

# 扬州市职业大学

## 毕业设计说明书

题目：麦秸秆沥青混合料配合比设计  
及路用性能研究

学 院：           土木工程学院          

专 业：           道路桥梁工程技术          

班 级：           道桥 101          

姓 名：           崔 祥 丽          

学 号：           100304108          

指导教师：           尹 继 明          

          沙 爱 敏          

完成时间：           2013 年 5 月

## 摘 要

将麦秸秆用于路用建筑材料,有利于农业废弃物回收利用,实现变废为宝,化害为利。对麦秸秆沥青混合料配合比进行设计,评价其路用性能是麦秸秆应用于沥青混合料研究的首要问题。

本文首先采用马歇尔设计方法确定 AC-13 沥青混合料的级配。其中矿料组成为:2#:3#:4#:=51%:12%:37%,最佳油石比为 5.0%。然后分别以沥青混合料总质量的 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%为麦秸秆用量,将粉碎后的麦秸秆添加至沥青混合料中搅拌,制备沥青混合料试件,并进行马歇尔稳定度、车辙、弯曲、冻融劈裂试验。试验结果表明:(1)麦秸秆的掺加,明显地改善了沥青混合料的高温稳定性和低温抗裂性,其中马歇尔稳定度提高了 13%,动稳定度提高了 58%,抗弯拉强度提高了 23%,由此确定麦秸秆纤维最佳掺量为 0.2%。

(2)麦秸秆的掺加使沥青混合料抗水损害能力减弱,应考虑麦秸秆遇水后水解这一问题。

本文采用直接破碎、直接添加的方式制备了麦秸秆沥青混合料,避免了因对秸秆纤维化而产生的环境污染和工艺复杂化等问题。该工艺及相关研究成果有望为麦秸秆回收利用开辟的新途径。

**关键词:**麦秸秆; 沥青混合料; 配合比; 路用性能

## ABSTRACT

It is beneficial to recycle and reuse agricultural wastes when the straws are used for road construction materials. The mix proportion design of straw asphalt concrete mixture and evaluation of the road performance are major problems of straw used in asphalt mixture.

In this paper, the Marshall method was used to design the mix proportion of wheat straw asphalt mixture, and the high temperature stability, anti-crack performance and water damage resistance ability of wheat straw asphalt were tested and evaluated. Test results showed that: (1) the addition of wheat straw was mainly to improve the ability to resist rutting deformation and anti-crack performance of asphalt mixture. Among them, Marshall stability was improved by 13%, dynamic stability by 58% and flexural strength by 23%. The optimal dosage of wheat straw was 0.2% according to the results of rutting and bending test. (2) The freeze-thaw splitting strength of asphalt mixture mixed had decreased with the addition of wheat straw. Consideration should be given to the hydrolysis when wheat straws encounter water.

The straw was added directly into asphalt mixture after being crushed and broken, and then the straw asphalt concrete (SAC) was prepared. This process could avoid environmental pollution and high cost because of complex chemical processes. It is expected that the results will provide a new route to improve the road performance of SAC and utilization of straws.

Key words: wheat straw; asphalt mixture; mix proportion; road performance

## 目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
<b>1 绪论.....</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 研究现状.....	2
1.3 研究内容.....	4
1.4 研究技术路线.....	4
<b>2 原材料及实验方案.....</b>	<b>4</b>
2.1 原材料.....	4
2.1.1 沥青.....	4
2.1.2 骨料.....	5
2.1.3 麦秸秆.....	8
2.2 试验方案.....	9
<b>3 麦秸秆沥青混合料配合比.....</b>	<b>10</b>
3.1 配合比设计方法及步骤.....	10
3.1.1 配合比设计方法.....	10
3.1.2 马歇尔方法设计步骤.....	10
3.2 AC-13 级配.....	11
3.2.1 骨料筛分试验.....	11
3.2.2 矿料级配.....	15
3.2.3 确定最佳沥青用量.....	16
3.3 麦秸秆用量.....	17
<b>4 麦秸秆沥青混合料路用性能.....</b>	<b>18</b>
4.1 高温稳定性.....	18
4.1.1 马歇尔稳定度.....	18
4.1.2 抗车辙变形能力.....	19
4.2 低温抗裂性.....	21
4.3 水稳定性.....	23
<b>5 结论与展望.....</b>	<b>26</b>
5.1 主要结论.....	26
5.2 主要创新点.....	27
5.3 不足之处与进一步研究的建议.....	27
参考文献.....	27
致谢.....	29

# 1 绪论

## 1.1 研究背景及意义

农作物秸秆是农业生产的副产品，主要包括稻秸、麦秸、玉米秸、麻秆、棉花秸等，产量大、分布广、种类多。我国是世界秸秆大国，据统计，2010年全国秸秆理论资源量为8.4亿吨，可收集资源量约为7亿吨，居世界各国秸秆总产量之首。其中，水稻、玉米和小麦三大作物秸秆分别为2.11亿吨、1.54亿吨和2.73亿吨，棉秆约2600万吨，油料作物秸秆约3700万吨，豆类秸秆约2800万吨，薯类秸秆约2300万吨 [1]。



图 1.1 丰富的秸秆资源



图 1.2 秸秆焚烧

长期以来，秸秆一直是我国农民生活的基本燃料和农业生产的物质资料。随着农民生活水平的提高，不再使用秸秆作为家用燃料，而选用商品能源等，传统的秸秆利用途径发生了历史性的转变。秸秆出现季节性、地区性、结构性过剩，大量秸秆得不到收集利用，每逢农忙期间，秸秆遍地焚烧现象依然严重，屡禁不止。秸秆违规焚烧，不仅浪费了宝贵的资源，而且严重污染大气环境，威胁交通运输安全，影响城乡居民生活。特别是2011年6月份，有关媒体报道的“江浙一些地区焚烧秸秆致多人死伤”，对人民群众生命安全造成严重危害。加快推进秸秆综合利用，对于缓解资源约束，减轻环境压力，发展循环经济，促进农民增收，应对气候变化等都具有十分重要的意义，是农业领域落实科学发展观的具体体现，利国利民。

秸秆主要由纤维素、半纤维素和木质素三部分组成。纤维素属于线性结晶高聚物，内含大量氢键；半纤维素由较短、高分枝的杂多糖链组成，链上连接着数量不等的甲酰基和乙酰基；木质素是以苯丙基为基本结构单元连接而成的高分枝多分散性高聚物[2]，因此秸秆具有纤维素含量高、强度大、密度小、表面光滑有韧性等优点。秸秆以富含纤维、资源丰富、价格低廉、密度小、强度高、无污染、可再生等优点成为路用材料研究领域的一支奇葩。

将秸秆应用于化工、建筑、纺织等领域，开发高性能、环境友好的绿色材料是实现秸秆资源化利用的有效途径之一。

在公路建设领域，沥青混凝土路面作为一种无缝连续路面，具有表面平整性好、行车舒适、耐磨、震动小、噪音低、施工期短、养护维修简单、适宜于分期修建等众多优点，得到了越来越广泛的应用。

但随着交通量的迅速增加，车辆大型化、荷载渠道化、超载严重等现象接踵而来，沥青混凝土路面面临严峻考验，车辙、开裂、坑槽、剥落等早期病害也随之产生。为了克服

沥青自身缺点,提高沥青的路用性能,在沥青中添加外加剂制备复合材料一直是广大科技工作者共同努力的方向。

用纤维作外加剂以提高水泥混凝土、沥青混合料等路用性能近些年来已被成功应用。但多采用诸如钢纤维、聚酯纤维、碳纤维、硼纤维、玻璃纤维等加强无机结合料。与秸秆植物纤维相比,钢纤维、聚酯纤维、碳纤维、硼纤维等高性能纤维虽然具有较高的强度、韧性和热稳定性,但价格昂贵,限制了其应用范围。玻璃纤维虽然强度高、价格低,但具有易脆裂、非生物降解等缺点。随着人们生态环保、节能减排意识的增强,可再生、可循环、可持续及可降解材料的应用引起人们的极大关注。秸秆以富含纤维、资源丰富、价格低廉、密度小、强度高、无污染、可再生等优点成为路用材料研究领域的一支奇葩。

综上所述,将富含植物纤维的秸秆应用于路用复合材料研究可从根本上解决资源日益短缺、大量废弃物恶化生态环境等问题,推进秸秆资源综合利用,实现秸秆资源化、产业化、商品化,变废为宝,化害为利。高效利用秸秆资源并将其应用于公路建设领域是一项建设节约型社会的能源工程,是实现国家减排目标等环境工程,是实现农业可持续发展的生态工程,对于加快建设资源节约、环境友好、绿色可持续、和谐发展社会具有重要而深远的意义。

## 1.2 研究现状

秸秆用于人工复合材料可追溯到远古时期。据西安半坡遗址考古发现,早在 7000 多年以前,人类开始使用草拌泥制作砖和墙。公元 3000 年前,埃及人采用稻草、芦苇和沥青制造船只。长沙马王堆汉墓出土的 2000 多年前的漆器至今仍完好如初,究其原因,漆器是采用以生物纤维为增强材料的复合材料制成的。近代对于秸秆用于复合材料的研究较少,取而代之的是无机纤维增强聚合物复合材料的研制。此段时期内,在增强纤维方面发展了碳纤维、硼纤维、氧化铝纤维等;复合材料的基体也呈现多样化,由单一的聚合物发展为诸如土、水泥、混凝土等无机料。20 世纪 50 年代,竹、木、秸秆等植物纤维复合材料开始进入人们研究视野,之后,竹、木、秸秆等植物纤维广泛应用于化工塑料、纺织、建材等领域。

秸秆作为绿色建材用于建筑材料的研究起步于植物纤维复合板的制备。在 19 世纪,人们开始研究利用农作物秸秆纤维与树脂混合物制成低密度板材、加水泥及添加剂制成特种植物纤维水泥复合板等建筑材料,并已取得了一定的进展,到 80 年代末 90 年代初,以麦秸为原料、PMDI 为胶粘剂的人造板生产性开发在世界范围内进行,尤其在北美洲建设了相当数量的生产线。90 年代中期,异氰酸酯(MDI)应用到秸秆人造板领域,使麦秸和稻草的胶合问题得到了较好的解决[3,4]。Jeno B[5]等用异氰酸盐(MDI)作为秸秆纤维/PE 复合材料的界面增容剂,大大提高了秸秆纤维在复合材料中的使用比率,而且制得的复合材料具有良好的生物可降解性。秸秆纤维复合材料具有传统木材所不及的优越特性;制品表面光滑、平整、坚固,并可压制出各种立方图案和形状,不需要复杂的二次加工;抗水性、抗虫蛀性、防腐蚀性和抗污染性均大大优于木材[6]。韩国 Han-Seung Yang 等[7]利用秸秆、废橡胶颗粒与聚合物胶黏剂制备秸秆废橡胶颗粒板,并对其物理、力学和声学实验。研究表明秸秆废橡胶颗粒板较其他胶合板、绝缘板、实木板具有更好的防腐、韧性与吸声性能,有着特殊的用途,比如用于弧形墙模板,并完全可以替代绝缘板和其他胶合板。

绿色秸秆建材在美国、法国、日本等发达国家已应用 20 多年,有的国家秸秆应用于建材的利用率高达 80%,被各国誉为新世纪高科技绿色环保建材,被广泛应用于建筑领域。

YANG H S 等[8]在研究中指出秸秆纤维具有隔音、减震、耐冲击性高、手感好等特点,在室内装饰、包装材料等领域具有其它材料无可比拟的优点。Yang[9]等研究用秸秆纤维

和废旧轮胎颗粒制造建筑绝缘复合板,发现这种复合板具有良好的隔音性、绝缘性、耐腐蚀等性能,可用于替代建筑行业的绝缘材料。M. Bouhicha 等[10]利用秸秆作为加筋材料制作秸秆/土复合材料,并对其进行压缩、剪切与渗透实验。实验证实秸秆/土复合材料压缩性能、抗剪切能力与渗透能力均得到提高,秸秆加筋效果明显。K. R. Camann 等[11]把秸秆制作成块状物,并将其作为剪力墙进行设计与性能测试。试验结果显示秸秆块剪力墙具有良好的抗剪切破坏能力和延展性能。By Yail J. Kim[12]等提出了秸秆夹心墙的概念。该墙是利用秸秆捆作为墙体夹心层,在秸秆捆表面涂以水泥、硅土、石英、石灰、氧化镁等混合物并用塑料颗粒与玻璃纤维格栅进行加强作为墙体。对秸秆夹心墙进行力学试验。结果显示塑料颗粒与玻璃纤维可以提高秸秆夹心墙抗剪切和塑性变形能力。DOMINGUEZ DOMINGUEZ L 等[13]在其所申请的专利中利用秸秆、锯末、木纤维、砂浆与沥青研制出一种用于长期排放二氧化碳的建筑材料。

国内对于秸秆的研究始于从秸秆中提取纤维用于复合材料与纺织材料的研究。随后,秸秆及其纤维被广泛应用于土工、板材、纤维复合材料、混凝土等建筑领域。陈嘉、阿肯江·托呼[14]提在土体材料中掺和麦秸制作土坯并对其进行力学性能试验。试验结果表明:土体材料中掺和麦秸秆能提高试块的延性。延性的提高在某种程度上说是麦秸秆和土体材料的粘结及摩擦力提供的,麦秸秆和土体材料的有效粘结可以约束土体,提高土坯的延性,增加其变形能力。蒋武燕[15]利用废弃秸秆制作城市绿化砖并对其原材料的选择及配合比研究、制作工艺、影响因素进行了研究。研究认为秸秆绿化砖可迅速覆盖城市及城市建设暂时裸露地面;强度达到行人通行,在一定含水率时可随意搬运;保水性、渗透性、吸水性符合草种生长需要,有较强的预防径流、水土流失功效。王志博等[16]利用粉煤灰和秸秆制作轻质复合材料。作者认为,粉煤灰秸秆复合材料的抗劈裂破坏峰值随着粉煤灰和秸秆含量参数的增加而逐渐减小,材料的抗折强度随着秸秆含量参数的增加而降低,当粉煤灰、秸秆配比为 45%和 6%时,材料达到最大抗劈裂破坏峰值;当粉煤灰、秸秆配比为 60%和 6%时,材料达到最大抗折强度。刘殿忠等[17]人利用秸秆与硫酸铝水泥制作秸秆混凝土并对其进行力学试验。试验结果表明硫酸铝水泥秸秆混凝土具有良好保温、隔热、轻质等优良性能。文献[18]探讨了将秸秆制成秸秆混凝土砌块的方法并对秸秆混凝土砌块保温性能进行实验研究。研究表明:秸秆混凝土砌块的平均传热系数的值为  $K=1.1W/m^2 \cdot K$ ,具有良好的保温隔热性能。肖力光,李丽飞,李晶辉[19]等探讨了秸秆纤维对低碱水泥基材料阻裂性能的影响。研究认为,基准低碱水泥砂浆的塑性收缩裂缝的开裂权重值为 37.5cm,随着秸秆纤维的掺入其裂缝明显减少,当掺入 0.2%时塑性收缩的裂缝减少了 96%,当超过 0.5%时,砂浆基本不产生裂缝,说明秸秆纤维的掺入对低碱水泥砂浆具有明显的阻裂效果。

目前,国内对于秸秆及其纤维用于路面材料研究较少,尚处于起步阶段。2008年,中科院武汉岩土力学研究所研究员薛强在其所申请的专利《一种路用纤维复合材料的制备方法》中给出了植物秸秆与膨润土复合制备路用材料的方法。制备方法是将植物秸秆经过粉碎、碱化、蒸煮后的纤维浆与膨润土经过磨细、纳化、化学改性和提纯后的改性膨胀土复合,并经分离、干燥制备出复合纤维材料[20]。据介绍,该路用秸秆纤维复合材料掺入沥青中可提高沥青混合料的高温稳定性、水稳定性和低温抗裂性,有效延缓沥青路面的老化。

武汉工业学院的郎森等[21]人,采用碱法蒸煮提取秸秆纤维,并将秸秆纤维、木质素纤维和矿物纤维分别加入至沥青混合料中,测试析漏损失、水稳定性和抗车辙等性能。研究结果认为:秸秆纤维和木质素纤维在吸油能力和高温稳定性方面远远高于矿物纤维,在耐水损害能力方面,秸秆纤维和木质素纤维要稍弱于矿物纤维;秸秆纤维和木质素纤维的各项路用性能相差不大,秸秆纤维完全可以取代木质素纤维作为沥青路面添加材料。

对于秸秆应用于沥青及沥青混合料等路用复合材料的研究,目前显得十分缺乏。对秸秆沥青混凝土配合比进行设计,评价其路用性能是秸秆应用于沥青材料研究的主要内容。

### 1.3 研究内容

(1) 麦秸秆沥青混合料配合比

采用马歇尔设计方法，确定 AC-13 沥青混合料矿料组成比例及最佳油石比。

(2) 麦秸秆沥青混合料路用性能

在 (1) 的研究基础上，测试秸秆沥青混合料高温稳定性、抗车辙变形、低温抗裂性、抗水损害等路用性能，并以此确定麦秸秆最佳掺量。

### 1.4 研究技术路线

利用秸秆粉碎机将麦秸秆粉碎成短细的秸秆片，并将其添加至沥青混合料中制备秸秆片沥青混合料；通过实验确定麦秸秆片掺量和油石比，得到麦秸秆片沥青混凝土配合比，并评价麦秸秆沥青混和料的路用性能，研究技术路线如图 1.3 所示。

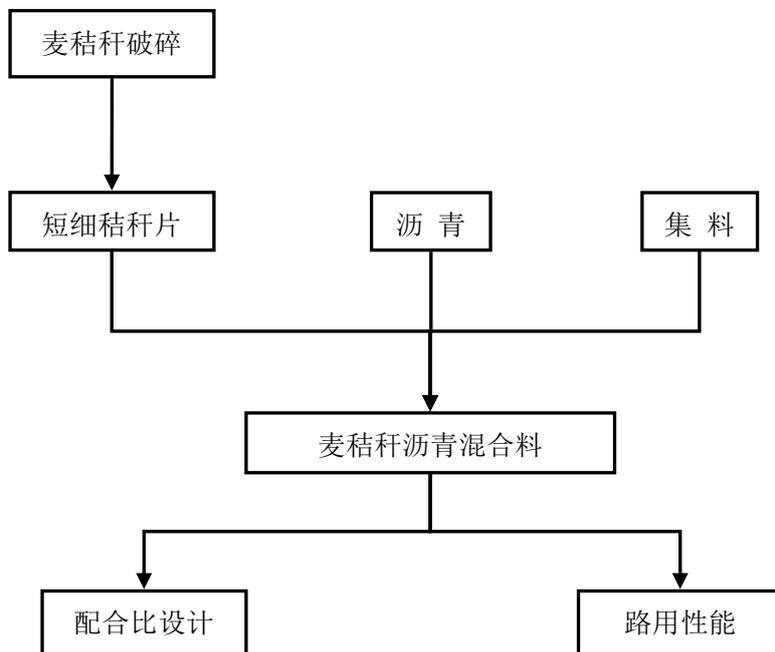


图 1.3 研究技术路线

## 2 原材料及实验方案

### 2.1 原材料

#### 2.1.1 沥青

本试验采用 70#道路石油沥青，其各性能指标列于表 2.1 中。

表 2.1 70#道路石油沥青性能指标

试验项目	规范要求	实测值
------	------	-----

针入度 (25℃) /0.1mm		60-80	67
软化点/℃		44-54	48.0
延度 (15℃) /cm		>100	>100
闪点 (COC) /℃		≥230	≥230
含蜡量 (蒸馏法) /%		≤3	≤3
溶解度 (三氯乙烯) /%		≥99	≥99
RTFOT (163℃, 5h)	质量损失/%	≤0.8	0.06
	针入度比/%	≥55	66%
	25℃延度/cm	≥50	≥50
60℃动力粘度/Pa·s		≥180	235

### 2.1.2 骨料

试验所用骨料分为 2#、3#、4#料，均为石灰岩，由扬州润扬路面工程有限公司试验提供。2#料粒级范围为 13.2mm-4.75mm，3#料粒级范围为 4.75mm-2.36mm，4#料粒级范围为 2.36mm-0mm。经取样检测集料能满足国家行业标准的要求，其实测质量技术指标见表 2.2-2.4。

表 2.2 沥青混合料 2#料实测技术质量技术指标

试验次数	1	2
吊篮在水中质量 (g)	0	0
吊篮+试样在水中质量 (g)	787.3	870.3
样品在水中质量 $m_w$ (g)	787.3	870.3
饱和面干试样质量 $m_f$ (g)	1247.2	1379.0
烘干试样质量 $m_a$ (g)	1243.7	1375.1
表观相对密度测值 $\gamma_a$	2.725	2.724

表观相对密度测定值 $\gamma_a$	2.725	
表干相对密度测值 $\gamma_s$	2.712	2.711
表干相对密度测定值 $\gamma_s$	2.712	
毛体积相对密度测值 $\gamma_b$	2.704	2.703
毛体积相对密度测定值 $\gamma_b$	2.704	
试验水温 T(°C)	20	
水在试验温度 T 时密度	0.99822	
表观密度 $\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.720	
表干密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.707	
毛体积密度 $\rho_b$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.699	
吸水率测值 $\omega_x$ (%)	0.28	0.28
吸水率测定值 $\omega_x$ (%)	0.28	

表 2.3 沥青混合料 3#料实测技术质量技术指标

试验次数	1	2
吊篮在水中质量(g)	0	0
吊篮+试样在水中质量	728.9	686.4
样品在水中质量 $m_w$ (g)	728.9	686.4
饱和面干试样质量	1161.7	1093.4
烘干试样质量 $m_a$ (g)	1154.2	1086.7
表观相对密度测值 $\gamma_a$	2.714	2.715
表观相对密度测定值 $\gamma$	2.715	
表干相对密度测值 $\gamma_s$	2.684	2.686

表干相对密度测定值 $\gamma$	2.685	
毛体积相对密度测定值 $\gamma$	2.667	2.670
毛体积相对密度测定值	2.669	
试验水温 $T(^{\circ}\text{C})$	20	
水在试验温度 $T$ 时密度	0.99822	
表观密度 $\rho_a(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.710	
表干密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.680	
毛体积密度 $\rho_b(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.664	
吸水率测定值 $\omega_x(\%)$	0.65	0.62
吸水率测定值 $\omega_x(\%)$	0.64	

表 2.4 沥青混合料 4#料实测技术质量技术指标

烘干试样水洗前质量 $m_1(\text{g})$		第一组			第二组				
		500.0			500.0				
水洗后烘干试样质量 $m_2(\text{g})$		435.0			426.0				
小于0.075mm 颗粒质量		65.0			74.0				
0.075mm 通过率 (%)		13.9							
试样编号	筛孔尺寸 (mm)	筛分结果							
		9.5	4.7	2.36	1.	0.6	0.3	0.1	筛底
1	分计筛余质量 $m_i(\text{g})$	0.0	0.0	63.0	14 1.	77. 5	95.5	27. 0	30.5
	分计筛余百分率 $P_i(\%)$	0.0	0.0	12.6	28 .3	15. 5	19.1	5.4	6.1
	累计筛余百分率 $A_i(\%)$	0.0	0.0	12.6	40 .9	56. 4	75.5	80. 9	87.0

	质量通过百分率 $T_i$ (%)	100.0	100.0	87.4	59.1	43.6	24.5	19.1	13.0
2	分计筛余质量 $m_i$ (g)	0.0	0.0	72.0	121.	70.5	109.5	46.0	6.5
	分计筛余百分率 $P_i$ (%)	0.0	0.0	14.4	24.3	14.1	21.9	9.2	1.3
	累计筛余百分率 $A_i$ (%)	0.0	0.0	14.4	38.7	52.8	74.7	83.9	85.2
	质量通过百分率 $T_i$ (%)	100.0	100.0	85.6	61.3	47.2	25.3	16.1	14.8
质量通过百分率 $T_i$ (%)		100	100	86.5	60	45.	24.9	17.	13.9
上限 (%)		/	/	/	/	/	/	/	/
下限 (%)		/	/	/	/	/	/	/	/

### 2.1.3 麦秸秆

以当年生的麦秸秆为原料，采用秸秆粉碎机制作秸秆碎片，如图 2.1 所示，由人工将秸秆由喂料斗均匀，适量地喂入粉碎口，在定刀和旋转刀的作用下，把秸秆切成小段，然后进入粉碎室，在高速放置的锤片的强烈打击下，物料迅速被粉碎，由于离心力和内置风机大量的风压及粉碎室下腔负压作用下，被粉碎的物料经筛孔落入下腔，由风压自输料管道输出。然后将粉碎的秸秆进行筛分，并按长度分类、标识以备用，如图 2.2 所示。



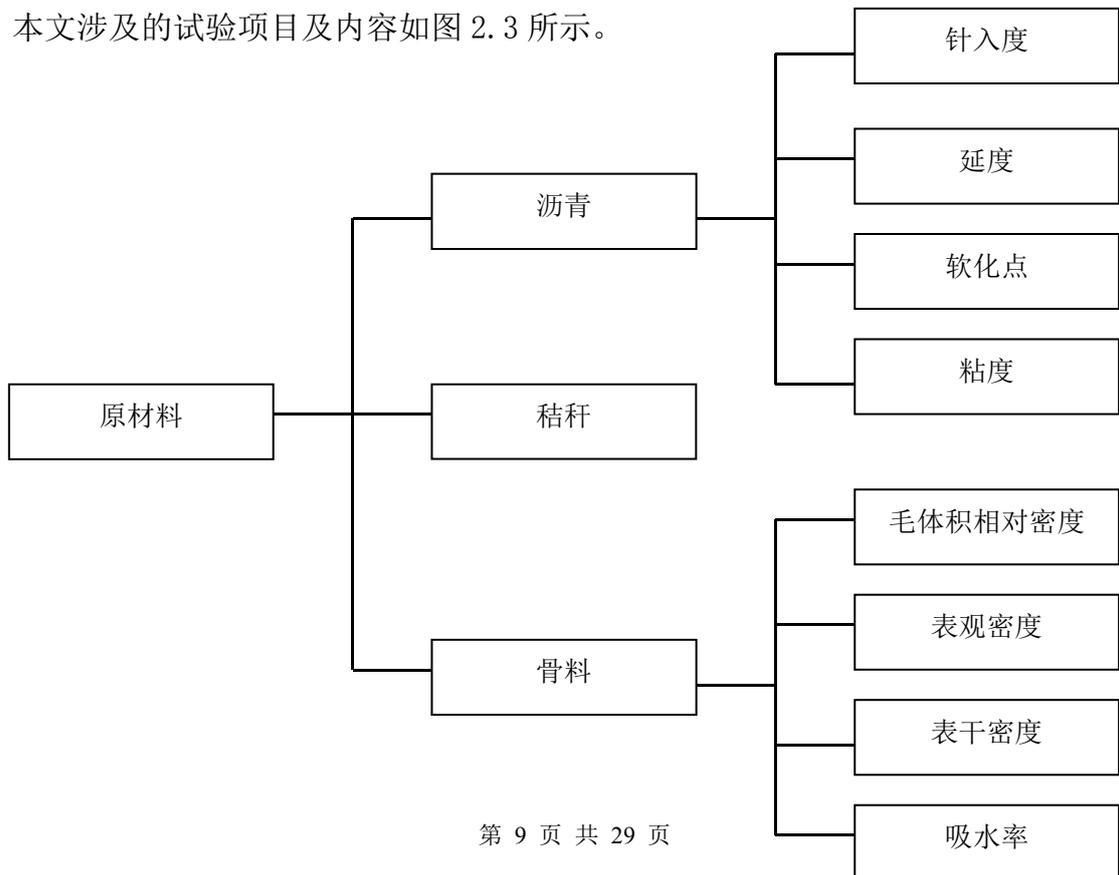
图 2.1 ZXC 秸秆粉碎机



图 2.2 试验所用秸秆片

## 2.2 试验方案

本文涉及的试验项目及内容如图 2.3 所示。



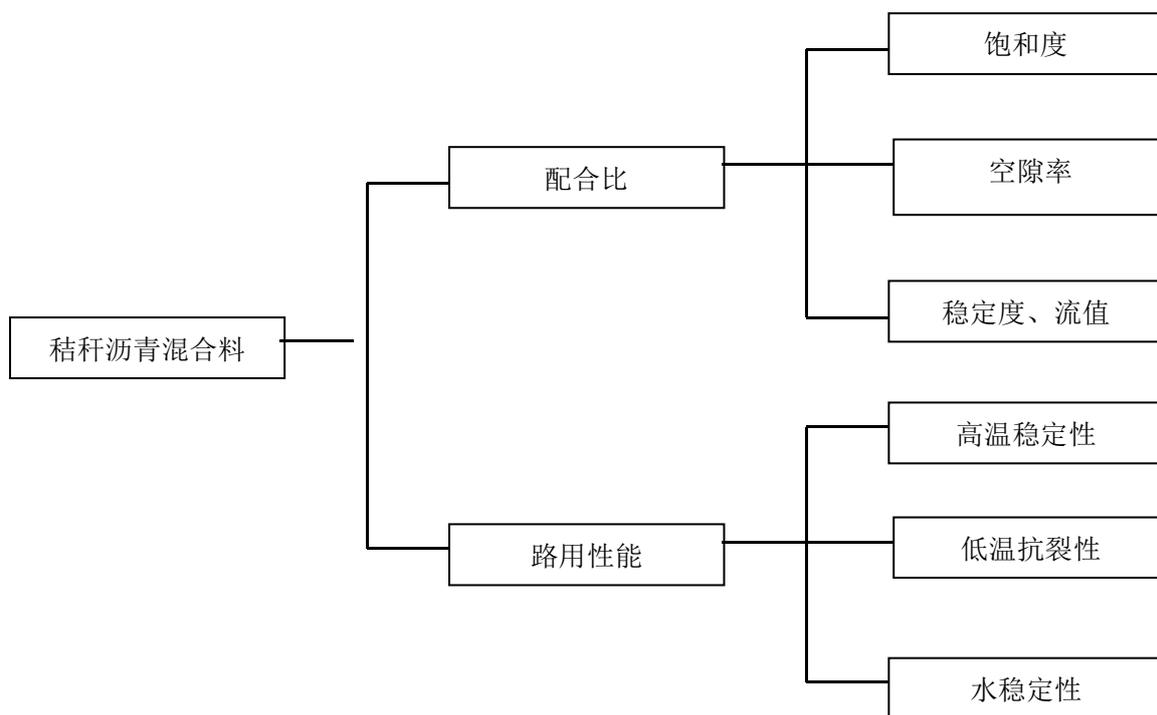


图 2.3 试验方案流程图

### 3 麦秸秆沥青混合料配合比

#### 3.1 配合比设计方法及步骤

##### 3.1.1 配合比设计方法

目前, 现行用于沥青混合料配合比设计的方法主要有: 马歇尔方法、维姆方法、Superpave 方法、GTM 方法以及贝雷法等, 但其中又以马歇尔法运用得最为广泛。我国《公路沥青路面施工技术规范》( JTG F40- 2004) 规定, 沥青混合料配合比设计采用马歇尔方法; 同时规定, 当采用其他方法设计沥青混合料配合比时, 应按规范规定进行马歇尔试验及各项配合比检验, 并报告不同设计方法的试验结果[22]。

##### 3.1.2 马歇尔方法设计步骤

###### (1) 集料的选择

包含三个部分: 确定集料的物理特性 (粗糙度、耐久性和坚固性、清洁程度和有害物质含量、颗粒形状和表面纹理); 确定其他的物理指标 (级配和形状、体积密度和吸水率等); 对所有采用的集料进行级配组成设计。

###### (2) 沥青胶结料的选择

主要是通过试验确定沥青胶结料的粘温关系。

###### (3) 试样的制备

需要先试拌几种不同沥青含量的混合料, 然后根据每一种试拌混合料的性能来确定最佳油量。试拌试件的油量范围应该包含最佳油量, 因此要先根据经验预估一下最佳油量。所有的试件都通过马歇尔击实仪击实成型。

###### (4) 稳定度和流值试验

该试验为马歇尔试验方法提供了混合料性能预测。稳定度试验可以测定试件在 50mm / min 的加载速率下的最大承受能力，加载逐步提升直至最大值开始回落，记录最大值。同时，流值以 0.25mm 的单位记录下来。

### (5) 密度和空隙率分析

所有的设计方法都会使用密度和空隙率来确定混合料的基本物理特性：密度一般采用毛体积密度和理论最大毛体积密度，之后用这些密度来计算体积参数（VCA、VMA、VFA 等）。

### (6) 确定最佳沥青用量

首先画出沥青含量分别与密度、稳定度、流值、空隙率、VMA、VFA 的关系图表，然后根据规定的范围选取中值作为最佳油量。

## 3.2 AC-13 级配

### 3.2.1 骨料筛分试验

沥青混合料配合比设计前应对骨料粒径组成进行分析。本文选用的 2#、3#、4# 料的筛分试验结果见表 3.1-3.3。

表 3.1 沥青混合料 2# 料筛分试验记录表

试样	1			2			平均			允许范围 (%)	
干燥试样质量	1632.5			1545.3							
水洗后筛上总	1603.1			1520.6							
水洗后 0.075mm	29.4			24.7							
0.075mm 通过率	1.8			1.6			1.7				
筛孔尺寸 (mm)	分计筛余质量 $m_i$ (g)	分计筛余百分率	累计筛余百分率 $Q_i$	质量通过率	分计筛余质量 $m_i$ (g)	分计筛余百分率	累计筛余百分率 $Q_i$	质量通过率	质量通过率	上限	下限
16.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	/	/
13.2	58.7	3.6	3.6	96.4	80.3	5.2	5.2	94.8	95.6	/	/
9.5	546.3	33.5	37.1	62.9	529.4	34.3	39.5	60.5	61.7	/	/

麦秸秆沥青混合料配合比设计及路用性能研究

4.75	836.5	51.3	88.4	11.6	776.3	50.3	89.8	10.2	10.9	/	/
2.36	133.7	8.2	96.6	3.4	95.7	6.2	96.0	4.0	3.7	/	/
1.18	26.1	1.6	98.2	1.8	37.0	2.4	98.4	1.6	1.7	/	/
0.6	0.0	0.0	98.2	1.8	0.0	0.0	98.4	1.6	1.7	/	/
0.3	0.0	0.0	98.2	1.8	0.0	0.0	98.4	1.6	1.7	/	/
0.15	0.0	0.0	98.2	1.8	0.0	0.0	98.4	1.6	1.7	/	/
0.075	0.0	0.0	98.2	1.8	0.0	0.0	98.4	1.6	1.7	/	/
筛底 $m_{底}$ (g)	0	/	/	/	0	/	/	/	/	/	/
筛分后 总量	1601.3	/	/	/	1518.7	/	/	/	/	/	/
损耗 $m_5$ (g)	1.8	/	/	/	1.9	/	/	/	/	/	/
损耗率 (%)	0.11	/	/	/	0.12	/	/	/	/	/	/
扣除损 耗后总 量(g)	1630.7	/	/	/	1543.4	/	/	/	/	/	/

表 3.2 沥青混合料 3#料筛分试验记录表

试样	1				2				平均	允许范围 (%)	
干燥试样质量 $m_3$ (g)	1245.1				1315.8						
水洗后筛上总质量 $m_4$ (g)	1227.7				1302.6						
水洗后0.075mm筛下质量 $m_{0.5}$ (g)	17.4				13.2						
0.075mm 通过率 $P_{0.075}$ (%)	1.4				1.0				1.2		
筛孔尺寸 (mm)	分计筛余质量 $m_i$ (g)	分计筛余百分率	累计筛余百分率 $Q_i$	质量通过百分率	分计筛余质量 $m_i$ (g)	分计筛余百分率	累计筛余百分率 $Q_i$	质量通过百分率	质量通过百分率	上限	下限
16.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	/	/
13.2	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	/	/
9.5	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	/	/
4.75	24.9	2.0	2.0	98.0	42.1	3.2	3.2	96.8	97.4	/	/
2.36	1189.0	95.6	97.6	2.4	1220.1	92.8	96.0	4.0	3.2	/	/
1.18	12.4	1.0	98.6	1.4	39.4	3.0	99.0	1.0	1.2	/	/
0.6	0.0	0.0	98.6	1.4	0.0	0.0	99.0	1.0	1.2	/	/
0.3	0.0	0.0	98.6	1.4	0.0	0.0	99.0	1.0	1.2	/	/
0.15	0.0	0.0	98.6	1.4	0.0	0.0	99.0	1.0	1.2	/	/
0.075	0.0	0.0	98.6	1.4	0.0	0.0	99.0	1.0	1.2	/	/
筛底 $m_{底}$ (g)	0	/	/	/	0	/	/	/	/	/	/
筛分后总量 $\Sigma m_i$ (g)	1226.3	/	/	/	1301.6	/	/	/	/	/	/
损耗 $m_5$ (g)	1.4	/	/	/	1.0	/	/	/	/	/	/
损耗率 (%)	0.11	/	/	/	0.08	/	/	/	/	/	/
扣除损耗后总量 (g)	1243.7	/	/	/	1314.8	/	/	/	/	/	/

表 3.3 沥青混合料 4#料筛分试验记录表

烘干试样水洗前质量 $m_1$ (g)		第一组					第二组			
		500.0					500.0			
水洗后烘干试样质量 $m_2$ (g)		435.0					426.0			
小于0.075mm 颗粒质量 $m_3$ (g)		65.0					74.0			
0.075mm 通过率 (%)		13.9								
试样编号	筛孔尺寸 (mm)	筛分结果								
		9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	筛底	
1	分计筛余质量 $m_i$ (g)	0.0	0.0	63.0	141.5	77.5	95.5	27.0	30.5	
	分计筛余百分率 $P_i$ (%)	0.0	0.0	12.6	28.3	15.5	19.1	5.4	6.1	
	累计筛余百分率 $A_i$ (%)	0.0	0.0	12.6	40.9	56.4	75.5	80.9	87.0	
	质量通过百分率 $T_i$ (%)	100.0	100.0	87.4	59.1	43.6	24.5	19.1	13.0	
2	分计筛余质量 $m_i$ (g)	0.0	0.0	72.0	121.5	70.5	109.5	46.0	6.5	
	分计筛余百分率 $P_i$ (%)	0.0	0.0	14.4	24.3	14.1	21.9	9.2	1.3	
	累计筛余百分率 $A_i$ (%)	0.0	0.0	14.4	38.7	52.8	74.7	83.9	85.2	
	质量通过百分率 $T_i$ (%)	100.0	100.0	85.6	61.3	47.2	25.3	16.1	14.8	
质量通过百分率 $T_i$ (%)		100	100.0	86.5	60.2	45.4	24.9	17.6	13.9	
上限 (%)		/	/	/	/	/	/	/	/	
下限 (%)		/	/	/	/	/	/	/	/	

### 3.2.2 矿料级配

经试验调配得到的矿料配比为 2#: 3#: 4#=51%:12%:37%。AC-13 沥青混合料矿料组成试验见表 3.4，配合比设计合成级配如图 3.1 所示。

表 3.4 矿料混合料级配组成试验

矿料混合料级配组成试验												
矿料	配合比 %											
		19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1#料	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2#料	51	51.0	51.0	48.8	31.5	5.6	1.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
3#料	12	12.0	12.0	12.0	12.0	11.7	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4#料	37	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	32.0	22.3	16.8	9.2	6.5	5.1
矿粉	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
混合料级配		100	100	97.8	80.5	54.2	34.3	23.3	17.8	10.2	7.5	6.2
级配限制区界限	中值			95.0	76.5	53.0	37.0	26.5	19.0	13.5	10.0	6.0
	最小			90	68	38	24	15	10	7	5	4
	最大			100	85	68	50	38	28	20	15	8

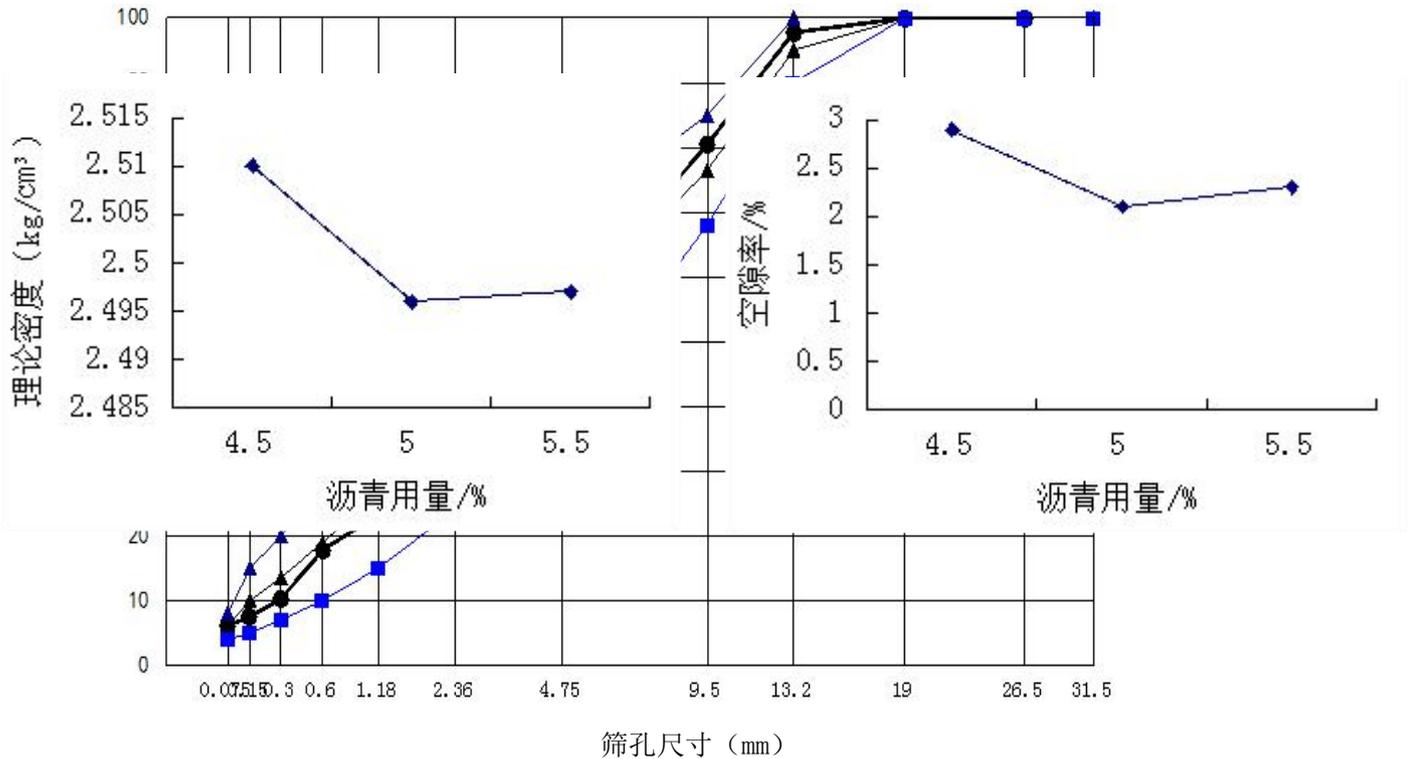


图 3.1 AC-13 沥青混合料抽提结果级配图

### 3.2.3 确定最佳沥青用量

最佳沥青用量的确定按以下步骤进行：

1. 按所设计的矿料配合比配制三组沥青混合料, 每组先固定纤维掺加量, 然后按规范推荐的用量(或油石比) 范围加入适量沥青, 沥青用量按 0.5%间隔递增, 拌合均匀, 制成马歇尔试件。然后按 1.0 磅/吨用量递增, 依次制备下一组马歇尔试件。
2. 根据集料吸水率大小和沥青混合料的类型, 采取合适的方法测出试件的实测密度, 并计算理论密度、空隙率、沥青饱和度等物理指标。
3. 进行马歇尔试验, 测定稳定度和流值这二个力学指标。
4. 进行马歇尔试验结果分析
  - (1) 绘制沥青用量与物理力学指标关系图。以油石比为横坐标, 以理论密度、稳定度、流值、饱和度、孔隙率等指标为纵坐标, 分别绘制成关系曲线图, 如图 3.2 所示。

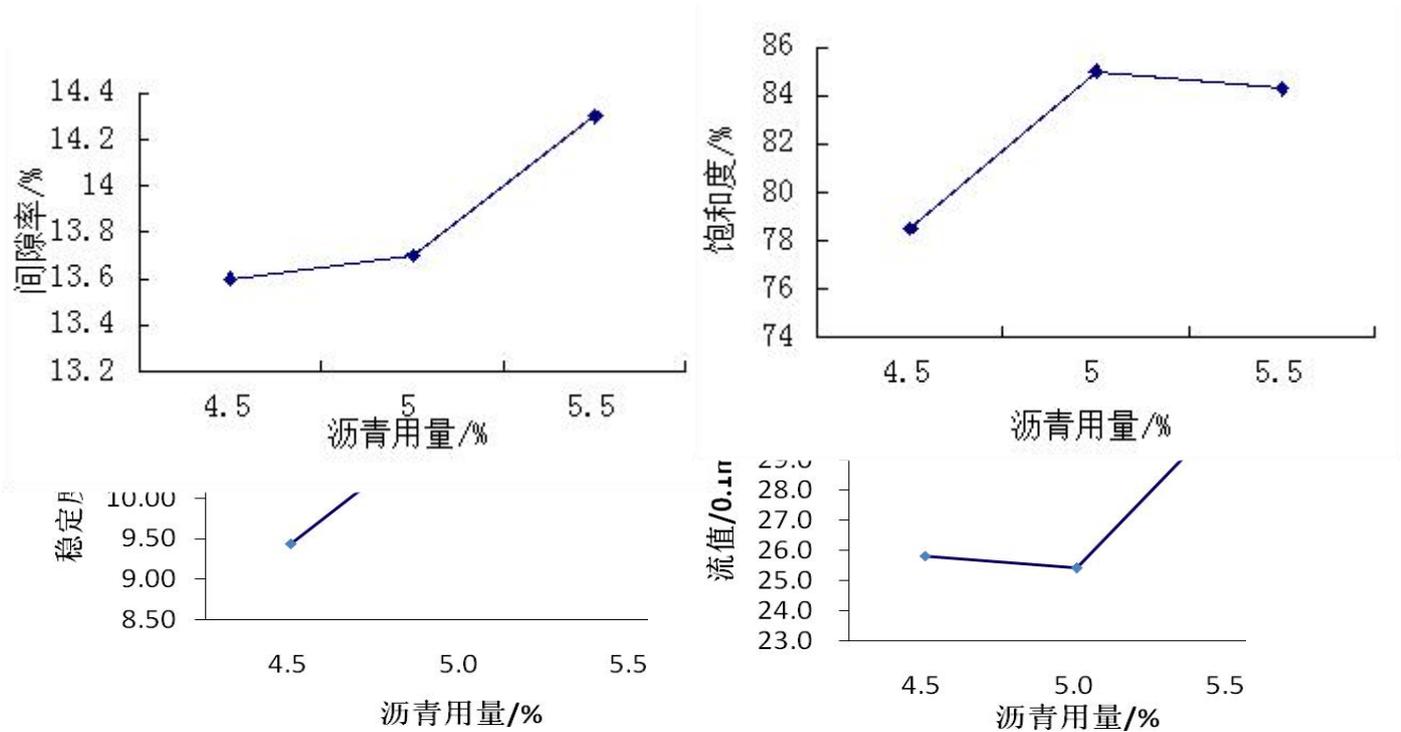


图 3.2 沥青用量与物理力学指标的关系

确定沥青用量初始值  $OAC_1$ 。由图 3.2 最大稳定度所对应的沥青用量  $a_1$  和最大密度所对应的沥青用量  $a_2$ ，相应于规定空隙率范围的中值所对应的沥青用量  $a_3$ ，相应于规定饱和度范围的中值所对应的沥青用量  $a_4$  以三个沥青用量的平均值作为初始值  $OAC_1$ ，即  $OAC_1 = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) / 4$ 。

$$OAC_1 = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) / 4 = (5.0\% + 4.5\% + 5\% + 4.7\%) / 4 = 4.8\%$$

确定沥青的用量初始值  $OAC_2$ 。根据规范求出满足稳定度、流值、空隙率、饱和度指标的沥青用量范围  $OAC_{min}$ — $OAC_{max}$ ，以中值作为  $OAC_2$ ，即  $OAC_2 = (OAC_{min} + OAC_{max}) / 2$ 。综合确定沥青的用量初始值  $OAC$ 。按最佳沥青用量初始值  $OAC_1$  在图 3.5 中所对应的各项指标，检查是否符合规范规定的标准。如符合标准，则由  $OAC_1$  和  $OAC_2$  综合确定最佳沥青用量  $OAC$ 。如不符合，重新调整级配，再进行试验，直至各项指标均符合规范要求为止。

由空隙率与沥青用量的变化曲线可以看出空隙率随沥青用量的增加而降低，按空隙率 2.1%—2.9% 的要求，沥青用量在 4.5%—5.5% 内，同样饱和度也在该沥青用量范围内满足要求。在上述沥青用量范围内，马歇尔稳定度和流值均满足要求。综合上述分析，沥青用量应控制在 4.5%—5.5% 内，考虑到秸秆的吸油性，取其中间值 5.0% 为设计沥青用量。

### 3.3 麦秸秆用量

分别以沥青混合料总质量的 0.1%、0.2%、0.3%、0.4% 为麦秸秆用量，将粉碎后的麦秸秆添加至沥青混合料中搅拌，制备沥青混合料试件。

各长度对应的麦秸秆用量按以下百分比计算[23]: 7.5mm 占 23.81%, 8.0mm 占 16.5%, 8.5mm 占 11.96%, 9.0mm 占 8.98%, 9.5mm 占 8.86%, 10.0mm 占 5.43%, 10.5mm 占 6.65%, 其余为 11.0mm-15.0mm。

## 4 麦秸秆沥青混合料路用性能

### 4.1 高温稳定性

#### 4.1.1 马歇尔稳定度

为了考察秸秆用量对路用性能的影响,分别取混合料总质量的 0.1%、0.2%、0.3%、0.4% 作为秸秆掺量,并按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTGE20-2011)要求拌制秸秆片沥青混合料。需要说明的是为了使秸秆片拌合均匀,先将秸秆片与粗细集料一起置于拌合机中,用小铲子适当混合、拌匀,然后再加入沥青。如图 4.1—图 4.2 所示。



图 4.1 秸秆与粗集料拌合



图 4.2 沥青混合料

马歇尔稳定度实验结果见表 4.1, 结果分析如图 4.3、图 4.4 所示。

表 4.1 稳定度试验结果

秸秆掺量	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)
0%	8.32	20.6
0.1%	8.75	20.4
0.2%	9.43	22.5
0.3%	8.26	24.4
0.4%	8.24	20.6

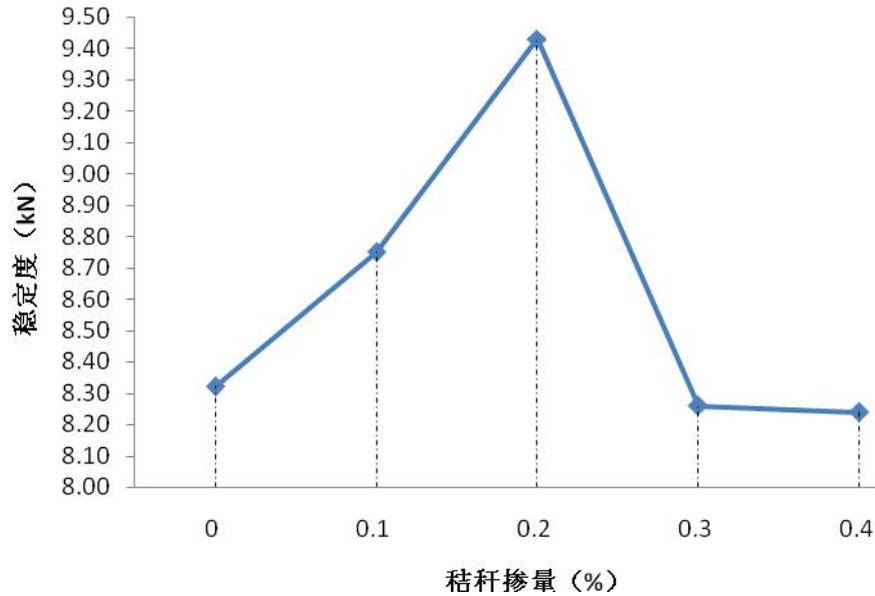


图 4.3 稳定度与秸秆掺量关系

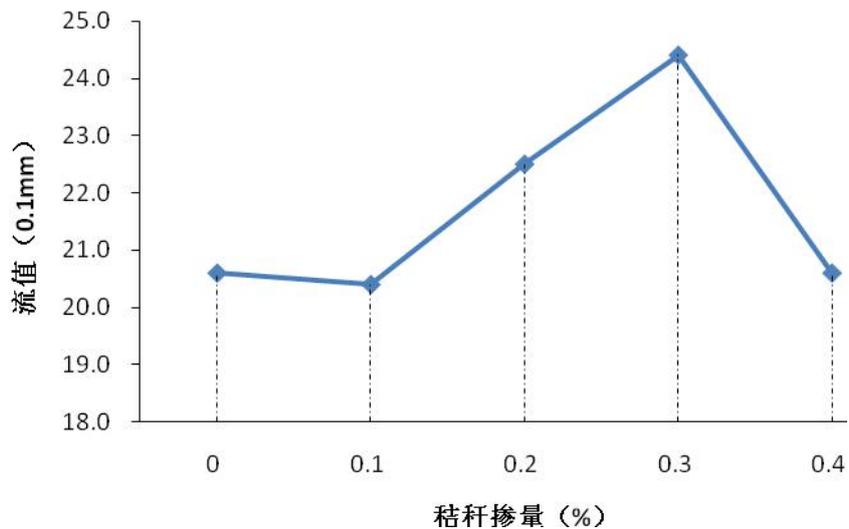


图 4.4 麦秸秆不同掺量下 AC-13 马歇尔技术参数

由图 4.3、图 4.4 可知，随着麦秸秆掺量的增加，稳定度呈先增大后减小的趋势，当麦秸秆掺量为 0.2% 时，稳定度达到最大值 (9.43kN)，此时流值为 22.5 (0.1mm)，表明适量麦秸秆的加入使沥青混合料抵抗竖向荷载变形的能力得到了增强。这是因为麦秸秆在混合料中起到了加筋、吸附沥青颗粒、稳定沥青混合料的作用，提高了沥青混合料的耐久性和稳定性。

#### 4.1.2 抗车辙变形能力

根据我国《公路沥青路面设计规范》和《公路沥青路面施工技术规范》的要求，选用车辙试验对沥青混合料的高温稳定性进行评价。按照《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》(JTGE20-2011)，采用轮碾法制作试样，试样尺寸为 300mm×300mm×50mm，如图 4.5。试验过程中压轮行进距离为 230mm±10mm，试论行走速度为 42±1 次/min，试验时间约为 1h，温度为 60℃，接触压强为 0.7mpa。试验结果结果见表 4.2，结果分析如图 4.6 所示。



图 4.5 车辙试件成型

表 4.2 不同秸秆掺量的 AC-13 车辙试验结果

动稳定度 (次/mm)	1008	1179.775	1590.909	1016.129	1048.253
秸秆掺量	0	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%

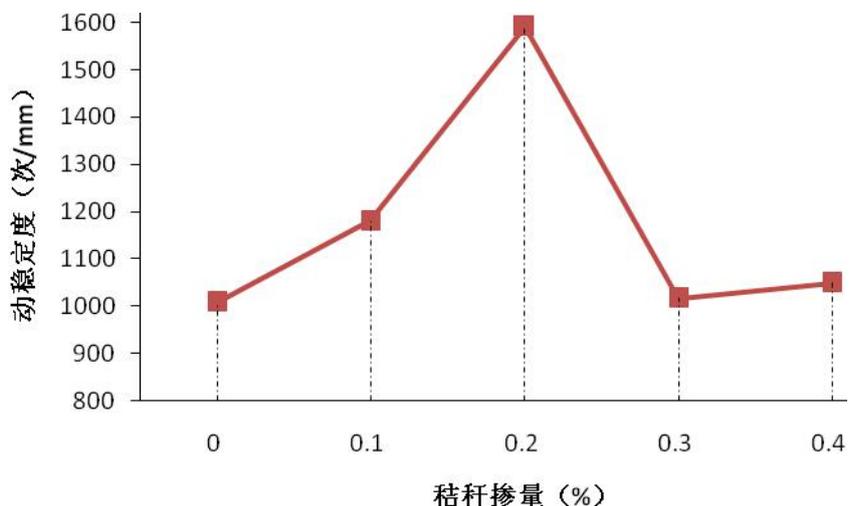


图 4.6 动稳定度与麦秸秆掺量关系

由图 4.6 可知，麦秸秆含量在 0.1%-0.4% 的动稳定度均符合 AC-13 混合料技术指标要求，麦秸秆含量在 0.2% 时达到最大，达到 1590.909 次/mm，如图 4.7 所示。表明秸秆片的添加使沥青混凝土的抗变形性能得到了极大提升。这是由于骨料与骨料之间通过秸秆片两两相连，骨架的相互嵌锁作用得到了加强。另外，由于秸秆片的吸油与粘附作用[24]，导致沥青的粘稠性增加，沥青混合料的高温粘滞性得到提高[25]，对竖向变形向下传递的起

到了约束作用。

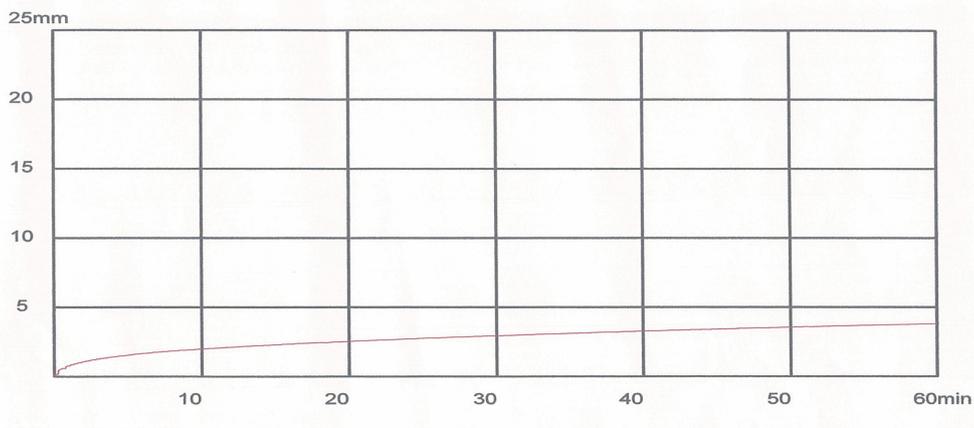


图 4.7 车辙试验变形曲线（麦秸秆掺量 0.2%）

## 4.2 低温抗裂性

《公路沥青及沥青混合料试验规程》（JTGE20-2011）采用弯曲试验评价沥青混合料低温抗裂性能。由轮碾成型的板块状试件上用切割法制作棱柱体小梁试件。试件尺寸为 250mm(长)×30mm(宽)×35mm(高)，如图 4.8 所示。采用 Universal Testing Machine 进行加载试验，如图 4.9 所示。试验温度为-10℃，加载速率采用 50mm/min。弯曲试验结果列于表 4.3 中。结果分析如图 4.10-4.12 所示。



图 4.8 弯曲试验试件



图 4.9 UTM 试验机

表 4.3 小梁弯曲试验结果

掺量 (%)	跨中挠度 (mm)	最大荷载 (kN)	抗弯拉强度 (MPa)	弯拉应变 ( $\mu\epsilon$ )	劲度模量 (MPa)
0	0.792	0.916	7.48	4156.2	1799.1
0.1	0.684	1.125	9.18	3589.5	2558.5
0.2	0.585	0.952	7.77	3069.2	2532.1
0.3	0.992	0.789	6.44	5207.3	1236.9
0.4	0.767	0.588	4.80	4025.4	1192.4

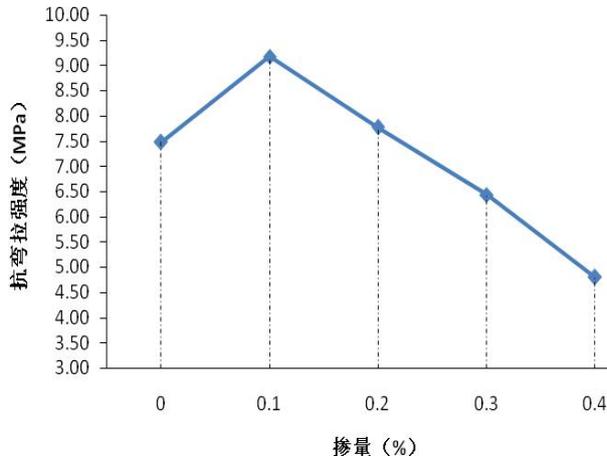


图 4.10 弯拉强度与掺量的关系

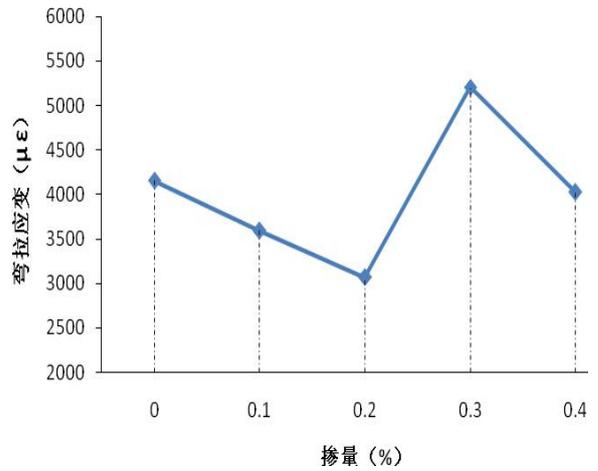


图 4.11 弯拉应变与掺量的关系

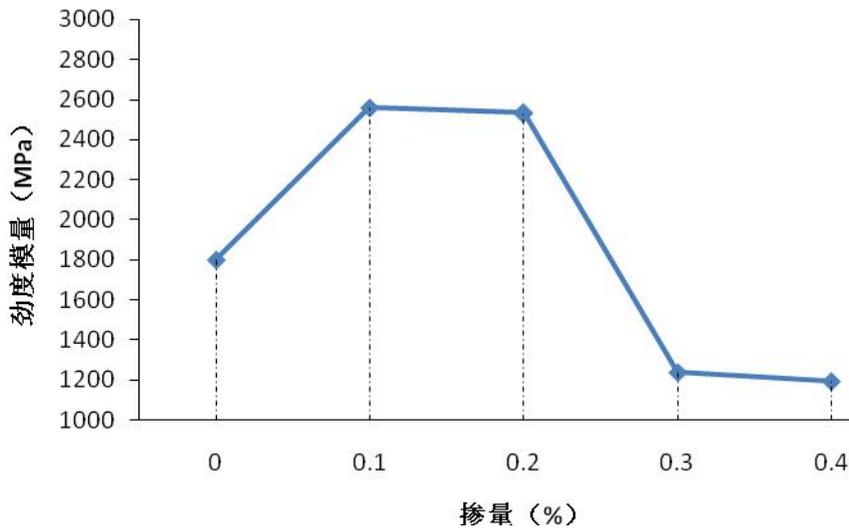


图 4.12 劲度模量与掺量的关系

图 4.10-4.12 显示，麦秸秆的添加使沥青混合料的弯拉强度和劲度模量均有不同程度的增加，当麦秸秆掺量为 0.1% 时，弯拉强度和劲度模量达到最大，此时弯拉应变较小，表明秸秆片的添加使沥青混凝土的抗开裂性能得到了增强。究其原因在于秸秆片对沥青混凝土裂缝扩展的阻滞效应，如图 4.13 所示，沥青混凝土中有裂纹扩展时，裂纹尖端与第一根秸秆片相遇，若裂纹的扩展能大于秸秆片的断裂能时，秸秆片被拉断，裂纹继续扩展，但其扩展能已被削减，再遇到第二根秸秆片时，扩展能再次被削减，以此类推，直到扩展能消耗殆尽，裂纹终止扩展。

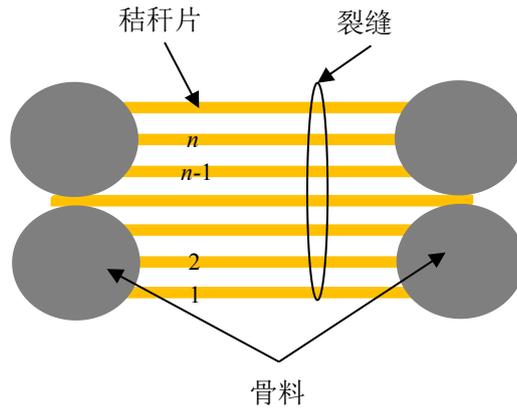


图 4.13 秸秆片阻裂示意图

### 4.3 水稳定性

沥青混凝土路面的水损坏，一方面沥青混凝土路面在水或冻融循环的条件下，由于汽车车轮动态荷载的作用，进入路面孔隙中的水不断产生动水压力或真空负压抽吸的反复循环作用，水分逐渐渗入沥青与集料的界面上，使沥青黏附性降低并逐渐丧失粘结力，沥青膜便从集料表面脱落(剥离)，沥青混合料出现掉粒、松散，继而形成沥青混凝土路面的坑槽、松散等损坏现象；另一方面是沥青混合料自身抗水损坏能力的好坏，主要取决于矿料的性质、沥青与矿料之间相互作用的性质和沥青混合料的孔隙率等 [26, 27]。

《公路工程沥青混合料及沥青混合料试验规程》(JTGE20-2011)采用冻融劈裂试验，通过测定沥青混合料试件在受到水损害前后劈裂破坏的强度比评价沥青混合料的水稳定性。采用马歇尔击实法制备试件，击实次数为双面 50 次。将试件随机分成两组，每组不少于 4 个，将第一组试件置于平台上，在室温下保存备用；将第二组试件进行真空饱水，然后取出试件放入塑料袋中，加约 10mL 的水，扎紧口袋，放入恒温冰箱冷冻，温度为-18℃，时间 16h。分别测出第一、二组试件的劈裂强度  $R_1$  和  $R_2$ ，按式 (4-1) 计算得到冻融劈裂抗拉强度比 TSR。其试验结果如表 4.4-4.8 所示，结果分析如图 4.14 所示。

$$TSR = \frac{R_{T2}}{R_{T1}} \times 100\% \quad (4-1)$$

其中 TSR—冻融劈裂试验强度比，%；

$R_{T2}$ —冻融循环后第二组试件的劈裂抗拉强度，MPa；

$R_{T1}$ —未冻融循环的第一组试件的劈裂抗拉强度，MPa。

表 4.4 沥青混合料冻融劈裂试验结果 (秸秆掺量 0%)

秸秆掺量	第一组		劈裂抗拉强度 $R_{T1}$ (MPa)	第二组		劈裂抗拉强度 $R_{T2}$ (MPa)
	最大荷载 $P_{T1}$ (KN)	试件高度 $h_1$ (mm)		最大荷载 $P_{T2}$ (KN)	试件高度 $h_2$ (mm)	

0.0%	8.76	62.2	0.89	7.75	63.2	0.77
	11.54	62.5	1.16	8.53	62.6	0.86
	8.81	62.6	0.88	7.01	62.3	0.71
	9.19	62.2	0.93	8.33	62.30	0.84
平均值			0.96			0.79
冻融劈裂抗拉强度比 TSR (%)			82.3			

表 4.5 沥青混合料冻融劈裂试验结果 (秸秆掺量 0.1%)

秸秆掺量	第一组		劈裂抗拉强度 $R_{T1}$ (MPa)	第二组		劈裂抗拉强度 $R_{T2}$ (MPa)
	最大荷载 $P_{T1}$ (KN)	试件高度 $h_1$ (mm)		最大荷载 $P_{T2}$ (KN)	试件高度 $h_2$ (mm)	
0.1%	10.65	65.2	1.03	6.03	62.8	0.60
	9.44	62.9	0.94	5.31	62.9	0.53
	9.44	64.4	0.92	5.87	62.2	0.59
	10.41	63.5	1.03	4.62	63.5	0.46
平均值			0.98			0.55
冻融劈裂抗拉强度比 TSR (%)			55.7			

表 4.6 沥青混合料冻融劈裂试验结果 (秸秆掺量 0.2%)

秸秆掺量	第一组		劈裂抗拉强度 $R_{T1}$ (MPa)	第二组		劈裂抗拉强度 $R_{T2}$ (MPa)
	最大荷载 $P_{T1}$ (KN)	试件高度 $h_1$ (mm)		最大荷载 $P_{T2}$ (KN)	试件高度 $h_2$ (mm)	

0.2%	9.07	64.8	0.88	2.85	64.1	0.28
	8.94	64.8	0.87	2.80	63.6	0.28
	7.39	63.5	0.73	2.50	63.8	0.25
	9.17	64.8	0.89	3.01	64.0	0.30
平均值			0.84			0.27
冻融劈裂抗拉强度比 TSR (%)			32.6			

表 4.7 沥青混合料冻融劈裂试验结果 (秸秆掺量 0.3%)

秸秆掺量	第一组		劈裂抗拉强度 $R_{T1}$ (MPa)	第二组		劈裂抗拉强度 $R_{T2}$ (MPa)
	最大荷载 $P_{T1}$ (KN)	试件高度 $h_1$ (mm)		最大荷载 $P_{T2}$ (KN)	试件高度 $h_2$ (mm)	
0.3%	7.64	64.6	0.74	2.20	64.8	0.21
	8.64	64.8	0.84	2.45	64.7	0.24
	8.97	64.7	0.87	2.67	64.8	0.26
	8.22	64.3	0.80	2.51	64.2	0.25
平均值			0.81			0.24
冻融劈裂抗拉强度比 TSR (%)			29.4			

表 4.8 沥青混合料冻融劈裂试验结果 (秸秆掺量 0.4%)

秸秆掺量	第一组		劈裂抗拉强度 $R_{T1}$ (MPa)	第二组		劈裂抗拉强度 $R_{T2}$ (MPa)
	最大荷载 $P_{T1}$ (KN)	试件高度 $h_1$ (mm)		最大荷载 $P_{T2}$ (KN)	试件高度 $h_2$ (mm)	

0.4%	6.63	64.7	0.64	2.97	64.5	0.29
	6.94	64.8	0.67	2.60	64.6	0.25
	6.81	64.2	0.67	2.65	64.3	0.26
	6.45	64.5	0.63	3.12	64.4	0.30
平均值			0.65			0.28
冻融劈裂抗拉强度比 TSR (%)			42.3			

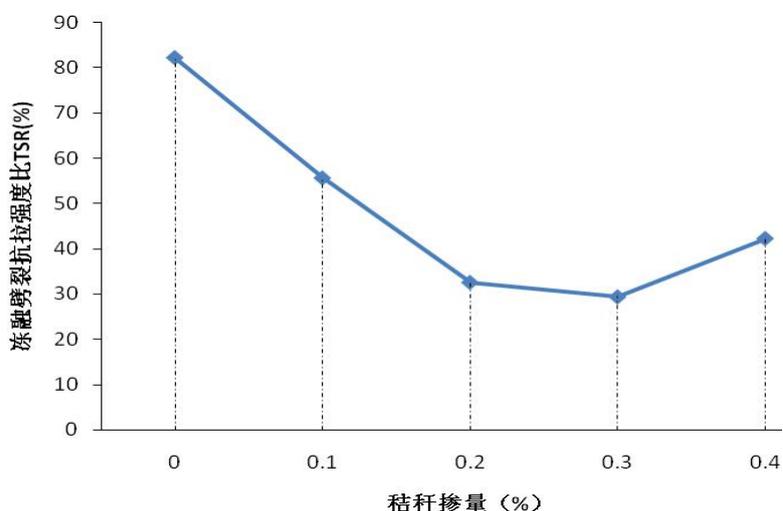


图 4.14 冻融劈裂抗拉强度比与掺量的关系

由图 4.14 可知，劈裂强度比随着秸秆掺量的增加基本呈减小的趋势，当掺量为 0.3% 时，达到最小。表明麦秸秆的添加使沥青混合料的抗水损害能力减弱。其原因在于两个方面：一是秸秆的添加使沥青混合料的空隙率增加，且掺量越大，空隙率越大。过大的空隙率使沥青混合料含有大量的饱和水，孔隙水压力也随之增加，加剧了水对沥青混合料结构的损害；二是，麦秸秆在遇水后会水解，降低了其加筋能力，使沥青混合料的抗拉伸能力减弱。

## 5 结论与展望

### 5.1 主要结论

本文采用实验方法，将麦秸秆粉碎成短细秸秆碎片加入到沥青混合料中，并对麦秸秆沥青混合料进行配合比设计与路用性能测试，主要得到如下结论：

- (1) 通过对原材料(集料、填料、沥青)进行试验，确定了原材料的各项技术指标，

并依据原材料的属性,进行了沥青混合料的矿料级配组成设计, AC-13 沥青混合料的矿料级配组成为: 2#:3#: 4#:=51%: 12%:37%。通过马歇尔试验确定了沥青混合料最佳油石比为 5.0%。

(2) 麦秸秆沥青混合料马歇尔稳定度、车辙、弯曲等试验结果表明: 麦秸秆的掺加,明显地改善了沥青混合料的高温稳定性和低温抗裂性, 其中马歇尔稳定度提高了 13%, 动稳定度提高了 58%, 抗弯拉强度提高了 23%, 由此确定麦秸秆纤维最佳掺量为 0.2%。

(3) 冻融劈裂试验结果表明: 麦秸秆的掺加使沥青混合料抗水损害能力减弱, 应考虑麦秸秆遇水后水解这一问题。

## 5.2 主要创新点

(1) 将麦秸秆用于路用建筑材料, 为农业废弃物回收利用开辟新途径。

(2) 采用直接破碎、直接添加的方式完成麦秸秆与沥青混合料的拌合, 避免因对秸秆纤维化而产生的环境污染和工艺复杂化等问题, 降低工程造价。

## 5.3 不足之处与进一步研究的建议

由于本人水平有限及时间、实验条件的限制, 论文存在诸多不足及需要进一步完善的地方, 主要有:

(1) 对于麦秸秆提高沥青混合料路用性能机理的阐述仅限于定性的分析, 未采用力学原理从根本上进行说明。

(2) 本文在先确定最佳油石比的基础上, 采用单因素法确定麦秸秆最佳掺量。实际上, 考虑到秸秆的吸油性, 油石比和秸秆掺量的最优值应采用双因素法通过正交试验得到。

(3) 对于麦秸秆沥青混合料抗水损害能力弱的问题, 论文未给出解决措施。后续工作应该采用物理、化学的方法对麦秸秆表面进行增韧处理, 研究麦秸秆遇水水解这一问题。

## 参考文献

- [1] 中国农业部. “十二五”农作物秸秆综合利用实施方案[R]. <http://www.agri.cn/>, 2012. 12
- [2] 田宜水, 孟海波. 农作物秸秆开发利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009
- [3] Straw into Gold the agriculture fiber~based panelboard industry[EB/OL]. <http://www.Fiberfutures.org/staw/mainpages/2001>.
- [4] VOLKERE Stockman. Strawboard asan emerging materials part II: The opportunity for China[R]. Sym posium on utilization of agricultural and Residues, Proceedings in China, 2001.
- [5] JENO B, BEATA T, MIKLOS Z. Biologically degradable fiber-reinforced urethane composites from wheat straw [J]. Polym Compos, 1999, 20(4): 511-514.
- [6] HERRERA-FRANCO P J, VALADEZ. GONZALEZ A. Mechanical properties of continuous natural fiber-reinforced polymer composites[J]. Applied Science and Manufacturing, 2004, 3(35): 339-345.
- [7] Han-Seung Yang , Dae-Jun Kim , Young-Kyu Lee etc. Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials[J]. Bioresource Technology 95 (2004) 61 - 65.

- [8] YANG H S, KIM D J, KIM H J. Rice straw wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials [J]. Bio. Res. Tech. 2003. 86(2):117-121.
- [9] YANG H S, KIM D J, LEE Y K, et al. Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials [J]. Bio. Resource Technology, 2004, 95(1):61-65.
- [10] M. Bouhicha, F. Aouissi, S. Kenai. Performance of composite soil reinforced with barley straw[J]. Cement & Concrete Composites 27 (2005) 617 - 621.
- [11]K. R. Camann, MS, LEED AP, D. C. Jansen etc. Design and Performance of Load Bearing Shear Walls Made from Composite Rice Straw Blocks[C]. 2010 Structures Congress:1405-1416.
- [12]By Yail J. Kim, Andrew Reberg, and Mozahid Hossain. A Conceptual Development of Reinforced Plastered Straw Bale Composite Sandwich Walls[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, January 20, 2011.
- [13]DOMINGUEZ DOMINGUEZ L, RODRIGUEZ VILLANUEVA P P, TORANO GARCIA A et al. Construction material for draining carbon dioxide for long term, comprises hydraulic mortar, asphalt and binder, which comprises plant aggregates (sawdust, wood chips, wood fibers and straw)[P]. Spanish, ES2356877-A1, 14 Apr 2011.
- [14]陈嘉, 阿肯江·托呼提. 掺和麦秸秆纤维土体材料抗压强度性能试验研究[J]. 四川建材, 2009, 35 (4): 13-15.
- [15]蒋武燕. 利用废弃秸秆制作城市绿化砖工艺的研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2009
- [16]王志博, 杨为民, 张伟. 粉煤灰秸秆复合材料的试验及回归分析[J]. 河南科技大学学报: 自然科学版, 2009, 30(6):71-74.
- [17]刘殿忠, 于莹, 夏法磊等. 秸秆混凝土配合比设计[J]. 吉林建筑工程学院学报, 2010, (27) 1:19-21.
- [18]胡玉秋, 范军, 张玉稳等. 秸秆混凝土砌块保温性能的实验研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2010, 41(3): 42-43.
- [19]肖力光, 李丽飞, 李晶辉等. 秸秆纤维对低碱水泥基材料阻裂性能的影响[J]. 吉林建筑工程学院学报, 2009, 26 (1): 1-4.
- [20]薛强, 李先旺, 刘磊等. 一种路用纤维复合材料的制备方法[P]. 中国专利信息中心.
- [21]郎森, 陆海军, 蔡光华. 秸秆纤维路用性能试验研究[J]. 武汉工业学院学报, 2011, 30(1):84-87 .
- [22] 虞积东. 各种沥青混合料设计方法的比较[J]. 内蒙古公路与运输, 2007, 6:46-48
- [23]丁超. 秸秆表面处理及其在沥青混合料中的尺寸分布研究[D]. 扬州职业大学毕业论文, 2013. 5.
- [24]封基良. 纤维沥青混合料增强机理及其性能研究[D]. 南京: 东南大学, 2006
- [25]丁智勇. 纤维沥青及其混合料性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
- [26]古献义. 纤维沥青混凝土应用技术研究[J]. 建筑与工程, 2007(27):444-445
- [27]薛强, 盛谦. 沥青混合料路面破坏的多场耦合效应及控制技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009

## 致 谢

本文是在指导教师尹继明的精心指导和大力支持下完成的。尹老师严谨求实的治学态度和创新的思维，对我论文的完成产生了深远的影响，我真诚的感谢他对我学习和工作上的培养和教导，在以后的学习和工作中我会紧记其教诲。同时，通过这次毕业论文的研究，我对国内外纤维沥青混合料的研究现状有了一个较为全面的认识，在尹老师的指导和带领下，我和同组成员大胆的尝试着将麦秸秆纤维掺入到沥青混凝土中，通过一系列的实验室试验，验证了其实用性和可行性，试验技能得到了较大幅度的提高。

另外，还要感谢丁超和秦国俭同学，在试验过程中，我们分工协作，团结互助，为试验的顺利奠定基础。同时还要感谢扬州华正检测有限责任公司和扬州润扬路面责任有限公司，为本研究提供了实验支持。

最后，再次对关心、帮助我完成这篇论文的单位和个人表示衷心地感谢！