

《公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工技术规范》

山东省地方标准编制说明

（报批稿）

一、工作简况

（一）任务来源

本标准的制定源于山东省市场监督管理局《关于印发<2019年度标准化综合改革暨“山东标准”建设项目计划>的通知》（鲁标改办发〔2019〕6号），《公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工技术指南》列入2019年度社会治理和公共服务标准化建设项目第47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.主要起草单位

山东省交通科学研究院、山东交工建设集团有限公司、山东高速股份有限公司、山东高速基础设施建设有限公司、滨州市公路事业发展中心、山东泰山路桥有限公司、东营市公路事业发展中心。

2.主要起草人

韦金城、闫翔鹏、张正超、赵磊、马士杰、冯启军、陈成勇、

丁伟、郭建民、李玉成、安平、徐钦升、吴立强、韩烨、陈公增、张晓萌、孙强、夏雨、刘金宝、张其功、解全一、芮照诚、狄恩州。

3.任务分工

韦金城：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。

张正超：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。

赵磊：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。

马士杰：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。

冯启军：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。

陈成勇：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。

丁伟、郭建民、李玉成、安平、徐钦升、吴立强、韩烨、陈公增、张晓萌、孙强、夏雨、刘金宝、张其功、解全一、芮照诚、狄恩州：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2019年4月初成立了由山东省交通科学研究院牵头、菏泽市公路事业发展中心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

2019年6月到2020年12月，起草组进行了资料调研与实体工程应用经验总结，查阅搜集了水泥稳定碎石基层相关的行业和地方标准；在此基础上对山东省内公路水泥稳定碎石基层的应用情况进行调研，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；在大量试验数据和技术资料支撑下，总结出了水泥稳定碎石基层在我省的需求状况、应用场景、结构形式、材料特点、存在不足等相关情况，为标准撰写奠定了必要基础。

3.起草标准

2021 年 1 月起，起草组基于“宽幅大厚度水泥稳定碎石基层施工技术及路面结构长期性能研究”课题研究成果，结合公路水泥稳定碎石基层施工技术特点与难点，经过内部多次讨论、相关方调研及专家意见征集等形式，至 2021 年 6 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 2021 年 8 月 17 日组织召开了《公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工技术指导》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，细化了公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化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

2022 年 3 月 1 日，由山东省交通运输标准化技术委员会发布了《关于征求<公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工技术指导>（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 65 条意见，其中无意见 5 条，不采纳 5 条，其他 50 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《公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工技术指导》征求意见稿汇总处理表。起草组在补充相关室内及现场验证性试验后，结合相关征求意见稿对标准进行

了修改完善，形成了标准送审稿。

5.送审稿审查

2024 年 12 月 31 日邀请 9 位专家对送审稿完成评审。专家提出意见 82 条，其中专家提出将原标准名称《公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工技术指南》修改为《公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工技术规范》。起草组采纳全部专家意见并进行了修改处理，具体修改情况详见山东省地方标准《公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工技术规范》专家审查意见汇总处理表。起草组根据专家意见对送审稿修改后形成报批稿。

二、标准制定的目的和意义

从我国基本国情出发，水泥稳定碎石基层由于其造价低、材料易得，且表现出较高的强度和稳定性，抵抗荷载疲劳能力好、使用寿命长等优点，在今后的很长时间里具有半刚性特性的水泥稳定碎石仍然会是主导基层类型。

然而从近年来各地使用经验来看，水泥稳定碎石基层沥青路面在使用过程中出现了不少问题，主要表现在施工技术引起的基层层间结合处存薄弱面、路面在使用过程中容易产生大量裂缝、长期服役状态下路面结构性破坏。这是由于近年来重载交通的不断增加，为了提高道路承载能力，高等级公路水泥稳定碎石基层厚度不断增加，厚度一般超过 20cm。按照规范规定当基层厚度

大于 20cm 时，应采取分层施工。分层施工压实养生，导致基层层间结合处产生薄弱面，在上基层底部产生较大的拉应力而导致其破坏。通过钻取芯样发现，在分层施工基层结合处下部 2cm~3cm 处破坏尤为严重。

近年来，随着摊铺机/压路机等筑路设备性能的不断提升，因受限于设备性能而不得不分多层施工的传统施工工艺正得到改善，单层压实厚度超过 20cm 的大厚度双层连续摊铺施工技术成为可能。厚度的增加，给设计、施工、工艺、质量控制带来了巨大挑战，如何保证施工质量是决定能否实现基层耐久性能提升的关键。

由于缺乏完善的设计、施工技术标准规程，水泥稳定碎石大厚度双层连续摊铺施工在我省的推广应用受到了明显的限制。为进一步推进水泥稳定碎石大厚度双层连续摊铺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依据。

通过制定本标准，可以更好推广先进技术成果和经验，进一步规范山东省内工程项目水泥稳定碎石的应用，提高设计与施工技术水平，极大推动我省水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工标准化步伐。

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，提出水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工关键控制环节，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）主要技术内容和依据

本标准的名称表述为《公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工技术规范》。标准内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、原材料、混合料组成设计、双层连续摊铺施工、养生、施工质量检查验收、参考文献、附录 A。

1.范围

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水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工的材料与设计、施工、施工质量管理及检查验收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级公路的水泥稳定碎石基层施工。

2.规范性引用文件

本标准规范性引用文件为 GB 175-2023 通用硅酸盐水泥、GB 50119-2013 混凝土外加剂应用技术规范、GB 5749-2022 生活饮用水卫生标准、JGJ 63-2006 混凝土用水标准、JTG 3450-2019 公路路基路面现场测试规程、JTG F80/1-2017 公路工

程质量检验评定标准 第一册 土建工程、JTG/T F20-2015 公路路面基层施工技术细则。

3.术语和定义

本标准规定了大厚度施工是单层压实厚度大于 20cm 的公路路面施工工艺；规定了双层连续摊铺施工是分层铺筑时，在下层混合料碾压完成后，于初凝前进行上层混合料铺筑、碾压，一次养生成型的施工工艺；规定了单机组是下、上基层采用同一套摊铺、碾压设备，下基层难铺、碾压完成后，摊铺、碾压设备再重新返回铺筑起点进行上基层施工；双机组是采用单机组或双机组施工方式摊铺、碾压成型上、下基层，上、下基层连续摊铺后再进行养生；连芯率是采用双层连铺工艺施工的水泥稳定粒料基层钻芯取样时，上、下基层层间连接完好的芯样数量占芯样总数量的百分率。

4.原材料

（1）主要技术内容

本章节明确了用于公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工的原材料技术要求，对于水泥及添加剂规定了其强度等级、初凝时间、终凝时间、细度、安定性等技术要求，对于拌和用水规定了其水质检验技术指标，对于集料规定了其生产工艺、最大粒径、备料分级等技术要求。

（2）关键技术指标依据

4.1 条款规定了公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工时水泥应为强度等级 32.5 或 42.5, 初凝时间应大于 5h, 终凝时间应大于 7h 且小于 10h。根据室内试验和现场实践, 强度等级 32.5 或 42.5 的水泥具有适中的强度, 能够满足大多数碎石基层稳定的要求, 选择太高的强度等级可能会导致成本增加, 而太低的强度等级可能不足以提供足够的稳定性; 水泥初凝时间大于 4 小时以确保在混合和摊铺过程中混凝土保持足够的流动性, 便于施工并确保混凝土在达到其设计厚度和平整度之前不会过早失去可塑性; 而终凝时间在 7 至 10 小时之间则可以确保混凝土在一个合适的时间范围内获得足够的强度, 同时避免过早硬化可能带来的裂缝风险。

4.2 条款对公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工时混合料拌和与养生用水的技术要求进行了规定, 现行的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749) 规定了饮用水中各种杂质和有害物质的限量, 饮用水由于需要符合这些标准, 所以其质量较为可靠和稳定, 使用此类水几乎可以确保不会因为水质问题导致混合料的性能受损; 若使用其他未经检测的水, 如地下水、河水、湖水等, 可能含有一些溶解盐、有机物或其他杂质。这些杂质可能会与水泥发生反应, 影响其凝固特性, 导致混合料强度下降、耐久性降低或其他不良效果。

4.3 条款对公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工

中集料技术要求进行了规定，0mm~3mm，3mm~5mm，5mm~10mm、10mm~20mm、20mm~30mm 四种规格的集料基本上可以覆盖从细砂到粗碎石的所有粒径范围，使用不同粒径的碎石可以确保在填充和压实过程中，大的石块之间的空隙可以被较小的石块填充，进一步的小空隙则可以被更小的石块或沙粒填充，这种分级的方式可以达到更好的密实效果，从而提高路面的承载能力和耐久性；在混合料摊铺过程中，更容易均匀摊铺和有效压实，从而提高施工效率；而且通过合理的分级，可以减少对某一特定粒径集料的依赖，从而节省材料和成本。

5.混合料组成设计

（1）主要技术内容

本章节明确了公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工时水泥稳定碎石混合料关键技术要求。混合料组成设计应包括原材料检验、目标配合比设计、生产配合比设计和施工参数确定四部分。对于不同交通等级的混合料现场压实度与 7 天龄期无侧限抗压强度进行了进一步规定，给出了骨架密实型水泥稳定碎石混合料推荐级配范围及相应技术要求。

（2）关键技术指标依据

5.1 条款对公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工时水泥稳定碎石混合料的级配范围、组成设计、关键控制指标及试验方法进行了规定，基于室内试验及现场试验段验证，现场压

实度控制的标准最大干密度调整系数进行了细化，区分了上下基层。下基层调整系数取值(1.01~1.02)略低于上基层(1.02~1.03)，主要考虑到：下基层在摊铺压实后，还会承受上基层施工设备的部分扰动和荷载，而上基层则直接决定了最终的平整度和表面质量。对上基层采用稍高的调整系数，旨在设定一个更高的目标干密度，确保上层获得更优的压实效果和表面性能，从而保证整个结构层的强度和耐久性满足设计要求。

5.2 条款对公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工时混合料推荐级配范围及技术要求进行了规定。

水泥稳定碎石混合料的最大粒径为 31.5mm，公称最大粒径为 26.5mm，依据强度满足要求，抗裂能力最佳的原则，尽量减少 0.075mm 通过率。混合料主要是由粗集料 ($>4.75\text{mm}$) 和细集料 ($0.075\text{mm}-4.75\text{mm}$) 组成，根据其中粗、细集料比例的不同，划分为骨架—密实型结构、骨架—孔隙结构、悬浮—密实结构和均匀—密实结构。通常意义上认为，粗集料主要形成材料骨架结构，而细集料和粉料 ($<0.075\text{mm}$) 填充空隙内部，起到填充空隙。如果粉料所占比例过大，最终形成的半刚性材料的抗裂性能较差，往往表现出干缩系数偏大，容易产生裂缝，削弱了混合料的强度；反之，如果粉料比例偏小，不能够充分填充骨架空隙，使得材料内部空隙率增加，降低混合料性能；而当粉料以下颗粒含量适中时，能恰好充分填充骨架空隙，使得混合料能够接

近理想状态，提高混合料的力学性能。

为了分析验证水泥稳定级配碎石材料中碎石含量的合理范围，考虑到 4.75mm 对于混合料整体性能的影响，采用 5 中不同碎石含量的水泥稳定碎石的级配曲线，其中 4.75mm 及其以上的碎石含量依次为 55%、60%、65%、70%、75%五种不同的水平。各级配见下表 1。各级配曲线图见下图 1。

表 1 五种试验用水泥稳定级配碎石的级配曲线

级配	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
A	100.0	99.1	87.6	67.0	45.2	31.6	11.9	5.7
B	100.0	98.6	81.8	61.0	39.2	26.7	10.1	4.9
C	100.0	98.5	80.5	57.1	35.2	23.4	8.9	4.3
D	100.0	98.4	79.2	53.1	30.2	18.5	7.0	3.4
E	100.0	98.2	77.0	49.1	25.3	15.2	5.8	2.8

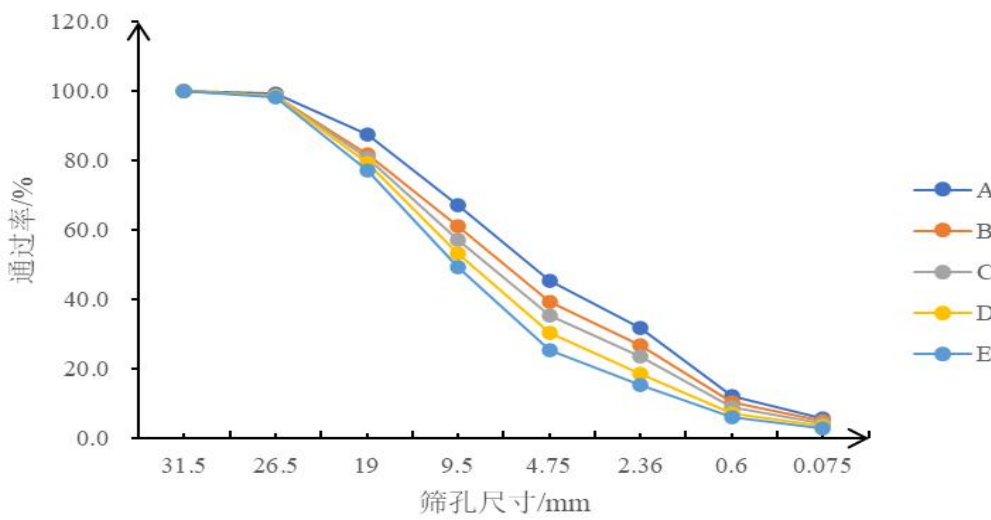


图 1 五种试验用水泥稳定级配碎石的级配曲线图

为了能够充分验证各条曲线的性能，选用 4% 的水泥添加剂量下进行各种基本的力学性能试验的验证。首先，通过重型击实试验，确定各个级配的最佳含水量及最大干密度，重型击实试验参照规范执行。水泥稳定碎石试验结果见表 2。

表 2 水泥稳定碎石击实试验结果

击实试验	级配	A	B	C	D	E
第一次	最佳含水率	5.76	5.34	5.28	5.36	5.52
	最大干密度	2.324	2.348	2.362	2.351	2.322
第二次	最佳含水率	5.54	5.41	5.17	5.42	5.50
	最大干密度	2.317	2.352	2.361	2.349	2.319
平均值	最佳含水率	5.65	5.38	5.23	5.39	5.51
	最大干密度	2.321	2.350	2.362	2.350	2.321

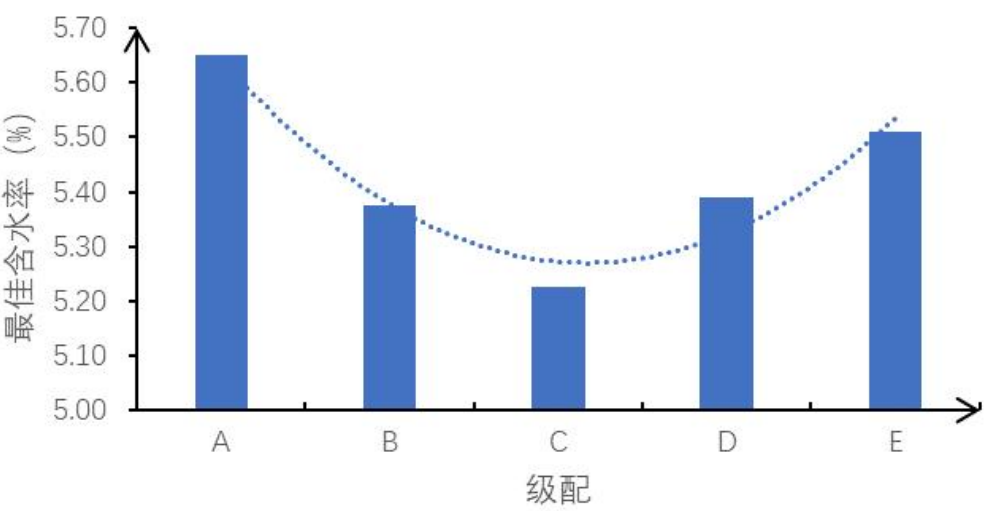


图 2 各级配最佳含水率汇总

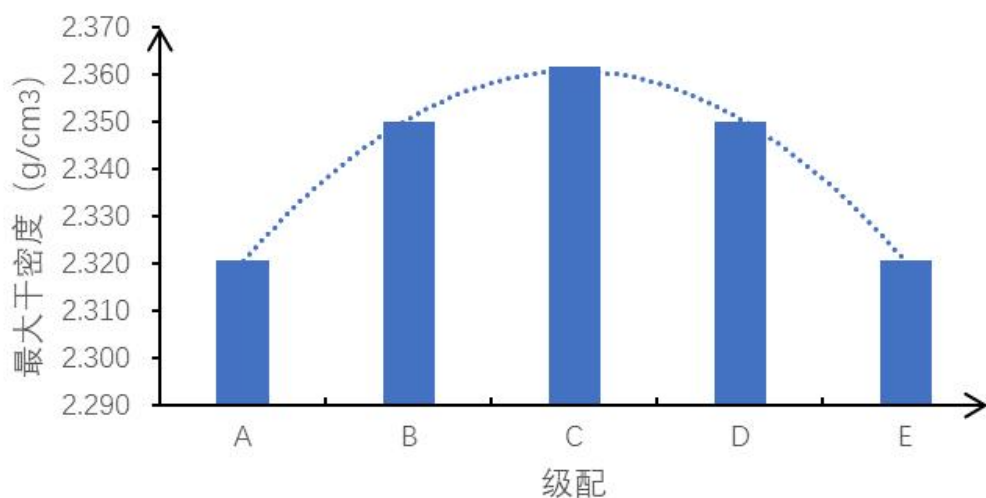


图 3 各级配最最大干密度汇总

从图 2 和图 3 中可以看出当碎石含量在 $65\% \pm 3\%$ 左右是最佳含水率和最大干密度都达到极值，随着碎石含量的逐渐增加，细料不能够密实填充骨架空隙，造成最大干密度变小。而当碎石含量较低时，过多的细料游离与空袭外部，使得混合料不能够形成致密结构，降低密度增加含水量。因此碎石含量在 $65\% \pm 3\%$ 左右时，能够得到期望的最佳含水率和最大干密度。

根据以上得到的最佳含水率及最大干密度，将五种级配混合料采用静压成型方式进行成型制件，尺寸为高 150mm，直径 150mm 的圆柱体，压实度为 98%，养护后进行无侧限抗压强度试验。试验结果见下表 3 和图 4。

表 3 各级配无侧限抗压强度(Mpa)

龄期/d	级配	A	B	C	D	E
7	平均值	5.1	5.3	5.7	5.4	5.2

14	平均值	6.3	6.5	6.9	6.4	6.2
90	平均值	8.2	8.7	9.4	8.6	8.4

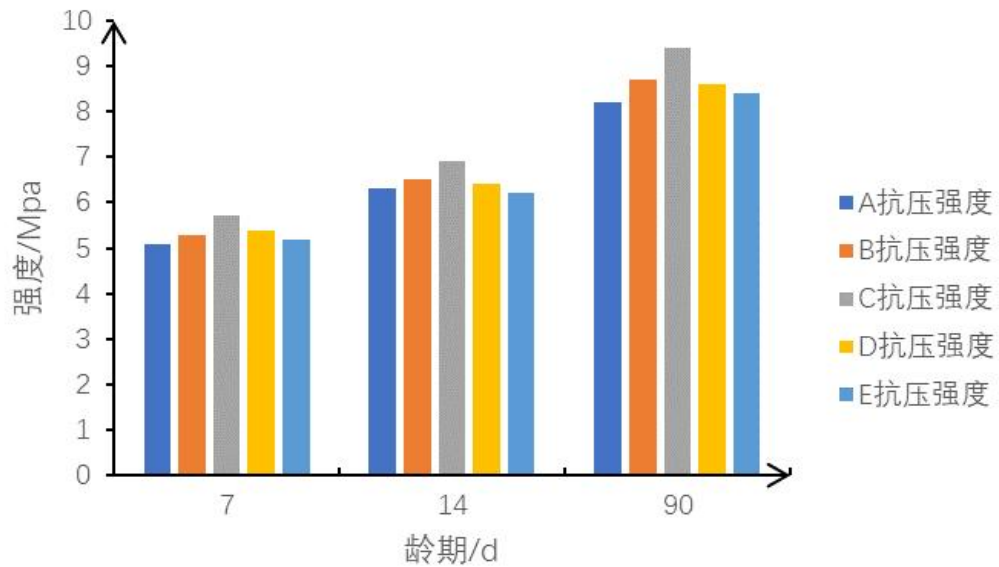


图 4 各级配抗压强度随龄期变化图

从试验结果可以看出随着粗集料比例的增加,无侧限抗压强度出现了先增长后下降的趋势。无论是哪一个龄期内,当集料含量在 $65\% \pm 3\%$ 左右时,都能够得到较高的强度,这说明,在这个比例下,混合料能够得到充分的嵌挤以及致密的填充,最终使得混合料具有优良的强度性能。因此,从抗压强度方面可以看出 $65\% \pm 3\%$ 时具有较高的强度标准。

按照规范,将五种级配成型制件为中梁($400\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$)试件,然后进行 90d 的抗弯拉强度试验,并制作尺寸为高 150mm,直径 150mm 的圆柱体检验 28d 的间接拉伸强度,探究不同粗料比例对抗裂性的影响。试验结果见表 4。

表 4 各级配强度(Mpa)

级配	A	B	C	D	E
抗弯拉强度	2.7	2.8	3.1	2.9	2.5
劈裂强度	0.85	0.87	0.91	0.90	0.88

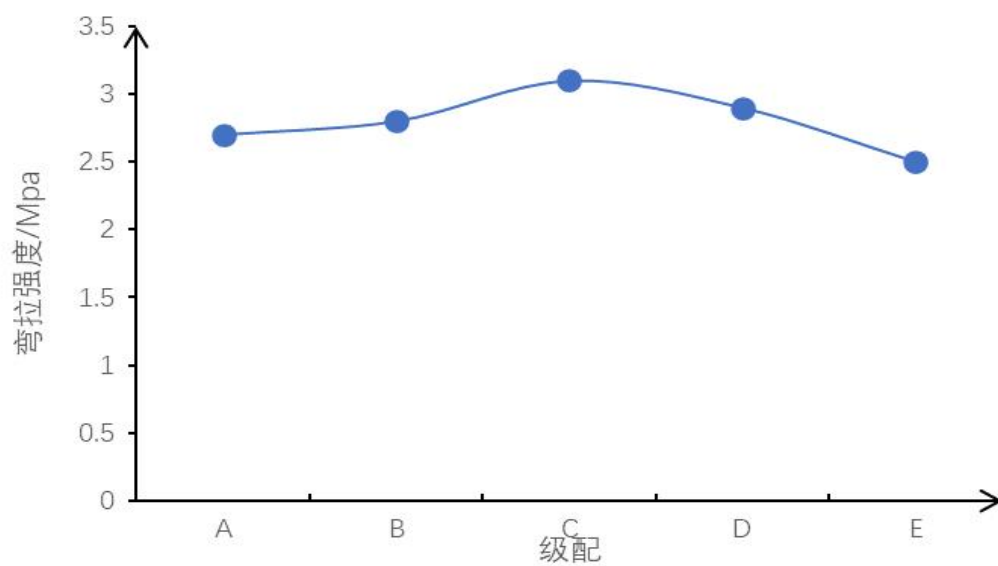


图 5 各级配抗弯拉强度对比

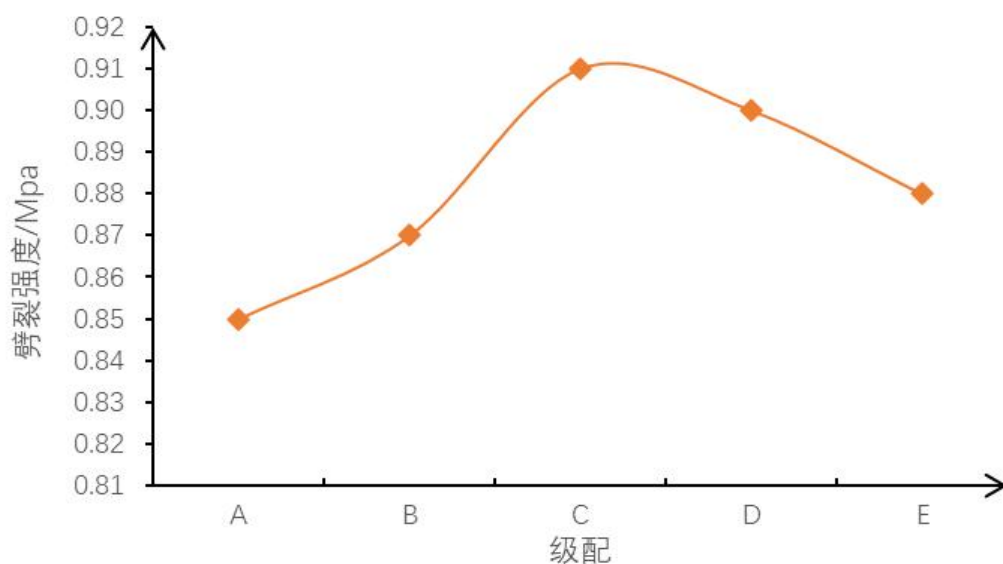


图 6 各级配劈裂强度对比

从图 5 和图 6 中可以发现抗弯拉强度和劈裂强度随着粗集料

的增加出现先上升后下降的趋势，同样在 65%左右出现峰值。相较从无侧限抗压强度角度评判，有粗集料增加的趋势。但是都基本维持在 65%左右。采用梁式试件（400mm×100mm×100mm）进行干缩试验，试验标准参照规范，结果如表 5。

表 5 五种试验用水泥稳定级配碎石的干缩系数

级配	碎石含量	干缩应变	干缩系数	失水率%
A	55	131.20	74.55	1.76
B	60	130.70	71.03	1.84
C	65	129.80	69.41	1.87
D	70	130.50	73.31	1.78
E	75	125.90	72.36	1.74

从试验结果可以看出，当混合料中粗集料含量较少时，混合料的干缩系数比较大，而随着粗集料的增加，混合料的干缩系数逐渐降低，这说明混合料逐渐达到骨架密实状态，此时的粗细集料比例比较适当，而再当粗集料增加时，这时混合料的结构又发生变化，空隙率逐渐增加，混合料的干缩系数由此变大。

综上所述，通过一系列的试验验证及研究发现，混合料的级配对于混合料的性能具有重要的影响作用，当混合料中粗细集料比例恰当时，这是能够使得混合料达到骨架密实状态，此时的混合料能够获得优良的性能，通过研究发现当混合料中 4.75mm 以上的集料含量在 65%±3%左右时都能够获得良好的综合性能，

故级配 C 的性能最佳。故在级配 C 的基础上优化级配范围。

结合规范要求，逐步优化级配范围，通过上述试验结合 B 级配性能确定推荐级配范围上限，结合 D、E 级配修改给出级配下限，并在实际工程中进行了应用验证。

同时本条款针对极重、特重交通道路，要求混合料 7 天无侧限抗压强度为 3.0MPa~5.0MPa；重、中等交通为 3.0MPa~4.0MPa；轻交通为 2.5MPa~3.5MPa。上述强度范围是在《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）及《水泥稳定碎石基层施工技术规范》（DB37/T 3577）已有规定的基础上，结合山东地区自然环境特点和地方材料特性对强度要求所作的细化明确。这确保强度指标既不低于行业标准要求，又更贴近我省材料及气候条件。。

6. 双层连续摊铺施工

（1）主要技术内容

本章节对水泥稳定碎石采用单、双机组进行大厚度双层连续摊铺施工时前期准备、混合料拌和、运输、摊铺、碾压、接缝处理等各环节技术要求进行了规定。

（2）关键技术指标依据

6.1 条款是对采用单机组机械配置进行水泥稳定碎石大厚度双层连铺施工的具体技术要求进行了规定，为保证水泥稳定碎石层结构的整体性，采用大厚度施工工艺以减少竖向分层，并单层

压实厚度进行了规定。我国《公路路面基层施工技术细则》指出：碾压厚度的增加，可以减少结构层的数量，改善层间结合，提高路面结构的整体性。大厚度水泥稳定碎石施工时，施工的最大厚度是由满足压实度要求的最大厚度决定的。在碾压过程中，进行充足的压实，不但能提高道路承载力，而且还会使道路稳定性、耐久性提高，从而延长道路的服务寿命。

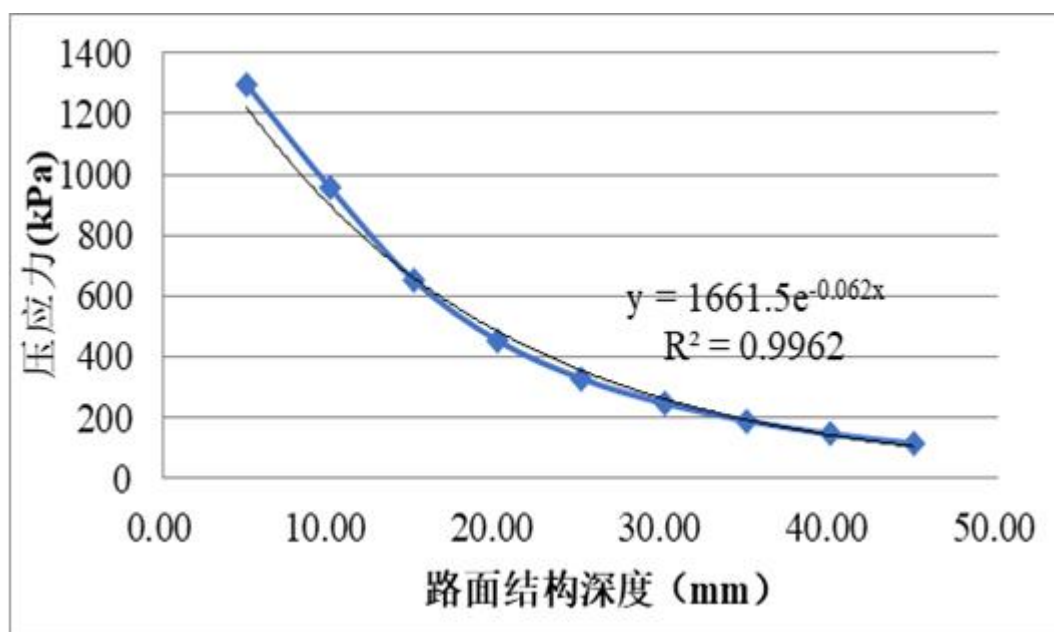


图 7 压应力随压实厚度衰减关系图

运用 Bisar3.0 有限元分析软件，分析不同压路机在不同层位的压应力变化，路基模量取 $E_0=120\text{MPa}$ ，泊松比 $\mu=0.3$ 。压实过程压应力衰减模型：

$$y = 1661.5e^{-0.062x}$$

$$R^2 = 0.9945$$

式中：x-结构层内部距路表深度，cm

y-结构层内部某一位置压应力。

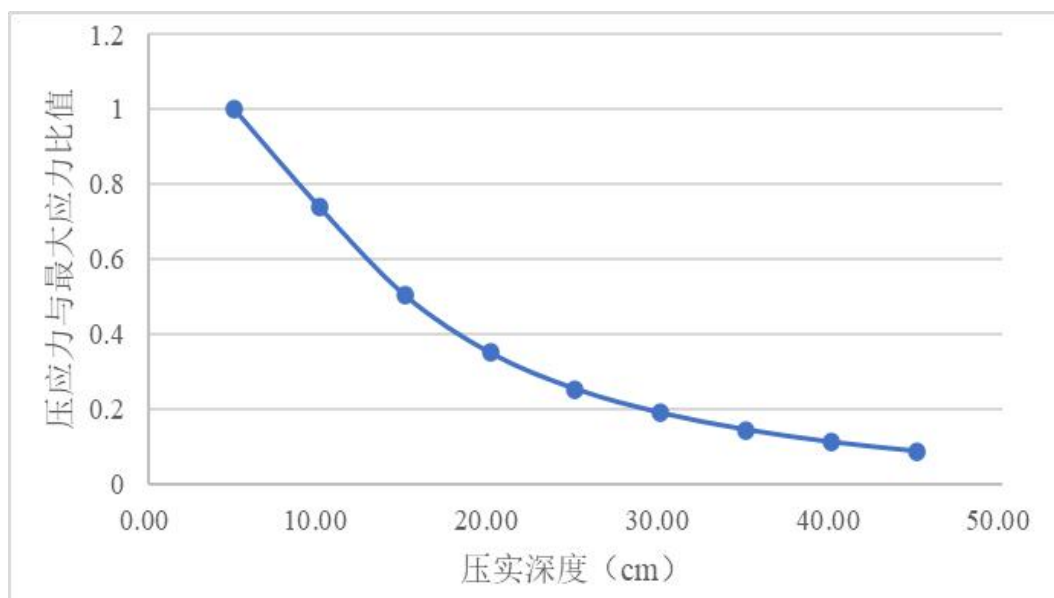


图 8 压应力与最大应力比值随压实深度衰减关系

在弹性体系下，路面结构压应力随深度呈指数衰减，初期衰减较快，后期趋于平缓，在深度达到 30cm 时，已衰减最大压实力的 80%。因此为保证基层的整体施工质量，施工厚度不可无限制增加，应规定合理最大施工厚度。

6.4 条款规定了公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工时合料运输车装好料后，应用覆盖物及时严密覆盖，直到摊铺机前准备卸料时方可打开，是由于高温会加速水分的蒸发，导致混合料过早失水，进而影响其可塑性和压实性，增加水分可以保证混合料在施工过程中保持适当的湿度，确保良好的压实效果；强风会促使混合料表面迅速失水，降低其流动性和塑性，影

响施工效果，提高含水率可抵消这种风险，确保混合料在施工时具有适当的工作性；较长的运输时间可能导致混合料失水，尤其在炎热和风大的天气条件下。通过提高起始的含水率，可以确保混合料在到达施工现场时仍具有合适的湿度。因此，适当提高水泥稳定碎石混合料的含水率可以确保在不利的环境和施工条件下，混合料仍然具有良好的施工性能，从而保证施工质量。

对于公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工时拌和好的混合料运送到铺筑现场，为摊铺和碾压预留的最少施工时间进行了规定。此时间不应小于 2h 是应为水泥稳定碎石混合料在拌和后开始与水发生化学反应，这个反应是不可逆的，水泥一旦与水接触开始发生水化反应，这导致混合料的流动性逐渐降低，如果延迟运输或施工，可能会导致混合料过早硬化，从而影响摊铺和碾压的效果。提前为摊铺和碾压预留足够的时间可以确保混合料在适当的状态下被均匀铺设和充分压实，从而确保施工层的质量和性能。如果混合料没有得到充分的铺设和压实，可能会导致裂缝、空隙或不均匀的厚度等缺陷，这些缺陷会影响公路的使用寿命和性能。合理的施工时间分配可以确保施工流程的连续性和高效性，减少中断和重复工作，提高施工效率。

因此，为了确保水泥稳定碎石混合料的施工质量，及时的运输和合理的施工时间预留是非常必要的。

6.5 条款对公路水泥稳定碎石基层大厚度连续摊铺施工时摊

铺机的螺旋布料器埋入混合料中的深度进行了规定。当螺旋布料器的大部分部位埋于混合料中，其可以更加有效地将混合料推向所需的区域，确保铺设的混合料分布均匀，适当的埋入深度可以减少不同粒径的石料在传输过程中的分离现象，确保混合料的组成均匀，螺旋布料器的埋入深度会影响到其对混合料的搅动和分布，进而影响摊铺的厚度，摊铺时螺旋布料器宜完全埋入混合料有助于减少可能出现的摊铺缺陷，如横纹、沟槽或不均匀的厚度。

6.6 规定了公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工对混合料碾压的技术要求，混合料宜在最佳含水率附近碾压，碾压程序及碾压遍数应通过试验路段确定，一次性碾压长度不宜超过 40 米。其依据有以下几点：水泥在与水接触后开始水化，随着时间的推移，混合料的流动性会逐渐降低，硬化过程也开始，如果碾压的长度过长，那么在碾压结束时，部分混合料可能已经开始过早硬化，影响压实效果；较短的碾压长度可以确保碾压机在整个长度上都能提供均匀且足够的压力，使混合料达到所需的压实度；限制一次性碾压的长度有助于操作者对碾压过程进行更好的控制，可以根据混合料的情况进行适当的调整，以达到最佳的压实效果；适当的碾压长度可以确保碾压机不必在长距离上来回移动，从而提高施工效率。

规定了公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工时压路机数量配置，要与摊铺宽度、厚度以及摊铺机的生产能力相

匹配，以保证施工的连续性，压路机的自重和激振力应满足压实厚度要求，当单层压实厚度大于 20cm 时，单钢轮压路机自重不宜小于 26t；单层压实厚度大于 25cm 时，单钢轮压路机自重不宜小于 32t。轮胎式压路机应不宜小于 26t。水泥稳定碎石宽幅大厚度整体化施工技术在单位时间、每延米面积上增加了材料的数量，需要先进的设备机械设备相匹配，且施工要求应在设备合理处理能力范围内，以保证施工连续性并确保施工质量。

综合各种常见的振动压路机设计参数，本文选定常规振动压路机 18t、中型振动压路机 25t、大吨位振动压路机 32t、超大吨位振动压路机 36t 作为对比，从结构力学角度分别计算分析不同吨位振动压路机对不同压实层厚度的压实效果。路面结构和材料参数取值见表 6。

表 6 路面结构和参数取值

路面结构层	弹性模量/Mpa		泊松比
土基	40		0.35
底基层	760（养生 7 天）		0.25
基层	碾压初始	80	0.25
	碾压终了	100	

振动压路机参数取值见表 7。

表 7 振动压路机参数取值

压路机 吨位/t	前轮分配 重量/t	激振力 /kN	振动轮 直径/m	振动轮 宽度/m	接地宽度	
					碾压初始 /m	碾压终了 /m
36	24	650	1.7	2.30	0.37	0.21
32	21	590	1.7	2.30	0.36	0.20
25	12	400	1.6	2.13	0.28	0.16
18	10	340	1.5	2.13	0.24	0.14

在施工现场，对 18t 和 36t 振动压路机的实际接地宽度进行了测量，其测量值见表 8。

表 8 压路机实际接地宽度

单钢轮压路机吨位/t	接地宽度	
	碾压初始/m	碾压终了/m
18	0.23	0.12
	0.21	0.12
	0.22	0.13
平均值	0.22	0.12
36	0.35	0.20
	0.35	0.19
	0.36	0.20
平均值	0.35	0.20

通过对比钢轮接地宽度实测值与理论值，两者相差较小。

本次模拟分析时的矩形均布载荷按照理论计算值,各吨位实际的作用力见表 9。

表 9 不同吨位压路机的均布载荷

压路机 吨位/t	作用力 /kN	作用面积/m ²		均布载荷/Mpa	
		碾压初始	碾压终了	碾压初始	碾压终了
36	890	2.3×0.37	2.3×0.21	1.046	1.843
32	800	2.3×0.36	2.3×0.20	0.966	1.739
25	520	2.13×0.28	2.13×0.16	0.872	1.525
18	440	2.13×0.24	2.13×0.14	0.861	1.475

在进行有限元分析时,首先需要建立路面结构的有限元模型。在实际的计算过程中假设路面结构层为平面无限大的弹性体,路基为平面半空间体。但是在有限元分析时,由于计算时间和计算机内存的限制,无法将模型建立的无限大以逼近实际情况,只能建立合适的模型既能满足工程需要又可以在计算机上实现。

参考相关文献资料,路面有限元法求解的模型平面尺寸为:长×宽=3.8m×3.8m,路面基层高度 2.86m。图 9 为计算模型的示意图。路面结构及土基用三维单元 SOLID45 单元模拟,接触单元利用目标单元 CONTAC170 和目标面单元 TARGE173 单元模拟。对各结构层进行网格划分,载荷作用处网格加密。

对于水泥稳定碎石结构层之间的接触状态多采用接触单元模拟，通过层间滑动系数即摩擦系数 f 表征上下层之间的粘结状况。当 $f=0$ 时，表示层间完全光滑，当 $f=1$ 时，表示层间粘结较好，当 $f=\infty$ 时，表示层间完全连续，这个是理想状态，在实际的施工过程中， $0 < f < 1$ ，路面各层间力学结构性质介于完全光滑和粘结较好之间。设置各层间的摩擦系数 $f=1$ 。

模型的边界条件假设为：底面上没有 Z 方向的位移，左右两面没有 Y 方向的位移，前后两面没有 X 方向的位移，单元采用 3 维 8 节点缩减积分单元。在中间矩形面内参照表 7 施加不同吨位振动压路机的激振力，每种吨位压路机分别计算有底基层和无底基层两种情况。

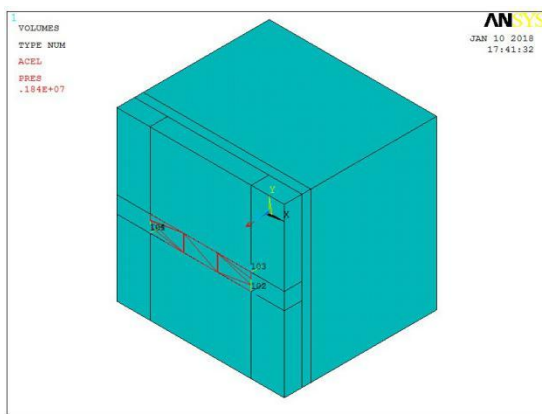


图 9 路面结构有限元计算模型

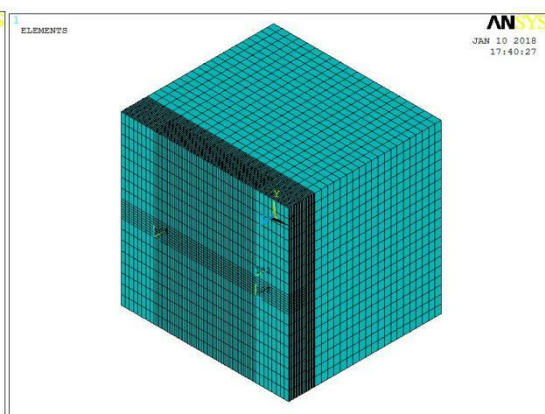
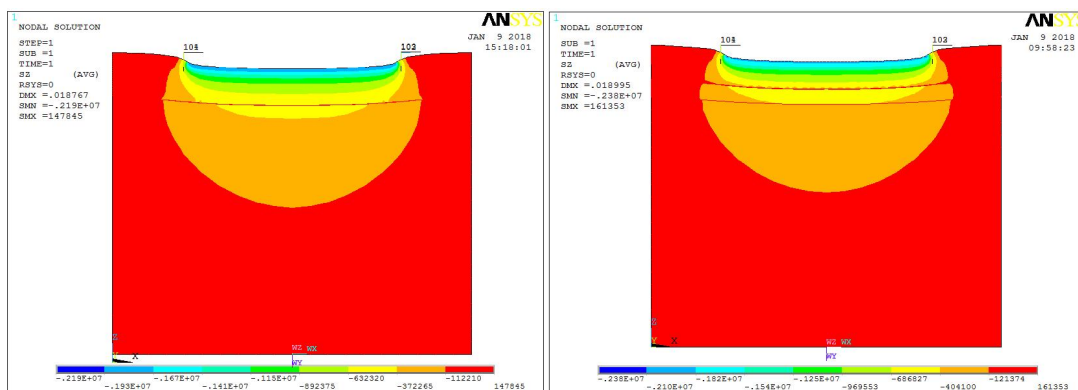


图 10 网格划分

(2) 振动压实过程中结构层压应力计算



(a) 2 层

(b) 3 层

图 11 36t 振动压路机作用下的压应力

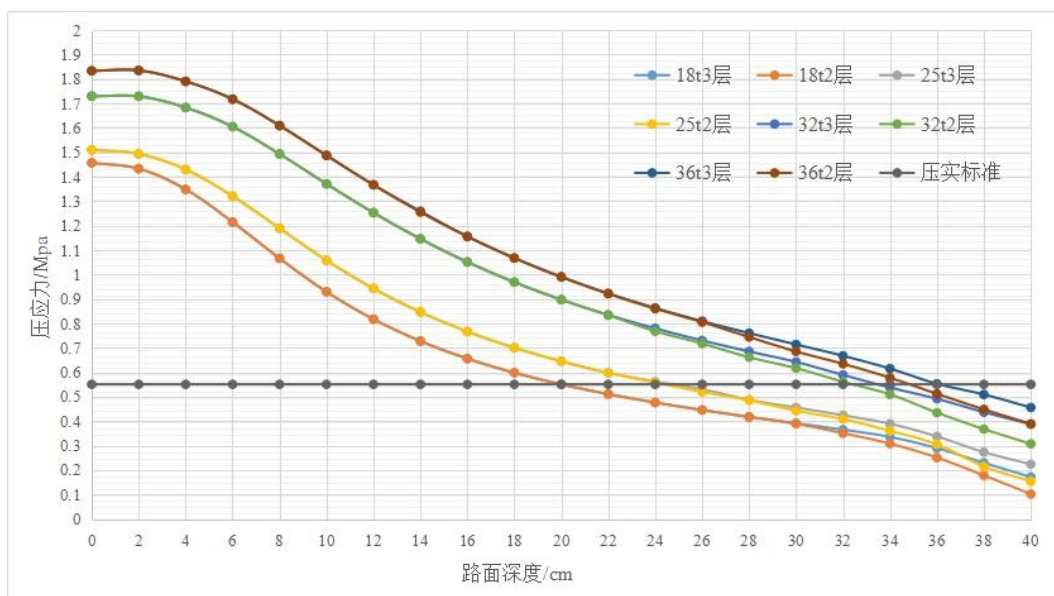


图 12 不同压路机类型沿深度方向压应力情况

由图 12 可以看出：

基层压实厚度相同的情况下，振动压路机的压应力随着深度的增加逐渐减小，减小幅度先大后小再变大；在路面土基上直接铺筑厚层基层时，基层下部对应深度的压应力小于存在底基层施

工的压应力，其衰减幅度大于在底基层铺筑基层。压路机吨位越大，出现衰减的深度越小，基层底部不利于压实。

目前国内大部分高速公路基层单层碾压厚度在 18cm~20cm，与之配套的振动压路机为 18t 较多。18t 振动压路机碾压 20cm 的水泥稳定碎石基层，其压实度符合规范要求。故用 18t 振动压路机在 20cm 厚基层底部的压应力作为压实基准来判断不同吨位压路机对不同厚度的基层的压实效果，数值模拟分析可知：18t 振动压路机层底压应力为 0.551Mpa。

根据“压应力等效原理”，按照目前国内水泥稳定碎石基层施工技术和现行路面基层施工技术规范的要求，采用 18t 振动压路机压实 20cm 厚水泥稳定碎石基层能够保证压实度满足规范要求（对于高速公路，基层压实度 $\geq 98\%$ ），在试验现场用 18t 振动压路机压实 20cm 厚的水稳基层，经检测：底部压应力为 0.49Mpa、0.47Mpa，对应点的水稳基层压实度分别为 98.9%、99.5%。由以上分析可以得出以下结论：

当在底基层上铺筑基层，25t 振动压力机的有效压实深度为 25cm，32t 大吨位振动压路机的有效压实深度为 33cm；36t 超大吨位振动压路机的有效压实深度为 36cm。当在路基上直接铺筑基层时，25t 振动压力机的有效压实深度为 25cm，32t 大吨位振动压路机的有效压实深度为 32cm；36t 超大吨位振动压路机的有

效压实深度为 34cm。根据研究结果，本文件针对不同压实厚度推荐了振动压路机配置型号。

7. 养生

(1) 主要技术内容

本章节主要对公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工时混合料碾压结束后养生、交通管制等方面技术要求进行了规定，基层应在碾压完成后终凝时间之内洒布透层乳化沥青进行养生，养生期不少于 7d。养生期间，应封闭交通，除洒水车和小型通勤车外严禁其他车辆通行。

(2) 关键技术指标依据

7.1 条款对水泥稳定碎石基层养生时机、养生方式进行了规定，在碾压完成后终凝时间之内洒布透层乳化沥青进行养生，透层乳化沥青宜采用 PA-2 型阴离子或 PC-2 喷洒型阳离子乳化沥青，优先选用阴离子型乳化沥青，建议透层洒布量为 $1.2\text{L}/\text{m}^2 \sim 2.0\text{L}/\text{m}^2$ 。阴离子型乳化沥青（PA-2 型）与水泥稳定碎石基层的碱性环境通常有更好的配合性和相容性，它能够与水泥稳定的碎石混合料形成均匀的覆盖层，从而实现良好的养生效果。阴离子型乳化沥青往往具有较好的流动性和粘结性，这使得其在养生过程中能够更好地与基层结合，形成均匀且连续的保护层。与阳离子型乳化沥青相比，阴离子型乳化沥青通常具有更好的稳定性，这意味着它不容易分层或发生沉淀。总的来说，尽管阳离子型乳

化沥青也可以用于水泥稳定碎石基层的养生,但基于上述的一些优点,优先选择阴离子型乳化沥青是更为理想的选择。

7.2 条款规定了养生技术具体要求,喷洒过程必须由沥青洒布车完成,且要求施工时保持车速与喷洒量稳定,并控制在 $1.2\text{L}/\text{m}^2\sim 2.0\text{L}/\text{m}^2$ 的范围内,其核心依据在于通过机械化作业保证透层洒布的均匀性与连续性,避免因喷洒速度波动或设备不稳定而导致局部过厚或过薄的现象,从而确保基层表面形成均匀致密的保水膜。同时,规定乳化沥青应充分渗透进入基层孔隙,而不得在表面形成径流,这一要求是基于基层结构耐久性的考虑:若沥青能透入孔隙,便可有效封闭毛细通道、降低水分蒸发速率,起到保湿和抗侵蚀作用;反之,如表面仅形成径流或堆积膜层,不但难以实现保水效果,还可能导致局部泛油、污染甚至影响后续面层黏结。因此,这两条要求共同构成了透层乳化沥青养生的关键控制点,通过强调喷洒均匀性和透入性,确保基层在早期获得合理的湿度环境和均匀的封养效果,从而显著降低干缩裂缝与表层损伤风险,保障大厚度双层连续摊铺基层的整体质量与长期服役性能。

8.施工质量检查验收

(1) 主要技术内容

本章节主要对公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺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。

施工时，每一层上下部压实度检测应采用整层、分层灌砂试验相结合的方法检测压实度。养生结束后，应按照规定程序及数量取芯检测芯样强度。

（2）关键技术指标依据

8.1 条款对养生结束后水泥稳定碎石的施工质量控制要求进行了规定，采用双层连续摊铺工艺时，应在养生 7d 后随机钻取直径 150mm 的芯样检验其整体性。芯样外观应完整密实，上下均匀，无烂根，连芯率不低于 80%；水泥稳定碎石完整芯样应至少分上下两段切割成标准试件检测强度，同一芯样分段切割后单段试件强度极差不大于 10%。

本条款的制定是基于现行技术规范、工程实践经验及研究成果，旨在明确采用双层连续摊铺工艺时，水泥稳定碎石的施工质量控制要求，保障工程的整体质量与长期使用性能。通过在养生 7 天后随机钻取直径 150mm 的芯样，检测其外观完整性和强度均匀性，可以全面反映基层材料的密实性、均匀性及其内部结构的连续性。芯样外观完整密实、上下均匀、无烂根、连芯率不低于 80%，是基于双层连续摊铺工艺的特性能够有效反映双层间结合情况及其整体性的综合反映，能够有效评估施工过程中的压实质量及材料内部结合情况。而对完整芯样分上下两段切割成标准试件并检测强度，且要求同一芯样分段切割后单段试件强度极差不大于 10%，则是基于研究和试验数据分析结果，反映了施工质

量中材料强度分布的均匀性,避免局部材料性能偏差对整体结构性能的影响。强度极差不超过 10%的要求则能确保材料强度分布的均匀性,满足基层的长期稳定性需求。检测方法采用钻芯取样、分段切割与强度检测相结合,具有直观性和可操作性,既能定性判断外观质量,也能通过量化数据验证施工质量的一致性。通过对芯样整体性、连芯率及强度一致性的检测要求,能够全面提升水泥稳定碎石基层施工质量,为确保路面结构的长期性能提供有力保障。

9.参考文献

在本标准的编制过程中,参考了与本标准内容相关的国家标准、行业标准、地方标准、及其他技术文献。为便于用户理解和使用标准,并保证标准内容的科学性与规范性,本标准在最后一章列出了参考文献,具体包括: **JTG 3420** 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程、**JTG 3432** 公路工程集料试验规程、**JTG 3441** 公路工程无机结合料稳定材料试验规程、**JTG F40** 公路沥青路面施工技术规范等作为技术依据的相关标准文件。

10.附录 A

(1) 主要技术内容

附录 A 主要对分层挖坑灌砂测定压实度试验方法的试验目的、仪器与材料、方法与步骤、数据处理及报告等进行了规定。

(2) 关键技术指标依据

层挖坑灌砂测定压实度试验方法用于现场分上下半层测定层厚超过 200mm 的大厚度水泥稳定碎石压实层的密度、压实度及上下压实均匀性。压实的控制水泥稳定碎石大厚度整体化施工的关键，传统的挖坑灌砂法最大测定厚度为 200mm，而对大厚度（200mm~300mm）的水泥稳定碎石层无法真正控制压实质量，底部易出现碾压不密实，造成结构层强度不足，分层灌砂法可保证大厚度层底部压实质量的有效评判。

四、与现行相关法律、行政法规和其他标准的关系

目前国内外存在公路水泥稳定碎石相关的法律、法规和标准，其中行业标准一部——《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015，山东省地方标准一部——《水泥稳定碎石基层施工技术规范》DB37/T 3577-2019 本规范是对现有细则和规范中的宽幅大厚度整体化施工进行补充或细化，为实际施工提供更加具体的技术指导其中的技术参数、指标参考现行行业标准和其它省市的地方标准，一些关键指标严于行业标准，适合我省的实情，与现行行业标准有较好的协调性。

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

编制本规范将有助于指导宽幅大厚度水泥稳定碎石基层在我省的施工应用，提升施工效率，进一步提高水泥稳定碎石基层整体性能，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

按照《公平竞争审查条例》(中华人民共和国国务院令第 783 号)、《公平精准审查条例实施办法》(国家市场监督管理总局令第 99 号)《山东省市场监督管理局关于山东省地方标准起草中开展公平竞争审查的通知》和《公平竞争审查制度实施细则》规定的审查程序和标准要求，山东省交通运输厅于 2025 年 9 月 日- 日通过省厅网站向社会公开征集了本标准公平竞争审查意见，截至公示期结束，未收到有关意见。经审查，该地方标准没有违反公平竞争审查标准的内容。

九、其他

本标准立项时名称为《公路水泥稳定碎石基层宽幅大厚度整体化施工技术指南》，在编写过程中，尤其是征求意见阶段，发现省内建设、设计及施工等单位对于出台一部针对水泥稳定碎石大厚度双层连续摊铺施工这一工程场景、具有明确规范、指导作

用的相关标准具有切实期盼和需求。本着适应省情、指导工程的编制目的，本标准送审稿按照 GB/T 20001.5 中关于规范标准的编写要求进行组织编写，先后与山东省交通运输标准化技术委员会、山东省市场监督管理局多次沟通，并经送审稿专家审查会议商议讨论，专家建议将标准名称修改为《公路水泥稳定碎石基层大厚度双层连续摊铺施工技术规范》，编写组根据会议纪要中的专家意见对送审稿修改完善后形成报批稿。

提出部门：山东省交通运输厅（盖章）

2025 年 9 月