

微波厂拌热再生技术 系统性创新与工程实践

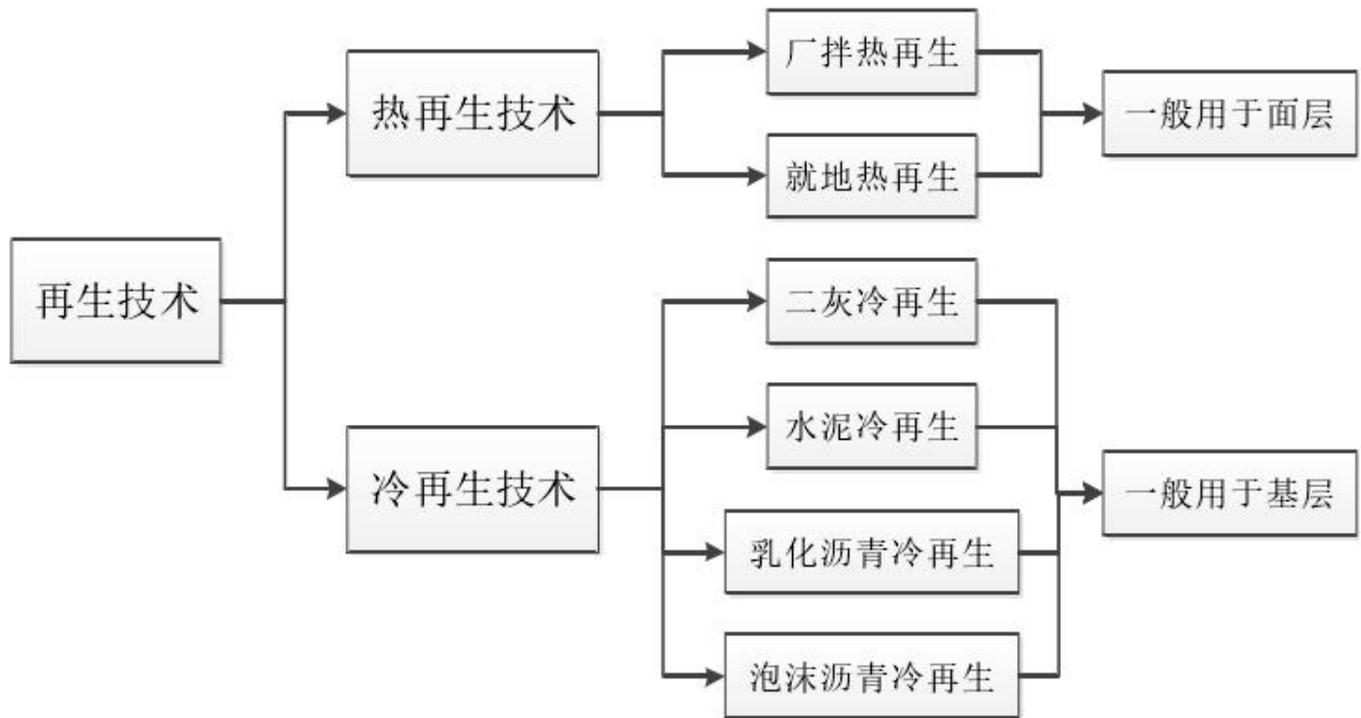
2025.06



目录

- 1、厂拌热再生优势分析
- 2、厂拌热再生痛点分析（一）~（二）
- 3、微波加热技术分析（一）~（六）
- 4、厂拌热再生技术+微波（一）~（十）
- 5、油石分离技术+微波
- 6、温拌技术+微波
- 7、坑槽养护+微波
- 8、当前研究重点
- 9、未来沥青路面养护市场分析
- 10、建议

沥青路面材料的平均寿命在十年左右，寿命到期可以重新利用，通常采用厂拌热再生、厂拌冷再生、就地热再生和就地冷再生等方式，不同再生方式拥有不同的特点和适用范围。综合来讲，厂拌热再生技术因再生工艺易于控制，再生后的沥青混合料性能比较理想，适合于所有沥青路面再生应用场景，得到了广泛应用。



就地热再生面临以下困难：

- 1、加热不均匀，容易损伤沥青性能；
- 2、再生深度不大；
- 3、级配调整幅度有限，制约了再生质量。

冷再生用做面层面临以下困难：

- 1、冷再生设计原理不成熟；
- 2、成品混合料性能，尤其是抗疲劳性能低于热拌沥青混合料；
- 3、掺配率不高；
- 4、再生工艺制约了再次再生。

目前，我国拥有约1.3万座沥青搅拌站，仅能将沥青路面回收料加热至较低温度，且加热不均匀，导致掺配率（成品料中应用旧料的含量）较低，一般仅为30%~50%左右，距离国家政策要求的循环利用率存在很大差距。若想提高掺配率，必须进一步提高回收料加热温度。**如何将沥青路面回收料不焦化不老化、快速安全加热至再生温度（170℃以上）或改性温度（180℃以上），是世界级难题！**

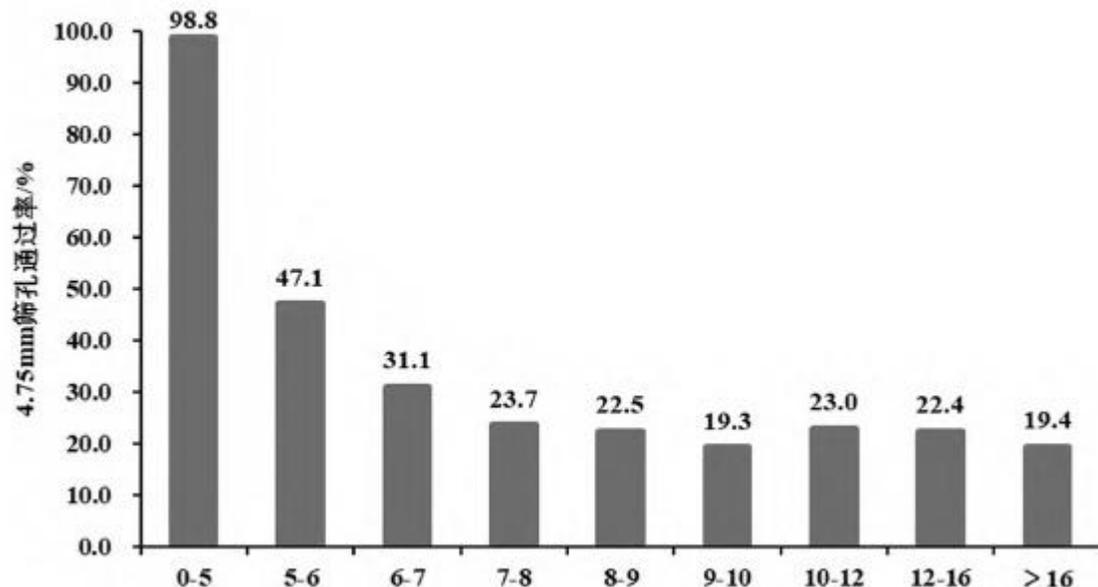
传统沥青再生搅拌站加热痛点分析

痛点	现象	原因	结果
加热不均匀	不同粒径骨料升温速度不同，粉细料升温快，大料粗料升温慢	采用以化石能源为燃料（烧油或烧气）的 高温加热 和 外部加热 模式	导致成品混合料降温快，运距和摊铺受到制约，降温快也导致再生剂和旧沥青的融合程度有限，再生质量不高
	石子内、外温度不同	传导加热，外部升温快，内部升温慢	
沥青容易老化、甚至焦化	冒白烟（回收料加热到105℃前）	回收料中水蒸气蒸发	只能将加热至130℃的旧料掺加在高温新集料（约190℃~200℃）中使用，成品料温度需要达到170℃以上，添加多了温度达不到，导致掺配率不高，一般在30%左右
	冒蓝烟（回收料继续加热，但不超过130℃）	沥青中芳香组分挥发，沥青老化，性能降低	
	冒黄烟（回收料加热到超过130℃以后）；温度再高，转为冒黑烟时即有着火危险	沥青焦化，性能产生不可逆损伤； 规范规定，传统沥青搅拌站加热回收料，温度不能超过130℃	
很多改性手段无法使用	纤维改性、橡胶改性、SBS改性等无法在高掺量再生时使用	众多改性手段皆需要成品混合料具有极高温度（180℃以上），常规加热方式难以实现	再生质量不高
剩余细料无法加热	采用油石分离或正常再生后剩余的细料无法加热，难以再生	粉细料无法直接进再生滚筒或原生滚筒，直接添加在过热新集料中使用比例有限	制约了资源化利用效率
旧料中的沥青难以充分再生	回收料中的老化沥青和再生剂浸润程度有限	再生剂、改性剂等仅能在拌缸内添加，搅拌时间仅几十秒钟，且降温快，无法充分发挥其效用	再生质量不高

为得到级配稳定、性能优良的再生沥青混合料, 需对RAP的级配变异性进行控制。在实验室进行配合比设计时, 依靠燃烧法或抽提法处理筛分后获得RAP的实际级配, 据此进行级配设计。但是在实际工程中, 不同预处理方式回收的RAP变异性 and 级配差异很大, 且同时存在假粒径现象。图示为某地回收料按不同粒径筛分后, 经燃烧后通过4.75mm筛孔情况, 可见6~7mm以上RAP集料通过4.75mm筛孔的通过率几乎都超过了20%, 这意味着RAP即使经过破碎筛分等预处理后仍**存在大量的假粒径现象**, 这导致要控制再生沥青混合料的级配非常困难。

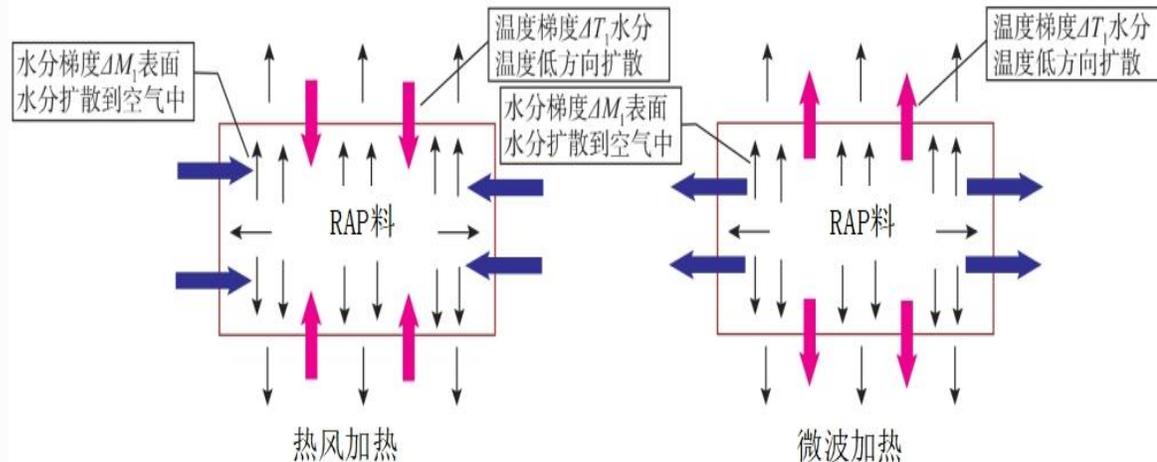
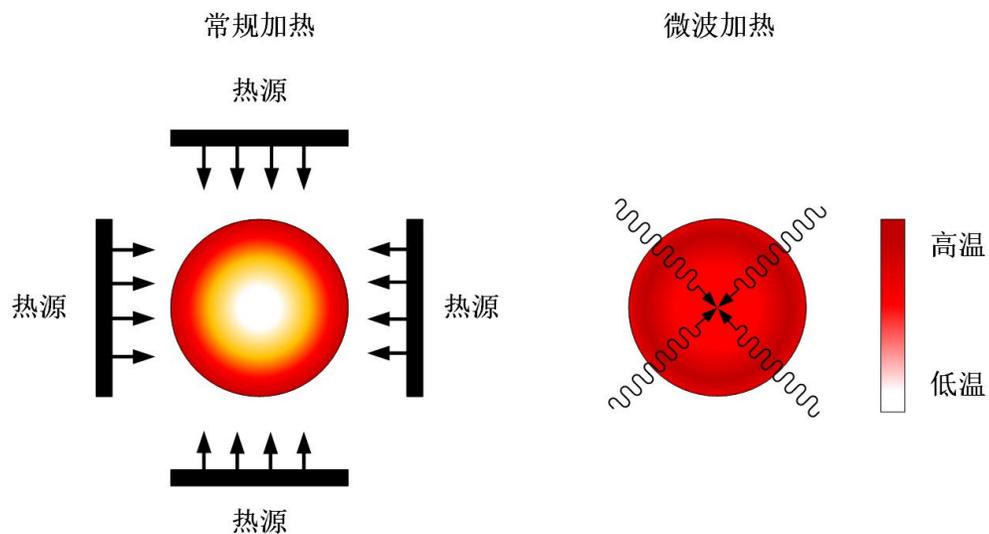
此外, 回收料中旧沥青含量越高, 对沥青混合料性能的提升难度也越大。

不同粒径RAP燃烧后矿料4.75mm筛孔通过率



不同预处理工艺分离效率不同

预处理工艺	RAP粒径范围/mm	油石比/%
反击破-直接筛分	0~10	4.9
	10~20	4.8
铣刨-双辊-多级联合筛分	0~13	5.0
	13~19	4.6
反击破-转子离心-多级联合筛分	0~5 (1号仓)	6.8
	0~5 (2号仓)	5.9
	5~10	1.0
	10~15	0.8



传统加热的原理是**热对流、热传导和表面热辐射**，即由于温度差引起的热能传递现象。其特点是热源温度高于废旧料温度，用**高温热源烘烤沥青废旧料**，通过热传递实现废旧料的温度升高，属于外加热。因此，容易造成废旧料的老化、焦化。比较有代表性的是热风加热、红外线加热等。

微波加热是一种依靠物体吸收微波能将其转换成热能，使自身整体同时升温的加热方式。与传统加热不同，集料内部不产生热传递，从常温逐步整体升高，**全程不接触高温**，具有高效、均匀、对沥青无损伤等独特优势，也称为内加热、降温慢，同时能有效促进集料中水分的排出。

相对于传统加热方式，微波加热属于内部加热和常温加热，加热的外部环境温度低，**对沥青性能损伤小**，在确保沥青不老化不焦化的前提下，可以快速直接把回收料直接加热至高温，具有无可比拟的优势。通过在传统再生滚筒下面添加微波加热箱，可将掺配率（成品料中应用回收料的比例）由原来的30%大幅提升至85%以上。

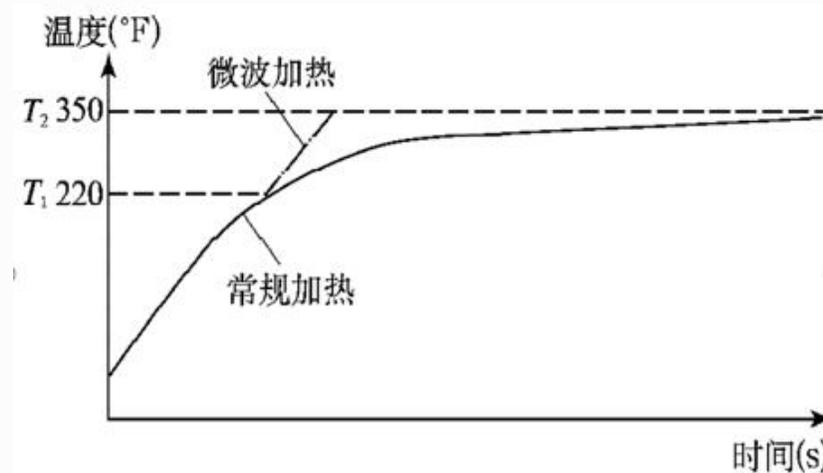
长安大学、山东高速、交通部公路科学研究院、重庆交通大学、东南大学、西安公路研究院等单位应用实验室用微波加热箱，快速高效直接把沥青混合料回收料加热到了再生温度，且沥青性能损伤很小，充分验证了微波加热的优势。

加热质量好

试验项目 \ 加热方式	模拟传统加热设备		微波加热	备注
	电炉丝烘箱	红外加热		
加热时间 (min)	198	28	4	加热快
针入度 (100g, 5g) (0.1mm)	52.1	41.5	70.2	原样沥青未老化75.6
软化点 (°C)	84	86.5	59.8	原样沥青未老化52
10°C延度 (5cm/min) (cm)	9.2	8	30	原样沥青未老化37
动稳定度试验结果 (次/mm)	4520	6540	1058	原样沥青混合料1045
浸水残留稳定度 (%)	86.5	74.1	87.4	原样沥青混合料90.5
冻融劈裂强度比 (%)	82.2	70.8	82.2	原样沥青混合料84.1

备注：郝培文老师课题组通过试验，验证了微波加热基本不损伤沥青性能；混合料类型选用AC-13细粒式沥青混合料，设计油石比（OAC）5.2%

加热速度快



Amoosh et al.通过研究微波对稠油的降黏机理发现，微波辐射高黏油具有“非热效应”，即高频微波给极性分子提供了一个额外的**转动矩**，使其作旋转运动，致使处于微波场中的**烃类大分子发生共振**，从而**导致大分子烃链断裂成小分子烃链**，宏观表现为稠油黏度降低，且这种降低具有不可逆性。蒋华义等人通过实验验证了这个效应。

我们通过室内微波加热RAP料和抽提的旧沥青试验也验证了上述事实。微波加热能够降低胶质、沥青质及长链烷烃分子链断裂的活化能，从而使再生温度降低，再生效果维持时间长，是实现沥青路面材料高掺量高质量再生的极佳方式。

RAP料抽提沥青在不同加热方式下的性能变化

加热方式	原状抽提沥青	微波加热后	烘箱加热后	微波加热相比烘箱加热性能提升比例
动力粘度 ((60°C) Pa·s)	3047.1	2823.8	3578.6	24.5%
针入度 (0.1mm)	26.1	28.8	19.0	37.5%
延度 ((15°C) cm)	5.5	6.9	5.1	32.7%
软化点 (°C)	57.2	54.5	58.5	7%

备注：1、不同的沥青变化程度不同，但总的趋势可以看出传统加热带来老化效应，微波加热带来再生效应。 2、应用微波加热，更易于实现高掺量再生；某些情况下，用烘箱做试验，是做不出高掺量再生结果的。 3、再生剂的作用非常重要。

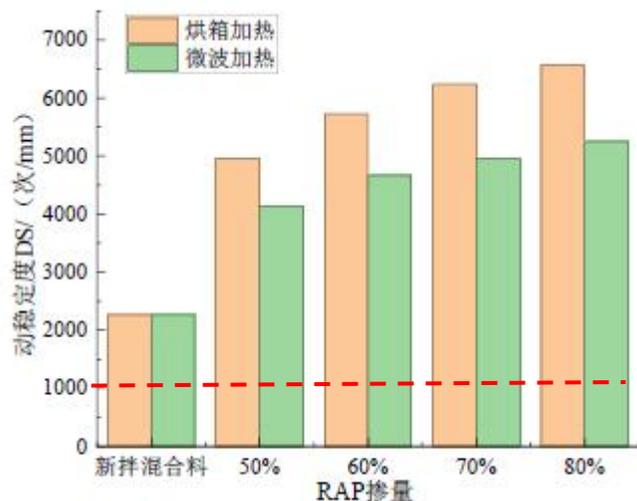
微波辐射前后稠油的黏度

油样	40°C (mPa.s)		
	作用前	作用后	黏度降低比例
胜利	3108	2442	21%
吐哈	4740	2030	57%
大港	316	272	14%
辽河	1447	1283	11%

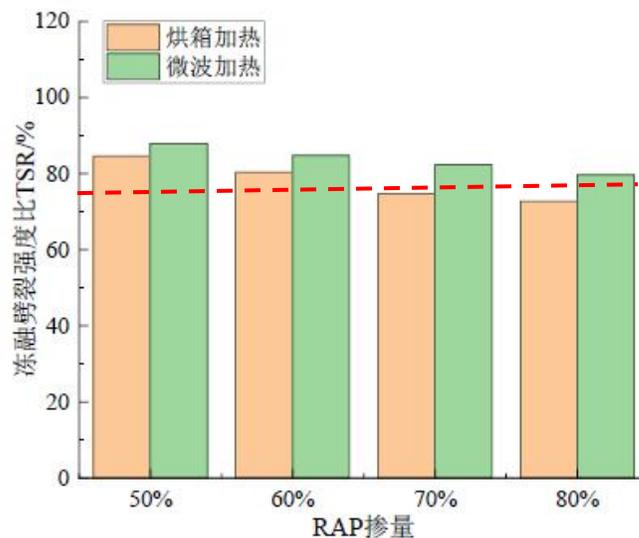
备注：1、微波辐射降粘在低温下更突出，重点在于改善低温流动性； 2、微波辐射降粘后的效果长时间不改变，具有不可逆性，抗老化程度好。

目前，长安大学、交通部公路科学研究院、重庆交通大学、东南大学、西安公路研究院院士工作站、山东高速集团等高校及科研机构应用中霖实验室用微波加热箱，充分验证了微波加热的优势。

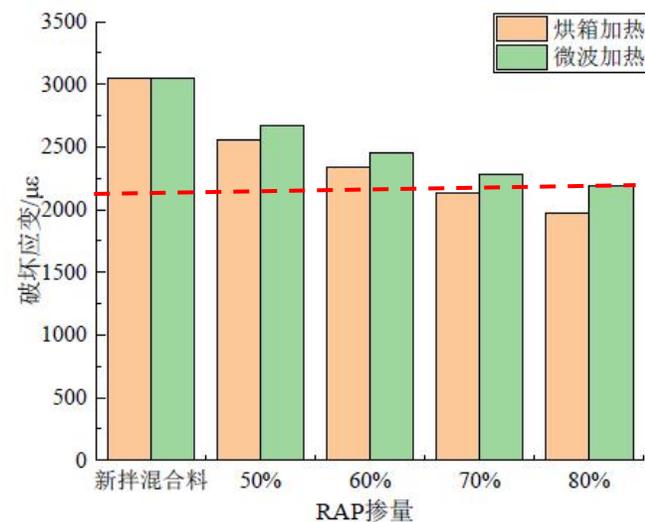
长安大学韩森教授团队应用中霖实验室用微波加热箱对微波加热集料、基于微波加热的大掺量热再生沥青混合料进行了深入研究。研究表明，与传统再生沥青混合料拌合站相比，微波加热再生混合料拌合站大幅提高了RAP的掺配率，且相比于传统加热方式，以**微波加热成型的试件具有更好的水稳定性、低温抗裂性能和抗疲劳性能**，且RAP掺量越大，微波对于再生沥青混合料性能提升幅度越大（备注：图中为未改性数据；改性手段添加后，改善比例有明显提升）。



混合料动稳定度试验结果



再生混合料冻融劈裂强度比TSR



再生不同RAP掺量再生混合料低温弯拉破坏应变

实验室用微波加热箱每次加热沥青废旧料常在百公斤以内，具有以下特点：

- **加热速度快：**可将传统烘箱加热速度由3~4小时缩短至3~4分钟，**提高速度60倍！**
- **加热性能好：**微波加热不需任何热传导过程，受热均匀，不仅避免了传统加热容易造成的沥青老化，**还具有再生效果，同传统加热方式有着本质不同。**
- **加热更环保：**加热时间短，产生的沥青蓝烟少，更节能，更环保。



能耗对比

项目		烘箱 (6KW)	微波 (6KW)
工作时间	预热时间 (min)	60	0
	加热时间 (min)	240	4
	保温时间 (min)	60	60
单次工作时间合计 (min)		360	65
单日最大工作次数 (次/日)		1	7
单次工作耗电量(度)		36	6.5
单次工作消耗电费 (元/次)		36	6.5
全年累计消耗电费 (元/年)		9000	1625
说明：以15KG沥青混合料为例，全年试验250次			



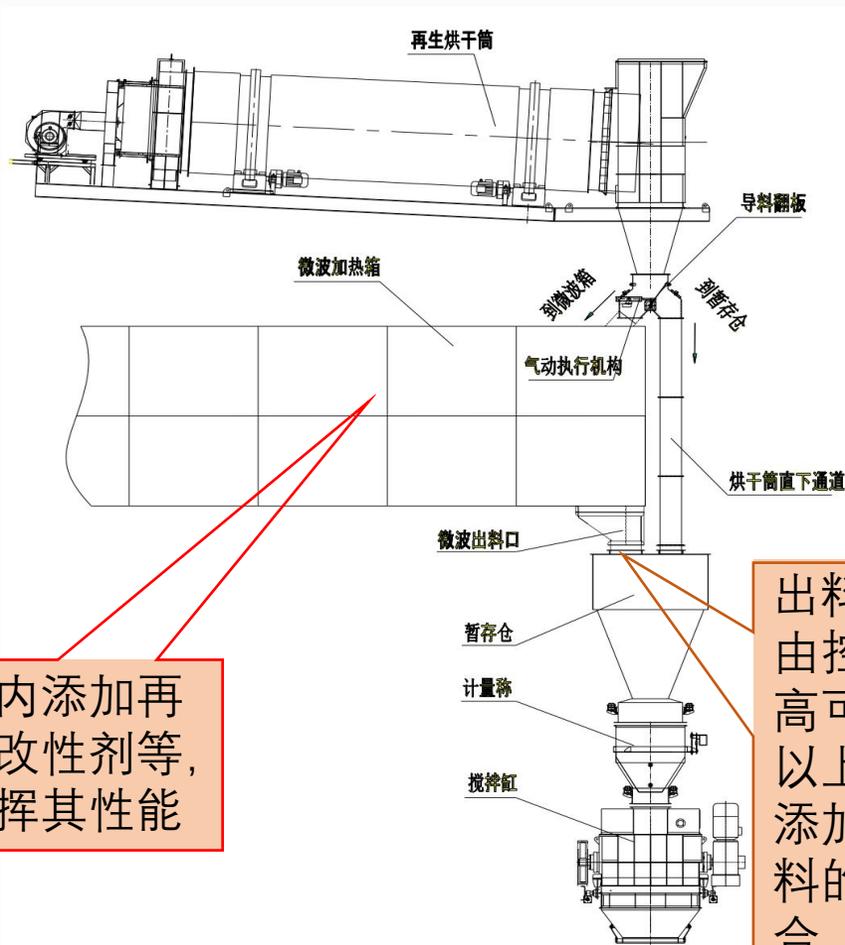
国内先后有7所高校、12家企业、58位硕士、10位博士参与微波再生研究，有四家企业科研投资超过1亿元。

通过在传统沥青搅拌站中添加微波加热箱，形成为微波搅拌站，可将沥青混合料回收料100%快速安全加热至再生温度（170℃以上），从根本上解决了回收料因传统高温加热导致的沥青老化、加热不均匀、掺配率过低等问题。

以下问题，是传统沥青再生搅拌站难以解决，添加微波箱后即可解决的问题：

- 1、加热不均匀：传统加热方式**烘不透**，集料内外温度不一致，导致**降温快**，运输距离短，摊铺工艺及质量受到限制，采用微波加热后，材料内外温度一致，降温慢，再生效果好；
- 2、加热温度低，速度慢：传统加热方式，采用顺流加热时，随着材料温度升高，温差明显变小，加热速度会变慢，采用逆流方式能好一些，但程度有限，采用微波加热可**快速实现高温**；
- 3、加热时容易造成沥青老化，导致沥青性能损伤：传统加热方式采用高温加热，产生蓝烟多，对沥青性能损伤大，逆流方式尤甚；但微波加热产生的蓝烟数量仅为传统加热方式的七分之一，对废旧沥青的性能还有一定提升作用。
- 4、再生剂和旧沥青融合程度有限，再生效果不好：高掺量再生，需要添加再生剂，采用传统沥青搅拌站，再生剂仅能在拌缸中添加，搅拌时间只有几十秒，再生效果不好，微波搅拌站中，再生剂可在微波箱中添加，大大延长了再生时间，提升了再生效果。
- 5、很多改性手段无法应用：行业有很多可以提升沥青性能的改性手段，但改性需要的混合料温度很高，传统沥青搅拌站无法实现，采用微波加热可以完美解决。





微波箱内添加再生剂、改性剂等，充分发挥其性能

出料温度自由控制，最高可达180℃以上，实现添加剂与旧料的充分融合

1、改造方案：将再生站原有RAP烘干筒拆下抬高，下方添加微波加热箱即可（如左图）；

2、运营功率和费用：1个小时内将150吨回收料提升10℃，需要600kw微波，相当于每吨料使用4度电（约3元钱），但回收料每提升10℃，掺配率可提升10%~15%，节省15~20元/吨，且再生质量好；

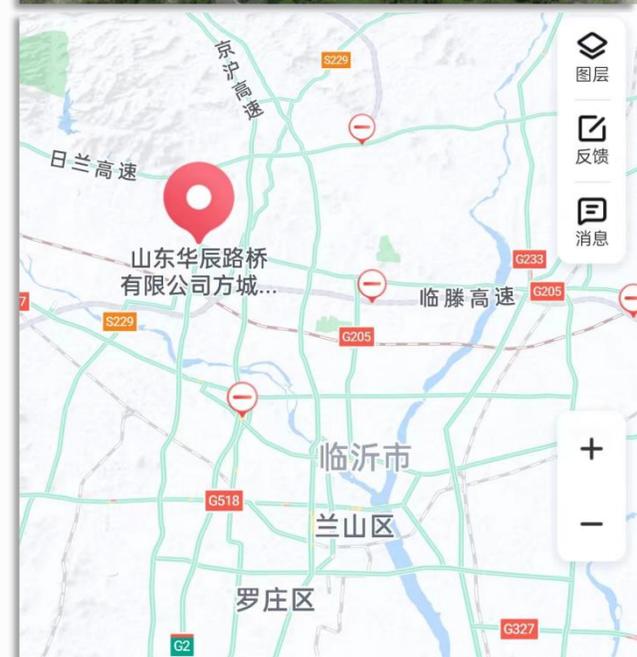
3、维修费用：微波磁控管使用寿命一般为8000小时，按常规生产量可使用10年，寿命到期更换非常方便，且费用不高；

4、安全性：微波箱采用密闭微波加热，辐射指标可以满足最严格的国家医疗设备标准，无使用风险；

5、可靠性：改造后不会影响原有搅拌站的任何功能，生产过程中，即使微波箱产生质量问题，搅拌站设备亦可自动转为依靠原品牌设备进行生产。

我们在传统的沥青搅拌站中添加微波加热箱，即可将再生烘干筒加热后的旧料，应用微波箱继续加热。微波箱功率可根据情况选用，常用组合情况如下。

方案编号	组合构成	再生额定产能	原生额定产能	微波额定产能	额定产能 (掺配率 60%)	额定产能 (掺配率 80%)	最大产能	应用微波提温数值	变压器总用量
1	2000型再生+3000型原生+1800kw微波	160t/h	240t/h	150t/h	250t/h	187.5t/h	390t/h, 对应掺配率38%	30℃	4000kva
2	3000型再生+3000型原生+1800kw微波	240t/h	240t/h	225t/h	375t/h	281.25t/h	465t/h, 对应掺配率48%	20℃	4250kva
3	2000型再生+3000型原生+1440kw微波	160t/h	240t/h	120t/h	200t/h	150t/h	360t/h, 对应掺配率33%	30℃	3430kva
4	3000型再生+3000型原生+1440kw微波	240t/h	240t/h	180t/h	300t/h	225t/h	420t/h, 对应掺配率42%	20℃	3630kva



山东临沂沥青路面废旧料集中处置基地 (2000型原生+2000型再生+1800kw微波)

■ 沥青路面大掺量再生利用，既需要好的加热设备，也需要严格的工艺流程。

- 1、回收料的收储：回收料的完整性决定着这批材料自身的原再生能力，不同层级或不同骨料的废旧回收料应分别堆放。
- 2、回收料的检测：对送检回收料进行抽提，检测分析得知沥青的老化原因、老化程度和回收料级配。
- 3、再生理论配合比设计

根据新建道路的功能需求，依据回收料检测分析结果确定热再生沥青混合料类型、矿料最大粒径和矿料级配范围，据此选择外加新集料（包括粗、细集料和矿粉），并对新集料进行筛分，确定外加集料密度等性质。

依据回收料中沥青性质及新建道路功能需求选择外加沥青，测定外加沥青性质，并决定是否掺加再生剂或改性剂，选择再生剂或改性剂种类及掺量，测定添加剂技术性质，最终形成理论配合比及再生和改性方案。

4、根据性能验证和调整生产配合比

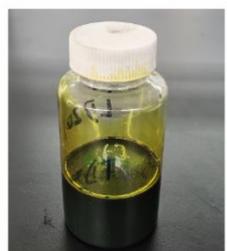
回收料成分具有很大差异，实际生产时破碎筛分手段难以达到实验室精度，因此，生产时需要结合具体筛分后的分档，进行热再生混合料目标配合比的设计验证，依据使用性能检验结果，确定一个回收料预处理及实际施工采用的生产配合比。

公路行业拥有大量提升路用性能的改性手段，因需要的温度较高（170℃以上），应用传统沥青搅拌站进行大掺量再生时，很难将回收料加热至改性温度，因此难以应用相关改性技术，制约了再生质量，导致行业中部分用户对厂拌热再生技术水平存在一定偏见，随着微波加热技术的普及，未来旧料再生质量将获得根本性提升，这些看法会获得彻底改变。

原样沥青(记为OA70#)、回收废旧沥青(记为RA70#)、PAV老化30h后的沥青(记为PA70#-30h)、PAV老化30h后加入9%再生剂的沥青(记为PA70#-9%)、回收废旧沥青+9%再生剂(记为RA70#-9%)的技术指标见下表。

基质沥青、老化沥青和再生沥青性能指标对比

试验项目	OA70#	RA70#	PA70#-30h	PA70#-9%	RA70#-9%
针入度@25 °C/0.1mm	71.1	22.3	24.8	70.7	68.7
软化点/°C	48.5	63.6	63.2	50.9	49.6
延度@10 °C/cm	24.0	0.3	1.6	23.7	21.5
PG分级	70-22	82-10	82-10	70-22	70-22



沥青再生剂



再生沥青混合料改性剂



抗剥落剂

再生沥青混合料性能对比 (回收料掺量60%、微波加热)

混合料性能试验	高温车辙试验	低温弯曲试验	冻融劈裂试验	汉堡车辙试验	
表征指标	动稳定度 DS/(次·mm-1)	低温破坏应变 /με	残留强度比 TSR/%	轮碾次数/ 次	轮迹深度 /mm
AC-20(再生剂0%+改性沥青)	1792	1436	70.1	7560	12.5
AC-20(基质沥青+6%再生剂+6.5%改性剂)	6136	2629	90.2	20000	6.2
AC-13(基质沥青+6%再生剂+6.5%改性剂)	6323	2583	95.6	20000	6.9
技术要求	≥2800	≥2500	≥80	20000次, ≤12.5	

掺配率超过50%时，建议采用以下措施：

- 1、建议在微波箱下、暂存仓前添加**RAP级配快速筛分检测装置**，可实现对加热后的RAP快速采样、称重、燃烧、筛分，从而快速获得生产过程中RAP的实时精确级配，并以实验室理论配合比设计的最优级配曲线为目标，反推新集料的具体添加量，从而生产出高质量的精准级配再生沥青混合料（参照下面视频）。
- 2、建议在RAP料从再生滚筒**进入微波箱前，添加再生剂**，大幅度延长再生时间，提升再生质量。
- 3、建议配合比设计时，加热采用**实验室用微波加热箱**，便于获得良好的再生改性方案，并在生产时组织实施。



级配快速筛分检测装置

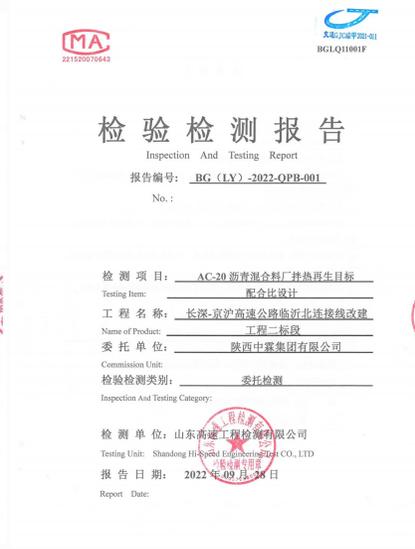
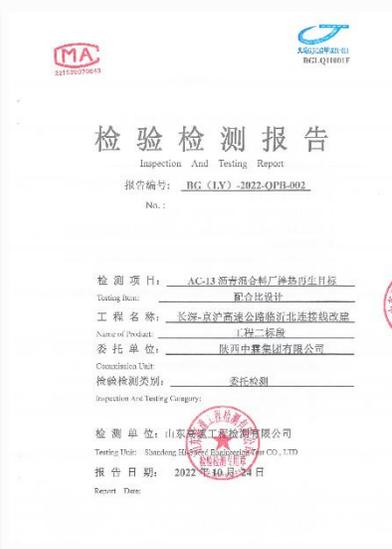


实验室用微波加热箱

加热对比

项目		烘箱 (6KW)	微波 (6KW)
工作 时 间 (min)	预热	60	0
	加热	240	4
	保温	60	60
合计 (min)		360	65

- 在高速公路及国道中应用：2022年9月在G205国道上、下面层全断面及2023年6月、2024年9月在日兰高速临沂段上面层成功采用沥青再生微波搅拌站以60%掺配率进行铺筑，各项指标均满足现行施工技术规范要求。
- 在市政道路及低等级公路中应用：在31条市政道路及低等级公路中进行了60%~85%掺配率铺筑，质量合格。



检测数据

再生混合料	车辙动稳定度	浸水马歇尔残留稳定度	冻融劈裂残留强度比	渗水系数	低温弯曲破坏应变
AC13	7256次/mm	86.5%	82.1%	21.0ml/min	2758 $\mu\epsilon$
AC16	6117次/mm	87.2%	83.1%	26.7ml/min	2684 $\mu\epsilon$

◆ **性价比优势** 因原材料成本越来越高，沥青路面材料循环利用率每提升50%，每吨创造利润将超过60元~150元，经济性非常好。同时，在所有循环利用方式中，微波厂拌质量最优，性价比独占鳌头。全面采用此种技术，我国每年将节省投资超过2000亿元。

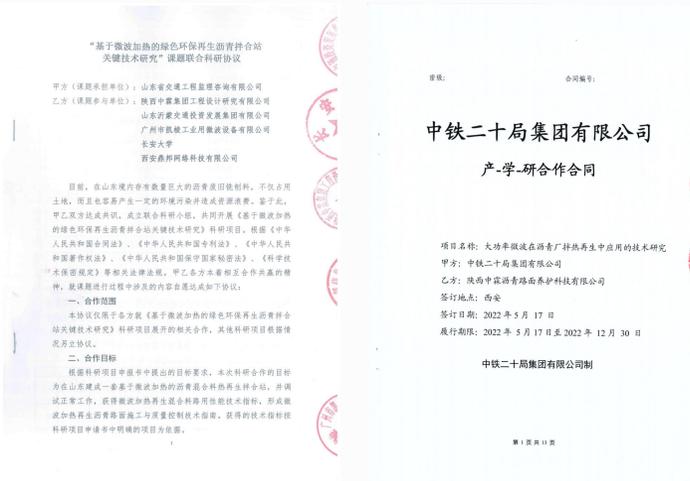
经济性好

项目	单价 元/吨	新沥青混合料成本		传统再生搅拌站每 吨料成本 (掺配比30%)		微波再生搅拌站每 吨料成本 (掺配比85%)		备注
		重量/kg	金额/元	重量/kg	金额/元	重量/kg	金额/元	
集料	110	1000	110	700	77	150	17	
沥青	4600	50	230	38	175	12	55	
再生剂	11000			0.9	10	2.5	28	
回收料	50			300	15	850	43	
加热成本			20		23		42	
管理费			13		15		50	含技术
合计		373		315		235		

备注：表中未计入碳交易补贴及国家退税奖励，传统搅拌站利润30元时，微波站净利润可超过100元（为进一步提升质量和性能，进行特殊改性措施时除外）。

低碳环保优势 我国每年产生的废旧沥青路面材料超过3亿吨，如果完全利用，可以避免1.5亿立方米矿山的开采，减少1500万吨沥青的冶炼，**降低约4000万吨二氧化碳排放**。对响应国家“双碳”战略，实现城市零固废排放，推动绿色公路建设转型升级具有巨大推动作用。

国家政策大力支持 本技术可享有设备更新补贴、增值税即征即免50%的退税补贴、碳交易补贴等。每应用一吨沥青路面回收料，可节省125kg二氧化碳排放。



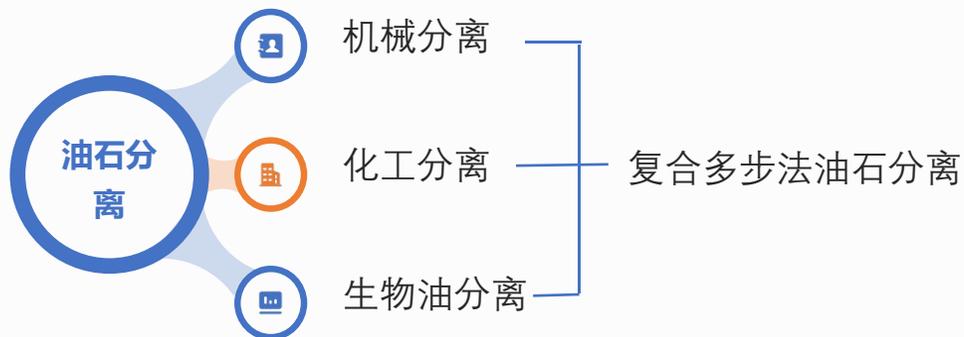
- ◆ 针对本技术，全国各省市完成了30余项科研任务，已申请72项专利（其中**发明专利18项**）。
- ◆ 2021年12月，中国公路学会评定，微波加热应用于大型搅拌站相关技术达到**国际领先水平**。
- ◆ 2022年11月，入选国务院国资委2022年混合所有制改革暨国企民企协同发展推介项目。
- ◆ 2023年9月，**山东省交通厅**将该项技术纳入科技成果推广目录。
- ◆ 2024年5月，该技术入选“中国公路学会2024年度公路领域**重点节能低碳技术入库项目**”。

为解决再生沥青混合料旧料利用率较低、应用层位不高的问题，行业推出了油石分离技术。通过油石分离技术，可将粗集料的沥青含量降低到1%左右，从而作为新集料予以使用，但剩余的0-5mm细料，虽然沥青含量高达接近10%，但利用难度较大，经济价值有限。

在传统的沥青搅拌站中添加600kw~1800kw微波箱，应用微波箱将细料直接加热，然后添加进入拌缸，与原生站加热后的粗集料拌和，可实现30%以上的细料添加，有效解决了细集料应用难题。

经济性分析：在3000型原生站中添加1800kw微波箱，改造成本约900万元，可应用细料60吨/小时，每吨细料增加收益150元，应用6万吨细料（或生产1000小时），即可收回投资。

目前，国内的再生技术研究主要集中在旧料的直接利用，由于缺乏精细的旧料性能控制流程，导致了油石分离技术的出现，随着旧料直接利用技术的提升，油石分离技术的应用会受到一定制约。



目前沥青路面养护维修市场中应用广泛的厂拌热再生技术，因其回收料（RAP）掺量较低、新料加热温度过高、旧料二次加热老化及旧料加热过程中粘筒现象严重等问题制约了厂拌热再生技术的发展；而冷拌再生技术虽然具有更高的RAP掺量和更低的拌和压实温度，但是该技术难以生产出路用性能稳定优良的再生沥青混合料。将厂拌热再生技术与温拌技术相结合生产出温拌再生温拌再生沥青混合料，不仅可提高RAP掺量而且具有相对优良的路用性能。温拌再生技术应运而生。

但是，目前温拌技术的应用，面临以下困难：

1、温拌剂对材料的精准性要求很高，目前，国内的沥青路面回收料（RAP）成分千差万别，变异性很大，加之缺乏清晰的设计原理和精准的实验指导，温拌剂与老化沥青融合度不足，再生质量差异性很大。

2、温拌剂对RAP的预热温度和预热时间比较敏感，对混合料温度的精准性要求很高，常规的加热方式，RAP料的温度难以保持，导致再生工艺和再生质量受到很大制约。

在温拌技术中引入微波，并将温拌剂与再生剂在回收料进入微波箱前添加，可有效提升温拌剂、再生剂与老化沥青的融合，加之微波加热后降温慢，可有效提升温拌效果和再生质量。



- **构造：**搭载产能1吨以内密闭微波炉及全部坑槽养护设备的机动养护车。相较于墙式微波坑槽养护车，无微波能量浪费，加热速度快，耗能少。
- **功能：**走到哪养到哪，沥青混合料加热时间15分钟，定制用于快速坑槽养护。
- **产能：**修补一处坑槽30分钟，每天修补15处，约20~30平方。
- **效益：**可利用现场废旧料，节省材料，修补高速路坑槽每日利润6000元以上。
- **投资回报：**约200个工作日收回投资。
- **移动式微波补热箱：**现场补热，提升质量。

1、改性材料加速老化后的耐久性研究及**再生成品料等级划分**

(1) 目前，各种高聚物改性成分应用于再生中，需着重研究其在短期老化和长期老化后的混合料性能，而不应该仅考虑其在再生初期的混合料性能；因此，高稳定性复合再生剂、改性剂的研发成为热点。

(2) 根据对再生成品料短期老化后的混合料性能分析，确定再生等级，为甲方实施再生提供依据；

(3) 后续，对我国各种再生工艺，对各工艺对应的成品料等级进行划分，确定其可以应用的场景。

2、**就地厂拌热再生**模式的实现

将厂拌热再生工艺搬到现场实施，实现了传统就地热再生技术与厂拌热再生技术的优势整合，减少了材料运输成本，提升了再生质量，彻底解决了传统就地热再生的加热难题和配合比难题。就地厂拌热再生列车主要组成如下：首辆车进行铣刨，然后由第二辆车进行筛分配料，第三辆车上搭载微波箱进行再生及密闭加热，第四辆车进行搅拌，然后进行摊铺碾压。

3、厂拌热再生技术的**大模型构建**及复合再生剂研发

当前，沥青路面厂拌热再生采用何种方案严重依赖于再生技术人员的经验和技术水平，且配合比试验验证占用时间长，严重制约厂拌热再生技术的应用和发展。随着人工智能技术的发展，根据旧料的性能，匹配适宜的再生方案，将成为现实。此外，人工智能对于复合再生剂和复合改性剂材料的研发，将提供极大的帮助。

一、搅拌站数量会大幅缩减，但集中度会大大提高

1、传统新建时代：**投资**驱动，沥青搅拌站为项目服务，单一企业拥有的沥青搅拌站数量普遍不多，拥有10座以上沥青搅拌站数量的企业，在国内为知名企业；未来养护时代：**技术**驱动，沥青搅拌站为区域服务，便于产生规模性企业（日本三井集团拥有110座）。

2、目前，我国拥有沥青搅拌站1.3万座，但未来我国预计仅保有约4000座沥青搅拌站。

3、目前，我国拥有沥青搅拌站数量较多的企业，仅几十座，但未来将有多家企业，拥有的沥青搅拌站数量超过100座。

二、搅拌站成为属地区域性集中处置基地

2022年，国务院发布文件，对于具有区域性特征的废旧料利用，要推动建设一批技术水平高、处置能力强的集中处置基地。

未来的沥青搅拌站，将成为区域性沥青路面回收料集中处置基地，拥有技术优势、先进管理能力的企业，将获得竞争优势，推动再生技术获得良好应用，这是时代给我们的挑战，也是机遇。

建议各地市相关企业或科研机构积极应用微波厂拌热再生技术，结合道路大中修改建项目，对传统沥青搅拌站进行设备更新和产业升级，以实现沥青路面回收料的高效高值化利用，推动行业创新发展，满足我国公路建设行业进入养护时代的**新质生产力**需求，在实现利润提升和业务增长的同时，促进区域经济发展、环境保护和双碳战略目标早日实现。



感谢山东高速集团、长安大学、
沂蒙交通发展集团、西安公路研
究院等合作科研单位！



桂学 15091671099

