《公路钢-超高性能混凝土组合梁设计与施工指南》地方标准编制说明

（报批稿）

# 工作简况

1. 任务来源

根据《山东省市场监督管理局关于印发2023年度标准化创新发展计划项目的通知》(鲁市监标函〔2023〕246号)，《钢-超高性能混凝土组合桥梁设计与施工指南》列入2023年山东省地方标准制修订计划。

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归口。

1. 起草单位、主要起草人及任务分工

**1.主要起草单位**

山东高速集团有限公司、山东高速集团有限公司创新研究院、清华大学、山东高速基础设施建设有限公司、山东省交通规划设计院集团有限公司、山东高速工程检测有限公司、山东省路桥集团有限公司、中交一公局集团有限公司、湖南大学、北京航空航天大学

**2.主要起草人**

李怀峰、薛志超、辛公锋、聂鑫、龙关旭、马川义、肖靖林、徐召、庄亮东、张泽军、徐传昶、商淑杰、高永青、齐辉、岳秀鹏、王阳春、王东伟、徐常泽、徐兴伟、李月祥、王宏博、王兴阔、景国建、孙广浩、尚志强、徐长靖、李帆、刘松、张文亮、马雪媛、张天野、戴宁杰、王巍、杨悦

**3.任务分工**

李怀峰：标准起草负责人，全面组织、协调标准起草工作，组织确定标准制定方案，把握标准制定技术方向。

薛志超、辛公锋、聂鑫：标准起草负责人，组织确定标准制定方案，对标准技术内容进行把关，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。

龙关旭、马川义、徐召、徐传昶：标准起草负责人，组织确定标准制定方案，把握标准制定技术方向。

商淑杰、高永青、齐辉、岳秀鹏、王阳春：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标准化对象需要规范的技术要素。

肖靖林、庄亮东、张泽军、尚志强、徐兴伟、李月祥：组织讨论确定标准框架、编写思路，讨论确定标准化对象需要规范的技术要素，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。

徐常泽、王宏博、李帆、马雪媛、张文亮：提供标准编写所需的资料，参与标准调研、标准讨论等。

王东伟、孙广浩、王兴阔、景国建、徐长靖、刘松：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，协助整理标准相关技术文档等。

张天野、戴宁杰、王巍、杨悦：提供标准编写所需的资料，参与标准调研、标准讨论，参与办理征求意见等。

1. 起草过程

**1.前期准备**

2022年1月成立了标准起草组，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.现状调研及标准起草**

2022年3月到2022年5月，起草组查阅搜集了与钢-超高性能混凝土组合桥梁设计或施工相关的期刊论文和标准，国家、我省政策文件，以及企事业单位相关的文件、制度和规范。

2022年5月到2022年12月，起草组依托山东省沾化至淄博公路段黄河特大桥工程、济青中线潍河大桥和济青中线九龙东枢纽天桥等工程，收集了大量桥梁设计和施工资料，调研了桥梁建设相关的设计惯例、施工设备配置、施工工法、作业流程等方面的信息，对科学有效的设计与施工方法进行了研究，明确了钢-超高性能混凝土组合桥梁的结构特征和设计关键点，为本《指南》的制定做了大量的基础工作，经过汇总、归纳和总结，明确了《指南》的编写思路和框架，完成了地方标准草案。

**3.标准初稿**

2023年1月到2023年4月，咨询相关专家意见进行修改，在山东省交通运输标准化技术委员会和山东省交通运输厅的指导下，完成地方标准申报。

2023年5月到2023年12月,起草组针对钢-超高性能混凝土组合桥梁建设过程中遇到的问题，提出了结构设计和现场施工的技术要点，完善了钢-超高性能混凝土组合桥梁的施工流程和关键环节，并在此基础上编写了《钢-超高性能混凝土组合桥梁设计与施工指南》。起草组对该《指南》进行了内部讨论，并进行了修改完善，于2023年12月完成《指南》初稿。

2023年12月-2024年6月，咨询相关专家意见，不断完善《指南》初稿。

**4.征求意见稿**

2024年7月，召开《指南》初稿审查会，8月根据专家意见，对初稿内容、格式进行了修改，共计采纳17条意见或建议，主要涉及章节内容归并、简化条文内容、补充创新性内容等方面，形成了《指南》征求意见稿。

**5.送审稿**

2024年9月，征求32家单位意见，10-11月对征求意见进行归纳、汇总后，得到共计82条意见或建议，其中采纳68条，主要涉及格式规范、内容删改补充、文件引用、术语标准等方面，完成了《指南》征求意见稿的修改，形成送审稿。

**6.报批稿**

2025年3月，召开《指南》技术审查会，4-5月根据专家意见，对送审稿内容、格式进行了修改，共计采纳44条意见或建议，主要涉及简化条文内容、图表等方面，形成了《指南》报批稿。

# 标准制定的目的和意义

随着我国基建的快速发展，尤其是桥梁等交通设施的发展更是举世瞩目，组合结构体系和高强材料在桥梁建设中应用也愈加广泛。山东省是我国经济大省，高速公路的建设逐年增加，桥梁工程日益增多，桥梁的修建能有效节约土地占用、解决通行困难等问题，并使运输更加方便快捷，为经济的快速发展提供了重要支持条件。随着桥梁使用年限的增加，新建桥梁结构的力学合理性、建设经济性以及对新技术、新工艺的应用成为各建设单位重点关注的问题；而还有一部分桥梁也存在着养护条件不足或是使用年限久远的问题，以至于这些桥梁在日后的使用中也将会出现病害问题，不利于桥梁的正常运行，威胁行车安全，将要造成重大经济损失。针对以上问题，组合结构桥梁因其可充分发挥钢材与混凝土的材料强度的特点，相对其他桥型展现出显著的经济优势；超高性能混凝土等新材料的推广和应用成为桥梁建设的发展趋势之一。目前，交通发展集中于传统桥梁结构上，因而省内并未制定相关的公路钢-超高性能混凝土组合梁设计与施工的标准。

为推广公路钢-超高性能混凝土组合梁的发展与应用，应制定山东地区的公路钢-超高性能混凝土组合梁的建设指南，统一指导公路钢-超高性能混凝土组合梁的设计与施工工作，提高桥梁结构的使用年限和使用安全性，起草组通过广泛调研及大量试验，历时多年研究攻关，在实体工程应用基础上，总结并制定了本技术标准。

# 标准编制原则、主要技术内容和确定依据

（一）标准的编制原则

本文件按照《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）的规定起草。

在编写过程中突出了以下五项编写原则：

1、全面性。《指南》在编制过程中，涵盖了公路钢-超高性能混凝土组合梁设计与施工的各个环节，并对钢-超高性能混凝土组合梁的设计验算、材料选用、施工方法做了详细的规定，内容全面。

2、适用性。《指南》包含了公路钢-超高性能混凝土组合梁设计的各个环节以及现浇与装配化施工的要求，具有较强的适用性。同时兼顾山东桥梁建设的实际应用情况，达到环保、节能、经济合理的目的。

3、一致性。《指南》符合新的法律法规的规定，并与相关行业标准相匹配。

4、规范性。《指南》可规范公路钢-超高性能混凝土组合梁设计与施工的各个环节，为桥梁的结构设计与建设施工工作提供指导。

5、简洁性。《指南》针对山东省工程实际，内容简洁明了、便于理解掌握、易于操作。

（二）标准的主要技术内容和确定依据

《指南》的主要内容包括钢-超高性能混凝土组合梁设计与施工的材料、构造、设计计算及施工相关的技术指导信息。

《指南》依据山东省交通规划设计院有限公司和清华大学受山东高速沾临高速公路有限公司委托开展的技术开发项目“钢-超高性能混凝土(UHPC)组合梁斜拉桥设计与施工关键技术研究”，编制了这些技术内容。该项目研发了基于山东省地材的超高性能混凝土（UHPC）材料，针对UHPC桥面板的力学性能进行了理论和试验研究，研究了UHPC桥面板工厂化预制与施工的关键技术，形成了钢-UHPC组合梁斜拉桥设计与施工的成套关键技术。

**1　前言**

本文件根据GB/T 1.1—2020标准起草，由山东省交通运输厅提出并实施，归口于山东省交通运输标准化技术委员会。

**2　规范性引用文件**

《指南》参考了国内外相关的标准，其目的主要从两个层面考虑，一个层面是吻合国家现有相关标准，充分利用现有国家标准的基础；另一个层面是充分结合山东省现有地方标准的要求，与山东省地方特色保持一致。基于以上两个层面和标准文本中涉及的有关标准内容，列出了该标准引用的主要标准。

**3　术语和定义**

为了方便标准的使用和体现便捷性，本标准依据相关国家标准，结合公路钢-超高性能混凝土组合梁的建设需求，首先对本标准中涉及的“超高性能混凝土”、“钢-超高性能混凝土组合桥梁”、“超高性能混凝土桥面板”、“纤维取向系数”相关概念基于本标准的标准化对象和范围进行了技术性概述或改写。

**4　材料**

本章内容在调研《活性粉末混凝土》GB/T 31387、《混凝土膨胀剂》GB/T 23439、《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082、《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080等标准文件的基础上，通过走访省内桥梁建设单位，整理出公路钢-超高性能混凝土组合梁常用材料以及其性能参数的参考取值。

4.1.3规定的超高性能混凝土的抗压强度等级的确定方法为“超高性能混凝土的抗压强度等级宜根据100mm立方体抗压强度标准值确定”，与常规混凝土采用的150mm立方体试件不同，原因在于由于UHPC抗压强度较高，常规的150mm立方体试件在常规的2MN上加载可能无法在量程内测出完整的荷载—位移曲线，无法得到试件的抗压强度，因此需要减小试件尺寸，降低对加载设备的要求。根据GB/T 31387《活性粉末混凝土》规定，活性粉末混凝土立方体抗压强度试验的标准试件可采用100mm的立方体试件，本文件即参考该规定进行轴压试验构件尺寸的规定。

4.2对钢材材料的规定引用自JTG/T D64-01，GB/T 5313。

4.3对连接件材料的规定引用自GB/T 10433。

4.4条对钢筋材料的规定引用自JTG 3362。

4.5条对钢纤维材料的规定引用自GB/T 31387。

**5　构造**

“5.1 组合梁截面形式”

5.1 钢梁可采用工字形或槽形箱梁截面形式；超高性能混凝土桥面板宜采用平板。

规定组合梁常见的构造形式，以供设计人员参考。

“5.2 桥面板”

该条规定了超高性能混凝土桥面板的板厚标准：作为结构构件参与结构整体受力，板厚不得小于80毫米。该限值低于GB 50917中对常规混凝土桥面板规定的180mm，原因在于UHPC强度、延性、耐久性等指标相对于普通混凝土有明显提高，桥面板采用更小的厚度即可满足安全性要求，且能够降低材料用量，提高结构经济性，如果采用普通混凝土桥面板规定的最低限值不能够体现钢-超高性能混凝土组合梁的结构优势,因此在保证UHPC桥面板局部刚度的前提下，参考已有工程资料，减小了最小板厚的限值。

“5.3 桥面板配筋构造”

该条详细规定了超高性能混凝土桥面板的钢筋配筋构造标准。钢筋间距、接头布置构造参考JTG 3362规定，保护层厚度考虑到UHPC相比于普通混凝土微观结构更加致密，耐久性更强，且实际工程中构件尺寸一般较小，保护层厚度较大可能会影响内部配筋，因此保护层厚度限值缩减了5mm，以发挥UHPC的材料性能，同时适应工程设计。锚固长度根据JTG 3362第9.1.4条条文说明给出的公式计算得到并考虑安全冗余进行了一定地保守规定，例如HRB400配筋根据计算公式以及UHPC强度等级计算得到，最小锚固长度为5*d*~15*d*，考虑安装误差以及材料强度差异，偏保守地规定为16*d*。

“5.4 湿接缝”

该部分的规定主要涉及超高性能混凝土桥面板湿接缝的构造和处理。

5.4.2和5.4.3分别指出了不同类型湿接缝的构造要求。5.4.2提及了燕尾榫接缝的设计要求，包括榫头角度和预制桥面板钢筋处理，这有助于提高湿接缝的抗裂性能和连接稳定性，延长桥梁的使用寿命。

5.4.3则介绍了当湿接缝所受内力较小时可选用梳齿接缝的情况，其中对梳齿接槽的设计以及预制超高性能混凝土桥面板的处理进行了规定。这项规定提供了灵活的接缝设计方案，确保了桥梁结构在不同工况下的稳定性和安全性。

“5.5 焊钉”

5.5.1规定了在桥梁构造中应使用焊钉连接件，并应按照相关标准进行设计，以确保连接件的可靠性和安全性。不推荐使用GB 50917中第7章列举的开孔板连接件以及槽钢连接件，原因在于超高性能混凝土桥面板厚度较小，开孔板连接件及槽钢连接件构件尺寸较大，对桥面板整体性会造成较大的影响，同时施工难度大，不利于钢-超高性能混凝土组合梁的设计。

5.5.2规定了焊钉连接件的构造要求，包括连接件与超高性能混凝土桥面板之间的距离和保护层厚度。这些要求可防止腐蚀和提高连接的可靠性。指标在GB 50917中8.3.1条的基础上进行了一定的调整，其中，焊钉外边缘至桥面板边缘的最小距离与GB 50917一致，而焊钉顶面保护层厚度提高了5mm，焊钉外边缘与钢板边沿间距缩减了5mm，焊钉间距缩减了100mm，原因在于UHPC桥面板采用的焊钉连接件尺寸相比于普通混凝土桥面板，尺寸有明显区别（UHPC组合梁连接件高度一般为80~100mm，普通混凝土桥面板一般为150~170mm），因此为了满足剪力传递能力，剪力方向上单位长度的连接件数量高于普通混凝土桥面板，根据剪力验算结果，原本的间距规定不够保守，因此进行了一定调整。

5.5.4规定了焊钉连接件的抗剪刚度计算公式。保证焊钉连接件的稳定性和可靠性。

5.5.5确定了结合面滑移的限值，以限制连接件在使用过程中可能发生的位移，保证桥梁结构的稳定性和安全性。

**6 设计计算**

“6.2 作用效应”

当连接件符合指南时，无需考虑钢梁和超高性能混凝土桥面板之间的滑移效应。在公路钢-超高性能混凝土连续组合梁的整体分析中，超高性能混凝土桥面板采用开裂分析方法，中间支座两侧各0.15L范围内的截面刚度取开裂截面刚度，其余区段取未开裂截面刚度。超高性能混凝土桥面板收缩效应可按6.2.3规定计算，整体分析中可考虑超高性能混凝土的徐变影响，并采用有限元方法计算超静定结构中的效应。

“6.3 强度计算”

6.3.1规定的钢-超高性能组合梁抗弯承载力计算采用弹性计算方法，不推荐采用GB 50917中5.1节规定的塑性计算方法，原因在于实际设计时UHPC桥面板厚度一般较小，组合梁中和轴一般位于钢梁内部且偏低，且钢材强度等级一般较高，钢梁板件宽厚比一般不满足GB 50917中表5.1.1中规定的构造要求，不能适用塑性计算方法。

6.3.2规定了钢-超高性能组合梁负弯矩区抗弯承载力，根据相关试验结果，负弯矩区组合梁破坏时UHPC板已经全截面开裂，因此不考虑负弯矩区超高性能混凝土的抗拉贡献。

6.3.3条规定的钢-超高性能混凝土组合梁截面抗剪承载力计算方法直接引用GB 50917中5.2节内容，钢-超高性能混凝土组合梁竖向抗剪承载力计算偏安全地忽略超高性能混凝土桥面板对竖向抗剪承载力的贡献。

“6.4 稳定性计算”

规定钢梁稳定性验算宜按照符合JTG D64的有关规定。

“6.5 疲劳计算”

规定疲劳荷载选取宜符合JTG D64的相关规定；组合梁及连接件的疲劳验算宜符合JTG/T D64-01第7.4.2条的规定。

“6.6 应力计算”

规定在持久和短暂状况下，结构应力宜符合6.6.1和6.6.2的规定。

“6.7 裂缝计算”

对裂缝验算的方法和限值做出规定，可为工程设计验算提供依据。6.7.2条及表6规定的各类环境中超高性能混凝土最大裂缝宽度限值参考自JTG 3362，且由于超高混凝土内存在钢纤维防锈问题，裂缝宽度需要偏安全地规定，故对限值进行了下调。

“6.8 耐久性计算”

规定各构件耐久性设计分别符合JTG/T D64、JTG/T 3310、JTG/T D64-01和GB/T 31387的相关规定。

**7 施工**

“7.2超高性能混凝土制备”

超高性能混凝土工程的施工过程涉及到材料的供应、配比、搅拌等方面，对于材料的供应方式、贮存条件、配比、计量等都有详细的规定，以确保施工过程中材料的质量和稳定性。同时，对于现场拌合也有具体的要求，以确保超高性能混凝土结构的施工质量和性能。

干混料生产过程中，同一包装的原材料都是单独计量、生产并包装；如分盘搅拌，可能会因为干混料内原材料分布不均影响配合比，因此7.2.6规定同一包装的干混料宜一次搅拌完成。

超高性能混凝土的原材料种类多、用量相差较大，用水量小，对搅拌要求较高，宜使用专用的强制式搅拌设备。

钢纤维随机连续分布对超高性能混凝土受力性能十分重要，通过控制两次随机检测钢纤维含量的相对误差，以控制超高性能混凝土中纤维搅拌均匀。

构件厚度或高度较大时，可对构件不同厚度或高度处的超高性能混凝土拌合物的钢纤维含量的相对误差进行检测，以控制钢纤维下沉对超高性能混凝土性能的影响。

“7.3钢梁制造、运输和安装”

规定了钢梁的制造、包装、存放、运输和安装以及焊钉连接件的施工宜符合JTG/T 3651和JTG/T D64-01 的有关规定并对钢梁的表面清理和涂装提出了规定，保证钢结构施工质量。

“7.4组合梁预制、存放、运输、安装”

7.4.1、7.4.2规定了桥面板预制、存放场地条件以及运输宜符合JTG/T 3650的有关规定，保证预制桥面板制造，存储以及运输过程中不会出现明显损坏，导致结构性能出现缺陷。

7.4.3~7.4.5对组合梁吊装以及顶推施工宜符合的要求进行了规定，并规定了组合梁节段就位后简支变连续的体系转换过程中的施工措施，保证桥梁安装能够符合受力以及精度要求，保证结构能够正常使用。

“7.5现浇桥面板施工”

7.5.1规定了现浇桥面板施工时支架、模板安装、拆除时的施工措施，超高性能混凝土强度达到40 MPa以上，可保证超高性能混凝土梁体不会因脱模而损坏、断裂。

7.5.2~7.5.5对桥面板浇筑、养护过程进行了规定，超高性能混凝土热养护一般包括浇筑超高性能混凝土后的保湿养护与超高性能混凝土终凝后的热养护。保湿养护过程中，应加强巡查力度，发现有缺水部位时，应及时补水养护；发现养护膜有被风掀起或吹破的情况，应重新洒水，并恢复覆盖。热养护可通过蒸汽锅炉、蒸汽管道和热养护棚等设施实现。热养护过程一般分为升温、恒温、降温三个阶段。

7.5.6、7.5.7对现场纵、横向湿接缝的浇筑顺序以及养护条件进行了规定，保证湿接缝能够达到强度要求，防止薄弱部位发生破坏。

# 与现行相关法律、行政法规和其他标准的关系

本标准在制定过程中遵循了标准的一致性和协调性原则，制定的标准技术内容与JTG/T D64-01《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》、 JTG D60《公路桥涵设计通用规范》、 GB 50917《钢-混凝土组合桥梁设计规范》、JTG 3362《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》等行业内相关现行技术标准相互协调和支撑，与国家现行的法律法规和其它强制性国家标准能够协调一致，不存在交叉和矛盾。

注意，本规程虽与GB 50917《钢-混凝土组合桥梁设计规范》相互协调，但部分技术指标在GB 50917的基础上有所调整，以适应钢-超高性能混凝土（UHPC）组合梁的特点。例如，术语3.2“钢-超高性能混凝土组合梁”根据GB 50917术语2.1.1修改而来；6.3.3组合梁截面抗剪承载力，6.7.3正常使用极限状态下最大裂缝宽度等指标均直接采用GB 50917规定方法；抗压强度标准值确定时使用的试块尺寸由于考虑UHPC强度普遍较高，采用GB 50917规定的150mm尺寸试件以及常规的轴压试验装置可能无法通过试验破坏试件，从而无法得到准确的抗压强度，故采用100mm尺寸试件；抗弯承载力由于UHPC材性与普通混凝土不同，不采用GB 50917规定的塑性计算方法。

没有与本标准相关联的强制性国家标准。

# 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。

# 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。

桥梁建设的各设计单位、施工单位是本《指南》服务的主体，为确保其准确理解和掌握，《指南》发布后将向服务主体进行推广和宣传，推动《指南》的落地实施。预计此项工作需要1个月的时间。

# 其他需要说明的内容

1.实施效益分析

桥梁结构的建设工作是我国交通基础设施的重心之一，具有显著的社会和经济效益。本《指南》对于推广钢-超高性能混凝土的应用，保障相关工程的安全性和耐久性，延长桥梁结构使用年限等，具有重要的实际指导意义。因此该成果有广泛的应用前景，今后将加强技术宣传和科技服务，继续科技攻关，推广该项成果的应用。

2.名称变更说明

根据初稿审查会专家意见：鉴于本标准主要适用于公路桥梁的钢-混凝土组合梁的设计和施工，建议《指南》原名称由《钢-超高性能混凝土组合桥梁设计与施工指南》修改为《公路钢-超高性能混凝土组合梁设计与施工指南》。

提出部门：山东省交通运输厅

2025年7月