

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 55004-2021

组合结构通用规范

General code for composite structures

2021-04-09 发布

2022-01-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
国家市场监督管理总局

联合发布



1 5 1 1 2 3 7 5 5 2

统一书号：15112·37552
定 价： 26.00 元

中华人民共和国国家标准

组合结构通用规范

General code for composite structures

GB 55004 - 2021

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 2 2 年 1 月 1 日

中国建筑工业出版社

2021 北 京

中华人民共和国国家标准
组合结构通用规范

General code for composite structures
GB 55004 - 2021

*

中国工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路9号）
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本：850毫米×1168毫米 1/32 印张：1 $\frac{1}{4}$ 字数：49千字
2021年8月第一版 2021年8月第一次印刷
定价：26.00元
统一书号：15112·37552

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社图书出版中心退换
（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

2021 年 第 63 号

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《组合结构通用规范》的公告

现批准《组合结构通用规范》为国家标准，编号为 GB 55004-2021，自 2022 年 1 月 1 日起实施。本规范为强制性工程建设规范，全部条文必须严格执行。现行工程建设标准相关强制性条文同时废止。现行工程建设标准中有关规定与本规范不一致的，以本规范的规定为准。

本规范在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑出版传媒有限公司出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2021 年 4 月 9 日

废止的现行工程建设标准相关 强制性条文

1. 《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901 - 2013
第 4.1.2、10.2.1 条
2. 《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 - 2013
第 4.2.2 条
3. 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 - 2014
第 3.1.4、9.4.1 条
4. 《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 - 2013
第 7.4.1、7.5.1 条
5. 《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628 - 2010
第 3.0.4、3.0.6、3.0.7、4.5.1、4.7.1 条
6. 《组合结构设计规范》JGJ 138 - 2016
第 3.1.5、3.2.3、4.3.8 条

前 言

为适应国际技术法规与技术标准通行规则，2016年以来，住房和城乡建设部陆续印发《深化工程建设标准化工作改革的意见》等文件，提出政府制定强制性标准、社会团体制定自愿采用性标准的长远目标，明确了逐步用全文强制性工程建设规范取代现行标准中分散的强制性条文的改革任务，逐步形成由法律、行政法规、部门规章中的技术性规定与全文强制性工程建设规范构成的“技术法规”体系。

关于规范种类。强制性工程建设规范体系覆盖工程建设领域各类建设工程项目，分为工程项目类规范（简称项目规范）和通用技术类规范（简称通用规范）两种类型。项目规范以建设工程项目整体为对象，以项目的规模、布局、功能、性能和关键技术措施等五大要素为主要内容。通用规范以实现建设工程项目功能性能要求的各专业通用技术为对象，以勘察、设计、施工、维修、养护等通用技术要求为主要内容。在全文强制性工程建设规范体系中，项目规范为主干，通用规范是对各类项目共性的、通用的专业性关键技术措施的规定。

关于五大要素指标。强制性工程建设规范中各项要素是保障城乡基础设施建设体系化和效率提升的基本规定，是支撑城乡建设高质量发展的基本要求。项目的规模要求主要规定了建设工程项目应具备完整的生产或服务能力，应与经济社会发展水平相适应。项目的布局要求主要规定了产业布局、建设工程项目选址、总体设计、总平面布置以及与规模相协调的统筹性技术要求，应考虑供给能力合理分布，提高相关设施建设的整体水平。项目的功能要求主要规定项目构成和用途，明确项目的基本组成单元，是项目发挥预期作用的保障。项目的性能要求主要规定建设工程

项目建设水平或技术水平的高低程度，体现建设工程项目的适用性，明确项目质量、安全、节能、环保、宜居环境和可持续发展等方面应达到的基本水平。关键技术措施是实现建设项目功能、性能要求的基本技术规定，是落实城乡建设安全、绿色、韧性、智慧、宜居、公平、有效率等发展目标的基本保障。

关于规范实施。强制性工程建设规范具有强制约束力，是保障人民生命财产安全、人身健康、工程安全、生态环境安全、公众权益和公众利益，以及促进能源资源节约利用、满足经济社会管理等方面的控制性底线要求，工程建设项目的勘察、设计、施工、验收、维修、养护、拆除等建设活动全过程中必须严格执行，其中，对于既有建筑改造项目（指不改变现有使用功能），当条件不具备、执行现行规范确有困难时，应不低于原建造时的标准。与强制性工程建设规范配套的推荐性工程建设标准是经过实践检验的、保障达到强制性规范要求的成熟技术措施，一般情况下也应当执行。在满足强制性工程建设规范规定的项目功能、性能要求和关键技术措施的前提下，可合理选用相关团体标准、企业标准，使项目功能、性能更加优化或达到更高水平。推荐性工程建设标准、团体标准、企业标准要与强制性工程建设规范协调配套，各项技术要求不得低于强制性工程建设规范的相关技术水平。

强制性工程建设规范实施后，现行相关工程建设国家标准、行业标准中的强制性条文同时废止。现行工程建设地方标准中的强制性条文应及时修订，且不得低于强制性工程建设规范的规定。现行工程建设标准（包括强制性标准和推荐性标准）中有关规定与强制性工程建设规范的规定不一致的，以强制性工程建设规范的规定为准。

目 次

1	总则	1
2	基本规定	2
3	材料	4
3.1	钢材与钢筋	4
3.2	混凝土	5
3.3	木材	5
3.4	纤维增强复合材料	6
4	结构体系设计	8
4.1	一般规定	8
4.2	建筑结构体系	8
4.3	桥梁结构体系	10
5	组合构件设计	12
5.1	一般规定	12
5.2	钢-混凝土组合梁	12
5.3	钢-混凝土组合楼板	13
5.4	钢管混凝土构件	13
5.5	型钢混凝土构件	14
5.6	钢-混凝土组合剪力墙	14
5.7	钢-混凝土组合桥面系	14
5.8	木材组合构件	15
5.9	复合材料组合构件	15
6	施工及验收	17
6.1	施工	17
6.2	验收	17
7	维护与拆除	19
7.1	维护	19
7.2	拆除	20
	附：起草说明	21

1 总 则

1.0.1 为保障组合结构工程质量安全，促进组合结构的推广应用，保护生态环境，保证人民群众生命财产安全和人身健康，提高组合结构工程绿色发展水平，制定本规范。

1.0.2 组合结构工程必须执行本规范。

1.0.3 工程建设所采用的技术方法和措施是否符合本规范要求，由相关责任主体判定。其中，创新性的技术方法和措施，应进行论证并符合本规范中有关性能的要求。

2 基本规定

2.0.1 组合结构及构件的安全等级不应低于二级。当组合结构与构件的安全等级不一致时，应在设计文件中明确标明。

2.0.2 组合结构设计工作年限应符合下列规定：

1 建（构）筑物结构不应小于 50 年；

2 桥梁结构不应小于 30 年；

3 当组合构件、部件设计工作年限低于结构的设计工作年限时，应在设计文件中明确标明，且应采用可更换的连接构造。

2.0.3 在设计工作年限内，组合结构的性能应符合下列规定：

1 能够承受在正常使用期间可能出现的结构作用；

2 在正常施工期间或在结构的组合作用没有形成期间，能够承受可能出现的荷载作用；

3 能够满足组合结构和构件的设计使用要求；

4 当发生爆炸、撞击、罕遇地震等偶然作用时，结构应保持整体稳固性；

5 当发生火灾时，结构应在规定的时间内保持足够的承载力和整体稳固性。

2.0.4 在设计工作年限内，应采取措施保障组合结构及构件的安全使用，且应符合下列规定：

1 未经技术鉴定或设计许可，不得变更设计规定的功能和使用条件；

2 对影响主体结构安全性和耐久性的事项，应定期进行检査、检测及维护；

3 应按设计规定及时更换构件、节点、支座、锚具、部件等；

4 应按设计规定维护或更换构件表面的防腐、防火等防

护层；

5 组合结构及构件、节点、支座等出现可见的变形及混凝土表面等出现耐久性缺陷时，应及时进行修复加固；

6 直接遭遇地震、火灾、洪灾等灾害时，应在灾后对结构进行鉴定评估，并按评估意见进行处理后方可继续使用。

2.0.5 当组合结构确定可变作用代表值时，设计基准期应符合工程结构通用规范的规定。

2.0.6 组合结构在建造、使用、拆除过程中应保障工程安全和人身健康，做到节约能源资源及保护环境，并应符合下列规定：

1 钢-混凝土组合构件设计时，应分别按照混凝土浇筑前、浇筑后的组合作用未形成前的工况，对钢构件进行强度、刚度和稳定验算；

2 组合结构施工应采用绿色施工技术，减少施工垃圾；在不同类型结构、不同类型构件之间交叉施工工序中应采取成品保护措施；

3 暴露在公共场景的组合结构连接节点应设置防止螺栓、连接件、附属件等坠落的措施；

4 对于环境温度变化和木材含水率变化引起的木与钢、混凝土、复合材料之间的伸缩差异及其造成的对安全性和耐久性的不利影响，应有对应的控制措施；

5 组合结构在设计工作年限内应保证正常使用并及时维护，减少结构损伤、性能退化与耐久性劣化；

6 组合结构拆除时，拆除的构件、部件、垃圾等应分类收集和处理，钢材、木材、复合材料、混凝土等应做回收和再生利用处理。

3 材 料

3.1 钢材与钢筋

3.1.1 组合结构用钢材应符合下列规定：

1 钢材应具有抗拉强度、屈服强度、伸长率和碳、硫、磷含量的合格保证；

2 主体结构用钢材应具有碳当量和冷弯性能的合格保证；

3 需要验算疲劳的焊接结构用钢材应具有冲击韧性合格保证；

4 设计要求厚度方向抗层状撕裂性能的钢材应具有断面收缩率合格保证；

5 在罕遇地震作用下发生塑性变形的构件或节点部位的钢材，其屈服强度实测值与其标准值之比不应大于 1.35。

3.1.2 组合结构用钢筋应符合下列规定：

1 钢筋应具有抗拉强度、屈服强度的合格保证；

2 纵向受力钢筋及其箍筋应具有延性和可焊性的合格保证。

3.1.3 采用以概率理论为基础的极限状态设计方法时，钢材与钢筋的强度设计值应根据其强度的标准值和材料分项系数确定；材料分项系数的确定应符合下列规定：

1 具备可靠度分析条件的钢材与钢筋，应以其材料强度试验统计结果作为统计分析的基础，根据目标可靠度指标综合分析确定；

2 尚不具备可靠度分析条件或应用新钢种的钢材与钢筋，应基于实际工程经验或试验结果确定，并应符合表 3.1.3 的规定。

表 3.1.3 钢材与钢筋材料分项系数

项目	材料分项系数
建筑结构用钢材与普通钢筋	≥ 1.10
桥梁结构用钢材	≥ 1.30
桥梁结构用普通钢筋	≥ 1.20
桥梁结构用预应力筋	≥ 1.47

3.2 混 凝 土

3.2.1 组合结构用混凝土应符合下列规定：

- 1 混凝土应具有强度等级及性能的合格保证；
- 2 组合结构用混凝土的强度等级不应低于 C30。

3.2.2 采用以概率理论为基础的极限状态设计方法时，混凝土的强度设计值应根据其强度的标准值和材料分项系数确定；材料分项系数的确定应符合下列规定：

1 具备可靠度分析条件的混凝土，应以其材料强度试验统计结果作为统计分析的基础，根据目标可靠度指标综合分析确定；

2 尚不具备可靠度分析条件或应用新型混凝土材料时，应基于实际工程经验或试验结果确定，且建筑结构用混凝土的材料分项系数不应小于 1.40，桥梁结构用混凝土的材料分项系数不应小于 1.45。

3.3 木 材

3.3.1 组合结构中木材、粘结材料及配套材料应符合下列规定：

1 组合结构用木材应具有含水率合格保证及防腐、防虫蛀合格保证；

2 木结构用胶的胶合强度不应低于木材顺纹抗剪强度和横纹抗拉强度；

3 胶连接的耐水性和耐久性应与结构的用途和工作年限相适应，并应符合环境保护的要求，胶材料应具有胶结能力的合格保证。

3.3.2 组合结构中木材的强度设计值应根据其强度的标准值和材料分项系数确定，并应符合下列规定：

- 1 纯木应根据树种及其强度等级、材质等级等分类确定；
- 2 胶合木应根据对称异等组合、非对称异等组合、同等组合、顺纹、横纹等分类确定；
- 3 木材强度设计值应根据使用条件、设计工作年限、构件尺寸、荷载类型等进行修正。

3.4 纤维增强复合材料

3.4.1 组合结构用纤维增强复合材料应符合下列规定：

- 1 纤维应采用碳纤维、玻璃纤维、芳纶和玄武岩纤维等高性能纤维；玻璃纤维复合材料应选用无碱或耐碱玻璃纤维；
- 2 基体树脂应采用环氧树脂、乙烯基酯树脂、聚氨酯树脂、酚醛树脂和不饱和聚酯树脂等；
- 3 基体树脂的玻璃化转变温度 (T_g) 应保证在 60°C 以上，且应高于结构环境最高平均温度 10°C 以上；
- 4 在腐蚀环境下，应选用耐腐蚀性树脂材料；
- 5 有防火要求时应采用阻燃树脂材料。

3.4.2 采用以概率理论为基础的极限状态设计方法时，纤维增强复合材料的强度设计值应根据其强度的标准值和材料分项系数确定；材料分项系数和抗拉强度设计值的确定应符合下列规定：

- 1 具备可靠度分析条件的复合材料，应以其材料强度试验统计结果作为统计分析的基础，根据目标可靠度指标综合分析确定；
- 2 尚不具备可靠度分析条件或应用新型复合材料时，应基于实际工程经验或试验结果确定，且纤维增强复合材料（碳纤

维、玻璃纤维、芳纶和玄武岩纤维)的材料分项系数不应小于1.25;

3 纤维增强复合材料的抗拉强度设计值应根据其使用环境条件及复合材料种类进行修正。

4 结构体系设计

4.1 一般规定

4.1.1 组合结构体系设计应考虑不同材料性能差异产生的影响，并应符合下列规定：

1 除正常作用效应外，尚应计算由于钢材、混凝土、木材以及复合材料不同的线膨胀系数、弹性模量等引起的效应；

2 应分析混凝土开裂以及收缩徐变等因素的影响；

3 应考虑两种不同材料界面产生的滑移效应，并采取构造措施保证组合作用。

4.1.2 组合结构及构件设计时，应优先选用构造简单、施工方便、符合工业化建造需求的结构、构件与节点形式。

4.2 建筑结构体系

4.2.1 建筑组合结构体系分析计算模型应模拟不同材料、构件或体系进行组合时协同受力的特征。对于采用组合楼盖体系的结构，应将混凝土楼板和钢梁视为共同受力的组合梁板体系，其中组合框架主梁应同时考虑竖向荷载、水平地震作用和水平风荷载等作用下楼板与钢梁之间的组合效应。

4.2.2 钢-混凝土组合结构应进行多遇地震下的弹性变形验算和罕遇地震下的弹塑性变形验算，并应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 钢-混凝土组合结构层间位移角限值

结构类型			弹性层间位移角限值	弹塑性层间位移角限值
柱	梁	主要抗侧力构件		
钢柱或钢管混凝土柱	钢梁或组合梁	钢支撑或钢板剪力墙或外包钢板组合剪力墙(筒体)或无	按照钢结构的规定取值	按照钢结构的规定取值

续表 4.2.2

结构类型			弹性层间位 移角限值	弹塑性层间位 移角限值
柱	梁	主要抗侧力构件		
型钢混凝土柱	钢梁或组合梁或型钢混凝土梁	钢支撑或钢板剪力墙或外包钢板组合剪力墙(筒体)或无	按照钢结构限值的 50% 取值	按照钢结构的规定取值
钢柱或钢管混凝土柱或型钢混凝土柱	钢梁或组合梁或型钢混凝土梁	钢筋混凝土或型钢混凝土剪力墙(筒体)	按照混凝土结构的规定取值	按照混凝土结构的规定取值
其他钢-混凝土组合结构体系			层间位移角限值应介于钢结构和混凝土结构的限值之间, 取值应在具有可靠依据的基础上, 综合考虑结构变形能力和安全需求来确定	

4.2.3 组合构件的混凝土裂缝宽度应分别按荷载标准组合和准永久组合, 并考虑长期作用的影响进行计算。室内干燥环境下最大受力裂缝宽度不应大于 0.3mm, 其他情况最大裂缝宽度不应大于 0.2mm。

4.2.4 对于高度大于 150m 的组合结构高层建筑应满足风振舒适度要求。在 10 年一遇的风荷载标准值作用下, 结构顶点的顺风向和横风向振动最大加速度限值应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 结构顶点风振加速度限值

使用功能	加速度限值 a_{lim} (m/s^2)
住宅、公寓	0.20
办公、旅馆	0.28
其他	0.30

4.2.5 正常使用极限状态设计时, 对振动舒适度有要求的钢-混凝土组合楼盖结构, 应进行竖向动力响应验算, 动力响应限值应采用基于人体振感舒适度的控制指标。

4.2.6 钢-混凝土组合梁、组合楼板使用阶段的挠度应分别按荷载标准组合和准永久组合并考虑长期作用的影响进行计算，其计算值不应大于表 4.2.6 规定的限值。型钢混凝土梁使用阶段的挠度计算值不应大于钢筋混凝土梁的挠度限值。

表 4.2.6 钢-混凝土组合梁、组合楼板使用阶段挠度限值

跨度	挠度限值
$l_0 < 7\text{m}$	$l_0/200$
$7\text{m} \leq l_0 \leq 9\text{m}$	$l_0/250$
$l_0 > 9\text{m}$	$l_0/300$

注：1 表中 l_0 为梁或板的计算跨度，悬臂梁、板的 l_0 应按实际悬臂长度的 2 倍取用；

2 构件有起拱时，应将计算所得挠度值减去起拱值。

4.3 桥梁结构体系

4.3.1 桥梁结构应进行整体抗倾覆验算，主梁、盖梁、墩柱之间应设置防止发生落梁、倾覆等的可靠连接构造措施。

4.3.2 桥梁结构的变形应符合下列规定：

1 由汽车荷载和人群荷载组合所引起的桥梁结构竖向挠度不应大于表 4.3.2 规定的限值；

2 组合结构桥梁应合理设置预拱度。

表 4.3.2 桥梁结构竖向挠度限值

桥梁结构形式	简支或连续桁架组合梁	简支或连续钢板/箱组合梁	组合梁的悬臂端部	斜拉桥主梁	悬索桥加劲梁	中承式或下承式钢管混凝土拱桥	
						主拱	主梁
限值	$\frac{l}{550}$	$\frac{l}{500}$	$\frac{l_1}{300}$	$\frac{l}{400}$	$\frac{l}{250}$	$\frac{l}{1000}$	$\frac{l}{800}$

注：1 表中 l 为计算跨径， l_1 为悬臂长度；

2 当荷载作用于一个跨径内有可能引起该跨径正负挠度时，计算挠度应为正负挠度绝对值之和。

4.3.3 桥梁结构除应根据结构的设计工作年限及其对应的极限状态、环境类别及其作用等级等进行耐久性设计外，尚应符合下列规定：

1 根据不同环境条件，应设置钢筋防锈、钢构件防腐的防护措施；

2 容易受到腐蚀、机械磨损、疲劳影响和寿命达不到桥梁设计工作年限的部件，设计时应保证其可替换性，且应预留在使用期内进行检修和维修的通道；

3 对于无法检测的部件，应进行腐蚀后承载力验算，且应设定与桥梁设计工作年限相对应的容许腐蚀厚度值。

4.3.4 钢管混凝土拱桥的设计应符合下列规定：

1 当进行整体稳定与动力特性分析时，应建立全桥空间模型；

2 当跨径大于 300m 时，计算拱肋稳定安全系数应计入材料、几何非线性的影响。

4.3.5 组合桥梁及桥面板的混凝土及其裂缝宽度应符合下列规定：

1 在负弯矩区应采取有效的抗裂措施减小混凝土桥面板的拉应力。

2 在海洋海水环境或受侵蚀性物质影响的环境下，裂缝宽度不应大于 0.15mm。采用钢丝或钢绞线的预应力混凝土桥面板不得采用带裂缝的构件。

3 其他环境下，裂缝宽度不应大于 0.20mm。采用钢丝或钢绞线的预应力混凝土桥面板，其裂缝宽度不应大于 0.10mm。

5 组合构件设计

5.1 一般规定

5.1.1 组合结构构件应进行承载能力极限状态验算和正常使用极限状态验算，并应保障组合结构在设计工作年限内的结构性能。

5.1.2 组合构件的承载能力极限状态验算应包括下列内容：

- 1 构件和连接的承载力验算；
- 2 直接承受动力重复荷载的构件应进行疲劳验算；
- 3 当有抗震设计要求时，应进行抗震承载力验算。

5.1.3 组合构件的正常使用极限状态验算应包括下列内容：

- 1 对需要控制变形的构件，应进行变形验算；
- 2 对不允许出现裂缝的构件，应进行混凝土拉应力验算；
- 3 对允许出现裂缝的构件，应进行裂缝宽度验算；
- 4 对需要控制振动响应的组合楼板，应进行结构振动响应验算。

5.2 钢-混凝土组合梁

5.2.1 钢-混凝土组合梁设计验算应符合下列规定：

- 1 当进行疲劳验算时，承载能力应按弹性方法计算；
- 2 当进行截面承载能力验算时，应考虑混凝土翼板的剪力滞后效应以及抗剪连接的影响；
- 3 当按照部分抗剪连接设计时，组合梁任一剪跨区内抗剪连接件数目不应少于按完全抗剪连接设计所需数目的 50%；
- 4 连接件应具有防止钢梁和混凝土板之间竖向分离的抗掀起作用；
- 5 混凝土翼板应进行纵向抗剪验算；

6 当采用塑性方法验算钢-混凝土组合梁的强度时，受负弯矩或集中力作用的截面应计算弯矩和剪力的相互影响。

5.2.2 钢-混凝土组合梁截面抗弯承载力验算应符合下列规定：

1 按塑性方法计算时，无面外约束的钢梁板件应满足宽厚比限值，在竖向荷载作用下的梁端负弯矩调幅系数不应大于40%；

2 按弹性方法计算时，应合理考虑钢与混凝土界面滑移效应的影响。

5.2.3 钢-混凝土组合梁的挠度应按弹性方法进行计算，并计算正弯矩区滑移效应和负弯矩区混凝土开裂对弯曲刚度的折减。

5.2.4 钢-混凝土组合梁负弯矩区段的混凝土板，应采取局部释放组合作用的抗拔不抗剪连接等措施缓解混凝土开裂。在正常使用极限状态下，应按荷载准永久组合验算长期作用下的最大裂缝宽度。

5.3 钢-混凝土组合楼板

5.3.1 钢-混凝土组合楼板，应进行纵向剪切粘结承载力验算。

5.3.2 钢-混凝土组合楼板总厚度不应小于90mm，压型钢板基板厚度不应小于0.7mm。

5.3.3 钢-混凝土组合楼板中的压型钢板在钢梁上的支承长度不应小于40mm。

5.4 钢管混凝土构件

5.4.1 钢管混凝土构件应符合下列规定：

1 圆钢管径厚比和矩形钢管宽厚比应满足钢管壁局部稳定的要求；

2 钢管施工工况下强度、稳定和刚度应按空钢管验算；

3 钢管内混凝土应采取确保密实度和减小收缩的技术措施。

5.4.2 钢管约束混凝土柱的钢管应在楼层上下两端断开，断开处的钢管留缝高度不应小于10mm。钢管直接伸至基础顶面或地

下室顶面时应留缝，缝高度不应小于10mm。

5.4.3 钢管混凝土柱应在每个楼层设置排气孔，当楼层高度超过6m时，应在两个楼层中间增设排气孔。

5.5 型钢混凝土构件

5.5.1 型钢混凝土框架柱端和梁端应设置箍筋加密区，抗震等级一级时加密区长度不应小于 $2h_0$ ，其他情况加密区长度不应小于 $1.5h_0$ （ h_0 为柱截面高度或梁高）。

5.5.2 有防火要求时，型钢混凝土构件应采取防止火灾高温下混凝土爆裂的措施。

5.6 钢-混凝土组合剪力墙

5.6.1 外包钢板组合剪力墙的墙体外包钢板和内填混凝土之间，应设置可靠的连接构造，连接件承载力除应满足钢板与混凝土之间剪力传递要求外，连接件的间距尚应保证钢板局部屈曲不削弱剪力墙的极限承载力。当采用栓钉或对拉螺栓的连接构造时，应验算单个栓钉或对拉螺栓的抗拉承载力。

5.6.2 钢-混凝土组合剪力墙应符合下列规定：

- 1 剪力墙混凝土保护层厚度应符合钢筋和型钢耐久性要求；
- 2 钢与混凝土之间应设置栓钉等连接件，连接件数量应按计算确定。

5.6.3 型钢、内嵌钢板和内埋钢支撑混凝土组合剪力墙的施工过程中应采取避免墙体混凝土出现裂缝的技术措施。

5.7 钢-混凝土组合桥面系

5.7.1 钢-混凝土组合桥面系的设计应符合下列规定：

- 1 桥面系应保证从施工到运营两个阶段均具有足够的强度、刚度、稳定性、抗疲劳性能和耐久性；
- 2 桥面系应采用便于现场装配和检查维护的构造与连接；
- 3 连接件的设置应保证钢梁与混凝土桥面板的组合作用。

5.7.2 钢-混凝土组合桥面系应考虑外部作用（预应力和温度）、混凝土板的特性（收缩徐变、开裂、剪力滞后）、施工工序等因素的影响，采用基于换算截面法的弹性方法进行分析计算。

5.8 木材组合构件

5.8.1 木-钢组合构件的设计验算应符合下列规定：

- 1 木与钢之间的界面连接应能承受由组合作用产生的内力；
- 2 应分别复核连接部位木材部分和钢材部分的承载力；
- 3 木构件有效截面受压时应取用木材顺纹抗压强度设计值；
- 4 钢材应按弹塑性材料计算；
- 5 受压构件长细比不应大于 150。

5.8.2 木与混凝土组合构件设计应符合下列规定：

- 1 对于销栓类剪力连接件形式，在木与混凝土界面部位的模板等非结构层，应验算其强度与刚度；
- 2 对于采用榫槽连接的木-混凝土组合梁，应分别验算连接部位木材和混凝土的承载力；
- 3 木-混凝土组合梁在正常使用状态下的挠度应按弹性方法进行计算，负弯矩区段的混凝土板应验算长期作用下的最大裂缝宽度，计算挠度应小于或等于跨度的 $1/250$ 。

5.9 复合材料组合构件

5.9.1 复合材料组合构件应根据承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求进行设计和验算，并应具有达到承载力极限状态的变形能力。

5.9.2 复合材料组合构件的设计与构造应符合下列规定：

- 1 应根据受力状态进行纤维方向和铺层的设计；
- 2 复合型材有效受力截面中任一壁厚不应小于 3mm；
- 3 复合材料圆管的径厚比不应大于 200；
- 4 复合材料管和混凝土之间应采取抗滑移措施。

5.9.3 长期荷载作用下，复合材料组合构件中的等效应力与其

材料强度标准值之比应符合下列规定：

- 1 碳纤维复合材料不应大于 0.7；
- 2 芳纶复合材料不应大于 0.3；
- 3 玻璃纤维复合材料不应大于 0.3。

5.9.4 复合材料管受压组合构件正常使用极限状态的设计验算应符合下列规定：

- 1 混凝土压应变不应大于 0.002；
- 2 内部配置钢筋复合材料管混凝土组合构件的纵向钢筋应力应小于其屈服强度标准值；
- 3 复合材料管-混凝土-钢管组合构件的内部钢管应力应小于其屈服强度标准值。

6 施工及验收

6.1 施 工

- 6.1.1 钢-混凝土组合结构施工应分析不同材料施工方法和施工顺序对结构的影响。
- 6.1.2 钢-混凝土的结合部不应出现影响结构安全的混凝土脱空、不密实。
- 6.1.3 钢构件和混凝土连接处应采取防水、排水构造措施；对钢构件及组合构件防腐、防火涂装应采取成品保护措施。
- 6.1.4 钢筋安装铺设过程中，严禁损伤钢构件、连接件和栓钉。
- 6.1.5 钢管混凝土拱肋在钢管上开孔和焊接临时结构时，应经过设计许可，且应采取结构补强措施。当割除施工用临时钢件时，严禁损伤钢管拱肋。
- 6.1.6 钢-混凝土组合结构中钢筋与钢构件直接焊接时，应进行不同钢种的焊接工艺评定。
- 6.1.7 木材组合构件在加工、安装过程中应采取防水、防潮和防腐措施。
- 6.1.8 碳纤维结构施工时应采取防护措施，避免对周围带电设备造成损伤，施工完成后应及时清理现场残留的碳纤维余料。
- 6.1.9 施工阶段钢-混凝土组合楼板的挠度应按施工荷载计算，其计算值和实测值不应大于板跨度的 $1/180$ ，且不应大于 20mm 。

6.2 验 收

- 6.2.1 钢-混凝土组合结构验收应同时覆盖钢构件、钢筋和混凝土等各部分，针对隐蔽工序应采用分段验收的方式。
- 6.2.2 主体结构及其钢构件中设计要求全焊透的一、二级焊缝

内部缺陷检验应采用无损探伤方法，一级焊缝应采用 100% 的内部缺陷检验，二级焊缝检验比例不应低于 20%。

6.2.3 钢-混凝土组合构件施工中，隐蔽工序验收应符合下列规定：

- 1 钢筋、模板安装前，应检验钢构件施工质量；
- 2 混凝土浇筑前，应检验连接件、栓钉和钢筋的施工质量；
- 3 混凝土浇筑后，应检验组合构件的施工质量。

6.2.4 钢管混凝土应进行浇灌混凝土的施工工艺评定，主体结构管内混凝土的浇灌质量应全数检测。

6.2.5 钢-混凝土组合构件中钢筋与钢构件的连接质量验收应符合下列规定：

- 1 采用绕开法连接时，应检验钢筋锚固长度；
- 2 采用开孔法连接时，应检验钢构件上孔洞质量和钢筋锚固长度；
- 3 采用套筒或连接件时，应检验钢筋与套筒或连接件的连接质量；
- 4 钢筋与钢构件直接焊接时，应检验焊接质量。

7 维护与拆除

7.1 维 护

7.1.1 组合结构的使用者应根据结构安全等级、结构类型、设计工作年限及使用环境，建立全寿命周期内的结构使用、维护管理制度，并应符合下列规定：

1 对于组合结构桥梁，每年应至少进行1次安全性和耐久性巡检；

2 暴露在公共场景的组合结构高强度螺栓连接节点，每年应至少进行1次螺栓安全状态专项检查。

7.1.2 组合结构在使用中发生下列情形之一，应进行检测与鉴定，并根据检测鉴定结果进行处理：

1 达到设计工作年限拟继续使用；

2 使用用途、环境、条件改变；

3 进行结构改造、改建或扩建；

4 存在较严重的质量缺陷或出现较严重的腐蚀、变质、损伤、变形等影响安全和使用，出现危及使用安全的情况；

5 地震、台风、火灾、洪灾等重大自然灾害发生后，结构及构件受损但仍需继续使用；

6 日常检查评估确定应进行检测鉴定。

7.1.3 组合结构中钢结构及钢构件应采取下列防腐、防火保护措施：

1 钢构件表面防腐涂层、防火涂层应有检查、养护、维修的技术措施；

2 受侵蚀介质作用的结构以及在工作年限内不能重新涂装的结构部位应采取封闭包覆的防护措施；

3 结构构造设计应减少积留湿气和灰尘的死角或凹槽；

4 外包混凝土时，应有防止混凝土开裂、渗透的技术措施。

7.2 拆 除

7.2.1 组合结构的拆除应经过分析验算，并采用安全绿色拆除技术，确保结构拆除过程中的安全性，减少对周边环境的影响。应采用构件单元化拆除方案，拆除现场不应进行组合构件的解体。

7.2.2 组合结构拆除的分析验算应符合下列规定：

1 拆除应按短暂工况进行结构分析，安全性要求应与施工阶段相同；

2 拆除的每一个阶段均应分析剩余结构的稳定性及安全风险，并调整和确定下一个阶段的拆除方案。

7.2.3 组合结构的拆除施工应符合下列规定：

1 拆除结构的周边建（构）筑物及地下设施应进行保护、防护；

2 对危险物质、有害物质应有排放和处置方案，且应制定应急措施；

3 对再利用的材料和可重复使用材料应制定维护、保护方法和回收方案；

4 不得采取立体交叉作业方案；

5 在封闭空间施工时，应有通风和对外沟通的技术措施；

6 发现不明物体、气体、文物等应立即停止施工，并保护现场；

7 应采取保证剩余结构稳定的措施，局部拆除影响结构安全时，应先加固后拆除。

7.2.4 钢构件和型钢混凝土构件的拆除应根据结构类型划分拆除单元和混凝土破碎单元，拆除过程中应监测拟拆除结构和构件的稳定状态，发现安全隐患时必须停止作业。

中华人民共和国国家标准

组合结构通用规范

GB 55004 - 2021

起草说明

目 次

一、基本情况	23
二、本规范编制单位、起草人员及审查人员	24
三、术语	26
四、条文说明	28
1 总则	28
2 基本规定	29
3 材料	31
4 结构体系设计	38
5 组合构件设计	41
6 施工及验收	47
7 维护与拆除	49

一、基本情况

按照《住房和城乡建设部关于印发 2019 年工程建设规范和标准编制及相关工作计划的通知》（建标函〔2019〕8号）要求，编制组在国家现行相关工程建设标准基础上，认真总结实践经验，参考了国外技术法规、国际标准和国外先进标准，并与国家法规政策相协调，经广泛调查研究和征求意见，编制了本规范。

本规范的主要内容是：1 规定了组合结构用材料的基本技术要求，包括钢材与钢筋、混凝土、木材、复合材料等；2 规定了组合结构体系设计的基本技术要求，包括建筑组合结构和桥梁组合结构等；3 规定了组合构件设计的基本技术要求，包括钢-混凝土组合梁、钢-混凝土组合楼板、钢管混凝土构件、型钢混凝土构件、钢-混凝土组合剪力墙、钢-混凝土组合桥面系、木材组合构件、复合材料组合构件等；4 规定了组合结构施工与验收、维护与拆除的基本技术要求。

本规范中，规定组合结构功能、性能的条款是：第 2 章条款以及《工程结构通用规范》GB 55001 - 2021 中有关结构功能、性能的条款。

下列工程建设标准中强制性条文按本规范执行：

《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901 - 2013

《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 - 2013

《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 - 2014

《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 - 2013

《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628 - 2010

《组合结构设计规范》JGJ 138 - 2016

本规范由住房和城乡建设部负责管理和解释。

二、本规范编制单位、起草人员及审查人员

(一) 编制单位

中冶建筑研究总院有限公司

清华大学

重庆大学

哈尔滨工业大学

中国建筑科学研究院有限公司

中国建筑股份有限公司

同济大学

东南大学

西安建筑科技大学

中南大学

中铁大桥勘测设计院集团有限公司

中国建筑标准设计研究院有限公司

南京工业大学

四川省建筑科学研究院有限公司

中国建筑设计研究院有限公司

武汉大学

中冶京诚工程技术有限公司

华建集团华东建筑设计研究总院

香港理工大学

中交公路规划设计院有限公司

港珠澳大桥管理局

北京市建筑设计研究院有限公司

中国京冶工程技术有限公司

中冶建筑研究总院（深圳）有限公司

深圳市前海公共安全科学研究院有限公司

中国人民解放军陆军工程大学

深圳市建设工程质量检测中心

重庆钢结构产业有限公司

湖南大学

中国钢结构协会

(二) 起草人员

聂建国	岳清瑞	周绪红	侯兆新	樊健生	狄 谨
王玉银	李 荣	曾 滨	张素梅	王翠坤	丁 然
王立军	王 波	王 罡	王宇航	王月栋	王景全
石永久	石 宇	石建华	田 伟	卢亦焱	白力更
白国良	冯 鹏	邢万里	刘界鹏	刘晓刚	庄 慧
苏权科	杨会峰	李文杰	李庆伟	李国强	李 峰
陈才华	陈振明	肖从真	肖 勇	肖绪文	余志武
余忠辉	汪大绥	张泽宇	张道修	郁银泉	范 重
范 峰	曾昭波	罗开海	郑 云	赵君黎	柯 珂
钟国辉	姚志东	聂 鑫	秦顺全	陶慕轩	梁伟桥
高宗余	唐曹明	黄世敏	龚 超	常正非	常好诵
淡 浩	韩林海				

(三) 审查人员

徐 建	张喜刚	娄 宇	张爱林	赵基达	陈禄如
曹万林	束伟农	李久林	陈小兵		

三、术 语

1 组合结构 composite structures

由不同类型结构材料、结构构件、结构体系之间运用组合概念，所形成的结构。

2 组合构件 composite structural members

由不同材料组合成的能够整体工作的结构构件。

3 剪力滞后效应 shear lag effect

正应力的横向分布不均匀的现象。

4 桥面系 bridge deck system

直接承受车辆、人群等荷载并将其传递至桥梁下部结构或缆索体系等的桥面构造系统。

5 钢管约束混凝土柱 steel tube confined concrete column

在钢管内填充混凝土，但钢管在柱上下两端断开，不直接承担纵向荷载，主要对核心混凝土起约束作用的柱。

6 钢-混凝土组合梁 steel-concrete composite beam

混凝土翼板与钢梁通过抗剪连接件组合而成能整体受力的梁。

7 钢-混凝土组合楼板 steel-concrete composite slab

压型钢板上现浇混凝土组成的压型钢板与混凝土能共同承受荷载的楼板。

8 型钢混凝土构件 steel reinforced concrete structural members

钢筋混凝土截面内配置型钢的构件。

9 钢-混凝土组合剪力墙 steel-concrete composite shear wall

由钢与混凝土组合而成的剪力墙构件，包括钢筋混凝土剪力墙的边缘构件中配置实腹型钢的型钢混凝土组合剪力墙、钢筋混

凝土截面内配置内嵌或外包钢板的钢板混凝土组合剪力墙和钢筋混凝土截面内配置型钢斜撑和端部型钢的内埋钢支撑混凝土组合剪力墙。

四、条文说明

本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

1 总 则

1.0.1 本条是制定本规范的目的。

1.0.2 本条规定了本规范的适用范围。

根据使用材料的不同，结构工程师习惯于把结构体系分为砌体结构、木结构、钢结构、混凝土结构和组合结构等。

狭义上的组合结构通常指钢材与混凝土组合，称为钢-混凝土组合结构（composite steel and concrete structures），它是将钢材与混凝土通过某种方式组合在一起共同工作的一种结构形式，两种结构材料组合后的整体工作性能要明显优于二者性能的简单叠加。而近年来随着新型高性能土木工程材料的不断涌现、结构体系的不断创新，广义的组合结构已不局限于钢材与混凝土组合，各类不同材料、结构构件、结构体系之间灵活运用组合概念，使各种材料、构件或体系扬长避短，可以获得一系列性能优越的组合构件或组合结构体系，这些都可以统称为组合结构，例如：不同材料之间组合可形成“木-钢组合梁”“复合材料-混凝土组合柱”“钢-超高性能混凝土组合梁”等；不同结构构件之间组合可形成“混凝土柱-组合梁组合节点”“组合梁-混凝土梁纵向组合梁”等；不同结构体系之间组合可形成“组合框架-混凝土核心筒组合结构体系”“组合筒体-组合框架体系”“巨型组合框架体系”等。

本规范中的组合结构主要是指建筑、市政和公路工程的组合结构，其中建筑工程包括各类工业与民用建筑、构筑物等；市政

工程中主要是指城市桥梁，包括过街天桥等；公路工程中主要是指公路桥梁，包括跨公路天桥等，由于铁路桥梁已成完整体系，且与市政、公路桥梁差别较大，故未包含在本规范中。其他行业中的组合结构技术要求和管理要求可参考使用。

1.0.3 工程建设强制性规范是以工程建设活动结果为导向的技术规定，突出了建设工程的规模、布局、功能、性能和关键技术措施，但是，规范中关键技术措施不能涵盖工程规划建设管理采用的全部技术方法和措施，仅仅是保障工程性能的“关键点”，很多关键技术措施具有“指令性”特点，即要求工程技术人员去“做什么”，规范要求的结果是要保障建设工程的性能，因此，能否达到规范中性能的要求，以及工程技术人员所采用的技术方法和措施是否按照规范的要求去执行，需要进行全面的判定，其中，重点是能否保证工程性能符合规范的规定。

进行这种判定的主体应为工程建设的相关责任主体，这是我国现行法律法规的要求。《建筑法》《建设工程质量管理条例》《建筑节能条例》等相关的法律法规，突出强调了工程监管、建设、规划、勘察、设计、施工、监理、检测、造价、咨询等各方主体的法律责任，既规定了首要责任，也确定了主体责任。在工程建设过程中，执行强制性工程建设规范是各方主体落实责任的必要条件，是基本的、底线的条件，有义务对工程规划建设管理采用的技术方法和措施是否符合本规范规定进行判定。

同时，为了支持创新，鼓励创新成果在建设工程中应用，当拟采用的新技术在工程建设强制性规范或推荐性标准中没有相关规定时，应当对拟采用的工程技术或措施进行论证，确保建设工程达到工程建设强制性规范规定的工程性能要求，确保建设工程质量和安全，并应满足国家对建设工程环境保护、卫生健康、经济社会管理、能源资源节约与合理利用等相关基本要求。

2 基本规定

2.0.1 本条规定了结构安全等级划分，具体参考现行国家规范

《工程结构通用规范》GB 55001 的规定。安全等级分三级，分别对应重要结构、一般结构和次要结构。结构的重要性，主要是根据破坏后果和结构的使用频率进行判断。鉴于组合结构的应用场景一般较为重要，规定其安全等级不应低于二级。

2.0.2 本条规定了组合结构的设计工作年限，具体参考现行国家规范《工程结构通用规范》GB 55001 的规定。结构设计工作年限是衡量结构和构件可靠性的时间基准，必须明确规定结构的设计工作年限，讨论结构设计的安全性和可靠性才有意义。

并非结构的所有构件、部件都满足相同的设计工作年限要求，比如需要定期更换的组成部分以及有特殊要求的构件，可以根据实际情况确定设计工作年限，但在设计文件中应当明确标明。

2.0.3 本条规定了设计工作年限内组合结构的性能要求。具体参考现行国家规范《工程结构通用规范》GB 55001 的规定，并综合考虑了组合结构的特点。

2.0.4 本条规定了在组合结构设计工作年限内使用方应该关注的重要技术措施，包括正常使用维护、构件及其防护涂层的维护与更换、损伤及灾后检测鉴定与修复加固等方面。本条是用来监督业主方对组合结构使用管理措施是否到位的要求，对保障结构在设计使用年限内的安全非常重要。

2.0.5 本条规定了组合结构确定可变作用代表值时设计基准期的选取，具体参考现行国家规范《工程结构通用规范》GB 55001 的规定。当设计基准期与设计工作年限不一致时，应采用荷载调整系数对可变荷载进行调整，以保证可靠度水平相当。

2.0.6 本条是针对组合结构专业特点，提出了组合结构在建造、使用和拆除过程中设计、施工、监理、检测、监督等相关各方应该关注的重要技术措施。

1 本款是钢-混凝土组合结构设计的一大特点，即在形成组合作用之前，钢构件应满足安全要求。

2 按照绿色可持续的原则，组合结构施工应尽量减少施工

垃圾的产生，保护环境。

3 针对钢结构连接节点中高强度螺栓发生延迟断裂后，坠落伤人事故时有发生，特别是在公共场景情况下属于比较严重的公共安全事故。

4 木材与钢、混凝土、复合材料的热膨胀系数相差较大，同时木材具有湿胀干缩性，所以在环境温度或木材含水率发生变化时，会造成两者连接界面的不协调变形，在设计、施工安装与使用过程中必须考虑相关不利影响。

5 组合结构使用过程中，面临超载、疲劳、腐蚀等风险，应及时维护、检测，减少结构损伤、性能退化与耐久性劣化。

6 按照可持续发展的原则，拆除的构件、部件、垃圾等应分类收集和处理，废钢、木材、复合材料、混凝土等应回收和再生利用。

3 材 料

3.1 钢材与钢筋

3.1.1 本条规定了组合结构中采用的常规结构钢材的要求。

近年来，结构钢材品种增加、质量提高，已形成了不同性能的钢种牌号系列，并可按不同质量等级供用户选用。工程经验表明，正确合理地选用钢材的牌号与质量等级，对保证工程结构的质量与承载功能至关重要。对钢材化学成分、力学性能等指标保证限值的规定，一直是设计规范选材规定中被列为强条的重要内容，这些性能指标均为对钢材性能量化判定的重要基本依据。如屈服强度与设计强度、伸长率与塑性、屈强比与延性、冲击功与韧性、碳当量与焊接性能、冷弯与加工性等均是互为依据的关系。设计选材时应严格按结构使用条件和本条规定提出各项性能保证要求，以保证结构良好的承载性能。

1 组合结构中承重组构件和钢构件所用的钢材应具有屈服强度、伸长率、抗拉强度和碳、硫、磷含量的合格保证。

2 对焊接结构尚应具有碳或碳当量的合格保证。焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构所用的钢材，应具有冷弯试验的合格保证。

3 对承受直接动力荷载作用并需计算疲劳的结构，其钢材应在保证良好综合性能基础上，严格保证冲击功的合格指标。此外，工程质量事故的经验与研究表明，当板件厚度较大并在低温环境下受拉时，其低温脆断倾向性明显增加，因而对其质量等级也作出了较严格的规定。

钢材质量等级是对钢材质量细化控制，并与国际上钢材标准有关规定接轨而作出的规定。按硫、磷等化学元素含量的不同与不同环境温度下冲击功保证值的不同，共分为 A、B、C、D、E 5 个质量等级，故也是一个材质综合评定的指标。因 A 级钢在保证力学性能合格的条件下，交货时可不保证化学成分的限值指标，故承重结构一般不应选用 A 级钢。

4 在 T 形、十字形和角形焊接的连接节点中，当其板件厚度大于等于 40mm 且沿板厚方向有较强撕裂拉力作用时（含较高约束拉应力作用），该部位板件钢材应具有厚度方向抗撕裂性能（Z 向性能）的合格保证，其沿板厚方向断面收缩率不应小于 15%。

工程经验与国内外研究均表明，在焊接结构的焊接节点中，当较厚板件沿板厚方向受有较大的撕裂拉应力（含较高的约束拉应力）时，可能引起的钢板的层间（Z 向）裂缝，严重影响结构的安全使用。其主要原因是焊接构造或工艺缺陷造成板内过大的 Z 向焊接约束应力，再是钢板钢材含硫量较高，易形成硫化锰的层间夹杂物缺陷，使钢材分层。这种裂缝常会在焊接区冷却过程中即开始产生。近年来在我国一些高层钢结构工程中的梁柱节点区均产生过这种钢板层裂的质量事故，有的工程还因此造成了重大经济损失。为避免此类问题的发生，应注意采用合理的焊接构造与工艺，避免过大的焊接约束应力，同时应提高钢材的抗撕裂性能（Z 向性能）。

5 塑性设计是利用钢材的塑性性能，以结构在荷载作用下陆续出现塑性铰直至形成机构作为其承载力的极限状态，故要求结构钢材有良好的塑性性能，以达到结构进入塑性工作状态后可靠地实现内力重分配。

此外，抗震设防的高层组合结构，其框架梁、柱、抗侧力支撑等抗侧力构件，在罕遇地震作用时，会进入非弹性工作状态，要求结构钢材在有较高强度的同时，还应具有适应更大应变与塑性变形的延性和韧性性能，从而实现地震作用能量与结构变形能量的转换，有效地减小地震作用，达到结构大震不倒的设防目标。且其屈服强度实测值与其标准值之比不应太大，以免影响结构塑性铰的形成和地震能量的耗散。

3.1.2 本条规定了组合结构中采用的常规钢筋的要求。

1 钢筋除应具有屈服强度外，由于结构抗倒塌设计的需求，还应具有抗拉强度，即钢筋拉断前相应于最大拉力下的强度。

2 组合结构用钢筋由于要和钢构件连接，因此对延性（最大拉力下总伸长率）和可焊性有要求。

3.1.3 本条规定了组合结构中采用钢材和钢筋的强度设计值及分项系数的要求。

1 各类钢材和钢筋的材料分项系数取值是经过对大批实物强度的统计和可靠度指标校准分析等专题研究而确定的。其中强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。本款是针对已经广泛应用的钢材和钢筋。

2 对于满足本规范第 3.1.1 条、第 3.1.2 条要求的其他牌号的钢材和钢筋，本款提出了需要有可靠的工程经验或必要的试验研究结果作为基础的要求来确定材料分项系数。其中必要的试验研究结果是指以少量试验分析认定材料分项系数的方法，该试验的试件数量不应少于 30 个，通过试验统计分析结果可以得到该钢材或钢筋的材料分项系数；可靠的工程经验主要是指有些钢种已经得到了应用，例如建筑结构用钢绞线、桥梁用预应力钢绞线。本款没有给出具体取值，但给出了最低要求。建筑结构用钢

材与普通钢筋的材料分项系数不应小于 1.10，桥梁结构用钢材的材料分项系数不应小于 1.30，桥梁结构用普通钢筋的材料分项系数不应小于 1.20，桥梁结构用预应力筋的材料分项系数不应小于 1.47。

3.2 混 凝 土

3.2.1 本条规定了组合结构中采用的混凝土的基本要求。

1 组合结构中混凝土种类和力学性能应符合下列规定：

1) 常规品（普通）混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值划分为 C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55 等。

2) 特制品混凝土强度等级划分应符合下列规定：

高强混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值划分为 C60、C65、C70、C75、C80、C85、C90、C95、C100。

自密实混凝土、合成纤维混凝土强度等级划分为 C30、C35、C40、C45、C50、C55。

2 考虑到与钢构件、木构件、复合构件等共同工作并发挥组合作用，混凝土的强度等级需要进行匹配，提出了不低于 C30 的基本要求。

3.2.2 本条规定了组合结构中采用混凝土的强度设计值和分项系数的要求。

1 混凝土的抗力分项系数取值是经过对大批混凝土实物强度的统计和可靠度指标校准分析等专题研究而确定的。其中混凝土的强度标准值由立方体试件抗压强度标准值经计算确定，应具有不小于 95% 的保证率。

2 对于满足本规范第 3.2.1 条要求的其他类型的混凝土新材料，本款提出了需要有可靠的工程经验或必要的试验研究结果作为基础的要求来确定材料分项系数。其中必要的试验研究结果是指以少量试验分析认定材料分项系数的方法，该试验的试件数量不应少于 30 个，通过试验统计分析结果可以得到该混凝土材

料的分项系数，且建筑结构用混凝土的材料分项系数应大于或等于 1.40，桥梁结构用混凝土的材料分项系数应大于或等于 1.45。

3.3 木 材

3.3.1 本条是对组合结构中木材、粘接材料和配套材料的要求。

1 木材干缩会造成构件的松弛变形和裂缝，因此，在制作时对木材的含水率应控制。同时，木材易腐朽、虫蛀，也应具有防腐、防虫蛀合格保证。

2 木结构用胶的胶合强度应不低于木材顺纹抗剪强度和横纹抗拉强度。

3 胶缝的耐久性取决于其抗老化能力和抗生物侵蚀能力，对于使用的胶应经过胶结能力的检验，合格后方可使用，同时还要符合环保要求。对于新的胶种需要有可靠的工程经验或必要的试验研究结果作为基础方可使用。

3.3.2 木材强度设计值应根据其强度的标准值和材料分项系数确定，其中标准值应具有不小于 95% 的保证率。但是由于木材的种类繁多，影响材料分项系数的因素多，通常是对不同树种的木材划分强度等级，并参照长期工程实践经验，进行合理的归类，故实际给出的木材强度设计值是经过调整后的，与直接计算的数值有差别。木材的材料分项系数比较分散，约在 3~6 之间。

本条只是规定木材强度设计值的确定原则，符合本规范第 3.3.1 条要求的木材，可以按照本条的原则确定强度设计值。

3.4 纤维增强复合材料

3.4.1 纤维增强复合材料 (FRP) 是近年来成功应用于土木工程中的一种新型高性能工程结构材料，它具备了轻质高强、可设计、成型方便、耐化学侵蚀、施工便捷和质量易于保证等优点。常用的复材由碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维或芳纶与树脂基体复合形成，力学性能 (比强度和比刚度) 和化学性能 (耐腐蚀性能) 优越，在结构中合理地应用 FRP 已成为土木工程结构发展

的一个重要方向。复材制品形式与种类多样，在组合结构中应用的主要类型包括：纤维布、复材板、复材筋、复材网格、复材型材和复材管等。

复材中包含有两种主要材料组分：纤维与基体。这两种材料组分的性能、比例及其组合形式是影响复材制品各项性能的重要因素。

复材的耐化学腐蚀特性，如耐酸、耐碱、耐盐等，主要取决于基体树脂的选用。因此，为提高复材的耐腐蚀特性，应根据其服役的化学环境，选用对其具有高耐腐蚀特性的树脂。在使用环境温度较高的场所，要求粘贴树脂的玻璃化转变温度不应低于 60°C 。当处于腐蚀环境、放射环境等条件时，要求采用的粘贴树脂和复材具有相应的抵抗环境因素作用的能力。

1 主要限制强度低、耐久性差的中碱及高碱玻璃纤维，从而满足工程建设行政管理和监管要求。考虑到一般情况下混凝土的碱性比较强，为保证玻璃纤维增强复合材料的长期力学性能，结构中不应使用中碱及高碱玻璃纤维。无碱玻璃纤维，也称 E 玻璃纤维，碱金属氧化物含量小于 0.8%。耐碱玻璃纤维，也称为 AR 玻璃纤维，含有 16% 的 ZrO_2 ，所以耐碱性大为提高。

2 乙烯基酯树脂、环氧树脂是国内拉挤型材使用最为广泛的树脂，应用成熟，性能稳定。酚醛树脂以其优异的电绝缘性能和阻燃性能在电力、交通等有特殊要求的领域大量应用。聚氨酯树脂具有优异的机械性能和耐候性能，作为新兴拉挤型材基体树脂也有很大的应用前景。采用高性能的不饱和聚酯树脂能够满足工程结构的需要，在选用时应确保其性能，不应采用邻苯型不饱和聚酯树脂。

3 对于在使用环境温度较高的场所，防止高温环境下复合材料结构的承载力显著降低。

4 当处于腐蚀环境、放射环境等条件时，要求复合材料具有相应的抵抗环境因素作用的能力。复合材料的耐化学（如酸、碱、盐）腐蚀特性主要取决于基体树脂的选用。因此，为提高复合材料的耐腐蚀特性，应根据其服役的化学环境，选用对其具有

高耐腐蚀特性的树脂。

5 当有防火要求时，考虑到树脂在高温下会由于软化导致力学性能降低，因此应在树脂中掺入阻燃剂，以提高复合材料的耐火性能。

3.4.2 本条规定了组合结构中采用复合材料的强度设计值和分项系数的要求。

1 复合材料的抗力分项系数取值是经过对大批纤维增强复合材料实物强度的统计和可靠度指标校准分析等专题研究而确定的。其中复合材料的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。

2 对于满足本规范第 3.4.1 条要求的其他类型复合材料，本款提出了需要有可靠的工程经验或必要的试验研究结果作为基础的要求来确定材料分项系数。其中必要的试验研究结果是指以少量试验分析认定材料分项系数的方法，该试验的试件数量不应少于 30 个，通过试验统计分析结果可以得到该复合材料的抗力分项系数；可靠的工程经验主要是指已经有些复合材料得到了应用，例如纤维布（碳纤维、玻璃纤维、芳纶和玄武岩纤维）等。本款没有给出具体取值，但给出了最低要求。纤维增强复合材料（碳纤维、玻璃纤维、芳纶和玄武岩纤维）的材料分项系数不应低于 1.25。

3 由于复合材料由纤维、基体树脂以及浸润剂等多种材料复合而成，其长期性能受环境作用影响，因此，根据本条第 1 款、第 2 款确定的复合材料强度设计值需要按照本款规定进行修正。

修正系数应符合表 1 的规定。

表 1 抗拉强度设计值使用环境修正系数

环境条件	纤维增强复合材料种类		
	碳纤维 (CFRP)	芳纶 (AFRP)	玻璃纤维 (GFRP)
室内环境	1.00	0.83	0.80

续表 1

环境条件	纤维增强复合材料种类		
	碳纤维 (CFRP)	芳纶 (AFRP)	玻璃纤维 (GFRP)
一般室外环境	0.91	0.77	0.72
海洋环境、侵蚀性环境	0.83	0.67	0.63 (强碱环境 中取 0.50)

4 结构体系设计

4.1 一般规定

4.1.1 本条规定了组合结构体系设计时针对不同材料性能差异应当考虑的重要因素，是组合结构体系设计的关键所在，包括各材料不同的线膨胀系数、弹性模量、长期变形特性等的差异带来的影响。

4.1.2 组合结构形式灵活多样，应该在结构设计中特别注重选择合理的结构、构件与节点形式。本条从促进建造工业化发展、适应劳动力成本上升、保障施工质量的角度，提倡组合结构、构件与节点形式的设计应力求构造简单、施工方便、符合工业化建造需求。

4.2 建筑结构体系

4.2.1 本条根据建筑组合结构特点，规定了进行建筑组合结构体系计算时应满足的基本原则，充分体现组合结构计算的特别之处。

近年来，组合框架在多层及高层建筑中的应用十分广泛。试验研究表明，楼板的空组合作用除可以明显增加组合框架梁在竖向荷载下的刚度和承载力外，对组合框架结构体系的整体抗侧刚度也有显著的提高作用。采用固定刚度放大系数在某些情况下

会低估楼板对组合框架梁刚度的提高作用，从而可能低估结构整体抗侧刚度，低估结构承受的地震剪力。另外楼板对组合框架梁的刚度放大作用还会改变框架结构的整体变形特性，使结构剪切型变形的特征更为明显，对组合框架梁刚度的低估会导致为符合框架核心筒结构体系外框剪力承担率的规定，使外框钢梁截面高度偏大而影响组合梁经济性优势的发挥。故在结构分析中必须准确考虑组合框架主梁在竖向荷载和水平地震作用、水平风荷载等侧向作用下楼板与钢梁之间的组合效应。

4.2.2 本条针对各种类型的组合结构体系，专门规定了建筑组合结构体系抗震设计时应采用的弹性层间位移角限值和弹塑性层间位移角限值。

对于钢柱或钢管混凝土柱框架结构、钢柱或钢管混凝土柱框架-钢支撑、钢板剪力墙或外包钢板组合剪力墙（筒体）组合结构，其整体抗震性能偏向于钢结构属性，因而弹性和弹塑性层间位移角限值均按照钢结构的规定执行。

对于型钢混凝土柱框架结构、型钢混凝土柱框架-钢支撑、钢板剪力墙或外包钢板组合剪力墙（筒体）组合结构，其外框整体抗震性能偏向于混凝土结构属性，因而其弹性层间位移角限值比钢结构更严格，按照钢结构限值的50%执行。

对于采用钢筋（型钢）混凝土剪力墙或筒体作为主要抗侧力构件的组合结构体系，其剪力墙和核心筒的整体变形能力与混凝土结构类似，显著弱于钢结构。而外框不论采用何种形式，其变形能力均不弱于剪力墙和核心筒，因而该类结构的弹性层间位移角限值和弹塑性层间位移角限值均与混凝土结构的规定一致。

组合结构体系类型多样，以上规定难以全部涵盖。故对于未涵盖的结构类型，应根据具体结构形式及其力学性能，综合考虑刚度、裂缝、非结构构件等正常使用需求确定弹性层间位移角限值，综合考虑结构变形能力和安全需求确定弹塑性层间位移角限值。总体上，组合结构层间位移角变形限值应介于钢结构和混凝土结构限值之间。

4.2.3 本条规定了建筑组合结构体系正常使用极限状态验算时应采用的正截面裂缝宽度限值，包括钢-混凝土组合梁的混凝土板和型钢混凝土构件。

4.2.4 本条规定了建筑组合结构体系正常使用极限状态验算时应采用的顶点风振加速度限值，以保证结构具有良好的使用条件，满足风荷载下的舒适度要求。

4.2.5 本条规定了正常使用极限状态设计时，对振动舒适度有要求的钢-混凝土组合楼盖结构应进行竖向动力响应验算，不再简单地按照自振频率进行控制。

4.2.6 本条规定了正常使用极限状态设计时钢-混凝土组合梁、组合楼板、型钢混凝土组合梁使用阶段的挠度限值，以满足正常使用和外观要求。

4.3 桥梁结构体系

4.3.1 大量的桥梁震害和事故表明，桥梁的整体牢固性设计（包括整体抗倾覆、防落梁设计等）至关重要。针对此问题，本规范强调构造措施的重要性，桥梁在全生命周期内遇到的荷载是非常复杂的，计算难以完全覆盖（如超载、超大地震等），而一些简单有效的构造措施往往可以起到重要的二道防线作用，避免灾难的发生。

4.3.2 桥梁结构的竖向挠度直接反映其整体刚度，本条规定了组合结构桥梁的竖向挠度限值。

4.3.3 本条规定了组合结构桥梁耐久性设计原则。在考虑了结构的环境影响和使用期内一定的维护条件后，结构在使用寿命内的性能退化不应影响结构的正常使用。

4.3.4 本条规定了钢管混凝土拱组合桥面体系的分析设计原则。当计算拱肋稳定安全系数时，主拱跨径大于300m的钢管混凝土拱桥，材料、几何非线性对拱肋稳定性影响显著，不容忽视。

4.3.5 本条规定了组合桥梁混凝土桥面板的最大裂缝宽度限值。

裂缝宽度的限值，是针对在作用（或荷载）短期效应组合并考虑长期效应组合影响下构件的垂直裂缝。对裂缝宽度的限制，应从保证结构耐久性和结构外观两个因素考虑。可采取有效的抗裂措施减小混凝土的拉应力来控制构件的裂缝宽度。构件的工作环境是影响钢筋锈蚀的重要条件，本规范针对不同环境分别规定了不同的裂缝宽度限值。

在确定裂缝宽度限值时，要考虑钢材对锈蚀的敏感性。钢丝和由钢丝捻制的钢绞线，由于直径较小，锈蚀后截面面积损失相对较大，在高应力下易发生脆断，用它们配制的预应力混凝土构件，其裂缝宽度要求应比钢筋混凝土构件更严格。

5 组合构件设计

5.1 一般规定

5.1.1 本条是对组合结构构件设计的基本要求。构件设计时，应根据构件的类别、作用、环境要求等进行承载能力极限状态和正常使用极限状态验算，保障组合结构在设计工作年限内的结构性能是结构设计的任务，也是进行构件验算结果判定的依据。

5.1.2 本条规定了各类设计状况下的组合构件承载能力极限状态验算应考虑的内容，对组合构件设计非常重要。

5.1.3 本条规定了组合构件正常使用极限状态验算应考虑的内容，包括影响结构、构件、非结构构件正常使用或外观的变形，影响正常使用或耐久性能的混凝土裂缝和影响正常使用的振动。

5.2 钢-混凝土组合梁

5.2.1 本条规定了组合梁设计的基本计算原则。

1 规定直接承受动力荷载时需进行疲劳验算，此时承载力应采用弹性方法计算，不应采用塑性设计法。

2 剪力滞后效应和剪力连接程度是影响组合梁受力性能的两个关键因素，因此规定组合梁截面承载力计算时应予以考虑：

一是应考虑剪力滞后效应选取等效截面计算；二是根据剪力连接程度区分完全剪力连接和部分剪力连接计算承载力。

3 为了保证部分抗剪连接的组合梁能有较好的工作性能，在任一剪跨区内，部分抗剪连接时连接件的数量不得少于按完全抗剪连接设计时该剪跨区内所需抗剪连接件总数的 50%，否则，应按单根钢梁计算，不考虑组合作用。

4 本款强调了连接件的抗掀起作用，是对连接件抗剪作用的重要补充。

5 在剪力连接件集中剪力作用下，组合梁混凝土板可能发生纵向开裂现象，组合梁纵向抗剪能力与混凝土板尺寸及板内横向钢筋的配筋率等因素密切相关，作为组合梁设计最为特殊的一部分，组合梁纵向抗剪验算应引起足够的重视。

6 本款规定了组合梁抗剪承载力计算的基本原则。连续组合梁的中间支座截面的弯矩和剪力都较大，当钢梁同时受较大弯矩和剪力共同作用时，截面的极限抗弯承载能力会有所降低，应予以考虑。

5.2.2 本条规定了组合梁抗弯承载力计算的基本原则。

1 为实现塑性设计，应通过宽厚比限值保证无面外约束的板件在达到塑性极限承载力之前不发生局部屈曲。组合梁具有较好的内力重分布性能，为提高连续组合梁设计结果的经济性，可对竖向荷载下连续组合梁采用弯矩调幅法进行设计，研究表明，当采用非开裂截面进行整体结构分析时，调幅系数最高可取 40%。

2 国内外试验研究表明，采用栓钉等柔性抗剪连接件的钢-混凝土组合梁，连接件在传递钢梁与混凝土翼缘交界面的剪力时，本身会发生变形，其周围的混凝土也会发生压缩变形，导致钢梁与混凝土翼缘的交界面产生滑移应变，整个截面不再符合平截面假定。这将对组合梁的弹性抗弯承载力产生削弱，应在设计中予以考虑。

5.2.3 本条规定了建筑结构组合梁变形验算的计算方法。仅受

正弯矩作用的组合梁，连接件在传递钢梁与混凝土翼缘交界面的剪力时，本身会发生变形，其周围的混凝土也会发生压缩变形，导致钢梁与混凝土翼缘的交界面产生滑移应变，引起附加曲率，从而引起附加挠度，应考虑滑移效应对挠度的影响。负弯矩作用下，混凝土板易开裂，应考虑开裂对截面刚度的折减。

5.2.4 本条规定了组合梁负弯矩区裂缝验算要求。混凝土的抗拉强度很低，因此对于没有施加预应力的连续组合梁，负弯矩区的混凝土翼板很容易开裂，且往往贯通混凝土翼板的上下表面，但下表面裂缝宽度一般均小于上表面，计算时可不予验算。引起组合梁翼板开裂的因素很多，如材料质量、施工工艺、环境条件以及荷载作用等。混凝土翼板开裂后会降低结构的刚度，并影响其外观及耐久性，如板顶面的裂缝容易渗入水分或其他腐蚀性物质，加速钢筋的锈蚀和混凝土的碳化等。因此，应对正常使用条件下的组合梁负弯矩区段的裂缝宽度进行验算。对于由组合作用引起的混凝土开裂，可以通过局部释放组合作用的抗拔不抗剪连接或其他措施予以缓解。

5.3 钢-混凝土组合楼板

5.3.1 考虑组合作用的组合楼板必须保证压型钢板和混凝土楼板共同工作，故应对界面纵向剪切粘结承载力进行验算。

5.3.2 本条从构造上规定了组合楼板的最小厚度限值以及压型钢板基板净厚度的最小限值，限值的规定是为保证混凝土与压型钢板共同工作。组合楼板刚度计算的有效截面，包括压型钢板肋顶以上的混凝土、压型钢板槽内的混凝土以及压型钢板组成的有效截面，其厚度应在考虑承载能力极限状态和正常使用极限状态以及耐火性能等的前提下，按经济合理的原则确定。

5.3.3 本条对组合楼板在钢梁上的支承长度提出了最低要求，以保证施工阶段组合楼板的整体牢固性。

5.4 钢管混凝土构件

5.4.1 本条给出了钢管混凝土构件的基本规定。

1 由于核心混凝土对外钢管的支撑作用，钢管混凝土构件的外钢管相比于空钢管构件更加不易发生局部屈曲，因此，其外钢管宽厚比或径厚比限值相比于空钢管构件更大，但仍应满足一定限值要求。

2 在施工过程中，钢管在未浇筑核心混凝土之前，作为空钢管结构也会承受一定的施工荷载，此时也需考虑可能发生的局部屈曲。钢管混凝土构件在施工阶段，其外钢管作为浇筑核心混凝土的模板，在混凝土强度形成前，无法达到钢管混凝土构件的设计承载力，因此需按照空钢管对施工阶段进行设计校核。

3 钢管混凝土（叠合）构件最为核心的外钢管和核心混凝土间的组合作用要求钢管和核心混凝土紧密贴合、共同工作，而核心混凝土的收缩或浇筑密实度若不加以控制，可能引起核心混凝土与外钢管间存在空隙，无法发挥组合作用，因此钢管内混凝土应采取确保密实度、减小收缩的技术措施。

5.4.2 本条针对钢管约束混凝土柱的钢管端部留缝高度最小值进行了规定，使得受力时钢管主要承担环向应力，保证钢管对混凝土的约束效应。

5.4.3 当温度超过 100°C 时，核心混凝土中的自由水和分解水会发生蒸发现象。为了保证钢管和混凝土之间在受高温时共同工作，以及结构的安全性，应设置排气孔。本条对钢管混凝土柱的防火设计非常重要。

5.5 型钢混凝土构件

5.5.1 考虑地震作用的框架梁端应设置箍筋加密区，是从构造上增强对两端混凝土约束，且保证梁端塑性铰区“强剪弱弯”的角度规定的。对于型钢混凝土框架柱，为保证柱端塑性铰区有足够的箍筋约束混凝土，使框架柱有一定的变形能力，在柱上、下

端以及受力较大部位，必须从构造上设置箍筋加密区。

5.5.2 高温下，高强混凝土表面会出现爆裂现象，从而降低承载力，须采取适当措施防止混凝土的爆裂，这对型钢混凝土柱的抗火设计非常重要。

5.6 钢-混凝土组合剪力墙

5.6.1 本条规定了外包钢板混凝土组合剪力墙的设计原则，包括连接件设置和间距等构造要求。连接构造的设置既需要满足钢板与混凝土之间的剪力传递要求，同时也是为了对钢板受压和受剪时的屈曲进行约束，从而保证钢板局部屈曲不削弱剪力墙的极限承载力。钢板屈曲会对栓钉或对拉螺栓产生拉力作用，因此应对栓钉在混凝土中的抗拔承载力和对拉螺栓的抗拉承载力进行验算。

5.6.2 本条规定了钢-混凝土组合剪力墙保护层厚度和连接件要求，以保证组合剪力墙的整体工作性能。

5.6.3 本条主要针对工程中出现的混凝土墙体开裂问题。

5.7 钢-混凝土组合桥面系

5.7.1 本条规定了钢-混凝土组合桥面系的设计原则。

1 组合桥面系结构应充分考虑施工和运营两个不同阶段的性能验算，且应做到经济合理，结合我国的制造工艺和技术装备，考虑结构形式及结构细节便于制造。应结合拟定的架设方案、起吊设备、城市道路运输条件和使用条件，考虑构件长度及重量，在运输、架设、使用的过程中防止构件产生过大的变形。

2 结构细节，特别是重要的连接部位，应尽可能做到构造简单、施工方便，便于养护人员日常检查、维护和检测设备时进入。

3 为确保钢与混凝土共同工作，应设置连接件。连接件具有抗掀起和纵向抗剪的作用。

5.7.2 换算截面法是将有效宽度范围内的混凝土板面积除以弹

性模量比等效替换成钢材面积，从而将组合梁视为同一材料计算组合梁的截面特性值。组合梁中如存在负弯矩区，计算截面抗弯刚度时应考虑混凝土开裂的影响。此外，还应考虑混凝土板的剪力滞后效应、收缩徐变效应，外部作用如预应力效应、温度效应，以及施工工序等的影响。

5.8 木材组合构件

5.8.1 本条规定了木-钢组合梁的设计计算方法和基本假定。特别应注意界面连接的承载与变形能力。

5.8.2 本条主要针对在木与混凝土界面部位存在非结构层（如模板）的情形，给出其强度与刚度的确定原则。针对木-混凝土组合梁正常使用阶段的挠度计算原则和挠度限值作出了相应规定，同时规定应验算负弯矩区的混凝土裂缝宽度，与钢-混凝土组合梁类似。

5.9 复合材料组合构件

5.9.1 复合材料组合结构通常承载能力高，具有较大的弹性变形能力，设计中既有可能出现承载能力极限状态控制，也可能出现正常使用极限状态控制，还会出现变形过大而丧失功能的极限状态，在设计中应采用承载力和变形双控的设计方法。与传统钢筋混凝土及钢结构不同，复合材料结构弹性变形能力强但塑性变形能力弱，传统的基于塑性变形的延性设计不完全适用，应考察结构的总变形能力。

5.9.2 本条对复合材料组合构件的设计与构造进行了规定：

1 复合材料为各向异性材料，复合材料构件成型具有很强的可设计性，应根据具体受力状态对纤维取向及铺层进行专门设计以充分利用复合材料的性能。

2 从施工、耐久性等多方面考虑，过小的壁厚不能保证型材受力的可靠性。

3 为避免复合材料管局部屈曲，对其径厚比加以限制。

4 保证复合材料管与混凝土之间无相对滑移是复合材料管组合构件中各组成部分共同工作的关键。试验发现仅加膨胀剂并不能完全保证各组成部分间不发生相对滑移，为安全起见，要求采取抗滑移措施，如设置抗剪连接键（件）。

5.9.3 复合材料构件的有效应力比为构件的设计应力与设计强度的比值，因复合材料构件在长期荷载作用下会产生徐变，当拉应力水平较高时会出现徐变断裂。

5.9.4 本条规定了复合材料管受压组合构件正常使用极限状态的设计验算指标，混凝土压应变应低于其峰值压应变（通常取为0.002），钢筋、钢管应力均应小于其屈服强度标准值。

6 施工及验收

6.1 施 工

6.1.1 组合结构涉及多种材料，且施工过程中组合作用往往并未形成，与结构最终状态有明显差异，因此应在施工过程中充分考虑不同材料施工方法和施工顺序对结构受力性能的影响。

6.1.2 钢-混凝土的结合部出现混凝土脱空、不密实现象会严重影响组合作用，构成安全隐患，应予以重视。

6.1.3 钢构件和混凝土连接处如果长期存水，对钢材构成腐蚀隐患，寒冷地区有冰冻膨胀的风险，因此在结合处要有防水、排水构造措施。钢构件及组合构件的防腐、防火涂装对组合结构整体抗火与耐腐蚀能力至关重要，不应在施工阶段遭到破坏。

6.1.4 组合结构中钢筋经常要穿过钢构件或者与钢构件焊接，如果损伤到钢构件、连接件和栓钉，会削弱组合作用。

6.1.5 钢管混凝土拱肋中的钢管开孔和焊接、割除临时结构，都会影响桥梁的疲劳性能和承载能力，因此，应采取必要的补强措施和保护措施。

6.1.6 钢-混凝土组合构件中钢筋与钢构件、抗剪件的连接是施工质量控制的重要环节，由于钢筋与型钢的材质存在差异，特别

是纵向受力钢筋一般都是热轧带肋钢筋，焊接是不推荐的连接方式，如果不得已采用焊接，应按照规定进行两种不同钢种的焊接工艺评定，需进行现场采样。

常用的连接方式见表 2。

表 2 常用连接方式

连接方法	方法要点
绕开法	节点处的钢筋通过弯曲调整，绕开钢构件进行锚固的方法
穿孔法	在钢构件上开孔，钢筋穿过孔洞进行锚固的方法
钢筋连接套筒及连接件	在构件上焊接套筒、连接钢板，然后钢筋与套筒丝接或者与连接钢板焊接的方法

6.1.7 考虑到材料的特性，规定如为木材组合构件，在加工、安装和使用过程应采取防水、防潮和防腐措施。

6.1.8 由于碳纤维具有导电性，切割裁剪时飞扬起来的碳纤维丝可能会引发电气设备的短路，应对施工现场的电气设备采取可靠的防护措施。

6.1.9 组合楼板施工完成后，活荷载移除会留下永久挠度，应对其值进行限制。施工阶段挠度验算时应按荷载标准组合计算。

6.2 验 收

6.2.1 本条针对组合结构特点，规定了验收的总体原则。针对隐蔽工序，必须在上一道工序验收合格后才能进行下一道工序施工，即分阶段验收。

6.2.2 本条规定了设计要求的一、二级焊缝的检测及判定，这是组合结构验收的重点。

6.2.3 本条针对隐蔽工序，给出了分阶段验收中各阶段的划分及验收重点。

6.2.4 本条对钢管混凝土的质量提出要求，管内混凝土与管外混凝土要求不同，要考虑钢管与混凝土的共同作用，对混凝土的强度、工艺性、收缩性均有要求。通常混凝土的强度等级不应低

于 C30，并随着钢管钢材级别的提高而提高。

6.2.5 钢-混凝土组合构件中钢筋与钢构件、抗剪件的连接是施工质量控制的重要环节，同时又是隐蔽工程，因此本条第 1 款～第 3 款对常用的钢筋与钢构件的连接方法分别提出了具体的质量检查验收要点。

由于钢筋与型钢的材质存在差异，特别是纵向受力钢筋一般都是热轧带肋钢筋，如果不得已采用焊接，应重点检验焊接质量，本条第 4 款针对这种情况提出了检测验收要求。

7 维护与拆除

7.1 维 护

7.1.1 本条规定了组合结构全寿命周期内的常规维护。组合结构应根据结构安全性等级、结构类型、设计工作年限及使用环境，建立全寿命周期内的结构使用、维护管理制度。

1 组合结构桥梁所处环境较建筑结构更为复杂恶劣，因此规定每年都应进行至少 1 次巡检。

2 钢结构连接节点中高强度螺栓发生延迟断裂后，坠落伤人事故时有发生，特别是在公共场景情况下属于比较严重的公共安全事故。

7.1.2 在达到设计工作年限后继续使用（结构材料性能变化）、改变使用用途和使用环境（导致结构使用荷载变化等）、进行改造或扩建（如结构开洞等）、存在较为严重的质量缺陷或损伤（如木材或复合材料发生材性变质和损伤、桥梁构件和连接的疲劳破坏等）、出现危及使用安全迹象时（如改变或损坏钢与混凝土结合部、连接件以及桥梁支座、锚具等相关构造措施）、在重大自然灾害后结构及构件受损但仍需继续使用（如地震、台风、火灾、洪灾）等情况下，均会改变原设计条件，影响结构的使用安全和可靠性，应进行检测和鉴定。

7.1.3 对组合结构中钢结构来说，防腐是影响结构安全和耐久

性的重要技术措施，防火也是影响结构安全性的重要技术措施。本条针对4种情况提出相应的要求，其中第1款是基本要求；第2款除采取长效防锈措施，比如混凝土包覆等，在设计时应设定合理的容许腐蚀厚度值，对于寿命达不到结构设计工作年限的部件应是可更换的；第3款除应采取构造措施外，还应提供在使用期内对部件、节点、构造检修、维修和清理灰尘、杂物的通道；第4款，外包混凝土如开裂或容易渗透，则不能发挥保护内部钢构件的作用。

7.2 拆 除

7.2.1 本条规定应采用构件单元化拆除方案并遵循安全绿色拆除的原则。拆除工程应包括规划、设计和施工等环节，必须遵守国家的节能环保战略要求。在保证安全生产等基本要求的前提下，通过科学的部署和合理的施工，最大限度地节约资源并减少对环境影响的施工活动，实现节能、节地、节水、节材和环境保护。包括但不限于以下内容：

- 1) 控制扬尘可采用对作业面喷水压尘，对已拆除物料覆盖、对场地洒水等措施；降低噪声应选用低噪声设备，采用隔声材料对作业面进行遮挡等措施。
- 2) 电气焊作业应采取遮挡措施从而避免电弧光外泄。
- 3) 施工现场应设置车辆冲洗设施，运输车辆驶出施工现场前应将车轮和车身等部位清洗干净。运输渣土的车辆应采取封闭或覆盖等防扬尘、防遗撒的措施。
- 4) 裸露的场地采取相应的防止扬尘措施。常用的方法是对裸露场地进行覆盖、硬化或绿化等。

7.2.2 拆除工程的设计应包括拆除结构分析验算，除了按短暂工况进行结构分析外，还应包括拆除的每一个阶段工况，对剩余结构的稳定性进行验算分析。

结构拆除是一个动态的稳定过程，因此，拆除结构分析验算也随施工现场的进展而随时进行，拆除结构验算应由结构工程师

负责。

7.2.3 本条规定了拆除工程施工应遵循的基本原则。

施工前，建设单位和施工单位应依据图纸和资料进行全面复核，掌握实际状况。进入有限空间拆除施工，必须制定应急处置措施，配备有毒有害气体检测仪器，遵循“先通风、再检测、后作业”的原则。

“不明物体”是指无法确定其危险性、文物价值的物体，必须经过有关部门鉴定后，按照有关法规妥善处理。

结构拆除是一个动态的稳定过程，盲目拆除很容易造成剩余结构的失稳，尤其是大跨度结构、预应力结构的稳定性对边界和荷载变化较为敏感，拆除过程中对剩余结构和构件的稳定状态进行监测，发现安全隐患时必须停止作业。局部拆除工程中无论是保留部分还是拟拆除部分，对于影响安全的，均应先加固后拆除。

7.2.4 本条规定的监测是指在施工过程中，由专人随时监测被拆除物状态，消除隐患，保证施工安全。