

# 《高韧性预制混凝土薄构件技术规程》 (征求意见稿) 编制说明

## 一、工作简况

### (一) 任务来源

本规程由四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、四川省公路院宏途新材科技有限公司提出，邀请四川省川交公路工程咨询公司、四川交通职业技术学院等单位参加，经中国技术市场协会（中技协字【2024】23号）批准，正式列入2024年团体标准计划，标准名称为《高韧性预制混凝土薄构件技术规程》。

### (二) 项目背景

本规程是积极落实党中央、国务院、国家发改委、市场监管总局产业发展相关要求，推动经济体系优化升级，为更好的规范和指导产业集成和技术服务的现代化水平，完善产业的质量体系而特别提出。

我国城市道路气体、液体、电缆等管网密布，公路隧道、路基边沟电缆及排水沟盖板数量巨大；城市建筑外立面、高速公路服务区、隧道墙体、城市道路下穿道和地铁等墙砖数量巨大。城市绿化带及人行道及道路与公路边沟盖板、城市建筑及下穿道与地铁墙砖等，采用钢筋混凝土盖板和陶瓷砖板等部件，存在重量大、检修翻转困难、容易损坏，材料消耗和造价高，碳排放量与环境污染严重等问题，不符合低碳节约的理念，不满足结构工程易检查、易维修、易更换的长寿命使用需要。

普通混凝土脆性大、韧性差、开裂荷载低，混凝土构件需要配置钢筋，以提高开裂荷载和极限承载能力，作为钢筋混凝土构件，因构造最小厚度、极限承载能力和耐久性需要，隧道边沟盖板、隧道排烟通道隔板、路基边沟盖板、水沟水渠盖板等构件，设计厚度超80mm、重量超过80kg/块，边沟电缆检修、水沟排污疏浚时，盖板返修困难，破损严重，平均使用寿命不足9年，材料消耗和经济损失巨大。

### (三) 目的意义

本规程是积极落实党中央、国务院、国家发改委、市场监管总局产业发展相关要求，推动经济体系优化升级，更好的规范和指导

产业集成和技术服务现代化水平，完善产业质量体系而特别提出。

根据四川省交通运输科技项目高韧性混凝土研究成果，提出了采用高韧性混凝土制造和生产工程结构预制盖板、路基边沟和隧道边沟盖板、墙体装饰墙砖等。根据已经开展的研究和依托工程制作的产品，高韧性混凝土预制轻薄板件，其最小厚度薄至 2mm，工程盖板最大厚度一般不超过 50mm、隧道电缆沟盖板最大厚度不超过 25mm、墙砖最大厚度仅为 10mm，使用寿命从平均不到 10 年提升至 100 年以上，重量减轻 55%以上，且高韧性预制件的色彩可以根据用户需求和环境景观需要而设计。相同技术要求的产品，可节约砂石资源约 55%，利用废固材料生产的制品，更是解决了废固材料严重污染和工程建设资源缺乏的双向难题，既保护了环境、又降低了碳排放。

通过隧道工程、路基工程和城市道路工程应用，获得用户广泛认同，本技术已经在公路、建筑、水电大坝等工程广泛应用。2021 以来，四川省公路规划勘察设计研究院有限公司组织开展了混凝土韧性材料与结构技术开发，取得了大量成果。2022 年，四川省公路院宏途新材科技有限公司组织开展了高韧性混凝土部件生产工艺和质量保证体系建设研究，实现公路盖板不需要配置钢筋而弯拉强度高、抗疲劳寿命长、厚度小于 25mm、重量轻的目标要求，该产品从材料、结构、生产和安装等全产业链，均是低碳、环保、可持续发展的新型产品，并经过自动化生产流水线建设。目前，该产品的工程应用生产超过 50 万块，积累了成熟的工艺工法技术。因此，制订该规范，将极大促进公路工程、水电工程、铁路工程、城市道路、工程建筑等工程高质量的发展。

#### （四）起草单位及起草人名单

本规程起草单位：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、四川省公路院宏途新材科技有限公司、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX。

本规程主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

#### （五）主要起草过程

##### 1. 规程调研

《高韧性预制混凝土薄构件技术规程》编制工作于 2023 年 10

月启动了规范文本的调研工作，并与 2023 年 12 月完成了相关资料的收集、分析和整理工作，提出了制订《高韧性预制混凝土薄构件技术规程》的计划。

## 2.标准立项

经过调查研究，总结相关科研成果，提炼工业生产工艺、技术特点和未来发展前景，四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、四川省公路院宏途新材科技有限公司向中国技术市场协会提出了制订《高韧性预制混凝土薄构件技术规程》的申请，经过审查和论证，2024 年 3 月 28 日，中国技术市场协会（批准文函，中技协字【2024】23 号）批准立项，项目承担单位赓即开展了相关编制工作。

## 3.组建标准起草工作组

2024 年 4 月 14~16 日，经过初步协商，编制单位确定了编制组各单位牵头负责人和编制组组成人员名单。本规程编制工作的牵头人为四川省公路规划勘察设计研究院有限公司正高级工程师牟廷敏，各单位负责人为：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司高级工程师康玲、范碧琨，四川省公路院宏途新材科技有限公司高级工程师徐屹，四川省川交公路工程咨询公司高级工程师汪洋，四川交通职业技术学院讲师倪春梅，代表单位负责规程起草工作组的技术资源、人力资源、设备资源等调配组织工作，并召开项目启动会。

2024 年 5 月 12~13 日，编制组根据近 30 天的反复磋商和思考，再次论证了规程调研工作成果和编制大纲，反复论证了制订规程的思路。

2024 年 6 月 13~20 日，编制组论证了编制大纲和提交中国技术市场协会咨询的规程草案。

2024 年 7 月 25 日，中国技术市场协会主持，对本规程启动工作及相關准备工作进行了审查，提出了相关指导意见。

## 4.形成规程草案

2024 年 8 月 5~8 日，编制组对资料收集情况进行汇报，共同进行了座谈讨论交流，项目组根据座谈交流意见，进一步分析整理了调研成果。

2024 年 8 月 22~24 日，编制组开展组内讨论，确定了规程框架和主要内容，形成了规程讨论稿。

2024 年 10 月 12~13 日，编制组对起草的规程初稿进行集中逐

条讨论、修改完善，形成了规程草案初稿。

2024年12月20~24日，编制组对承担的中国技术市场协会四本规程的内容进行了梳理、论证和调整，确保本次制订的规程与相关标准、规范、规程和指南的融合互补，修改完善后形成了规程草案。

### 5.形成征求意见稿

2025年1月8~12日，编制组集中对规程草案进行讨论，对规程草案内容进行了再次修改完善，形成了规程征求意见稿。

## 二、确定标准主要内容的论据

### （一）编制原则

本规程按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化规程的结构和起草规则》以及《中国技术市场协会团体标准工作程序》的规定起草。

### （二）标准主要内容及适用范围

根据桥梁隧道、路基边沟、建筑工程、铁路工程、水电工程、市政工程等土木工程需要部件的分析、设计、试验、制造和检验等研究，确定了采用高韧性混凝土部件代替钢筋混凝土部件、钢质部件时，更安全、更适用、更经济、更环保、更美观等成果，为制订规程奠定了技术基础。本规范规定了高韧性预制混凝土薄构件范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、材料、极限状态计算、构造、制造与安装、质量检测验收等内容。

本规范适用于：（1）桥梁组装板件，隧道边沟、隧道平导隔板，路基边沟、城市水沟、边沟水篦子、轨道交通检修疏散平台、电站排水渠等轻薄盖板。（2）道路声屏障、隧道分隔板、建筑外墙挂板、建筑顶棚膜、城市道路和办公生活区的休闲空间建筑等轻薄板。（3）公路与城市道路纵横向排水管，输电电杆、信号机柱、公路与城市管涵、墩柱连接外套管等轻量管件。（4）用于桥梁、隧道、路基、边坡等承载的轻量小梁。

### （三）确定标准主要内容的论据

#### 1、工作基础依据

完成了四川交通运输科技项目高韧性混凝土制备与制造研究等科研项目，形成了高韧性混凝土材料、结构和工艺专题研究成果。开展了桥梁工程、铁路工程、市政工程、水电工程等土木工程盖板

国际使用现状、技术指南和科研成果调查，形成了专题研究报告。开展了隧道和路基边沟盖板使用现状、技术指南和科研成果调查，形成了专题研究报告。开展了盖板、水篦子、墙砖等产品的生产制造与质量保证研究，开展了产品构件力学行为与力学机理研究，建立了高韧性轻薄预制构件极限承载能力和正常使用计算方法，开展了高韧性预制构件疲劳、收缩徐变等试验研究，揭示了构件力学行为及计算方法，通过试验数据和力学与材料特性，评估了产品使用寿命大于 100 年。建立了高韧性预制混凝土薄构件专用生产线，已经生产产品超过 50 万件，形成了产品生产流程和工法，建立了质量检查验收的技术指标。

## 2、关键技术问题

为科学制定本规范，需要追踪国内城市道路、城市建筑和公路工程建造实际，结合低碳可持续技术发展趋势，总结既有成果，广泛开展调查总结和提升，建立高韧性混凝土预制件的术语、材料性能指标、板件结构构造、承载能力计算方法、工艺工法流程、质量保证装备与评估指标，形成一套完成的技术体系，制订具有地方特色的规范，同时，确保技术规范的适用性、先进性、引领性，为城市道路和高速公路建造现代化提供支撑。

## 3、技术依据与特色

本规程的主要技术特色为：

### (1) 提出了高韧性混凝土韧性指数的判断标准和计算方法

根据高韧性混凝土井盖试验力学行为对比分析，结合弹性力学、断裂力学基本概念，韧性指数的试验和计算方法，建立了高韧性混凝土韧性指数的计算方法为：①以相同配合比的普通混凝土作为基准组，进行抗折试验，记录其极限荷载作为混凝土材料的开裂荷载  $F_{cr}$ ；②对采用增韧技术的混凝土进行抗折试验，记录加载过程的完整“荷载-位移”曲线  $f(w)$ ；③在“荷载-位移”曲线中标记出  $F_{cr}$  对应的位移  $\delta$ ，求得由坐标零点至点  $(\delta, F_{cr})$  对应的面积  $S_0$ ，即达初裂条件时混凝土试件吸收的能量。④在“荷载-位移”曲线中标记  $3\delta$ 、 $5.5\delta$ 、 $10.5\delta$  对应的荷载  $F_5$ 、 $F_{10}$ 、 $F_{20}$ ，并求得由坐标零点至  $(3\delta, F_5)$ 、 $(5.5\delta, F_{10})$ 、 $(10.5\delta, F_{20})$  对应的曲线下覆面积  $S_5$ 、 $S_{10}$ 、 $S_{20}$ ，即混凝土试件达初裂条件后继续承载、变形过程中吸收的能量。⑤采用  $S_5$ 、 $S_{10}$ 、 $S_{20}$  分别除以  $S_0$  得到  $I_5$ 、 $I_{10}$ 、 $I_{20}$ 。

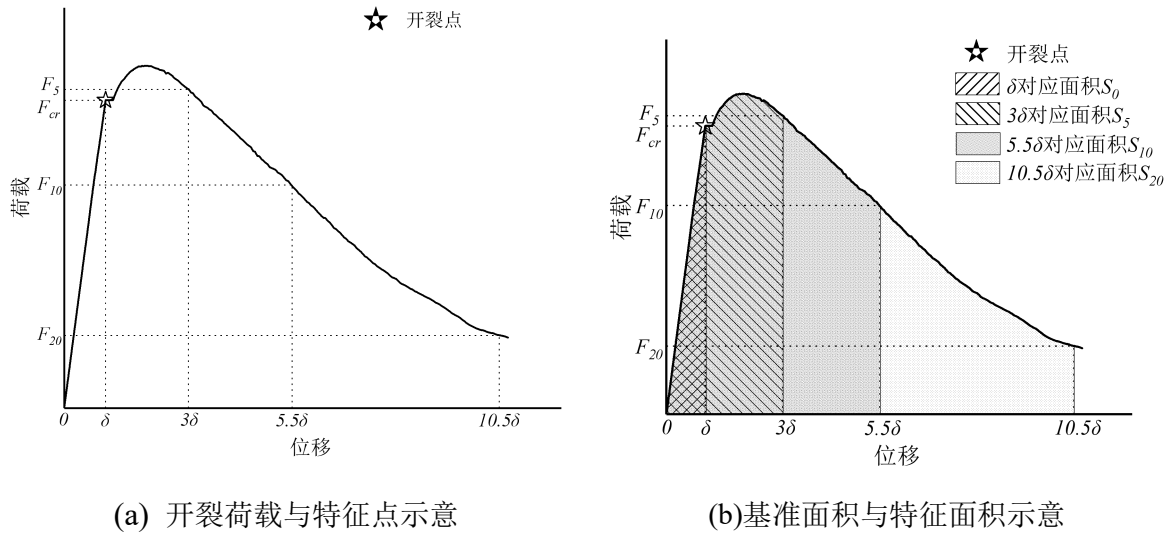


图 1 韧性指数计算图示

## (2) 建立了高韧性混凝土韧性级别标准

混凝土 28 天龄期时,韧性指数  $I_{20} \geq 3.0$  时,统称为高韧性混凝土。高韧性混凝土制备设计时,采用不同程度的增韧技术,其韧性指数不同,并呈现不同抗弯荷载-位移曲线,据此将高韧性混凝土划分为  $T_3$ 、 $T_8$ 、 $T_{20}$  三类,其主要力学特征符合下列要求: ①  $T_3$  高韧性混凝土,通过合理的增韧技术,使混凝土 28 天龄期韧性指数  $I_{20} \geq 3.0$ ; 抗弯荷载-位移曲线具有明显的弹性阶段、屈服阶段和至少二阶破坏阶段等三个阶段; ②  $T_8$  高韧性混凝土,通过合理的增韧技术,使混凝土 28 天龄期韧性指数  $I_{20} \geq 8.0$ ; 抗弯荷载-位移曲线具有明显的弹性阶段、屈服阶段、强化阶段和二阶破坏阶段等四个阶段。③  $T_{20}$  高韧性混凝土,通过综合增韧技术,使混凝土 28 天龄期韧性指数  $I_{20} \geq 20.0$ ; 抗弯荷载-位移曲线具有明显的弹性阶段、屈服阶段、强化阶段和接近线形破坏阶段等四个阶段。

$T_3$  高韧性混凝土开裂后存在明显下降段,并在下降段后仍表现出部分承载力,破坏阶段表现为快速降低、缓慢降低和彻底丧失承载能力三阶段,而不会出现脆性断裂。

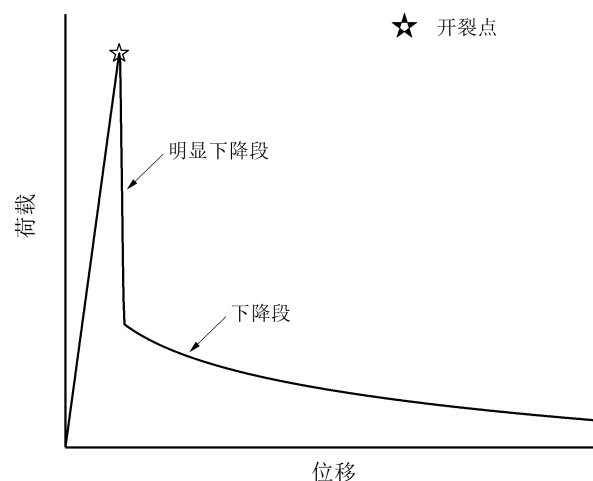


图2 T<sub>3</sub>高韧性混凝土荷载-位移曲线示意

T<sub>8</sub>高韧性混凝土开裂后，其荷载会短暂下降，而后荷载上升，呈现出一定的“强化”特征，荷载第二次达峰值后才开始出现下降段，下降破坏阶段表现为快速降低、平缓降低和彻底丧失承载能力三阶段，而不会出现脆性断裂。

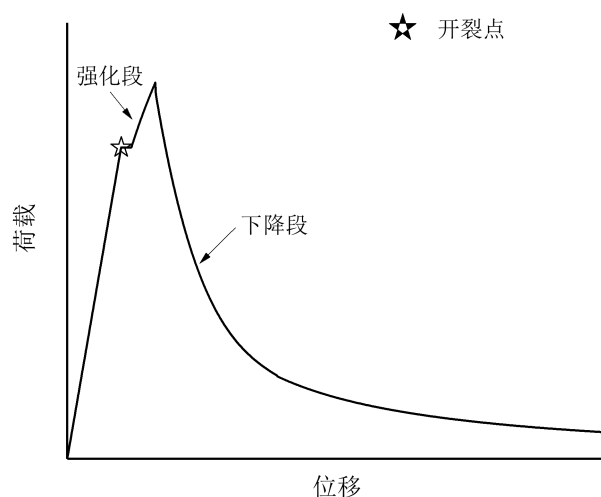


图3 T<sub>8</sub>高韧性混凝土荷载-位移曲线示意

T<sub>20</sub>高韧性混凝土开裂后，荷载持续上升，并且强化段至峰值荷载段相对平滑，破坏下降段平滑、缓慢，接近线形丧失承载能的趋势，为接近线形的破坏阶段。

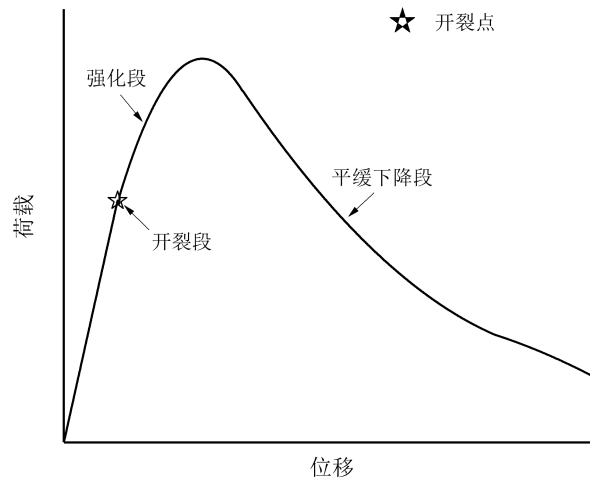


图 4 T<sub>20</sub> 高韧性混凝土荷载-位移曲线示意

### (3) 提出了高韧性混凝土实现的技术途径

高韧性混凝土预制构件混凝土高韧性指数  $T_3$ 、 $T_8$ 、 $T_{20}$  实现的技术途径包括聚合物增韧技术、混杂纤维增韧技术和保湿养护增韧技术。聚合物增韧技术包括开发的专用增韧聚合物产品、增韧减水剂和基于额定粉体含量密实骨架堆积理论的配合比设计技术。纤维增韧技术包括建立了有机纤维增韧、钢纤维增韧和不同规格有机纤维、钢纤维混杂实现增韧技术。保湿养护增韧技术包括保湿湿度确定、保湿最佳龄期和保湿与养护温度耦合复合增韧技术。

(4) 提出了高韧性预制混凝土轻薄盖板、轻薄板、轻量管件、轻量小梁等结构部品定义和制作技术：

**轻薄盖板：**采用高韧性混凝土预制生产最小厚度为 15mm、最大长厚比 $<55$ 、可承受人群和汽车荷载的板件。

**轻薄板：**采用高韧性（或超高韧性）混凝土预制生产最小厚度为 2mm、最大长厚比 $<65$ 的隔烟、隔声、隔气和保温的板件。

**轻量管件：**采用高韧性混凝土预制生产最大径厚比为 30、管径  $10\text{mm}<D<3000\text{mm}$  的空心管结构。

**轻量小梁：**采用高韧性混凝土预制生产高跨比 $\geq 1/50$ 、宽跨比 $\geq 1/60$ 的先张法直线预应力小梁构件。

**预制件：**采用韧性混凝土、高韧性混凝土、超高韧性混凝土预制的轻薄盖板、轻薄板、轻量管件、轻量小梁构件。

根据四川省公路院宏途新材科技有限公司建设的轻薄盖板、轻薄板等构件自动化生产线建设，提出了高韧性混凝土原材料、材料质量控制、拌合生产、养护脱模、转运等全过程生产线。建立了质量保证体系、产品质量检查验收程序和控制指标。已经生产超过 40



万块的板件表明，生产制作预制件的技术可靠可行。

### **三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果**

为了高质量制订该规程，2021 年，四川省公路院宏途新材料科技有限公司和四川省公路规划勘察设计研究院有限公司设立专项科研资金，经过三年研究，形成了专题研究报告。该规程征求意见需要的主要试验情况分析、技术论证、预期经济效果等内容，详见《超高性能混凝土技术开发与产业化技术研究报告》的相关内容，该报告已经邀请国内专家验收通过。

### **四、采用国际标准和国内外先进标准的程度**

本规程为首次自主制定，参考了 JTG B01 公路工程技术标准、JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范、GB5001 钢结构设计规范、JTG D60 公路桥涵设计通用规范、JTG D81 公路交通安全设施设计规范、JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范、JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范、JTG 472 钢纤维混凝土、JG/T484-2015 室内外陶瓷墙地砖通用技术要求、DB51/T 1995-2015 机制砂桥梁高性能混凝土技术规程、SCG F51—2010 桥梁高性能混凝土制备与应用技术标准、CECS 38:2004 纤维混凝土结构技术规程等国家、行业、团体标准相关内容要求。本规程不涉及国际国外标准的采标情况。

### **五、重大分歧意见处理经过及依据**

本规程在制定过程中未出现重大分歧意见。

### **六、与现行相关法律、法规及相关标准的协调性**

本规程符合国家现行法律、法规和强制性国家标准的要求，本规程内容相对独立，未见与本规程内容相同的技术标准、规程、指南等，与国内相关标准的内容不重复、不矛盾。

### **七、知识产权情况说明**

本规程不涉及必要专利等知识产权问题。

### **八、其他应予说明的事项**

无。

《高韧性预制混凝土构件技术规程》

团体标准起草组

2025 年 3 月 6 日