

# 《钢渣沥青混合料磨耗层技术规范》

## 山东省地方标准编制说明

### (报批稿)

#### 一、工作简况

##### (一) 任务来源 (排序)

本标准的制定源于山东省市场监督管理局《山东省市场监督管理局关于印发<2020 年度地方标准制(修)订计划项目>的通知》(鲁市监标字〔2020〕249 号),《钢渣沥青混合料磨耗层技术规范》列入 2020 年度社会治理和公共服务标准化建设项目第 125 项。

本标准由山东省交通运输厅提出并组织实施,由山东省交通运输标准化技术委员会(TC41)归口。

##### (二) 起草单位、主要起草人及任务分工

###### (1) 起草单位

山东高速股份有限公司、山东省交通科学研究院、山东省交通规划设计院集团有限公司、山东省路桥集团有限公司。

###### (2) 主要起草人

郭建民、闫翔鹏、李玉鑫、韦金城、宋晓辉、张正超、孙承吉、徐钦升、时文成、狄恩州、魏琨、芮照诚、王冲、韩烨、刘杰、孙岳、王玉飞、胡家波、李帅、季正军、段同军、吴文娟、李强、阎肖宇、席兴华、邵珠万、刘吉存、张晓萌、尹韬、张春

茹。

### (3) 任务分工

郭建民：标准起草负责人，组织标准起草工作，把握标准制定技术方向，组织协调标准制定所需资源。

闫翔鹏：标准起草负责人，组织确定标准制定方案，组织推进标准制定程序和进度，组织协调标准制定所需资源。

李玉鑫：组织讨论确定标准框架、编写思路，组织起草组人员讨论确定公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工的技术要素。

韦金城：组织实施标准制定方案，调度起草组成员推进标准制定程序和进度，组织标准审查、报批等工作。

宋晓辉：协助组织讨论确定标准框架、编写思路，协助组织起草组人员讨论确定公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工的技术要素。

张正超：组织起草组人员进行调研、收集素材，组织起草人员编写标准，参与标准编写，整理标准相关技术文档，组织召开标准研讨会，组织征求意见等。

孙承吉：提供标准编写所需的资料、素材，参与标准编写，协助征求意见等。

徐钦升、时文成、狄恩州、魏琨、芮照诚、王冲、韩烨、刘杰、孙岳、王玉飞、胡家波、李帅、季正军、段同军、吴文娟、



李强、阎肖宇、席兴华、邵珠万、刘吉存、张晓萌、尹韬、张春茹：参与标准调研、标准编写、标准讨论，协助整理标准相关技术文档，参与办理征求意见，办理标准研讨会、标准专家审查会等具体事务等。

### （三）起草过程

#### （1）前期准备

标准计划下达后，在山东省交通运输厅标准化秘书处的指导下，于2020年6月初成立了由山东省交通科学研究院牵头、山东高速股份有限公司等单位共同参与标准制定的标准起草组，起草组讨论了工作进度安排、任务分工及标准的初步思路，正式启动标准制定工作。

#### （2）现状调研与实体工程应用经验总结

近年来，随着我国钢铁工业的快速发展，钢渣产量大幅增加。大量钢渣堆存，不仅占用土地资源，还给生态环境带来了较大安全隐患。钢渣具有抗滑耐磨等优点，用其制备沥青路面磨耗层可提升行车安全性和路面耐久性。受地材、气候及施工工艺的影响，各个地方的实际应用情况不尽相同。因此，迫切需要结合山东省地理环境特点和经济发展现状，因地制宜形成了可操作性强、具有指导意义的钢渣沥青混合料磨耗层技术规范。

因此，前期对钢渣沥青混合料磨耗层的铺筑情况进行调研，并收集了设计、施工、质量过程控制、检测结果等详细资料，并

对调研反馈的信息进行了整理、汇总和分析。标准编制单位参与人员拥有多年的高速公路建设与相关课题研究经验，均参与了省内高速公路的路面结构、材料设计和质量控制工作；在省内多条高速公路及国省干线的新建、改扩建、维修、养护中作为路面设计及技术咨询方积极实践，如京台高速济南至泰安段改扩建工程、京台高速德州至齐河段改扩建工程等，同时收集了大量的相关试验数据和技术资料。

### （3）起草标准

起草组基于“高性能钢渣磨耗层设计理论与方法、关键技术及工程应用”课题研究成果，结合钢渣沥青混合料磨耗层技术特点与难点，经过内部多次讨论、相关方调研及专家意见征集等形式，至2023年12月完成了标准草稿的编写工作。山东省交通运输标准化技术委员会在2024年1月17日组织召开了《钢渣沥青混合料磨耗层技术规范》初稿审查会，起草组根据专家意见，进一步明确标准定位及适用范围，修改完善了标准的总体框架，细化了钢渣沥青混合料磨耗层施工的原材料要求与施工控制要点，形成了标准征求意见稿。

### （4）征求意见

2024年3月27日，由山东省交通运输标准化技术委员会发布了《关于征求<钢渣沥青混合料磨耗层技术规范>（征求意见稿）



地方标准意见的通知》，在行业内进行了为期一个月的意见征求。征求意见结束后，起草组共收到回函的专家有 30 家，共计 86 条意见，其中无意见 4 条，不采纳 6 条，其他 76 条意见全部采纳。起草组对意见进行了修改处理，具体修改情况详见山东省地方标准《钢渣沥青混合料磨耗层技术规范》征求意见汇总处理表。起草组在补充相关室内及现场验证性试验后，结合相关征求意见对标准进行了修改完善，形成了标准送审稿。

#### （5）征求意见稿审查

2024 年 4 月 22 日，在山东济南召开了《钢渣沥青混合料磨耗层技术规范》送审稿审查会会议，主编单位山东省交通科学研究院代表编制组重点围绕《规范》送审稿主要内容和征求意见采纳情况进行了汇报。参会领导和专家认真听取了汇报，对《规范》文本主要内容逐条论证、分析，认为《规范》内容完整，技术指标科学合理，可操作性强，与现行标准协调，为钢渣沥青混合料磨耗层道路工程中的应用提供了依据，达到国际先进水平。专家委员会一致同意《规范》送审稿通过审查。并形成审查意见。会后，编制组根据专家意见逐字逐句修改完善了送审稿。

#### （6）送审会

根据《山东省市场监管局关于征印发 2019 年度标准化综合改革暨“山东标准”建设项目计划的通知》（鲁市监标函〔2019〕6 号）

等文件的要求及标准制修订工作安排，经报省交通运输厅同意，于2024年12月31日，在山东济南召开《钢渣沥青混合料磨耗层技术规范（送审稿）》审查会。审查会议纪要如下：1. 标准制定程序规范，标准技术审查资料齐全。标准的结构、编写规则、技术要素等符合GB/T1.1-2020的规定。标准编制说明要素完整、充分；2. 本标准规定了钢渣沥青混合料磨耗层在材料、混合料组成设计、施工、质量检查与验收等关键环节的技术要求，明确了作为磨耗层集料时道路用钢渣稳定性技术指标，标准的实施将进一步提高山东省钢渣沥青混合料应用水平；3. 审查委员会对提交审查会的标准材料进行审查，提出了“增加混合料矿料级配类型”、“核查质量检测与验收抽样要求”等方面的意见。

会后，编制组召开工作会议，经过意见汇总和编制组讨论修改，进一步完善了标准送审稿，形成《钢渣沥青混合料磨耗层技术规范（报批稿）》。

## 二、标准制定的目的和意义

钢渣作为炼钢过程中的副产品，产量占原钢的10%~15%。国际上，欧美、日本等发达国家率先对钢渣进行了研究，目前其利用率高达84.4%~98.4%，其中32.4%~49.7%的钢渣用于道路建设，形成了较为成熟的产业链和质量控制体系。我国钢渣沥青路面则起步较晚，20世纪90年代才开始被研究和应用。受当时钢



渣处理工艺和设备的限制,中国部分钢铁厂早期生产的钢渣集料存在着体积安定性不良、含灰量较大等问题,从而导致早期修建的钢渣沥青路面试验段质量较差。

随着对钢渣研究认识的逐步深入,以及冶炼工艺与无害化处理技术的飞速发展,钢渣集料的品质到了较大提升。同时经过多年来不同钢渣沥青路面实体工程的检验,确认钢渣可以代替部分集料修筑路面。但是由于缺乏完善的设计、施工技术标准规程,钢渣沥青混合料磨耗层在我省的推广应用受到了明显的限制。为进一步推进钢渣沥青混合料磨耗层施工技术的推广应用,亟需一套较为完善的设计、施工技术规程作为设计单位、施工单位在设计施工过程中的指南和依据。

通过制定本标准,可以更好的推广钢渣沥青混合料最新研究成果及成功工程经验,进一步提高山东省内工程项目钢渣沥青混合料应用水平,极大推动我省钢渣沥青混合料磨耗层设计与施工的标准化步伐。

### **三、标准编制原则、主要技术内容和依据**

#### **(一) 标准的编制原则**

标准编制遵循“规范性、先进性、实用性、可操作性”的原则,根据大量室内试验和工程实践,提出钢渣沥青混合料磨耗层设计、施工与质量控制要求,尽可能与其他相关规范、标准相协调,注重标准的可操作性。本标准依据 GB/T1.1《标准化工作导

则 第 1 部分：标准的结构和编写》的要求编写和表述。

## （二）主要技术内容

本标准的名称表述为《钢渣沥青混合料磨耗层技术规范》。标准内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、基本要求、材料、混合料组成设计、施工、质量检查与验收、附录 A 及附录 B。

### 1.范围

#### （1）主要技术内容

对标准包含的主要内容进行了规定，重点突出了本标准对于钢渣沥青混合料磨耗层施工材料、混合料设计、施工、质量管理与检查等关键环节的技术要求。同时，还规定了本标准适用范围是各等级公路新建、改（扩）建和养护工程沥青路面磨耗层的设计与施工，其他道路可参照执行。

#### （2）关键技术指标依据

从我国基本国情出发，改革开放以来，我国经济快速发展，石材资源的开发利用需求增加，开山采石规模不断扩大，不少山体已被肢解，植被破坏、岩石裸露，严重破坏了山体自然景观和生态环境。随着我国生态环境保护工作的不断加强，各地陆续采取了一系列整治措施，关停了一批开山采石企业。根据十四五规划，未来仍将有大量的公路建设任务，对砂石料等筑路材料的需求仍将不断加大未来高质量石料产量不足将给集团公司高速公



路建设及质量带来极大制约。随着交通强国战略及国家综合立体交通网规划纲要的实施,发展长寿命、绿色可持续的路面建造技术逐渐成为共识,如何在保证道路服役性能的同时缓解集料严重短缺的现状及实现废旧材料的循环利用是一项重大技术难题,成为国内外的一个持续的研究热点。

钢渣是非常理想的二次资源,其自身高耐磨、高抗滑的特性可适应长寿命抗滑磨耗层的要求且具有良好的路用性能,钢渣的合理高效利用,对缓解优质集料短缺的困境,保障工程建设具有战略意义。钢渣是炼钢过程的副产品,约占粗钢产量的 15%,钢渣由 Ca、Fe、Si、Mg 和少许 Al 氧化后产生的氧化物,被侵蚀的炉内衬料、炉补材料、金属炉料带入的杂质和石灰石、白云石、铁矿石等造渣填料组成。山东每年钢渣产量近千万吨,长期以来钢渣处理一直是困扰我国炼钢行业的难题。在过去,这种固体废弃物大部分被用作路基回填材料,或长期堆存,利用率一直很低。我国钢渣大部分应用于:公路工程、工程回填料、回炉炼化、生产水泥的材料和其他建材,其中在道路工程中的基层广泛应用,但作为沥青混合料路面磨耗层的潜能未充分挖掘,欧美等发达国家的钢渣使用率已达 100%,约有 50%应用于公路工程,但应用钢渣为经陈化体积膨胀率合格的钢渣,对未陈化钢渣直接应用的案例较少,导致大量钢渣堆积陈化,占用大面积的土地资源,对环境造成一定的压力,解决钢渣高质化应用的问题,不仅可以解

决目前玄武岩紧缺的现状,降低筑路成本,减少天然石料的使用,而且可以推动我国道路工程建设的绿色循环可持续发展,具有巨大的经济和社会效益。

消纳于路用材料是钢渣资源化利用的重要途径之一,钢渣沥青混凝土技术应用研究符合我国钢渣资源化利用的倡导。钢渣作为一种优良的路用材料,其优点已被国内外研究和实践所证实,但目前钢渣类路用材料仍然存在一些问题,如钢渣原材料体积不稳定、钢渣技术指标和适用范围不明确、钢渣集料加工过程中材料利用不充分、钢渣沥青混凝土水损害破坏机理等。因此,迫切需要规范钢渣的物化性能、磨耗层钢渣沥青混合料设计方法,规范钢渣沥青混合技术施工和管理要求,保证钢渣使用过程中面临的问题得到有效解决。

本规程主要内容围绕适用于山东省公路工程沥青路面钢渣沥青混凝土的应用技术这一核心主题,结合对山东省地理环境特点和经济发展现状,因地制宜形成了可操作性强、具有指导意义的路面钢渣沥青混合料磨耗层技术规程。

## 2.规范性引用文件

本标准规范性引用文件为JTG 3432(公路工程集料试验规程)、JTGE20(公路工程沥青及沥青混合料试验规程)、JTGF40(公路沥青路面施工技术规程)、JTGF80/1(公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程)、JT/T 533(沥青路面用纤维)、



YB/T 4188（钢渣中磁性金属铁含量测定方法）、YB/T 4328（钢渣中游离氧化钙含量测定方法）及DB37/T 1722（公路工程高性能沥青混合料施工技术规范）。

### 3.术语和定义

本章节是标准使用者准确理解和实施标准的前提条件。为了便于标准使用者理解,对钢渣沥青混合料磨耗层技术中涉及的“道路用钢渣”、“钢渣沥青混合料”给出了在本标准中的明确定义,有利于对整个标准的理解。

### 4.基本要求

#### 1. (1) 主要技术内容

本章节明确了钢渣沥青路面施工应满足环境质量标准要求;钢渣的选择应尽可能就地取材;钢渣沥青混合料磨耗层采用沥青玛蹄脂碎石混合料;钢渣粗集料的规格粒径和活性要求;钢渣磨耗层沥青混合料浸水膨胀率指标应满足要求。

#### (2) 关键技术指标依据

本标准 4.1 条款规定了道路用钢渣使用时应符合国家有关安全、环保和职业健康的规定,依据来源于 GB/T 25824-2010（道路用钢渣）有关技术要求。

本标准 4.2 条款规定了钢渣的选择应尽可能就地取材。原材料是保证沥青混合料的最基本条件,在钢渣沥青混合料中,矿料占到沥青混合料总重量的 95%左右,集料的料源特性、加工工艺

等直接影响沥青混合料级配设计与混合料性能；同时当前随着砂石资源约束趋紧和环境保护日益增强，国家政策导向支持就地取材，利用开山、道路、隧洞等建设工程产生的砂石料用于工程建设，减少长距离运输外来石料，降本增效，满足建设需要。因此沥青路面使用的集料必须进行详细的调查并进行相关检验，在满足性能要求的前提下，考虑就地取材。

本标准 4.3 条款要求钢渣沥青混合料磨耗层采用沥青玛蹄脂碎石混合料。由沥青玛蹄脂碎石混合料本身的组成特性、性能优势和材料要求所共同决定的。沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)是目前最为广泛使用的沥青面层材料之一。然而，由于玄武岩等优质石料越来越稀缺，SMA 的成本持续居高不下。近年来，钢渣成为一种被广泛关注的可替代集料的新型材料。钢渣具有表面粗糙、坚硬、耐磨等特点，并且与沥青粘附性良好，已经被证明有一定的潜力可以替代天然集料成为沥青混合料集料。然而，钢渣的多孔性会导致沥青用量偏大，传统 AC 类沥青混合料所需沥青用量过多，SMA 中由于沥青玛蹄脂黏度大，易附着于钢渣集料表面封闭孔隙，所用沥青用量增加的比例明显优于 AC 类沥青混合料，因此，应用于 SMA 可充分发挥优势。

本标准 4.4 条款要求钢渣沥青混合料用粗集料粒径尺寸选取明确规定,若用钢渣完全替代沥青混合料中天然集料，则会出现混合料难以压实、孔隙率过大的问题,同时伴随着严重的沥青吸



收效应。因此在钢渣沥青混合料中常采用钢渣与天然集料复配，一种是粗集料钢渣细集料天然石料，即钢渣粗集料大于 4.75 (mm) 与天然细集料小于 2.36 (mm) 复配；另一种是粗集料天然集料细集料钢渣。参考众多国内外文献对比分析发现：在制备沥青混合料时，粗集料选用钢渣细集料选用普通石料比粗集料选用普通石料细集料选用钢渣的沥青用量要低，且由于钢渣细集料的比表面积大，携带有大量粉尘，比钢渣粗集料具有更大的膨胀性隐患，同时携带的大量粉尘会在生产过程时影响设备的正常工作。因此本标准建议宜选用粒径大于等于 4.75 (mm) 的钢渣作为粗集料使用。物料的粉碎是钢铁厂必不可少的一个环节，整个钢铁行业有超过 20 (%) 的电能用于物料的粉碎，这其中破碎机的能量利用效率能达到 10 (%)，而磨机的能量利用效率只有 1 (%)。在全世界能源短缺的形势下，提出的“多碎少磨”这一新工艺流程，即增加细粒级物料在破碎产品中的含量，是目前粉碎领域的发展趋势。而破碎工艺得到的钢渣集料多为粒径大于等于 4.75 (mm) 的钢渣，所以本标准提出采用的粗骨料钢渣为粒径大于等于 4.75 (mm) 的钢渣，在经济性、便捷性上均有优异效果。用于生产集料的钢渣活性技术指标要求，钢渣经过足够长时间的陈化可将体积不稳定性消除。其中对钢渣的稳定性影响最主要的因素包含 f-MgO、f-CaO，其中 f-MgO、f-CaO 分别与水发生反应形成  $\text{Ca(OH)}_2$  和  $\text{Mg(OH)}_2$  将使其分别膨胀 98% 和

148%。钢渣中游离的氧化物会吸水反应发生膨胀，影响混合料质量。f-CaO 在钢渣中主要有 3 种存在形式：成渣过程中未吸收和未反应的 CaO、被吸收却散存在固溶体中的 CaO 和 C<sub>3</sub>S 分解生成的 CaO。依据 YB/T 4328-2012（钢渣中游离氧化钙含量测定方法）采用乙二醇-EDTA 化学滴定法测出钢渣中游离总钙，根据氢氧化钙在高温条件下受热分解成氧化钙和水，采用热重分析法通过测量脱水的质量计算出钢渣中氢氧化钙的含量，二者之差即为钢渣中 f-CaO 的含量。

为保证沥青混合料质量,需要对钢渣游离氧化物的含量规定范围，又因为游离氧化镁含量远低于游离氧化钙，故在现行 JTG F40(公路沥青路面施工技术规范) 中只规定了游离氧化钙的含量。本标准为了更好的控制钢渣沥青混合料路面的质量，减少因吸水膨胀导致的胀裂，结合通过对山东省内代表性钢渣集料检测 f-CaO 含量，试验结果见表 1。将钢渣中游离氧化钙含量规定为不应大于 3%。

**表 1 游离氧化钙含量**

钢渣类型	未陈化钢渣	陈化钢渣	要求
代表性集料 f-CaO (%)	4.20	1.00	≤3

钢渣在公路工程建设中实践，必需对其进行稳定性试验。依据来源于 GB/T 24175-2009（钢渣稳定性试验方法）有关要求。根据 GB/T 50123（公路土工试验规程）中的击实试验要求确定钢渣集料最佳含水率和最大干密度。按照钢渣粒度分布要求每种



钢渣称取 3 份钢渣进行平行试验，每份 7kg，按最佳含水率加水，配制 3 个钢渣试样放在密闭的容器内，在试模内加入垫块铺上滤纸，进行击实成型。

将成型后试模放入恒温水浴箱中，试模应全部浸没于水中。立即读取百分表初读数  $d_0$ ，精确至 0.01mm，水浴加热，恒温水浴箱内温度达到 90℃ 后保持 6h，恒温水浴箱停止加热，自然冷却。然后按照第一日步骤进行，持续 10d。10d 后读取百分表终读数  $d_{10}$ 。

浸水膨胀率按下式计算：

$$\gamma = \frac{d_{10} - d_0}{120} \times 100 \quad (1)$$

式中：

$\gamma$ -浸水膨胀率，%；

120-试件原始高度，单位为毫米（mm）；

$d_{10}$ -百分表的终读数，单位为毫米（mm）；

$d_0$ -百分表的初读数，单位为毫米（mm）。

表 2 钢渣试样的累计膨胀率

时间（d）	钢渣试样的累计膨胀率（%）	
	未陈化钢渣	陈化钢渣
1	0.83	0.38
2	1.25	0.66

3	1.83	0.88
4	2.33	1.00
5	3.25	1.18
6	3.58	1.35
7	3.83	1.44
8	4.00	1.48
9	4.17	1.50
10	4.25	1.52

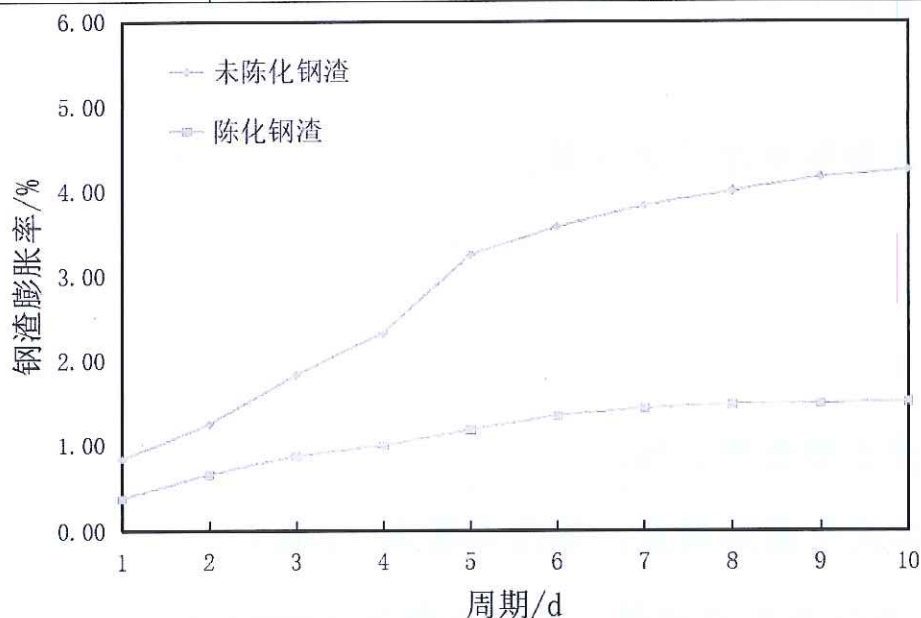


图 1 钢渣试样膨胀率

依据 YB/T 4328-2012 对钢渣集料浸水膨胀率 1.8% 的要求，结合室内试验，随着浸泡时间延长而不断增加，未陈化钢渣浸水膨胀率为 4.25%，不满足要求，经过陈化钢渣的体积膨胀率终为 1.52%，说明钢渣经过陈化可将体积不稳定性消除。

依据 YB/T 4328-2012，结合代表性钢渣集料室内试验数据，



见表 3，对钢渣金属铁含量指标要求。

表 3 部分钢渣金属铁含量试验结果

A	B	C
1.8	1.2	1.6

## 5.材料

### (1) 主要技术内容

本章节明确了钢渣沥青混合料磨耗层用沥青胶结料、集料、填料、纤维稳定剂的技术要求，对于钢渣粗集料规定了其规格、技术要求、与沥青黏附性、磨光值等指标和加工质量控制要点，对于细集料、填料和纤维稳定剂规定了其技术指标要求。

### (2) 关键技术指标依据

本标准 5.1.1 在沥青路面建设中，有些公路路面出现早期破坏，材料问题是重要原因。因此各种材料运至现场后应随机选取具有足够数量的样本进行材料试验，经评定合格后方可使用，不得以供应商提供的检测报告或商检报告代替现场检测，按规范取样检验，应以试验检测结果为依据，严格控制原材料质量，防止不符合要求的材料进场。沥青路面所有集料规格一般为 3~5 档，每一规格集料材料的变化或规格的变异都会对沥青混合料质量产生一定影响，因此在工程建设中，原材料考察选定后不宜更换厂家，当确需更换时，必须重新进行原材料考察，并重新进行原材料检测和配合比设计。

本标准 5.2.1 规定了钢渣粗集料宜采用二级或三级破碎工

艺,第一级宜采用辊式破碎机,第二级及第三级破碎宜采用反击式破碎工艺生产。钢渣原材料交普通天然石料的原石体积小、硬度大、抗压强度高的特点,而颚式破碎机用于破碎体积大、硬度小的石料,在使用过程中也存在诸如衬板易磨损,产量不高,产品粒度大且不均匀,难以满足下道工序粒度要求等问题。辊式破碎机广泛应用于矿山、冶金等领域,具有轻便易维护、外形尺寸小、排料方便等诸多优点。经辊压破碎后的钢渣粒径均应小于300mm,排除钢渣原材中大部分软弱颗粒,但也可能出现较大块钢渣未有效破碎的现象。反击式破碎机具有投资少、能耗低、运行成本低且生产流程简单的优点,并能够满足出料粒度合理的要求,为此,第二级破碎宜采用反击式破碎工艺生产。如若需第三级破碎,采用棒磨机进行破碎处理,该工艺可以将已经破碎后的钢渣集料进行棱角打磨整形,工程要求较高时采用此第三级破碎。

本标准 5.2.2 规定了钢渣粗集料的粒径规格,参照 JTG F40 执行。通过近年钢渣沥青混合料工程应用实践,发现钢渣粗集料规格对混合料的体积指标和性能指标影响很大,因此在本标准给出钢渣粗集料具体规格要求。

本标准 5.2.3 规定了钢渣粗集料的材料技术要求,钢渣形成的温度高、时间短,钢渣中会有游离氧化钙和游离氧化镁等活性物质,遇水水化反应生成氢氧化钙和氢氧化镁等,从而会使钢渣



体积增大。因此未经稳定性处理的钢渣应用于道路建设中时，由于钢渣的浸水膨胀性，就会造成路面随机开裂。因此宜选用性能稳定的钢渣，避免上述问题。

钢渣集料的针片状颗粒含量过多不仅会大大削弱集料间的嵌挤作用，影响沥青混合料的路用性能，所以针片状含量应被严格控制。同时为控制钢渣沥青混合料质量，经过大量的室内外试验验证、工程应用与文献调研，综合考虑经济性和适用性，确定上述钢渣集料物理力学性能指标。

表 4 钢渣针片状颗粒含量试验结果

A			B			C		
10~15	5~10	0~3	10~15	5~10	0~3	10~15	5~10	0~3
1.5	0.5	—	3.5	1.3	—	9.2	5.6	—

与玄武岩、石灰岩相对比，钢渣含有丰富的金属化合物成分，使得钢渣密度远大于玄武岩、石灰岩。同时，热焖钢渣在热焖池中会持续的喷淋水，温度降低，钢渣逐渐变成固态分离，水蒸气的压力在钢渣表面和里面留下孔隙，导致钢渣吸水率高。因此，密度和吸水率是钢渣与玄武岩、石灰岩等石料的两大差别。密度和吸水率是集料的综合指标，对钢渣通过网篮法试验对其密度和吸水率进行检测，钢渣密度比其高 15~20%，钢渣的密度大，是由钢渣特殊材料特性决定的，其主要成分是由金属氧化物所组成，其表面附着一层致密的粉尘，从而增加了吸水率，所以钢渣集料应控制表观相对密度及吸水率两项指标。

表 5 部分钢厂钢渣的表观相对密度

厂别		钢渣类别	表观相对密度
AG		转炉渣	3.55
TG		电炉渣	3.83
TT		转炉渣	3.68
BT		转炉渣	3.45
TG 第一炼钢厂		电炉渣	3.63
TG 第二炼钢厂		转炉渣	3.62
TG 第二炼钢厂		转炉渣	3.19
TG 第三炼钢厂		电炉渣	3.35
LG		转炉渣	3.65
WG	新渣	转炉渣	3.44
	陈放一月渣	转炉渣	3.28
	陈放四月渣	转炉渣	3.36
	陈放六月渣	转炉渣	3.12
	陈放两年渣	转炉渣	3.16
MG	新渣	转炉渣	3.25
	陈放一月渣	转炉渣	3.3
	陈放三月渣	转炉渣	3.15
	陈放两年渣	转炉渣	3.05
CG		转炉渣	3.72

表 6 部分钢渣吸水率试验结果

A	B	C
2.8	2.0	2.1

沥青混合料路面在长期服役过程中,道路上面层逐渐被轮胎磨耗,还受到行车荷载的反复作用,使沥青混合料处于嵌挤状态。若粗集料的抗压能力弱,会使沥青混合料骨架嵌挤结构在行车荷载作用下产生车辙、坑槽等损害。所以将钢渣过 9.5mm~13.2mm 的标准筛,各取 9.5mm~13.2mm 筛间集料 3 组各 3000g 于烘箱中烘干 4 小时,设置温度 100℃;将集料分 3 次装入试验筒中,每次均插捣 25 次,再将试样装入压模中,装有试样的压模放在



压力机的操作平台，开动压力机，控制压力 10min 内总荷载达到 400KN，维稳 5s 后卸压，倒出压模中的集料，用 2.36mm 标准筛进行筛分，称取过 2.36 mm 标准筛下的细料称重，计算，每种集料进行三次平行试验。由于钢渣质地坚硬，在标准试验条件下（400KN）和 10 分钟内荷载匀速加到 600KN 试验条件下。部分钢厂钢渣的压碎值指标见表 7。从表中可以看出，大部分钢渣的压碎值指标均低于 20%，可用于磨耗层沥青混凝土。

表 7 部分钢厂钢渣的压碎值指标

厂别		钢渣种类	压碎值指标 (%)
SG		转炉渣	19
SHWY		转炉渣	21.2
BG		电炉氧化渣	19.2
TG 第二炼钢厂		转炉渣	16
TG 第三炼钢厂		转炉渣	12.2
TG 第一炼钢厂		电炉渣	18.7
AG		电炉渣	29.6
LG		转炉渣	6.8
TG		转炉渣	20
BG		转炉渣	19.3
CG 风淬粒化钢渣		转炉渣	28.4
WG	新渣	转炉渣	65
	陈放一月渣	转炉渣	20.5
	陈放四月渣	转炉渣	19.6
	陈放六月渣	转炉渣	21.2
	陈放两年渣	转炉渣	19.3
MG	新渣	转炉渣	20.6
	陈放一月渣	转炉渣	21.4
	陈放三月渣	转炉渣	21.6
	陈放两年渣	转炉渣	16.5
AG	新渣	转炉渣	15.2
	一月渣	转炉渣	22.4
	三月渣	转炉渣	22.7

	两年渣	转炉渣	16.9
--	-----	-----	------

使用洛杉矶磨耗值来代表抗滑磨耗层中粗集料抗摩擦和抵抗冲击变形的能力。采用洛杉矶磨耗试验对钢渣等集料进行磨耗试验，根据集料粒径选择 C 类粒度。首先在洛杉矶磨耗机中放入试样 5000g 和 8 颗钢球（总重量 3330g），将圆筒盖封闭，启动磨耗机旋转 500 次。将试验后集料通过 1.7mm 方孔筛筛分，将筛上集料称重，每组集料进行两次平行试验，需不大于 22% 方可。

表 8 部分钢厂钢渣的洛杉矶磨耗损失

钢厂	洛杉矶磨耗损失/%
BG	19.7
WG1#	13.2
WG2#	14.6

钢渣可否作为粗集料在沥青路面磨耗层中应用，必需检测其磨光值。用高磨光值的集料铺筑高速公路的抗滑磨耗层，可以明显提升高速公路路面的抗滑效果，保障车辆的安全行驶。钢渣集料磨光值高是因为钢渣不仅表面多孔增大了摩擦，而且经过摩擦后的集料内部孔隙展现进而增加了摩擦，磨光值应不小于 45。

表 9 部分钢厂钢渣的磨光值试验结果

A	B	C
51	48	50

在路面的服役过程中，因为水造成沥青与集料剥离导致的路面损坏非常常见，减少水损坏的方式之一就是增大集料和沥青之间的粘结效果，从而提升路面的使用寿命。依据 JTG E20 中沥青



与粗集料的黏附试验方法，用以检测钢渣集料抵抗水损坏的能力。将钢渣等通过 13.2mm~19mm 的标准筛筛分，随机选择 13.2mm 筛上的钢渣集料 5 个，清洗干净并置于烘箱中烘干。将 SBS 改性沥青置于烘箱中加热至流动状，将钢渣集料试样浸入沥青，使钢渣表面全部附着沥青。水沸腾后，将钢渣试样置于水中，在沸腾状态下浸煮 3min、10min。浸煮结束后，观察钢渣表面沥青的脱落程度，需要满足钢渣评价等级为 5 级，不能出现沥青剥离的现象。

## 6. 混合料组成设计

### (1) 主要技术内容

本章节明确了钢渣沥青混合料关键技术要求。混合料组成设计应包括钢渣粗集料最大掺量确定、级配设计和配合比设计。

### (2) 关键技术指标依据

本标准 6.1 条款明确了钢渣沥青混合料配合比设计包括：原材料检测、钢渣粗集料最大掺量确定、级配设计、最佳沥青用量设计、性能验证、混合料试件稳定性检测六个步骤，本标准的钢渣沥青混合料磨耗层采用集料钢渣细集料石灰岩的复配方式，钢渣的密度比天然集料高出 15%~20%，配合比如果采用质量比的方法，就会造成合成级配与目标级配之间产生较大误差。因此矿料级配采用体积比。配合比设计是一个完整的整体，通过实践证明是十分重要的，必须通过设计找到一个平衡点，使得材料、性

能等各方面都合适，然后得出一个标准的配合比。目标配合比用工程实际使用的材料计算各种材料的用量比例，确定最佳沥青用量，进行前期配合比试验，指导生产配合比设计；生产配合比设计根据目标配合比比例调整冷料仓转速，使其达到供料平衡，从热料仓中取料进行筛分，以确定各热料仓的材料比例，取目标配合比设计的最佳沥青用量，调试三个级配进行旋转压实试验，确定最佳级配；然后按最佳沥青用量及 $\pm 0.3\%$ 三个沥青用量进行马歇尔试验，确定生产配合比的最佳沥青用量；生产配合比验证用拌和机采用生产配合比进行试拌、铺筑试验段，并用拌和的沥青混合料及路上钻取的芯样进行体积指标检验，由此确定生产用的标准配合比。标准配合比应作为生产上控制的依据和质量检验的标准。

本标准 6.2.2 条款明确了钢渣粗集料应分档确定替代粒径范围，用量以 20% 为间隔进行混合集料浸水膨胀试验，并根据试验结果采用插值法确定钢渣粗集料的最大掺量。集合室内试验结果，实际以 20% 为间隔进行试验可以更高效、代表性和适用性更强。

表 10 不同钢渣替代量浸水膨胀率结果

替代量	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
浸水膨胀率 (%)	0.251	0.262	0.49	0.52	1.04	1.59	2.46	3.61	4.72	4.90	5.3

本标准 6.2.3 规定了掺钢渣粗集料的混合集料的浸水膨胀率



不大于 1.5%，钢渣沥青混合料在遇水时会产生体积膨胀，这会导致其体积稳定性降低。如果浸水膨胀率过大，会严重影响其路用性能，特别是水稳定性，可能会引发路面破损、变形等问题。根据 JTGF40 规定，沥青混合料的膨胀率应小于 1.5%，以满足技术要求。钢渣中的某些成分，如 f-CaO，遇水会发生水化反应，引发膨胀。如果钢渣沥青混合料的浸水膨胀率过大，可能是由于钢渣中的这些活性成分含量过高，或者处理不当导致的。因此，为了保证钢渣沥青混合料的性能和应用效果，需要控制其浸水膨胀率在合适的范围，结合下表实测数据可以看出，浸水膨胀率超过 1.5%后，混合料水稳定性指标不能满足要求。

表 11 冻融劈裂试验结果

浸水膨胀率 (%)	1.0	1.2	1.5	1.6	1.8	2.0
TSR	85.61%	85.16%	80.09%	79.46%	78.41%	79.02%

本标准 6.3.1 条款对钢渣磨耗层沥青混合料的级配设计进行规定，参照 JTGF40 执行，根据近年来省内钢渣沥青混合料应用实践来看，钢渣沥青混合料级配范围应与公路等级、工程性质、气候条件、交通条件、材料品种等因素相匹配，通过对条件大体相当的工程使用情况进行调查研究后调整确定，必要时允许超出规程级配范围；矿料级配曲线按“公路工程沥青及钢渣沥青混凝土试验规程”T 0725 的方法绘制。以原点与通过集料最大粒径 100%的点的连线作为钢渣沥青混凝土的最大密度线；调整工程设计级配范围宜遵循下列原则：采用合适的钢渣沥青混凝土级配

范围，为确保高温抗车辙能力，同时兼顾低温抗裂性能的需要，配合比设计时宜适当增加公称最大粒径附近的粗集料用量，减少 0.6mm 以下部分细粉的用量，使细集料较少，形成中粗集料偏多型级配曲线，并取中等水平的设计空隙率；确定各层的工程设计级配范围时应考虑不同层位的功能需要，经组合设计的沥青路面应能满足耐久、稳定、密水、抗滑等要求；根据公路等级和施工设备的控制水平，确定的工程级配范围应比规程级配范围窄，其中 4.75mm 通过率的上下限差值宜小于 8%；钢渣沥青混凝土的配合比设计应充分考虑施工性能，使钢渣沥青混凝土容易摊铺和压实，避免造成严重的离析。

本标准 6.3.2 条款明确了在矿料级配设计中各档矿料配合比应采用体积比，在试验及生产中应换算成质量比。对钢渣磨耗层沥青混合料的级配设计进行规定，在进行沥青混合料配合比设计时，常用的级配设计原理为粒子干涉理论、最大密度曲线理论，这两种理论适用于集料之间的密度一致或相差不大时，通过质量比即可得到各档集料的体积比。钢渣的表观相对密度约为石灰岩碎石表观相对密度的 1.32 倍，若按质量比进行配合比设计，便会导致实际合成级配曲线与目标级配曲线的偏离，偏差会随钢渣与石灰岩集料的密度差值增大而增大，因此常用的级配设计理论并不能完全适用于密度相差较大的钢渣与石灰岩，因此依据 JT/T 1086-2016（沥青混合料用钢渣）中的方法，钢渣的掺配方式应



以体积法进行掺配以匹配目标级配。首先将质量比视为体积比，然后通过两者的密度差值进行体积与质量的修正，这就是体积法替换，具体换算方法如下：

$$P_{vi} = P_i a_i f_i \quad (2)$$

$$M = \sum_{i=1}^{i=n} P_i a_i f_i \quad (3)$$

$$P_{mi} = \frac{P_i a_i f_i}{M} \quad (4)$$

式中：  $P_{vi}$  - 集料体积百分比， %；

$P_i$  - 集料设计配合比， %；

$a_i$  - 集料毛体积相对密度；

$f_i$  - 设计体积占比， %；

$P_{mi}$  - 集料质量占比， %；

按照钢渣粗集料、石灰岩粗集料、石灰岩机制砂、矿粉的密度相差不大进行配合比设计，将质量百分比视为体积百分比  $P_{vi}$ 。钢渣粗集料与石灰岩粗集料、石灰岩机制砂、矿粉的实际密度进行修正，保证各种集料体积百分比  $P_{vi}$  不变，从而求得钢渣粗集料与石灰岩粗集料、石灰岩机制砂、矿粉的实际质量比  $P_{mi}$ 。

本标准 6.4.1 条款规定了钢渣沥青混合料配合比检验技术要求，钢渣沥青混合料做为沥青混合料的一种，其技术要求必须符合现行国家及行业标准的要求，随着现行行业设计标准对沥青混合料性能的优化，本标准也同步进行了优化。目前混合料设计方

法与路用性能尚不能建立直接的联系,设计的结果是使各种性能得到一种平衡,为保证钢渣磨耗层沥青混合料适用范围更广,本次依据 JTG F40 (公路沥青路面施工技术规程) 中并统计我国现行国家、行业标准及地方标准中对钢渣沥青混合料的技术要求,结合室内试验数据验证,见图 2~图 5,提出了动稳定度不小于 4000 次/mm、劈裂强度比不小于 80%、低温破坏应变不小于  $2800 \mu \varepsilon$ 、汉堡轮辙 20000 次  $\leq 5\text{mm}$  的技术要求。

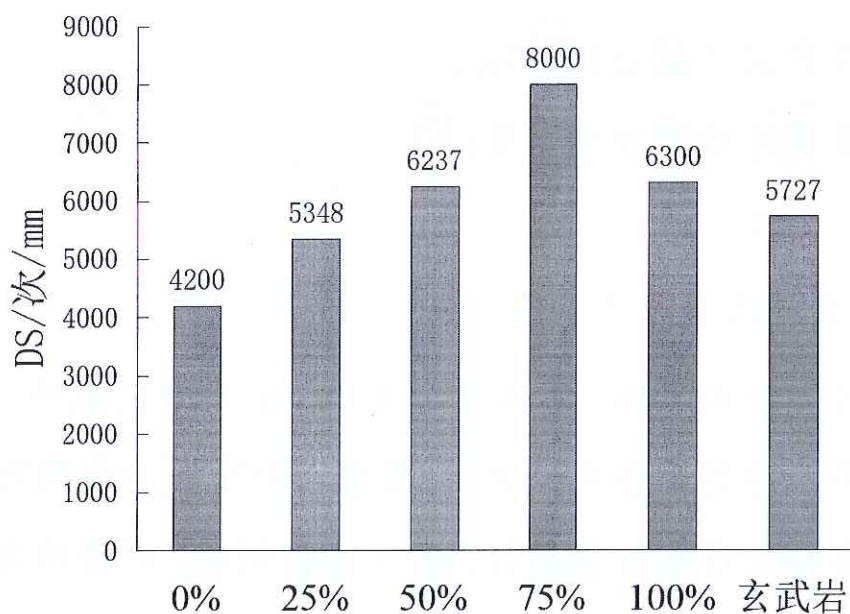


图 2 不同钢渣掺量钢渣磨耗层沥青混合料车辙试验结果



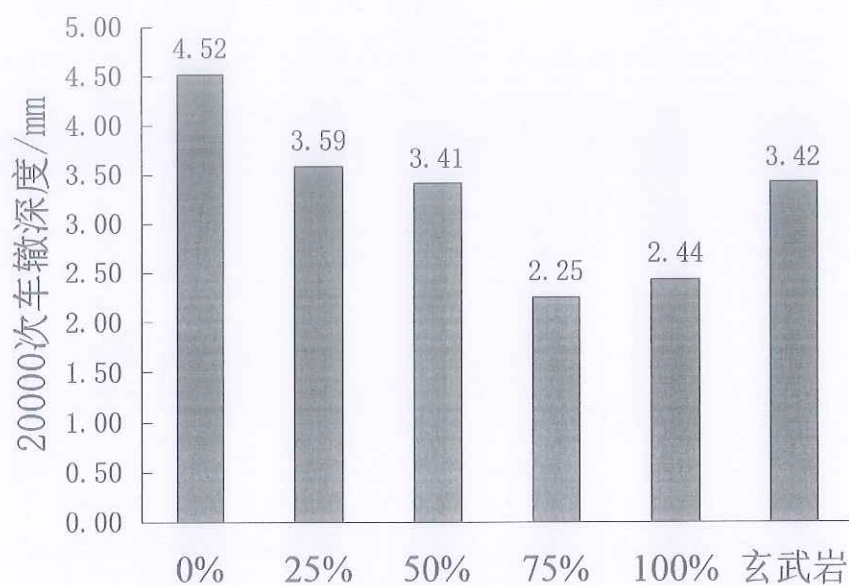


图3 不同类型钢渣磨耗层沥青混合料汉堡轮辙试验图

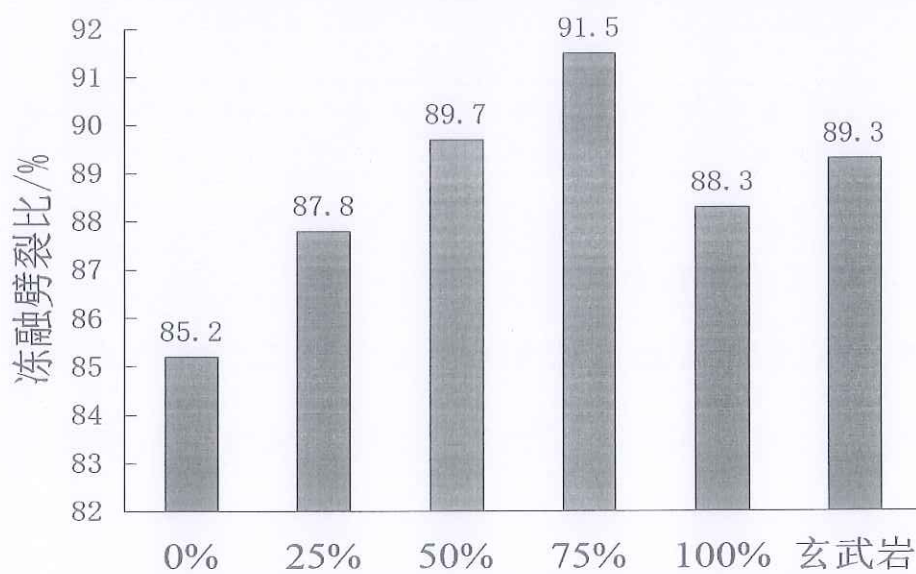


图4 不同钢渣掺量钢渣磨耗层沥青混合料冻融劈裂比

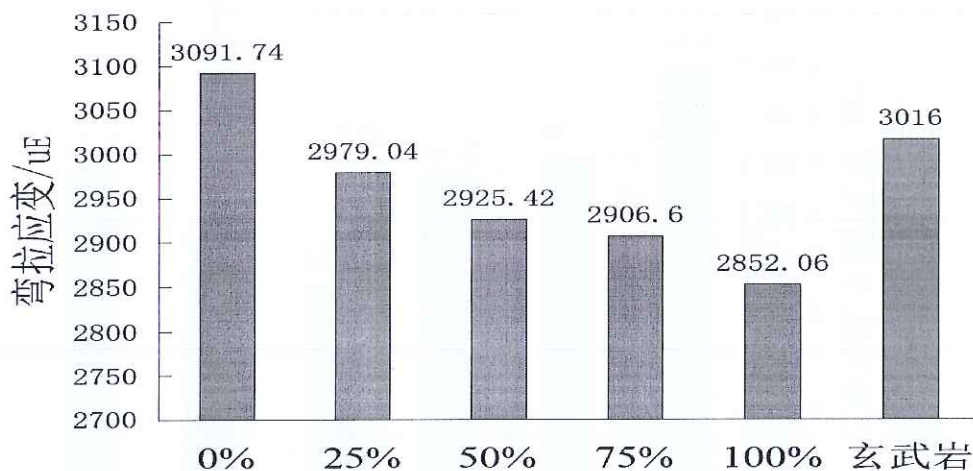


图 5 不同钢渣掺量钢渣磨耗层沥青混合料最大弯拉应变

## 7. 施工

### (1) 主要技术内容

本章节明确了钢渣沥青混合料拌合、运输、摊铺、碾压相关要求。

### (2) 关键技术指标依据

本节规定了钢渣沥青混合料施工前应满足的技术要求，应配备足够的施工机械和配件，拌和、运输、摊铺、碾压设备能力相配套，施工前应做好保养、调试、试机工作，以确保在施工期间一般不发生影响施工质量及进度的故障。

钢渣沥青混合料施工温度要求，温度是沥青混合料的重要参数，必须重视，根据山东省近几年沥青路面施工作业要求，根据 PG 等级给出施工温度参考范围，并根据实际情况确定使用高值或低值。当表中温度与实际情况不符时，应作适当调整。

钢渣沥青混合料拌合要求，国际上通用间歇式和连续式两类



拌和设备，但间歇式拌和机更适合我国目前国情。这主要是因为我国目前使用的材料品种较杂、变异性大，而且多数是小料场，材料规格不合理等因素。同时随着拌和机设备的革新，技术越来越成熟，要求拌和设备应配备有自动温度控制系统和精确的称量系统。实际生产效率不得大于拌合站额定最大生产效率的 50%、钢渣沥青混合料拌合时间和异常状态混合料不允许出厂。

钢渣沥青混合料运输要求，沥青拌和机运输过程中应采取保温措施，同时从各个环节进行保证，减少混合料的温度离析。沥青混合料在装料过程中，应尽可能降低放料口与车厢底板的距离，并且根据车辆大小采用前、后、中三次装料法或前、后、中、前、后五次装料法。尽量避免混合料装料产生离析。

钢渣沥青混合料摊铺要求，混合料的摊铺宜采用抗离析摊铺机进行摊铺，摊铺速度根据现场碾压能力来确定，同时兼顾拌和站的生产能力，在两者之间取得平衡。同时根据当前摊铺设备的更新换代和施工工艺的优化提出的新的摊铺要求。

钢渣沥青混合料碾压要求，压实是一个非常重要的问题，压实度的高低直接影响到沥青路面的使用寿命和早期损害的可能性，应针对不同混合料制定不同的压实工艺。高性能沥青混合料是一种粗骨料骨架结构，施工时既要保证粗骨料的骨架结构又要防止由于过碾而导致骨架棱角的破坏，在施工过程中要保证压路机的数量，严格控制压实温度和压实遍数，需要在较高温度时充

分振动压实，这是得到理想空隙率的保证。本次给出推荐的两种施工碾压工艺，但并不局限于此种工艺，当有数据表明或经试验段验证采用其它压实工艺也能很好满足要求时，也可以采用经验证的工艺。水平震荡压路机其能量是沿着水平方向在某一层面内传播的，在表面层某一深度范围内的压实效果明显优于振动压实，但在深度方向的压实效果不如振动压路机，因此在钢渣沥青混合料磨耗层铺筑时，建议其中至少一台压路机为震荡压路机。

## 8. 质量检查与验收

### (1) 主要技术内容

本章节主要对钢渣沥青混合料磨耗层施工质量控制与验收标准、施工过程检测技术要求进行了规定。施工质量标准与控制依据来源于《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）有关技术要求，质量验收应依据《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1）有关技术要求执行。

### (2) 关键技术指标依据

本标准 8.1 条款为基本要求，施工质量管理的“过程控制”及“动态质量管理”十分重视，它是在连续的生产线上及时发现不合格的工序和单元，防止它流入下一个工序和单元，这样可以保证最后的产品是合格的。“过程控制”首选是工艺控制，即所采用的施工工艺不至产生不合格的产品。同时需要提供一种可靠的施工过程中的检测方式，以降低不合格产品的风险。质量管理



各个工艺流程均应建立可量化、可操作、可验证的控制指标体系。核心的质量评价指标宜按概率统计的原理,确定具有一定保证率或可靠度的评定指标体系。

本标准 8.3 条款对钢渣沥青混合料磨耗层的质量验收进行规定,施工过程的质量是否满足规范的要求,是质量控制的关键。沥青路面铺筑过程中必须随时对铺筑质量进行评定,依据 JTG F80/1, 质量检查的内容、频度、允许差应符合本标准的规定。

## 9.附录 A

附录 A 主要对沥青浸渍法的适用范围与具体操作步骤进行了规定。

集料对沥青的吸附作用主要分为物理吸附和化学吸附。物理吸附主要和集料的表面形态有关,钢渣表面粗糙,孔隙结构相较于石灰岩更为丰富,具有孔隙体积大、孔隙率高的特点,在沥青和钢渣高温拌合的过程中,由于沥青的高温流动性和毛细张力的作用下,沥青将更多的渗透到钢渣孔隙中去;化学吸附主要是依靠沥青中的羧酸、酸酐等极性官能团与碱性集料的钢渣发生的化学反应,形成新的化学键,增强钢渣与沥青界面间的作用力。得益于钢渣的结构特征和组成特点,钢渣与沥青有着更好的吸附作用,黏附性能要好于石灰岩等其他碱性集料。此外,被钢渣吸入到内部的沥青可以被认为成为了“结构沥青”,这种“结构沥青”的存在能够提高混合料的强度,于此同时,这部分“结构沥青”

将不再在集料间起到粘结作用。在沥青混合的实际道路应用中，集料对沥青的吸附作用是一个持续而缓慢的过程，随着时间的变化，混合料中的沥青将会被逐渐吸收至钢渣孔隙中去并最终达到饱和，这一过程将会导致沥青含量的减少，造成集料的剥落、老化开裂等现象的出现，影响混合料的使用寿命。针对于钢渣的多孔隙的特点，以及在长期使用过程中沥青会被集料逐渐吸收成“结构沥青”这一特点，采用沥青浸渍法测定理论最大相对密度，可保证钢渣沥青混合料设计的准确性。

#### 10.附录 B

附录 B 主要对钢渣沥青混合料体积稳定性测试方法的材料器具与具体操作步骤进行了规定。

### 四、与现行相关法律、行政法规和其他标准的关系

本标准与现行的法律、法规无冲突和违背。

本标准在制定的过程中，重点参考或引用了本标准规范性引用文件为 JTG 3432（公路工程集料试验规程）、JTG E20（公路工程沥青及沥青混合料试验规程）、JTG F40（公路沥青路面施工技术规范）、JTG F80/1（公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程）、JT/T 533（沥青路面用纤维）、YB/T 4188（钢渣中磁性金属铁含量测定方法）、YB/T 4328（钢渣中游离氧化钙含量测定方法）及 DB37/T 1722-2024（公路工程高性能沥青混合料施工技术规范）等行业、地方标准规范。一些关键指标严于行



业标准，适合我省的实情，与现行行业等标准有较好的协调性。

目前国内外存在钢渣沥青混合料相关的法律、法规和标准，与 JC/T 2735（钢渣沥青混合料）相比，本标准聚焦于基于水、热、力等不利影响因素下采用部分钢渣粗集料代替传统石料铺筑磨耗层这一工程场景，细化了材料、混合料组成设计、施工、质量管理与检查等关键环节技术要求，明确了作为磨耗层集料时道路用钢渣稳定性技术指标，提出了磨耗层钢渣沥青混合料配合比设计方法，可为实际施工提供更加具体的技术指导。

## 五、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

本标准无重大分歧意见。

## 六、对地方标准自发布日期至实施日期之间的过渡期（以下简称“过渡期”）的建议及理由

建议过渡期是 1 个月。

各类工程建设相关是标准实施的主体，为确保其准确理解、掌握和执行标准，标准发布后将向标准实施主体进行推广和宣贯，推动标准的落地实施。预计此项工作需要 1 个月的时间。

## 七、实施效益分析

道路建设每年需消耗大量天然集料，优质石料只能再供给 15 年，钢渣的应用可减少砂石料的开采。消纳大量被当作废弃物简单堆砌或填埋推存的钢渣，若将这些钢渣用于道路建设可节约近  $3.4 \times 10^5 \text{ m}^2$  的土地。每吨钢渣集料比玄武岩便宜近 200 元，

比石灰岩便宜近 100 元。钢渣沥青混合料各结构层单车道每公里可节省近 4 万元；钢渣材料质地坚硬，沥青混合料高温稳定性好，可承受大交通量重载交通的作用。其抗磨耗能力强，可提高道路表面磨耗层的使用寿命。钢渣具有微膨胀性，使其作为面层骨料时能够提高沥青路面的疲劳轴次，从而提高使用年限。编制本指南将有助于指导钢渣沥青混合料磨耗层在我省的施工应用，提升施工效率，进一步提高钢渣沥青混合料磨耗层整体性能，延长道路使用寿命，经济和社会效益显著。

#### 八、公平性竞争审查情况

经省、市有关部门审查，本标准不存在限制或者变相限制市场准入和退出、限制或变相限制商品要素流动、影响经营者生产经营成本、影响经营者生产经营行为等情况，同时征求了利害关系人意见，并向社会公开征求意见，本标准没有违反公平竞争审查标准的内容。

提出部门：山东省交通运输厅（盖章）

2025 年 8 月