草人：孙中阁 孙荣山 张丽宾 黄颂昌 柳浩 秦永春 杨丽英 徐剑 李宝生 李峰

目 录

1	总 则.....	3
2	术语、代号.....	4
2.1	术语	4
2.2	代号	4
3	材料.....	6
3.1	一般规定	6
3.2	温拌添加剂	6
3.3	沥青	6
3.4	其他材料	7
4	温拌混合料一般规定	8
5	配合比设计	错误！未定义书签。
5.1	目标配合比设计	错误！未定义书签。
5.2	生产配合比设计与验证	错误！未定义书签。
5.3	温拌橡胶沥青混合料配合比设计	错误！未定义书签。
6	温拌沥青混合料的拌制和运输	错误！未定义书签。
6.1	拌和设备要求	错误！未定义书签。
6.2	拌和工艺	错误！未定义书签。
6.3	温拌沥青混合料的运输	错误！未定义书签。
7	温拌沥青混合料摊铺及压实成型	错误！未定义书签。
7.1	摊铺	错误！未定义书签。
7.2	压实	错误！未定义书签。
8	开放交通及其它.....	错误！未定义书签。
9	施工质量管理与检查验收.....	错误！未定义书签。
附录A	本指南用词说明.....	错误！未定义书签。

附件：《北京市温拌沥青混合料路面技术指南》条文说明

1 总则

1.0.1 为指导温拌沥青混合料在道路工程中的应用，保证工程质量，制定本指南。

1.0.2 本指南规定了温拌沥青混合料用材料的要求、配合比设计、路面施工工艺及质量要求等，适用于各等级公路和城市道路的新建、改扩建及维修养护工程。

1.0.3 温拌沥青混合料和热拌沥青混合料一样，适用于路面工程各沥青结构层。因其具有有害气体排放少和在较低温度下仍有良好压实性能等特点，尤其适用于以下场合：

- 1) 城市道路、人口密集区道路、隧道道面、地下结构工程道面等环保要求高的工程；
- 2) 道路维修养护中的罩面工程；
- 3) 较低环境温度条件下施工的工程。

1.0.4 温拌沥青混合料不宜在气温低于 5℃（高速公路、一级公路和城市快速路、主干路）或 2℃（其他等级道路）条件下施工，不得在雨天、路面潮湿的情况下施工。

1.0.5 温拌沥青混合料的拌制及其摊铺施工必须符合国家环境和生态保护的规定。

1.0.6 温拌沥青混合料的拌制及施工过程中，应注意安全，采取必要的安全措施。

1.0.7 温拌沥青混合料的设计、施工除应遵照本指南的专门规定外，其他的要求和热拌沥青混合料一样，仍应按《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的有关规定执行，同时还应符合现行国家及行业颁布的有关标准、规范和法规。

2 术语、代号

2.1 术语

2.1.1 温拌沥青混合料 (Warm Mix Asphalt, WMA)

与相同类型热拌沥青混合料相比，在基本不改变沥青混合料配合比和施工工艺的前提下，通过技术手段，使沥青混合料的拌和温度相应降低 30℃~40℃以上，性能达到热拌沥青混合料的新型沥青混合料。

2.1.2 温拌添加剂 (Warm Mix Additive)

通过物理和化学作用，能显著降低沥青混合料施工温度的添加材料。

2.2 代号

本指南各种代号以及意义见表 2.2。

表 2.2 各种代号以及意义

代号	意义
WMA	温拌沥青混合料, Warm mix asphalt
WAC	密级配温拌沥青混合料, 分为粗型和细型两类
WSMA	温拌沥青玛蹄脂碎石混合料
WATB	温拌沥青稳定碎石
WAM	温拌沥青碎石
OAC	沥青混合料的最佳沥青用量, Optimum asphalt content 之略语
MS	马歇尔稳定度
FL	马歇尔试验的流值
VV	压实沥青混合料的空隙率, Volume of air voids 之略语

VMA	压实沥青混合料的矿料间隙率，即试件全部矿料部分以外的体积占试件总体积的百分率，Voids in mineral aggregate 之略语
VFA	压实沥青混合料中的沥青饱和度，即试件矿料间隙中扣除被集料吸收的沥青以外的有效沥青结合料部分的体积在 VMA 中所占的百分率，Voids filled with Asphalt 之略语
VCA	粗集料骨架间隙率 percent air voids in coarse aggregate 之略语
VCA _{mi} _x	压实沥青混合料的粗集料骨架间隙率，即试件的粗集料骨架部分以外的体积占试件总体积的百分率，Voids in coarse aggregate of Asphalt mix 之略语
VCA _{DR}	捣实状态下的粗集料松装间隙率，Voids in coarse aggregate 之略语

3 材料

3.1 一般规定

3.1.1 温拌沥青混合料使用的各种材料和热拌沥青混合料一样，在材料运至现场后必须取样进行质量检验，经评定合格方可使用，不得以供应商提供的检测报告或商检报告代替现场检测。

3.1.2 选择温拌沥青混合料使用的集料时，必须进行认真的材料调查，在符合质量要求的条件下尽可能就地取材、就近取材。石料开采必须注意环境保护，防止破坏生态平衡。

3.1.3 不同料源、品种、规格的集料不得混杂堆放。

3.2 温拌添加剂

温拌添加剂应满足如下要求：

- 1) 与同类型热拌沥青混合料相比，加入温拌添加剂后可使沥青混合料的拌和温度及碾压温度降低 30℃ 以上；
- 2) 加入温拌添加剂的沥青混合料，其技术性能应达到同类型热拌沥青混合料的指标，并满足现行沥青路面施工技术规范的要求；
- 3) 加入温拌添加剂不得在施工过程中产生额外的有毒有害气体。

3.3 沥青

3.3.1 温拌沥青混合料所用的沥青结合料可采用 70 号、90 号等 A、B 级道路石油沥青，或 I-C、I-D 类 SBS 改性沥青等，其技术要求应符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 的相关规定。

3.3.2 采用橡胶沥青作为胶结料时，橡胶沥青应满足《北京市废胎胶粉沥青及混合料设计施工技术指南》(京路科安发[2006]912 号) 相

应的技术要求。

3.3.3 温拌沥青混合料采用天然沥青及其它添加材料时，技术要求宜根据其品种参照相关标准和成功经验执行。

3.4 其他材料

粗集料、细集料、填料、纤维稳定剂等的技术要求均应符合《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的相关规定。

4 温拌混合料一般规定

4.0.1 温拌沥青混合料和热拌沥青混合料一样，按集料公称最大粒径、矿料级配、空隙率等进行分类，类型见表 4.0.1。

表 4.0.1 温拌沥青混合料类型

混合料类型	密级配 沥青混合料	沥青玛蹄脂 碎石	沥青稳定 碎石	沥青 碎石	公称最大 粒径(mm)	最大粒径 (mm)
粗粒式	—	—	WATB-30	—	31.5	37.5
	WAC-25	—	WATB-25	—	26.5	31.5
中粒式	WAC-20	WSMA-20	—	WAM-20	19.0	26.5
	WAC-16	WSMA-16	—	WAM-16	16.0	19.0
细粒式	WAC-13	WSMA-13	—	WAM-13	13.2	16.0
	WAC-10	WSMA-10	—	WAM-10	9.5	13.2
设计空隙率 ^注 (%)	3~5	3~4	3~6	6~12	—	—

注：空隙率可按配合比设计要求适当调整。

4.0.2 用于各结构层的温拌沥青混合料，应满足所在层位的功能要求，便于施工，不易离析。各层宜连续施工并联结成为一个整体，以保证沥青路面的使用性能。

4.0.3 与热拌沥青混合料一样，温拌沥青混合料面层的集料最大粒径宜从上至下逐渐增大，并应与厚度相匹配。对密级配沥青混合料各层的压实厚度不宜小于集料公称最大粒径的 2.5~3 倍，对 SMA 等嵌挤型混合料不宜小于公称最大粒径的 2~2.5 倍，以减少离析，便于压实。温拌沥青混合料类型与推荐的应用场合见表 4.0.3。

4.0.4 温拌沥青层铺筑前，应检查下卧层的质量，不符合要求的不得铺筑。下卧层已被污染时，必须清洗或经铣刨处理后方可铺筑温拌沥青混合料。

表 4.0.3 常用温拌沥青混合料类型与推荐应用场合

结构层位	高速公路、一级公路 城市快速路、主干路		其他 等级公路	一般城市道路 及其他工程
	三层式沥青路面	两层式沥青路面	沥青路面	沥青路面
上面层	WAC-13、WAC-16 WSMA-10 WSMA-13	WAC-13、WAC-16 WSMA-10 WSMA-13	WAC-13 WAC-16	WAC-13
中面层	WAC-16 WAC-20	—	—	—
下面层	WAC-25、WAC-30 WATB-25	WAC-20、WAC-25 WATB-25	WAC-20 WAC-25 WATB-25	WAC-20 WATB-25

4.0.5 温拌沥青混合料施工温度应根据沥青标号、气候条件、铺装层厚度等综合确定。对于北京市常用的 70 号、90 号等道路沥青以及改性沥青，温拌沥青混合料的施工温度见表 4.0.5-1、表 4.0.5-2。

表 4.0.5-1 温拌沥青混合料的施工温度（℃）

施工工序		沥青标号		
		50 号	70 号	90 号
沥青加热温度		140~160	135~155	130~150
集料加热温度		120~145		
出料温度		115~135	110~130	105~125
运到现场温度		110~125	105~120	100~115
摊铺温度，不低于	正常施工	110	105	100
	低温施工	120	115	110
初压温度，不低于	正常施工	105	100	95
	低温施工	115	110	105
终压温度，不低于		70	70	70
开放交通温度，不高于		50	50	50

注：1. 施工时气温大于10℃称为正常施工。大风降温天气对混合料的温度损失较大，不宜施工，必需施工时应适当提高混合料的温度。下同。

2. 施工时气温为 5℃~10℃（高速公路、一级公路和城市快速路、主干路）或 2℃~10℃（其他等级道路）称为低温施工。大风降温天气不宜施工，必需施工时应适当提高混合料的温度。下同。

表 4.0.5-2 温拌 SBS 改性沥青混合料的正常施工温度范围（℃）

施工工序		SBS I-C	SBS I-D
沥青加热温度		155~170	155~170
集料加热温度		135~145	
出料温度		120~140	125~145
运到现场温度		115~135	120~140
摊铺温度，不低于	正常施工	110	115
	低温施工	125	130
初压温度，不低于	正常施工	105	110
	低温施工	120	125
终压温度，不低于		70	70
开放交通温度，不高于		50	50

4.0.6 温拌橡胶沥青混合料的施工温度，按表 4.0.6 执行。

表 4.0.6 温拌橡胶沥青混合料的施工温度（℃）

施工工序		温度（℃）
橡胶沥青加热温度		180~190
集料加热温度		130~150
出料温度		140~160
运到现场温度		130~150
摊铺温度，不低于	正常施工	125
	低温施工	140
初压温度，不低于	正常施工	120
	低温施工	135
终压温度，不低于		70
开放交通温度，不高于		50

4.0.7 高速公路、一级公路及城市快速路、主干路的温拌沥青混合料路面施工前应铺筑试验段，其他等级道路在第一次应用温拌沥青混合料或施工经验不足时也应铺筑试验段。当同一施工单位在材料、机械设备及施工方法与其他工程完全相同时，也可利用其他工程的结果，不再铺筑新的试验路段。试验路段的长度宜为 100~200m。试验分试拌和试铺两个阶段，通过试拌确定拌和工艺和参数，通过试铺确定摊铺、碾压工艺和参数等，并验证温拌沥青混合料配合比设计，为正常路段施工提供技术依据。

5 配合比设计

5.1 目标配合比设计

5.1.1 温拌沥青混合料的配合比设计和热拌沥青混合料一样，必须在对同类沥青路面配合比设计和使用情况调查研究的基础上，充分借鉴成功的经验，选用符合要求的材料，进行配合比设计。

5.1.2 温拌沥青混合料的矿料级配应符合规定的设计级配范围。温拌密级配沥青混凝土混合料（WAC）宜根据道路等级、气候及交通条件按表 5.1.2-1 选择采用粗型（C 型）或细型（F 型）混合料，并在表 5.1.2-2 范围内确定工程设计级配范围，通常情况下工程设计级配范围不宜超出表 5.1.2-2 的要求。温拌 WSMA 混合料和温拌密级配沥青混合料（WATB）宜直接以表 5.1.2-3、表 5.1.2-4 作为工程设计级配范围。

表 5.1.2-1 粗型和细型密级配沥青混凝土（WAC）的关键性筛孔通过率

混合料类型	公称最大粒径 (mm)	用以分类的 关键性筛孔 (mm)	粗型密级配		细型密级配	
			名称	关键性筛孔 通过率(%)	名称	关键性筛孔 通过率(%)
WAC-25	26.5	4.75	WAC-25C	<40	WAC-25F	>40
WAC-20	19	4.75	WAC-20C	<45	WAC-20F	>45
WAC-16	16	2.36	WAC-16C	<38	WAC-16F	>38
WAC-13	13.2	2.36	WAC-13C	<40	WAC-13F	>40
WAC-10	9.5	2.36	WAC-10C	<45	WAC-13F	>45

表 5.1.2-2 密级配沥青混凝土混合料（WAC）矿料级配范围

级配类型		通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)												
		31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
粗粒式	WAC-25	100	90-100	75-90	65-83	57-76	45-65	24-52	16-42	12-33	8-24	5-17	4-13	3-7
中粒式	WAC-20		100	90-100	78-92	62-80	50-72	26-56	16-44	12-33	8-24	5-17	4-13	3-7
	WAC-16			100	90-100	76-92	60-80	34-62	20-48	13-36	9-26	7-18	5-14	4-8
细粒式	WAC-13				100	90-100	68-85	38-68	24-50	15-38	10-28	7-20	5-15	4-8
	WAC-10					100	90-100	45-75	30-58	20-44	13-32	9-23	6-16	4-8

表 5.1.2-3 沥青玛蹄脂碎石混合物(WSMA)矿料级配范围

级配类型		通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)											
		26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
中粒式	WSMA-20	100	90-100	72-92	62-82	40-55	18-30	13-22	12-20	10-16	9-14	8-13	8-12
	WSMA-16		100	90-100	65-85	45-65	20-32	15-24	14-22	12-18	10-15	9-14	8-12
细粒式	WSMA-13			100	90-100	50-75	20-34	15-26	14-24	12-20	10-16	9-15	8-12
	WSMA-10				100	90-100	28-60	20-32	14-26	12-22	10-18	9-16	8-13

表 5.1.2-4 密级配沥青碎石混合物(WATB)矿料级配范围

级配类型		通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)													
		37.5	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
特粗式	WATB-30	100	90-100	70-90	53-72	44-66	39-60	31-51	20-40	15-32	10-25	8-18	5-14	3-10	2-6
粗粒式	WATB-25		100	90-100	60-80	48-68	42-62	32-52	20-40	15-32	10-25	8-18	5-14	3-10	2-6

5.1.3 温拌沥青混合物采用马歇尔试验配合比设计方法进行混合料设计,温拌沥青混合物技术要求应符合表 5.1.3-1、表 5.1.3-2、表 5.1.3-3 的规定,并具有良好的施工性能。当采用其他方法设计温拌沥青混合物时,仍应进行马歇尔试验及各项配合比设计检验,并报告不同设计方法各自的试验结果。二级公路宜参照一级公路的技术要求执行。长大坡度的路段按重载交通路段考虑。

表 5.1.3-1 密级配沥青混凝土混合物(WAC)马歇尔试验技术要求

试验指标	单位	高速公路、一级公路 城市快速路、主干路		其他等级 道路	行人道路	
		中轻交通	重载交通			
击实次数(双面)	次	75		50	50	
试件尺寸	mm	φ101.6mm×63.5mm				
空隙率	深约 90mm 以内	%	3~5	4~6	3~6	2~4
VV	深约 90mm 以下	%	3~6		3~6	-
稳定度 MS	不小于	kN	8		5	3
流值 FL		mm	2~4	1.5~4	2~4.5	2~5
矿料间隙 率VMA	设计空隙率 (%)	相应于以下公称最大粒径(mm)的最小 VMA 及 VFA 技术要求(%)				
		26.5	19	16	13.2	9.5

(%) 不小于	2	10	11	11.5	12	13	15
	3	11	12	12.5	13	14	16
	4	12	13	13.5	14	15	17
	5	13	14	14.5	15	16	18
	6	14	15	15.5	16	17	19
沥青饱和度VFA(%)		55~70	65~75			70~85	

注：①本表适用于公称最大粒径 $\leq 26.5\text{mm}$ 的密级配沥青混合料。

②对空隙率大于5%的重载交通路段，施工时应至少提高压实度1%。

③当设计的空隙率不是整数时，由内插确定要求的VMA最小值。

④对改性沥青混合料，马歇尔试验的流值可适当放宽。

⑤试件成型前，拌和好的混合料应放于烘箱内在拟定的成型温度条件下保温2小时。

表 5.1.3-2 WSMA 混合料马歇尔试验配合比设计技术要求

试验项目	单位	技术要求		试验方法
		不使用改性沥青	使用改性沥青	
马歇尔试件尺寸	mm	$\phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$		T 0702
马歇尔试件击实次数 ^[1]		两面击实 50 次		T 0702
空隙率VV ^[2]	%	3~4		T 0705
矿料间隙率VMA ^[2] 不小于	%	17.0		T 0705
粗集料骨架间隙率VCA _{mix} ^[3] 不大于		VCA _{DRC}		T 0705
沥青饱和度 VFA	%	75~85		T 0705
稳定度 ^[4] 不小于	kN	5.5	6.0	T 0709
流值	mm	2~5	-	T 0709
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失	%	不大于 0.2	不大于 0.1	T 0732
肯塔堡飞散试验的混合料损失 或浸水飞散试验	%	不大于 20	不大于 15	T 0733

注：①对集料坚硬不易击碎，通行重载交通路段，宜将击实次数增加为双面75次。

②对高温稳定性要求较高的重交通路段，设计空隙率允许放宽到4.5%，VMA允许放宽到16.5%(SMA-16)或16%(SMA-19)，VFA允许放宽到70%。

③粗集料骨架间隙率VCA的关键性筛孔，对WSMA-19、WSMA-16是指4.75mm，对WSMA-13、WSMA-10是指2.36mm。

④稳定度难以达到要求时，容许放宽到5.0kN(非改性)或5.5kN(改性)，但动稳定度检验必须合格。

⑤试件成型前，拌和好的混合料应放于烘箱内在拟定的成型温度条件下保温2小时。

表 5.1.3-3 密级配沥青稳定碎石混合料 (WATB) 马歇尔试验技术要求

试验指标	单位	密级配 (WATB)	
		公称最大粒径	mm
马歇尔试件尺寸	mm	Φ 101.6mm×63.5mm	Φ 152.4mm×95.3mm
击实次数 (双面)	次	75	112
空隙率 VV ^①	%	3~6	
稳定度, 不小于	kN	7.5	15
流值	mm	1.5~4	实测
沥青饱和度 VFA	%	55~70	
密级配 WATB 的矿料 空隙率 VMA 不小于 (%)	设计空隙率 (%)	WATB-30	WATB-25
	4	11.5	12
	5	12.5	13
	6	13.5	14

5.1.4 对用于高速公路、一级公路和城市快速路、主干路的公称最大粒径等于或小于 19mm 的温拌密级配沥青混合料(WAC)及 WSMA 混合料需在配合比设计的基础上按下列步骤进行各种使用性能检验, 不符合要求的温拌沥青混合料, 必须更换材料或重新进行配合比设计。二级公路参照此要求执行。

1) 必须在规定的试验条件下进行车辙试验, 并符合表 5.1.4-1 的要求。

表 5.1.4-1 温拌沥青混合料车辙试验动稳定度技术要求

气候条件与技术指标		要求的动稳定度(次/mm)	试验方法
普通沥青混合料	不小于	1000	T 0719
改性沥青混合料	不小于	2800	
WSMA 混	非改性 不小于	1500	
合料	改性 不小于	3000	

注: ①在特殊情况下, 如钢桥面铺装、重载车特别多或纵坡较大的长距离上坡路段, 可酌情提高动稳定度的要求;

②为满足重载交通要求, 可适当提高试验温度或增加试验荷载进行试验, 同时增加试件的碾压成型密度和施工压实度要求;

③车辙试验不得采用二次加热的混合料, 试验必须检验其密度是否符合试验规程的要求;

④如需要对公称最大粒径等于和大于 26.5mm 的混合料进行车辙试验, 可适当增加试件的厚度, 但不宜作为评定合格与否的依据。

2) 必须在规定的试验条件下进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验检验温拌沥青混合料的水稳定性, 并同时符合表 5.1.4-2 中的两个要求。达不到要求时必须采取抗剥落措施, 调整最佳沥青用量后再次试验。

表 5.1.4-2 温拌沥青混合料水稳定性检验技术要求

混合料类别		水稳定性技术要求 (%)	试验方法
浸水马歇尔试验残留稳定度(%) 不小于			
普通温拌沥青混合料		80	T 0709
改性温拌沥青混合料		85	
WSMA 温拌混合料	普通沥青	75	
	改性沥青	80	
冻融劈裂试验的残留强度比(%) 不小于			
普通温拌沥青混合料		75	T 0729
改性温拌沥青混合料		80	
WSMA 温拌混合料	普通沥青	75	
	改性沥青	80	

3) 宜对温拌密级配沥青混合料在温度-10℃、加载速率 50mm/min 的条件下进行弯曲试验, 测定破坏强度、破坏应变、破坏劲度模量, 并根据应力应变曲线的形状, 综合评价温拌沥青混合料的低温抗裂性能。其中温拌沥青混合料的破坏应变宜不小于表 5.1.4-3 的要求。

表 5.1.4-3 温拌沥青混合料低温弯曲试验破坏应变(με)技术要求

混合料类别	要求的破坏应变(με)	试验方法
普通温拌沥青混合料 不小于	2000	T 0715
改性温拌沥青混合料 不小于	2500	

4) 宜利用轮碾机成型的车辙试验试件, 脱模架起进行渗水试验, 并符合表 5.1.4-4 的要求。

表 5.1.4-4 温拌沥青混合料试件渗水系数(ml/min)技术要求

级配类型	渗水系数要求(ml/min)	试验方法
WAC 混合料 不大于	120	T 0730
WSMA 混合料 不大于	80	

5) 对使用钢渣作为集料的温拌沥青混合料, 应按现行试验规程(T 0363)进行活性和膨胀性试验, 钢渣沥青混凝土的膨胀量不得超过 1.5%。

6) 对温拌改性沥青混合料的性能检验, 应针对改性目的进行。以提高高温抗车辙性能为主要目的时, 低温性能可按普通沥青混合料的要求执行; 以提高低温抗裂性能为主要目的时, 高温稳定性可按普通沥青混合料的要求执行。

5.2 生产配合比设计与验证

5.2.1 高速公路、一级公路和城市快速路、主干路用温拌沥青混合料的设计应包括目标配合比设计、生产配合比设计、生产配合比验证 3 个阶段。

5.2.2 生产配合比设计阶段。对间歇式拌和机, 应按规定方法取样测试各热料仓的材料级配, 确定各热料仓的配合比, 供拌和机控制室使用。同时选择适宜的筛孔尺寸和安装角度, 尽量使各热料仓的供料大体平衡。并取目标配合比设计的最佳沥青用量 OAC、 $OAC \pm 0.3\%$ 等 3 个沥青用量进行马歇尔试验和试拌, 通过室内试验及从拌和机取样试验综合确定生产配合比的最佳沥青用量, 由此确定的最佳沥青用量与目标配合比设计的结果的差值不宜大于 $\pm 0.2\%$ 。对连续式拌和机可省略生产配合比设计步骤。

5.2.3 生产配合比验证阶段。拌和机按生产配合比结果进行试拌、铺筑试验段, 并取样进行马歇尔试验, 同时从路上钻取芯样观察空隙率的大小, 由此确定生产用的标准配合比。标准配合比的矿料合成级配中, 至少应包括 0.075mm、2.36mm、4.75mm 及公称最大粒径筛孔的通过率接近优选的工程设计级配范围的中值, 并避免在 0.3mm~0.6mm 处出现“驼峰”。对确定的标准配合比, 宜再次进行车辙试验和水稳定性检验。

5.2.4 确定施工级配允许波动范围。根据标准配合比及质量管理要求中各筛孔的允许波动范围, 制订施工用的级配控制范围, 用以检

查温拌沥青混合料的生产质量。

5.2.5 经设计确定的标准配合比在施工过程中不得随意变更。但生产过程中应加强跟踪检测，严格控制进场材料的质量，如遇材料发生变化并经检测温拌沥青混合料的矿料级配、马歇尔技术指标不符合要求时，应及时调整配合比，使温拌沥青混合料的质量符合要求并保持相对稳定，必要时重新进行配合比设计。

5.2.6 二级及二级以下等级公路和市政普通道路温拌沥青混合料的配合比设计可按上述步骤进行。当材料与同类道路完全相同时，也可直接引用成功的经验。

5.3 温拌橡胶沥青混合料配合比设计

温拌橡胶沥青混合料的配合比设计，按《北京市废胎胶粉沥青及混合料设计施工技术指南》（京路科安发[2006]912号）的相关章节执行，温拌橡胶沥青混合料的级配和性能应满足相应技术要求。

5 温拌沥青混合料的拌制和运输

6.1 拌和设备要求

6.1.1 温拌沥青混合料必须在沥青拌和厂(场、站)采用拌和机械拌制。

6.1.2 温拌沥青混合料可采用间歇式拌和机或连续式拌和机拌制。拌制高速公路、一级公路和城市快速路、主干路用温拌沥青混合料时，宜采用间歇式拌和机拌和。采用连续式拌和机时，使用的集料必须稳定。

6.1.3 拌制温拌沥青混合料时，根据需要可在普通沥青混合料拌和设备上安装温拌添加剂的添加装置。添加装置计量应正确，精度满足温拌添加剂添加量的允许误差要求。温拌添加剂的添加情况宜在拌和设备的控制台上在线显示。

6.1.4 根据需要，宜在沥青混合料拌和设备的拌和缸上设置排气口(口径 20cm 左右)，及时将可能产生的水蒸汽排除。

6.2 拌和工艺

6.2.1 温拌沥青混合料的拌制，应按照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)对热拌沥青混合料的拌制相关规定执行。

6.2.2 当温拌添加剂为水溶液状时，拌制过程中温拌添加剂宜在沥青喷洒 1-3 秒后开始添加，并在沥青喷洒完前添加完毕。矿粉的添加宜适当延后，尽量减少可能产生的水蒸汽带走矿粉。

6.3 温拌沥青混合料的运输

温拌沥青混合料的运输，应按照《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）对热拌沥青混合料的相关规定执行。

7 温拌沥青混合料摊铺及压实成型

7.1 摊铺

温拌沥青混合料的运输，应按照《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）对热拌沥青混合料的相关规定执行。

7.2 压实

7.2.1 应配备数量足够、吨位适宜的压路机。为达到良好的压实效果，必须使用大吨位的双钢轮振动压路机和大吨位的胶轮压路机。一般情况下，单幅摊铺（不超过 6m）需要配置 1 台初压双钢轮振动钢轮压路机（11t~18t），1 台复压胶轮压路机（25t~35t），1 台终压双钢轮振动钢轮压路机（10t~15t）。如果采取双机梯队或者一次性摊铺宽度超过 6m 摊铺作业时，至少需要配置 2 台初压双钢轮振动钢轮压路机（11t~18t），2 台复压胶轮压路机（25t~35t），1 台终压双钢轮振动钢轮压路机（10t~15t）。

7.2.2 在不产生严重推移和裂缝的前提下，初压、复压、终压都应紧跟摊铺机，在尽可能高的温度下进行。同时不得在过低温度状况下反复碾压，使石料棱角磨损、压碎，破坏集料嵌挤。

7.2.3 根据混合料的级配类型、天气情况，选择合理的碾压工艺。常用的碾压工艺为：（1）初压 2 遍，选择 11t~18t 双钢轮振动压路机振动压实，压实速度宜为 2~3km/h。如果第 1 遍前进振动碾压时发生严重推移，则采用静压，其他采用振压。（2）复压 2~4 遍，应采用 25t~35t 胶轮压路机，压实速度宜为 2~4km/h。（3）终压 2 遍，选择 10t~16t 双钢轮振动钢轮压路机，采用振、静结合方式，收光采用静压，压实速度可为 3~5km/h。

7.2.4 为保证压实过程中不出现沾轮现象，振动压路机水箱中可加入少量的表面活性剂，并应尽可能减少洒水量。胶轮压路机不得洒水，压实过程中应适量喷洒或涂抹隔离剂（如食用油等），并以不粘轮为原则。

7.2.5 温拌沥青混合料压实的其它要求，按照《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）对热拌沥青混合料的相关规定执行。

8 开放交通及其它

温拌沥青混合料路面的开放交通及其它要求，按照《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）对热拌沥青混合料的相关规定执行。

9 施工质量管理与检查验收

温拌沥青混合料路面施工质量管理与检查验收，按照《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）对热拌沥青混合料的相关规定执行。

附录 A 本指南用词说明

为准确掌握指南条文，对执行指南严格程度的用词作如下规定：

一、表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

二、表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

三、表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

附件

北京市温拌沥青混合料路面技术指南

条文说明

1 总 则

1.0.1 目前用于沥青路面建设、养护的沥青混合料主要有两类：热拌沥青混合料和冷拌（常温）沥青混合料。热拌沥青混合料是指沥青与矿料在高温（ $150^{\circ}\text{C}\sim 185^{\circ}\text{C}$ ）状况下拌和的混合料；冷拌（常温）沥青混合料是指以乳化沥青或稀释沥青与矿料在常温（ $10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ）状态下拌和、铺筑的混合料。从使用数量比例看，热拌沥青混合料占绝对多数。随着人们认识水平的不断提高，热拌沥青混合料在拌和、运输及摊铺过程中出现的有害气体排放、过多能耗以及热老化等问题，逐步被人们所关注；而冷拌沥青混合料，尽管在环保、能耗等方面有很大优势，但由于其路用性能与热拌沥青混合料相比还有较大差距，因此只能用于沥青路面的养护、低交通量路面、中重交通量路面的下面层和基层。鉴于此，如何保留热拌沥青混合料性能良好的特点并克服其存在的问题，或从另外一个角度说，如何保留冷拌沥青混合料在环保、节能等方面优势的同时克服其性能尚有差距的不足，这便成为近年来世界主要国家道路科技人员研究的重大课题。

正是在这样的背景下，温拌沥青混合料的概念被提了出来。根据目前的认识及应用情况，国际上对这种新型的混合料给出了一个解释性的定义：温拌沥青混合料是一类拌和温度介于热拌沥青混合料（ $150^{\circ}\text{C}\sim 185^{\circ}\text{C}$ ）和冷拌（常温）（ $10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ）沥青混合料之间，性能达到（或接近）热拌沥青混合料的新型沥青混合料，其拌和温度一般为 $110^{\circ}\text{C}\sim 130^{\circ}\text{C}$ （针对普通沥青而言，改性沥青的拌和温度还需要提高一些。欧美等国家较少采用改性沥青）。采用温拌沥青混合料可很好地缓解热拌沥青混合料由于高温拌和而导致的几个问题：①高温下的有害气体排放问题。据国外的检测报告，沥青混合料从热拌转为温拌可使二氧化碳 CO_2 排放减少约 $1/2$ ，一氧化碳 CO 排放减少约 $2/3$ ，二氧化硫 SO_2 减少 40% ，氧化氮 NO_x 类减少近 60% ，采用温拌沥青混合料技术的环保效益是非常明显的。②能耗问题。据国外文献报道，采用温拌沥青混合料可降低燃油消耗 30% 以上。③高温施工导致的沥青老化问题。热拌沥青混合料的拌和及摊铺温度是相当

高的，《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)规定：对于 90 号沥青，沥青加热温度为 150℃~160℃，集料加热温度为 160℃~190℃，混合料出料温度为 140℃~160℃，混合料运到现场的温度要大于 140℃；对于 70 号沥青，上述各项温度还要提高 5℃；如果是采用我国广泛应用的改性沥青，那么拌和时改性沥青温度要加热到约 175℃、集料温度加热到 190℃~220℃，混合料出料温度将达 170℃~185℃。拌和时沥青裹附在集料上的沥青膜的厚度基本上都在 5~10 微米之间，在如此高的温度并且是有氧气的情况下，沥青的严重老化是难以避免的。

温拌沥青混合料技术起源于欧洲，于 2000 年的国际沥青路面大会上由 Harrison 和 Christodulaki 首次进行交流。同年，在《欧洲沥青》上 Koenders 等人做了更为详细的报道。目前温拌沥青混合料主要有四类不同的方式实现：

(1) 沥青-矿物法 (Aspha-Min)。该方法是采用一种粉末状的合成沸石 (Aspha-Min) 在沥青混合料拌和过程中将其加入，沸石释放的微量水使沥青发生连续的微发泡反应，泡沫和微量水起到润滑作用使混合料在较低温下具有可工作性，拌和温度可低至 130℃~145℃。实际上 Aspha-Min 是一种含有 18% 左右结合水的硅酸铝矿物，由德国 Eurovia Services GmbH 公司生产。Aspha-Min 会在 85℃~182℃ 的温度范围时将水分慢慢释放出来。Eurovia 公司推荐的 Aspha-Min 添加量为沥青混合料质量的 0.3%，可使沥青混合料的拌和温度降低 15℃，研究表明，该方法可以节约 30% 的能源消耗。Eurovia 公司认为所有的沥青、聚合物改性沥青或者回收沥青都可以采用该项技术。

(2) 泡沫沥青法 (WAM-Foam)。该方法是将软质沥青和硬质泡沫沥青在拌和的两个不同阶段加入到混合料中。第一阶段是将 130℃~140℃ 的软质沥青 (针入度大于 200) 加入到温度为 110℃~120℃ 的集料中进行拌和以达到良好裹附。在第二阶段，将 160℃~180℃ 硬质沥青 (针入度小于 50) 泡沫化后加入到预裹附的集料中。由于软质沥青和泡沫化的硬质沥青都具有较低粘度从而实现了良好的拌和和工作性，最终得到满足需要的沥青混合料。WAM-Foam 是由英国伦敦的壳牌石油公司和挪威奥斯陆的 Kolo-Veidekke 公司共同开

发的技术。

(3) 有机添加剂法。该方法是将较低熔点的有机添加剂加入到沥青或沥青混合料中，从而降低沥青胶结料的粘度。目前成功应用的化学添加剂有两类—合成蜡和低分子量酯类化合物，其中以 Sasobit 合成蜡为主。Sasobit 是 Sasol Wax 公司的产品，为细粒结晶长链脂肪族碳氢化合物，由煤气化采用“费-托工艺”加工而成，因此也被称为费-托固体石蜡。Sasobit 的熔点接近 100℃，会在 116℃ 的时候完全溶于沥青胶结料中，液态的 Sasobit 起到很好的润滑作用，从而使沥青混合料的拌和温度降低 10℃~30℃。Sasobit 在熔点以下时会在沥青胶结料中形成一种网格状结构，因此可提高沥青混合料的抗车辙性能。Sasol Wax 公司推荐的 Sasobit 用量为沥青质量的 3%，但不能高于 4% 以防止降低沥青胶结料的低温性能。

(4) 表面活性剂法。该方法是由美国美德维实伟克公司 (MeadWestvaco) 于 2003 年起开始研究并逐步投入应用的技术，在美国称为 Evotherm 温拌技术。该方法可在混合料性能达到热拌沥青混合料的同时，将拌和温度降至 110℃~130℃。这种温拌方法目前可有两种工艺加以实现：一是采用一种特殊乳化剂制作乳化沥青，用该乳化沥青作为胶结料与集料拌和来生产温拌沥青混合料。二是直接用特殊乳化剂配制成一定浓度的溶液，在沥青和集料拌和过程中喷入该溶液，经充分搅拌后生产出温拌沥青混合料。

交通部公路科学研究院、北京市政路桥材料集团有限公司在交通部、北京市交通委、北京市交通委路政局的领导和支持下，从 2005 年 4 月起率先在我国对温拌沥青混合料技术进行研究（重点为表面活性剂法，对其他方法也进行了大量的室内试验研究），同年 9 月铺筑了全国第一条温拌沥青试验路，2006 年 9 月铺筑了全球第一条温拌改性沥青 SMA 试验路。至 2008 年底已在北京完成了 10 多条温拌沥青混合料试验路和实体应用工程，成功应用于重载交通的公路和城市快速路、主干路及奥运工程道路，积累了大量的成功经验。北京市的大量研究和工程实践证明，采用表面活性剂法的温拌沥青混合料技术可节省燃油 20%~30%，减少温室气体（二氧化碳等）排放 50% 左右，减少沥青烟等有毒气体排放 80% 以上，是名副其实的高节能、低排放的高新技术。

术。温拌沥青混合料技术符合建设资源节约、环境友好型社会的要求，顺应“人文北京、科技北京、绿色北京”的发展理念，有利于节能减排和可持续发展。为推动温拌沥青混合料技术的应用，保证温拌沥青混合料路面的工程质量，制定本指南。

需要说明的是，北京市温拌沥青混合料技术的研究主要集中于表面活性剂法，对其他三类技术的研究还不够系统和全面，还没有成功地应用经验。因此应加快研究，在取得成功应用经验的基础上，逐步推广应用。

1.0.2 本指南规定了温拌沥青混合料用材料的要求、配合比设计、路面施工工艺及质量要求等，并不包括沥青路面结构设计等方面的内容。有关沥青路面结构设计等方面的内容，仍应按照《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）和《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的规定执行。因为温拌沥青混合料技术只是在添加材料、混合料设计方法及混合料拌和工艺等方面的创新，温拌沥青混合料和热沥青混合料的路用性能基本相同。因此温拌沥青混合料的应用除应遵照本指南的专门规定外，其他的要求和热拌沥青混合料一样，仍应按《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）和《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）的有关规定执行。

1.0.3 北京市的大量研究表明，与相同类型热拌沥青混合料相比，基于表面活性剂法的温拌沥青混合料在基本不改变沥青混合料材料配比和施工工艺的前提下，沥青混合料拌和温度在降低 $30^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 以上时，其性能完全达到热拌沥青混合料的要求。

（1）温拌、热拌 AC-13 沥青混合料性能对比

采用北京地区常用的普通沥青、改性沥青、集料和级配，试验结果如表 1.0.3-1、表 1.0.3-2、表 1.0.3-3、图 1.0.3-1。

表 1.0.3-1 AC-13 混合料用普通沥青主要指标

项目 \ 试样	滨州 90 号	
	原样沥青	薄膜烘箱老化后
针入度/0.1mm	94.2	52.9
10℃延度/cm	>100	99
15℃延度/cm	>100	>100
软化点/℃	47.2	52.5

表 1.0.3-2 AC-13 混合料用改性沥青主要指标

项目 \ 试样	SBS 改性沥青
针入度/0.1mm	79.4
5℃延度/cm	46.7
10℃延度/cm	>100
15℃延度/cm	>100
软化点/℃	75.0

表 1.0.3-3 AC-13 混合料矿料级配

方孔筛 (mm)	通过率 (%)			
	设计级配	规范 AC-13 型		
		中值	下限	上限
16	100.00	100	100	100
13.2	97.61	95	90	100
9.5	78.19	76.5	68	85
4.75	48.19	53	38	68
2.36	32.96	37	24	50
1.18	21.39	26.5	15	38
0.6	16.24	19	10	28
0.3	11.14	13.5	7	20
0.15	8.23	10	5	15
0.075	6.38	6	4	8

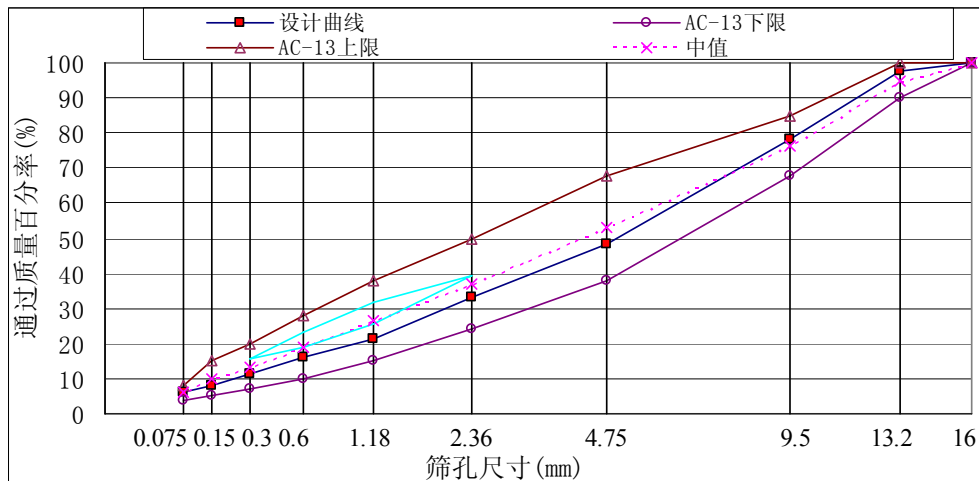


图 1.0.3-1 AC-13 混合料矿料级配

通过试验，普通沥青 AC-13 的最佳油石比为 4.7%，改性沥青 AC-13 的最佳油石比为 4.8%。温拌、热拌沥青混合料的性能见表 1.0.3-4、表 1.0.3-5。

表 1.0.3-4 温拌、热拌 AC-13 普通沥青混合料性能对比

项目	马歇尔稳定度 (kN)	流值 (mm)	浸水马氏残留稳定度比 (%)	冻融劈裂残留强度比 (%)	车辙试验动稳定度 (次/mm)	渗水系数 ml/min
温拌 AC13	12.9	2.3	83.6	86.4	2012	35
热拌 AC13	13.3	2.6	83.3	81.5	1294	40
规范要求值	≥8	1.5-4	≥80	≥75	≥1000	≤120

表 1.0.3-5 温拌、热拌 AC-13 改性沥青混合料性能对比

项目	马歇尔稳定度 (kN)	流值 (mm)	浸水马氏残留稳定度比 (%)	冻融劈裂残留强度比 (%)	车辙试验动稳定度 (次/mm)	渗水系数 ml/min
温拌改性 AC13	13.5	2.3	86.4	89.3	3588	56
热拌改性 AC13	13.9	2.6	85.9	85.1	3348	67
规范要求值	≥8	1.5-4	≥85	≥80	≥2800	≤120

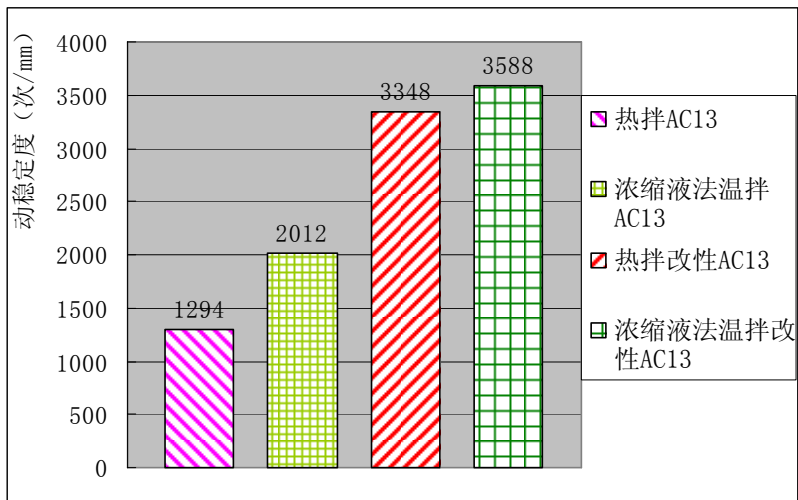


图 1.0.3-2 温拌、热拌 AC-13 动稳定度对比

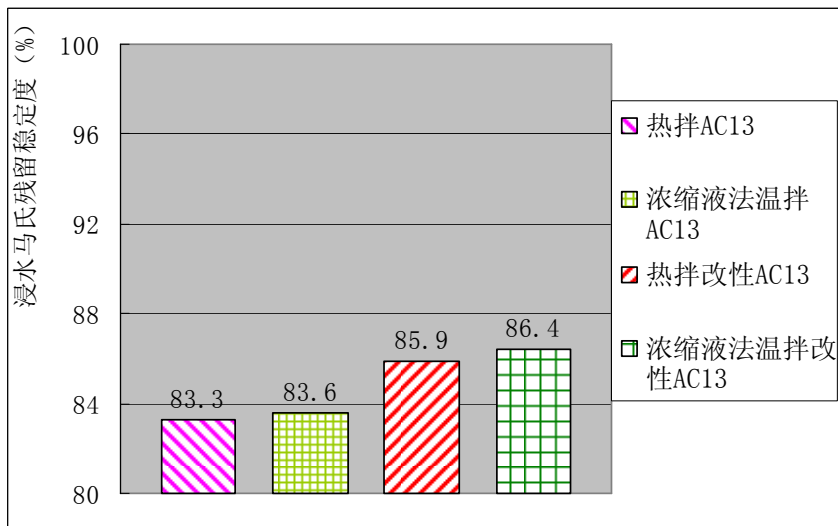


图 1.0.3-3 温拌、热拌 AC-13 浸水马氏残留稳定度对比

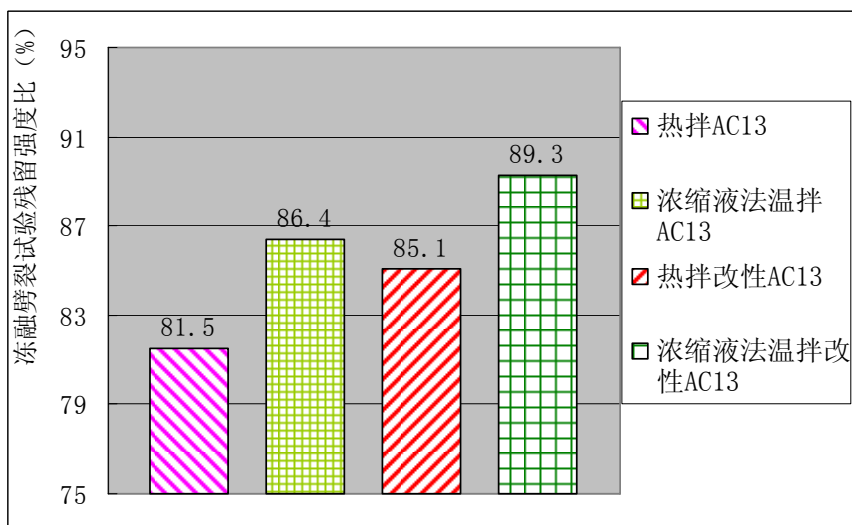


图 1.0.3-4 温拌、热拌 AC-13 冻融劈裂残留强度对比

根据上表和上图得知，在集料、级配、沥青完全一致，试件空隙

率基本接近的情况下：①高温稳定性。对于普通沥青，温拌沥青混合料的动稳定度提高显著。温拌 AC-13 沥青混合料的动稳定度由热拌的 1294 次/mm 提高到 2012 次/mm，温拌比热拌高出 55%；对于改性沥青，温拌混合料的动稳定度略大于相应的热拌沥青混合料。②抗水损坏性能。不论普通沥青还是改性沥青，温拌 AC 沥青混合料的浸水马氏残留稳定性和冻融劈裂残留稳定性均比热拌 AC 沥青混合料的略高，说明温拌 AC 沥青混合料的抗水损坏性能比热拌 AC 沥青混合料略有提高。

(2) 温拌、热拌 SMA-13 沥青混合料性能对比

粗集料采用河北张家口玄武岩，细集料采用石灰岩，SBS 改性沥青指标同表 1.0.3-2，级配如表 1.0.3-6。温拌、热拌 SMA-13 沥青混合料性能试验结果如表 1.0.3-7、表 1.0.3-8，表 1.0.3-8 中的双改性指采用 SBS 改性沥青和湖沥青同时改性。

表 1.0.3-6 SMA-13 混合料矿料级配

方孔筛 (mm)	通过率 (%)			
	选择级配	规范 SMA-13 型		
		中值	下限	上限
16	100.00	100	100	100
13.2	95.00	95	90	100
9.5	62.50	62.5	50	75
4.75	27.00	27	20	34
2.36	20.50	20.5	15	26
1.18	19.00	19	14	24
0.6	16.00	16	12	20
0.3	13.00	13	10	16
0.15	10.92	12	9	15
0.075	9.13	10	8	12

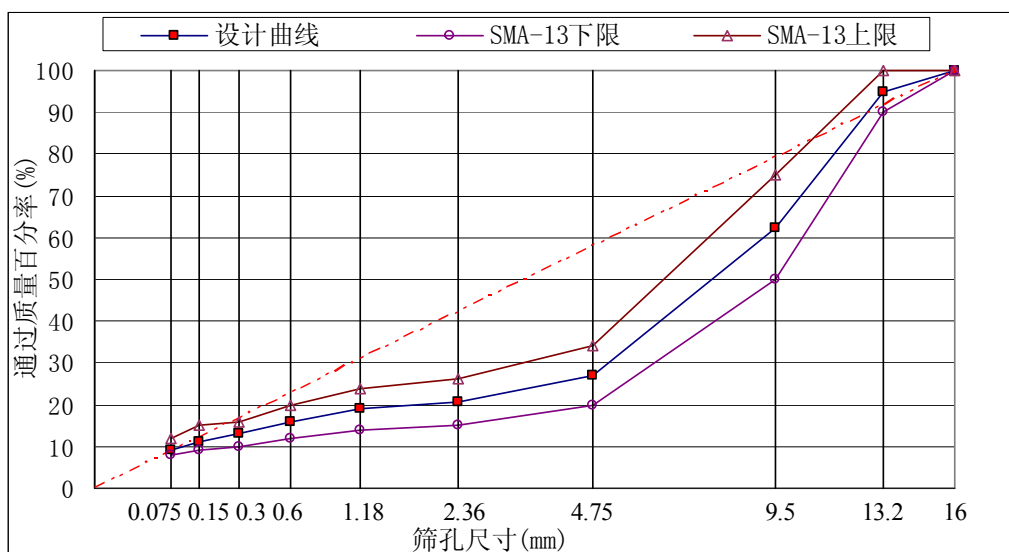


图 1.0.3-5 SMA-13 混合料矿料级配

表 1.0.3-7 温拌、热拌 SMA-13 改性沥青混合料性能对比

检测项目	马歇尔 稳定度 /kN	流值 /mm	浸水马氏 残留稳定 度/%	冻融劈裂 残留强度 比/%	车辙动稳 定度/(次 /mm)	谢伦堡 析漏损 失/%	肯塔堡 飞散损 失/%	渗水系数 /(ml/min)
温拌 SMA-13	7.4	4.0	97.0	92.4	5384	0.05	3.0	20
热拌 SMA-13	8.7	3.9	96.7	88.1	5131	0.06	3.1	20
规范要求	≥6.0	---	≥80	≥80	≥3000	≤0.1	≤15	≤80

表 1.0.3-8 温拌、热拌 SMA-13 双改性沥青混合料性能对比

检测项目	马歇尔 稳定度 /kN	流值 /mm	浸水马氏 残留稳定 度/%	冻融劈裂 残留强度 比/%	车辙动稳 定度/(次 /mm)	谢伦堡 析漏损 失/%	肯塔堡 飞散损 失/%	渗水系数 /(ml/min)
温拌 SMA-13	9.0	---	98.8	85.4	9002	0.04	2.6	0
热拌 SMA-13	---	---	94.1	84.1	6432	0.08	6.9	0
规范要求	≥6.0	---	≥80	≥80	≥3000	≤0.1	≤15	≤80

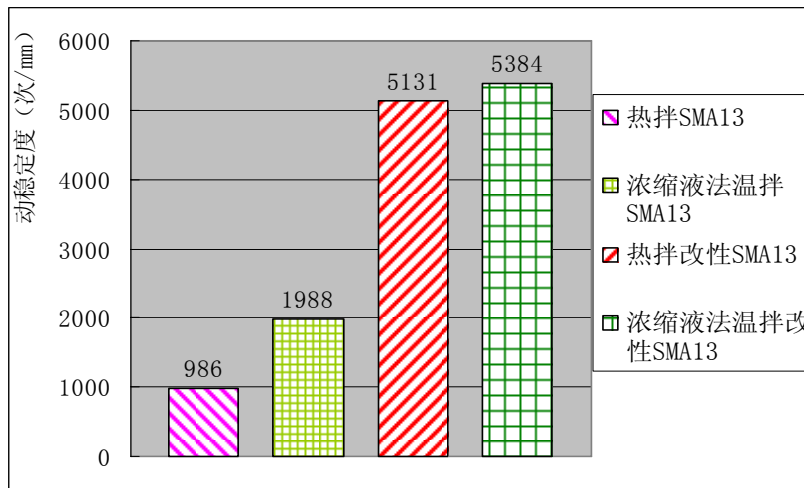


图 1.0.3-6 温拌、热拌 SMA-13 动稳定度对比

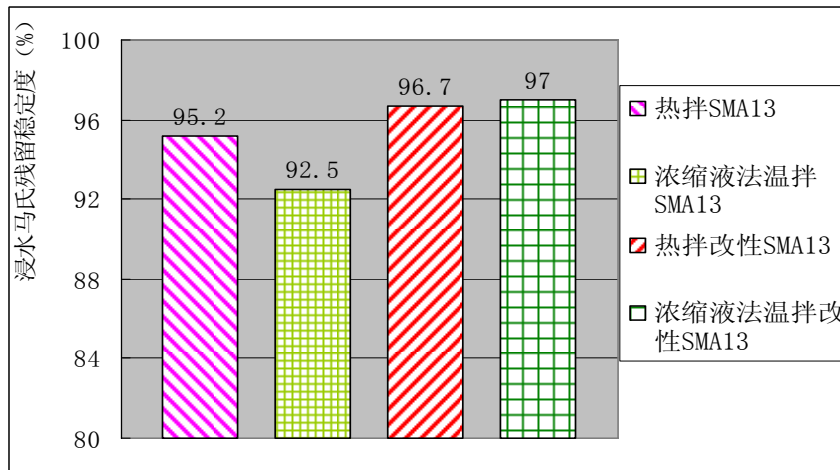


图 1.0.3-7 温拌、热拌 SMA-13 浸水马氏残留稳定度对比

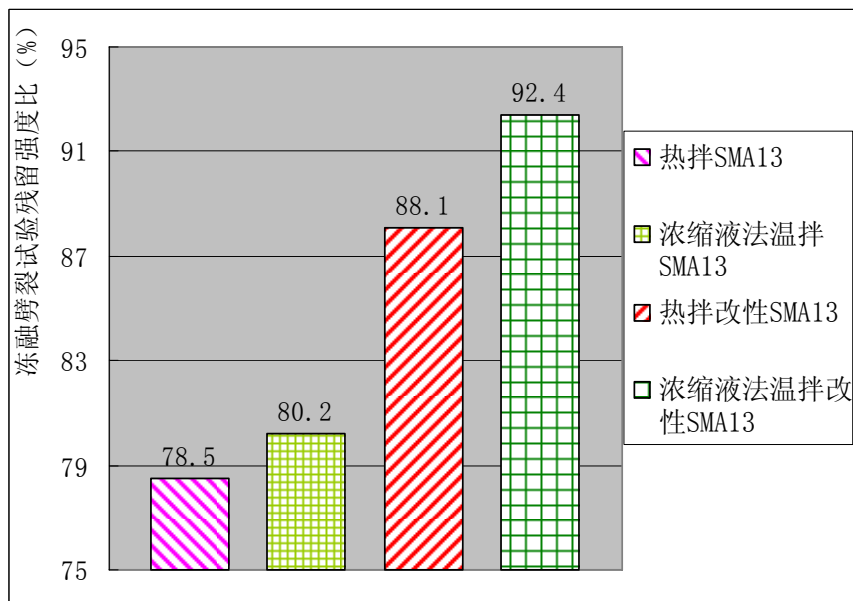


图 1.0.3-8 温拌、热拌 SMA-13 冻融劈裂残留强度对比

与温拌 AC 沥青混合料一样，在集料、级配、沥青完全一致，试件空隙率基本接近的情况下：①高温稳定性。对于改性沥青，温拌 SMA 混合料的动稳定度略大于相应的热拌沥青混合料。②抗水损坏性能。对于改性沥青，温拌 SMA 沥青混合料的浸水马氏残留稳定性和冻融劈裂残留稳定性比热拌 SMA 沥青混合料的略高，说明温拌 SMA 沥青混合料的抗水损坏性能比热拌 SMA 沥青混合料略有提高。

(3) 温拌、热拌沥青混合料疲劳性能对比

采用常用的 AC 类和 SMA 类混合料进行疲劳性能评价。AC 类选取普通沥青混合料，SMA 类选取改性沥青混合料。试验结果见表 1.0.3-9、表 1.0.3-10。

表 1.0.3-9 热拌、温拌 AC-13 沥青混合料的疲劳寿命

混合料	应变水平 (微应变)	疲劳寿命 N_f (次数)				与相应热拌沥青混合料疲劳寿命之比
		试件 1	试件 2	试件 3	平均值	
热拌 AC-13 沥青混合料	150	461550	446999	417067	441872	
	300	19499	27461	14250	20403	
	450	3757	2728	2832	3106	
温拌 AC-13 沥青混合料	150	744146	459442	388499	530696	1.20
	300	21064	24377	18623	21355	1.05
	450	3179	3256	2894	3110	1.00

一般情况下，沥青类材料的疲劳规律的基本表达形式可表示为公式 (1.0.3)：

$$N_f = k \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^n \quad (1.0.3)$$

式中： N_f ---沥青混合料的疲劳寿命；

ε -应变

k, n —系数

将以上热拌和温拌 AC-13 沥青混合料的疲劳寿命试验结果绘制到图 1.0.3-9 中，其中纵坐标疲劳寿命采用对数坐标。按照公式 (1.0.3) 中疲劳寿命和应变水平乘幂的相关关系，分别拟合热拌和温拌 AC-13 沥青混合料的疲劳曲线，见图 1.0.3-9。

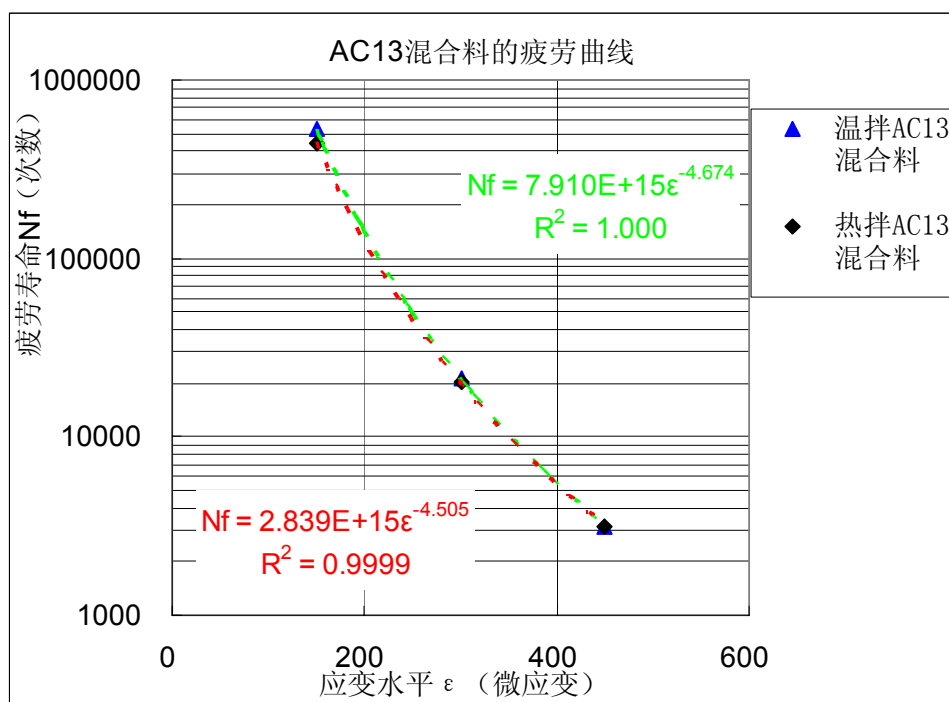


图 1.0.3-9 温拌、热拌 AC-13 沥青混合料的疲劳寿命

根据公式 (1.0.3) 拟合出温拌 AC-13 沥青混合料的疲劳规律为:

$$N_f = 7.910 \times 10^{15} \times \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^{4.674}$$

同样地, 拟合出热拌 AC-13 沥青混合料的疲劳规律为:

$$N_f = 2.839 \times 10^{15} \times \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^{4.505}$$

其中, N_f = 疲劳寿命次数, ϵ = 应变水平 (微应变, 即 10^{-6} mm/mm)

根据疲劳试验的结果可见: 在低应变水平下 (150 微应变), 温拌 AC-13 沥青混合料的疲劳寿命是热拌沥青混合料的 1.20 倍, 但相对于疲劳试验结果离散程度较大的情况, 说明两者比较接近; 在较高应变水平下 (300 微应变和 450 微应变), 温拌和热拌 AC-13 沥青混合料的疲劳寿命更加接近。

从疲劳试验数据和疲劳曲线来看, 温拌 AC-13 沥青混合料的疲劳性能可达到相应的热拌 AC-13 沥青混合料, 两者比较接近。说明采用温拌技术不会降低沥青混合料的疲劳性能, 并且疲劳寿命有增加的趋势。

表 1.0.3-10 热拌、温拌改性 SMA-13 沥青混合料的疲劳寿命

混合料	应变水平	疲劳寿命 N_f (次数)				与相应热拌沥青混合料疲劳寿命之比
		试件 1	试件 2	试件 3	平均值	
热拌混合料 SMA-13	200	714308	582543	501420	599424	
	400	31319	28898	38996	33071	
	600	5699	6066	6432	6066	
温拌混合料 SMA-13	200	1184785	953697	1297910	1145464	1.91
	400	37356	42499	48770	42875	1.30
	600	8499	9852	10151	9501	1.57

将以上热拌和温拌 SMA-13 沥青混合料的疲劳寿命试验结果绘制到图 1.0.3-10 中,其中纵坐标疲劳寿命采用对数坐标。按照公式(1.0.3)中疲劳寿命和应变水平乘幂的相关关系,分别拟合热拌和温拌 SMA-13 沥青混合料的疲劳曲线,见图 1.0.3-10。

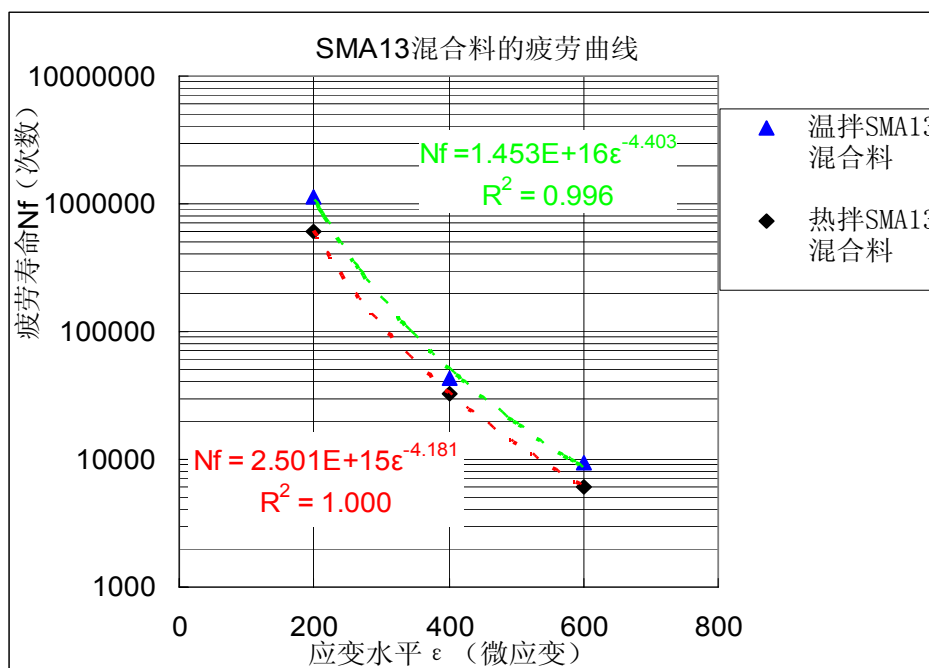


图 1.0.3-10 温拌、热拌 SMA-13 沥青混合料的疲劳寿命

根据公式 (1.0.3) 拟合出温拌 SMA-13 沥青混合料的疲劳规律为:

$$N_f = 1.453 \times 10^{16} \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{4.403}$$

同样地，拟合热拌 SMA-13 沥青混合料的疲劳规律为：

$$N_f = 2.501 \times 10^{15} \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{4.181}$$

其中， N_f = 疲劳寿命次数， ε = 应变水平（微应变，即 10^{-6} mm/mm）

根据以上疲劳试验的结果和疲劳曲线来看，在混合料级配和沥青用量等条件完全一样的情况下，温拌 SMA-13 沥青混合料的疲劳性能明显好于热拌 SMA-13 沥青混合料。在较高应变水平下（400 微应变和 600 微应变），温拌 SMA-13 沥青混合料的疲劳寿命分别是热拌的 1.30 倍和 1.57 倍；在低应变水平下（200 微应变），温拌 SMA-13 沥青混合料的疲劳寿命更是大大提高，达到了热拌沥青混合料的 1.91 倍。

由此可见，温拌沥青混合料的性能完全能达到相应热拌沥青混合料的要求，部分指标还有所提高。

研究还表明，采用表面活性剂法的温拌沥青混合料技术，可显著降低温室气体和有毒气体的排放，在较低温度下仍有良好压实性能。

经国家环境分析测试中心检测，与热拌沥青混合料相比，温室气体排放减少 50% 以上，沥青烟排放减少 80% 以上，具体数据见表 1.0.3-11、表 1.0.3-12。

表 1.0.3-11 沥青拌和厂各类气体排放情况

测试项目	单位	热拌混合料	温拌混合料	下降幅度 (%)
二氧化碳 CO ₂	%	2.5	1	60.0
氮氧化物 NO _x	mg/m ³	146	40	72.6
二氧化硫 SO ₂	mg/m ³	13.3	3.3	75.2
烟尘	g/m ³	49.7	25.9	47.9

注 1：热拌沥青混合料的出料温度为 150℃ 左右；温拌沥青混合料的出料温度为 120℃ 左右。

表 1.0.3-12 施工现场各类气体排放情况

测试项目	单位	热拌	温拌	减少幅度 (%)
沥青烟	mg/m ³	21.1	1.7	91.9
苯可溶物	mg/m ³	19.5	0.581	97.0
苯并[a]芘	μg/m ³	0.0944	0.0187	80.2



图 1.0.3-11 温拌沥青排放



图 1.0.3-12 热拌沥青排放

对温拌沥青混合料的可压实性能进行了研究，在矿料级配、油石比和压实条件相同的情况下，温拌和热拌沥青混合料的可压实性见表 1.0.3-13、表 1.0.3-14、表 1.0.3-15、图 1.0.3-13、图 1.0.3-14、图 1.0.3-15。

表 1.0.3-13 热拌改性 AC-13 不同出料温度下试件的空隙率

出料温度 (°C)	175	165	155	145	135	125	115	105	85
空隙率 (%)	3.7	4.16	4.45	4.74	4.8	5.01	5.54	6.03	6.45

表 1.0.3-14 温拌改性 AC-13 不同出料温度下试件的空隙率

出料温度 (°C)	145	135	125	115	105	95	85	75
空隙率 (%)	3.5	4	4.4	4.4	4.2	4.3	5.1	6.3

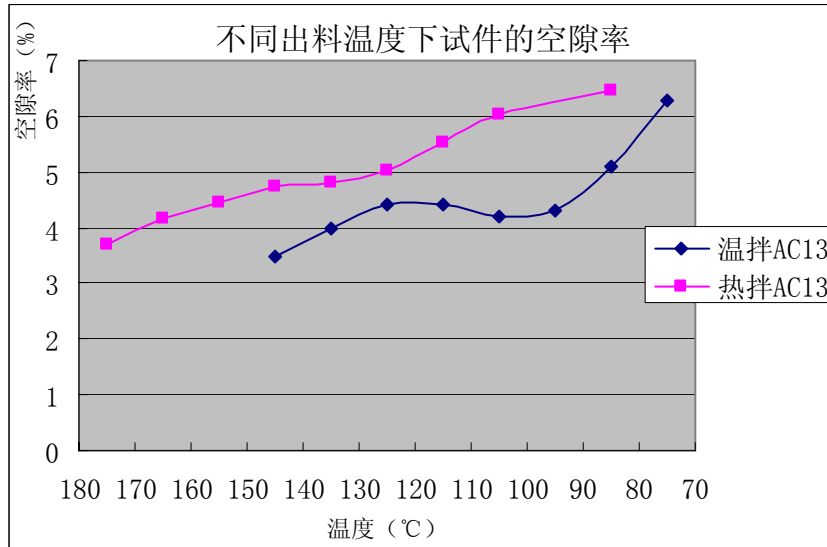


图 1.0.3-13 温拌和热拌改性 AC 不同出料温度下的空隙率

表 1.0.3-15 温拌改性 SMA 不同出料温度下的空隙率

出料温度 (°C)	140	130	120	110	100	90	80
空隙率 (%)	3.4	3.9	4.1	4.0	4.3	5.0	5.8

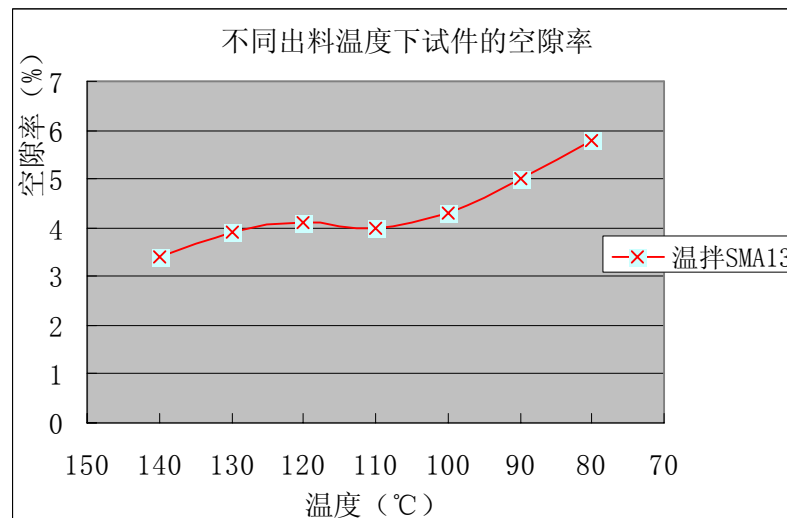


图 1.0.3-14 温拌改性 SMA 不同出料温度下的空隙率

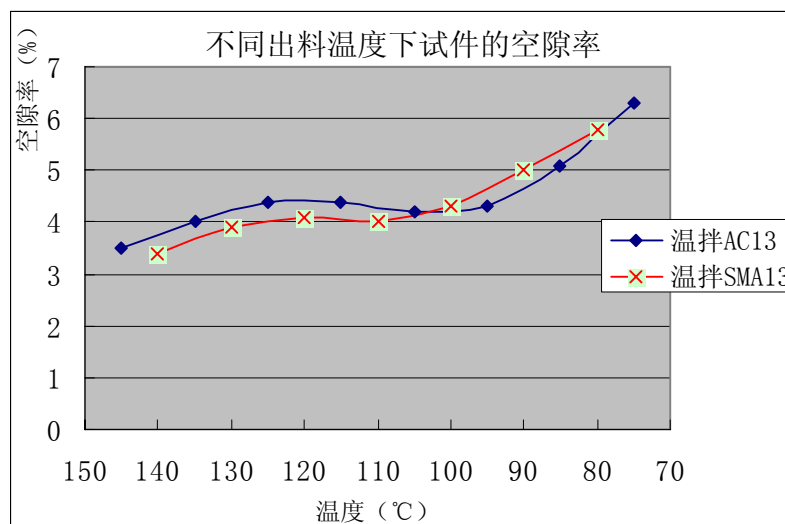


图 1.0.3-15 AC 类和 SMA 类温拌混合料的空隙率比较

由上述图表可以发现,AC 类温拌沥青混料压实温度在 90℃ 到 130℃ 之间时,所成型试件的空隙率出现了一个“平台区域”,其空隙率处于 4.0% 到 4.4% 之间。这说明 AC 类温拌沥青混合料在此温度范围内压实性能变化不大,均具有良好的可压实性能。SMA 类温拌沥青混合料也有类似的现象。

综上所述,温拌沥青混合料完全能达到相应热拌沥青混合料的性能,部分指标还有所提高,同时还其具有有害气体排放少和在较低温度下仍有良好压实性能等特点。因此本指南 1.0.3 规定,温拌沥青混合料和热拌沥青混合料一样,适用于路面工程的各沥青结构层,并尤其适用于:①对环保要求高的城市道路、人口密集区道路、隧道道面、地下结构工程道面等工程;②道路维修养护时压实较困难的罩面工程;③早春、秋末及初冬施工环境温度较低时的工程。

温拌沥青混合料技术既可用于各种级配类型的混合料(密级配沥青混合料 AC、沥青玛蹄脂碎石 SMA、沥青稳定碎石 ATB、沥青碎石 AM、排水式沥青磨耗层 OGFC 等),也可用于不同胶结料(普通沥青、改性沥青、橡胶沥青等)的混合料以及添加了其他材料(湖沥青、岩沥青、抗车辙剂等)的沥青混合料,应用时应进行混合料设计和混合料性能检验。

1.0.4 根据已有的工程经验证明，温拌沥青混合料的施工环境温度可适当降低。在本条规定的最低环境温度下，只要压实机具和工艺满足本指南要求，路面压实度可达到规定要求。根据分析和现场施工情况，温度仍有下降空间，至于能下降多少，有待进一步研究和验证。因此，只要压实度能满足要求，允许降低施工环境温度。但不得在雨天、路面潮湿的情况下施工。

2 材料

温拌沥青混合料除需使用的温拌添加剂外，其他使用的材料与热拌沥青混合料基本一致，因此应按《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 的相关要求执行，不再作专门规定，但应注意温拌添加剂与沥青的配伍性问题。

3.2 由于温拌沥青混合料技术的种类较多（目前基本分为四大类），采用的温拌添加剂也不一样，并还在不断地发展，因此无法对温拌添加剂作明确的规定。本指南只对温拌添加剂添加后沥青混合料的降温幅度、性能以及施工过程中额外有毒有害气体的排放做出基本规定。

目前，北京已对表面活性剂法的温拌沥青混合料技术进行了系统研究。其他三类只开展了室内试验，未铺筑试验工程，效果和性能有待进一步验证。

对于表面活性剂法的温拌技术，温拌添加剂的关键指标是 PH 值、胺值和固含量（固体有效含量），施工过程中可根据产品说明书对其进行检验。检测可按照如下方法进行：

表面活性温拌添加剂检测方法

1)、PH 值的测定。

PH 值是指添加剂溶液的酸碱度，它是一个表面活性剂活性特性指标。测试方法如下：

1.1 采用 PH 计进行 PH 值的测试。

PH 计宜带有温度补偿功能。PH 计在使用前必须经过标定，确保 PH 计正常工作。

1.2 温拌添加剂取样时应先充分搅拌，以确保取样均匀。

1.3 测试酸值时温拌添加剂样品的温度为 $25\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，并在测试过程中保持适度搅拌。

1.4 由于添加剂的缓释效应，PH 计读数如果能稳定保持 ≥ 0.5 分钟即可取为最终的酸值结果。

2)、固含量的测定。

固含量指添加剂去除可挥发成分后的含量，表征有效成分在混合料的最终残留量。测试方法如下：

2.1 常温下称取 $20\text{g}\pm 0.02\text{g}$ 温拌添加剂，放入洁净的 1000ml 烧杯中，记录温拌添加剂与烧杯的总质量为 M_1 。

2.2 将盛有温拌添加剂的烧杯在 110°C 烘箱中放置 5 小时后取出，待冷却至室温后记录其总质量为 M_2 。固含量 R 的计算公式为：

$$R = \frac{(20 - M_1 + M_2)}{20} \cdot 100$$

3)、胺值的测定。

胺值是表面活性添加剂常用特定（活性）成分性指标，通过检测胺值，可以用于添加剂活性的初步确认。测试仪器和方法如下：

3.1 化学试剂和设备如下：

- ① 异丙醇
- ② 0.5 摩尔/升的标准盐酸溶液
- ③ 天平，精确度 0.001g
- ④ 烧杯，250 毫升
- ⑤ 磁力搅拌器
- ⑥ 50 毫升滴定管，精确度 0.1ml
- ⑦ 蒸馏水、纯净水
- ⑧ 精密 PH 计

3.2 样品测试步骤：

① 加入 28~30 克左右的添加剂样品到烧杯中，同时记录实际重量，精确度为 0.01g。

② 往烧杯中加入 $90\text{g}\pm 3\text{g}$ 异丙醇的水溶液（异丙醇：蒸馏水重量比=75：25）。

③ 放入磁力搅拌转子，将烧杯放置于磁力搅拌器上，搅拌至充分溶解。

④ 用 PH=7 和 PH=4 的标准溶液，标定 PH 计。

⑤ 往滴定管里（50 毫升，精度 0.1ml）加入 0.5 摩尔/升标准盐酸，

并记录体积。

⑥ 将 PH 计插入溶液中。

⑦ 缓慢的往烧杯里滴定加入 0.5 摩尔/升标准盐酸，同时观测 PH 计显示读数。

⑧ 当读数接近 7.5 时，逐滴滴入标准盐酸，直到使 PH 值达到 7.5 并保持稳定，记下此时滴管的刻度；继续加入盐酸，当读数接近 3.5 时，逐滴滴入标准盐酸，直到使 PH 值稳定在 3.48~3.52 之间。

⑨ 记录终点的滴管读数。滴定 PH 值为 7.5 时的读数减去结束时读数为标准盐酸的用量。用以下的公式计算胺值。

3.3 胺值计算公式

$$\text{胺值} = \frac{V_a \times N \times 56.1}{S_a \times R}$$

其中：

胺值单位：mg/g

N 为盐酸标准溶液的摩尔浓度，mol/L

V_a 为滴定消耗的盐酸体积，mL

S_a 为实际的温拌添加剂样品量，g

5 配合比设计

5.3 北京对温拌橡胶沥青混合料技术也进行了研究，并铺筑了试验工程。温拌橡胶沥青混合料用橡胶沥青、矿料级配试验结果如表 5.3-1、表 5.3-2、图 5.3-1。

表 5.3-1 AR-AC-13 混合料用橡胶沥青主要指标

项 目	试验结果	指南指标
180℃旋转黏度/ Pa.s	3.28	1.0~4.0
25℃针入度/ 0.1mm	68.8	60~80
软化点/ °C	58.6	>47
弹性恢复/ %	83	>55
5℃延度/ cm	15.6	>10

注：指南指《北京市废胎胶粉沥青及混合料设计施工技术指南》（京路科安发[2006]912号）。下同

表 5.3-2 AR-AC-13 混合料矿料级配

孔筛 (mm)	通过率 (%)	
	设计级配	指南参考级配
16	100	100
13.2	95.43	95
9.5	65.69	65.6
4.75	30.00	30.0
2.36	23.60	23.5
1.18	18.38	18.4
0.6	14.45	14.5
0.3	11.42	11.4
0.15	8.44	8.9
0.075	7.05	7.0

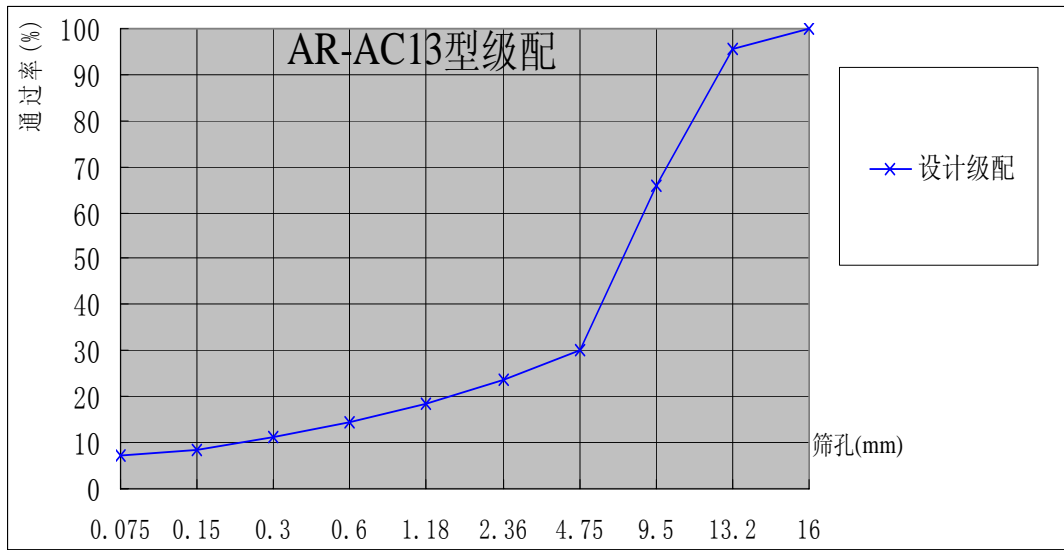


图 5.3-1 AR-AC-13 混合料矿料级配

通过试验，橡胶沥青混合料 AR-AC-13 的最佳油石比为 6.2%。
温拌、热拌橡胶沥青混合料 AR-AC-13 的性能见表 5.3-3。

表 5.3-3 温拌、热拌 AR-AC-13 混合料性能对比

项目	出料温度 (°C)	马歇尔稳定度 (流值 3 mm 时) (kN)	浸水马氏残留稳定度比 (%)	冻融劈裂残留强度比 (%)	车辙试验动稳定度 (次/mm)	车辙试验相对变形 (%)	渗水系数 (ml/min)
温拌 AR-AC	145	8.12	90.8	85.0	5192	2.6	基本不透
热拌 AR-AC	185	8.30	91.4	83.8	5027	3.0	基本不透
指南要求值	—	≥8	≥85	≥80	≥3000	≤3	≤100

注:按指南超重交通、上面层确定技术要求

由上表可见，温拌橡胶沥青混合料的性能也完全能达到相应热拌橡胶沥青混合料的要求。

6 温拌沥青混合料的拌制和运输

6.1.3 采用的温拌沥青混合料技术种类的不同，其温拌添加剂的状态（如：颗粒状、粉末状、胶体状、液态等）是不一样的，因此添加的工艺和方法也不同。

对于表面活性剂法温拌技术，目前一般采用的添加剂为表面活性剂的浓缩液（液态），添加方法为在沥青混合料拌和过程中直接将温拌添加剂喷淋到拌和设备的拌和缸中。因此必需在沥青混合料拌和设备上安装浓缩液的喷淋装置，浓缩液喷淋装置的计量应正确，浓缩液喷淋的计量和是否正常喷淋宜在拌和设备的控制台上在线显示，以保证添加剂的足量和正常添加，发现问题可及时采取措施。

对于有机添加剂法中的 Sasobit 合成蜡，该产品为白色固体颗粒状，可直接将固体颗粒添加到加热的沥青中搅拌均匀后使用。

6.1.4 对于采用表面活性剂的浓缩液时，宜在沥青混合料拌和设备的拌和缸上放设置排气口，以便及时将产生的水蒸汽排出，消除对矿料、沥青等材料称重计量的影响。