

长安大学

硕士学位论文

彩色路面用材料性能及施工工艺研究

刘涛

指导教师姓名 郝培文 教授

申请学位级别 硕士 学科名称 道路与铁道工程

论文提交日期 2006.5 论文答辩日期 2006年6月12日

学位授予单位 长安大学

答辩委员会主席: 戴经梁 教授

学位论文评阅人: 伍石生 高工

陈忠达 教授

摘 要

本文针对彩色沥青混合料以及彩色水泥灌浆沥青混合料进行了研究。

彩色沥青混合料是用特制的彩色结合料替代道路石油沥青拌合而成的混合料，彩色结合料由聚合物、树脂、软化剂和其他外加剂所聚合而成。本文介绍了彩色结合料的制备和生产工艺，自行研制出三种系列六个标号的彩色结合料，性能达到或超过国际上同类产品的指标。基于马歇尔设计法，对六种标号的彩色结合料和进口道路石油沥青组成的混合料进行路用性能研究，结果表明，彩色沥青混合料的高温稳定性、水稳定性、低温抗裂性、疲劳特性等达到或超过进口道路石油沥青混合料的性能。

彩色水泥灌浆沥青混合料是将特殊设计的彩色水泥胶浆灌入到大空隙开级配基体沥青混合料中而成型的混合料。本文基于国内外研究，设计出性能符合要求的彩色水泥胶浆，提出了一种简单的基体沥青混合料设计方法，并对由此成型的水泥灌浆沥青复合材料进行了路用性能试验，试验结果表明彩色水泥灌浆沥青混合料具有优良的高温稳定性、抗水损害性，良好的疲劳特性和一定的低温抗裂性。

最后，论文还对彩色铺面用材料的施工工艺进行了研究。

关键词: 彩色结合料. 彩色沥青混合料.

彩色水泥灌浆沥青混合料. 彩色水泥胶浆. 基体沥青混合料. 设计方法.
路用性能. 施工工艺

ABSTRACT

This thesis studies on the performance of the color asphalt mixture and color cement slurry-filling asphalt mixture.

The color asphalt mixture is a kind of mixture whose binder is used a special color binder instead of the common asphalt and the color binder is polymerized by resin, polymer and other additional agents. The thesis introduces manufacture technology of the color binder. The three series of color binder developed by ourselves have superior performance than the same type products in the world. According to Marshall design method, the performances of the mixtures with six-graded color binder and ESSO asphalt are studied and the results show that the performance of resistance to rutting at high temperature, water stability, resistance to crack at low temperature and resistance to fatigue of color asphalt mixture is the same as or superior to the common asphalt mixture.

Color cement slurry-filling asphalt mixture is a new kind of mixture formed by filling special cement slurry into asphalt mixture with large void and open grade. On the basis of researches inside and outside of the country, this thesis studies the mix of color cement slurry, gives a simple design method of carrier asphalt mixture. The pavement performance of color cement slurry-filling asphalt mixture is also researched that it has excellent high temperature stability, water stability, and resistance to fatigue and certain resistance to crack at low temperature.

Finally, the construction technique of color pavement is studied.

Key words color binder; color asphalt mixture;
color cement slurry-filling asphalt mixture;
color cement slurry; carrier asphalt mixture;
design method; pavement performance;
construction technique

论文独创性声明

本人声明：本人所提交的学位论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名： 刘涛 年 月 日

论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

论文作者签名： 刘涛 年 月 日

导师签名： 郝增文 年 月 日

第一章 绪论

§ 1-1 课题的提出及研究意义

随着人们生活水平的提高和人本主义理论在道路交通中的应用，“安全”和“环境”将成为未来道路建设的两大主题，传统的白色（水泥路面）和黑色（沥青路面）两种颜色的路面铺装势必不能满足现代化道路交通的需求。随着经济的发展，世界上许多国家已注意到铺装彩色路面可以起到美化环境，给人以良好心理感受的作用，同时又能诱导交通，因而彩色路面作为一种新型铺面技术，逐渐引起人们的兴趣和重视。

1.1.1 彩色路面的功能

随着交通基础设施的逐步完善，“安全”和“环境”将成为未来道路建设的两大主题。汽车的发展推动人类社会的进步，同时交通事故频繁发生，也使道路充当起人类生命“杀手”的不光彩角色，分析交通事故的原因，90%以上都是由于人的疏忽和失误引起的；而环境是人们活动的背景，其作为一种非语言的符号，对人的心理有着潜移默化的影响，继而对人的行为产生导向作用。由此可见，安全与环境问题都与人的心理和行为特点有着直接的关系。进行彩色路面研究的目的是，就是希望使其能够具备使用和艺术美的双重属性。既要求有效的促进道路交通安全，又要求突出其精神性与艺术性。这充分体现了“以人为本”的道路设计理念。

1. 实用性方面

彩色铺装不但能满足路面最基本的使用功能，而且可以通过特殊的色彩、质感和构行加强路面的可辨别性，划分不同性质的交通区间，对交通进行各种警示和诱导，有效的限制车速，从而进一步提高道路交通安全性能。专家认为，在道路中铺装不同色彩的路面在某种程度上比竖立交通标志牌更好，它更容易起到警示的作用^[10]。例如在事故多发地段铺装红色或黄橙色路面，可以直观地提醒驾驶员注意，做到谨慎行车；在通过中小学区域的道路上，铺装红色路面，提醒驾驶员减速慢行，避免交通事故的发生；铺装不同色彩的车道，使车辆沿不同颜色的车道行驶，要比在路面上划标志线更容易能对驾驶员起到引导作用，保证车

辆行驶在应该行驶的位置。日本在城市街道中将不同车道铺成不同颜色，不仅是为了美化城市，同时也为了引导交通。

2. 艺术性方面

彩色铺装的道路环境景观中占有极其重要的地位和作用，它是改善道路空间环境最直接、最有效的手段。景观铺装强烈的视觉效果让人们产生独特的激情感受，满足人们对美感的深层次心理需求，它可以营造温馨宜人的气氛，使街道空间更具有人情味和情趣，吸引人们驻足，进行各种公共活动，使道路空间成为人们喜爱的高质量的生活空间。如在风景旅游区、商业中心、疗养区或公园体育场设施周围铺设各种色彩的彩色路面和广场，与周围建筑、植被相映相辉，可使环境更具魅力更为宜人。

3. 物理功能方面

彩色路面的物理功能主要指热工方面的作用。不同色彩明度的物体对光线的反射率存在一定的差别，明度高的物体，反射率高，吸热量小，而明度低的物体，反射率低，吸热量大。根据这一原理，设计方案时，彩色路面也可作为调节环境温度的因素之一加以考虑。表现在混合料路用性能方面，就是在同样的日照、气温条件下，抗高温变形能力增强。

1.1.2 彩色路面的种类

彩色铺面根据选用的材料和施工工艺不同，可以分为以下几种：

1. 掺入彩色颜料

该法是将直接将颜料作为矿粉加入沥青混合料中拌合，用以铺筑路面，但由于沥青黑色屏蔽作用，颜料的色彩显示不出来，仅红色颜料可以做到被接受的暗红色，而对于黄色、绿色等浅色则更无法显示。

2. 在铺设路面期间把彩色碎石压入面层中

热压式沥青混凝土可以在碾压时将装饰性彩色碎石嵌压在表面。热压式沥青混凝土重要特性之一是它的级配为间断级配，也就是说，粒径 2.36-9.5mm 集料含量很少，它是由砂、细的矿质填料和沥青组成的结合料中掺入 14-16mm 中粒径的彩色集料。如图 1-1-1 为掺入红色集料的热压式沥青混凝土路面。



图 1-1-1 掺入红色集料的热压式沥青混凝土路面

3. 彩色表面处理

这种方法又有三种情况：彩色稀浆封层技术是近年来在欧洲应用的一种彩色路面施工新技术，它采用改性乳化树脂作为粘结料，集料采用彩色碎石，配以颜料及添加剂，使用专门摊铺机进行施工，摊铺厚度一般为 4-6mm，如图 1-1-2。由于该技术属于薄层罩面，可以直接在原有路面进行施工，而不需对原有路面进行铣刨等前期处理；彩色油漆涂层是在一般的沥青路面或水泥砼路面上喷涂彩色油漆涂层或其它相关产品，其缺点是易磨损，如图 1-1-3；彩色表面处治是在沥青路面或混凝土路面上撒布粘接力强的树脂，再撒布有色骨料使其粘接。

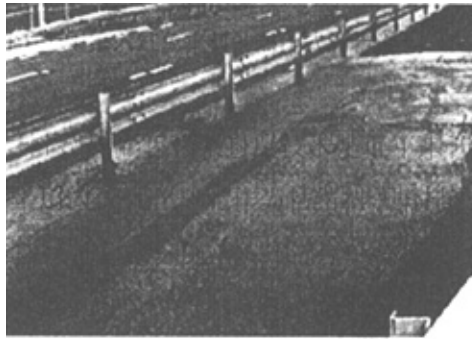


图 1-1-2 彩色稀浆封层

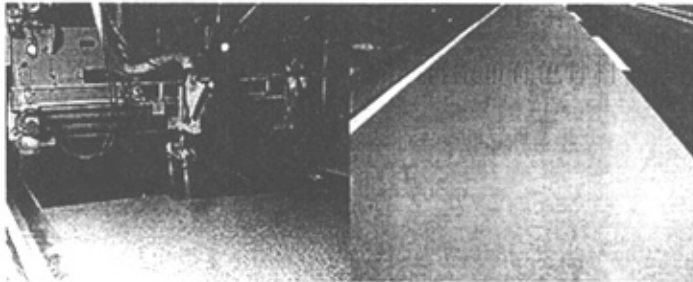


图 1-1-3 喷涂彩色油漆的面层

4. 采用一般的沥青与彩色集料混合

当使用一般的沥青和彩色集料拌和时，它所获得的颜色深度有赖于：集料本身的颜色，集料上粘结料膜的厚度以及暴露在道路表面的粘结料被交通磨损速率。一般在普通及繁忙的道路上集料本身的颜色很快就会显露出来，但在轻的交通地区集料本身的颜色要在较长时间才能暴露出来。

5. 使用浅色结合料的沥青混合料，也就是人们所说的彩色沥青路面

浅色结合料是一种新型的铺路材料，它与传统的筑路材料沥青有着相似的性质，因此人们也常将其称为彩色沥青。浅色结合料在用于铺筑路面时可以任意配成不同的色彩，色泽鲜明而且非常牢固。在石料选用方面也比较随意，选用与颜料颜色相近的彩色石料可铺出纯色彩的彩色路面，选用一般石料或色彩与颜料反差较大的石料，铺出的路面开始为纯色，经过一段时间的磨损，可成为斑点相间的彩色路面。因此现在大多数彩色路面是采用这种工艺制作的，其具有很好的应用前景，如图 1-1-4。



图 1-1-4 彩色沥青路面

6. 彩色水泥灌浆沥青路面

彩色水泥灌浆沥青混凝土路面是半柔性路面的一种，施工时在浸透性水泥胶浆中掺入颜料进行着色，然后将水泥胶浆灌入到开级配沥青混合料的空隙中，经过养生后，即形成彩色水泥灌浆沥青路面，如图 1-1-5，其突出的优点是：强度很高，高温抗变能力很强，抗渗性好，耐久且抗油蚀性好，并且价格低廉。^[1]

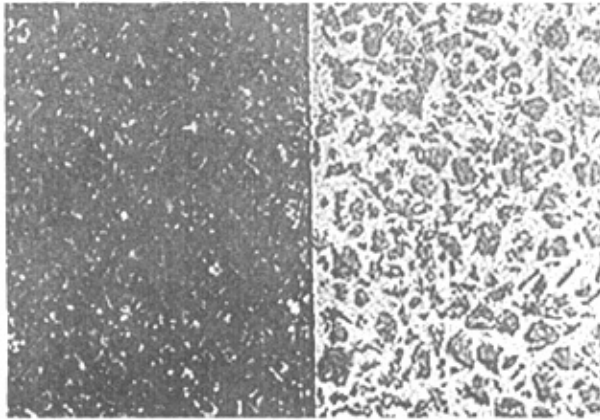


图 1-1-5 彩色水泥灌浆沥青路面（灌浆前后）

1.1.3 彩色路面的用途

彩色铺面技术的推广应用，可以达到如下的目的：

1. 加强道路交通管理，有利于更好地诱导交通，减少行车安全事故的发生。
2. 可以美化交通环境、美化城市，给人以良好的心理感受。
3. 使城市具有现代化都市气派，与国际接轨，有利于招商引资。
4. 路面彩化，符合城市建设“彩化、绿化、亮化和快化”的要求。
5. 在公园、广场等地的应用，可形成新的旅游景观，有利于吸引更多的游客。在住宅小区，有利于提高小区的形象、档次和综合竞争能力，促进房地产业的发展。

综上所述，由于作为路面的结构层以彩色沥青混合料和彩色水泥灌浆沥青混合料效果最佳，本课题主要开展新型彩色路面用彩色结合料的开发应用以及彩色水泥灌浆沥青路面的研究。

§ 1-2 国内外应用研究概况

1.2.1 国外应用研究概况

1. 彩色沥青混凝土路面的研究与应用可追溯到 20 世纪 50 年代欧美等国家，60 年代前苏联道路科学研究所以及哈尔科夫公路学院也对彩色沥青路面铺设进行了研究和应用，并先后在莫斯科、哈尔科夫等城市铺筑数万平方米的彩色沥青混凝土路面^[54]。这种路面不仅可以与道路周围的建筑艺术很好地协调，而且还

可以起到美化城市和诱导交通的作用，并且还能体现出一个国家或一个城市的特色和风格，提升整个城市的形象和功能，显示出现代化都市的气派和魅力。

彩色沥青混凝土路面在国外应用最典型的有：日本北九州市 199 号国道（街道段），靠边的两侧车道铺成铁红色路面、神戸市中心长田楠日尾线中间车道铺成黄色的密级配彩色路面、大阪浪速区则在停车站车道上铺有草绿色的路面、大阪府大道铺正区大正通道铺有黄色路面、水户市 50 号国道正弯道位置上铺有黄色路面专供大型客车行驶、名古屋则是在水泥混凝土路面上铺上一薄层黄色路面^[10]。日本彩色路面还有石川县松任海滨公园、山口县的下关赛艇游乐场；韩国亚运会、奥运会体育设施的路面；瑞典歌德堡的里斯伯格公共游乐场；法国巴黎东北有一段 30 公里的公路铺成蓝色，因为蓝色能使驾驶员精神愉快，不易疲劳；荷兰阿姆斯特丹、海牙、鹿特丹等城市在人行道上都设有 1.5~2.0m 的铁红色沥青路面自行车道；英国伦敦白金汉宫前的林荫大道全部铺成铁红色的路面等等^[14]。

2. 水泥灌浆沥青混凝土最早的应用是在 1954 年法国科涅雅克（Cognac）航空港喷气式飞机用的跑道上，作为耐热用的道面，并以此申请了专利，称为“Salviacim”施工法。1961 年，继法国之后，日本以“半柔性路面和半柔性路面施工法”为名申请了专利。之后，该种半柔性路面在日本迅速发展起来。日本大林道路株式会社、鹿岛道路株式会社以及日本铺道株式会社等多家施工企业在获此施工方法的专利权后，各自独立的继续对该种半柔性路面进行了多项研究。许多公司还制定了各自的设计标准并加以推广使用。1988 年，建设省中国技术事务所和日本道路建设业协会就该种半柔性路面的开发进行了历时三年的研究，提出了设计标准、施工方法以及管理等一系列的研究结果，大大推进了半柔性路面在日本的发展。现阶段在日本，许多高速公路的收费战、停车场、加油站、爬坡路段以及集装箱码头和公共汽车专用线等场所，都修筑了相当规模的半柔性铺装。现在日本每年都有二十多万平方米的施工面积。另外，英国、德国、法国和前苏联等国家，也从事这方面的研究，并提出了有关这种路面结构设计计算方法和力学性能的研究论文，证实了这种路面材料可提高沥青混合料的高温稳定性及低温抗裂性，延长了路面的使用寿命。

1.2.2 国内应用研究概况

1. 彩色沥青混合料的探讨我国开始于 80 年代初,但收效甚微,且在道路上应用尚少。近几年,彩色沥青混凝土路面才作为一种新型的铺面技术,营造着 21 世纪交通的时代气息,在公路、道路或广场等地使用得越来越多,引起了人们的兴趣和关注,被全球工程界视为“新型绿色建材”。1999 年长安大学郝培文等研制出性能可与优质石油沥青相比拟的系列彩色沥青^[12],并在成都市提督街非机动车道上铺筑了试验路,使用效果良好;同济大学吕伟明等采用两种树脂和矿物油对彩色胶结料进行试验方法和性能的研究^[13];2003 年沈阳市城建沥青混凝土厂的王利泉等也采用石油树脂和矿物油进行了彩色沥青的研究^[16];2004 年,辽宁石油化工大学高明等人以辽河 70 号沥青为基质沥青,研制了几种彩色沥青并对其进行了一定的技术性能研究^[15]。

彩色沥青混凝土路面在国内应用典型的有:厦门市府大道约长 4km 的两侧非机动车道和环岛路旅游观景道;西安市雁塔路两侧非机动车道;无锡环太湖公路;北京市长安街延线路新大成彩色篮球场和石景山游乐场;沈阳植物园彩色游览路、植物园彩色游览路(二期)和沈阳市北京街、北陵大街彩色景观路;上海市肇嘉浜路和太原路的慢车道、成都市数百米的提督街、武汉东湖之滨卓刀泉北路到楚源大厦的连接线,红、蓝、绿三色相间、武汉的江滩非机动车道、烟台市滨海中路彩色观景路、广州黄埔大道与车陂路口到广园东快速干线宝蓝色的立交人行道、辽宁大厦彩色广场和南京升州路人行道等等。

2. 彩色灌浆沥青路面的研究在国内尚处于起步阶段。1986 年,同济大学道路与交通工程研究所的王素勤等人针对国产普通沥青混合料使用拌合法和灌浆法加注水泥浆,制成特种沥青混凝土,进行了各种物理力学试验,比较了高低温条件下的力学性质,并于 1986 年底,在广东惠深线上修建了试验路,经过两年的行车作用,使用效果良好。1990 年湖北宜昌地区公路总段在总结国内外经验的基础上,铺筑了试验路,介绍了水泥沥青混凝土路面的技术性能和施工方法。上海市市政工程研究院的刘益群也就水泥灌浆沥青混合料的性能进行了试验研究^[46]。2002 年长安大学郝培文等对水泥灌浆沥青路面进行了大量的试验研究,取得了一定的成果^[41]。

本课题参考国内外研究经验，自行研制了三个系列的彩色路面用浅色结合料，试验表明性能优良；对另一种新型的彩色路面用材料彩色水泥灌浆沥青混合料也进行了研究，该材料性能优良，施工简便，价格低廉，尤其适合高温地区使用，可以弥补现在国内彩色沥青路面性能的不足。

§ 1-3 本课题主要研究内容

本课题主要研究内容如下：

1. 彩色路面用材料色彩的选择
2. 彩色结合料的研发
3. 彩色结合料技术性能研究
4. 彩色沥青混合料路用性能研究
 - 1) 彩色沥青混合料配合比设计方法
 - 2) 彩色沥青混合料高温稳定性试验
 - 3) 彩色沥青混合料水稳定性试验
 - 4) 彩色沥青混合料低温抗裂性试验
 - 5) 彩色沥青混合料疲劳性能试验
5. 彩色水泥灌浆沥青混合料路用性能研究
 - 1) 彩色水泥胶浆的配比研究
 - 2) 基体沥青混合料设计方法研究
 - 3) 彩色水泥灌浆沥青混合料高温稳定性试验
 - 4) 彩色水泥灌浆沥青混合料水稳定性试验
 - 5) 彩色水泥灌浆沥青混合料低温抗裂性试验
 - 6) 彩色水泥灌浆沥青混合料疲劳性能试验
6. 彩色路面施工工艺研究
7. 结论及进一步的研究建议

第二章 彩色路面应用中色彩的设计

自然界是个色彩绚丽的世界, 世界上的万物不仅有千姿百态的形状, 而且有丰富多彩的颜色, 一切的形象在人的视觉中都以色彩的形式反映出来。色彩象征着生命, 它具有运动、变化的活力, 一切生气勃勃的东西都焕发着诱人的色彩。在各种视觉要素中, 色彩属于敏感的, 最富表情的要素。经验和研究表明, 人类具有偏爱色彩的倾向, 只要有可能, 人们总是喜欢在他们周围的环境中饰以色彩, 进行美化。

色彩效果是彩色路面的生命所在, 是彩色路面重要的设计要素。合理的利用色彩对人的心理效应, 如色彩的感觉、色彩的表情、色彩的联想与象征等, 可以设计出别具一格的铺装色彩来装扮素以灰暗示人的地面, 让它充满生机和情趣, 与蓝天白云、青山绿水、靓丽楼宇、多彩花园等一起营造优美的生活空间, 让人们生活更加精彩。

§ 2-1 色彩的设计要体现道路色彩表情达意的丰富性

色彩可以在形体表面上附加大量的信息, 使道路造型的表达具有广泛的可能性和灵活性。色彩灵敏多情的天性使道路焕发出诱人的光彩和活力; 色彩传达感情最为直接; 色彩的表情与人们的心情息息相关, 无论是兴奋还是忧郁、欢快还是平静、轻松还是沉重, 都能从色彩中寻出“知音”。色彩的不可胜数的变化能够与人们内心各种复杂的感受取得共鸣。因此, 色彩所具有的风采和情趣常使人们心悅神往。

2.1.1 表现气氛

1. 色彩表现气氛与基调色有很大关系。

基调色反映色彩表达的基本倾向, 它相当于音乐的主旋律, 道路色彩所表现的气氛很大程度上是由基调色的感染力形成的, 可以利用这一特点来实现铺装景观的功能。一般的规律是: 暖色调表达温暖、热烈; 冷色调表达凉爽、宁静; 高彩度表达华丽、鲜艳; 低彩度表达朴素、柔和; 高明度表达明朗、轻快; 低明度表达稳重、坚实等^[6]。

基调色的选择可以是单色的, 突出表现某种色彩的表现力。

红色热烈鲜艳象征着幸福吉祥，能够引起人的兴奋，同时红色又给人留下恐怖心理，象征流血和危险。如图 2-1-1 所示的饱和的红色铺装就给人一种力量、热情和冲动之感。

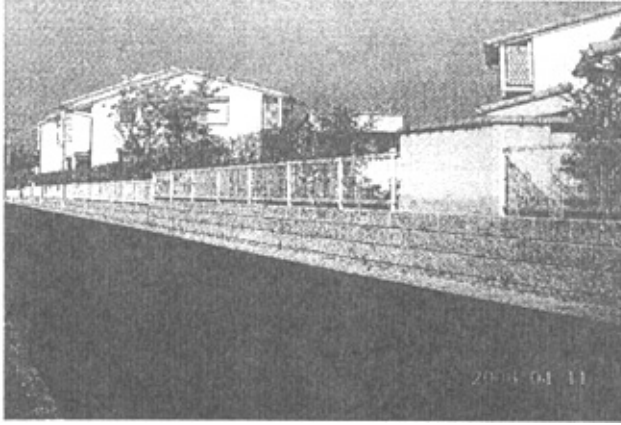


图 2-1-1 饱和的红色路面铺装

橙色能使血液循环加快，而且有温度上升的感觉，橙色是色彩中最活跃，最富有光辉的色彩，是暖色系中最温暖的色，它常和太阳想联系。图 2-1-2 为橙色路面铺装。



图 2-1-2 橙色路面铺装

黄色是最明亮的色彩，很能吸引人们的视线，是使人愉快的色，幸福的色，给人明快、泼辣、希望、光明的感觉。图 2-1-3 为黄色的路面铺装。

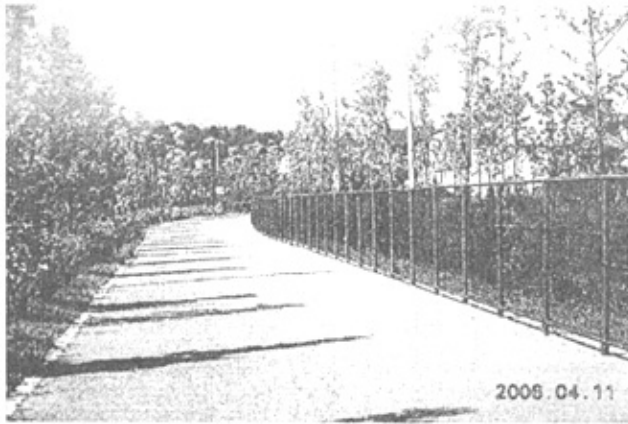


图 2-1-3 黄色路面铺装

绿色是我们视觉中最能适应刺激的一种色，绿色显得平静，使人的精神不易疲劳，如果你的眼睛感到刺激难受时，可以在绿色中去求得恢复。图 2-1-4 为绿色铺装。

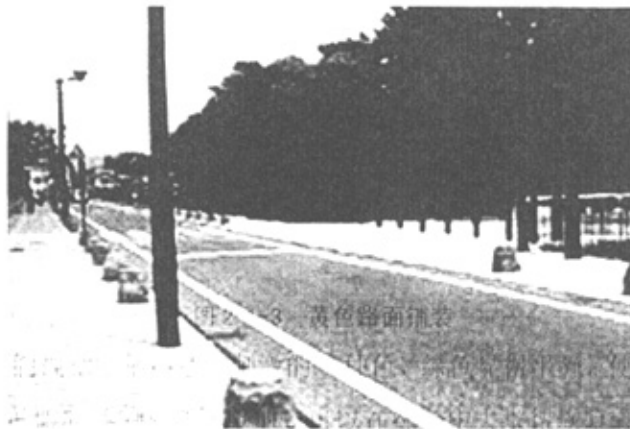


图 2-1-4 绿色路面铺装

黄绿色具有一种冷色的端庄的色彩，平静而有凉爽，显出一种青春的力量，生机勃勃，蒸蒸日上，使人联想到春、竹、嫩草等，对市民环境心理上有一种宁静和园林感的影响。

蓝色与红、橙、黄一类积极的色彩形成鲜明对比，它是消极的、收缩的、内在的色彩。蓝色让人感到雅致而淡冷、宁静而纯洁与红、橙暖色用在一起，可为此类色彩提供了深远的空间效果。深蓝色如同天空、海洋，有着遥远而神秘的感觉。

白色具有光明的性格，又能将其他色引为明亮，白色的性格内在，让人感到快乐、纯洁，而毫不外露。

黑色在视觉上是一种消极的色彩，黑色给人稳定、深沉、严肃、坚实的感觉。

由于大面积的白、黑色路面单调乏味，人们进行彩色路面景观铺装，使道路彩化，从而更具吸引力。但这并不意味着铺装景观的色彩设计排除白色和黑色。

灰色是白色与黑色的混合色，由于灰色明度适中，因此它属于能使人的视觉得到平衡的色。

此外，也可以用不同色彩的对比和配合，以表现在各种色彩相互衬托情况下多彩多姿的效果。例如，黄白搭配欢快、明亮，红黑搭配稳重、深沉，蓝绿搭配雅致、宁静等。图 2-1-5 即为蓝色的路面与周围的绿色相搭配，显得优雅、娴静。

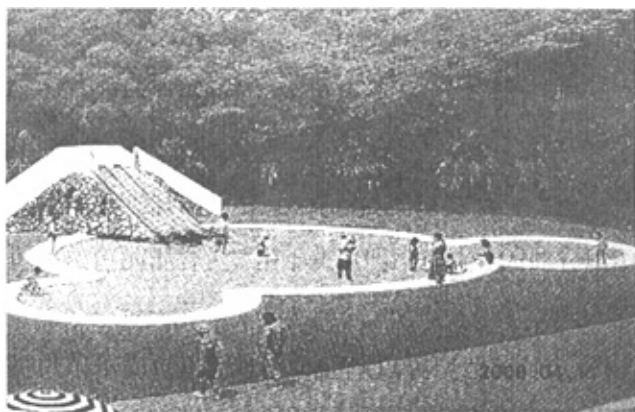


图 2-1-5 优雅、娴静的蓝绿搭配

2. 色彩在各种存在条件下的对比关系，如色相对比、明度对比和彩度对比都对色彩的表现气氛形成不可忽视的影响。

色彩诱人的魅力是在相互比较和衬托之中显现的。色相对比时，差别越大，色彩越显得艳丽夺目；补色对比时，彩度有互相增强的倾向，可以使色彩生动鲜明；色相接近的色彩并置时，则显示含蓄、柔和的气氛。纯度对比使色彩鲜明、纯正。建筑中常用灰色或白色与某一单纯色彩对比的形式而取得鲜明、清新的效果。明度的强对比具有强烈的黑白反差；明度的弱对比由于明暗反差小，会使形象模糊不清，适中的明暗对比可以取得明确、肯定的效果，使路面面目清晰、爽朗。路面色彩表现气氛与环境色有关。路面与周围环境呈色彩对比时，可以使路面形象色彩鲜明；路面与周围环境色调适度的差异使二者既能融为一体，又可相映成趣。

2.1.2 区分作用

色彩的差别告诉人们那是什么、情况怎么样。由于有了色彩，人们才有“一目了然”的高效率区分外部环境的本领。在路面设计中,对路面加以适当的区分可以给人以构成清晰的印象。路面色彩的差异起着标识作用,可以传达多种信息,如区分功能区、警示安全等都具有实际的意义。

2.1.3 装饰美化

用色彩作为装饰美化建筑的手段,无论是东方还是西言,都是从古就有的。用色彩作为装饰交通环境一路面的手段,同样可以为道路增添难以言表的生机和活力。随着彩色路面技术的发展,道路设计师们正在寻求越来越多的装点道路的方法。色彩可以像化妆美容一样为路面增光添彩,也可以像产品包装一样使路面形象翻新。需要指出的是,色彩对道路的美化不是无条件的,色彩使用不当,效果会适得其反。道路色彩造型设计应是一种艺术创作,其中艺术鉴赏力对于设计者至关重要,而这种鉴赏力是以感觉为标准,建立在审美经验的基础之上的。

2.1.4 强调作用

色彩具有强调作用。对特别的部位施加与其余部分不同的色彩,可以使该部分由背景转化为图形从而得到有力的强调。色彩强调针对道路来说,一般用以强调重要的、美观的或是事故多发的部分,如图 2-1-6 即为彩色路面用于事故多发的拐弯处,用以强调。重点色可以使看起来单调的形象增加活力。重点色与主色调的差异越大,对比效果越强烈、醒目。由于暖色调有向前的倾向,很容易从背景中跳出来,所以重点色通常用暖色,如红、橙、黄等。采用各种色彩对比也是重点强调的有效方法:如纯度对比、明度对比、色相对比等。



图 2-1-6 彩色路面用于拐弯的事故多发处

§ 2-2 色彩的设计要体现道路色彩背景和图形的双重性

当人们观赏一幅画时，画面图形和背景关系是固定的。图形就是图形，背景就是背景，无论远看近看都不会改变这种既定关系。在道路的景观环境中，情形则复杂得多，一条道路在某种景观范围内是图形，在另一种景观范围则是背景。道路的图形特征与视点距离有关。在一定距离观看时，道路整体轮廓在视场中心，道路具有图形效果，如图 2-2-1 所示的彩色路面在整个画面当中就起图形的作用。

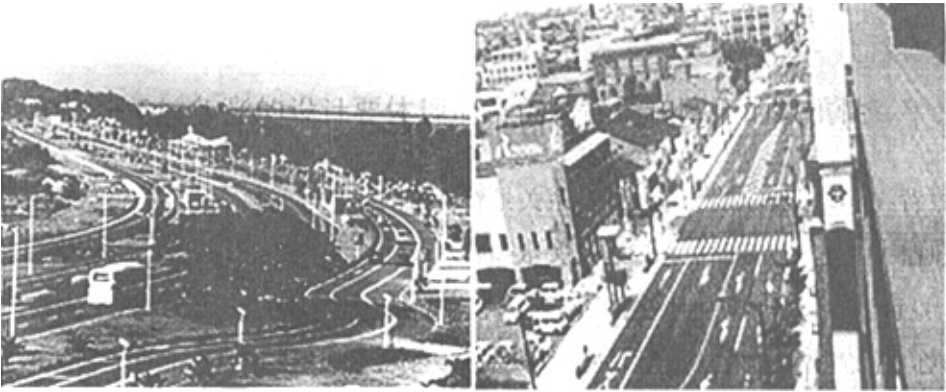


图 2-2-1 远距离彩色路面成为视场画面的图形

随着看视距离拉近，背景图形关系会发生变化。当道路的周边轮廓接近视场边缘时，道路的路面则变为背景，路面上的车流、行人则成为图形。如图 2-2-2 所示，近距离的彩色路面便成为汽车的背景图案。



图 2-2-2 近距离彩色路面成为视场图画的背景

道路的图形特征与环境有关。在自然环境中个别的、孤立的道路通常具有图形效果，这时，道路的色彩即是图形的色彩。在道路密集的城市环境中，各种建

筑、广场、草坪等则成为新颖的有特色的道路的背景。在进行道路色彩造型设计时，需要根据多种因素从不同范围进行全面综合考虑。

§ 2-3 色彩的设计要体现道路色彩的时空变化性

道路的形态是处于时间和空间之中的，道路的色彩也必然受到时间和空间的影响。人与道路的距离及观察角度的不同，对色彩的表现效果会产生不同程度的影响。同样色样的道路，当近距离和远距离观看时，色调、明度和彩度都有明显的变化。远处的色彩会由于大气的影响趋向冷色调，明度和彩度也随之向灰调靠近。春夏秋冬的季节变化和阴晴雨雪的天气都使道路处于不同的景色陪衬之下。光源的色彩变化对道路的色调也有直接的影响。晴天时，太阳光线一般是极浅的黄色，早上日出后 2 小时显橙黄，日落前 2 小时显橙红，道路在朝霞和夕阳映照下色彩绚丽的景观是一天中最富表情的时刻。如图 2-3-1，黑色路面在夕阳的映照下发出淡紫色。



图 2-3-1 在夕阳映照下发出淡紫色的黑色路面

天气变化给自然光源带来了色彩的丰富性。阴天的时候，太阳光通过云层的折射，光源显出冷色调，便使道路笼罩在清凉的色调之中。

道路色彩的时空变化性使单调的色彩产生许许多多的变化，人们从道路的色彩变化中，不仅得以识别形体空间，而且可以感受到道路的生机和活力。所以利用色彩的时空变化性，可使得道路设计师们可以运用简单的色彩取得丰富的效果。

§ 2-4 小结

彩色路面区别于一般路面的一个重要特点就在于其色彩的多样性,在设计道路景观铺装时,必须充分认识道路色彩造型的特殊性和规律性,把色彩的运用同具体的道路空间环境有机结合起来,从创造道路整体形象观念出发,全面考虑色彩的设计问题。

第三章 彩色结合料的制备及其性能研究

§ 3-1 彩色结合料的生产制备

浅色结合料由于用于彩色沥青路面中,人们也就习惯上称之为彩色结合料或彩色沥青。彩色结合料是由聚合物、树脂、软化剂和其他外加剂所聚合而成的。在彩色结合料的研制中,首先是原材料的选择,之外,加工工艺也非常重要。加工工艺直接影响到彩色结合料的力学性能、贮存稳定性以及耐老化性。

从热力学观点看,相容性是指两种物质以任意比例相混都能形成均相体系的能力。聚合物、树脂、软化剂溶度参数越接近越好,则相容性越好,然而能完全满足热力学混溶条件形成均相体系的物质极少,通常情况是热力学不相容的,一般情况下的混合料体系均为微观或亚微观结构上的多相体系,这种物质间的不完全混溶,如果这些共混物不同组分的性能互相补充,就会改善材料的特性。

从工艺角度看,混溶性是指两种物质容易相互扩散而形成性能稳定的共混物的能力,共混物两相间存在的界面层即过渡区,决定着两相间的粘结强度,影响着共混物的力学性能。而树脂分子量分布直接影响着共混物两相界面间的粘结,除两相界面外,共混条件是影响共混物混溶性和共混物性能的重要因素。两种物质尽管不具备热力学混溶性,若采用高效混炼设备强化混合,也可以形成结构稳定的共混物。这是因为在剪切力的作用下,少量大分子链会断裂生成嵌段或接枝共聚物,从而提高两相间的混溶性。另外,共混组分间发生一定的胶联作用也可以增加共混物稳定性,再有共混体系中加入第三种组分也可以使相容性差的体系变为相容性较好的体系。

制备聚合物共混物的方法目前主要有物理共混法、共聚共混法以及互穿聚合物网络法。但从彩色结合料原料组成情况来看,采用物理共混法较合适。

物理共混法是依靠物理作用实现聚合物共混的方法,工程上又常称之为机械共混法,共混过程在不同种类的混和或混炼设备上完成。大多数聚合物共混物均可用物理共混法制备,在混合及混炼过程中,通常仅有物理变化,有时由于强烈的机械剪切作用及热效应使一部分聚合物发生降解,产生大分子自由基,继而形成少量接枝或嵌段共聚物。

利用物理共混法生产彩色结合料的剪切混炼工序如图 3-1-1 所示。

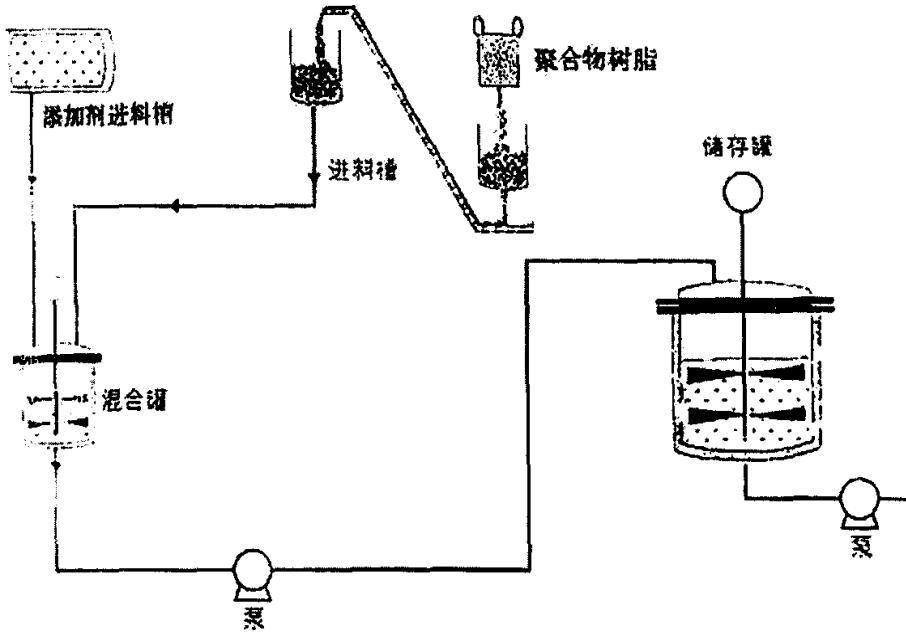


图 3-1-1 彩色结合料的混炼工序

彩色结合料生产工艺如下：

1. 实验室小试生产

先将树脂、软化剂、聚合物和其他外加剂按一定的比例投入到搅拌锅中，加热搅拌锅并同时搅拌混合物使其充分混合、熔化，直到温度达到 120~130℃ 时保温，继续搅拌大约 20 分钟，然后利用高速剪切设备剪切 15~45 分钟即可制成彩色结合料。

高速剪切设备转速可调，最高可达每分钟 1 万转以上，剪切间隙可达 0.01mm，可将树脂、聚合物等剪切成微小的颗粒。图 3-1-2 为两种代表性的剪切设备。

2. 工业放大生产设备的设计思路

1) 高速剪切反应设备

a. 容积及尺寸：以设计日产量决定反应釜的容积，径高比一般为 1: 3。

b. 密闭：反应釜多采用密闭。

c. 高速剪切：由于物料粘度较大，应配备框式搅拌，同时用胶体磨反复剪切研磨。

e. 温度显示及物料控制：釜内安装一个铂丝热电偶及一只水银温度计，以相互校正，并应装有相应的物料显示标尺。

f. 反应条件外侧应有保温层。

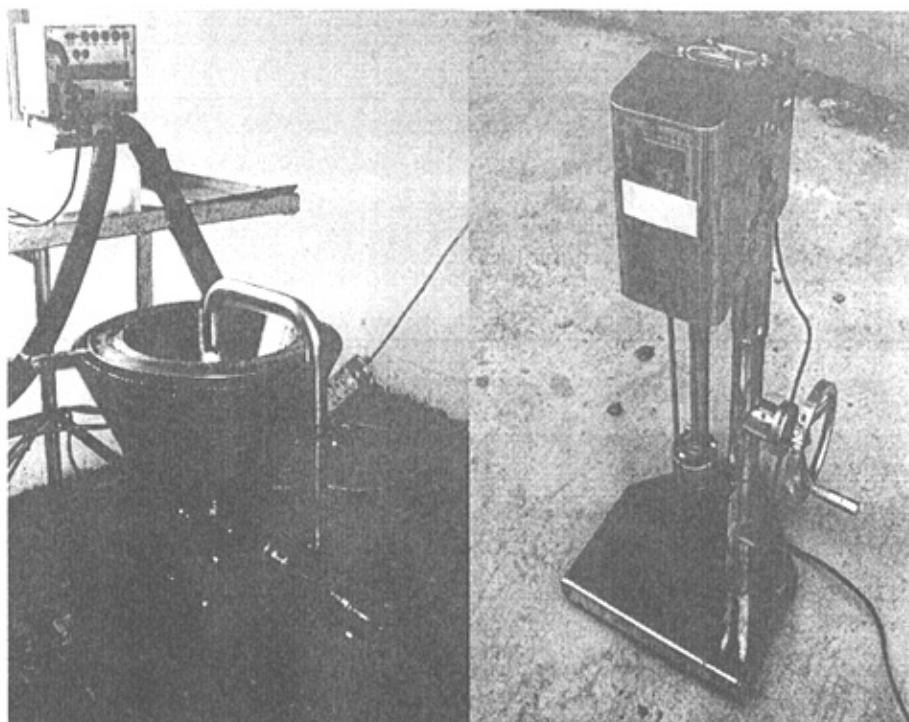


图 3-1-2 两种代表性的高速剪切设备

2) 彩色结合料生产操作过程

a. 加料：从反应釜加料口，将聚合物、树脂分别加入，然后再加入相关添加剂，关闭加料口。

b. 搅拌剪切：低速启动剪切机，连续搅拌，并升温直到 120—130℃，当温度直到 120℃左右时，开启高速搅拌，直至相互溶解。

e. 出料：当搅拌均匀后，打开反应釜出料口，装入盛料桶中。

3) 操作过程中应注意的事项

a. 釜内严禁有正压力，通过开启釜的放气阀口控制。

b. 严禁水分进入釜内，以免溢釜。

d. 应严格控制加热温度。

e. 生产现场严禁烟火，工作人员应密切注意观察设备运转电器设施，保证生产安全。

§ 3-2 彩色结合料的技术性能及分析

3.2.1 彩色结合料性能评价及试验方法

由于彩色路面用结合料在我国刚刚起步,因而在国家标准与部颁标准中尚未

表 3-2-1 道路石油沥青技术要求

指标	单位	等级	沥青标号										试验方法
			90号					70号					
针入度	0.1mm		80~100					60~80					T 0604
适用的气候分区			1-1	1-2	1-3	2-2	2-3	1-3	1-4	2-2	2-3	2-4	
软化点 (R & B) 不小于	℃	A	45			44		46		45			T 0606
		B	43			42		44		43			
		C	42					43					
10℃延度 不小于	cm	A	45	30	20	30	20	20	15	25	20	15	T 0605
		B	30	20	15	20	15	15	10	20	15	10	
15℃延度 不小于	cm	A	100										T 0605
		B	100										
		C	50					40					
闪点不小于	℃		245					260					T 0611
密度(15℃)	g/cm ³		实测记录										T 0603
TFOT (或 RTFOT) 后													T 0610 或 T 0609
质量变化不大于	%		±0.8										
残留针入度比 不小于	%	A	57					61					T 0604
		B	54					58					
		C	50					54					
残留延度 (10℃) 不小于	cm	A	8					6					T 0605
		B	6					4					
残留延度 (15℃) 不小于	cm	C	20					15					T 0605

列出该种材料技术性能指标要求,为此本研究对自行研制的 BSL-A、BSL-B、BSL-C 三个系列六种型号的彩色结合料结合我国“道路石油沥青技术要求”见表 3-2-1 (以下简称“技术要求”)进行性能研究,并与国际优质彩色路面用结合料产品指标以及埃索沥青进行对比。

试验方法按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)^[2]进行,对各种彩色结合料和优质道路石油沥青进行主要性能指标的测验。

对于老化性能,提出一个评价结合料抗老化性能的指标:抗老化指数 I' 。

$$I' = (A+B) / 2$$

A—残留针入度比,指经老化前与经老化后的沥青 25℃ 针入度之比。

B—残留延度比,指经老化前与经老化后的沥青 10℃ 延度之比。

现有的“技术要求”中要求检测经 TFOT 或 RTFOT 试验后沥青的质量变化、残留针入度比和残留延度。考虑到结合料质量的微小变化几乎不会对混合料性能造成影响,固认为抗老化性主要由经老化试验后的针入度和延度反映。

3.2.2 试验结果及分析

本课题采用进口埃索优质道路石油沥青做对比研究,BSL 彩色结合料与埃索沥青的各项主要技术指标见表 3-2-2 和表 3-2-3。

1. 90# 结合料技术性能

表 3-2-2 90# 结合料主要技术指标

项 目		BSL			埃索 90#
		90A 型	90B 型	90C 型	
针入度(100g, 5s, 25℃), 0.1mm		90	84	80	86
延 度(10℃, 5cm/min), cm		>200	>200	106	52.2
软化点 TR&B, ℃		43.7	47.1	70.3	45.3
闪 点(COC), ℃		>230	>230	>230	>230
密 度(15℃), g/cm ³		1.011	1.012	1.013	1.038
旋转薄膜 烘箱 加热试验 (163 ℃, 85min)	质量损失, %	-0.75	-0.665	-0.865	+0.06
	针入度比, %	90	95.2	86	58.1
	残留延度(10℃), cm	>200	>200	81	9.6

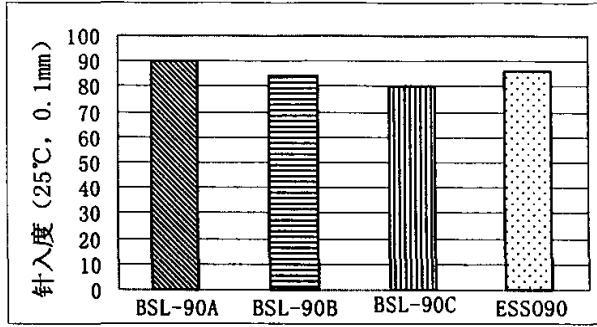


图 3-2-1 90# 结合料针入度比较

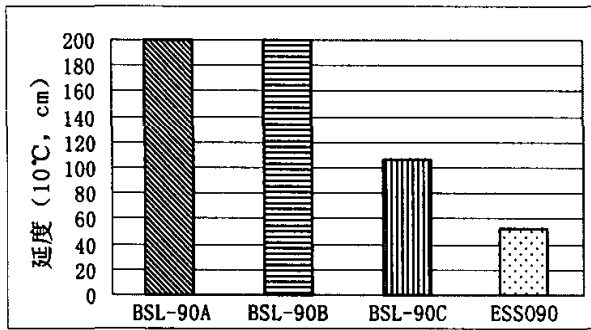


图 3-2-2 90# 结合料延度比较

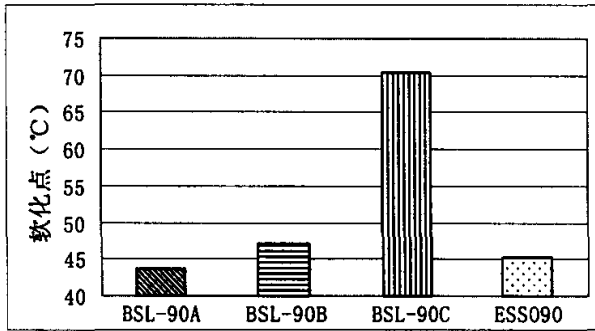


图 3-2-3 90# 结合料软化点比较

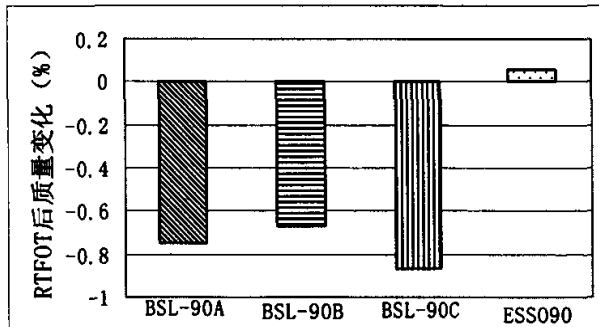


图 3-2-4 90# 结合料 RTFOT 后质量变化比较

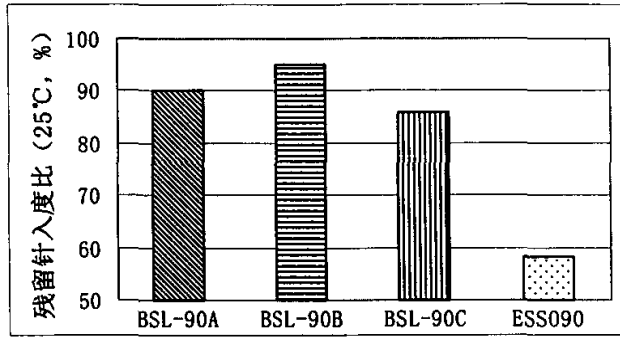


图 3-2-5 90# 结合料残留针入度比比较

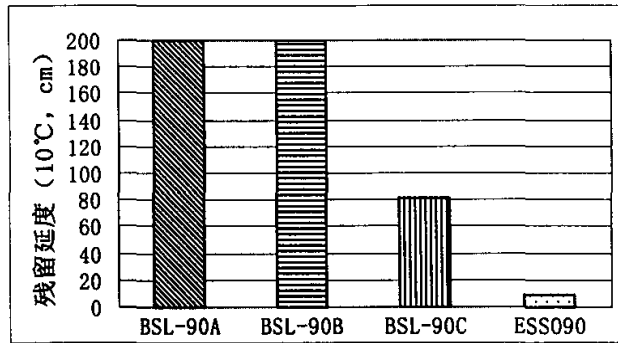


图 3-2-6 90# 结合料残留延度比较

由图 3-2-1~图 3-2-6 可以看出:

(1) 各种结合料针入度都满足 90# 沥青针入度的要求。

(2) BSL-90A 和 BSL-90B 的 10°C 延度都超过 200cm, BSL-90C 也达到 106cm 之多, 是 ESS090 的两倍多。由于试验所用普通延度仪最长只可延伸至 200cm, 对于 BSL-90A、BSL-90B 两种结合料在 200cm 未断的情况下, 人工用手牵引, 在速率远大于 5cm/min 情况下可延伸至 5、6 米之长, 可见其低温延展性非常优越。总的来说, BSL-90A、BSL-90B 和 BSL-90C 型彩色结合料的 10°C 延度都要远远大于优质道路石油沥青 ESS090 沥青, 其低温延展性较好。

(3) 软化点可以间接反映结合料的高温性能, 软化点越高则其耐高温性能相对越好。由图 3-2-3 可见 BSL-90B 略高于 ESS090, ESS090 略高于 BSL-90A, 但相差不多; 而 BSL-90C 型彩色结合料的软化点可达到 70.3°C 之高, 比 ESS090 高出 56%, 可见其高温性能较好。

(4) 由图 3-2-4 可知 BSL-90A、BSL-90B 和 BSL-90C 彩色结合料老化后的质量损失要大于 ESS090, 但也基本都在“技术要求”的 $\pm 0.8\%$ 范围之内。

由图 3-2-5 可知, BSL-90A、BSL-90B 和 BSL-90C 的残留针入度比分别为 90%、95.2% 和 86%, 也就是说 BSL 彩色结合料 25°C 针入度基本保持老化前的状态, 而

ESS090 沥青则只有 58.1%，经老化后针入度大大下降。BSL-90A、BSL-90B 和 BSL-90C 的残留针入度比分别为 ESS090 沥青的 1.55、1.64 和 1.48 倍。

由图 3-2-6 可知，BSL-90A、BSL-90B 和 BSL-90C 残留延度分别为 >200cm、>200cm 和 81cm，大大优于 ESS090 号沥青，同样对延伸至 200cm 而未断的老化后的 BSL-90A 和 BSL-90B，进行人工试拉，发现跟老化前一样也能延伸至 5、6 米之长，可认为 BSL-90A、BSL-90B 和 BSL-90C 残留延度比分别为：100%、100%和 76.4%，而 ESS090 经老化后残留延度只有 9.6cm，残留延度比只有 18.4%，这样 BSL-90A、BSL-90B 和 BSL-90C 残留延度比分别为 ESS090 沥青的 5.43、5.43 和 4.15 倍。

四种结合料 BSL-90A、BSL-90B、BSL-90C 和 ESS090 的抗老化指数 I' 分别为：0.950、0.976、0.812 和 0.383，表明 BSL 彩色结合料的抗老化性较强，远远优于普通道路石油沥青。

综合以上分析认为 BSL-90A、BSL-90B 型彩色结合料的高温性能大体与进口优质道路石油沥青相当，BSL-90C 型的高温性能远优于进口优质道路石油沥青；对于低温性能和抗老化性能 BSL 三种系列的 90 号彩色沥青则远远占优。结合“技术要求”，BSL-90B 和 BSL-90C 型彩色结合料可作为任何等级的 90 号沥青用于 1-1、1-2、1-3、2-2、2-3 区。BSL-90A 型彩色结合料可作为 A 级 90 号沥青用于 2-2、2-3 区，可作为 B、C 级 90 号沥青用于 1-1、1-2、1-3、2-2、2-3 区。

2. 70# 结合料技术性能

表 3-2-3 70# 结合料主要技术指标

项 目		BSL			埃索 70*
		70A 型	70B 型	70C 型	
针入度(100g, 5s, 25℃), 0.1mm,		66	63	64	67
延 度 (10℃, 5cm/min), cm		>200	>200	80	28
软化点 TR&B, ℃		46.5	48.7	70.7	47.4
闪 点 (COC), ℃		>230	>230	>230	>230
密 度 (15℃), g/cm ³		1.011	1.012	1.013	1.047
旋转薄膜烘箱 加热试验 (163 ℃, 85min)	质量损失, %	-0.723	-0.815	-0.715	+0.108
	残留针入度比, %	88.6	93.3	75.7	63
	残留延度 (10℃), cm	>200	>200	40	7.3

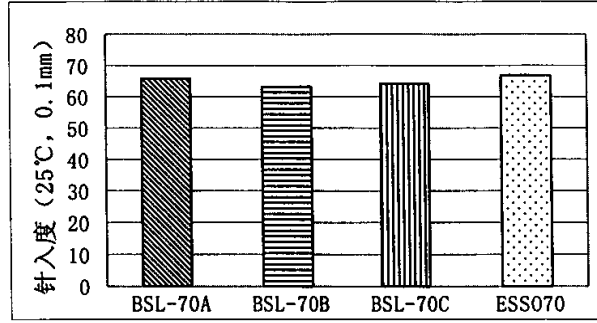


图 3-2-7 70# 结合料针入度比较

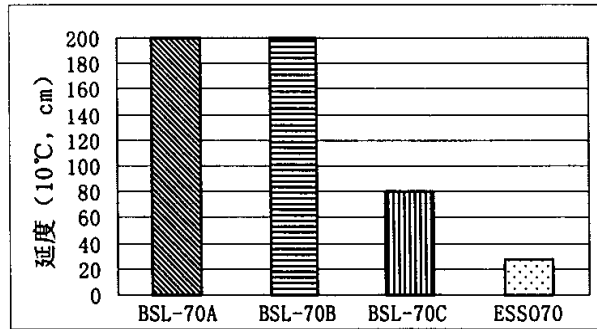


图 3-2-8 70# 结合料延度比较

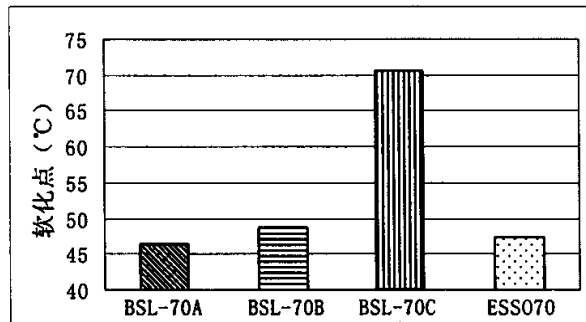


图 3-2-9 70# 结合料软化点比较

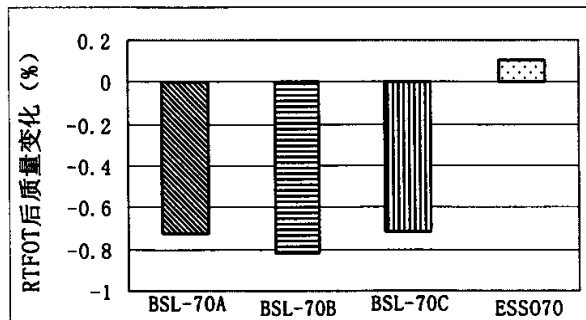


图 3-2-10 70# 结合料 RTFOT 后质量变化比较

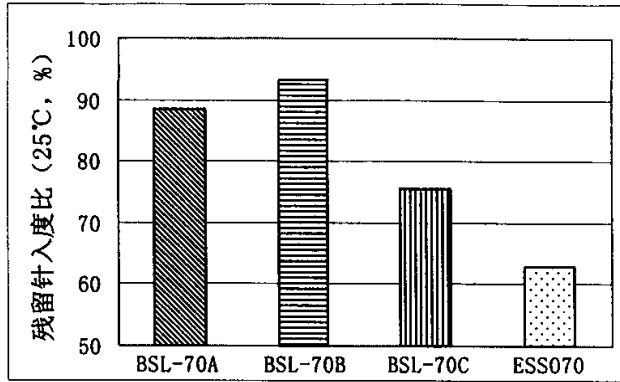


图 3-2-11 70# 结合料残留针入度比较

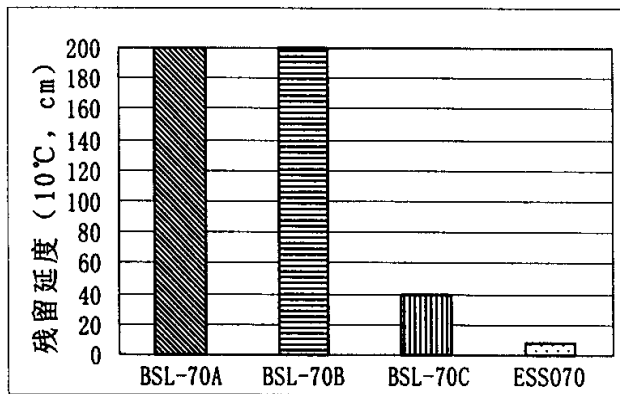


图 3-2-12 70# 结合料残留延度比较

由图 3-2-7 到图 3-2-12 可以看出：

(1) 各种结合料针入度都满足 70# 沥青针入度的要求。

(2) 由图 3-2-8 可以看出 BSL-70A 和 BSL-70B 的 10°C 延度都超过 200cm，BSL-70C 也是达到 80cm 之多，近是 ESS070 沥青的三倍。对于 BSL-70A、BSL-70B 两种结合料在 200cm 未断的情况下，人工用手牵引，在速率远大于 5cm/min 情况下可延伸至 5、6 米之长。可见，BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 型彩色结合料的低温延展性远大于 ESS070 沥青。

(3) 由图 3-2-9 可见，BSL-70A、BSL-70B 与 ESS070 的软化点相差不多；而 BSL-70C 型彩色结合料的软化点可高达 70.7°C，比 ESS090 高出 49.2%，可见其高温性能优良。

(4) 由图 3-2-10、图 3-2-11 和图 3-2-12 可看出，BSL70 号彩色结合料老化后的质量损失要大于 ESS070，但也基本都在“技术要求”的 ±0.8% 范围之内；BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 的残留针入度比分别为 88.6%、93.3% 和 75.7%，

而 ESS070 只有 63%。BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 的残留针入度比分别为 ESS070 沥青的 1.41、1.48 和 1.20 倍；该三种彩色结合料的残留延度也大大优于 ESS070 号沥青，BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 残留延度分别为 >200cm、>200cm 和 40cm，同样对延伸至 200cm 而未断的老化后的 BSL-70A 和 BSL-70B，进行人工试拉，发现跟老化前一样也能延伸至 5、6 米之长，可认为 BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 残留延度比分别为：100%、100%和 50%，而 ESS070 经老化后残留延度只有 7.3cm，残留延度比只有 26.1%，这样 BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 残留延度比分别为 ESS090 沥青的 3.83、3.83 和 1.91 倍。四种结合料的抗老化指数 I' 分别为：0.943、0.967、0.629 和 0.446。可以看出该三种 70 号彩色结合料的抗老化性优于普通道路石油沥青。

综合以上分析，本研究认为 BSL-70A、BSL-70B 型彩色结合料的高温性能大体与进口优质道路石油沥青相当，BSL-70C 型的高温性能远优于进口优质道路石油沥青；对于低温性能和抗老化性能 BSL 三种系列的 70 号彩色沥青则远远占优。结合“技术要求”，BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 型彩色结合料可作为任何等级的 70# 沥青用于 1-3、1-4、2-2、2-2、2-4 区。

国际上几种优质同类产品性能见表 3-2-4。

表 3-2-4 国际上几种同类产品主要技术指标

项 目		日本 CS-SS	Shell	
			60/80	80/100
针入度(100g, 5s, 25℃), 0.1mm		80~120	66	81
延 度 (5cm/min), cm		>100 (15℃)	50 (13℃)	100 (13℃)
软化点 TR&B, ℃		40~50	45	46
闪 点 (COC), ℃		>230	/	/
旋转薄膜烘箱 加热试验 (163 ℃, 85min)	质量损失, %	<1.5	0.6	0.7
	针入度比, %	>65	76	81
	残留延度 (10℃), cm	/	/	/

从表 3-2-4 可看出, BSL 系列彩色路面用结合料性能指标完全达到或超过国际同类产品指标, 品质优良。

§ 3-3 小结

彩色结合料是由聚合物、树脂、软化剂和其他外掺剂所聚合而成的。本研究自行研制出 BSL-A、BSL-B、BSL-C 三个系列的彩色路面用结合料, 通过其与优质道路石油沥的性能对比, 发现其在高温、低温、老化等方面都表现出更优良的性能, 并且达到或超过国际同类产品的指标, 品质优良。三个系列的彩色结合料又各有特色, BSL-A 和 BSL-B 系列在低温延展性和抗老化性方面较 BSL-C 系列表现突出, 而 BSL-C 系列在具有良好低温延展性和抗老化性的同时, 其高温性能则更为突出。

除此之外, 该三种系列彩色结合料较以往开发的彩色结合料还有以下几个优点:

1. 颜色浅, 表现为透明状, 更易着色。
2. 施工时气味小, 更加环保。
3. 成本降低。优化了原料配比, 减低费用; 更易着色则可在达到相同颜色效果的情况下, 减少颜料用量, 从而减少费用。

由于时间的限制, 本研究只研制出三种系列的各 70 号和 90 号彩色结合料, 该三种系列的彩色沥青都可以通过改变组成材料的比例配制出其他标号的结合料。三种系列彩色路面用结合料见图 3-3-1 所示。

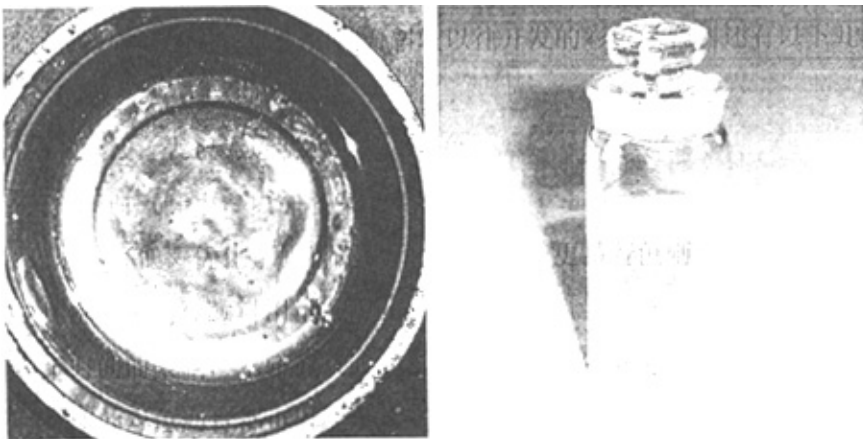


图 3-3-1 BSL 彩色路面用结合料

第四章 彩色沥青混合料设计方法及路用性能研究

彩色路面用结合料作为一种新型的路面材料,除了对其结合料性能得以验证,还需对其混合料的路用性能也进行研究。本章对彩色沥青混合料分别进行了高温、低温、水稳定性和疲劳性能的研究。

§ 4-1 原材料试验

4.1.1 彩色结合料及沥青技术指标试验

参照道路石油沥青的技术指标,按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052—2000)相关试验对各种沥青结合料进行主要技术指标测试。实验结果见第三章表 3-2-2 和表 3-2-3 所示。

4.1.2 集料技术指标试验

试验使用的集料为石灰岩,经筛分后逐级称量回配。矿粉是陕西眉县水泥厂生产矿粉。集料技术指标按照《公路工程集料试验规程》(JTG E42—2005)的要求进行,各级粒径集料的技术指标测定结果见表 4-1-1 所示。

表 4-1-1 集料技术指标

项目	规格(mm)	测定值	实验方法
表观相对密度/ 毛体积相对密度	13.2	2.728/2.709	T0304
	9.5	2.741/2.706	
	4.75	2.735/2.673	
	2.36	2.726	T0328
	1.18	2.733	
	0.6	2.698	
	0.3	2.692	
	0.15	2.681	
	0.075	2.657	
矿粉	2.696	T0352	
压碎值(%)	18.04		T0316
磨耗值(%)	17.75		T0317
冲击值(%)	8.44		T0322

通过水煮法实验,测得以上四种沥青结合料与该种石料的粘附性介于三、四级之间。

4.1.3 颜料

用于彩色结合料着色的物质主要是无机颜料、有机颜料和某些染料，在选择颜料时，除了根据色调、饱和度、明度来选择外，还必须考虑到它的着色力、遮盖力、耐迁力、耐候、耐磨性以及与聚合物或添加剂的相互作用。这样选择颜料不仅光彩夺目，而且不褪色，经久耐用。表 4-1-2 列出了常用颜料的一般特性。

表 4-1-2 三大色料的比较

项目	染料	有机颜料	无机颜料
来源	天然或合成	合成	天然或合成
相对密度	2.0—3.5	1.2—2.0	3.5—5.0
在有机溶剂及聚合物内溶解情况	溶	溶或不溶	不溶
着色力	强	中	差
颜色宽度	大	中	小
光稳定性	差	中	强
热稳定性	170—200℃分解	200—260℃分解	500℃分解
化学稳定性	低	中	高
迁移现象	大	中	小

从表 4-1-2 可以看出，无机颜料在耐热性、耐晒性和遮盖力方面要比有机颜料好，但有机颜料具有相对密度小，色泽鲜艳和色谱齐全的优点，通常有机颜料要比无机颜料的价格高，在制作彩色结合料时，颜料选择应根据造价、性能综合选用，既可用有机颜料也可用无机颜料。

无机颜料主要有以下几种可供选择：

- a. 金属氧化物：如二氧化钛、三氧化二铬、氧化铁等。
- b. 金属硫化物：如镉黄、镉红、硫化铁等。
- c. 铬酸盐类：如铬黄、铬橙等。
- d. 硅酸盐类：如群青。

有机颜料主要有以下几类可供选择：

- a. 偶氮颜料：如汉沙黄、永固黄、颜料黄等。
- b. 酞菁颜料：如酞菁蓝、酞菁绿等。
- c. 杂环颜料：如酞菁紫、永固紫等。

本课题考虑到无机颜料造价便宜,色彩的稳定性较好且不易迁移,选用常见红色无机颜料氧化铁。

§ 4-2 彩色沥青混合料配合比设计

4.2.1 彩色沥青混合料的设计方法

彩色沥青混合料根据级配的不同也有不同的设计方法。在彩色沥青混合料级配设计当中应该注意以下几点:

1. 彩色沥青混合料的选择

彩色沥青混合料所用材料包括彩色结合料、矿质集料、颜料和外加剂等。这些材料的本身品质直接影响到混合料的性能,故混合料设计首先要慎重选择材料。

(1) 彩色结合料的选择

彩色结合料作为混合料中主要的粘结料,其性质的好坏会直接影响到铺面质量的好坏。因此在生产彩色结合料时一定要严格把关、保证质量。

考虑到我国气候差异较大,应在不同地区选择不同的彩色结合料,这一点可以通过调整原材料比例来实现,比如在南方炎热地区,可以选择针入度小一些的彩色结合料如70#,在北方寒冷地区,可以选择针入度大一些的寒区用彩色结合料,一般地区可用针入度适中的结合料。

(2) 矿质集料的选择

彩色沥青混合料同样重视矿料的性能,矿料应该满足强度的要求,矿料颗粒形状以接近立方体其多棱角为佳,限制其针片状含量,集料应清洁、干燥、无杂质和泥土,总之一定要严格要求矿料的物理技术指标,对于不合格的矿料坚决予以废弃。不同于一般沥青混合料的一个重要差别就是色彩要求,选用与预期混合料颜色较为接近的彩色石料或是颜色较浅的石料可铺出纯色彩的彩色路面,选用一般石料或色彩与颜料反差较大的石料,铺出的路面开始为纯色,经过一段时间的磨耗,可成为斑点相间的彩色路面。

(3) 颜料

用于彩色铺装层中的颜料包括无机和有机颜料,从发色效果来看,有机颜料要优于无机颜料,但有机颜料的造价高,同时有机颜料的耐老化性要劣于无机颜料,因此在选择颜料时可根据具体情况加以选择。

(4) 外加剂

若想提高混合料的某些路用性能时，可以添加一些相应的外加剂。如添加抗剥落剂来提高混合料的抗水侵害能力，添加抗车辙剂来提高混合料的抗高温变性能力，特殊级配还需纤维等等。

2. 彩色沥青混合料的配合比设计

彩色沥青混合料的配合比设计主要内容有：确定混合料矿料级配、确定浅色结合料用量以及确定颜料用量，若需使用外加剂还需确定外加剂用量。设计方法可采用诸如马歇尔法、GTM法、贝雷法等其他方法。

(1) 混合料矿料级配确定

集料的级配组成设计基本上与一般的沥青混凝土面层设计类似，可以采用所适用于热拌沥青混合料的几乎所有级配。对于停车场，住宅小区等承载力较小的地方，可采用较薄层的彩色铺面，比如 AC-5, AC-10 等级配类型。对于道路铺装，可以采用 AC-10, AC-13, AC-16, 以及其他特殊结构形式，级配设计过程与一般沥青混凝土完全相同。

(2) 确定彩色结合料用量

彩色结合料最佳用量的确定方法跟一般沥青混合料最佳沥青用量的确定方法一样，取决于混合料类型，道路交通荷载及交通量大小，气候条件等因素，虽然彩色结合料的性能要比一般道路沥青在某种程度上有一定优势，但能否正确地确定结合料用量，对路面仍有极大影响。

(3) 颜料用量的确定

颜色是彩色铺面一个极为重要的环节，而颜料是控制混合料颜色的最主要因素，颜色用量选取应慎重。

在确定颜料用量时，可按彩色结合料生产配比掺加 1%、2%、3%、4%、5% 五种不同含量颜料，经过反复比较，得出颜色效果最佳的颜料用量。然后按此用量调整生产配比，并进行马歇尔试验验证，当马歇尔技术指标合格后便可使用。

4.2.2 彩色沥青混合料马歇尔试验设计

本研究配合比设计采用马歇尔试验设计方法。选用一种常用级配对采用不同结合料的混合料进行性能对比研究，试验中矿料级配统一采用《公路沥青路面施

工技术规范》(JTG F40—2004)中推荐的 AC-13 型级配的中值, 其具体级配组成见表 4-2-1 和图 4-2-1 所示。

表 4-2-1 沥青混合料矿料级配组成

AC-13	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率范围, %	100	90-100	68-85	38-68	24-50	15-38	10-28	7-20	5-15	4-8
中值, %	100	95	76.5	53	37	26.5	19	13.5	10	6

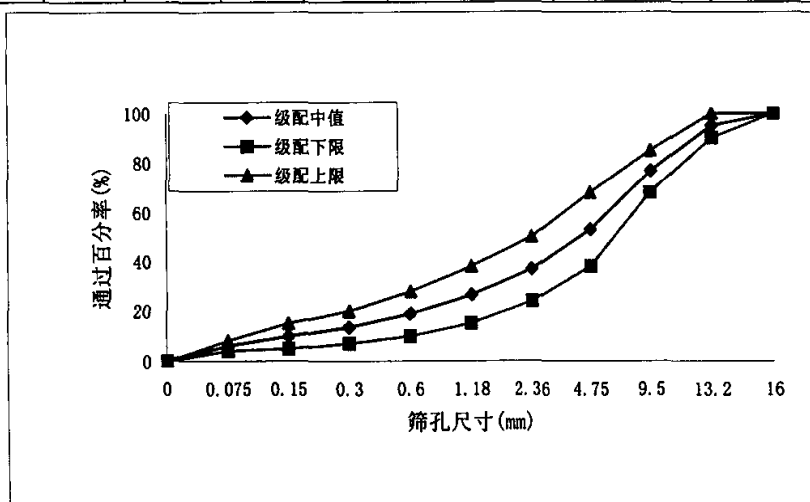


图 4-2-1 级配曲线图

按照高等级道路的击实标准(正反各 75 次)成型试件, 各种结合料选用五种不同沥青用量, 成型后测定马歇尔试件的毛体积密度、空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度, 在 60℃水中恒温 30-40 分钟后, 测定稳定度和流值, 试验结果见图 4-2-2~图 4-2-9。

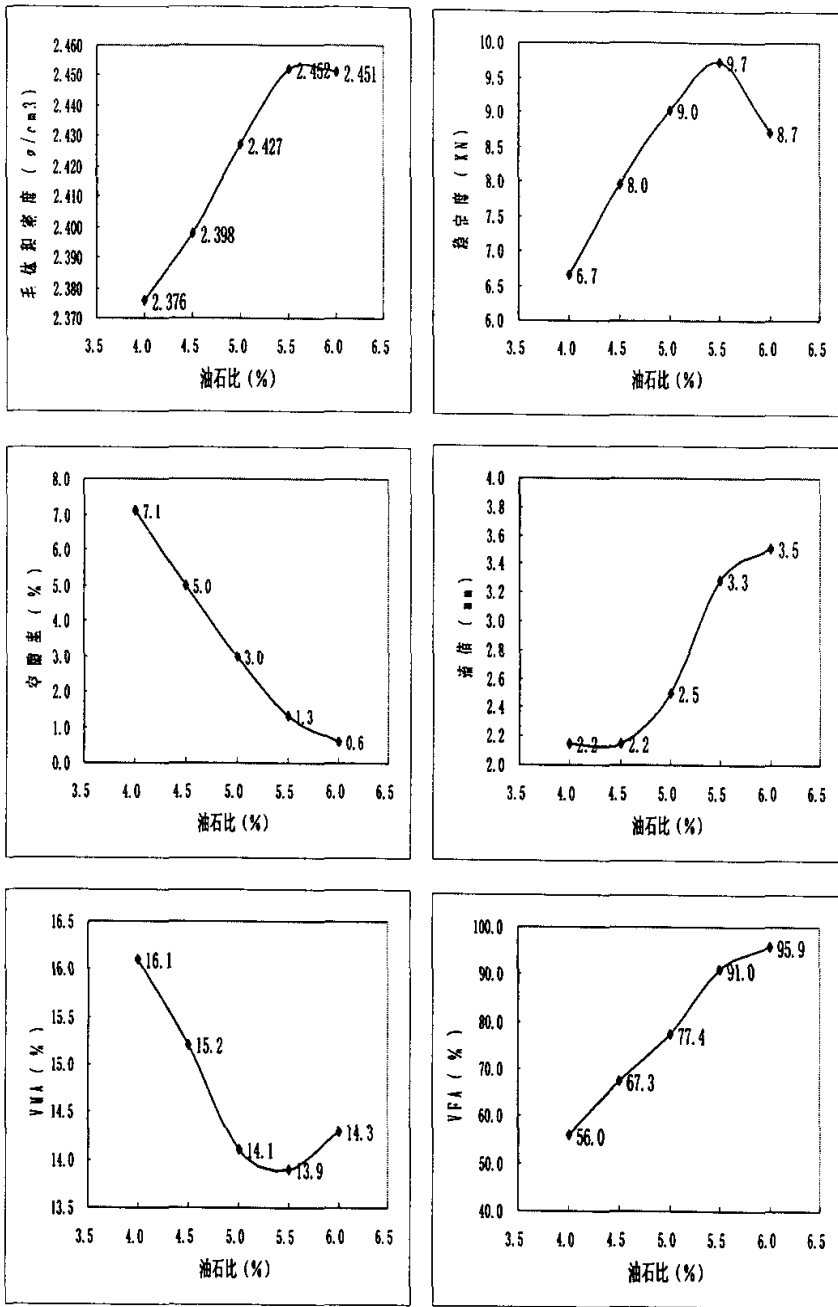


图 4-2-2 BSL-90A 彩色沥青混合料油石比与各指标关系

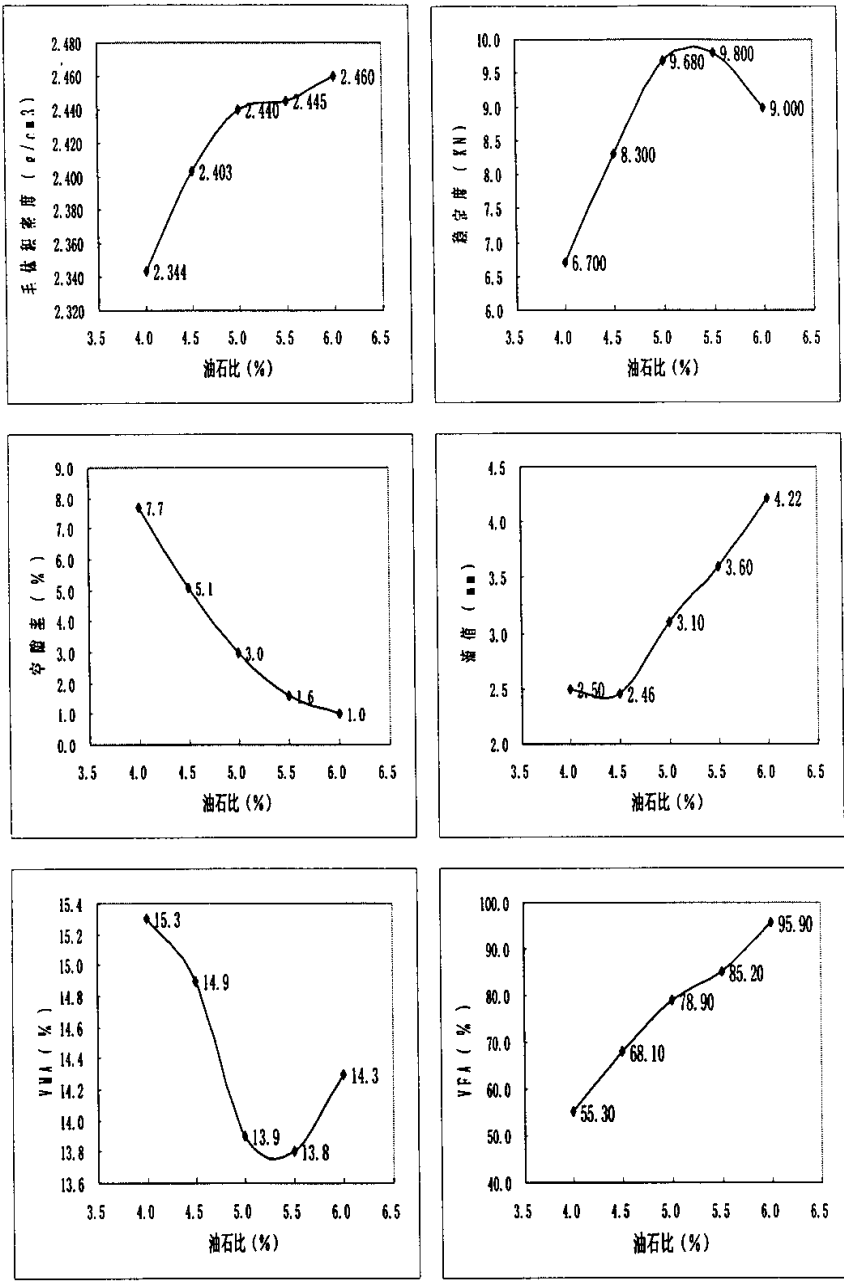


图 4-2-3 BSL-90B 彩色沥青混合料油石比与各指标关系

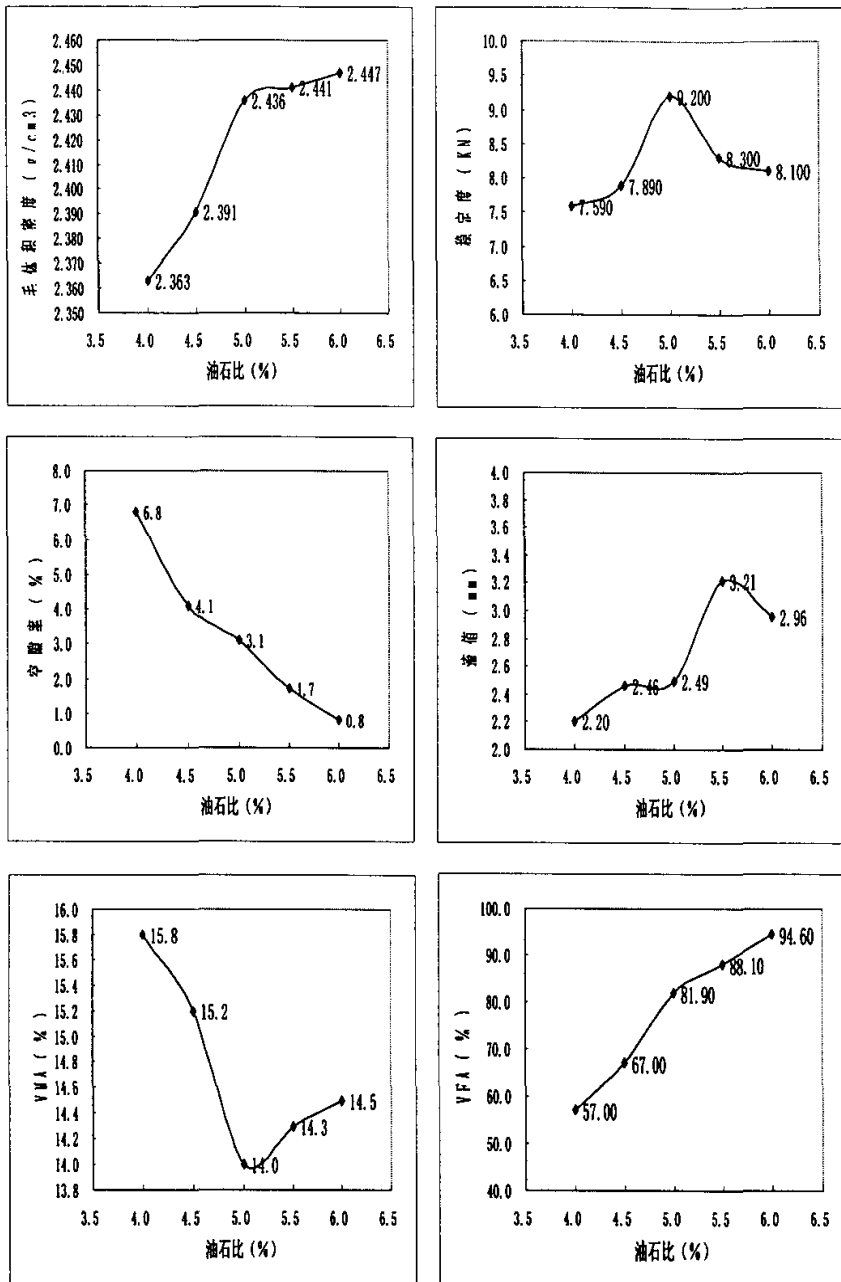


图 4-2-4 BSL-90C 彩色沥青混合料油石比与各指标关系

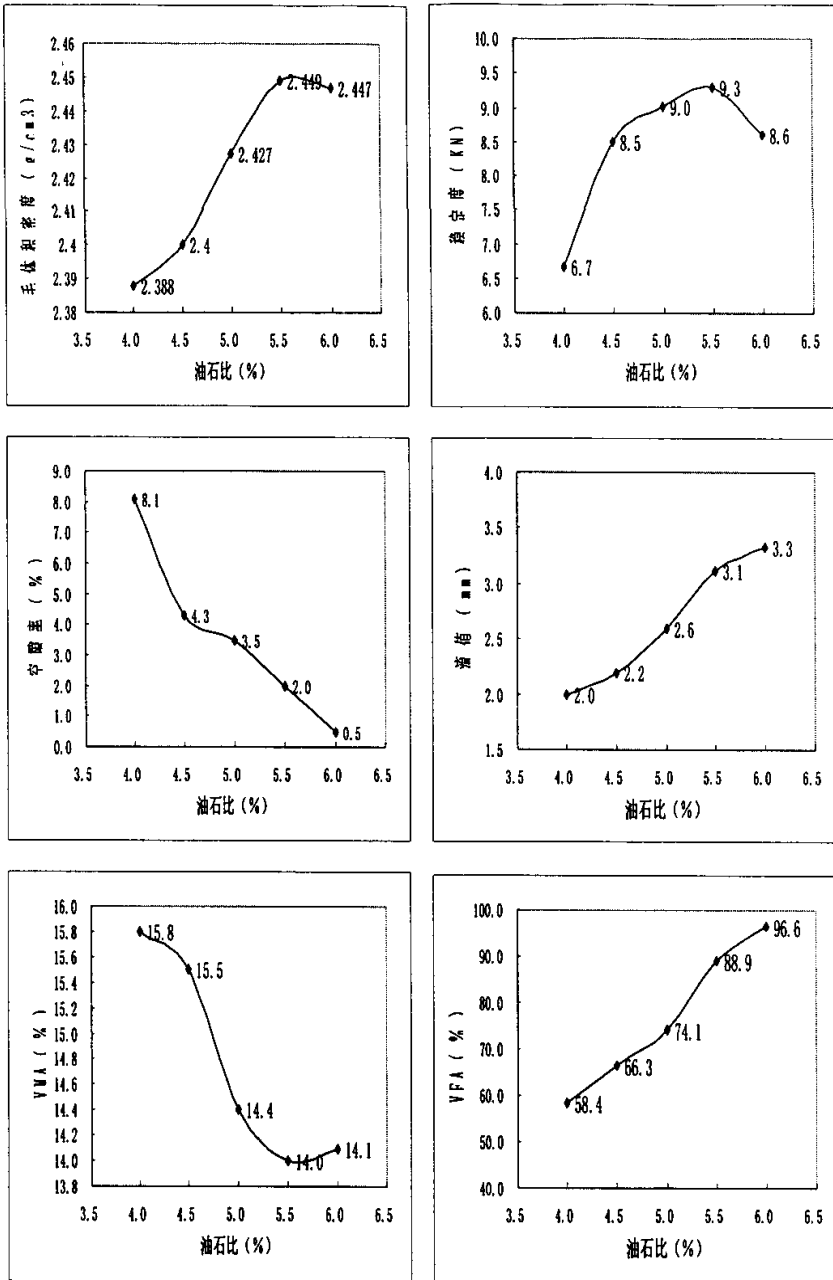


图 4-2-5 ESS090 沥青混合料油石比与各指标关系

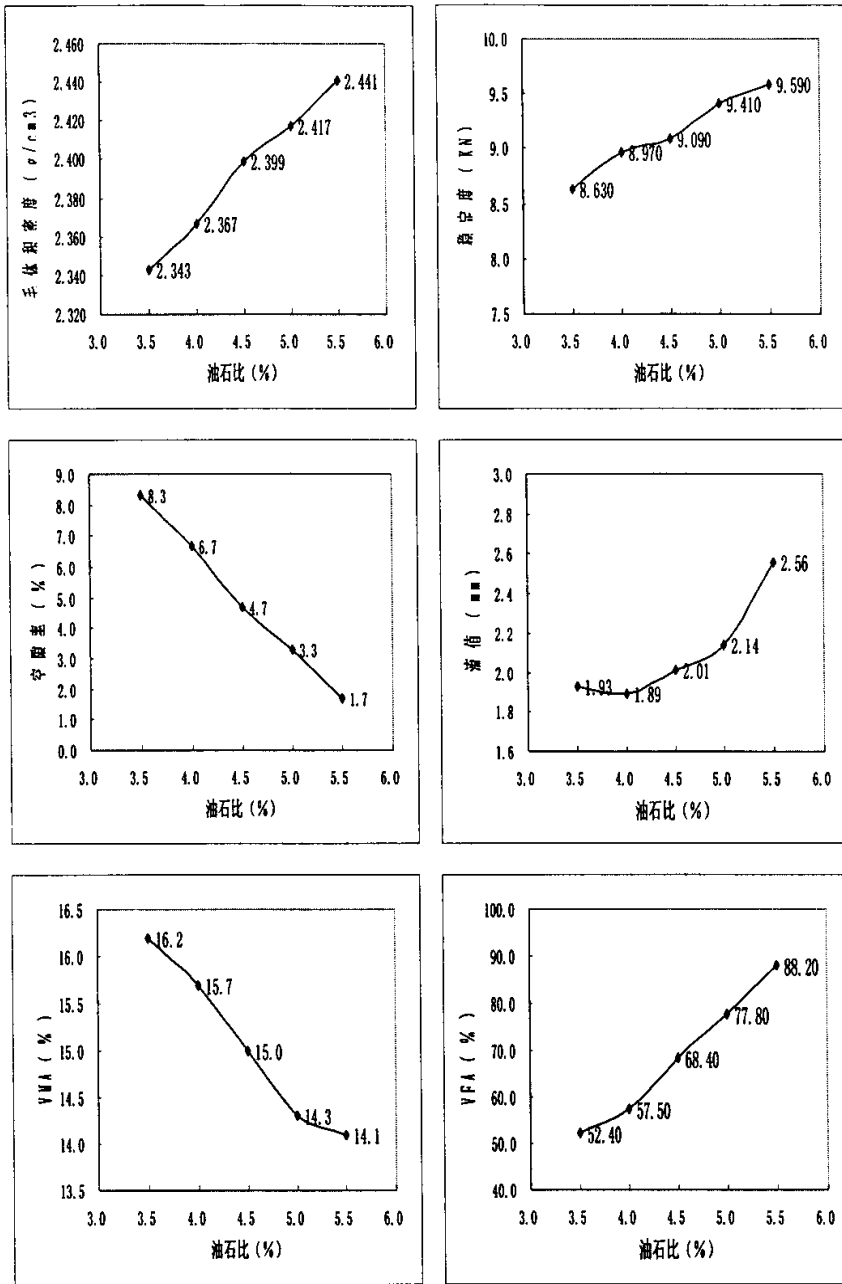


图 4-2-6 BSL-70A 彩色沥青混合料油石比与各指标关系

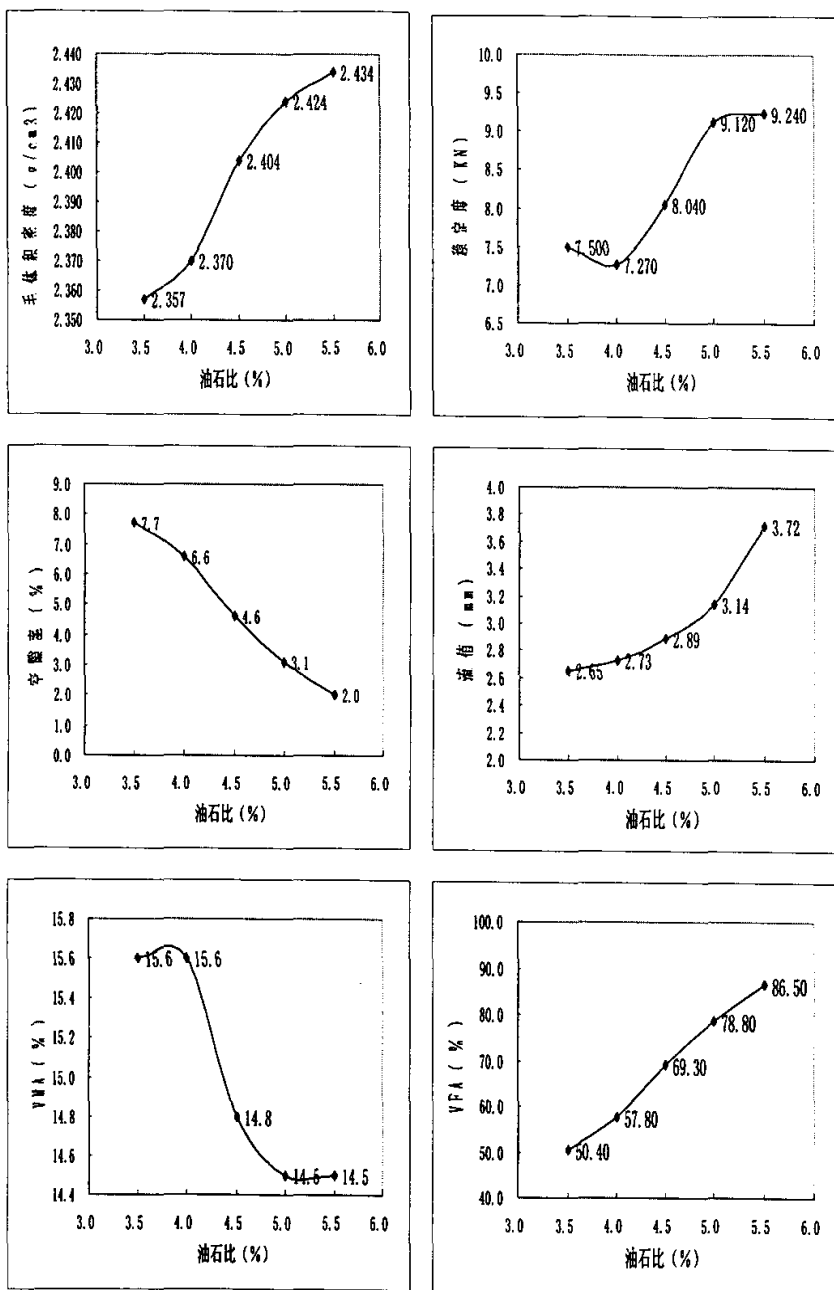


图 4-2-7 BSL-70B 彩色沥青混合料油石比与各指标关系

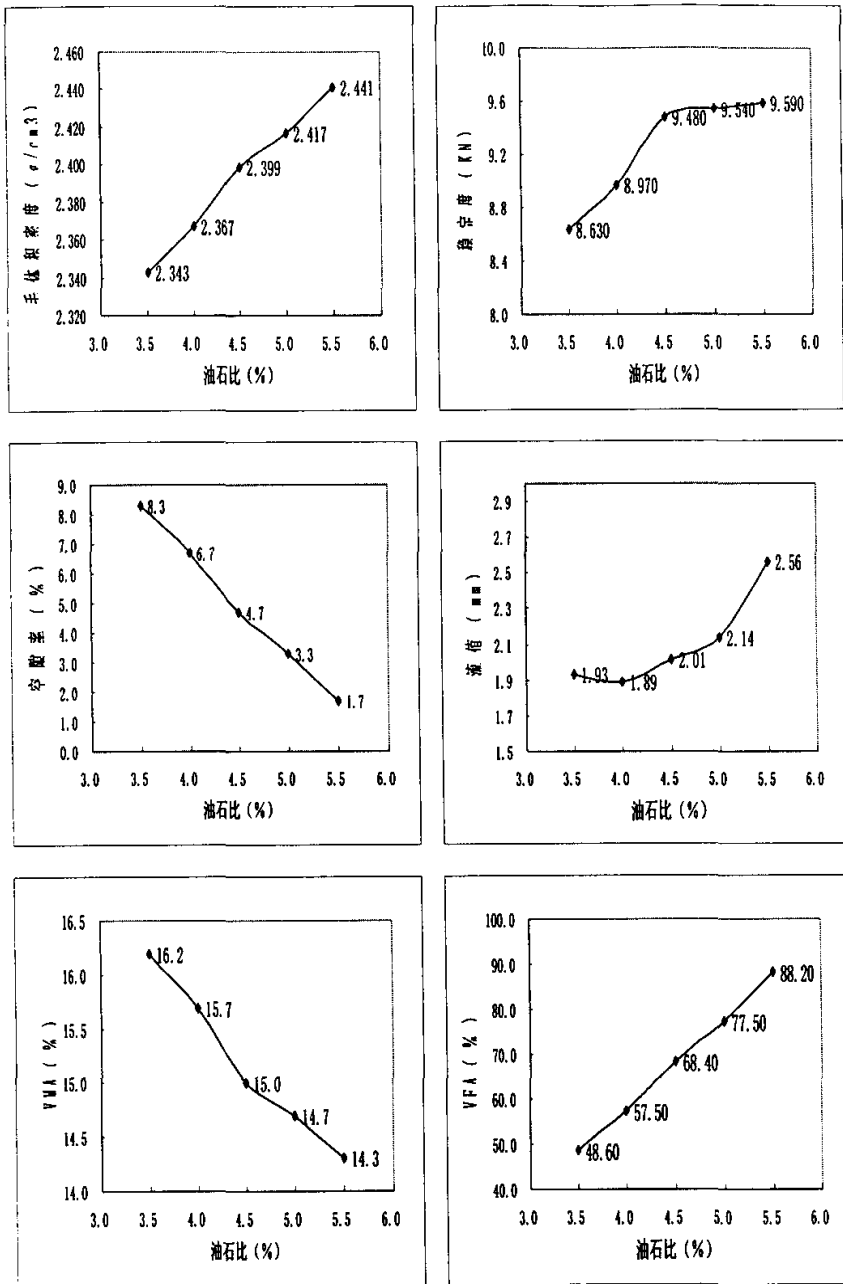


图 4-2-8 BSL-70C 彩色沥青混合料油石比与各指标关系

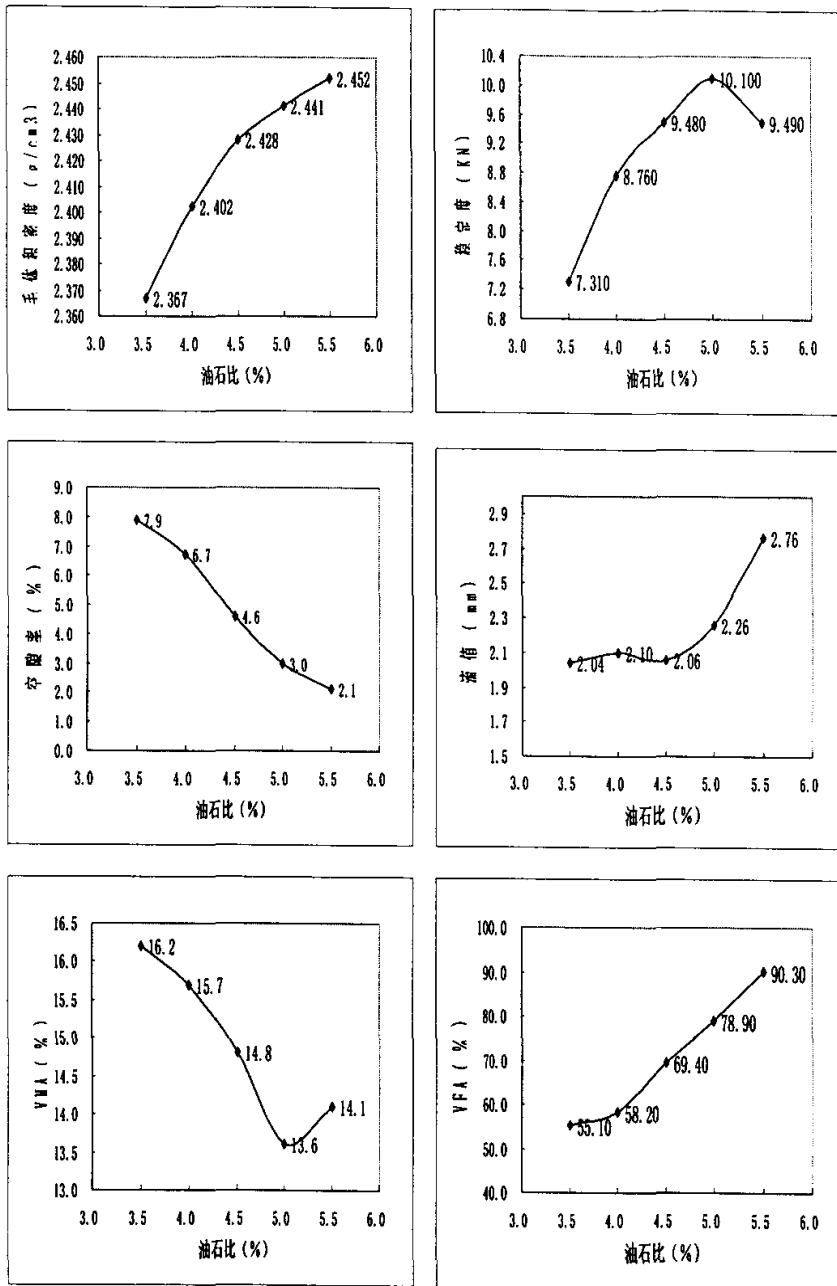


图 4-2-9 ESS070 沥青混合料油石比与各指标关系

按照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)方法确定各种结合料的最佳沥青用量,如图 4-2-10。

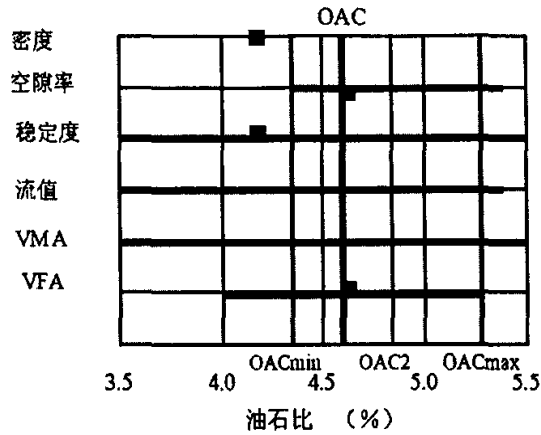


图 4-2-10 最佳油石比的确定

试验结果见表 4-2-2 和表 4-2-3。

表 4-2-2 不同沥青混合料 (90# 结合料) 马歇尔试验结果

结合料	最佳 沥青 用量 (%)	毛体积密度 ρ_s (g/cm ³)	空隙率 VV (%)	矿料间隙 率 VMA (%)	饱和度 VFA (%)	稳定度 MS (kN)	流值 FL (mm)
BSL-90A	4.8	2.424	3.3	14.3	75.8	8.60	2.25
BSL-90B	4.7	2.428	3.3	14.1	76.6	9.48	2.64
BSL-90C	4.7	2.430	3.5	14.2	79.0	9.00	2.47
ESS090	4.7	2.421	3.8	14.6	73.7	8.80	2.39

表 4-2-3 不同沥青混合料 (70# 结合料) 马歇尔试验结果

结合料	最佳 沥青 用量 (%)	毛体积密 度 ρ_s (g/cm ³)	空隙率 VV (%)	矿料间隙 率 VMA (%)	饱和度 VFA (%)	稳定度 MS (kN)	流值 FL (mm)
BSL-70A	4.8	2.411	3.6	14.5	75.4	9.22	2.23
BSL-70B	4.7	2.414	4.0	14.6	73.0	8.50	2.97
BSL-70C	4.7	2.407	3.8	14.9	72.5	9.52	2.05
ESS070	4.7	2.434	3.3	14.0	76.5	9.78	2.15

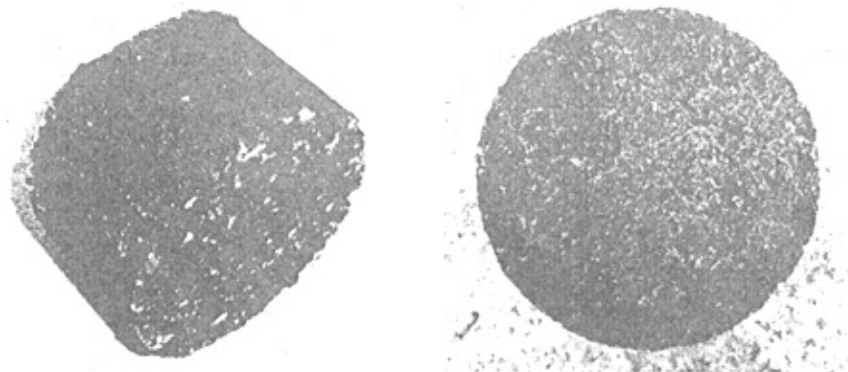


图 4-2-11 两种不同颜色的彩色沥青混合料

§ 4-3 彩色沥青混合料路用性能研究

4.3.1 彩色沥青混合料的高温稳定性

随着现代交通量的不断增大,车辆行驶的渠化,沥青路面的车辙破损越来越严重。它使路表过量变形,影响路面平整度;削弱面层及路面结构的整体强度,诱发其它病害;雨季车辙内积水可导致车辆漂滑,影响高速行车安全等。由此可知,车辙的产生严重影响着路面的使用寿命和服务质量。因此,对彩色混合料进行车辙试验分析是非常必要的。

1. 试验评价方法

沥青混合料的高温稳定性,即沥青路面抵抗流动变形的能力。沥青混合料是一种粘弹性材料,其物理力学性能与温度、荷载作用时间密切相关,沥青路面的强度与刚度随温度升高而显著下降,为了保证沥青路面在高温季节行车荷载的反复作用下,不至于产生诸如波浪、推移、车辙、拥包等病害,要求沥青路面具有良好的高温稳定性。

评价沥青混合料的高温性能的试验方法有很多,如单轴加载试验、三轴压缩试验、弯曲蠕变试验、简单剪切试验、车辙试验和大型环道试验等。在诸多的试验中,车辙试验是在规定的温度下通过板状试件与车轮间的往复相对运动,使试块在车轮的重复作用下产生压密、剪切、推移和流动,从而产生车辙,用仪器将试块的变形和试验时间进行测定就可以用来检验沥青混合料的高温性能。该方法能够充分模拟沥青路面上车轮行驶的实际情况,而且试验方法思路清晰、简单,

因此本课题采用车辙试验检验混合料的高温稳定性,其评价指标为动稳定度 DS 和相对变形^[21]。

本次试验采用北京航天航宇测控技术研究所生产的 ZCZ-5 型车辙仪,如图 4-3-1 所示。由计算机控制整个试验过程,自动采集数据并进行动稳定度(DS)的计算。

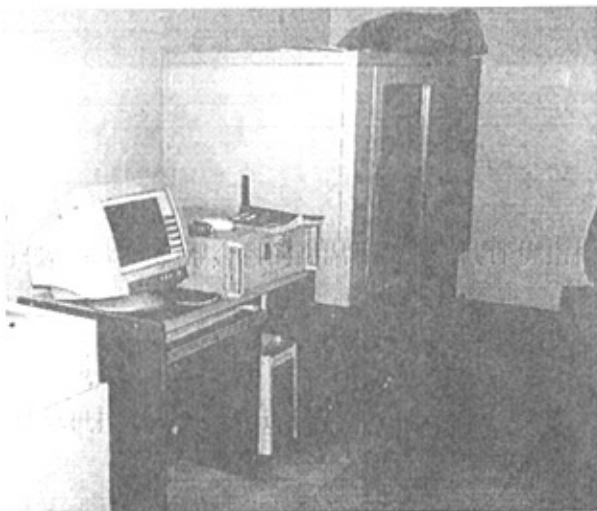


图 4-3-1 ZCZ-5 型全自动双轮车辙试验仪

实验条件如下:

- A. 试件尺寸: $300 \times 300 \times 50\text{mm}$;
- B. 试验荷重: 施加的总荷重为 700N 左右,使试验轮与试件的接触压强在 60°C 时为 $0.7 \pm 0.05\text{MPa}$;
- C. 试验温度及试件养生时间: 试验温度采用 60°C ,试件放入恒温环境中养生 5~24h;
- D. 行走距离及行走速度: 试验轮行走距离为 $230 \pm 10\text{mm}$,行走速度 42 ± 1 次/min,其行走方向与试件碾压或行车方向一致;
- E. 动稳定度计算方法:

$$DS = \frac{60 - 45}{d_{60} - d_{45}} \times N$$

式中: DS—沥青混合料的动稳定度,次/mm;

d_{60} —试验时间为 60min 时试件的变形量, mm;

d_{45} —试验时间为 45min 时试件的变形量, mm;

N—试验轮行走速度，次/min。

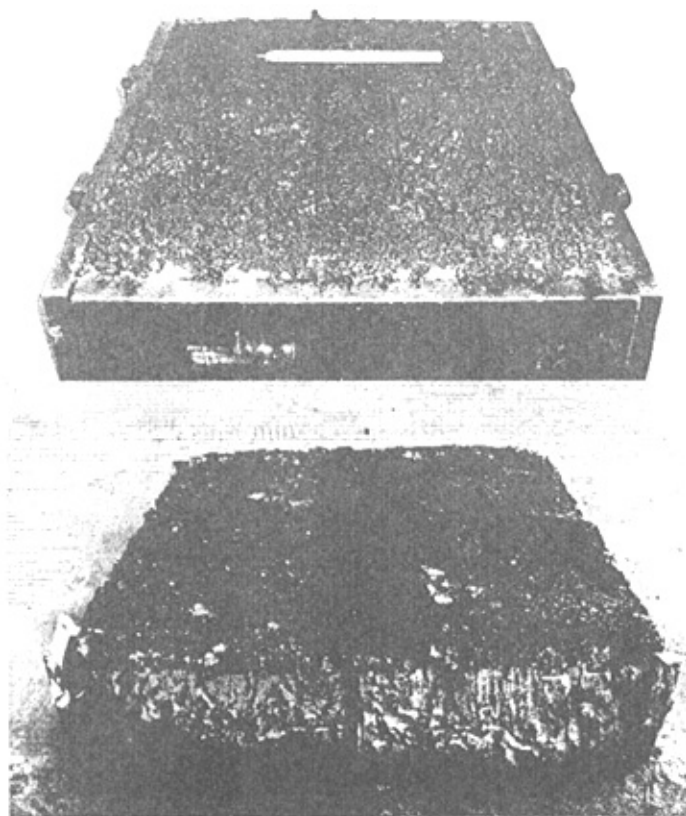


图 4-3-2 BSL 彩色沥青混合料与一般沥青混合料车辙试验后的比较

2. 试验结果及分析

对用各种不同结合料的混合料按照其最佳沥青用量成型车辙板，进行车辙试验，试验方法采用中华人民共和国行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052—2000)中的 T0719—2000，得到的试验结果列于表 4-3-1 和表 4-3-2。

表 4-3-1 不同沥青混合料 (90°结合料) 车辙试验结果

结合料种类	动稳定度 DS, 次/mm	45min 车辙变形量, mm	60min 车辙变形量 mm	相对变形 %
BSL-90A	705.1	5.888	6.789	13.6
BSL-90B	846.4	7.717	8.533	17.0
BSL-90C	1393.8	3.253	3.705	7.4
ESS090	1013.9	4.285	4.907	9.8

表 4-3-2 不同沥青混合料 (70°结合料) 车辙试验结果

结合料种类	动稳定度 DS, 次/mm	45min 车辙变形量, mm	60min 车辙变形量, mm	相对变形 %
BSL-70A	1505.5	3.640	4.067	8.1
BSL-70B	881.7	4.496	5.227	10.4
BSL-70C	1874.5	3.361	3.723	7.4
ESS070	1294.6	4.046	4.525	9.1

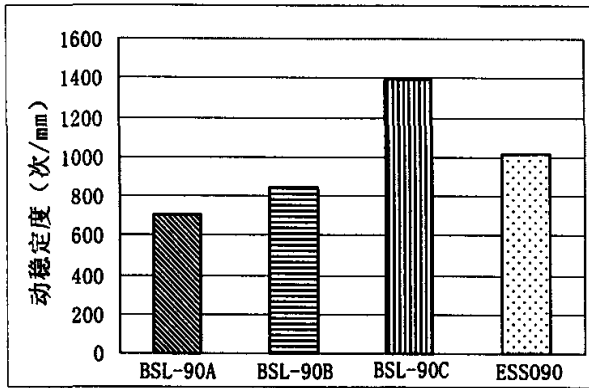


图 4-3-3 不同沥青混合料 (90°结合料) 动稳定度比较

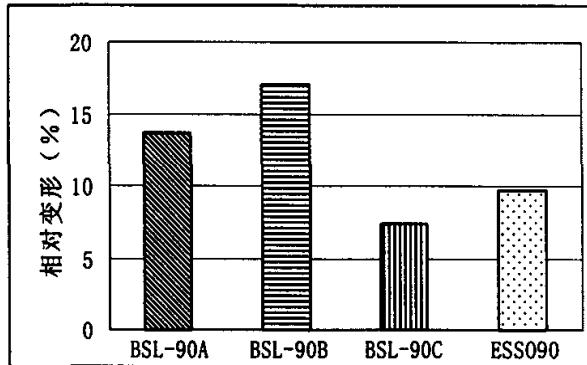


图 4-3-4 不同沥青混合料 (90°结合料) 车辙相对变形比较

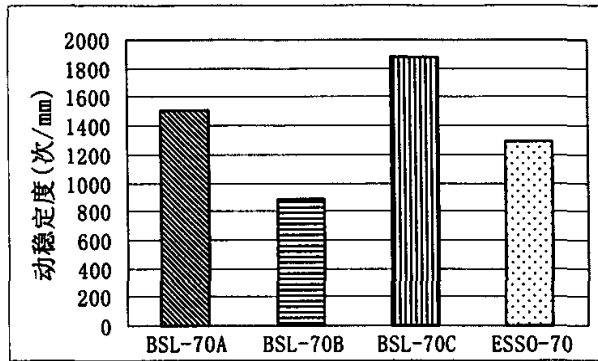


图 4-3-5 不同沥青混合料 (70[#]结合料) 动稳定度比较

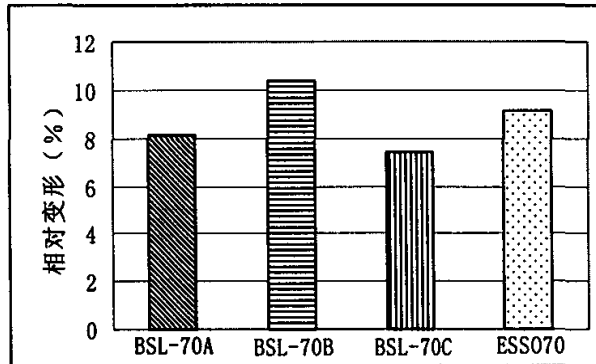


图 4-3-6 不同沥青混合料 (70[#]结合料) 车辙相对变形比较

影响沥青混合料高温稳定性的因素很多，主要为集料级配、集料硬度、颗粒形状等，其次为结合料的性能。

由表 4-3-1 及图 4-3-3 和图 4-3-4 可以看出：BSL-90C 混合料的动稳定度最大，车辙相对变形也最小，其动稳定度比 ESS090 混合料的大 37.5%，相对变形比其小 24.5%。这是因为 BSL-90C 结合料的软化点为 70.3℃ 比 ESS090 高出很多；BSL-90A、BSL-90B 和 ESS090 混合料的高温稳定性大体相当。

由表 4-3-2 及图 4-3-5 和图 4-3-6 可见，BSL-70C 混合料的动稳定度最大，其动稳定度比 ESS090 混合料的大 44.6%，其 60min 车辙深度也最小，相对变形比 ESS070 混合料小 17.7%，同样这也与 BSL-70C 结合料较高的软化点有关，BSL-70C 结合料软化点高达 70.7℃。BSL-70A 混合料的动稳定度也比 ESS070 混合料高 16.3%，相对变形方面两者相差不大。BSL-70B 混合料的动稳定度为 881.7，要比 ESS070 小，相应其车辙深度也要大一些。

从整体上看,由70号结合料组成的混合料要比相应90号的混合料高温性能好,表现为动稳定度高,车辙相对变形小。彩色沥青混合料的高温性能同一般沥青混合料一样可以通过改变级配或是添加抗车辙剂等措施加以提高。

4.3.2 彩色沥青混合料的水稳定性

水损害是沥青路面破坏的一种重要形式,是路面早期破坏的重要原因之一。它是指沥青路面在水或冻融循环的作用下,由于汽车车轮动态荷载的作用,进入路面空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,使沥青粘附性降低并逐渐丧失粘附力,沥青膜从石料表面脱落剥离,沥青混合料掉粒、松散、继而形成沥青路面的坑槽、推挤变形等的损坏现象。

沥青混合料的水损害与三种作用过程有关:一是沥青与矿料之间的粘附性不足,由于矿料对水的吸力比对沥青的大,水分可进入沥青与集料之间,从而导致沥青膜脱落;第二种是沥青的粘聚力减弱,由于水分入侵,使得沥青变软,粘性降低,从而沥青混合料的整体性与强度降低;第三种是混合料在拌和成型过程中加热温度过高,致使沥青老化失去粘性降低所致。

1. 试验评价方法

目前,评价沥青混合料水稳性的方法很多,其中得到广泛应用的有:浸水马歇尔试验、浸水抗压强度试验、浸水劈裂强度试验、AASHTO T283(改进的Lottman法)试验方法,即冻融劈裂试验、浸水车辙试验等。

本研究采用《公路工程沥青及沥青混合料规程》(JTJ052-2000)中浸水马歇尔试验及冻融劈裂试验两种方法来研究不同沥青混合料的水稳定性。

1) 浸水马歇尔试验

本方法采用击实法成型圆柱体试件,拌和温度(140℃~160℃),击实温度(110℃~140℃),击实次数正反各75次,试件尺寸为 $\phi 101.6 \times 63.5\text{mm}$ 。

每种混合料成型6个试件,分成两组,其中一组直接进行马歇尔试验,在60℃水浴中恒温30min~40min,测定其稳定度MS,另一组在60℃水浴中恒温48小时测定其稳定度MS1,计算残留稳定度:

$$MS_0 = \frac{MS_1}{MS} \times 100$$

式中: MS_0 —试件的浸水残留稳定度, %;

MS —试件浸水 30min~40min 的稳定度, kN;

MS_1 —试件浸水 48 小时的稳定度, kN。

2) 冻融劈裂试验

本方法采用击实法成型圆柱体试件, 拌和温度 ($140^{\circ}\text{C}\sim 160^{\circ}\text{C}$), 击实温度 ($110^{\circ}\text{C}\sim 140^{\circ}\text{C}$), 击实次数正反各 50 次, 尺寸为 $\phi 101.6\times 63.5\text{mm}$ 。

试验时, 每种混合料在最佳沥青用量下成型 6 个试件, 然后分成两组。第二组试件用以下方法处理:

a. 在 98.3KPa~98.7Kpa 的真空条件下浸水抽真空 15min, 恢复常压后在水中放置 30min;

b. 取出试件并用塑料袋装好, 加入约 10ml 水, 扎紧袋口, 放在 $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中冻 16h \pm 1h;

c. 从塑料袋中取出试件立即放入 60°C 水浴中保温 24h。

按上述方法处理完第二组试件后, 将第一组和第二组试件一并置于 $25^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的水中, 恒温不少于 2h, 利用改装的劈裂试验仪 (压条宽度 12.7mm; 加载速率 50mm/min) 分别测出第一组和第二组试件的劈裂强度 R_{T1} 和 R_{T2} , 按下式计算劈裂强度比 TSR。

$$TSR = \frac{R_{T2}}{R_{T1}} \times 100$$

式中: TSR — 劈裂强度比, %; R_{T1} — 第一组试件的劈裂强度, MPa;

R_{T2} — 第二组试件的劈裂强度, MPa;

其中: $R_n = 0.006287 \times \frac{P_n}{h_i}$; $i=1, 2$ P_{Ti} — 第 i 组试件的试验荷载最大值, kN; h_i — 试件的平均高度, mm。

2. 试验结果及分析

1) 采用马歇尔试验残留稳定度评价沥青混合料的水稳定性试验结果见表 4-3-3 和表 4-3-4。

表 4-3-3 不同沥青混合料 (90# 结合料) 浸水马歇尔试验结果

结合料种类	MS (KN)	MS ₁ (KN)	MS ₀ (%)
BSL-90A	8.60	7.89	91.7
BSL-90B	9.48	8.17	86.2
BSL-90C	9.00	8.22	91.3
ESS090	8.80	7.05	80.1

表 4-3-4 不同沥青混合料 (70# 结合料) 浸水马歇尔试验结果

结合料种类	MS (KN)	MS ₁ (KN)	MS ₀ (%)
BSL-70A	9.22	8.20	88.9
BSL-70B	8.50	7.50	88.1
BSL-70C	9.52	8.80	92.4
ESS070	9.78	8.75	89.5

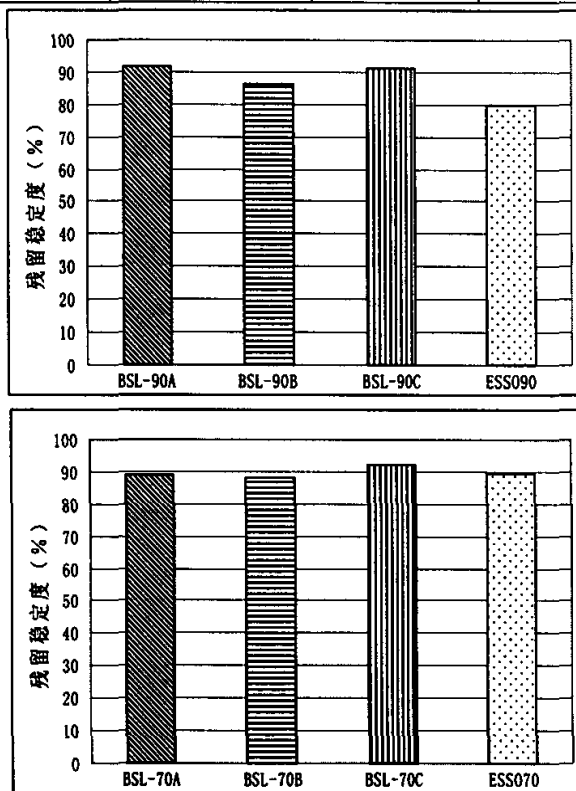


图 4-3-7 残留稳定度试验结果

用残留稳定度 (MS₀) 评价沥青混合料的水稳定性, MS₀ 越大, 水稳定性越好。由表 4-3-3、4-3-4 和图 4-3-7 试验数据分析可以得出:

8 种混合料的残留稳定度都比较高, 均在 80% 以上, 满足规范中对年降雨量大于 1000mm 的潮湿区的要求。

对于 90 号结合料, BSL 彩色沥青混合料残留稳定度均比 ESSO 沥青混合料要略高, 其中 BSL-90A 和 BSL-90C 混合料的残留稳定度可达 91.7% 和 91.3%, 比 ESSO90 沥青混合料高出 14%。

对于 70 号结合料, BSL 彩色沥青混合料和 ESSO 沥青混合料的残留稳定度相差不多, 非常接近, 都在 90% 左右, 但仍可发现 BSL-70C 混合料是最高的。可以判定 BSL-C 系列彩色沥青混合料的水稳定最好。

2) 采用冻融劈裂强度比 TSR 评价沥青混合料的水稳定性试验结果见表 4-3-5 和表 4-3-6。

表 4-3-5 不同沥青混合料 (90[#]结合料) 冻融劈裂试验结果

结合料种类	R _{T1} (MPa)	R _{T2} (MPa)	TSR (%)
BSL-90A	0.679	0.475	70.0
BSL-90B	0.929	0.592	63.7
BSL-90C	0.911	0.652	71.6
ESSO90	0.999	0.657	65.8

表 4-3-6 不同沥青混合料 (70[#]结合料) 冻融劈裂试验结果

结合料种类	R _{T1} (MPa)	R _{T2} (MPa)	TSR (%)
BSL-70A	1.160	0.704	60.7
BSL-70B	0.977	0.679	69.5
BSL-70C	0.934	0.665	71.2
ESSO70	1.070	0.687	64.2

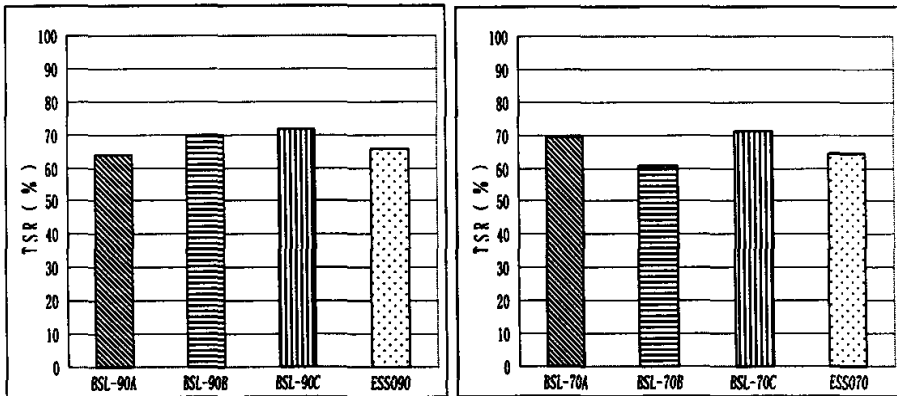


图 4-3-8 冻融劈裂试验结果

影响沥青混合料水稳定性的因素很多，主要包括沥青混合料的配合比、材料质量、环境因素及施工条件。沥青混合料的性质又包括集料的品质及质量、沥青结合料性质及混合料类型；环境因素包括气候和交通荷载，影响混合料的使用条件；施工质量包括压实质量、温度控制及施工时的气候条件^[34]。

从表 4-3-5、表 4-3-6 和图 4-3-8 可以看出：

对于 90 号结合料，BSL-90C 和 BSL-90B 彩色沥青混合料水稳定性较好，TSR 分别为 71.6%、70.0%，比 ESSO 沥青混合料要略高；BSL-90A 与 ESSO90 沥青混合料 TSR 相当。

对于 70 号结合料，也以 BSL-70C 最好，TSR 可达 71.2%比 ESSO 沥青混合料高出 11%；BSL-70A 彩色沥青混合料 TSR 居于第二位，BSL-70B 最不好。从高到低次序为 BSL-70C>BSL-70A>ESSO70>BSL-70B。

在沥青与集料的粘附性水煮法试验中，这 8 种沥青结合料与集料的粘附性等级在三级和四级之间，粘附性不是很好，故而可能出现这样的结果。在实际的应用中可以通过优化级配或者采取抗剥落措施，如掺加抗剥落剂等提高混合料的水稳定性。

4.3.3 彩色沥青混合料的低温抗裂性

沥青路面的低温收缩裂缝不仅在寒冷地区，在温暖地区也十分普遍，沥青路面低温开裂是路面的主要病害之一，是各国道路界普遍关心的问题。它的产生不仅破坏了路面的连续性、整体性，而且通过裂缝水会不断进入面层的结构、基层甚至路基，在荷载的作用下产生水损害，导致路面承载力的下降，从而影响行车行驶的舒适性并危及道路的使用寿命和质量。因此，需要对沥青混合料的低温抗裂性能进行评价。

1. 试验评价方法

目前评价沥青混合料低温抗裂性能的方法主要有：间接拉伸试验、直接拉伸试验、蠕变试验、受限试件的温度应力试验、切口小梁试件的弯曲试验和应力松弛试验。在上述评价方法中常用的是蠕变试验，蠕变试验按加载方式的不同又分为直接拉伸蠕变、劈裂拉伸蠕变和弯曲蠕变，其中又以弯曲蠕变试验最为常用，该试验方法是在-10℃，应力水平为 1MPa 的条件下，通过测定小梁试件受恒定集中荷载作用时的蠕变速率来评价沥青混合料的低温性能。一般的蠕变速率越

大,低温抗裂性能越好。但该方法中沥青混合料的级配类型对应力水平非常敏感,试验表明对于 1MPa 的应力水平只适用于空隙率较小的沥青混合料及原状沥青,而对空隙率大的沥青混合料和改性沥青并不适用。

沥青混合料的低温抗裂性能主要取决于混合料的强度和变形能力,抗裂性能高的混合料一定具有较高的强度和较大的变形能力。如果能综合考虑应力和变形来评价沥青混合料低温抗裂性是较为理想的,能量法正好满足此要求。该方法是采用低温弯曲破坏试验,测定破坏时的最大荷载及其破坏时的跨中挠度,通过计算混合料的弯曲应变能来评价沥青混合料的低温抗裂性,弯曲应变能越大,表明其低温抗裂性越好。因此,本课题采用低温弯曲试验及应变能来评价沥青混合料的低温抗裂性。

试验采用美国 MTS 公司生产的材料测试系统 MTS-810 试验机,这是一套精密的闭环伺服液压系统,整个试验过程可通过程序进行控制并由计算机自动采集试验数据,如图 4-3-9 所示:

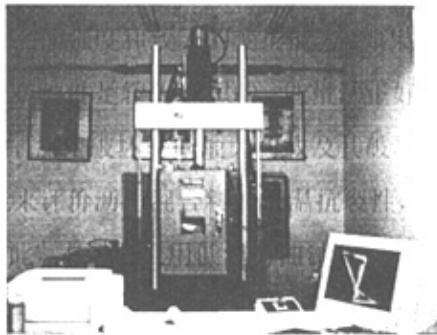


图 4-3-9 MTS-810 测试系统

(1) 试验条件

成型方法: 轮碾法;

试件尺寸: $35 \times 30 \times 240\text{mm}$, 跨径 200mm;

试验温度: -10°C ;

加载方式: 单点加载;

加载速率: 50mm/min;

(2) 试验步骤

a. 试验准备: 将 $35 \times 30 \times 240\text{mm}$ 试件在环境保温箱中保温至少 3h;

b. 试验：从恒温箱中取出试件，立即对称安放在支座上，试件上下方向应与试件成型时的方向一致，对位移测定装置和荷载传感器进行量程和调零处理，开动压力机进行中点加载并采集测试数据。

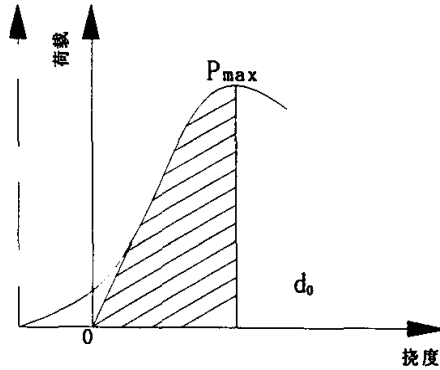


图 4-3-10 荷载—跨中挠度曲线

根据采集到的不同荷载 P_i 和跨中的变形 d_i 值，可绘制出荷载与变形的曲线，如图 4-3-10 所示。将图中荷载—挠度曲线的直线段延长与横坐标相交作为曲线的原点，进行跨中挠度修正，得到试件最大破坏荷载 P_B 所对应的跨中挠度 d 。图 4-3-11 为破坏前后的小梁试件。

(3) R_B 、 ε_B 和 S_B 的计算

$$R_B = \frac{3LP_B}{2bh^2}$$

$$\varepsilon_B = \frac{6hd}{L^2}$$

$$S_B = \frac{R_B}{\varepsilon_B}$$

式中： R_B — 试件破坏时的抗弯拉强度，MPa；

ε_B — 试件破坏时的最大弯拉应变；

S_B — 试件破坏时的弯曲劲度模量，MPa；

b, h — 分别为跨中断面试件的宽度和高度，mm；

L — 试件的跨径，mm；

P_B — 试件破坏时的最大荷载，N；

d — 试件破坏时的跨中挠度，mm。

(4) 应变能计算

大量试验表明，沥青混合料试件的应力—应变曲线用三次抛物线进行回归时，相关系数均大于 0.99，已满足精度要求。因此，可从试验数据中取对应最大弯曲应力时的弯曲应变值 ϵ_B ，由 0 到 ϵ_B 对三次多项式中弯曲应变进行积分，即可得到应变能密度 E。混合料的低温应变能密度可按下式计算：

$$E = \frac{dw}{dv} = \int_0^{\epsilon_B} \sigma_{ij} d\epsilon_{ij}$$

式中： $\frac{dw}{dv}$ — 弯曲应变能密度，KJ/m³；

σ_{ij} — 某一时刻沥青混合料的弯曲强度；

ϵ_{ij} — 某一时刻沥青混合料的弯曲应变。

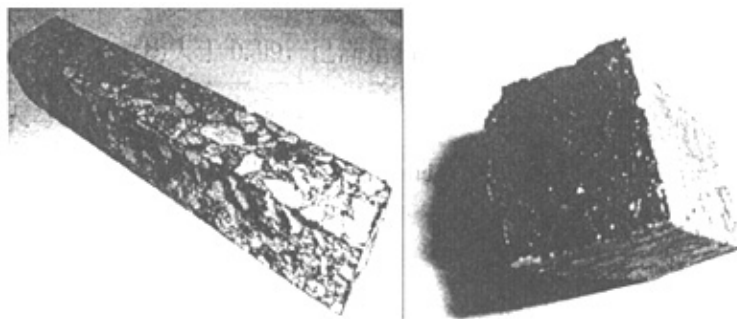


图 4-3-11 彩色沥青混合料小梁试件

2. 试验结果及分析

八种沥青混合料的小梁低温弯曲破坏试验的结果汇总于表 4-3-7、表 4-3-8。

表 4-3-7 不同沥青混合料（90°结合料）低温弯曲试验结果

结合料种类	抗弯拉强度 R_b , MPa	极限弯拉应变 ϵ_B , $\mu\epsilon$	弯曲劲度模量 S_B , MPa	应变能密度, KJ/m ³
BSL-90A	8.349	1167	7198.5	6.20
BSL-90B	9.988	1169	8540.3	5.69
BSL-90C	7.983	1101	7306.5	6.09
ESS090	7.935	968	8193.5	4.85

表 4-3-8 不同沥青混合料（70°结合料）低温弯曲试验结果

结合料种类	抗弯拉强度 R_b , MPa	极限弯拉应变 ϵ_B , $\mu\epsilon$	弯曲劲度模量 S_B , MPa	应变能密度, KJ/m ³
BSL-70A	9.440	1403	6728.8	6.26
BSL-70B	9.786	1444	6769.6	6.75
BSL-70C	9.234	1212	7622.0	5.98
ESS070	10.183	791	12925.8	4.79

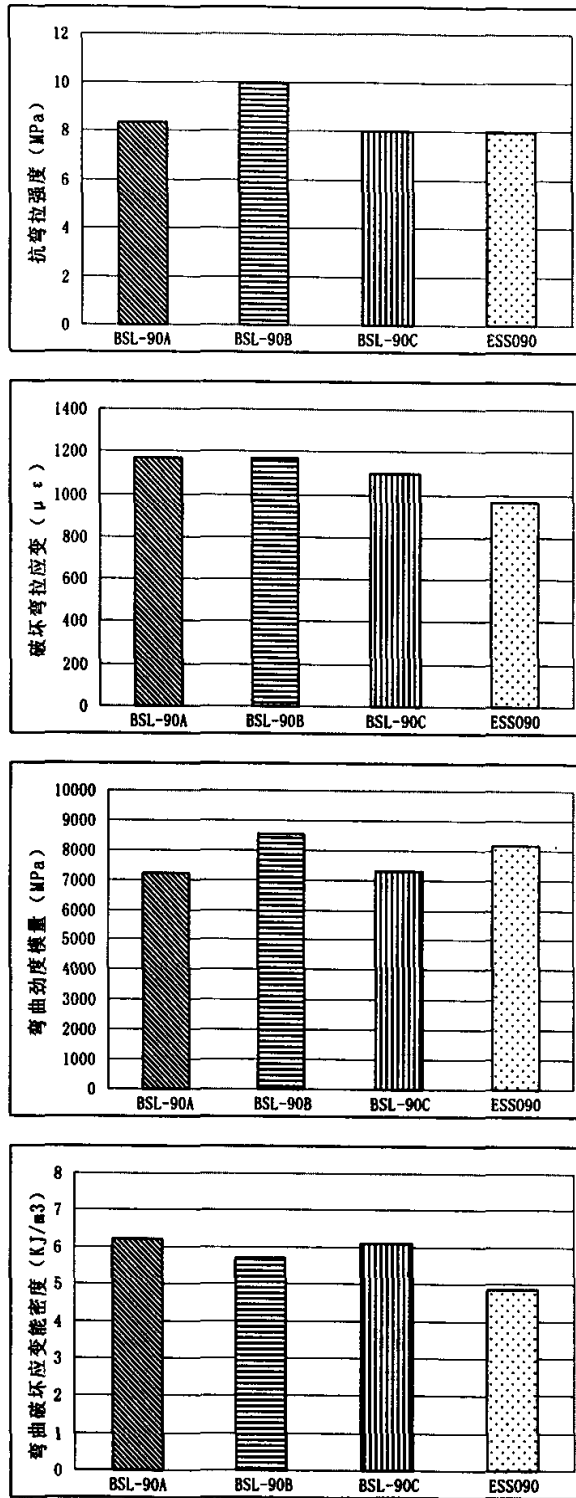


图 4-3-12 不同混合料 (90# 结合料) 弯曲破坏试验结果比较

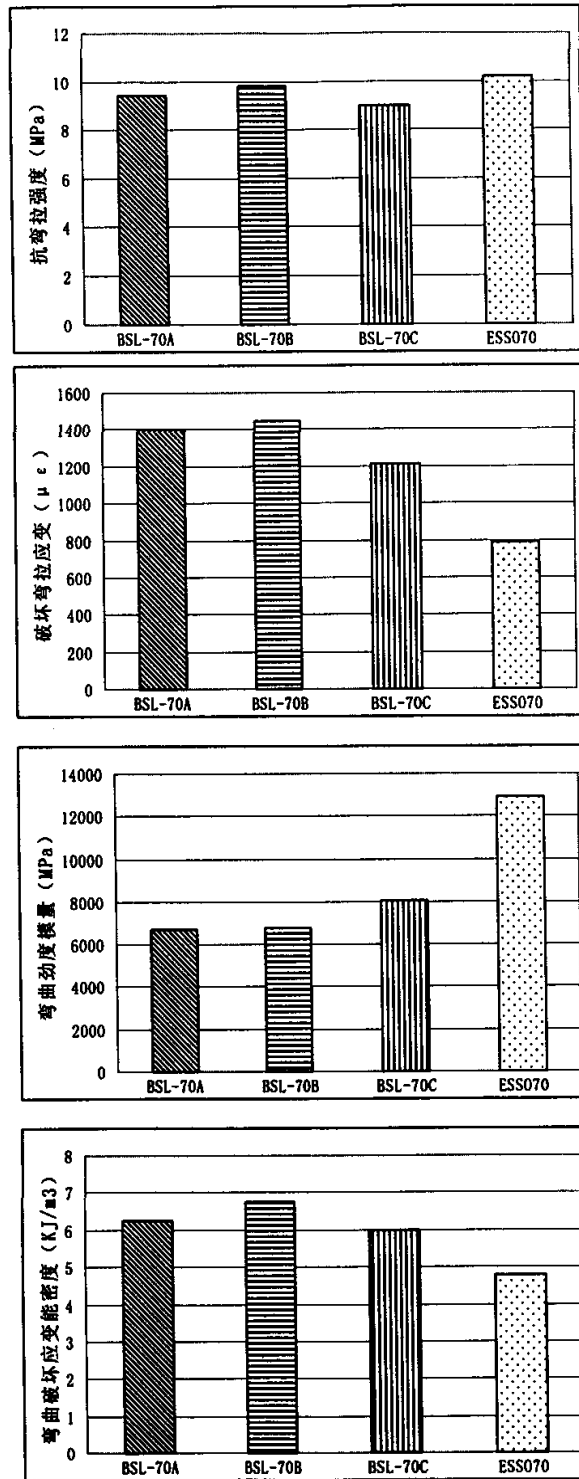


图 4-3-13 不同混合料 (70[#]结合料) 弯曲破坏试验结果比较

由表 4-3-7、表 4-3-8 和图 4-3-12、图 4-3-13 可以看出：

从抗弯拉强度来看，对于 90 号结合料，三种 BSL 彩色沥青混合料的抗弯拉强度都要比 ESSO 沥青混合料要大；对于 70 号结合料，BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 与 ESSO 沥青混合料的抗弯拉强度相差都很小。

从破坏弯拉应变来看，对于 90 号结合料，ESSO90 沥青混合料的破坏应变较小，而其他三种彩色沥青混合料 BSL-90A、BSL-90B、BSL-90C 混合料分别比其高出 20.6%、20.8% 和 13.7%；对于 70 号结合料，ESSO70 沥青混合料的破坏弯拉应变只有 791，而 BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 分别是其 1.774、1.826 和 1.532 倍。这说明彩色沥青混合料的低温延展性比 ESSO90 沥青混合料大，这与彩色结合料的 10℃ 延度非常大是一致的。

弯曲劲度模量是抗弯拉强度和极限弯曲应变的比值，是反映材料刚度大小的指标。在一定程度上采用该值可以表征沥青混合料在低温时发生开裂破坏的难易程度，劲度模量较大的沥青路面低温下抗变形能力差，脆性增加，容易引起开裂破坏。从弯曲劲度模量来看，对于 90 号结合料，四种沥青混合料的弯曲劲度模量差不多，都在七千或八千左右，说明这几种材料的刚度差不多；对于 70 号结合料，一般沥青混合料则要比该几种彩色沥青混合料大很多，ESSO70 沥青混合料弯曲劲度模量分别比 BSL-70A、BSL-70B 和 BSL-70C 彩色沥青混合料高出 92%、91% 和 70%，这说明彩色沥青混合料的低温刚度要比一般沥青混合料要小很多抗低温开裂性要好。

实际中某些材料的抗弯拉强度很小，其破坏时的最大应变却很大，有些则相反。因此，仅以强度或仅以变形来评价沥青混合料的低温抗裂性是不够全面的，从能量的角度评价更准确、合理。弯曲破坏应变能密度表示破坏试件时单位体积内所需的能量，该值越大说明破坏时所需能量越高，低温抗裂性就越好^[35]。对于该 90 号的彩色沥青混合料其破坏应变能密度均比一般沥青混合料要大，ESSO 沥青混合料破坏应变能只有 $4.85 \text{ KJ}/\text{m}^3$ ，BSL-90A、BSL-90B 和 BSL-90C 混合料分别比其超出 27.8%、17.3% 和 25.6%；对于 70 号的结合料，可以发现同样的规律，BSL-90A、BSL-90B 和 BSL-90C 彩色沥青混合料分别比 ESSO70 沥青的要高出 30.5%、40.9% 和 24.8%。这说明本彩色沥青混合料低温抗裂性要比 ESSO 沥青混合料强。

综合以上四方面可认为彩色沥青混合料的低温性能要强于优质的道路石油沥青，这也跟前面对结合料的性能分析结果相一致。

4.3.4 彩色混合料的疲劳性能

疲劳特性,即沥青路面在反复荷载作用下抵抗破坏的能力。随着公路交通量日益增长,汽车轴重不断增大,汽车对路面的破坏作用越来越明显。路面使用期间,在气温环境影响下经受车轮荷载的反复作用,长期处于应力应变交迭变化状态,致使路面结构强度逐渐下降。当应力或应变超过路面的疲劳极限时,路面不足以抵抗车轮荷载而引起开裂破坏,即产生疲劳破坏。随着人们对疲劳损坏的认识,沥青路面疲劳裂缝的形成规律、预测和防治方法的研究得到了越来越多的关注。

1. 试验评价方法

国外公路研究人员从上世纪50年代就开始对沥青路面疲劳性能进行研究,从疲劳发生机理、试验方法、量测设备、影响因素分析等方面着手,构建疲劳研究的体系,到目前为止已取得了有价值的成果。

沥青路面疲劳性能的研究从方法和途径上可以分为现象学法和力学近似法。前者采用传统的疲劳理论,通过疲劳曲线来表征材料的疲劳特性,研究的是裂缝形成的机理、应力/应变与疲劳寿命之间的关系以及各种因素对疲劳强度和疲劳寿命的影响,疲劳强度定义为材料出现疲劳破坏的重复应力值,相应的应力重复作用次数称为疲劳寿命;后者应用断裂力学原理分析疲劳裂缝扩展规律,认为材料一开始就有初始裂缝存在,因此不考虑裂缝的形成阶段,而着重关注材料的断裂机理和裂缝扩展规律,并用以预测材料的疲劳寿命,应用这一方法的疲劳寿命被命名为在一定的应力状态下,材料的损坏按照裂缝扩展的规律,从初始状态到危险和临界状态的时间。

本课题采用传统的疲劳理论方法,对彩色结合料和普通重交沥青混合料的疲劳性能进行研究。传统疲劳理论方法可采用控制应力和控制应变两种不同的加载模式。应力控制方式是指反复加载过程中所施加荷载(或应力)的峰谷值始终保持不变,随着加载次数的增加最终导致试件断裂破坏。试验结果可用下式来表示:

$$N_f = k \left(\frac{1}{\sigma} \right)^n$$

式中: N_f —试件破坏时加载次数;

k, n —取决于沥青混合料成分和特性的常数;

σ —对试件每次施加常量应力的最大幅值。

应变控制方式是指在反复加载过程中始终保持挠度或试件底部应变峰谷值不变。由于在这种控制下,试件通常不会出现明显的断裂破坏,一般以混合料劲度下降到初始劲度的 50% 或更低为疲劳破坏标准。试验结果通常采用如下公式计算:

$$N_f = c \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^m$$

式中: N_f —混合料劲度下降到初始劲度的 50% 或更低时的次数;

c, m —取决于沥青混合料成分和特性的常数;

ε —对试件每次施加常量应变的最大幅值。

本研究采用应力控制方式来研究沥青混合料的疲劳特性。试验设备同样采用美国进口的 MTS 材料试验机。具体试验条件如下:

试件: 由轮碾成型板后切割而成;

试件尺寸: 40×40×240mm 小梁, 跨径 150mm;

试验温度: 15℃;

荷载形式: 半正弦波形;

加载方式: 三分点加载;

加载频率: 10Hz。

2. 试验结果及分析

各种级配类型的沥青混合料疲劳试验结果如表 4-3-9、表 4-3-10 所示, 疲劳方程图见图 4-3-14 和图 4-3-15 所示。

表 4-3-9 15℃沥青混合料 (90°结合料) 疲劳试验结果

结合料种类	应力比	应力水平 (MPa)	疲劳寿命 (次)	回归方程
BSL-90A	0.2	1.624	11399	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n=2.6134$ $k=46143$ $R^2=0.9741$
	0.3	2.436	5740	
	0.4	3.248	2087	
	0.5	4.061	1078	
BS-L90B	0.2	1.665	17418	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n=4.1570$ $k=176652$ $R^2=0.9773$
	0.3	2.497	5602	
	0.4	3.329	1193	
	0.5	4.162	402	
BSL-90C	0.2	1.525	14161	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n=2.7499$ $k=55745$ $R^2=0.9347$
	0.3	2.288	8758	
	0.4	3.051	2320	
	0.5	3.814	1266	
ESS090	0.2	1.591	15145	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n=3.7776$ $k=75011$ $R^2=0.9766$
	0.3	2.386	2336	
	0.4	3.182	766	
	0.5	3.977	519	

表 4-3-10 15℃沥青混合料 (70°结合料) 疲劳试验结果

结合料种类	应力比	应力水平 (MPa)	疲劳寿命 (次)	回归方程
BSL-70A	0.2	1.597	12821	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n=3.2923$ $k=57900$ $R^2=0.9941$
	0.3	2.396	3257	
	0.4	3.195	1104	
	0.5	3.994	672	
BSL-70B	0.2	1.880	21807	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n=4.0966$ $k=314256$ $R^2=0.9932$
	0.3	2.820	5445	
	0.4	3.760	1249	
	0.5	4.701	550	
BSL-70C	0.2	1.654	22714	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n=4.4584$ $k=318972$ $R^2=0.9242$
	0.3	2.481	11253	
	0.4	3.308	1569	
	0.5	4.136	410	
ESS070	0.2	1.919	14275	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n=3.3290$ $k=120634$ $R^2=0.9972$
	0.3	2.878	3255	
	0.4	3.837	1468	
	0.5	4.797	646	

沥青混合料疲劳性能通过疲劳方程的两个参数 k , n 来反映。当对应力水平 σ 和疲劳寿命 N_f 进行双对数回归时, 可得一直线, 疲劳方程的两个参数 k , n 即为直线的截距和斜率。 n 值越大, 疲劳曲线越陡, 疲劳寿命对应力水平变化越敏感; 而 k 值表示疲劳曲线线位的高低, k 值越大, 疲劳曲线线位越高, 抗疲劳性能越好。

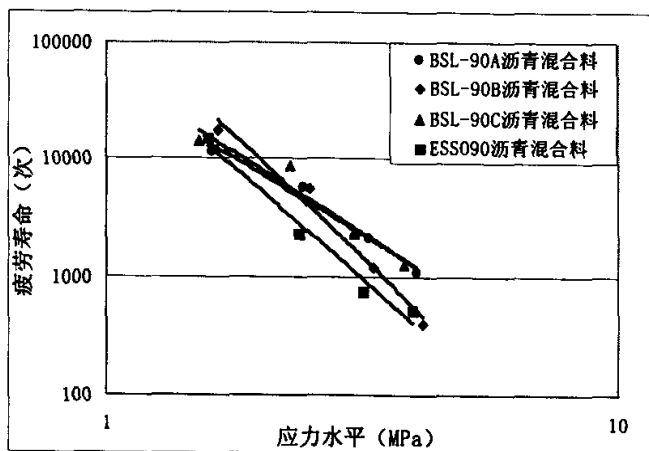


图 4-3-14 不同沥青混合料 (90# 结合料) 疲劳方程对比

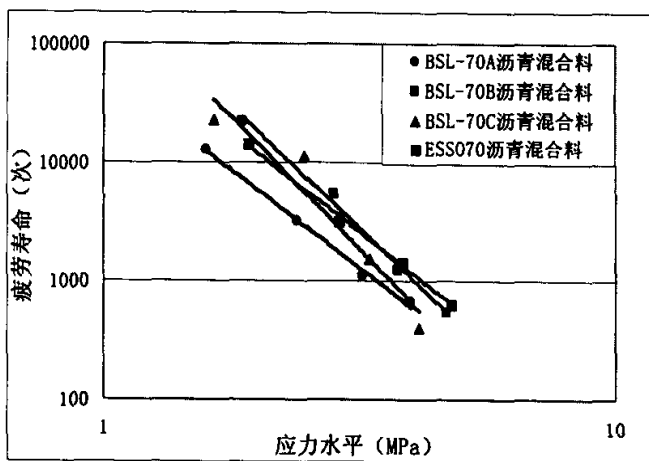


图 4-3-15 不同沥青混合料 (70# 结合料) 疲劳方程对比

由图 4-3-14 可以看出, 三种彩色沥青混合料疲劳方程曲线均位于 ESSO90 沥青混合料曲线的上方, 疲劳性能都要比一般沥青混合料好。这三种彩色沥青混合料之间没有明显区别; 由图 4-3-15, BSL-70B 和 BSL-70C 的混合料疲劳曲线都在埃索沥青混合料的上侧, 说明疲劳性能较之为好, BSL-70A 在其下侧, 疲劳性能较之为差。

在疲劳试验过程中,彩色沥青混合料的在低应力水平作用下跨中弯曲位移较一般沥青混合料要大很多,见图 4-3-16。后经研究发现在疲劳试验中彩色沥青结合料在低应力水平作用下,并非试件完全疲劳断裂而是由于跨中挠度过大,超过仪器设定的位移保护值而计为试件破坏。从跨中挠度较大来看,可见彩色沥青混合料的柔韧性非常好,抗疲劳性能很好。

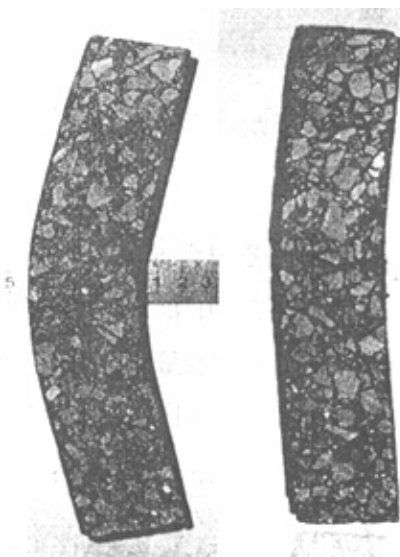


图 4-3-16 低应力水平疲劳破坏后的两种混合料小梁试件

§ 4-4 小结

本章通过对几种彩色沥青混合料和一般的优质道路石油沥青混合料的路用性能在同等试验条件下进行对比研究,可以得到如下主要结论:

1. 总体上来看,彩色沥青混合料在高温稳定性方面比进口优质道路石油沥青为结合料的混合料略优,但 BSL-C 系列的彩色沥青混合料要比一般道路石油沥青为好。本彩色沥青完全可以通过调整矿料级配或添加抗车辙剂等手段,使其彩色沥青混合料达到不同目的所需的高温性能,从而适用于不同气候区和不同等级的彩色铺面。
2. 彩色结合料对于沥青混合料的水稳定性方面,可达到优质道路石油沥青的水平。同样,试验表明 BSL-C 系列的彩色沥青水稳定性比优质道路石油沥青好。彩色沥青混合料的水稳定性跟一般沥青混合料一样,可以通过选用与沥青粘附性好的石料或是采取抗剥落措施加以提高。

3. 低温抗裂性方面，彩色沥青混合料则要比一般的沥青混合料好，因为浅色结合料的低温延展性要比一般道路石油沥青优越得多。
4. 彩色沥青混合料与一般的沥青混合料相比具有良好柔韧性，这使其具有了良好的抗疲劳特性。
5. 由于该彩色结合料较好的抗老化性和彩色沥青混合料较大的柔性，使其有利于减少全厚式沥青路面出现的 TOP-DOWN 裂缝病害。

第五章 彩色水泥灌浆沥青混合料设计方法及路用性能研究

彩色水泥灌浆沥青混合料作为彩色路面用材料的一种，除具有多彩的外观外，路用性能也很重要。本章主要研究该复合材料的性能。

彩色水泥灌浆沥青路面，是将特殊设计的彩色水泥胶浆灌入到多孔的开级配沥青混合料的空隙之中而形成的路面。该开级配沥青混合料称之为基体沥青混合料，也叫母体沥青混合料。

§ 5-1 原材料试验

1. 沥青：采用埃索 70 号沥青，实验结果见第三章表 3-2-3，各项指标合格。
2. 集料：集料采用石灰岩具体指标见第四章表 4-1-1。
3. 水泥：选用江西产 425[#] 普通硅酸盐白色水泥，参照《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053-94)^[4] 中有关方法进行检验，水泥质量合格，结果见表 5-1-1。

表 5-1-1 水泥技术指标测定结果

初凝时间 (h)	终凝时间 (h)	标准稠度用水量 (%)	三天强度 (MPa)	
			抗折	抗压
2~2.5	4	24	3.5	>17.0

4. 砂：选用福建产标准砂，为了使水泥胶浆中的砂容易灌入沥青混合料的空隙中，砂通过 0.6mm 筛孔的通过率要大于 80%，最大粒径不能超过 1.18mm。
5. 色粉：红色、绿色、黄色等色粉。
6. 外加剂：采用早强剂和减水剂。

§ 5-2 彩色水泥胶浆的设计

作为彩色灌浆沥青路面用水泥胶浆，它主要由水泥胶结料、砂、矿粉、水、外加剂和色粉等组成。必须满足以下性质：

- ◇ 足够的抗压强度和抗折强度；
- ◇ 良好的流动性；
- ◇ 在硬化过程中，体积变化要小于 0.5%；
- ◇ 具有较小的干缩、温缩特性；
- ◇ 必须具有良好的与混合料结合的性能。

考虑以上原则，参照日本道路协会《アスファルト铺装要纲》（平成四年修订版），水泥灌浆沥青路面用水泥胶浆主要性能指标如表 5-2-1 所示。

表 5-2-1 水泥胶浆性能目标值

指标	范围	备注
流动度 (s)	10~14	
抗折强度 (MPa)	>2	七天养生
抗压强度 (MPa)	10~30	

5.2.1 水泥胶浆评价及实验方法

1. 流动度的测定

具有良好的流动性是水泥灌浆沥青路面用水泥胶浆必须满足的性质之一。对于具体的流动度测定方法，国内各个研究机构采用的仪器及方法均不相同，本研究参考日本有关规范^[36]，提出具体的流动度测定方法。

(1) 实验仪器

流动度仪：上端内径 178mm，下端内径 13mm，流出管长 38mm，容积为 1725ml。漏斗形状及尺寸见图 5-2-1。

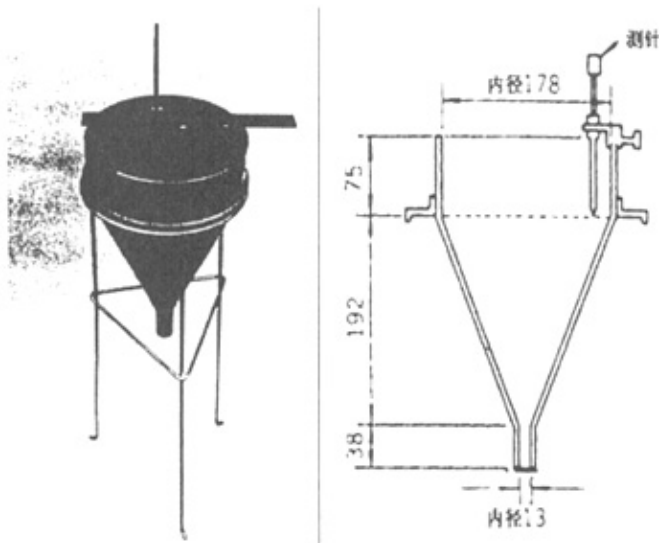


图 5-2-1 流动度仪（单位：mm）

容器：量桶或量杯；

秒表：普通秒表。

(2) 试验方法

- a. 漏斗垂直支撑稳定后, 用水冲洗漏斗内壁;
- b. 将水泥胶浆充分拌和均匀后, 倒入漏斗内, 先让适量水泥胶浆从流出管流出, 然后用手指堵住流出管口, 再向漏斗内注入胶浆, 直至规定体积 1725ml 位置。
- c. 放开手指, 水泥胶浆流出的同时开始计时, 直至连续流出的水泥胶浆完全流出瞬间计时, 读出该瞬间的时间, 精确至 0.1 秒, 即为流动度。

(3) 结果整理

一种水泥胶浆平行试验三次, 取其算术平均值为最后结果。

注意事项: 在测流动度之前, 要用水充分冲洗漏斗内壁; 每次测定完后, 用水将附着在内壁上的胶浆冲洗干净, 防止硬化后的水泥胶浆影响下一次测定的准确度。

2. 强度的测定

根据《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053—94) 中水泥胶砂强度测定方法, 制备试件 (4×4×16cm) 标准养生条件 (20±3℃, 相对湿度>90%) 养生到规定零期, 测定期抗折、抗压强度。

(1) 抗折强度的测定

- a. 取出经过规定零期养生的三个试件, 清除试件表面的水分和砂砾, 将其放入杠杆式抗折试验机夹具内, 调整杠杆接近平衡位置, 进行抗折强度的测定。

- b. 抗折强度按下式计算

$$R_f = \frac{3PL}{2bh^2}$$

式中: R_f —抗折强度, Mpa; P—破坏荷载, Mpa; L—支撑圆柱中心距即

100mm; b、h—试件断面宽及高, 均为 40mm。

- c. 抗折强度结果取三个试件的平均值。当三个强度中有超过平均值±10%, 应剔除后再平均, 此平均值作为抗折强度试验结果。彩色水泥胶砂试件见图 5-2-2。

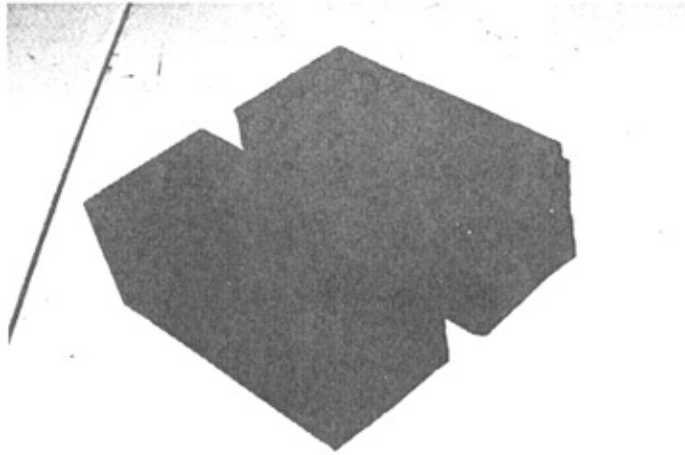


图 5-2-2 抗折强度试验后的彩色水泥胶砂试件

(2) 抗压强度的测定

- a. 将抗折试验后的两个断块放入抗压夹具中，在压力试验机上进行抗压强度的测定。压力机加荷速度控制在 $5 \pm 0.5 \text{KN/s}$ 的范围内。
- b. 抗压强度按下式计算

$$R_c = \frac{P}{S}$$

式中： R_c —抗压强度，Mpa； P —破坏荷载，N； S —受压面积，为 $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 。

- c. 六个抗压强度结果中剔除最大、最小两个数值，以剩下的四个值平均值作为抗压强度结果。入不足六个，取平均值。图 5-2-3 为抗压强度试验后的彩色水泥胶砂试件。

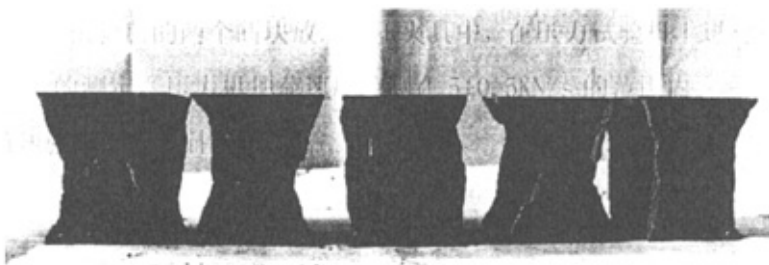


图 5-2-3 抗压强度试验后的彩色水泥胶砂试件

5.2.2 水泥胶浆试验结果与分析

水泥胶浆的配比可以通过不同水平和影响因素的试验设计经大量试验确定，也可借鉴以往的经验，缩小范围，经少量试验确定，可称之为经验法。本研究借鉴以往经验对不同配方的水泥胶浆进行实验，结果见表 5-2-2。

表 5-2-2 彩色水泥胶浆性能指标

方案	水灰比 w/c	砂用量 (%)	矿粉用量 (%)	色粉用量 (%)	早强剂 (%)	减水剂 (%)	1天强度(MPa)		3天强(MPa)		7天强(MPa)		流动度 (s)
							抗折强度	抗压强度	抗折强度	抗压强度	抗折强度	抗压强度	
1	0.55	20	10	3	0	0	0.70	1.36	2.72	7.90	4.20	13.21	11.40
2	0.55	20	10	5	0	0	0.90	1.60	2.50	7.00	3.85	11.11	12.66
3	0.55	20	10	5	1	0	1.55	3.14	2.70	7.10	3.33	10.55	13.90
4	0.55	20	10	5	2	0	2.28	4.80	3.15	9.00	3.95	10.56	13.20
5	0.52	20	10	4	2	0.1	2.30	5.40	3.79	8.90	4.13	12.30	12.08

彩色水泥灌浆沥青路用水泥胶浆按养生时间可分为普通型，早强型和超早强型，养生时间的长短大都是根据所使用的水泥种类按经验来确定的，普通型一般在水泥胶浆摊铺成型标准养生约三天后即可开放交通，早强型为一天，超早强型为 3 到 5 小时。但是，也有规定养生时间不能按经验来确定，而是根据该复合混合料耐磨和抗车辙性与水泥抗压强度的关系，以水泥的抗压强度在 4.9MPa 以上的标准来确定路面养生时间的^[46]。本研究根据一般需要，水泥胶浆设计为早强型，借鉴以往研究经验，由方案 1 选水灰比 0.55，砂用量 20%，矿粉用量 10%，验证得七天抗压、抗折强度和流动度均满足要求，但一天的强度太低无法开放交通。固需要添加早强剂，进行方案 2、方案 3 和方案 4 的试验，早强剂用量与强度的关系见图 5-2-4。

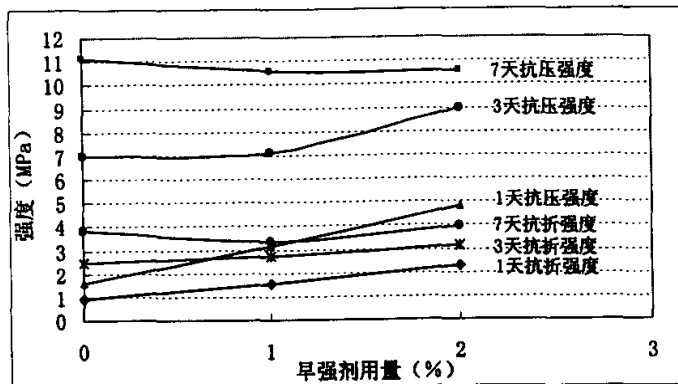


图 5-2-4 早强剂用量与强度关系

由图 5-2-4 可见，随着早强剂剂量的增加，水泥胶浆的一天抗折、抗压强度和三天的抗压强度增加越多，而对于七天的抗折、抗压强度则影响较小。

当早强剂用量为 2% 时，一天的抗压强度达到 4.8MPa，基本达到 4.9MPa 的要求；要进一步提高一天的抗压强度，但早强剂用量不宜太高，否则可能导致水化太快、收缩加大和影响后期强度等问题，所以进行方案 5 的试验，用降低水灰比来提高强度，同时添加 0.1% 的减水剂保证流动度的要求。

通过添加 3%、4% 和 5% 的色粉，比较色彩效果并考虑造价，最后确定其用量为 4%。

经试验结果表明方案 5 的各项指标满足要求，最后选定方案 5 为该早强型彩色水泥胶浆配比为：水灰比 0.52，砂用量 20%，矿粉用量 10%，色粉用量 4%，早强剂 2%，减水剂 0.1%（用量为占水泥之质量百分比），该水泥胶浆性能完全达到要求。1 天抗压强度为 5.40MPa，达到开放交通要求。

为使其在施工时段内仍然满足流动度的要求，测定该水泥胶浆经过不同时间段的流动度（室温 20℃），结果如表 5-2-3。

表 5-2-3 彩色水泥胶浆流动度测定结果

流经时间 (min)	0	15	30	50	70	85	105	120
流动度 (s)	12.08	12.77	12.99	13.32	14.10	14.45	15.37	15.87

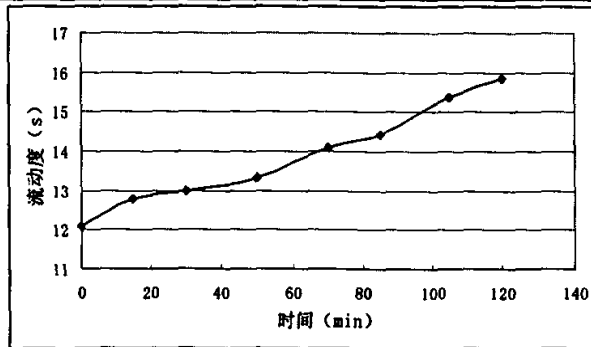


图 5-2-5 流动度与时间关系

由表 5-2-3 及图 5-2-5 可见，水泥胶浆的流动度随时间的增长而增大。这与水化作用的增加以及随时间的增长水分有一定的散失有关。从实验结果可知，该水泥胶浆可以在 70 分钟时间内流动度小于 14 秒，保证了施工时间流动性的要求。具体施工时间与水泥胶浆一次洒铺面积，结构层厚度和施工效率有关。

§ 5-3 基体沥青混合料配合比设计

沥青混合料结构层随矿料级配的不同而构成不同的组成结构, 诸如悬浮—密实结构、骨架—空隙结构、骨架—密实结构。水泥灌浆沥青混合料属于骨架—密实结构, 而基体沥青混合料则属于骨架—空隙结构, 即在形成骨架的同时提供足够的空隙以使水泥胶浆充分灌入。基体沥青混合料的体积特征对该路面的力学性能可产生重大影响, 因此, 在基体沥青混合料的设计过程中要突出混合料的体积特征, 使其具有良好的体积特性。

基体沥青混合料跟 OGFC 混合料在体积特征上相类似。本研究采用简单的马歇尔设计方确定其沥青用量。

5.3.1 沥青混合料级配

1. 指标要求及级配范围

由于基体沥青混合料设计空隙率高达 20% 以上, 其最终力学性能又依赖于填充的水泥胶浆, 其马歇尔试验结果不能使用现行沥青路面施工技术标准进行判断。对于该混合料来说, 马歇尔试验结果仅供确定基体沥青混合料沥青用量时参考。由于目前国内开展这项研究极少, 还不能制定相应的标准来指导施工, 参照国外的研究, 基体沥青混合料的设计空隙率要求在 20%—28% 之间, 沥青用量在 3.0%—4.5% 之间, 具体指标要求如表 5-3-1 所示。

表 5-3-1 基体沥青混合料指标要求

项 目	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	击实次 数(次)	沥青用量 (%)	稳定度 (KN)	流值 (mm)
指标要求	≥1.9	20~28	50	3.0~4.5	≥3.0	2~4

选用具有大空隙率特性的沥青混合料作为水泥灌浆沥青路面用基体沥青混合料, 由于我国还未有该种级配的推荐范围, 借鉴日本アスファルト铺装要纲推荐的沥青混合料级配如表 5-3-2。

表 5-3-2 基体沥青混合料级配推荐范围

筛孔 (mm)	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
质量通 过率, %	100	95~ 100	—	10~ 35	5~ 22	—	4~ 15	3~ 12	—	1~6

2. 拟定矿料级配

选取设计空隙率为 26%，参照以上级配范围，选定几种级配按 3.4% 的初试油石比成型试件，对比空隙率及灌浆情况（水泥浆是否能顺利灌入，以及填充空隙情况），最后拟订设计级配如表 5-3-3 所示。

表 5-3-3 设计级配表

筛孔, mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
质量通过率, %	100	97.5	61	15	13	—	—	—	—	4

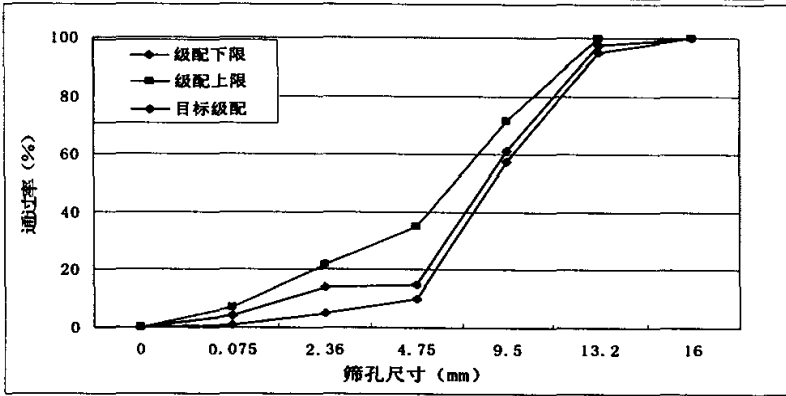


图 5-3-1 级配曲线图

初试沥青用量为 3.4%，级配成型试件空隙率为 26%。

5.3.2 确定最佳沥青用量

本研究采用马歇尔设计法确定其沥青用量，并只考虑密度、空隙率、稳定性和流值几个指标，试验结果见表 5-3-4。

表 5-3-4 马歇尔实验结果

油石比 (%)	毛体积密度 (g/cm^3)	最大相对理论密度	空隙率 (%)	连通空隙率 (%)	稳定度 (KN)	流值 (mm)
2.0	1.842	2.601	29.2	27.0	2.28	2.08
2.5	1.842	2.581	28.8	26.3	2.33	2.10
3.0	1.852	2.563	27.7	25.5	2.37	2.55
3.5	1.871	2.545	26.5	24.3	2.56	2.63
4.0	1.865	2.527	26.2	23.0	2.18	2.35

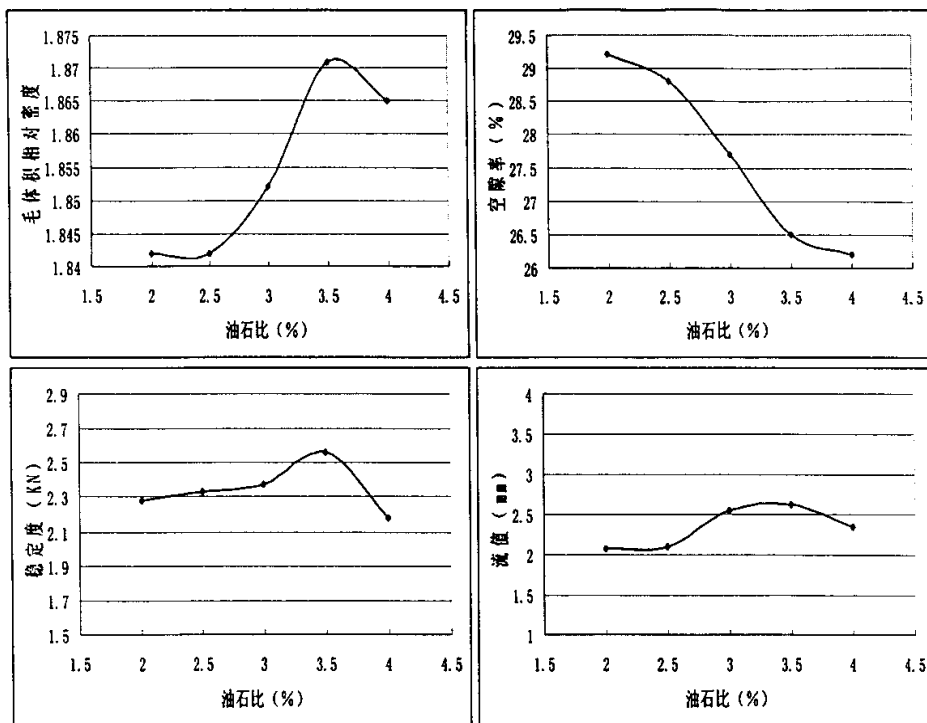


图 5-3-2 油石比与各指标关系图

最后根据密度,设计空隙率,稳定性和流值等参数,选取 $OAC=3.5\%$, $VV=26.5\%$, 连通空隙率 $VV'=24.3\%$ 。图 5-3-3 即为设计成型的多空隙基体沥青混合料。

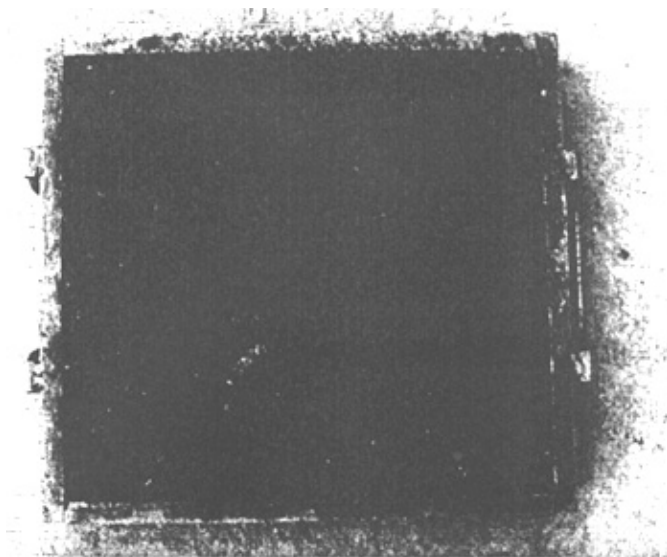


图 5-3-3 多空隙基体沥青混合料试件

基体沥青混合料中的空隙包括封闭空隙和连通空隙，其中连通空隙率指混合料中相互贯通的空隙占试件体积的百分率，连通空隙为水泥胶浆理论上所能完全填充到的空隙，基体沥青混合料即使具有相同的空隙率，也会存在水泥胶浆填充效果不相同的情况，原因在于空隙中存在着不可填充的封闭空隙。所以为了准确反映基体混合料的可填充性能，对连通空隙率进行计算非常必要。连通空隙率与空隙率越接近说明该基体沥青混合料的填充效率越高，此外，施工中混合料中水泥胶浆的用量也可由该指标计算确定。根据下式进行连通空隙率的计算：

$$\text{连通空隙率 } VV' (\%) = (V - C') / V \times 100$$

式中：V — 试件的体积， cm^3 ；

C' — 集料与封闭空隙的体积 (cm^3)， $C' = (A - C) / \gamma_w$ ；

A — 试件的干重量，g；

C — 试件的水中重量，g；

γ_w — 常温下水的密度， $\gamma_w \approx 1.0 \text{g/cm}^3$ 。

§ 5-4 彩色水泥灌浆沥青混合料路用性能研究

根据拟订的级配和最佳沥青用量成型沥青混合料试件，然后将提前拌好的彩色水泥胶浆灌入其中，养生七天后进行各项路用性能试验（试件灌浆时为避免水泥浆漏出，应对沥青混合料试件的四周和底面采取封堵措施）。该种复合材料的主体仍为沥青混凝土，偏于柔性，因为目前尚无评价该种复合材料各种路用性能的方法，本研究采用沥青混合料的各种评价方法来评价该复合材料的性能，并与第四章 AC-13C 沥青混合料作对比分析。图 5-4-1 即为几种彩色水泥灌浆沥青路面的表观图，图 5-4-2 为剖面图。

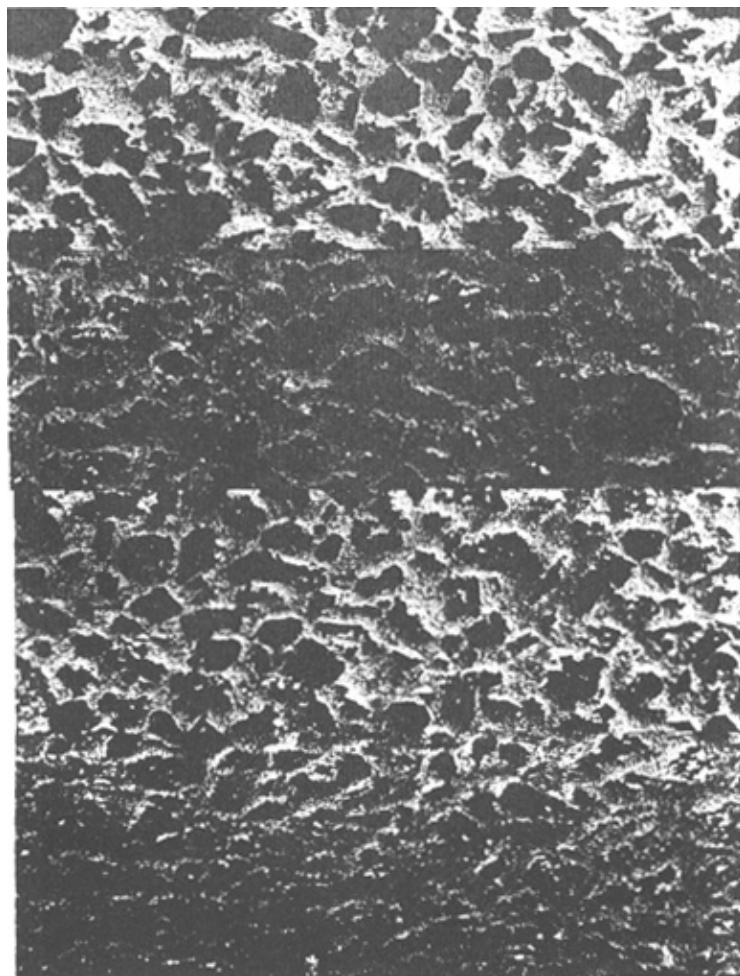


图 5-4-1 四种颜色的彩色水泥灌浆沥青路面表面图

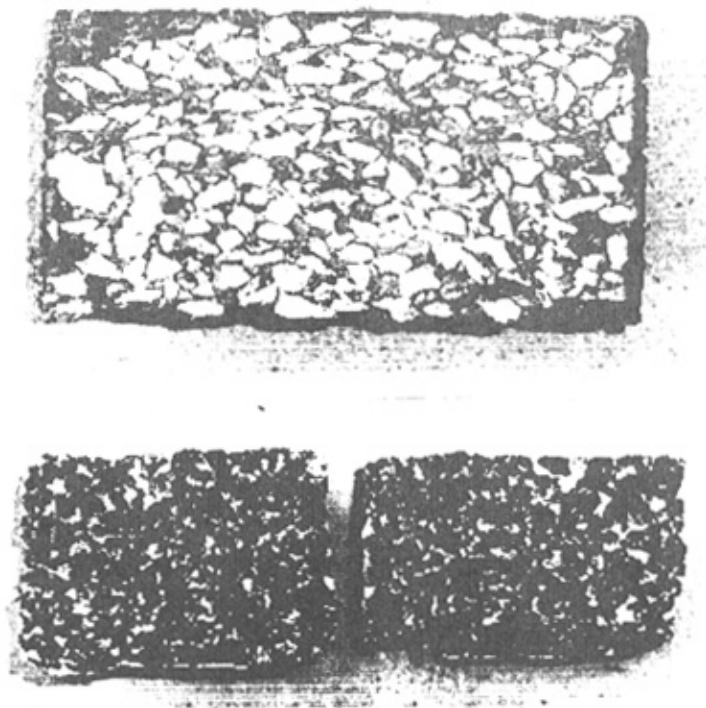


图 5-4-2 彩色水泥灌浆沥青混合料剖面图

5.4.1 彩色水泥灌浆沥青混合料高温稳定性

1. 试验结果

彩色水泥灌浆沥青混合料车辙试验结果见表 5-4-1。

表 5-4-1 车辙试验结果

混合料类型	动稳定度 (次/mm)	45min 变形 (mm)	60min 变形 (mm)	相对变形 (%)
彩色水泥灌浆 沥青混合料	12660.7	0.813	0.863	1.7
AC-13C	1294.6	4.046	4.525	9.1

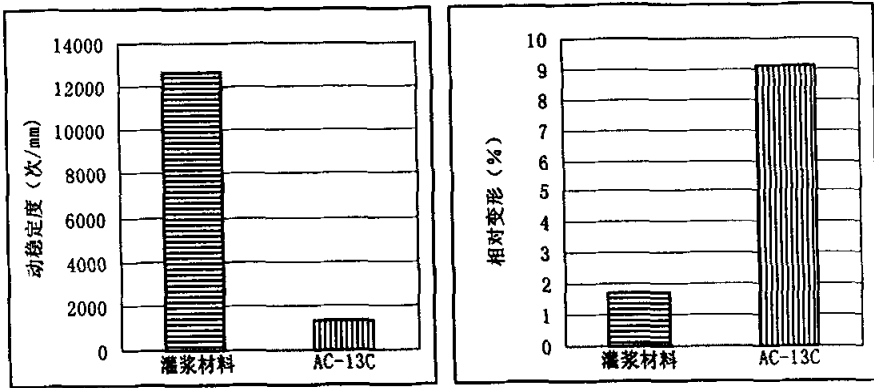


图 5-4-3 车辙试验结果对比

2. 试验结果分析

现行规范采用动稳定度作为沥青混合料的高温性能技术指标,认为动稳定度越大,其高温性能越好,经过多年实践证明了其有效性。现行沥青混合料技术规范给出了七月份平均气温大于 30℃时沥青混合料的动稳定度要求,见表 5-4-2。

表 5-4-2 沥青混合料车辙动稳定度技术要求

气候条件与技术指标		要求的动稳定度 (次/mm)			
七月份平均最高气温 (℃) 及气候分区		>30			
		夏炎热区			
		1-1	1-2	1-3	1-4
普通沥青混合料, 不小于		800		1000	
改性沥青混合料, 不小于		2400		2800	
SMA 混合料	非改性, 不小于	1500			
	改性, 不小于	3000			
OGFC 混合料		1500 (一般交通)、3000 (重交通量路段)			

彩色水泥灌浆沥青路面的动稳定度为 12660.7 次/mm, 是普通沥青混合料 AC-13C 的 9.8 倍, 也大远远超过规范对于上述各种沥青混合料的要求, 具有绝对的优势。可知该种材料的高温抗车辙性能非常优越, 可用于所有高温气候地区。

由图 5-4-3 还可知, 该种复合材料的车辙相对变形也很小, 在 60min 时还不到 2%, 这也证明了该种材料的优良高温性能。图 5-4-4 为经过车辙试验后的试件, 可以发现表面几乎看不出车辙痕迹。

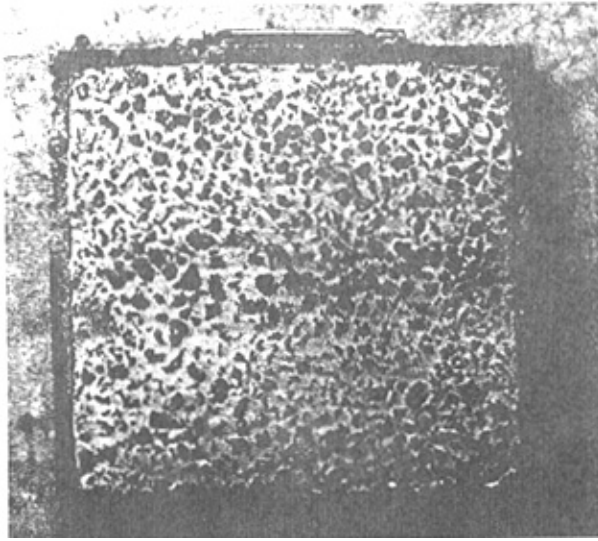


图 5-4-4 车辙试验后的试件

不论从动稳定度还是从车辙相对变形来看,都可以看出该种路面复合材料的高温稳定性非常好。沥青混合料的高温稳定性主要是指材料在高温下抵抗剪切流动变形的能力,该材料中由于水泥的加入刚性增大,抵抗剪切变形的能力大为增强,因此其抗车辙能力也随之增大。

5.4.2 彩色水泥灌浆沥青混合料水稳定性

1. 试验结果

水稳定性试验结果见表 5-4-3。

表 5-4-3 水稳定性试验结果

混合料类型	浸水马歇尔试验			冻融循环劈裂试验		
	浸水 48h 稳定度 MS ₁ (KN)	未浸水 40min 稳定度 MS (KN)	浸水残留 稳定度 MS ₀ (%)	未冻融循 环劈裂 强度 R ₇₁ (MPa)	冻融循环 后劈裂强 度 R ₇₂ (MPa)	冻融劈 裂强度 比 TSR (%)
彩色水泥灌浆 沥青混合料	21.45	19.74	108.7	0.930	0.721	77.5
AC-13C	8.75	9.78	89.5	1.070	0.687	64.2

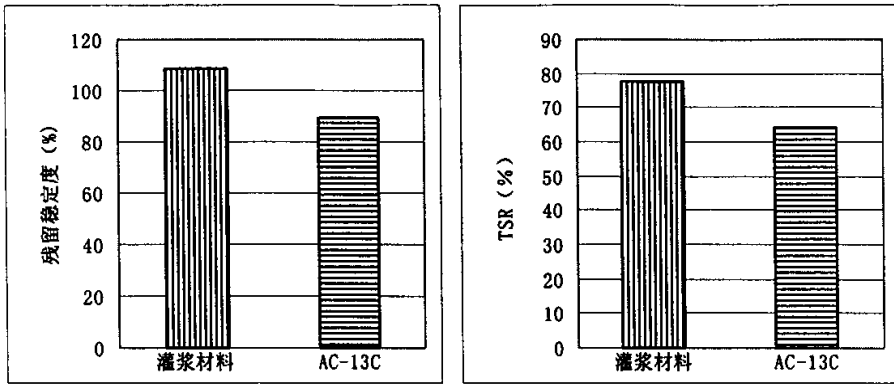


图 5-4-5 水稳定性试验结果对比

2. 试验结果分析

根据我国气候分区特征，现行规范给出了沥青混合料水稳定性的技术要求，如表 5-4-4 所示。

表 5-4-4 沥青混合料水稳定性检验技术要求

气候条件与技术指标		相应于下面气候分区的技术要求 (%)				试验方法
年降雨量 (mm) 及气候分区		>1000	500~1000	250~500	<250	
		1. 潮湿区	2. 湿润区	3. 半干区	4. 干旱区	
浸水马歇尔试验残留稳定度 (%), 不小于						
普通沥青混合料		80		75		T0790
改性沥青混合料		85		80		
SMA 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						
普通沥青混合料		75		70		T0729
改性沥青混合料		80		75		
SMA 混合料	普通沥青	75				
	改性沥青	80				

由图 5-4-5 可以看出，彩色水泥灌浆沥青混合料的残留稳定度和冻融劈裂强度比分别比普通的 AC-13C 沥青混合料大 21.5% 和 20.7%，这说明其抗水侵害能力比普通沥青混合料强；其浸水 48h 残留稳定度达到 108.7%，也远大于对表

5-4-4 中各混合料的要求，适用于潮湿地区，而且冻融循环劈裂强度比 TSR 也可达 77.5%，可以达到普通沥青混合料在潮湿地区的要求，证明其有良好的水稳定性。

值得注意的是，该种材料的稳定度和残留稳定度都可达 20KN 左右，强度很高。主要是是由于灌入其中的水泥起了很大的作用，增加了混合料的刚性。从表 5-4-3 中还可看出，该复合材料在 60℃ 水中浸泡 48 小时后的稳定度大于之前的稳定度，分析原因有：灌入沥青混合料中水泥浆的强度不是一尘不变的，在较长一段时间内将仍会缓慢增长；在高温和湿度很大的环境下，水泥缓慢的水化作用大大提高，强度得到较大增长，所以复合材料 48 小时浸水残留稳定度会比浸水 40 分钟的要高。这也可以从另一个角度说明该种材料的水稳定比较好。

另外，在几种水稳定性的试验中都有将成型好的马歇尔试件在水中充分浸泡这么一个过程（冻融劈裂试验甚至还要经过真空饱水），水还可以从试件的底面，四周浸入，而彩色水泥灌浆沥青路面在铺装完毕后，表面空隙完全被水泥所填充，水很难从路表进入到路面内部，这就使路面更有利于抗水侵害。

5.4.3 彩色水泥灌浆沥青混合料低温抗裂性能

1. 试验结果

本研究采用小梁低温弯曲试验，结果见表 5-4-5。

表 5-4-5 低温弯曲试验结果

混合料类型	抗弯拉强度 R_b , MPa	极限弯拉应变 ϵ_B , $\mu\epsilon$	弯曲劲度模量 S_b , MPa	应变能密度, KJ/m^3
彩色水泥灌浆沥青混合料	8.287	1370	6778.8	5.59
AC-13C	10.183	791	12925.8	4.79

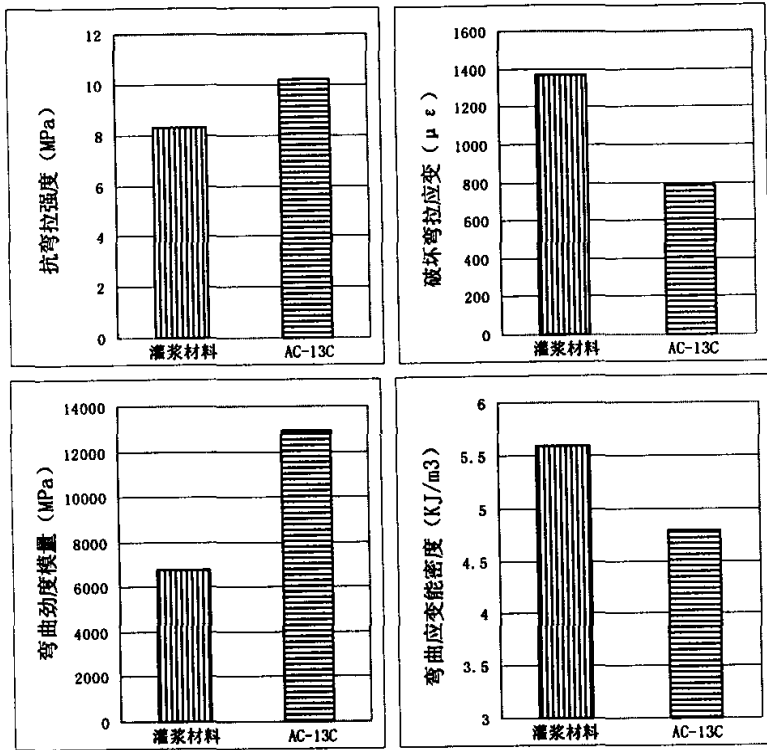


图 5-4-6 两种材料低温弯曲试验比较

2. 试验结果分析

由表 5-4-5 和图 5-4-6 可以看出：

从 -10°C 抗弯拉强度来看，彩色水泥灌浆沥青混合料较 AC-13C 型沥青混合料为小，这说明低温下该复合材料承受荷载作用比 AC-13C 型沥青混合料略小。

从破坏弯拉应变来看，该复合材料的低温破坏弯拉应变要大于该沥青混合料，是其 1.7 倍多，这又说明复合材料破坏时的低温延展性比该沥青混合料强。

该复合材料的弯曲劲度模量比 AC-13C 沥青混合料小得多，差不多为 AC-13C 型的 1/3，劲度模量越大说明脆性越强，低温性能越不好，从这点上可以看出水泥灌浆沥青混合料低温抗裂性好。

从低温应变能来看，彩色水泥灌浆沥青混合料也比沥青混合料大 16.7%，说明在受低温破坏时水泥灌浆沥青混合料比该沥青混合料稍大，低温抗裂性强。

由于沥青材料的温度敏感性较强，使得沥青混合料低温下的抗裂性能要比常温时下降不少，而水泥石的温度敏感性较小，水泥灌浆沥青混合料中由于相当数量的水泥石的存在，使混合料的温度敏感性降低，高低温条件下性能差别小于普通的沥青混合料，所以该水泥灌浆沥青混合料的低温抗裂性不会比该沥青混合料

差,可以得到解释。综合以上分析,认为彩色水泥灌浆沥青混合料的低温性能与普通 AC 型密级配沥青混合料相当。

5.4.4 彩色水泥灌浆沥青混合料疲劳性能

1. 试验结果

不同材料疲劳试验结果如表 5-4-6。

表 5-4-6 15℃不同混合料疲劳试验结果

混合料种类	应力比	应力水平 (MPa)	疲劳寿命 (次)	回归方程
彩色水泥灌浆 沥青混合料	0.2	1.185	36987	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n = 4.1516$ $k = 87837$ $R^2 = 0.9848$
	0.3	1.778	10757	
	0.4	2.370	2433	
	0.5	2.963	853	
AC-13C 普通 沥青混合料	0.2	1.919	14275	$N_f = k (1/\sigma)^n$ $n = 3.3290$ $k = 120634$ $R^2 = 0.9972$
	0.3	2.878	3255	
	0.4	3.837	1468	
	0.5	4.797	646	

2. 试验结果分析

不同混合料的疲劳方程图见下图 5-4-5 所示。

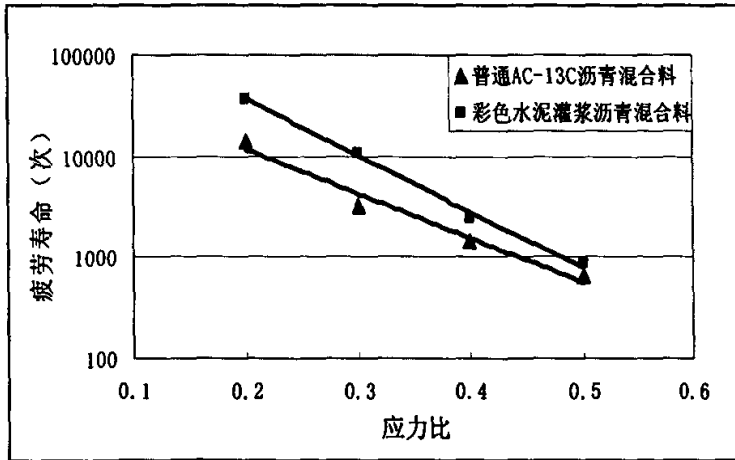


图 5-4-7 两种不同混合料疲劳试验对比

由图 5-4-7 可见,彩色水泥灌浆沥青混合料的疲劳方程曲线位于 AC-13C 沥青混合料的上侧,疲劳曲线越靠上,说明其疲劳性能越好,固该复合材料的疲劳性能要优于普通沥青混合料。

§ 5-5 小结

本章首先研究了彩色水泥灌浆沥青混合的设计方法,包括彩色水泥胶浆的配比和基体沥青混合料的配合比设计,并主要对复合材料进行了高温稳定性、抗水损害、低温抗裂性和疲劳特性的路用性能检验。可以得出以下结论:

1. 彩色水泥灌浆沥青路面具有优良的高温稳定性,在高温地区使用效果良好。

2. 彩色水泥灌浆沥青路面抗水损害性能也较强,适用于多雨潮湿的地区。

3. 低温性能与普通密级配沥青混合料相当,但要用于低温严酷的地区仍需进行研究,以采取一定措施提高其低温性能。

4. 疲劳性能优于 AC 型密级配沥青混合料。

5. 基体沥青混合料的设计要注重其体积特性,即空隙率。空隙率关系到水泥胶浆灌入的多少和能否顺利灌入,从而影响到复合材料的性能。一般来说,母体沥青混合料空隙率越大,水泥胶砂所占比例就会越大,刚性越强,高温性能就越好;空隙率越小,就越偏于柔性,低温性能就越好。

本研究中基体沥青混合料的设计采用一种简便的方法,类似与马歇尔设计法。经过该方法设计的复合材料,路用性能优良,证明了该种设计方法的有效性。值得提出的是,本研究中的基体沥青混合料的密度和稳定度都未有达到国外的指标要求,但经试验验证,其水泥灌浆沥青复合材料仍具有良好的路用性能。指标的范围要求还需进一步的研究。

第六章 彩色路面施工工艺研究

§ 6-1 彩色沥青路面施工工艺研究

彩色沥青混合料的生产工艺与一般沥青混合料的生产工艺基本相同,不同之处是各工艺路线上所加入的材料发生了变化,填料中掺入颜料,骨料变为彩色碎石,结合料变为浅色结合料。

6.1.1 施工前准备

1. 原材料准备

根据建设单位意见,采购原材料,并进行配合比设计。

2. 调试施工设备,使之处于完好状态。

3. 拌合、运料、摊铺、碾压机械的清洗。

在用沥青混合料搅拌站拌合彩色沥青混合料时,需要用柴油彻底清洗沥青供给泵,沥青计量泵到沥青进入搅拌器之间的管道,对于搅拌器可以先用干燥石料拌合,然后用柴油加干料搅拌,直至清洗干净;对于运料的车辆也要对其车厢内能够接触到彩色沥青混合料的所有部位进行彻底清洗;摊铺机可采用热干集料加柴油反复摊铺的方法进行清洗,直至热骨料无黑色痕迹为止;压路机应采用柴油清洗,并在厚纸或麻袋上反复行走,直至没有黑色压痕为止。

6.1.2 施工环节控制

1. 彩色混合料的拌合

彩色混合料的生产,首先应确定配合比例,设定拌和温度和拌和时间。由于彩色结合料是通过化工原理合成的粘结剂,它具有类似沥青的流变特性,但是该种结合料的加热温度一般要低于普通沥青 10°C 左右。矿料加热温度 150°C 左右,拌和温度一般比普通沥青混合料低 10°C 左右,可在 $120\sim 140^{\circ}\text{C}$ 完成,拌和时先将浅色混合料拌好后,再加入颜料,为使色彩均匀拌和时间可适当延长。

2. 彩色混合料的摊铺

调整好熨平板宽度及横坡传感器;加热熨平板到 130°C 左右,摊铺机行驶速度按 $2\sim 6\text{m}/\text{min}$ 控制,并尽量保证施工连续性;边角缺陷处用人工修补。

3. 彩色混合料的碾压

碾压同样分初压、复压和终压三个阶段进行，与一般沥青路面施工相同。图 6-1-2 为彩色沥青路面的施工图。

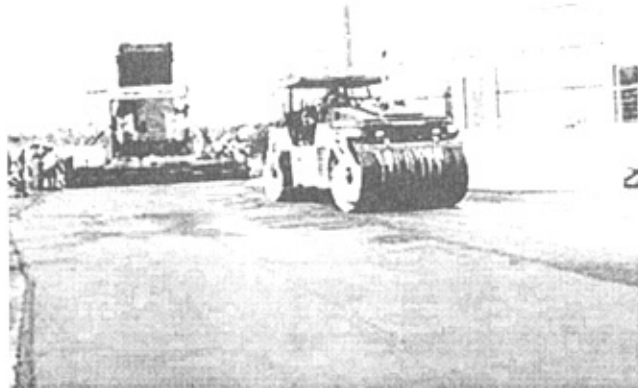


图 6-1-1 彩色沥青路面施工图

6.1.3 彩色混合料摊铺新工艺

为了适应彩色沥青路面的施工，在日本出现了新型的复式沥青摊铺机，它可以同时进行上下层沥青混合料的摊铺，以及不同车道上进行不同沥青混合料摊铺，这对于改善彩色路面铺筑具有重大意义^[11]。

1. 复式沥青摊铺机的原理

复式沥青摊铺机是一种可以同时摊铺两种不同种类沥青混合料的摊铺设备，见下图 6-1-2。

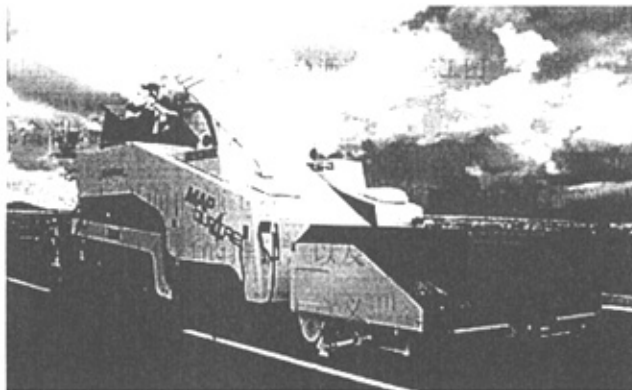


图 6-1-2 复式沥青摊铺机

用复式沥青摊铺机摊铺时的原理如下：

- a. 沥青混合料通过自卸卡车装入受料斗。

b. 摊铺机通过加料器将摊铺在下层的混合料装入下层的装料斗，摊铺在上层的混合料装入上层装料斗。上下层料斗的转换是通过加料器中间的调节板完成的。

c. 下层料斗的混合料通过摊铺机上的供料器运送到下层刮料板前面进行摊铺。

d. 上层料斗的混合料通过摊铺机上供料器运送到上层刮料板前面进行摊铺。

2. 复式沥青摊铺机的主要技术参数

复式沥青摊铺机的主要技术参数见下表 6-1-1 所示。

表 6-1-1 复式沥青摊铺机的主要技术参数

项 目		技术参数
型号名称		MAP 沥青摊铺机
机器输出功率		191KW
摊铺宽度 (m)	上层	油压伸缩 2.5-4.5 附加最大伸长 6.0
	下层	油压伸缩 2.5-4.75 附加最大伸长 6.25
料斗容量	上层	约 13t 沥青混合料
	下层	约 13t 沥青混合料
最大摊铺能力		250t/h
全长 (mm)	作业时	10220
	运输时	9140
全宽 (mm)		2990
全高 (mm)	作业时	3800
	运输时	2700
运行速度	作业时	0-10m/min
	运输时	0-4km/h
最大摊铺厚度	只有一层时	20cm
	同时有两层时	12cm (上层 6cm)

在日本，摊铺具有彩色沥青路面的双层混合料时，典型采用的断面型式见图 6-1-3 所示。

彩色沥青混合料 AC-13	2cm
密级配沥青混合料 AC-13	3cm

图 6-1-3 用双层式沥青路面施工法铺筑彩色路面

下图 6-1-4 为采用复式沥青摊铺机铺设全彩色路面带状彩色路面的示意图。

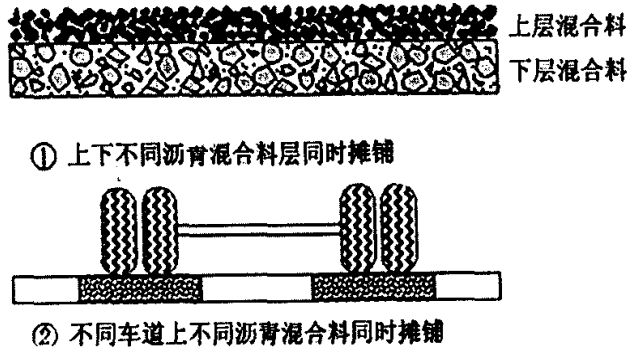


图 6-1-4 采用复式沥青摊铺机铺设的全彩色路面和带状彩色路面

§ 6-2 彩色水泥灌浆沥青路面施工工艺研究

6.2.1 灌浆用水泥浆数量的确定

彩色水泥灌浆沥青路面的水泥胶浆为沥青路面成型后才灌入,为使施工连续并且不造成太大浪费,施工前需估算水泥胶浆的用量。由路面基体沥青混合料的总体积乘以其空隙率即可求得所需水泥浆的数量。例如路面厚度为 5cm,面积为 1 平方米,基体沥青混合料连通空隙率为 24.3%,则水泥胶浆用量为: $0.05 \times 1 \times 0.243 = 0.01215$ (立方/ m^2),再按刚拌好的水泥浆的体积和重量,算出密度为 $1.959g/cm^3$,从而得出水泥胶浆的用量;根据各种材料用量比例和各组成材料质量之和等于水泥浆质量,即可算出各种组成材料的用量,见表 6-2-1。

表 6-2-1 水泥浆及各种材料用量数量表

水泥浆 (kg)	水泥 (kg)	水 (kg)	砂 (kg)	矿粉 (kg)	色粉 (kg)	早强剂 (kg)	减水剂 (kg)
23.802	12.654	6.580	2.531	1.265	0.506	0.253	0.0127

6.2.2 施工工序

施工工序分为以下几个部分:基体沥青混合料铺设—水泥胶浆搅拌—水泥胶浆浸透—表面水泥胶浆刮除整平—养生供用。

1. 基体沥青混合料的铺筑

沥青混合料使用普通摊铺机进行，与普通沥青混凝土路面施工方法相同，但是要严格控制平整度，尽量选用宽幅摊铺设备，以减少接缝痕迹，保证平整度。沥青混合料在摊铺中要严格控制骨架空隙率，一般使用低吨位的双钢轮压路机静压（轮胎式压路机容易使表面空隙堵塞，影响下一步的灌浆；振动压路机易使级料破碎，改变空隙率）。碾压次数可比普通沥青混凝土少一遍，当材料温度降到80℃左右时要进行整平碾压，以消除轮迹。成型后，非施工车辆严禁在路上行驶，在交通完全封闭的情况下冷却，并严格防止砂石、脏物等附着到路面上堵塞表面空隙。

2. 水泥胶浆拌制

水泥胶浆采用移动式拌浆机现场拌和制作，按照“水—矿粉(颜料)—水泥—细砂—外加剂（外加剂投料顺序如有要求应当咨询厂家）”的顺序3min内设放完各种材料，拌和均匀即可。为避免水泥胶浆随时间增长流动度变小，搅拌完毕后要尽快灌浆，各工序之间的衔接要更加迅速、紧凑。

3. 灌浆

当确认铺设的多孔基体沥青混合料已冷却至40℃以下后，将设计用量的水泥胶浆反复在铺装层表面铺洒。为让水泥浆顺利、均匀、快速下渗，水泥浆撒铺后应一边用橡胶板来回耙，如图6-2-1。一边同时借助6-8 t小型振动压路机辅助碾压振动贯入。直至水泥胶浆不再下渗，空隙灌满为止，如图6-2-2。当路面有纵坡时，要从低处向高处撒铺浆料，以防止水泥胶浆快速流动而造成渗透效果不好。碾压时尽量避免水泥浆黏附在碾压轮上。



图6-2-1 洒铺水泥胶浆

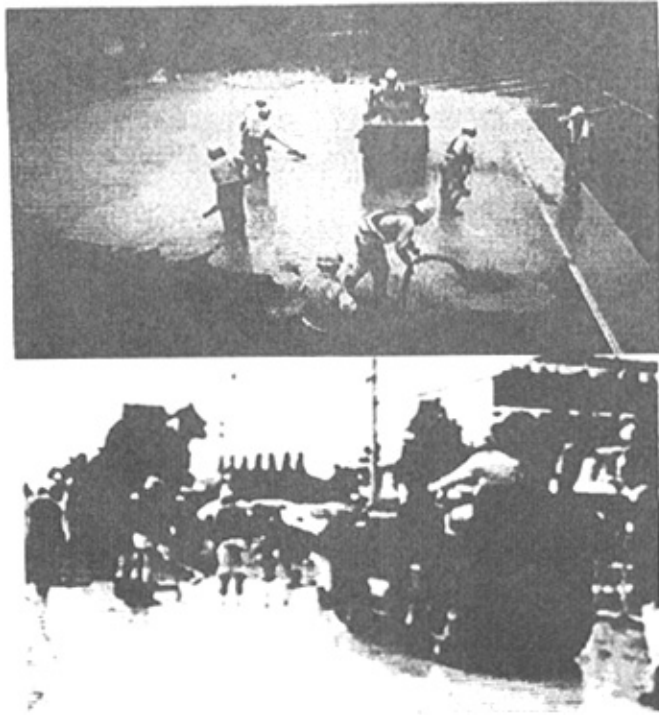


图6-2-2 紧跟振动压路机灌浆

4. 多余胶浆刮除表面整平

渗透完毕后，用橡胶刮板将残余在表面的水泥胶浆刮除、清理干净，以暴露出基体沥青表面的凹凸不平，见下图6-2-3，否则会降低路面的摩擦系数，还可能造成表面多余水泥胶浆硬化成层后收缩开裂。



图6-2-3 路面表面图

5. 养生供用

因为有水泥胶浆的存在，施工完毕后要対路面进行一定时间的养生。养生时间视浆料的性质不同而不同，待浆料硬化后放可开放交通。这种养生时间大都是

根据所使用的水泥种类按经验来确定的。例如，普通型水泥的养生时间一般为3日，早强型的为1日，而超早强型则为3—5小时。但是，也有规定养生时间不能按经验来确定，而是根据该复合混合料耐磨和抗车辙性与水泥抗压强度的关系，以水泥的抗压强度在 50kgf/cm^2 ($1\text{kgf/cm}^2 = 0.098\text{MPa}$)以上的标准来确定路面养生时间的。本次设计的路面在完工养生24 h后即可开放交通。养生期间严格封闭交通，禁止一切人员车辆通行，并注意防止雨水冲刷。

6. 施工注意事项

(1) 在使用振动压路机帮助水泥胶浆渗透时，要控制机械的行驶速度和碾压次数，使胶浆徐徐下渗的同时避免行驶引起浆料四溅。

(2) 因为是彩色路面，在灌浆施工前，要将搅拌、输送、接触彩色水泥胶浆的机具彻底清洗干净，施工人员也要采取一定的措施，使其不要弄污路面。

(3) 在养生24小时通车后，最好在此后一段时间内(7天内)也要对路面进行间隔洒水养护，这样有利于路面内部水泥胶浆强度更好形成，同时减小其收缩。

(4) 橡胶路耙尺寸：形如长方形，长约50cm，高约5cm，为方便工人施工安装长木棒把手。橡胶路耙要硬度适中，既不能太软要能刮除表面多余浆液，又不能太硬要能容易刮出、看见沥青路面。

6.2.3 大规模施工

普通的中小规模的水泥灌浆沥青路面的施工顺序是：基体沥青混合料铺设—水泥胶浆搅拌—水泥胶浆浸透—水泥胶浆整平—养生供用。传统的施工方法是，铺设基体沥青混合料后利用移动式拌浆机在现场搅拌水泥乳浆，人工撒布并摊铺，然后利用振捣板和小型振动压路机将水泥乳浆填充于基体沥青混合料的空隙中，估计适宜的时候，利用橡胶耙清除剩余的水泥胶浆并进行表面整平。但是由于这些作业相当繁杂，大部分施工作业需要很多的劳动力和较高的熟练程度。因此开发合理化技术对水泥灌浆沥青路面施工法来说是非常需要的。

作为一般的倾向，中小规模的合理化施工技术有水泥胶浆的预拌化、水泥胶浆搅拌机的高效化、胶浆摊铺机的开发等。大规模施工时应注意以下问题：

1. 施工合理化的对策

(1) 施工效率的提高。传统的施工方法需要很多劳动力，大规模施工就只得延长作业时间和增加施工队伍来对应，所以确保作业熟练的优质劳动力很重

要。因此，通过作业的机械化、自动化等改善施工效率，以求省力的同时大幅度提高生产效率缩短工期。

(2) 质量的稳定化与提高精度的对策。在要求熟练程度的传统的施工方法方面，大规模施工就会产生个人差别，施工过程中的失败有可能对整平质量和施工质量产生不良影响。因此，为了获得稳定的质量和高精度的施工质量，要确立不产生个人差别的水泥胶浆的搅拌、撒布、浸透、整平技术。

2. 改善的原理

(1) 水泥胶浆的填充原理。水泥胶浆填充到基体沥青混合料空隙中的机理是沥青混合料空隙内的空气与水泥乳浆的置换。促进与空气的置换的机理是“压入”、“吸引”、“振动”等。其中直接使基体沥青混合料振动的方法具有促进水泥胶浆流动加快的特点，根据实验得出高额率的平板状振动装置效果最好，应以此为填充机理。

其次，在水泥胶浆的洒铺过程中如果将水泥胶浆一次就全部洒布在大面积的基体沥青混合料上，水泥胶浆就会成为隔离层，这会妨碍与空隙内空气的置换。因此，仅将水泥胶浆洒铺与施工宽度相当的数量就即可。另外，为了防止路面坡度造成填充的水泥乳浆的流动，应在填充用振动平板的后面设置旋转式橡胶刮板，连续反复耙平流动的胶浆。

(2) 水泥胶浆的回收与表面整平机理。填充水泥胶浆时，由于有剩余的水泥胶浆，填充后应进行剩余胶浆的回收和表面修整。传统做法是工人用橡胶刮板将剩余胶浆刮掉并擦铺在未填充处，但夏季高温时水泥胶浆的凝固反应加快，妨碍了填充。

因此，剩余水泥浆应该在胶浆填充装置通过后立即收集起来。具体做法上可将回收装置与水泥胶浆填充装置一体化，用泵抽回至旋转搅动罐进行一次回收利用，还可以利用移动式回收装置二次回收剩余不净的水泥浆，作为它用，这就减少了材料损失，并大大地节省了劳力。

另外关于面层多余水泥胶浆的铲除、整平，可以采取在钢轮压路机上安装橡胶刮板作为附件的措施进行面层整平的机械化施工，代替传统的人力施工，这样可以提高施工效率及施工质量^[51]。

3. 水泥胶浆填充机械

为了适应该种路面的施工,并根据上述施工分析,本研究初步拟订出一种简单的水泥胶浆洒铺填充机械,见图6-2-4示意图。

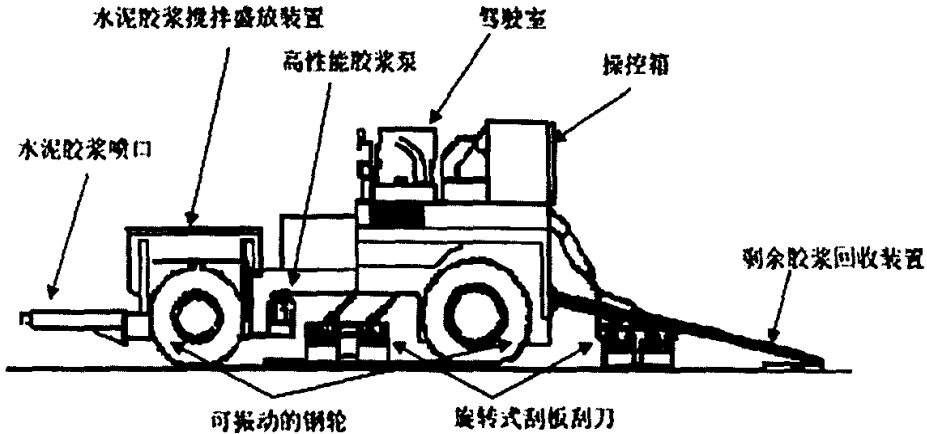


图 6-2-4 水泥胶浆洒铺填充机械

水泥胶浆洒铺填充机械主要部件及功用:

- a. 水泥胶浆搅拌盛放装置, 用来预先盛放并搅拌将要洒铺的水泥胶浆;
- b. 水泥胶浆喷口, 使水泥胶浆从搅拌盛放装置里排出到路面上;
- c. 高性能胶浆泵, 使回收的水泥胶浆泵送到搅拌盛放装置中;
- d. 可振动的钢轮, 产生振动波促进水泥胶浆的下渗, 振动频率可以调整;
- e. 旋转式刮板刮刀, 促进水泥胶浆的下渗并且刮平表面胶浆;
- f. 剩余胶浆回收装置, 通过高性能胶浆泵回收多余的水泥胶浆, 进行二次利用;
- g. 操控箱, 控制以上各种装置的运转。

§ 6-3 小结

彩色沥青路面和彩色水泥灌浆沥青路面在我国是近几年才兴起的两种新型路面结构, 其在我国的应用才刚刚起步。在使用这些材料时, 一定要根据当地的气候、地理、环境、财力等条件, 因地制宜地选择合适的材料, 同时需积极地研究新型的彩色铺装材料及其施工设备。

第七章 结论及进一步研究建议

§ 7-1 主要研究结论

通过以上研究, 可以得出以下结论:

1. 在彩色路面的设计中, 人们往往忽略色彩的设计, 更加注重其路用性能, 其实彩色路面除应具有一般路面的使用功能外, 色彩为其生命力之所在, 固对色彩的设计也应该重视。色彩的设计不仅仅是考虑路面本身的颜色是否鲜亮, 而且更应该考虑彩色路面与周边人文、景观的协调性。

2. 本课题研发了 BSL-A、BSL-B、BSL-C 三种系列的彩色沥青路面用浅色结合料。通过试验证明, BSL-A、BSL-B 型彩色结合料的高温性能大体可与进口优质道路石油沥青相当, BSL-C 型的高温性能远优于进口优质道路石油沥青; 对于低温性能和抗老化性能 BSL 三种系列的彩色沥青要明显优于进口优质道路石油沥青。同时, 通过与国外几种同类产品主要技术指标的对比, BSL 彩色结合料完全达到或超过其指标, 品质优良。

3. 研发的彩色结合料具有颜色浅, 呈透明状, 易着色、施工时气味小、环保以及成本低等特点。

4. 彩色沥青混合料的配合比设计方法与普通热拌沥青混合料基本相同, 但其路用性能可以达到甚至超过优质道路石油沥青混合料技术性能。

5. 彩色水泥灌浆沥青混合料跟彩色沥青混合料一样也可以作为彩色铺面用之良好材料。在色彩方面白色水泥的使用使其容易着色; 由于水泥浆的灌入使其动稳定度一般都在 10000 次以上, 表现出了优异的高温抗变形能力; 该材料抗水损害能力和抗疲劳特性均要优于 AC 型沥青混合料; 其低温抗裂性与普通 AC 型密级配混合料相当。

6. 采用简化方法进行基体沥青混合料的配合比设计。经过路用性能检验, 证明该方法简单、适用。

7. 推荐了彩色路面的施工工艺, 并提出一种简单的水泥胶浆洒铺填充机械。

§ 7-2 进一步研究建议

1. 由于色彩在彩色路面中的重要性，展开对道路色彩美学的研究非常必要。
2. 进行冷拌彩色沥青混合料用彩色结合料的开发。
3. 在环境较差的地方，彩色沥青路面表面易被灰尘污染，因此开展彩色路面色彩保鲜措施的研究也很必要。
4. 研究彩色水泥灌浆沥青混合料中基体沥青混合料和水泥胶砂的胀缩特性，以便使两种材料的变形协调一致。
5. 彩色结合料和彩色水泥灌浆沥青混合料为新型的筑路材料，需及早建立适合于该材料的技术指标、施工和试验规范，以利于其推广应用。

主要参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准. 公路沥青路面施工技术规范 (JTG F40—2004). 人民交通出版社, 2004. 11
- [2] 中华人民共和国行业标准. 公路工程沥青与沥青混合料试验规程 (JTJ052-2000). 人民交通出版社, 2000. 8
- [3] 中华人民共和国行业标准. 公路工程集料试验规程 (JTJ 058—2000). 人民交通出版社, 2000. 4
- [4] 中华人民共和国行业标准. 公路工程水泥混凝土试验规程 (JTJ053—94). 人民交通出版社, 1994. 7
- [5] 罗文媛 赵明耀. 建筑色彩造型的特点与基本图式. 哈尔滨建筑大学学报, 1997, 30 (4)
- [6] 赵明耀 罗文媛. 色彩在建筑造型中的作用. 工业建筑, 1997, 27 (7)
- [7] 郑启颖. 现代工业建筑的色彩构成设计. 工业建筑, 2002, 32 (1)
- [8] 陈丙秋 张肖宁. 道路铺装景观设计. 中国建筑工业出版社, 2005. 6
- [9] 吴培熙. 聚合物共混改性, 中国轻工业出版社, 1996. 1
- [10] 吕伟民 李立寒. 国内外彩色铺面的研究与应用. 上海市政工程. 1998, 第 2 期 P₅₃₋₅₅
- [11] 郝培文 高卓. 彩色铺面技术. 筑路机械与施工机械化, 2004. 9
- [12] 郝培文 袁永长. 彩色结合料的开发与技术性能研究. 公路, 2000. 1, 第 1 期
- [13] 李立寒 吕伟民. 彩色路面用胶结料的研究. 建筑材料学报, 1999, 2 (3) P₂₃₅₋₂₄₀
- [14] 许英明. 彩色沥青混凝土的现状概述. 筑路机械与施工机械化, 2004. 9
- [15] 高明 肖斌 赵晓争 郭庆举 郭进存 廖克俭. 彩色沥青的路用性能. 辽宁石油化工大学学报, 2005, 25 (1)
- [16] 王利泉 谢素琴. 彩色沥青胶结料的研究与应用. 市政技术, 2003, 21 (3)
- [17] 章延凯译. 彩色路面施工法. 日本 62—6024 专利
- [18] David whiteoak. The shell Bitumen Handbook, Shell Bitumen UK, 1991
- [19] 严家级. 道路建筑材料. 人民交通出版社, 1996. 6
- [20] 沈金安. 改性沥青与 SMA 路面. 人民交通出版社, 1999. 7