

ICS 91.100.30
CCS Q 14

团 体 标 准

T

T/TMAC ×××—2025

高韧性预制混凝土薄构件技术规程

Technical specification for high-toughness concrete thin prefabricated members

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人均可提出制修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本规程实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本规程著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本规程开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲 23 号城乡华懋大厦 12 层 1217 室。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	3
5 材料	4
5.1 水泥	4
5.2 集料	4
5.3 矿物掺合料	4
5.4 纤维	5
5.5 拌和用水及外加剂	5
5.6 高韧性混凝土	6
5.7 钢筋和钢材	6
6 极限状态计算	6
6.1 一般规定	6
6.2 极限承载能力计算	7
7 构造	12
7.1 一般规定	12
7.2 轻薄盖板盖板	12
7.3 轻薄板	12
7.4 轻量管件	13
7.5 轻量小梁	13
7.6 其它构件	13
8 制造与安装	13
8.1 一般规定	13
8.2 制造	13
8.3 养护与运输	14
8.4 高韧性灌浆料预制件生产	14
8.5 安装	14
9 质量检查验收	14
9.1 基本规定	14
9.2 质量验收项目	15
9.3 报检项目	16
参考文献	17

前 言

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

本文件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料科技有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会归口管理。

本文件起草单位：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料科技有限公司、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

引 言

为了促进公路工程、城市道路、水利工程、建筑工程、城市公园技术服务的高质量发展，实现标准化、装配化、产业化的发展目标，根据四川交通运输科技项目成果和企业自主科研项目成果，特制定本规程。

本规程提出了术语、材料、极限状态计算、构造、制造与安装、质量检查验收等技术内容，用于指导高韧性混凝土薄板及高韧性混凝土轻量化的管、柱、梁等构件的生产应用。

本规程主要应用市场包括以下几个方面：

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。

高韧性预制混凝土薄构件技术规程

1 范围

本规程规定了高韧性混凝土预制轻薄构件材料、极限状态计算、构造、制造与安装、质量检查验收等要求。

本规程适用于高韧性混凝土轻薄构件设计、预制、安装与质量检查验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB50017 钢结构设计规范
 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
 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/T 484-2015 室内外陶瓷墙地砖通用技术要求
 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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

韧性指数 toughness index

通常表示为试件在继续承受荷载时吸收的能量与达到初裂条件时能量之比。

注：韧性指数用于评价混凝土在裂缝出现后继续承受荷载的能力。

根据力学原理，结合试验数据，韧性指数计算方法为：

(1) 以相同配合比、不采用增韧技术制备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) 对采用增韧技术增韧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 δ ，求得由坐标零点至点 (δ, 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 3δ 、 5.5δ 、 10.5δ 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} 。

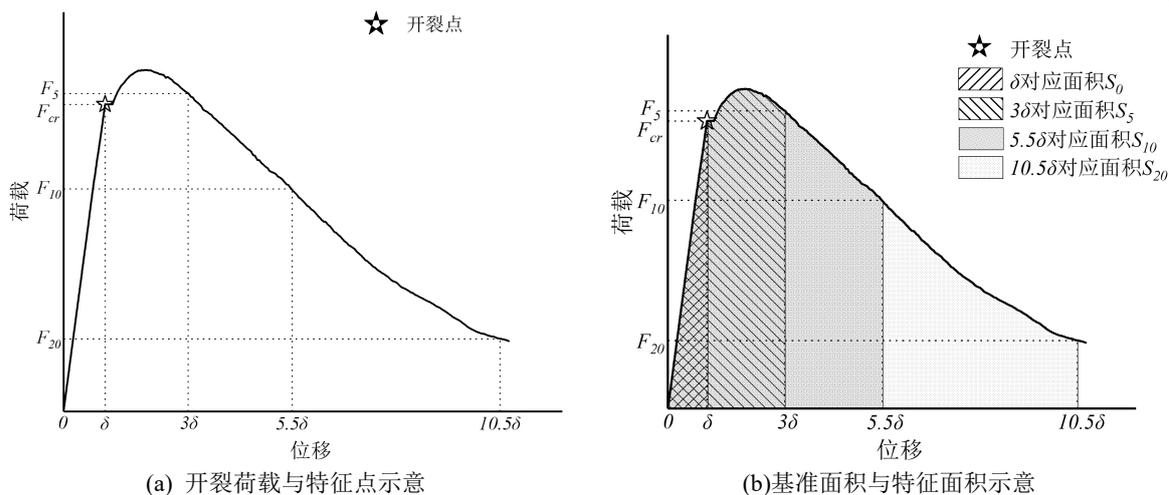


图1 韧性指数计算图示

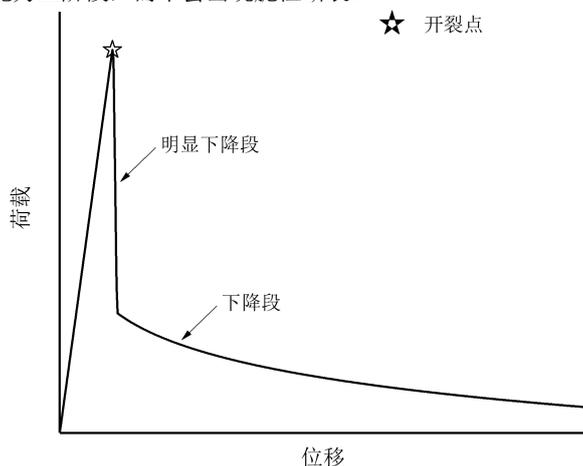
3.2

高韧性混凝土 high-toughness concrete

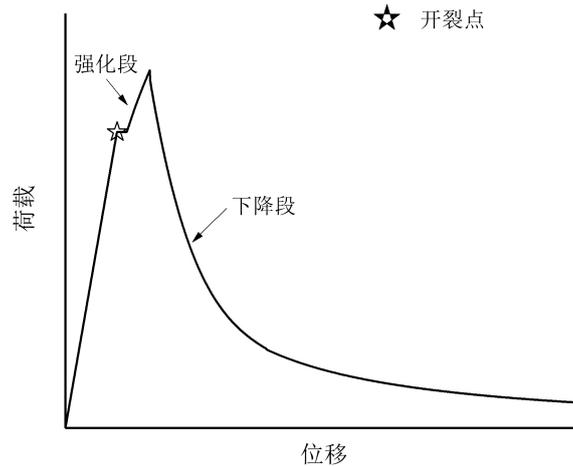
混凝土 28 天龄期时，韧性指数 $I_{20} \geq 3.0$ 时，统称为高韧性混凝土。高韧性混凝土制备设计时，采用不同程度的增韧技术，其韧性指数不同，并呈现不同抗弯荷载-位移曲线，据此将高韧性混凝土划分为 T₃、T₈、T₂₀ 三类，其主要力学特征满足下列要求：

- T₃ 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。
- T₈ 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。
- T₂₀ 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。

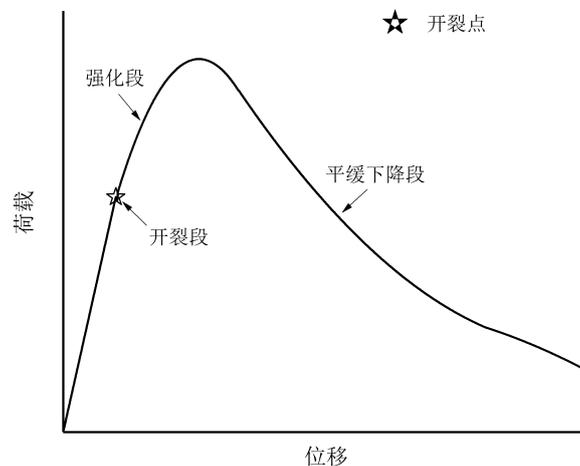
注：T₃ 高韧性混凝土开裂后存在明显下降段，并在下降段后仍表现出部分承载力，破坏阶段表现为快速降低、缓慢降低和彻底丧失承载能力三阶段，而不会出现脆性断裂。

图2 T₃高韧性混凝土荷载-位移曲线示意

T₈ 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 T₈高韧性混凝土荷载-位移曲线示意

T₂₀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趋势，为接近线形的破坏阶段。

图4 T₂₀高韧性混凝土荷载-位移曲线示意

3.3

轻薄盖板 thin and light cover plate

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。

3.4

轻薄板 thin and light board

采用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。

3.5

轻量管件 lightweight pipe fittings

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。

3.6

轻量小梁 lightweight small beam

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。

3.7

预制件 prefabricated component

采用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。

4 总则

4.1 为规范高韧性混凝土预制件的设计、施工和验收，确保设计与施工质量满足安全可靠、适用

耐久、经济合理、绿色低碳要求，特制定本规程。

- 4.2 高韧性混凝土预制件，应以概率理论为基础的极限状态设计法，进行以下两类极限状态设计：
- 承载能力极限状态：对应于预制件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位的状态。
 - 正常使用极限状态：对应于预制件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态。
- 4.3 高韧性混凝土预制件，应根据不同种类的作用（荷载或所处的环境条件）对结构的影响，考虑以下状况进行相应的极限状态设计：
- 持久状况：承受自重、活荷载的状况，应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。
 - 短暂状况：承受临时性作用的状况。应进行承载能力极限状态设计，必要时进行正常使用极限状态设计。
- 4.4 高韧性混凝土预制件设计使用年限应为 100 年。
- 4.5 高韧性混凝土预制件设计、预制、安装和验收等，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业和团体有关标准的规定。

5 材料

5.1 水泥

5.1.1 选用的普通硅酸盐水泥应符合下列要求：

- 水泥中 C_3A 含量一般不宜超过 8%；
- 水泥细度（比表面积）不宜超过 $350m^2/kg$ ；
- 游离氧化钙不得超过 1.5%；
- 氯离子含量不得超过水泥质量的 0.06%；
- 水泥含碱量不宜超过水泥质量的 0.6%，混凝土内总含碱量（包括所有原材料）不得大于 $3.0kg/m^3$ 。

5.1.2 水泥入场后应按品种、标号、厂家、出厂日期分别存放，同时，应采取防潮措施保存。

5.1.3 水泥应分批检验，质量应稳定，若存放期超过 3 个月应重新检验各项质量控制指标。

5.1.4 水泥使用时温度不宜超过 $55^\circ C$ 。

注：水泥温度过高，吸附外加剂的能力强，水泥水化速度快，混凝土坍落度损失大，影响其工作性能。

5.2 集料

5.2.1 集料应选择质地坚硬、级配良好的人工集料、石英砂、高品质再生集料等，并应满足下列规定：

- 集料由最大粒径小于 4.75mm 的细集料和 4.75mm~9.5mm 的粗集料两级配组成，细集料细度模数宜为 2.3~3.5。
- 细集料含泥量不应大于 2.0%，泥块的含量不应大于 1.0%。
- 当采用机制砂时，石粉含量不宜大于 7.0%。

5.2.2 预制构件厚度小于或等于 25mm 时，集料最大粒径宜小于或等于 4.75mm；预制构件厚度大于 25mm 时，集料最大粒径宜小于或等于 9.5mm。

5.2.3 应对集料进行碱活性检测，并应符合相应规范要求。

5.3 矿物掺合料

5.3.1 高韧性混凝土的掺合料宜采用 I 级粉煤灰，条件受限时可采用 II 级粉煤灰，其技术性能应符合（表 1）要求。

表 1 粉煤灰技术性能指标

项 目		级别及技术性能指标	
		I 级	II 级
细度（ $45\mu m$ 方孔筛筛余）（%） ≤	F 类粉煤灰	12	25
	C 类粉煤灰		

项 目		级别及技术性能指标	
		I 级	II 级
需水量比 (%) ≤	F 类粉煤灰	95	105
	C 类粉煤灰		
烧失量 (%) ≤	F 类粉煤灰	5.0	8.0
	C 类粉煤灰		
含水量 (%) ≤	F 类粉煤灰	1.0	
	C 类粉煤灰		
三氧化硫 (%) ≤	F 类粉煤灰	3.0	
	C 类粉煤灰		
游离氧化钙 (%) ≤	F 类粉煤灰	1.0	
	C 类粉煤灰	4.0	

5.3.2 当采用粒化高炉矿渣、硅灰、矿粉等其它矿物掺合料时，其性能指标应符合相应的规范要求，或通过专题试验研究确定。

5.4 纤维

5.4.1 纤维种类、纤维掺量、混杂纤维掺配比例应与设计构件的抗压、抗拉、抗折强度相匹配。

5.4.2 钢纤维的技术性能应满足下列要求：

- 宜采用多锚固点的碳素冷拔钢丝切断型，表面应有明显的压痕；其长度宜为 30mm～35mm，直径或等效直径为 0.6mm～0.9mm，抗拉强度大于 600MPa。
- 表面不得有锈蚀、油污等杂质。加工不良的粘连片、铁屑等杂质含量不得超过总重量的 1.0%。
- 长度、直径偏差不应超过长度直径公称值的±10%，长径比偏差不应超过±15%，每根重量不应超过公称重量值的±15%。
- 应具有良好的外形，形状合格率不应低于 90%。
- 应具有良好的弯折性能，能承受 1 次弯折 90° 而不断裂。
- 在混凝土中不应变“V”形、不结团，具有良好分散性。

注：采用合理的钢纤维掺量和短粗纤维形状，是避免钢纤维在混凝土拌合时成团的技术途径。试验研究表明，多锚固点且带压痕的钢纤维，其锚固强度高、粘结性能好。

5.4.3 镀铜微丝钢纤维的技术性能应满足下列要求：

- 镀铜微丝钢纤维长度 12mm～14mm，直径 0.20mm～0.22mm，抗拉强度大于或等于 2750Mpa；
- 镀铜微丝钢纤维直径容许误差±0.02mm，长度容许误差±10%；
- 镀铜微丝钢纤维反复弯曲大于 125 次、扭转大于 60 次。

5.4.4 镀铜弧丝钢纤维的技术性能应满足下列要求：

- 镀铜弧丝纤维长度 12mm～14mm，直径 0.18mm～0.33mm，抗拉强度大于或等于 2750Mpa；
- 镀铜弧丝纤维直径容许误差±12%，长度容许误差±10%。

5.4.5 聚丙烯腈纤维的技术性能应满足下列要求：

- 应具有良好的亲水性能，且在水中能够均匀分散；
- 采用直径 12 μm～15 μm，长度为 6mm～12mm，抗拉强度大于或等于 800MPa，弹性模量 7.0GPa～9.0GPa；

5.5 拌和用水及外加剂

5.5.1 拌和用水中的氯离子含量不得大于 200mg/L。

5.5.2 采用的外加剂应符合下列要求：

- 高韧性混凝土应采用减缩、增韧和高效减水保塑的聚羧酸系减水剂，其减水率不宜低于25%，应对混凝土和纤维无害；
- 减水剂供应厂商应提供产品的减水率、推荐掺量、氯离子含量、含碱量和使用注意事项；
- 减水剂中的氯离子含量不得大于混凝土中胶凝材料总量的0.02%，硫酸钠含量不宜大于减水剂干重的15%；
- 不得使用含有氯化钠、氯化钙等氯盐的外加剂，不宜使用早强剂。

5.6 高韧性混凝土

5.6.1 T_3 高韧性混凝土强度等级宜大于或等于C70、抗折强度应大于或等于6MPa、抗弯拉强度大于或等于4MPa、韧性指数 I_{20} 大于或等于3，且宜具有补偿收缩功能。

5.6.2 T_8 高韧性混凝土强度等级宜大于或等于C70、抗折强度应大于或等于10MPa、抗弯拉强度大于或等于7MPa、韧性指数 I_{20} 大于或等于8，且宜具有补偿收缩功能。

5.6.3 T_{20} 高韧性混凝土强度等级宜大于或等于C70、抗折强度应大于或等于18MPa、抗弯拉强度大于或等于15MPa、韧性指数 I_{20} 大于或等于20，且宜具有补偿收缩功能。

5.6.4 高韧性混凝土性能指标应满足下列要求：

- 力学性能：应满足设计要求。
- 体积稳定性能：混凝土自由膨胀率宜大于0。
- 工作性能：各项指标应满足坍落度大于或等于150mm、扩展度大于或等于400mm，初凝时间大于或等于2h。

5.6.5 高韧性混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 、轴心抗压强度设计值 f_{cd} 、高韧性混凝土的轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 、轴心抗拉强度设计值 f_{td} 、弹性模量 E_c 应按表2采用。剪切模量 G_c 可按表2中弹性模量 E_c 的0.4倍采用，高韧性混凝土的泊松比 μ_c 可采用0.26。

表2 高韧性混凝土强度和弹性模量

单位为MPa

混凝土强度等级		C70	C80	C90	C100	C110	C120	C130	C140	C150
标准值	轴心抗压 f_{ck}	44.5	50.2	60.2	66.9	73.6	80.3	86.9	93.6	100.3
	T_3 轴心抗拉 f_{tk}	4.5		5.0		5.6		6.1		
	T_8 轴心抗拉 f_{tk}	6.5		7.1		7.5		8.1		
	T_{20} 轴心抗拉 f_{tk}	9.4		9.8		10.2		10.8		
设计值	轴心抗压 f_{cd}	30.5	34.6	41.5	46.1	50.7	55.3	60.0	64.6	69.2
	T_3 轴心抗拉 f_{td}	3.1		3.4		3.8		4.2		
	T_8 轴心抗拉 f_{td}	4.5		4.9		5.2		5.6		
	T_{20} 轴心抗拉 f_{td}	6.5		6.8		7.1		7.4		
弹性模量 E_c ($\times 10^4$)		3.77	3.88	3.91	3.98	4.08	4.12	4.19	4.22	4.26

5.7 钢筋和钢材

5.7.1 钢筋、预应力钢筋和钢材的设计指标等应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG3362)和《公路钢结构桥梁设计规范》(JTGD64)的规定。

5.7.2 钢筋种类、配筋率等指标的确定，应与设计构件的抗压、抗拉、抗折强度相匹配。

6 极限状态计算

6.1 一般规定

6.1.1 高韧性混凝土预制件，其截面高厚比、高宽比应满足本规程要求。

6.1.2 高韧性混凝土预制件，应采用静力方法进行强度、刚度分析。

6.1.3 高韧性混凝土预制件的冲击系数 μ ，应按下列规定取值：

- a) 承受设计时速 $\geq 30\text{km/h}$ 的汽车荷载，冲击系数 $\mu = 0.3$ 。
- b) 承受设计时速 $< 30\text{km/h}$ 的汽车或人行荷载，冲击系数 $\mu = 0.05$ 。

6.1.4 承载能力极限状态计算时，构件的安全等级应为一级，构件承载能力极限状态计算应按公式 (1) 确定。

$$\gamma S \leq R \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 S — 用效应的组合设计值；
 R — 构件承载力设计值；
 γ — 构件的重要性系数。

6.2 极限承载能力计算

6.2.1 高韧性混凝土预制件，正截面抗弯计算承载力宜按下列规定计算：

a) 未配置钢筋、预应力钢束的矩形截面受弯构件，其正截面抗弯承载力计算应符合以下规定：

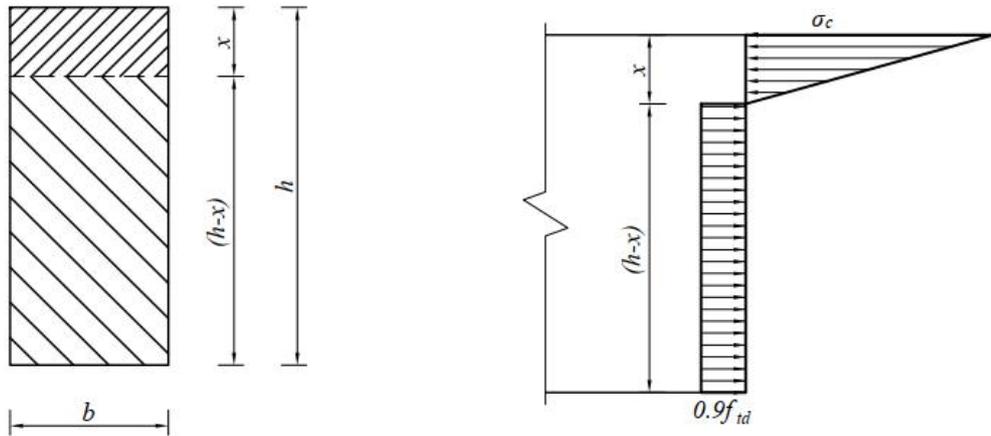


图 5 未配置钢筋、预应力钢束的矩形截面受弯构件受弯承载力计算

$$M_u = k f_{id} b (h-x) \left[\frac{(h-x)}{2} + \frac{2x}{3} \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$0.5 E_c \varepsilon_{ef} b x = k f_{id} b (h-x) \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\varepsilon_{ef}}{x} = \frac{\varepsilon_{tu}}{h-x} \dots\dots\dots (4)$$

$$\varepsilon_{tu} = 0.003(1.5\lambda_f - 0.5) \dots\dots\dots (5)$$

$$\lambda_f = \frac{\rho_f l_f}{d_f} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

M — 弯矩设计值；
 k — 纤维取向折减系数，取 0.9；
 f_{id} — 轴拉强度设计值；
 b — 构件验算截面宽度；
 h — 构件验算截面高度；

x —受压区混凝土形心至截面上边缘距离；

E_c —混凝土弹性模量；

ε_{ef} —受压区混凝土应力较大侧边缘应变；

ε_u —混凝土受拉极限应变；

λ_f —纤维特征参数；

ρ_f —纤维体积掺量；

l_f —纤维长度；

d_f —纤维直径。

b) 混凝土受弯构件正截面受压区压应力计算时,应将压应力图形简化为等效的矩形应力图,应力图高度与实际受压区高度的比值 β ,矩形应力图的压应力强度应取高韧性混凝土的轴心抗压强度设计值乘以系数 α ,按下表取值。

表 3 系数 α 、 β 取值

混凝土强度等级	C70	C80	C90	C100	C110	C120	C130	C140	C150
α	0.911	0.920	0.926	0.930	0.930	0.930	0.925	0.920	0.910
β	0.86	0.84	0.81	0.79	0.78	0.76	0.74	0.73	0.72

c) 混凝土受弯构件的正截面相对界限受压区高度 ξ_b 计算应符合以下规定：

对热轧普通钢筋,相对界限受压区高度 ξ_b 可按下列公式计算：

$$\xi_b = \frac{\beta}{1 + \frac{f_{sd}}{\varepsilon_{cu} E_s}} \dots\dots\dots (7)$$

对钢绞线和钢丝,相对界限受压区高度 ξ_b 可按下列公式计算：

$$\xi_b = \frac{\beta}{1 + \frac{0.002}{\varepsilon_{cu}} + \frac{f_{pd} - \sigma_{p0}}{\varepsilon_{cu} E_p}} \dots\dots\dots (8)$$

混凝土极限压应变 ε_{cu} 可按下列公式计算：

$$\varepsilon_{cu} = 0.0042 - 0.3 \times (f_{cu,k} - 100) \times 10^{-5} \dots\dots\dots (9)$$

d) 矩形截面或翼缘位于受拉边的倒 T 形截面受弯构件,其正截面抗弯承载力计算应符合以下规定：

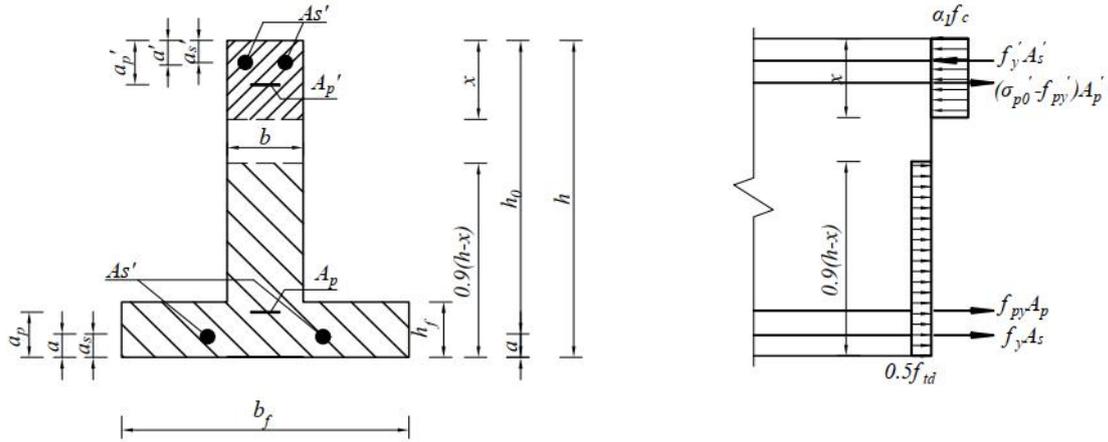


图 6 矩形截面或翼缘位于受拉边的倒 T 形截面受弯构件受弯承载力计算

$$M \leq \alpha_1 f_{cd} b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) - (\sigma_{p0}' - f_{py}') A_p' (h_0 - a_p') + f_y' A_s' (h_0 - a_s') - 0.45 f_{td} b (h - x) [0.45 (h - x) - a] - 0.5 f_{td} (b_f - b) h_f \left(\frac{h_f}{2} - a \right) \quad \dots \quad (10)$$

混凝土受压区高度由以下公式确定：

$$\alpha_1 f_{cd} b x - (\sigma_{p0}' - f_{py}') A_p' + f_y' A_s' = f_{py} A_p + f_y A_s + 0.45 f_{td} b (h - x) + 0.5 f_{td} (b_f - b) h_f \quad \dots \quad (11)$$

混凝土受压区高度应符合以下要求：

$$x \leq \xi_b h_0 \quad \dots \quad (12)$$

$$x \leq 2a' \quad \dots \quad (13)$$

式中：

f_{cd} —混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{td} —混凝土轴抗拉强度设计值；

f_y 、 f_{py} —普通钢筋、预应力筋抗拉强度设计值；

f_y' 、 f_{py}' —普通钢筋、预应力筋抗压强度设计值；

A_s 、 A_s' —受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积；

A_p 、 A_p' —受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积；

α_1 —等效矩形应力图系数；

σ_{p0}' —受压区纵向预应力筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力筋应力；

b —矩形截面的宽度；

b_f —受拉区翼缘的宽度，对于矩形截面 $b_f = b$ ；

h_0 —截面有效高度；

h —截面高度；

h_f —受拉区翼缘的高度；

ξ_b —相对界限受压区高度；

x —受压区混凝土等效矩形应力图的高度；

a_s 、 a_p —受拉区纵向普通钢筋合力点、预应力钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

a'_s 、 a'_p —受压区纵向普通钢筋合力点、预应力钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

a —纵向普通受拉钢筋和预应力受拉钢筋的合力点至截面近边缘的距离；

a' —纵向普通受压钢筋和预应力受压钢筋的合力点至截面近边缘的距离。

e) 翼缘位于受压区的 T 形、I 形截面受弯构件，其正截面受弯承载力计算应符合以下规定：

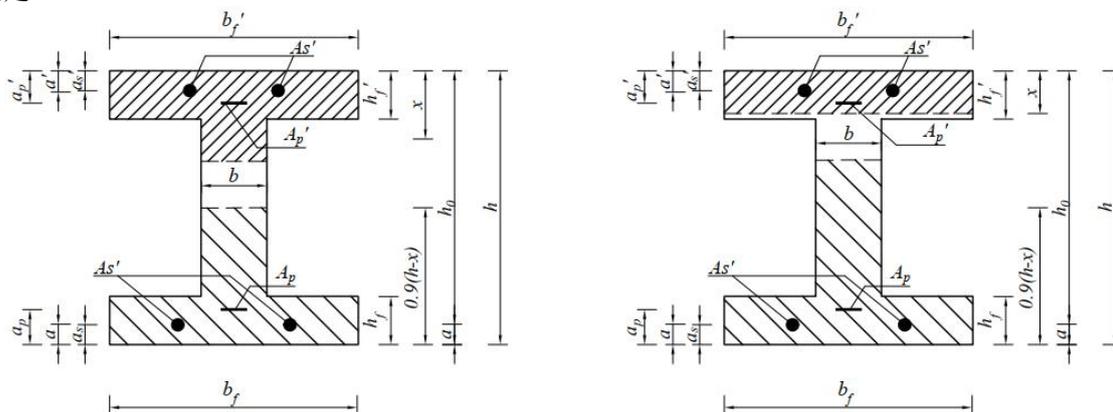


图 7 翼缘位于受压区的 T 形、I 形截面受弯构件受弯承载力计算

当满足式 (10) 的条件时，应按下列公式计算：

$$f_{py}A_p + f_yA_s + 0.45f_{td}b(h-x) + 0.5f_{td}(b_f-b)h_f \leq \alpha_1f_{cd}b_f h_f' + f_y'A_s' - (\sigma_{p0}' - f_{py}')A_p' \quad (14)$$

$$M \leq \alpha_1f_{cd}b_f'x(h_0 - \frac{x}{2}) - (\sigma_{p0}' - f_{py}')A_p'(h_0 - a_p') + f_y'A_s'(h_0 - a_s') - 0.45f_{td}b(h-x)[0.45(h-x) - a] - 0.5f_{td}(b_f-b)h_f(\frac{h_f'}{2} - a) \quad (15)$$

混凝土受压区高度由以下公式确定：

$$f_{py}A_p + f_yA_s + 0.45f_{td}b(h-x) + 0.5f_{td}(b_f-b)h_f = \alpha_1f_{cd}b_f'x - (\sigma_{p0}' - f_{py}')A_p' + f_y'A_s' \quad (16)$$

当不满足式 (10) 时，应按下列公式计算抗弯承载力：

$$M \leq \alpha_1f_{cd}[bx(h_0 - \frac{x}{2}) + (b_f' - b)h_f'(h_0 - \frac{h_f'}{2})] - (\sigma_{p0}' - f_{py}')A_p'(h_0 - a_p') + f_y'A_s'(h_0 - a_s') \quad (17)$$

混凝土受压区高度由以下公式确定：

$$\alpha_1f_{cd}[bx + (b_f' - b)h_f'] - (\sigma_{p0}' - f_{py}')A_p' + f_y'A_s' = f_{py}A_p + f_yA_s + 0.45f_{td}b(h-x) + 0.5f_{td}(b_f-b)h_f \quad (18)$$

式中：

b_f —受拉区翼缘的宽度，对于翼缘位于受压区的 T 形截面， $b_f = b$ ；

b_f' —受压区翼缘的宽度；

h_f 、 h_f' —受拉区、受压区翼缘的高度。

6.2.2 抗剪极限承载能力的计算应满足下列要求：

- a) 矩形、T型、I型和箱形截面受弯构件的受剪截面应符合以下规定：

$$V \leq 0.1f_{cd}(1+0.15\lambda_f)bh_0 \dots \dots \dots (19)$$

式中：

V —构件斜截面上的最大剪力设计值；

f_{cd} —混凝土轴心抗压强度设计值；

b —矩形截面的宽度或T形截面和箱型截面的腹板宽度；

h_0 —截面有效高度；

λ_f —纤维特征参数。

- b) 当仅配置箍筋时，矩形、T形、I形和箱型截面受弯构件的斜截面受剪承载力应符合以下规定：

$$V \leq V_{fc} + V_s + V_p \dots \dots \dots (20)$$

$$V = \psi\alpha_{cv}f_{td}bh_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.05N_{p0} \dots \dots \dots (21)$$

式中：

V_{fc} —混凝土所提供的抗剪承载力；

V_s —箍筋所提供的抗剪承载力；

V_p —由预加力提供的抗剪承载力；

ψ —考虑纤维对梁斜截面抗剪承载力影响系数，取 1.77；

α_{cv} —为混凝土受剪承载力系数，取 0.7；

f_{td} —混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_{yv} —箍筋抗拉强度设计值；

A_{sv} —配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积；

s —沿构件长度方向的箍筋间距；

N_{p0} —计算截面上混凝土法向预应力等于零时的预加力，对于预应力混凝土：

连续梁以及允许出现裂缝的预应力混凝土简支梁，计算时应不考虑 N_{p0}

的作用。

6.2.3 正常使用极限承载能力计算应满足下列要求：

- a) 高韧性混凝土预制件，正常使用极限状态的计算，应采用作用的短期效应组合、长期效应组合或短期效应组合。
- b) 高韧性混凝土预制件，应进行变形验算，承受动荷载轻薄构件最大挠度不超过计算跨径的 1/400。

- c) 高韧性混凝土预制件，应进行变形验算，当小梁最大挠度不超过计算跨径的 1/1200 时，可以不设置预拱度。
- d) 高韧性混凝土预制件，应力应满足设计值的抗拉强度要求。

7 构造

7.1 一般规定

- 7.1.1 应根据工程规模和使用要求，合理规划设计预制件的生产的总体布置。
- 7.1.2 预制件应满足强度、刚度、耐久性、外观的要求。
- 7.1.3 预制件的承载支垫部位应密贴可靠。
- 7.1.4 轻薄盖板预制件厚度 $\leq 25\text{mm}$ 、轻量小梁预制件梁高 $< 200\text{mm}$ 、轻量管件预制件壁厚 $< 20\text{mm}$ 及轻薄板不宜配置钢筋。
注：预制件厚度、梁高、壁厚小于规定值时，保护层厚度过小既无法满足均匀受力的要求，同时，保护层厚度太薄，承载时钢筋沿保护层出现应力裂纹。
- 7.1.5 钢筋网片的净保护层厚度应设置定位构造措施。
- 7.1.6 轻薄盖板、轻薄板等装饰性预制件有饰面、装饰外观要求时，应采用色卡、图案比对工艺设计调试色彩和模板图案。
- 7.1.7 预制件有行人或汽车通行需求时，应进行表面防滑构造设计。

7.2 轻薄盖板

- 7.2.1 轻薄盖板的最大挠度应不超过计算跨径的 1/600。
- 7.2.2 隧道电缆沟盖板的构造应符合下列规定：
 - a) 隧道电缆沟盖板应设置手孔，手孔大小应满足操作工人或设备抓取的要求。
 - b) 隧道电缆沟盖板的平面尺寸应与沟渠的尺寸一致、厚度宜为 20mm~25mm，支撑长度不宜小于 70mm。
- 7.2.3 路基边沟盖板的一般构造应符合下列规定：
 - a) 路基边沟盖板与路基衔接应顺畅、平整，表面不积水，沟渠周边支撑应满足牢固稳定、可维护和高耐久性要求。
 - b) 路基边沟盖板厚度宜小于或等于 80mm。
 - c) 路基边沟盖板应设置手孔或设备抓取的孔位。
- 7.2.4 路基边沟盖板承受汽车荷载等活载需要配置钢筋时，应满足下列要求：
 - a) 宜采用焊接钢筋网片；
 - b) 受力方向焊接钢筋网片的钢筋规格不宜超过 $\Phi 8$ 、间距宜为 50mm~100mm；
 - c) 构造方向焊接钢筋网片的钢筋规格不宜超过 $\Phi 8$ 、间距宜为受力方向钢筋间距 3~5 倍；
 - d) 焊接钢筋网片距离受力面的净保护层厚度大于或等于 5mm；**注：**高韧性混凝土致密程度高、碳化速度低、韧性好、抗裂能力强，试验研究表明，一般地区高韧性混凝土净保护层厚度为 5mm 时的抗裂性能、耐久性能与普通钢筋混凝土相当。
- 7.2.5 承受汽车荷载的盖板构造，宜参照路基边沟盖板的构造要求执行；不承受汽车荷载的盖板构造宜参照隧道电缆沟盖板的构造要求执行。
- 7.2.6 雨水算子的一般构造应符合下列规定：
 - a) 雨水算子盖板排水容量尺寸设计，应满足汇水排泄需要。
 - b) 雨水算子盖板的总体及局部构造设计，应满足设计荷载的强度、刚度要求；车行道的雨水算子，根据承受荷载和构造尺寸，可配置必要的钢筋。
 - c) 雨水算子的支撑宽度、长度应满足安全、耐久的目标，雨水算子局部承压部位，应为实体结构。
 - d) 地漏篦子的外观应与环境协调融合，构造设计应有利于安装和更换。**注：**雨水算子支撑部位局部应力较高，采用实体结构有利于传递荷载，降低应力峰值。

7.3 轻薄板

- 7.3.1 装饰性轻薄板的一般构造应满足下列要求：
 - a) 轻薄板宜采用 T₂₀ 高韧性混凝土预制生产；

- b) 轻薄板的细集料最大直径宜根据板厚确定；
 - c) 轻薄板的预制工艺应根据预制数量和厚度，进行专门的生产设计。
- 7.3.2 墙砖的一般构造应满足下列要求：
- a) 墙砖宜采用高韧性混凝土预制生产；
 - b) 墙砖强度、尺寸、外观及安装等，应符合 JG/T 484—2015 的要求。
- 7.3.3 地砖的一般构造应满足下列要求：
- a) 地砖宜采用高韧性混凝土预制生产；
 - b) 地砖强度、耐磨性、表面硬度、尺寸、外观及安装等，应符合 JG/T 484—2015 的要求。
- 7.4 轻量管件
- 7.4.1 轻量管件宜采用 T_8 高韧性或 T_{20} 高韧性混凝土。
- 7.4.2 轻量管件需要配置钢筋时，钢筋规格及构造应符合构造及受力要求，净保护层厚度应大于或等于 5mm。
- 7.4.3 轻量管件预制模板设计应兼顾装拆模板简便、外观质量均匀、几何精度高、管口椭圆度小。
- 7.5 轻量小梁
- 7.5.1 轻量小梁宜采用高韧性混凝土，可配置先张法水平直线预应力钢束，净保护层厚度应大于或等于 15mm。
- 7.5.2 轻量小梁的预应力钢束张拉、加载和使用阶段，最大弯拉应力、最大压应力应满足设计值的要求。
- 7.5.3 轻量小梁需要配置钢筋时，钢筋规格及构造应符合构造及受力要求，净保护层厚度应大于或等于 6mm。
- 7.5.4 轻量小梁长期使用阶段活载产生的变形量值应为 $\pm 5\text{mm}$ ，或最大挠度应不超过计算跨径的 $1/1200$ 。
- 7.5.5 轻量小梁预制时高度误差应为 $\pm 1\text{mm}$ 、平面尺寸误差应为 $\pm 2\text{mm}$ 、竖直度误差应为 ± 2 度。
- 7.6 其它构件
- 7.6.1 隔声板、隔尘板、遮雪棚、遮阳棚、屋面瓦、桌面板等构件的一般构造应满足下列要求：
- a) 构件的最大厚度不宜超过 10mm，平面尺寸根据产品构造需要确定。
 - b) 构件的面板形状和色彩，应根据工程的功能确定。
- 7.6.2 高韧性混凝土柱，根据使用部位和受力需要，可采用无普通钢筋、普通钢筋的结构构造，普通钢筋立柱的净保护层厚度应大于或等于 6mm，箍筋直径小于或等于 8mm、间距大于或等于 200mm，受力钢筋直径大于或等于 6mm、间距小于或等于 150mm。

8 制造与安装

8.1 一般规定

- 8.1.1 预制件制造和安装包括高韧性混凝土的所有产品。
- 8.1.2 预制件生产车间（预制场）应满足下列要求：
- a) 宜选用具有相应资格等级的技术工人；
 - b) 运输、起吊、堆放和排水等设施应齐全、完备；
 - c) 与混凝土拌合楼连接道路应通畅，宜具备应急通道；
 - d) 用电、用水安全设施应完善。
- 8.1.3 预制件的生产车间（预制场）应具有专用养护车间，应储备厚型塑料薄膜、保温装备等养护设施。
- 8.1.4 根据预制产品种类、发展规划、市场需求等条件，生产车间（预制场）建设应遵循因地制宜、功能兼顾、通道简便的原则。
- 8.1.5 现场生产预制件时，可采用高韧性高性能灌浆料生产预制构件。

8.2 制造

- 8.2.1 原材料的检验频率和试验方法应按照《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3050 相关规定执行。
- 8.2.2 高韧性混凝土拌合用砂含水率、拌合物工作性能的检验频率，每工作班不应少于两次。
- 8.2.3 钢筋、预应力钢束、预埋件应加工精良，预埋位置准确。
- 8.2.4 高韧性混凝土预制轻薄构件生产，宜采用智能化生产线制造，采用自动化拌和、出料、摊平、振捣、装运与养护的工艺流程。
- 8.2.5 高韧性混凝土预制小梁构件生产，可根据地区和生产规模，应编制完成专门的制造生产组织设计文件，采用自动化或半自动化生产方式预制生产。
- 8.2.6 高韧性混凝土生产装备，原材料分料、拌合楼、传输线、分料装备、整平装备、装运装备、养护条件、脱模打包等应采用自动化设备。
- 8.2.7 混凝土应浇筑均匀、密实、表面平整光滑。
- 8.2.8 高韧性混凝土力学性能测试应按每 50m³ 检验一组，不足 50m³ 时按 50m³ 考虑。每次取样至少各留置两组。
- 8.2.9 根据拌和设备的拌和能力，预制件原材料的拌和应充分，拌和时间一般应大于 180s；拌和、浇筑和振捣应连续生产完成。
- 8.2.10 预制件振捣时间应根据设备性能，通过试验确定。
- 8.2.11 预制件振捣后表面不宜有浮浆和水膜。
- 8.2.12 预制件模具制造应满足下列要求：
- 模具应制作精良、尺寸精度高、表面光洁度好；
 - 预制模具的刚度和强度应满足浇筑和振捣的要求；
 - 模板漆种类应与浇筑材料匹配，模板漆涂抹应均匀；
 - 预制模具采购数量应与产品生产件数、日生产量匹配。
- 8.2.13 高韧性混凝土预制件的产品结构尺寸检验数量应按同一工作班生产同类型构件抽查 5%，且不少于 3 件。
- 8.2.14 高韧性混凝土预制件的抗压、抗弯、抗冲击等承载力和抗裂性检验应满足设计及规范要求，对成批生产构件，应按 1% 抽检。同一工艺正常生产的一批不足 100 件时，同类型产品为 1 批，随机抽取 3 个构件进行检验。
- 8.2.15 产品生产过程中应做好检验资料的记录和管理，应实现产品可追溯的目标要求。
- ### 8.3 养护与运输
- 8.3.1 预制件浇筑、振捣完成后 5 min 内覆盖密闭的厚型塑料薄膜，薄膜内部湿度应大于 95%。
- 8.3.2 预制件自然养护环境温度不宜低于 15℃，养护龄期应大于 72h。
- 8.3.3 预制件蒸汽养护时，需满足下列要求：
- 环境温度大于 30℃，宜采用自然养护；
 - 蒸汽养护时，室内温度应小于或等于环境温度+20℃，最高蒸养温度宜小于 40℃；
 - 蒸汽养护时，室内的湿度应大于 90%；
 - 试件进出蒸汽养护室升降温速率宜小于或等于 2℃/h。
- 8.3.4 预制件打包支垫应确保平稳、受力应均衡。
- ### 8.4 高韧性灌浆料预制件生产
- 8.4.1 高韧性灌浆料预制件的生产，拌含量与浇筑预制件的数量应匹配。
- 8.4.2 高韧性灌浆料预制件的模具应摆放水平，平面内高差不超过 0.1mm。
- 8.4.3 高韧性灌浆料预制件的钢筋应有专门的定位措施。
- 8.4.4 浇筑完成后，3min 内应覆盖厚型塑料薄膜盖，覆膜带模养护时间应大于 120min；脱模后包裹厚型塑料薄膜继续养护大于 72h。
- ### 8.5 安装
- 8.5.1 预制件达到设计强度的 80% 且龄期大于 5d，才能运输移动。
- 8.5.2 预制件支点和防侧倾装置不能增加预制件的应力峰值。
- 8.5.3 预制件安装就位精度应满足规范要求，支承面应平整密贴。

9 质量检查验收

9.1 基本规定

9.1.1 本规程适用于高韧性混凝土预制件。在原材料、生产预制、运输安装的质量管理和检验评定中，除应符合本规程外，尚应符合国家、行业和团体颁布的相关规范的要求。

9.1.2 根据建设规模、施工管理和质量检验评定需要，在施工准备阶段可将建设项目划分为单位工程、分部工程、分项工程。

9.2 质量验收项目

9.2.1 高韧性混凝土预制件质量检查验收，包括几何尺寸、材料强度、预应力张拉、材质和外观鉴定等内容。

9.2.2 高韧性混凝土预制件的拌合物性能、结构尺寸、外观质量检验应符合表 4 的要求。

表 4 预制件拌合物性能、结构尺寸、外观质量检验要求

序号	检验项目		规定值或允许偏差	检验方法	检验频率
1	拌合物工作性能及强度	1h 稠度 经时损失 (mm)	≤10	稠度法	每班不少于 2 次
2		初始稠度 (mm)	≥60		
3		弯拉强度 (MPa)	满足设计要求	力学试验机	每 50m ³ 检验一组；不足 50m ³ 时按 50m ³ 考虑
4		抗压强度 (MPa)	满足设计要求		
5	自然养护	及时覆膜时间 (min)	≤5	记录仪	每 4h 检测 1 次
6		覆膜养护时间(d)	≥7	记录仪	
7	蒸汽养护	及时覆膜时间 (min)	≤5	记录仪	升/降温阶段每 1h 检测 1 次； 恒温阶段每 2h 检测 1 次
8		室内温度 (°C)	±1	温度计	
9	蒸汽养护	最高蒸养温度 (°C)	±2	温度计	升/降温阶段每 1h 检测 1 次； 恒温阶段每 2h 检测 1 次
10		室内湿度 (%)	±2	湿度计	
11		升降温速率 (°C/h)	+0.5	温度计	
12	轻薄盖板、轻薄板	厚度 (mm)	±0.2	卡尺	同一工作班抽查 5%，且不少于 3 件
13		平面尺寸 (mm)	±0.5	卡尺	
14		表面平整度 (mm)	±0.2	直板靠尺	
15	轻量管件	管径 (mm)， 电杆、信号机柱等	+4/-2	卡尺/钢直尺	
16		管径 (mm)， 管桩、外套筒等	D≤700mm 时，+5/-2 D>700mm 时，+7/-4	卡尺/钢直尺	
17		管径 (mm)， 纵横向排水管等	D≤700mm 时，+4/-8 D>700mm 时，+6/-10	卡尺/钢直尺	
18		壁厚(mm)， 电杆、信号机柱等	+10/-2	卡尺	
19		壁厚(mm)， 管桩、外套筒等	+20/0	卡尺	
20		壁厚(mm)， 纵横向排水管等	D≤700mm 时，+8/-2 D>700mm 时，+10/-3	卡尺	

序号	检验项目		规定值或允许偏差	检验方法	检验频率
21		弯曲度， 电杆、信号机柱等	$\leq 0.1\%L$	拉线和直尺	
22		弯曲度， 管桩、外套筒等	$L \leq 15m$ 时， $\leq 0.1\%L$ $15m < L \leq 30m$ 时， $\leq 0.05\%L$	拉线和直尺	
23		弯曲度， 纵横向排水管等	$\leq 0.3\%L$	拉线和直尺	
24	轻量 小梁、立柱	高度（mm）	± 1.0	卡尺	
25		平面尺寸（mm）	± 2.0	卡尺	
26		垂直度（度）	± 2.0		
27	色彩	色彩装饰	满足设计要求	色卡	
28	图案	轻薄构件图案	优、良等级	类比目测	
29	承载力和抗 裂性	抗压承载力	满足设计要求	力学试验	
30		抗弯承载力	满足设计要求	力学试验	
31		抗冲击承载力	满足设计要求	力学试验	
32		抗裂性	满足设计要求	力学试验	

注：最大粒径 $>4.75mm$ 的高韧性混凝土的工作性能检验指标参照普通混凝土的要求进行检验。

9.3 报检项目

9.3.1 高韧性混凝土预制件验收时应按本规程及国家、行业和团体标准的要求提交表 5 所列文件。

表 5 预制件验收项目文件表

编号	文件名称
1	工程项目设计文件、变更文件
2	预制件外观、色彩、图案检验报告
3	预制件原材料质量检验报告
4	预制件拌合物质量检验报告
5	预制件力学性能检验报告
6	预制件运输与安装检验报告

9.3.2 高韧性混凝土预制件验收时应提交预制件交工和竣工专项验收报告。

参 考 文 献

- [1]DB51/T 1995-2015 机制砂桥梁高性能混凝土技术规程
-