



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

木-混凝土组合结构技术标准

Technical standard for timber-concrete composite structures

(征求意见稿)

2023年8月

中国工程建设标准化协会标准

木-混凝土组合结构技术标准

Technical standard for timber-concrete composite structures

T/CECS ×××-202×

（征求意见稿）

主编单位：南京工业大学

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：202× 年 × 月 1 日

中国建筑工业出版社

202× 北 京

前言

根据中国工程建设标准化协会【关于印发《2020年第二批协会标准制订、修订计划》的通知】（建标协字[2020]23号）的要求，编制组经广泛调研，开展专题研究，认真总结工程实践经验，参考国内外相关标准和规范，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分12章，主要内容包括：总则、术语、材料、结构分析与设计、连接节点设计、组合构件设计、正常使用极限状态设计、防火与防护、生产运输、施工安装、质量验收、使用与维护等。

本标准由中国工程建设标准化协会木材及复合材结构专业委员会归口管理，由南京工业大学负责解释。在执行本标准过程中，如有意见和建议，请寄送解释单位（地址：南京市江北新区浦珠南路30号80号信箱；邮编：211816；电子邮箱：hfyang@njtech.edu.cn）。

主编单位：南京工业大学

参编单位：略

主要起草人：略

主要审查人：略

目 次

1	总则	5
2	术语	6
3	材料	8
3.1	结构用木材	8
3.2	混凝土、钢筋和钢材	8
4	结构分析与设计	10
4.1	一般规定	10
4.2	结构分析	11
4.3	抗震设计	12
5	连接节点设计	16
5.1	一般规定	16
5.2	界面连接设计	17
5.3	节点设计	23
5.4	连接构造措施	23
6	组合构件设计	27
6.1	一般规定	27
6.2	抗弯刚度	28
6.3	受弯承载力	32
7	正常使用极限状态设计	35
7.1	变形	35
7.2	振动	36
7.3	楼盖减振措施	38
8	防火与防护	39
8.1	防火	39

8.2 防护.....	39
9 生产运输	41
9.1 生产.....	41
9.2 运输与堆放.....	41
10 施工安装	43
10.1 一般规定.....	43
10.2 木结构工程.....	44
10.3 混凝土结构工程.....	45
11 工程质量验收	46
12 使用与维护	47
附录A 界面连接承载力与刚度特性的试验确定方法	48
A.1 试验装置.....	48
A.2 加载制度.....	48
A.3 力学性能的确定方法.....	49

Contents

1	General Provisions.....	5
2	Terms	6
3	Materials.....	8
3.1	Structural Timber	8
3.2	Concrete and Steel	8
4	Structural Analysis and Design	10
4.1	General Requirements.....	10
4.2	Structural Analysis.....	11
4.3	Seismic Design.....	12
5	Design of Joints and Connections.....	16
5.1	General Requirements.....	16
5.2	Design of Interfacial Joints	17
5.3	Design of Connections.....	23
5.4	Detailing Requirements of Connections	23
6	Design of Composite Members	27
6.1	General Requirements.....	27
6.2	Flexural Stiffness	28
6.3	Flexural Capacity	32
7	Design under Serviceability Limit States	35
7.1	Deformations.....	35
7.2	Vibrations.....	36
7.3	Detailing of Vibration Control of the floors	38
8	Fire Design and Prevervation	39
8.1	Fire Design.....	39

8.2	Preservation.....	39
9	Fabrication and Transportation.....	41
9.1	Fabrication	41
9.2	Transportation and Storage	41
10	Construction and Installation.....	43
10.1	General Requirements.....	43
10.2	Timber Structures.....	44
10.3	Concrete Structures.....	45
11	Acceptance of Construction Quality	46
12	Service and Maintainance.....	47
Appendix A Test Method for determining Load Bearing Capacity and Stiffness		
	of the Interfacial Joints	48
A.1	Test Setup.....	48
A.2	Loading Procedure	48
A.3	Methods for Determination of Mechanical Properties.....	49

1 总则

1.0.1 为确保木-混凝土组合结构在设计、施工及验收中做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量，制定本标准。

【条文说明】本条阐述制订本标准的目的。除了做到安全性、适用性、耐久性和经济性以外，还应紧密结合国内外新技术、新体系、新方法和新材料，同时在可再生资源利用和环境保护角度出发，推动发展木-混凝土组合结构。

1.0.2 本标准适用于新建和改建木结构工程中木-混凝土组合结构的设计、制作、运输、施工安装、质量验收、防火防护与使用维护。

【条文说明】本条规定了本标准的适用范围。

1.0.3 木-混凝土组合结构的设计、制作、运输、施工安装、质量验收、防火防护与使用维护，除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】本条主要明确了标准应配套使用，有关国家标准也应一并执行。

1.0.4 当木-混凝土组合结构采用新技术、新体系、新材料和新方法时，应进行论证并符合本标准中有关性能的要求。

【条文说明】本条给出了当木-混凝土组合结构采用了新技术、新体系、新材料和新方法时的相关要求。

2 术语

2.0.1 木结构 timber structure

采用以木材为主制作的构件承重的结构。

2.0.2 木-混凝土组合结构 timber-concrete composite structure

由木-混凝土组合构件组成的结构，以及由木-混凝土组合构件与木构件、钢构件、混凝土构件组成的结构。

2.0.3 木-混凝土组合构件 timber-concrete composite member

由木梁或木板与混凝土板通过抗剪连接件进行连接而组成的结构构件。

2.0.4 木混合结构 hybrid timber structure

由木结构构件(或木-混凝土组合构件)与钢结构构件、混凝土结构构件混合承重，并以木结构为主要结构形式的结构体系，包括上下混合木结构与混凝土核心筒木结构等。

2.0.5 上下混合木结构 vertical hybrid timber structure

木混合结构中，下部采用混凝土结构或钢结构，上部采用木结构或木-混凝土组合结构的结构体系。

2.0.6 混凝土核心筒木结构 timber structure with concrete tube

木混合结构中，主要抗侧力构件采用混凝土核心筒，其余承重构件均采用木构件或木-混凝土组合构件的结构体系。

2.0.7 工程木 engineered wood

以木材为主要原材料，采用胶黏剂加压胶合而成的用于承重结构的深加工木质材料。主要包括层板胶合木、正交层板胶合木、结构复合木材和木基结构板等。

2.0.8 木材含水率 moisture content of wood

木材内所含水分的质量占木材绝干质量的百分比。

2.0.9 顺纹 parallel to grain

木构件木纹方向与构件长度方向一致。

2.0.10 横纹 perpendicular to grain

木构件木纹方向与构件长度方向相垂直。

2.0.11 斜纹 an angle to grain

木构件木纹方向与构件长度方向形成某一角度。

2.0.12 层板胶合木 glued laminated timber (glulam)

以厚度不大于45mm的胶合木层板沿顺纹方向叠层胶合而成的木制品。也称胶合木或结构用集成材。

2.0.13 正交胶合木 cross laminated timber (CLT)

以厚度为15mm~45mm的层板相互叠层正交组坯后胶合而成的木制品。也称正交层板胶合木。

2.0.14 结构复合木材 structural composite lumber

采用木质的单板、单板条或木片等，沿构件长度方向排列组坯，并采用结构用胶粘剂叠层胶合而成，专门用于承重结构的复合材料。包括旋切板胶合木、平行木片胶合木、层叠木片胶合木和定向木片胶合木等，以及其他具有类似特征的复合木产品。

2.0.15 木基结构板 wood-based structural panel

以木质单板或木片为原料，采用结构胶粘剂热压制成的承重板材，包括结构胶合板和定向刨花板。

2.0.16 栓钉连接 dowel-type connection

是采用螺栓和螺钉等销轴类紧固件将被连接构件结合为一体的连接方式，在木-混凝土组合构件中，销轴类紧固件被用于木-混凝土组合构件的剪力连接件。

2.0.17 植筋连接 glued-in rod connection

是采用植筋方式将被连接构件结合为一体的连接方式，在木-混凝土组合构件中，植入木构件顶部的螺杆或钢筋等被用于木-混凝土组合构件的剪力连接件。

2.0.18 植钢板连接 glued-in steel plate connection

是采用植钢板方式将被连接构件结合为一体的连接方式，在木-混凝土组合构件中，植入木构件顶部的钢板被用于木-混凝土组合构件的剪力连接件。

2.0.19 钢筋桁架 steel-bars truss

以钢筋上弦、下弦及腹杆，通过电阻电焊连接而成的桁架。

2.0.20 钢筋桁架楼承板 steel-bars truss deck

钢筋桁架与底板通过电阻电焊连接成整体的组合承重板。

3 材料

3.1 结构用木材

3.1.1 木-混凝土组合结构中使用的结构用木材应采用具有明确的材质等级或强度等级的方木、原木、锯材和工程木产品。结构用木材的选用应符合现行国家强制性工程建设规范《木结构通用规范》GB55005和现行国家标准《木结构设计标准》GB50005的有关规定。

【条文说明】本条规定了结构用木材的用材要求。为了保证结构用木材材质的可靠性，需首先对其材质等级或强度等级进行划分，然后确定结构用木材的主要用途、强度设计指标。总之，结构用木材必须具有材质等级或强度等级才能应用于木结构建筑工程中。

锯材包括具有材质等级或强度等级的方木、板材、规格材和进口结构材。

工程木产品系指层板胶合木、正交层板胶合木、结构复合木材和木基结构板材。

3.1.2 结构用木材的含水率应符合木结构设计、制作与安装要求。

【条文说明】本条规定了结构用木材的含水率要求。木材含水率是指木材中所含水分的质量占其烘干质量的百分比。木结构构件应采用较干的木材制作，能够相当程度上减小因木材干缩造成的松弛变形和裂缝的危害，对保证工程质量作用很大。

3.1.3 结构用木材的强度设计值、弹性模量及其在不同条件下的数值调整方法可根据现行国家标准《木结构设计标准》GB50005相关条文确定。

3.2 混凝土、钢筋和钢材

3.2.1 木-混凝土组合结构中使用的混凝土应符合现行国家强制性工程建设规范《混凝土结构通用规范》GB55008和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关规定，抗震结构用混凝土应符合现行国家强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002的有关规定，且尚应符合下列规定：

- 1 混凝土应具有其强度等级及性能的合格保证；
- 2 组合结构用混凝土强度等级不应低于C20。

3.2.2 木-混凝土组合结构中使用的钢筋和钢材应符合现行国家强制性工程建设规范《混凝土结构通用规范》GB55008、《钢结构通用规范》GB55006和现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的有关规定。

【条文说明】本条规定了木-混凝土结构中钢筋和钢材的用材要求。

3.2.3 当采用自密实混凝土、再生骨料混凝土或其他水泥基混凝土时，混凝土材料应符合国家现行相关标准的规定。

4 结构分析与设计

4.1 一般规定

4.1.1 木-混凝土组合结构的分析与设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关规范和标准的规定。

【条文说明】作为木结构的一种特殊类型，本章规定了木-混凝土组合结构分析与设计的具体技术要求与措施方法。有关强制性的原则规定应参照国家现行国家强制性工程建设规范，如《工程结构通用规范》GB55001、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002、《木结构通用规范》GB55005和《组合结构通用规范》GB55004等；有关推荐性的技术要求，包括设计指标和设计方法等应参照国家现行标准《木结构设计标准》GB50005等。

4.1.2 本标准采用以概率理论为基础的极限状态设计法。

4.1.3 木-混凝土组合结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计，并应符合现行国家强制性工程建设规范《工程结构通用规范》GB55001和现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153的规定。

4.1.4 木-混凝土组合结构及其构件的安全等级不应小于三级。当结构构件、部件与结构的安全等级不一致时，应在设计文件中明确标明。

【条文说明】本条规定了结构安全等级要求。该规定与国家现行国家强制性工程建设规范《工程结构通用规范》GB55001一致。

根据国家现行国家强制性工程建设规范《工程结构通用规范》GB55001的相关规定：结构设计时，应根据结构破坏可能产生后果的严重性，采用不同的安全等级。结构安全等级分为三级，当破坏后果为很严重、严重和不严重时，破坏等级分别对应于一级、二级和三级。结构及其部件的安全等级不得低于三级。

4.1.5 木-混凝土组合结构的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 易于替换的结构构件、部件不应小于25年；

4 当构件、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，且应采用易于更换的连接构造。

【条文说明】本条规定了木-混凝土组合结构的设计工作年限，确定设计工作年限时，应符合国家现行国家强制性工程建设规范《工程结构通用规范》GB55001的规定。结构设计工作年限是衡量结构和结构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。

根据国家现行国家强制性工程建设规范《工程结构通用规范》GB55001的相关规定：结构设计时，应根据工程的使用功能、建造和使用维护成本以及环境影响等因素规定设计工作年限。

并非结构的所有构件都满足相同的结构设计工作年限要求，比如需要定期更换的或有特殊要求的构件或部件，可根据实际情况确定结构设计工作年限，但在设计文件中应明确标明。

4.1.6 木-混凝土组合结构建筑的体系和选型、层数、高度等宜参照现行国家标准《多高层木结构建筑技术标准》GB/T51226的有关规定。

4.1.7 木-混凝土组合结构建筑的作用与作用组合，应按现行国家强制性工程建设规范《工程结构通用规范》GB55001，以及现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009和《多高层木结构建筑技术标准》GB/T51226的规定采用。

4.2 结构分析

4.2.1 当计算木-混凝土组合构件中木与混凝土界面内力和变形，以及组合构件的抗弯承载力和抗弯刚度时，应考虑界面滑移或界面连接柔性的影响。

【条文说明】木-混凝土组合结构中的木与混凝土界面连接很难实现完全刚性连接，因此当在进行组合构件和界面分析和设计时，必须考虑界面滑移或界面连接柔性的影响。

4.2.2 木-混凝土组合结构分析模型选取应符合以下规定：

1 结构分析模型、基本假定和边界条件，应能反映结构的实际受力状态，应基于力学原理和工程经验确定结构分析模型，如无法确定，应开展试验验证。

2 对于静力分析，针对构件间连接和结构-基础间连接，结构分析模型应选取合适的力-变形关系。

3 结构分析模型应考虑节点、连接变形的影响。宜通过刚度折减（转动或平动）或一定的滑移值予以考虑，取值应根据连接形式而定，当缺乏数据时，可通过试验确定。

【条文说明】本条规定了木-混凝土组合结构计算分析模型的选取要求。模型的建立、必要的简化计算与处理应符合结构的实际工作状态，模型中连接节点的假定应符合结构中节点的实际工作性能，以保证分析模型符合实际情况。

4.2.3 当木-混凝土组合结构连接设计中考虑节点半刚性时，在整体结构分析中应以节点的弯矩-转角关系为计算依据，弯矩-转角关系应由试验或经试验验证的数值模拟确定。

【条文说明】本条规定了木-混凝土组合结构半刚性节点的设计原则。

当采用半刚性节点时，应根据理论或试验的方法确定节点的弯矩-转角曲线，并在结构分析时考虑节点变形的影响，节点的构造必须保证节点的实际受力性能与计算假定相符。

4.2.4 木-混凝土组合构件的承载力宜按下列基本假定进行计算：

- 1** 界面处剪力-滑移关系取为线弹性，当考虑因收缩或温湿度变化引起的非弹性应变时，界面处剪力-滑移关系取为弹塑性。
- 2** 木材应力-应变本构关系取为线弹性。
- 3** 受压混凝土和未开裂受拉混凝土的应力-应变本构关系取为线弹性。
- 4** 不考虑混凝土受拉对承载力的贡献。

4.2.5 对于木-混凝土组合结构建筑抗侧力构件承受的剪力，对于柔性楼盖、屋盖，宜按面积分配法进行分配；对于刚性楼盖、屋盖，宜按抗侧力构件等效刚度的比例进行分配。

【条文说明】楼盖的刚性或柔性可按以下规定判定：1) 当楼盖在侧向力下楼盖最大变形大于楼层平均位移的2倍时，该楼盖可视为柔性楼盖；2) 当楼盖在侧向力下楼盖最大变形小于楼层平均位移的0.5倍时，该楼盖可视为刚性楼盖；3) 介于以上两者之间的楼盖，可取上述两种分配结果的平均值。

楼盖、屋盖表面没有连续的混凝土面层，或为厚度小于35mm非结构性混凝土面层时视为柔性楼盖、屋盖。

4.3 抗震设计

4.3.1 木-混凝土组合结构的地震作用或风荷载作用组合下的内力和位移计算、水平位移限值、舒适度要求、结构整体稳定验算，以及结构抗震性能化设计和抗连续倒塌设计等，应符合国家现行国家强制性工程建设规范《木结构通用规范》GB55005和《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002的有关规定，并应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009、《建筑抗震设计规范》GB50011、《木结构设计标准》GB50005和《多高层木结构建筑技术标准》GB/T51226的有关规定。

4.3.2 木-混凝土组合结构建筑应根据不同情况，分别采用下列地震作用计算方法：

- 1** 木-混凝土组合结构建筑宜采用振型分解反应谱法。对质量和刚度不对称、不均匀的木-混凝土组合结构建筑应采用考虑扭转耦联振动影响的振型分解反应谱法。

2 高度不超过20m、以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀の木-混凝土组合结构建筑，可采用底部剪力法。

3 对于抗震设防烈度为7度、8度和9度的木-混凝土组合结构建筑符合下列情况时，宜采用弹性时程分析法进行多遇地震下的补充计算：

- 1) 甲类木-混凝土组合结构建筑；
- 2) 木混合结构建筑；
- 3) 符合表4.3.2中规定的乙、丙类木-混凝土组合结构建筑；
- 4) 质量沿竖向分布特别不均匀的木-混凝土组合结构建筑。

表4.3.2 采用时程分析法的乙、丙类木-混凝土组合结构建筑

设防烈度、场地类别	建筑高度范围
8度Ⅰ、Ⅱ类场地和7度	≥24m
8度Ⅲ、Ⅳ类场地	≥18m
9度	≥12m

4.3.3 当多高层建筑的上部为木-混凝土组合结构、下部为钢结构或钢筋混凝土结构时，其连接处的强度、局部承压和抗拉拔作用抗震计算，应将地震作用引起的侧向力和倾覆力的取值乘以不小于1.2的放大系数。

【条文说明】本条提出了地震作用对上下混合木结构设计的相关规定。

主要通过强调上下混合结构的连接设计的特殊性，考虑地震引起的不确定性，保证木-混凝土组合结构的延性和安全。

4.3.4 木-混凝土组合结构进行抗震设计时的阻尼比取值，在多遇地震验算时可取为0.03，在罕遇地震验算时可取为0.05。当其底部混合了混凝土结构或钢结构，或结构采用了混凝土核心筒时，阻尼比可根据位能等效原则通过计算确定。

【条文说明】影响结构阻尼比的因素很多，准确确定结构阻尼比存在一定困难。综合国内外工程实测及结构试验结果表明：木结构在微振动和较小振动下的阻尼比较小。绝大多数实测数据位于0.02和0.04之间；试验表明：随着木结构振动的加大，其阻尼比呈上升趋势。结构进入较大弹塑性阶段的最大阻尼比实测值超过0.1。阻尼比与木结构的结构类型有一定关系，但其差异的研究尚不深入，故暂不作出进一步的细化规定。因此，为简化设计计算，此处规定一般的木-混凝土组合结构在多遇地震验算时结构的阻尼比可取0.03，在罕遇地震验算时的阻尼比可取0.05。对于混合木结构中上下

混合木结构和混凝土核心筒木结构，按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定，采用位能等效原则的计算方法确定阻尼比。

4.3.5 木-混凝土组合结构建筑在弹性状态下的层间位移角和弹塑性层间位移角应符合表4.3.5的规定。

表4.3.5 多高层木结构建筑层间位移角限值

结构体系		弹性层间位移角	弹塑性层间位移角
一般的木-混凝土组合结构		$\leq 1/350$	$\leq 1/50$
上下混合木结构	上部的木-混凝土组合结构	$\leq 1/350$	$\leq 1/50$
	下部的混凝土框架	$\leq 1/550$	
	下部的钢框架	$\leq 1/350$	
	下部的混凝土框架剪力墙	$\leq 1/800$	
混凝土核心筒木结构		$\leq 1/800$	$\leq 1/50$

4.3.6 当木-混凝土组合结构进行抗侧承载力设计和层间位移计算时，宜将节点按铰接节点考虑；结构体系应设置必要的支撑或抗震墙等抗侧力构件，以满足整体结构抗侧力要求。

4.3.7 木-混凝土组合构件的承载力应采用下列公式验算：

1 持久设计状况、短暂设计状况：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (4.3.7-1)$$

2 地震设计状况：

$$S_d \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (4.3.7-2)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数；按现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068相关规定确定；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；按本标准第4.3.9条确定；

S_d ——承载能力极限状态的荷载组合的效应设计值。按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009进行计算；

R_d ——构件的承载力设计值。

4.3.8 对正常使用极限状态，木-混凝土组合构件应按荷载效应的标准组合，并应采用下列公式验算：

$$S \leq C \quad (4.3.8)$$

式中： S ——正常使用极限状态荷载组合的效应设计值；

C ——根据结构构件正常使用要求规定的变形限值。

4.3.9 木-混凝土组合构件进行抗震验算时,承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应符合表4.3.9的规定。当仅计算竖向地震作用时,构件的承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应取为1.0。

表4.3.9 承载力抗震调整系数

结构构件	受力状态	系数 γ_{RE}
柱、梁	受弯、受拉、受剪	0.90
	轴压和压弯	0.85
剪力墙		0.85

5 连接节点设计

5.1 一般规定

5.1.1 木-混凝土组合结构的连接设计除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《木结构通用规范》GB55005，以及现行国家标准《木结构设计标准》GB50005和《胶合木结构技术规范》GB/T50708的有关规定。

5.1.2 木-混凝土组合结构的连接节点设计应进行木-混凝土界面的连接设计和结构的节点设计。

5.1.3 木-混凝土组合结构的连接节点设计应遵循如下原则：

- 1 连接节点应受力简单、传力明确。
- 2 连接节点在设计计算时采用的计算模型应与实际情况相符，当不能明确连接节点的计算模型时，应提供试验验证或工程验证的技术文件。
- 3 在容易发生腐蚀的使用环境下，应对连接节点部位采取防护措施或直接采用耐腐蚀材料。
- 4 连接应避免连接部位的木材出现横纹受拉破坏；在偏心连接中易产生横纹拉应力，除非其安全性已通过试验验证或工程验证，否则不应采用。

【条文说明】本条规定了木-混凝土组合结构连接节点设计应遵循的原则。

- 1 本款主要是为了保证结构的安全可靠、经济耐久、加工安装方便。
- 2 连接计算模型的选取对整体结构的设计计算和安全性都有很大的影响，因此有必要编制本条文。
- 3 在滨水、长期暴露在室外、腐蚀性条件等使用环境下，结构及连接所处环境恶劣，极易产生腐蚀，对结构安全性和耐久性将造成不利影响。本条文主要对此环境条件下的连接提出相应要求。
- 4 在木结构连接或木-混凝土组合结构连接中经常会出现横纹拉应力，而木材的横纹抗拉强度是非常低的，因此在横纹拉应力作用下极易发生开裂现象，进而造成很大的安全隐患甚至出现工程失效情形，因此有必要对此提出相应要求，从而避免出现此类破坏。

5.1.4 在正常使用极限状态下，当木-木销连接中紧固件轴线与木材顺纹方向相垂直时，单个紧固件在每个剪面上的滑移刚度 k_s 取值，应按表5.1.4的规定采用。

表5.1.4 木-木销连接在每个剪面上的单个紧固件的滑移刚度 k_s 取值

紧固件类型	k_s (N/mm)
圆钢销, 螺栓, 木螺钉, 有预钻孔的钉	$k_s = \rho^{1.5} d / 23$
无预钻孔的钉	$k_s = \rho^{1.5} d^{0.8} / 30$
剪板	$k_s = \rho d_c / 2$

注: 1 ρ 为木材的密度 (kg/m^3), d 为紧固件的直径 (mm), d_c 为剪板的直径 (mm);

2 当被连接木构件的木材密度不同且分别为 ρ_1 和 ρ_2 时, 表格中密度取值为 $\rho = \sqrt{\rho_1 \rho_2}$ 。

【条文说明】滑移刚度指标是衡量木结构连接刚度和延性性能的重要指标之一, 本条借鉴欧洲规范5, 规定了木-木销连接的滑移刚度经验值, 其影响因素主要为紧固件类型、被连接木材密度和紧固件直径。

5.1.5 对于木构件钢填板连接和钢夹板连接, 当采用传统栓钉连接时, 单个紧固件在每个剪面上的滑移刚度 k_s 取值可取为相应木-木构件连接滑移刚度的2倍。

【条文说明】对于栓钉紧固件在钢构件中的部分, 可忽略其滑移变形, 因此近似取其滑移刚度为相应木-木构件连接界面滑移刚度的2倍。

5.1.6 在承载能力极限状态下, 单个紧固件在每个剪面上的滑移刚度 k_u 取值, 应按下列公式计算。

$$k_u = \frac{2}{3} k_s \quad (5.1.6)$$

5.2 界面连接设计

5.2.1 木-混凝土组合构件界面连接方式宜采用栓钉连接 (图5.2.1(a), (图5.2.1(b))) 和榫连接 (图5.2.1(c)), 也可采用植钢板连接。

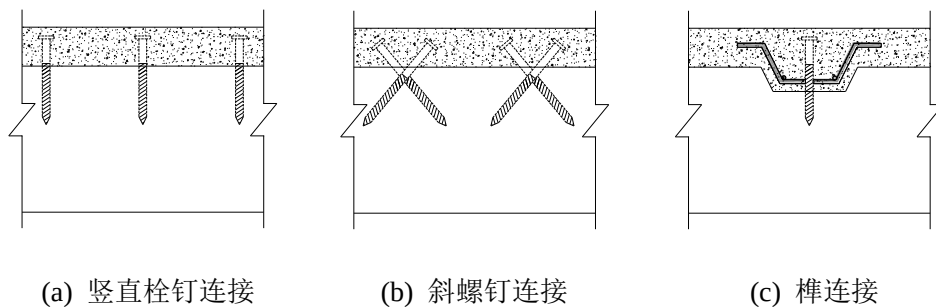


图5.2.1 木-混凝土组合构件界面的主要连接方式

【条文说明】相对于木构件, 木-混凝土组合构件具有更优的抗弯刚度和承载力, 以及

更好地桥面防水性能和桥梁的耐久性能。一般而言，木-混凝土组合构件可分为木-混凝土组合梁和木-混凝土组合板两大类，木-混凝土组合梁通常由木梁和混凝土板组成，而木-混凝土组合板由木质结构板和混凝土板组合而成。

木与混凝土之间界面的连接方式较为灵活，常见的有栓钉连接和榫连接，还可采用预埋钢板连接或植钢板连接等方式。

5.2.2 当木-混凝土组合构件界面采用栓钉连接时，栓钉宜采用六角头木螺钉、自攻螺钉或植筋方式，界面连接承载力计算不应考虑紧固件的绳索效应。

5.2.3 当木-混凝土组合构件界面采用榫连接时，应符合下列规定：

1 应配置六角头木螺钉、自攻螺钉或植筋紧固件以在木和混凝土界面处提供足够的拉力，且拉力不应小于界面处剪力的1/10。

2 榫口部位应设置构造钢筋（图5.2.1(c)）。

【条文说明】本条规定了木-混凝土组合构件中榫连接的抗掀起要求和抗剪钢筋配置要求。

木-混凝土组合构件连接界面除了应满足界面抗剪承载力要求外，还应保证木与混凝土界面的紧密接触，同时保证木材和混凝土在榫口部位的抗剪承载力。所设置的自攻螺钉或植筋紧固件可以承担抗拔力或掀起力，而构造钢筋可以分担木材或混凝土内的剪力。

5.2.4 对于木-混凝土组合构件，当采用图5.2.1(a)所示的竖直栓钉连接时，单个紧固件在每个剪面上的滑移刚度 k_s 取值可取为相应木-木构件连接界面滑移刚度的2倍。

【条文说明】对于栓钉紧固件在混凝土或钢构件中的部分，可忽略其滑移变形，因此近似取其滑移刚度为相应木-木构件连接界面滑移刚度的2倍，木-木构件连接界面滑移刚度取值可参照本标准5.1节的有关规定。

5.2.5 在正常使用极限状态下，当木-混凝土界面采用斜螺钉连接且剪面受剪过程中产生螺钉抗拔力作用时，单个木螺钉在每个剪面上的滑移刚度 k_s 取值，应按下列公式计算。

$$k_s = k_{\perp} \cos^2 \alpha + k_{//} \sin^2 \alpha \quad (5.2.5-1)$$

式中： α ——螺钉的倾斜角度（°）；

$k_{\perp}$ ——垂直于螺钉方向的刚度分量（N/mm），由下列公式确定；

$$k_{\perp} = \frac{k_{h,\alpha} (\sin 2\lambda l + \sinh 2\lambda l)}{\lambda \sin \alpha (\cos 2\lambda l + \cosh 2\lambda l + 2)} \quad (5.2.5-2)$$

$k_{//}$ ——平行于螺钉方向的刚度分量 (N/mm)，由下列公式确定。

$$k_{//} = -\frac{wE_s A_s}{l} \tanh w \quad (5.2.5-3)$$

式中： $w = 2\sqrt{\frac{k_{ax,\alpha}}{E_s d}} l$ ；

λ ——文克尔弹性特征值 (mm^{-1})，且 $\lambda = [k_{h,\alpha} / (4E_s I_s)]^{1/4}$ ；

$k_{h,\alpha}$ ——与木材顺纹夹角为 α 方向的木材销槽承压模量 (N/mm^2)，可由试验确定；

d ——螺钉直径(mm)；

l ——螺钉贯入长度(mm)；

E_s ——螺钉的弹性模量(N/mm^2)；

I_s ——钉截面惯性矩(mm^4)；

$k_{ax,\alpha}$ ——螺钉与木材顺纹夹角为 α 时的拔出模量(N/mm^3)，可按下列公式计算。

$$k_{ax,\alpha} = \frac{9.35}{1.5 \sin^{2.2} \alpha + \cos^{2.2} \alpha} \quad (5.2.5-4)$$

【条文说明】当斜螺钉受力且产生抗拔力时，螺钉的抗拔作用将会进一步约束界面的滑移变形，同时也会提高界面连接的极限承载力，因此，需要将此部分的贡献计入。直于螺钉方向的刚度分量实际上是由斜纹受力木材的销槽承压提供的，而平行于螺钉方向的刚度分量则由螺钉抗拔作用所贡献。

5.2.6 在正常使用极限状态下，当木-混凝土界面采用榫连接时，单榫的滑移刚度 k_s 取值，应按下列公式计算。

$$k_s = \frac{G_w G_c d_w d_c}{G_w d_w + G_c d_c} \quad (5.2.6)$$

式中： G_w ， G_c ——分别为木材和混凝土的剪切模量 (N/mm^2)；

d_w ， d_c ——分别为木材和混凝土的受剪面宽度 (mm)。

【条文说明】本条规定了榫连接界面滑移刚度的计算方法，主要考虑了榫口处木材承压、抗剪和混凝土承压、抗剪的影响。

5.2.7 当木-混凝土界面采用斜螺钉紧固件且剪面受剪过程中产生螺钉抗拔力作用时，单个木螺钉在每个剪面上的抗剪承载力 R_{st} 取值，应按下列公式计算。

$$R_{st} = \min \begin{cases} R_{st,0} = f_{ax,\alpha} dt \cot \alpha + f_{h,\alpha} dt \\ R_{st,1} = f_{ax,\alpha} dt \cot \alpha + f_{h,\alpha} dt \left[2 \frac{x_{st,1}}{t} - 1 \right] \\ R_{st,2} = f_{ax,\alpha} dt \cot \alpha + f_{h,\alpha} dx_{st,2} \end{cases} \quad (5.2.7-1)$$

式中： $R_{st,0}$ ——不出现塑性铰时的界面抗剪承载力(N)；

$R_{st,1}$ ——出现一个塑性铰时的界面抗剪承载力(N)；

$R_{st,2}$ ——出现两个塑性铰时的界面抗剪承载力(N)；

d ——螺钉直径(mm)；

t ——螺钉贯入深度(mm)；

α ——螺钉与界面的夹角(rad)；

$f_{h,\alpha}$ ——木材沿顺纹夹角 α 方向的承压强度(N/mm²)；

$f_{ax,\alpha}$ ——螺钉与木材顺纹夹角为 α 时的抗拔强度(N/mm²)；

$x_{st,1}$ ——顺剪钉产生单塑性铰时塑性铰所处位置的深度(mm)，可按下列公式计算；

$$x_{st,1} = \frac{t}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{2M_y \sin^2 \alpha}{f_{h,\alpha} dt^2} + 1} \quad (5.2.7-2)$$

$x_{st,2}$ ——顺剪钉产生双塑性铰时第二个塑性铰位置的深度(mm)，可按下列公式计算。

$$x_{st,2} = 2t \sqrt{\frac{M_y}{f_{h,\alpha} dt^2} \sin \alpha} \quad (5.2.7-3)$$

公式(5.2.7-2)和公式(5.2.7-3)中： M_y ——螺钉的屈服弯矩(N mm)。

【条文说明】本条根据对三种破坏模式下界面抗剪承载力进行比较而取其最小值，规定了存在抗拔力作用的斜螺钉连接的界面连接承载力的方法。

5.2.8 当木-混凝土界面采用斜螺钉紧固件且剪面受剪过程中不出现螺钉抗拔力作用时，单个木螺钉在每个剪面上的抗剪承载力 R_{sc} 取值，应按下列公式计算。

$$R_{sc} = \min \begin{cases} R_{sc,1} = f_{h,\alpha} d (2x_{sc,1} - 0.5x_1 - t) \\ R_{sc,2} = f_{h,\alpha} d (x_{sc,2} - 0.5x_1) \end{cases} \quad (5.2.8-1)$$

式中： $R_{sc,1}$ ——逆剪钉产生单塑性铰时的抗剪承载力(kN)；

$R_{sc,2}$ ——逆剪钉产生双塑性铰时的抗剪承载力(kN)；

$x_{sc,1}$ ——逆剪钉产生单塑性铰时塑性铰位置的深度(mm)，按下列公式计算；

$$x_{sc,1} = \sqrt{\frac{M_y \sin^2 \alpha}{f_{h,\alpha} d} + \frac{x_1^2}{6} + \frac{t^2}{2}} \quad (5.2.8-2)$$

$x_{sc,2}$ ——逆剪钉产生双塑性铰时塑性铰位置的深度(mm)，按下列公式计算；

$$x_{sc,2} = \sqrt{\frac{4M_y \sin^2 \alpha}{f_{h,\alpha} d} + \frac{x_1^2}{3}} \quad (5.2.8-3)$$

式中： x_1 ——逆剪钉斜截面上达到其承压强度的深度(mm)，取值为 $\frac{f_{h,\alpha} d}{2 \tan \alpha f_s}$ ，其中， f_s 为木材顺纹抗剪强度(N/mm²)。

【条文说明】本条根据对两种破坏模式下界面抗剪承载力进行比较而取其较小值，规定了不产生抗拔力作用的斜螺钉连接的界面连接承载力的方法。

5.2.9 当木-木连接采用榫连接(图5.2.9)时，单榫的抗剪承载力 R_s 应按下列公式计算。

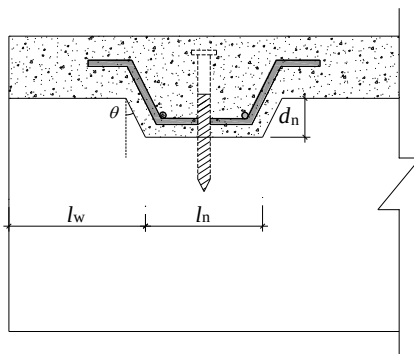


图5.2.9 榫连接示意图

$$R_s = \min[F_{c,w}, F_{s,w}, F_{c,c}, F_{s,c}] \quad (5.2.9-1)$$

式中： $F_{c,w}$ ——榫口处木材的受压破坏承载力，可按公式(5.2.9-2)计算(N)；

$F_{s,w}$ ——榫口间木材的受剪破坏承载力，可按公式(5.2.9-3)计算(N)；

$F_{c,c}$ ——榫口处混凝土的受压破坏承载力，可按公式(5.2.9-4)计算(N)；

$F_{s,c}$ ——榫口间混凝土的受剪破坏承载力，可按公式(5.2.9-5)计算(N)。

$$F_{c,w} = f_{c,w} b_{c,w} d_n \cos \theta \quad (5.2.9-2)$$

式中： $f_{c,w}$ ——木材的顺纹抗压强度设计值(N/mm²)；

$b_{c,w}$ ——木材受压面的总宽度(mm)；

d_n ——开口榫的深度(mm)；

θ ——开口榫斜面与垂直面之间的角度(°)。

$$F_{s,w} = f_{s,w} b_{s,w} l_w \quad (5.2.9-3)$$

式中： $f_{s,w}$ ——木材的顺纹抗剪强度设计值（ N/mm^2 ）；

$b_{s,w}$ ——木材受剪面的总宽度（ mm ）；

l_w ——木材受剪端的长度（ mm ）。

$$F_{c,c} = f_{c,c} b_{c,c} d_n \quad (5.2.9-4)$$

式中： $f_{c,c}$ ——混凝土的抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；

$b_{c,c}$ ——混凝土受压面的宽度（ mm ）。

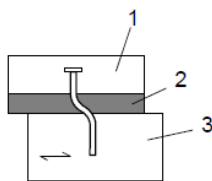
$$F_{s,c} = 0.8P_w + 0.2f_{cc}b_{cc}(2d_n \tan \theta + l_n) \quad (5.2.9-5)$$

式中： P_w ——螺钉的抗拔承载力设计值（ kN ），由螺钉抗拔试验确定。

l_n ——混凝土凸榫的长度（ kN ）。

【条文说明】本条通过对四种破坏模式下界面抗剪承载力进行比较而取其较小值，规定了榫连接的界面连接承载力的方法。

5.2.10 当木-混凝土组合构件界面处设置了永久模板或橡胶层等非结构性中间层时（图5.2.10），界面连接承载力和滑移刚度应提供试验验证或工程验证的技术文件。



注：1 混凝土；2 非结构性中间层；3 木材

图5.2.10 混凝土和木材之间的中间层

【条文说明】当木-混凝土组合构件连接界面处设置了永久模板或橡胶层等非结构性中间层时，界面处产生了结构或受力上的不连续性，在进行界面连接承载力设计时必须加以考虑，必要时进行试验验证。

5.2.11 当采用植钢板等新型剪力连接件时，木-混凝土组合构件中木与混凝土界面连接承载力和滑移性能可通过本标准附录A确定。

【条文说明】本标准鼓励新材料、新技术、新工艺和新方法的应用，对于采用新型剪力连接件的木-混凝土组合构件，其界面结构性能指标可通过试验进行确定，必要时进行专家论证。

5.2.12 木-混凝土组合构件中剪力连接件数量可在对应的剪跨区段内均匀布置。当在此剪跨区段内有较大集中荷载作用时，宜将剪力连接件个数按剪力图面积比例分配后

再各自均匀布置。

5.3 节点设计

5.3.1 木-混凝土组合结构节点设计应根据结构的重要性、受力特点、荷载情况和工作环境等因素选用节点形式、材料与加工工艺。

5.3.2 木-混凝土组合结构的节点可采用铰接节点和半刚性节点。当采用半刚性节点时，应进行在弯矩和剪力作用下的强度验算，且整体结构分析应满足本标准4.2.3节的要求。

5.3.3 在木构件顺纹受力的销连接抗剪承载力计算中，应计顺纹方向同排紧固件之间的不均匀受力的影响。

【条文说明】本条规定了木构件群栓连接时的处理措施。

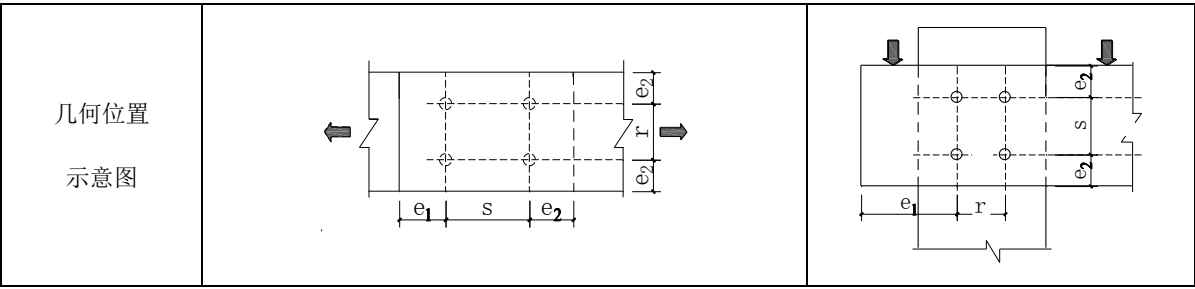
试验和数值分析表明：由于受到加工误差、材料性能和材料缺陷等因素的影响，木构件销连接中剪力在一行紧固件中的分布并不均匀，设计时必须考虑这种受力不均匀导致的承载力折减。

5.4 连接构造措施

5.4.1 销轴类紧固件的端距、边距、间距和行距最小尺寸应符合表5.4.1的规定。当采用螺栓、销或六角头木螺钉作为紧固件时，其直径不应小于6mm。

表5.4.1 销轴类紧固件的端距、边距、间距和行距的要求

距离名称	顺纹荷载作用时		横纹荷载作用时	
最小端距 e_1	受力端	$7d$	受力边	$4d$
	非受力端	$4d$	非受力边	$1.5d$
最小边距 e_2	当 $l/d \leq 6$	$1.5d$	$4d$	
	当 $l/d > 6$	取 $1.5d$ 与 $r/2$ 两者较大值		
最小间距 s	$4d$		$4d$	
最小行距 r	$2d$		当 $l/d \leq 2$	$2.5d$
			当 $2 < l/d < 6$	$(5l + 10d)/8$
			当 $l/d \geq 6$	$5d$



注：1. 受力端为销槽受力指向端部；非受力端为销槽受力背离端部；受力边为销槽受力指向边部；非受力边为销槽受力背离端部；

2. 表中， l 为紧固件长度， d 为紧固件的直径；并且， l/d 应取下列两者中的较小值；

1) 紧固件在主构件中的贯入深度 l_m 与直径 d 的比值 l_m/d ；

2) 紧固件在次构件中的总贯入深度 l_s 与直径 d 的比值 l_s/d ；

3. 当钉连接不预钻孔时，其端距、边距、间距和行距应为表中数值的2倍。

5.4.2 交错布置的销轴类紧固件(图5.4.2)，其端距、边距、间距和行距的布置应符合下列规定：

1 对于顺纹荷载作用下交错布置的紧固件，当相邻行上的紧固件在顺纹方向的间距不大于 $4d$ 时，则可将相邻行的紧固件确认是位于同一截面上。 d 为紧固件的直径。

2 对于横纹荷载作用下交错布置的紧固件，当相邻行上的紧固件在横纹方向的间距不小于 $4d$ 时，则紧固件在顺纹方向的间距不受限制；当相邻行上的紧固件在横纹方向的间距小于 $4d$ 时，则紧固件在顺纹方向的间距应符合本标准表5.4.1的规定。 d 为紧固件的直径。

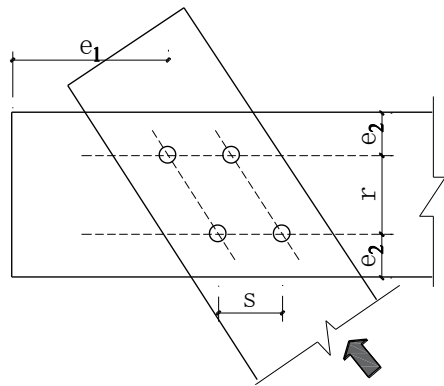


图5.4.2 紧固件交错布置几何位置示意图

5.4.3 当六角头木螺钉承受轴向上拔荷载时，端距 e_1 、边距 e_2 、间距 s 以及行距 r 应满足表5.4.3的规定。

表5.4.3 六角头木螺钉承受轴向上拔荷载时的端距、边距、间距和行距的最小值

距离名称	最小值
端距 e_1	$4d$
边距 e_2	$1.5d$
行距 r 和间距 s	$4d$

注：表中 d 为六角头木螺钉的直径。

5.4.4 对于采用单剪或对称双剪的销轴类紧固件的连接（图5.4.4），应符合下列要求：

1 构件连接面应紧密接触。

2 荷载作用方向与销轴类紧固件轴线方向垂直。

3 六角头木螺钉在单剪连接中的主构件上或双剪连接中次构件上的最小贯入深度不应包括端尖部分的长度，并且，最小贯入深度不应小于六角头木螺钉直径的4倍。

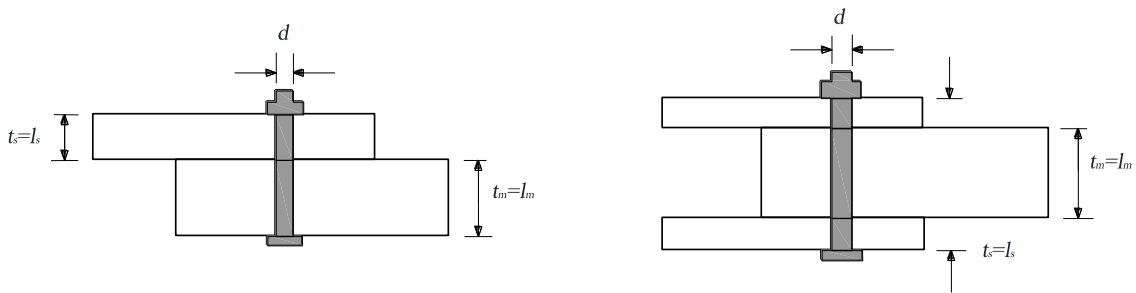


图 5.4.4 销轴类紧固件的连接方式

5.4.5 对于木构件销连接和木-混凝土组合构件中的栓钉连接，其构造应符合下列要求：

1 木构件中螺栓孔直径比螺栓直径最大大1mm，圆钢销在木构件中的预钻孔不应大于销直径，销直径的允许偏差为-0/+0.1；

2 对于光圆螺杆部分的直径不大于6mm的木螺钉连接，当连接针叶材木构件时，不需要预钻孔；

3 当阔叶材木构件采用木螺钉连接，以及对于光圆螺杆部分的直径大于6mm的木螺钉连接用于针叶材木构件时，所需预钻孔的孔径为：光圆螺杆部分与螺杆自身相同，螺纹部分约为光圆螺杆孔径的0.7倍；

4 当木材密度超过 500kg/m^3 时，木螺钉预钻孔直径应通过试手段验获取；

5 当螺帽或螺母下设置钢垫圈时，其直径不应小于螺栓直径的3倍，其厚度不应小于螺栓直径的0.3倍；

6 当螺帽或螺母下设置矩形钢垫板时，其边长不应小于螺栓直径的3倍，其厚度

不应小于螺栓直径的0.3倍。

【条文说明】5.4.1~5.4.5 主要规定了销连接的相关构造要求，主要包括销轴类紧固件的端距、边距、间距和行距的相关要求，还有紧固件在木构件上的开孔以及与木构件直接接触的垫圈尺寸要求等。

5.4.6 当采用榫连接时，木-混凝土组合构件的连接构造应符合下列要求：

- 1 榫口深度 d_n 不应小于30 mm，榫口长度 l_n 不应小于150 mm（图5.2.9）；
- 2 木构件受剪端顺纹剪切面的长度 l_w 以及榫间距 l_s 均不应小于 $12.5d_n$ （图5.2.9）；
- 3 栓钉直径应大于或等于6mm。

5.4.7 当采用植筋连接作为木-混凝土组合构件的剪力连接件时，植筋在木构件中的锚固长度不应小于植筋直径的5倍，在混凝土板中的锚固长度不应小于植筋直径的3倍。

5.4.8 当采用植钢板连接作为木-混凝土组合构件的剪力连接件时，钢板在木构件中的锚固长度不应小于钢板厚度的8倍，在混凝土板中的锚固长度不应小于钢板厚度的5倍。

5.4.9 剪板连接的构造要求可参照现行国家标准《胶合木结构技术规范》GB/T50708的相关规定执行。

5.4.10 木-混凝土组合构件中的混凝土板厚不应小于50 mm，也不应大于300 mm。

5.4.11 当采用图5.2.1(a)所示的竖直栓钉连接时，木-混凝土组合构件界面部位的中间层厚度不应超过50 mm。

5.4.12 木-混凝土组合构件中混凝土板保护层厚度应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关规定。

6 组合构件设计

6.1 一般规定

6.1.1 木-混凝土组合结构中的木构件设计除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《木结构通用规范》GB55005和现行国家标准《木结构设计标准》GB50005的有关规定。

6.1.2 木-混凝土组合结构中的混凝土构件设计除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《混凝土结构通用规范》GB55008和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关规定。

6.1.3 木-混凝土组合构件中的混凝土板可采用预制混凝土板、钢筋桁架楼承板以及带有永久模板的现浇混凝土板。

【条文说明】考虑到与木结构装配化安装相适应，可优先选用预制混凝土板和钢筋桁架楼承板等工业化形式；当条件不具备时，也可采用带有永久模板的现浇混凝土板。

6.1.4 木-混凝土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计算；
- 2 有抗震设防要求时，应进行抗震承载力计算。

6.1.5 当进行木-混凝土组合构件设计时，应分别对其施工及使用阶段进行设计，并应考虑施工方法及工序的影响。在混凝土浇筑过程中和混凝土未达到强度设计值之前，应根据临时支撑的情况对木梁进行强度、稳定性和变形验算。

防止木梁和混凝土板之间产生竖向分离的抗掀起作用

6.1.6 木-混凝土组合构件中的剪力连接件应具有防止木梁和混凝土板之间产生竖向分离的抗掀起作用。

6.1.7 当进行木-混凝土组合梁设计时，跨中及支座处混凝土翼板的有效宽度应按下列公式计算（图6.1.7-1）：

$$b_{\text{eff}} = b_w + \sum b_{\text{eff},i} \quad (6.1.7-1)$$

式中： b_{eff} ——混凝土翼板的有效宽度（mm）；

b_w ——木梁的宽度（mm）；

$b_{\text{eff},i}$ ——梁侧翼板的计算宽度（mm），按公式（6.1.7-2）计算；对于有翼板外伸的边梁， $b_{\text{eff},i}$ 尚不应超过翼板的实际外伸宽度 S 。

$$b_{\text{eff},i} = 0.2b_i + 0.1l_0 \leq \min(0.2l_0, b_i) \quad (6.1.7-2)$$

式中： b_i ——相邻木梁间净距的1/2；

l_0 ——等效跨度（mm），对于简支组合梁，取为简支组合梁的跨度 l ；对于连续组合梁，按图6.1.7-2确定。

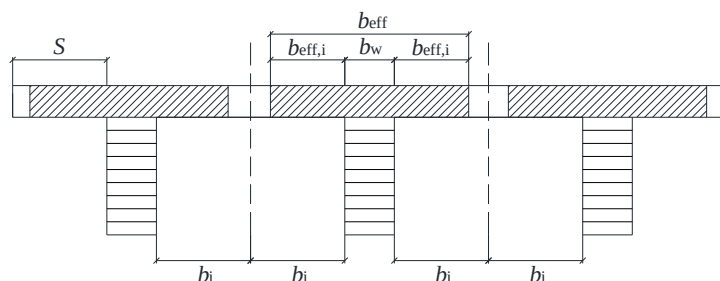


图6.1.7-1 混凝土翼板的计算宽度

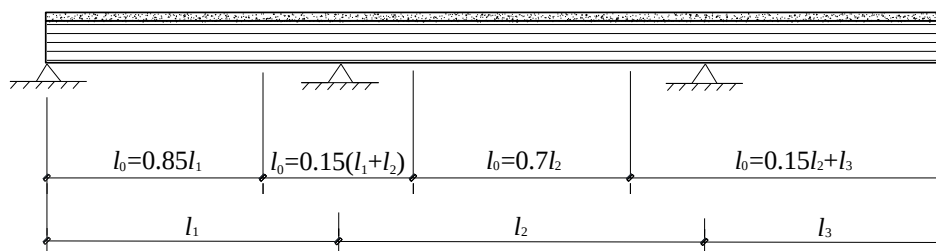


图6.1.7-2 连续组合梁 l_0 的确定方法

【条文说明】对木-混凝土组合梁进行承载力极限状态设计时，须先确定组合梁“T”型截面的翼缘有效宽度。我国现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ138第12.1.1条、欧洲规范《混凝土结构设计—第1-1 部分：一般规定与建筑设计规程》EN1992-1-1第5.3.2.1和欧洲规范《钢与混凝土组合结构—第1-1 部分：一般规定与建筑设计规程》EN1994-1-1第5.4.1.2条均提出了类似方法。

6.2 抗弯刚度

6.2.1 木-混凝土组合构件在承载力极限状态下的等效抗弯刚度应考虑正、负弯矩的作用影响：

1 正弯矩作用下（见图6.2.1-1）

$$(EI)_{\text{eff}} = E_c I_c + E_w I_w + \gamma_c E_c A_c a_c^2 + \gamma_w E_w A_w a_w^2 \quad (6.2.1-1)$$

式中： E_c ——混凝土的弹性模量（N/mm²）；

I_c ——混凝土构件的截面惯性矩（mm⁴），按公式（6.2.1-2）计算；

E_w ——木材的弹性模量（N/mm²）；

I_w ——木构件的截面惯性矩（mm⁴）；

A_c ——混凝土的横截面面积（N/mm²），按公式（6.2.1-3）计算；

A_w ——木梁的横截面面积 (N/mm^2) ;

a_c ——混凝土截面形心到中性轴的距离 (mm) , 按公式 (6.2.1-6) 计算;

a_w ——木截面形心到中性轴的距离 (mm) , 按公式 (6.2.1-7) 计算;

γ_c ——混凝土构件考虑界面滑移的影响系数, 取1.0。

γ_w ——木构件考虑界面滑移的影响系数, 按公式 (6.2.1-9) 计算。

$$I_c = \frac{1}{12} b_c h_{c,\text{eff}}^3 \quad (6.2.1-2)$$

$$A_c = b_c h_{c,\text{eff}} \quad (6.2.1-3)$$

式中, b_c ——混凝土构件的计算板宽 (mm) , 当计算木-混凝土组合梁时, 有效板宽按式 (6.1.7-1) 计算;

$h_{c,\text{eff}}$ ——混凝土构件的有效高度 (mm) , 按公式 (6.2.1-4) 计算。

$$h_{c,\text{eff}} = \sqrt{\alpha^2 + \alpha(h_w + 2h_c + 2t)} - \alpha \leq h_c \quad (6.2.1-4)$$

$$\alpha = \frac{\gamma_w E_w A_w}{E_c A_c} \quad (6.2.1-5)$$

式中, h_c ——混凝土构件的截面高度 (mm) ;

h_w ——木构件的截面高度 (mm) ;

t ——非结构层的厚度 (mm) , 无非结构层时取0。

$$a_c = \frac{\gamma_w E_w A_w r}{E_c A_c + \gamma_w E_w A_w} \quad (6.2.1-6)$$

$$a_w = \frac{E_c A_c r}{E_c A_c + \gamma_w E_w A_w} \quad (6.2.1-7)$$

$$r = \frac{1}{2} h_w + t + h_c - \frac{h_{c,\text{eff}}}{2} \quad (6.2.1-8)$$

$$\gamma_w = \frac{1}{1 + \frac{E_w A_w \pi^2}{K l_0^2}} \quad (6.2.1-9)$$

式中: K ——组合梁界面单位长度上的连接滑移刚度 (kN/mm^2) , 按公式 (6.2.1-10) 计算。

$$K = \frac{k}{s_{\text{ef}}} \quad (6.2.1-10)$$

式中： s_{ef} ——剪力连接件的等效间距（mm），当均匀布置时，取两个剪力件之间的中心间距，当非均匀布置时按公式（6.2.1-11）计算；

k ——剪力连接件滑移刚度（kN/mm）。此处取为 k_u ，可根据本标准第5章有关规定确定。

$$s_{ef} = 0.75s_{\min} + 0.25s_{\max} \quad (6.2.1-11)$$

式中： $s_{\min}$ ——剪力连接件的最小间距（mm）；

$s_{\max}$ ——剪力连接件的最大间距（mm）。

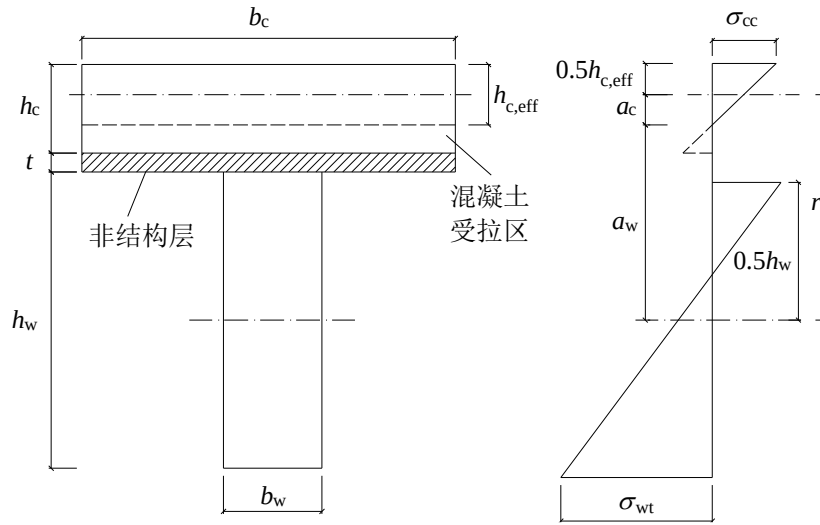


图 6.2.1-1 正弯矩作用下木-混凝土组合梁横截面和应力示意

2 负弯矩作用下（见图6.2.1-2）

$$(EI)_{eff} = E_w I_w + E_s A_s a_s^2 + \gamma_w E_w A_w a_w^2 \quad (6.2.1-12)$$

式中： E_s ——钢筋的弹性模量（N/mm²）；

A_s ——纵向钢筋的横截面积（mm²）；

a_s ——纵向钢筋形心到中性轴的距离（mm），按照式（6.2.1-13）计算；

a_w ——木截面形心到中性轴的距离（mm），按公式（6.2.1-14）计算；

γ_w ——木构件考虑界面滑移的影响系数，按公式（6.2.1-9）计算。

$$a_s = \frac{\gamma_w E_w A_w r_s}{E_c A_c + \gamma_w E_w A_w} \quad (6.2.1-13)$$

$$a_w = \frac{E_c A_c r_s}{E_c A_c + \gamma_w E_w A_w} \quad (6.2.1-14)$$

$$r_s = \frac{1}{2} h_w + h_s + t \quad (6.2.1-15)$$

式中， h_s ——纵向钢筋的形心高度（mm）。

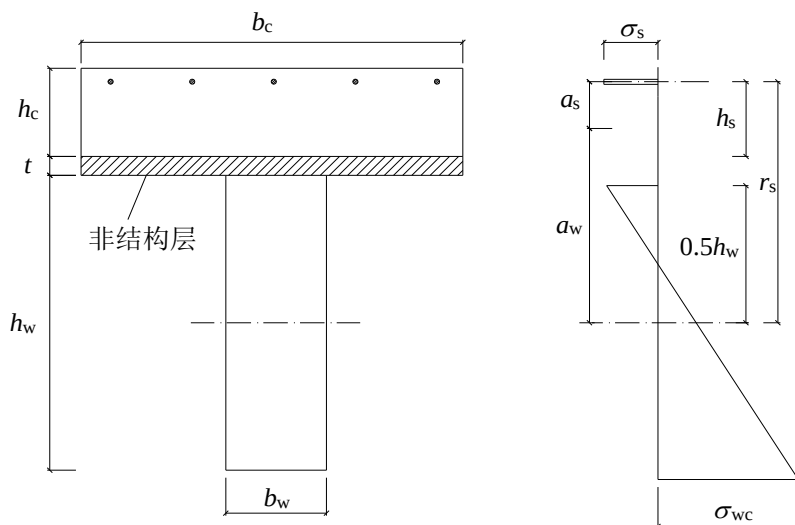


图6.2.1-2 负弯矩作用下木-混凝土组合梁横截面和应力示意

【条文说明】本条给出了计算木-混凝土组合结构的抗弯刚度计算方法，本条规范参考欧洲规范《木结构设计—第1-1 部分：一般规定与建筑设计规程》EN1995-1-1附录B（简称“伽马法”）和加拿大的《Design guide for timber-concrete composite floors in Canada》，同时给出了承载力极限状态时正弯矩和负弯矩下组合构件的抗弯刚度。

6.2.2 当计算正交胶合木-混凝土组合板的抗弯刚度时，正交胶合木板的抗弯刚度 $(E_w I_w)_{CLT}$ 和轴向刚度 $(E_w A_w)_{CLT}$ 应分别按下列公式计算：

$$(E_w I_w)_{CLT} = \sum_{i=1}^n E_i b_i \cdot \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i A_i \cdot z_i^2 \quad (6.2.2-1)$$

$$(E_w A_w)_{CLT} = \sum_{i=1}^n E_i A_i \quad (6.2.2-2)$$

式中： E_i ——各层板材沿截面方向的弹性模量（N/mm²）；

b_i ——各层板材的宽度（mm）；

h_i ——各层板材的厚度（mm）；

A_i ——各层板材的截面积（mm²）；

z_i ——各层截面中心线至中性轴的距离（mm），按下列公式计算。

$$z_i = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i A_i) \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n E_i A_i} - Y_i \quad (6.2.2-3)$$

式中： Y_i ——各层中心线至顶面的距离（mm）。

【条文说明】本条给出了CLT的抗弯刚度。当木-混凝土组合楼板采用CLT板时，为减少计算量，建议将CLT板作为整体考虑到与混凝土板的协同受力中，即将本条规范中的CLT板的抗弯刚度代替6.2.1条中的木构件的抗弯刚度，即可得到CLT-混凝土的抗弯刚度。

6.3 受弯承载力

6.3.1 正弯矩作用下，木-混凝土组合结构的受弯承载力应同时满足木构件和钢筋混凝土构件的受弯性能要求：

$$M = \min(M_w, M_c) \quad (6.3.1-1)$$

式中， M_w ——木构件的受弯承载力设计值（N mm）；

M_c ——钢筋混凝土构件的受弯承载力设计值（N mm）。

1 木构件按照拉弯构件设计，其受弯承载力按下式计算：

$$M_w = \frac{(EI)_{\text{eff}} N_{w,t} M_{w,m}}{\gamma_w E_w A_w a_w M_{w,m} + E_w I_w N_{w,t}} \quad (6.3.1-2)$$

式中： $N_{w,t}$ ——木构件抗拉承载力设计值，按照式（6.3.1-3）计算；

$M_{w,m}$ ——木构件的纯弯承载力设计值，按照式（6.3.1-4）计算。

$$N_{w,t} = A_n f_{w,t} \quad (6.3.1-3)$$

式中： A_n ——木构件净截面面积（mm²）；

$f_{w,t}$ ——胶合木顺纹抗拉强度设计值（N/mm²）。

$$M_{w,m} = W_n f_{w,m} \quad (6.3.1-4)$$

式中： W_n ——构件净截面抵抗矩（mm³）；

$f_{w,m}$ ——胶合木抗弯强度设计值（N/mm²）。

2 钢筋混凝土构件按照压弯构件设计，其受压承载力按下列公式计算：

$$M_c = 0.9 \phi_c f_{c,c} S_c \quad (6.3.1-5)$$

式中， ϕ_c ——钢筋混凝土构件的稳定系数，参考《混凝土结构设计标准》GB 50010-2010（2015版）第6.2.15条确定；

$f_{c,c}$ ——混凝土的抗压强度设计值（N/mm²）；

S_c ——钢筋混凝土构件的等效横截面面积（mm²），按照式（6.3.1-6）计算。

$$S_c = \frac{(EI)_{\text{eff}}}{E_c (0.5 h_{c,\text{eff}} + a_c)} \quad (6.3.1-6)$$

【条文说明】本条给出了计算木-混凝土组合结构在正弯矩作用下的抗弯承载力计算方法，本规范参考设计指南《Design guide for timber-concrete composite floors in Canada》

的6.3.1.1节制定。

6.3.2 负弯矩作用下，木-混凝土组合构件的受弯承载力主要考虑木构件受弯性能的影响：

$$M = \min(M_w, M_p) \quad (6.3.2-1)$$

式中， M_w ——木构件的受弯承载力设计值（N mm），按照式（6.3.2-2）计算；

M_p ——混凝土构件发生塑性变形后，仅考虑钢筋和木材贡献的受弯承载力设计值（N mm），按式（6.3.2-4）计算。

1 负弯矩作用下，木-混凝土组合构件中木构件的受弯承载力按下式计算：

$$M_w = \sqrt{\left[\frac{\alpha(EI)_{\text{eff}} E_w A_w}{2M_{w,m}} \right]^2 + \alpha(EI)_{\text{eff}}^2} - \frac{\alpha(EI)_{\text{eff}} E_w A_w}{2M_{w,m}} \quad (6.3.2-2)$$

式中：

$$\alpha = \left(\frac{N_{w,t}}{\gamma_w E_w A_w a_w} \right)^2 \quad (6.3.2-3)$$

2 混凝土构件发生塑性变形后，组合构件的受弯承载力按下式计算：

$$M_y = \phi_s A_s f_y r_s + \left(1.0 - \frac{\phi_s A_s f_y}{N_{w,t}} \right) M_{w,m} \quad (6.2.2-4)$$

式中： ϕ_s ——取0.85；

A_s ——纵向钢筋的横截面积（mm²）；

f_y ——钢筋的抗拉强度设计值（N/mm²）。

【条文说明】本条给出了计算木-混凝土组合结构在负弯矩作用下的抗弯承载力计算方法，本规范参考设计指南《Design guide for timber-concrete composite floors in Canada》的6.3.1.2节制定。

6.3.3 正弯矩作用下，木-混凝土组合构件受剪承载力由连接件、木材和混凝土共同决定，如下式所示：

$$V = \min(V_{\text{con}}, V_w, V_c) \quad (6.3.3-1)$$

式中： V_{con} ——基于剪力件抗剪极限确定的组合构件受剪承载力（N），由式（6.3.3-2）；

V_w ——基于木材抗剪性能确定的组合构件受剪承载力（N），由式（6.3.3-3）；

V_c ——基于混凝土抗剪性能确定的组合构件受剪承载力（N），由式（6.3.3-4）。

$$V_{\text{con}} = \frac{n(EI)_{\text{eff}}}{\gamma_w E_w A_w a_w s} V_s \quad (6.3.3-2)$$

式中： s ——剪力件的计算间距（mm）；

n ——板宽方向剪力件的排数；

V_s ——剪力件的设计强度（kN），按照本规范第5章相关规定确定。

$$V_w = \frac{(EI)_{\text{eff}}}{E_w I_w + 0.5 \gamma_w E_w A_w (h_w + t) a_w} \cdot \frac{2}{3} \phi f_{w,s} A_w \quad (6.3.3-3)$$

式中： ϕ ——调整系数，取0.9；

$f_{w,s}$ ——木材的剪切强度设计值（N/mm²）。

$$V_c = \frac{(EI)_{\text{eff}}}{E_c I_c + 0.5 E_c A_c (2h_c - h_{c,\text{eff}} + t) a_c} \cdot 0.14 b_c h_c \sqrt{f_{c,c}} \quad (6.3.3-4)$$

【条文说明】本条给出了计算木-混凝土组合结构在正弯矩作用下的受剪承载力计算方法，本规范参考设计指南《Design guide for timber-concrete composite floors in Canada》的6.2.1.1节制定。

6.3.4 负弯矩作用下，木-混凝土组合构件受剪承载力按照下式计算：

$$V = \min(V_{\text{con}}, V_{w0}) \quad (6.3.4-1)$$

$$V_{w0} = \frac{2}{3} \phi f_{w,s} A_w \quad (6.3.4-2)$$

【条文说明】本条给出了计算木-混凝土组合结构在负弯矩作用下的受剪承载力计算方法，本规范参考设计指南《Design guide for timber-concrete composite floors in Canada》的6.2.1.2节制定。

7 正常使用极限状态设计

7.1 变形

7.1.1 木-混凝土组合受弯构件的最大挠度，应按荷载效应的准永久组合，并考虑荷载长期作用的影响，按下列公式计算：

$$w_{\text{net,fin}} = w_{\text{inst}} + w_{\text{creep}} - w_{\text{c}} \quad (7.1.1)$$

式中： $w_{\text{net,fin}}$ ——最大挠度（mm）；

w_{inst} ——荷载效应的标准组合计算的挠度（mm）；

w_{creep} ——徐变幅度值（mm）；

w_{c} ——起拱值（mm）。

7.1.2 w_{creep} 应按下列公式计算：

$$w_{\text{creep}} = w_{\text{inst}} \cdot k_{\text{def}} \quad (7.1.2)$$

式中： k_{def} ——徐变系数，是木-混凝土组合受弯构件徐变幅度值与荷载效应的准永久组合下的瞬时挠度的比值，可根据使用条件按表7.1.2的规定确定。

表7.1.2 不同使用条件的徐变系数

使用条件	I：环境相对湿度一年内数周高于65%	II：环境相对湿度一年内数周高于85%	III：环境相对湿度比使用条件II更高
k_{def}	0.60	0.80	2.00

7.1.3 当木-混凝土组合受弯构件为简支构件时， w_{inst} 应按下列公式计算：

$$w_{\text{inst}} = \frac{5ql^4}{384(EI)_{\text{eff}}} \quad (7.1.3-1)$$

当木-混凝土组合受弯构件为悬臂构件时， w_{inst} 应按下列公式计算：

$$w_{\text{inst}} = \frac{ql^4}{8(EI)_{\text{eff}}} \quad (7.1.3-2)$$

式中： q ——荷载效应的标准组合值（N/mm）；

l ——受弯构件计算跨度（mm）；

$(EI)_{\text{eff}}$ ——等效抗弯刚度（N·mm²），按本标准公式（6.2.1-1）计算。

7.1.4 当木-混凝土组合受弯构件为简支构件时，最大挠度 $w_{\text{net,fin}}$ 不应大于 $l/250$ ；当木-混凝土组合受弯构件为悬臂构件时，最大挠度 $w_{\text{net,fin}}$ 不应大于 $l/125$ 。

【条文说明】 本条规定与现行国家标准《木结构设计标准》GB50005相同。

7.2 振动

7.2.1 以行走激励为主的木-混凝土组合楼盖的竖向一阶自振频率 f_1 应大于4.5 Hz，并应符合本标准第7.2.3条的规定，舒适度评判可按7.2.4条和7.2.5条的规定进行。

【条文说明】 自振频率是楼盖舒适度设计的重要因素，参考欧洲规范5修订稿《prEN 1995-1-1 v2023-04-13》的相关规定，以竖向一阶自振频率4.5 Hz对木楼盖的设计方法进行划分。

7.2.2 木-混凝土组合楼盖的竖向一阶自振频率 f_1 可按下列公式计算：

两边支撑时：

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m_g}} \quad (7.2.2-1)$$

式中： $(EI)_l$ ——楼盖强轴方向等效抗弯刚度（N·m²），按本标准中的公式（6.2.1-1）计算并取 γ 为1.0；

m_g ——楼盖单位面积的质量（kg/m²），包括楼盖体系的质量和其他永久作用的相关质量。

四边支撑时：

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m_g}} \cdot \sqrt{1+1/\alpha^4} \quad (7.2.2-2)$$

$$\alpha = \frac{b}{l} \sqrt[4]{\frac{(EI)_l}{(EI)_t}} \quad (7.2.2-3)$$

式中： b ——楼盖宽度（m）；

l ——楼盖计算跨度（m）；

$(EI)_t$ ——楼盖弱轴方向等效抗弯刚度（N·m²），按本标准中的公式7.2.2-4计算。

$$(EI)_t = E_c \frac{lh_c^3}{12} \quad (7.2.2-4)$$

式中： E_c ——混凝土板弹性模量（N/m²）；

h_c ——混凝土板截面高度（m）。

【条文说明】 木-混凝土组合楼盖在人致振动下应力较小，不足以产生显著的界面滑移，因此，可以假定木-混凝土组合楼盖百分之百的叠合刚度，不必做界面滑移的折减。通过简化，既可方便计算，又可提高经济性。

木-混凝土组合楼盖弱轴方向的刚度主要由混凝土板提供，因此，可忽略木-混凝土叠合效应与木构件提供的刚度。

7.2.3 木-混凝土组合楼盖中心在2 kN集中力下的挠度应符合以下规定：

$$w(2\text{ kN})_t = \frac{l^3}{24(EI)_l \cdot b_{w(2\text{ kN})}} \leq w_{\text{lim}} \quad (7.2.3-1)$$

$$b_{w(2\text{ kN})} = \min \left\{ \begin{matrix} b_{\text{eff}} \\ b \end{matrix} \right\} \quad (7.2.3-2)$$

$$b_{\text{eff}} = \frac{l}{1.1} \sqrt[4]{\frac{(EI)_t}{(EI)_l}} \quad (7.2.3-3)$$

式中： $w(2\text{ kN})$ ——木-混凝土组合楼盖中心在2kN集中力下的挠度（mm）；

w_{lim} ——木-混凝土组合楼盖中心在2kN集中力下的挠度限值，取0.5mm。

7.2.4 以行走激励为主的木-混凝土组合楼盖应考虑振动舒适度概率，振动计量值限值可按照公式7.2.4计算，舒适度概率可按表7.2.4的规定确定：

$$VDV = 0.27\alpha_{w,\text{peak}} \quad (7.2.4)$$

式中： $\alpha_{w,\text{peak}}$ ——竖向振动加权峰值加速度（ m/s^2 ）；

VDV ——振动计量值限值（ $\text{ms}^{-1.75}$ ）。

表7.2.4 不同舒适度概率下的VDV取值范围（ $\text{ms}^{-1.75}$ ）

时间	不舒适概率较低	有可能不舒适	极大可能不舒适
日间	0.2-0.4	0.4-0.8	0.8-1.6
夜间	0.1-0.2	0.2-0.4	0.4-0.8

【条文说明】 该条文规定参考英国规范BS 6472-1:2008相关规定。 VDV 振动计量值计算公式参考Chang等发表在INTER 2018的论文《A new design method for timber floors – Peak Acceleration approach》。

7.2.5 对于以行走激励为主的木-混凝土组合楼盖，行走激励引起的 $a_{w,\text{peak}}$ 可按照公式7.2.5-1近似计算：

$$a_{w,\text{peak}} = 2\pi K f_1 \sqrt{1 - \xi^2} \frac{F_l}{M_1} W_b \quad (7.2.5-1)$$

式中： K ——木楼盖调整系数，取为2.8；

ξ ——楼盖阻尼比，取为0.02；

F_l ——行走激励荷载，按公式7.2.5-2确定；

M_1 ——楼盖模态质量，四边简支情况下取楼盖质量的25%，两边简支情况下取楼盖质量的50%；

W_b ——频率加权系数，此处取为1。

$$F_l = 54 \frac{f_w^{1.43}}{f_1^{1.30}} \quad (7.2.5-2)$$

式中： f_w ——行走激励频率。

【条文说明】 条文规定的竖向振动加权峰值加速度计算公式参考Chang等发表在INTER 2018的论文《A new design method for timber floors - Peak Acceleration approach》。

7.3 楼盖减振措施

7.3.1 楼盖刚度的提高措施可采用增大构件截面、增设构件支点、施加体外预应力等方式。

7.3.2 增加楼盖的阻尼可采用下列措施：

- 1 增设隔墙、吊顶或面层等非结构构件；
- 2 设置调谐质量阻尼器。

7.3.3 当设备振动影响楼盖舒适度时，宜采用调整振源、防止共振、减振或隔振等措施。

7.3.4 设置调谐质量阻尼器应符合现行行业标准《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/T 441的有关规定。

8 防火与防护

8.1 防火

8.1.1 木-混凝土组合结构的防火设计与防火构造除应符合本章的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《建筑防火通用规范》GB55037、《木结构通用规范》GB55005和现行国家标准《木结构设计标准》GB50005、《建筑设计防火规范》GB 50016的有关规定。

8.1.2 木结构部分应进行构件的耐火极限设计和结构的防火构造设计。

【条文说明】本条规定了木结构防火设计的原则。

8.1.3 木结构部分的防火应符合下列规定：

- 1 木结构构件应满足燃烧性能和耐火极限的要求；
- 2 木结构连接的耐火极限不应小于所连接构件的耐火极限；
- 3 木结构应满足防火分隔要求；
- 4 管道穿越木构件时，应采取防火封堵措施，防火封堵材料的耐火性能不低于相关构件的耐火性能；
- 5 木结构建筑中配电线路应采取防火措施。

8.1.4 木结构的防火构造要求应按现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005第10.2节的规定确定。

8.2 防护

8.2.1 木-混凝土组合结构的防护除应符合本章的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《木结构通用规范》GB55005和现行国家标准《木结构设计标准》GB50005的有关规定。

8.2.2 木结构中易受水分和潮气侵蚀的部位应采取防水和防潮等构造措施，并应符合下列规定：

- 1 当木结构构件与砌体或混凝土接触时，应在接触面设置防潮层；
- 2 桁架和梁的支座节点或其他承重木构件不应封闭在墙体内；
- 3 木构件不应直接砌入砌体中，或全截面浇筑在混凝土中；
- 4 在木结构隐蔽部位应设置通风孔洞。

【条文说明】本条规定了木结构需要采取防水防潮构造措施的情形及重点部位的防水

防潮措施要求。对在厨房、卫生间等潮气和水分较多的部位，为保证木结构耐久性，要求采取防水和防潮等构造措施。

木材的腐朽，系受木腐菌侵害所致。在木结构建筑中，木腐菌主要依赖潮湿的环境而得以生存与发展，各地的调查表明，凡是在结构构造上封闭的部位以及易经常受潮的场所，其木构件无不受木腐菌的侵害，严重者甚至会发生木结构坍塌事故。与此相反，若木结构所处的环境通风干燥良好，其木构件的使用年限，即使已逾百年，仍然可保持完好无损的状态。因此，为防止木结构腐朽，首先应采取既经济、又有效的构造措施。只有在采取构造措施后仍有可能遭受菌害的结构或部位，才需用防腐剂进行处理。

建筑木结构构造上的防腐措施，主要是通风与防潮。本条的内容便是根据各地工程实践经验总结而成。

这里应指出的是，通过构造上的通风、防潮，使木结构经常保持干燥，在很多情况下能对虫害起到一定的抑制作用，因此，应与药剂配合使用，以取得更好的防虫效果。

8.2.3 木结构桥梁采用的结构用木材应做防腐处理，木构件在结构设计工作年限内应满足耐久性的规定；同时应采取减少水分和太阳辐射等影响的措施及自然通风措施。

【条文说明】本条规定了木结构桥梁中关于木材防腐处理的有关要求。

桥梁属于室外环境结构，虽目前一些外涂刷防护有一定的防护效果，但考虑桥梁的重要性高于普通建筑结构，此处仍然规定木材需要做防腐处理。同时，在条件允许的情况下，增加多道防护措施。

减少木结构构件受降水或阳光辐射直接影响的方法可选但不限于以下几种：对相关建筑进行保护措施；采用天然耐久性好的木材；对木材进行防腐处理。

耐久性提高措施可选但不限于几种方式：将表面适当倾斜以限制木材表面水的产生；限制开口，开槽等水可能积聚或渗透处的数量；通过措施避免水分直接吸收；对于构件端部密封或顶部盖板；选择恰当的结构形式，以确保所有木材部分自然通风。增加木结构部分与地面之间的距离。

9 生产运输

9.1 生产

9.1.1 木构件制作应符合设计文件的要求和现行国家标准《木结构设计标准》GB50005、和《木结构工程施工质量验收规范》GB50206的有关规定。

9.1.2 混凝土构件生产应符合设计文件的要求和现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》和GB50666《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204的有关规定。

9.1.3 钢部品部件的生产除应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB50755和《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205的有关规定，并符合设计文件的要求。

【条文说明】 本节所指的钢部品部件主要包括钢结构构件、钢板连接件和钢板预埋件等。

9.1.4 采用后浇混凝土或砂浆、灌浆料连接的预制混凝土构件结合面，制作时应按设计要求进行粗糙面处理。设计无具体要求时，可采用化学处理、拉毛或凿毛等方法制作粗糙面。

【条文说明】 预制混凝土构件与后浇混凝土实现可靠连接可以采用连接钢筋、键槽及粗糙面等方法。粗糙面可采用拉毛或凿毛处理方法，也可采用化学处理方法。

采用化学方法处理时，可在模板上或需要露骨料的部位涂刷缓凝剂，脱模后用清水冲洗干净，避免残留物对混凝土及其结合面造成影响。

为避免常用的缓凝剂中含有影响人体健康的成分，应严格控制缓凝剂，使其不含氯离子和硫酸根离子、磷酸根离子，pH值应控制为6~8；产品应附有使用说明书，注明药剂的类型、适用的露骨料深度、使用方法、储存条件、推荐用量、注意事项等内容。

9.1.5 当木-混凝土组合结构的预制构件和部品生产中采用新技术、新工艺、新材料、新设备时，生产单位应制定专门的生产方案，产品经检验合格后方可实施。

【条文说明】 采用新技术、新工艺、新材料、新设备时，应制定可行的技术措施。设计文件中规定使用新技术、新工艺、新材料时，生产单位应依据设计要求进行生产。生产单位欲使用新技术、新工艺、新材料时，可能会影响到产品的质量，必要时应试制样品，并经建设、设计、施工和监理单位核准后方可实施。

9.2 运输与堆放

9.2.1 木-混凝土组合结构中部品部件的运输与堆放除应符合本节的规定外，尚应符合设计文件的要求和国家现行标准的有关规定。

9.2.2 木-混凝土组合结构中部品部件的运输方式应根据部品部件特点、工程要求等确定。部品或构件出厂时，宜有重量、重心位置、吊点位置、能否倒置等标志。

9.2.3 钢部品部件和木构件在出厂前应进行包装，对构件边角部或链索/吊带接触部位宜设置保护衬垫，保障在运输及堆放过程中不破损、不变形。

9.2.4 木构件在运输过程中应采取防水和防潮保护措施。

9.2.5 木-混凝土组合结构中部品部件的堆放应符合下列规定：

- 1** 堆放场地应平整、坚实，并按部品部件的保管技术要求采用相应的防雨、防潮、防暴晒、通风和排水等措施。
- 2** 构件支垫应坚实，垫块在构件下的位置宜与吊装时的起吊位置一致。
- 3** 重叠堆放构件时，每层构件间的垫块应上下对齐，堆垛层数应根据构件、垫块的承载力确定，并应根据需要采取防止堆垛倾覆的措施。

10 施工安装

10.1 一般规定

10.1.1 木-混凝土组合结构的施工安装除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《木结构通用规范》GB55005和《组合结构通用规范》GB55004的有关规定。

10.1.2 木-混凝土组合结构在施工前应制定施工组织设计和施工方案；施工组织设计的内容应符合现行国家标准《建筑工程施工组织设计规范》GB/T50502的规定；施工方案的内容应包括构件安装及节点施工方案、构件安装的质量管理及安全措施等。

【条文说明】施工方案应结合结构深化设计、构件制作、运输和安装全过程各工况的验算，以及施工吊装与支撑体系的验算等进行策划与制定，充分反映木-混凝土组合结构施工的特点和工艺流程的特殊要求。

10.1.3 当木-混凝土组合构件施工方法或顺序对其内力和变形产生较大影响或设计文件有特殊要求时，应验算施工阶段组合构件和连接节点的承载力和刚度，验算结果应得到原设计单位确认。

【条文说明】施工阶段是木-混凝土组合结构的形成过程，也是影响安全和结构性能因素最复杂的阶段。本条规定了需要对组合构件进行施工阶段分析的条件，对结构安装成形过程进行施工阶段分析，对施工阶段临时设施、结构构件和连接节点进行承载力和刚度验算，以保证结构安全或满足规定功能要求。

10.1.4 木-混凝土组合结构施工阶段的结构分析模型和荷载作用应与实际施工工艺、工况相符合。

【条文说明】本条规定了施工阶段结构分析模型的构件单元、构件和连接节点与实际情况相符。当施工单位进行施工阶段分析时，结构计算基本模型一般由原设计单位提供，保持与设计模型在结构属性上一致性；因施工阶段主体结构是一个时变结构系统，组合结构具有典型的施工力学效应，计算模型一般要求包括各施工阶段主体结构与临时结构。

10.1.5 木-混凝土组合构件在加工、安装过程中应对木构件采取防水、防潮和防腐措施；现场浇筑混凝土过程中，应在木与混凝土界面处采取隔水措施。

【条文说明】本条规定了加工、施工阶段木构件的防水防潮等措施，以及现浇混凝土施工过程中对木-混凝土界面部位的隔水措施。

木构件在施工和使用过程中，其含水率应按设计要求和国家现行有关标准要求严格控制一定范围内；而现浇混凝土施工过程中，为了防止新浇筑混凝土中水分的过快流失而影响其质量，以及防止木构件吸水过多而影响其耐久性，需要采取如覆膜、涂刷防水涂料等隔水措施。

10.1.6 现浇混凝土构件中的钢筋在安装铺设过程中，严禁损伤木构件、连接件和栓钉。

10.2 木结构工程

10.2.1 木-混凝土组合结构的木构件施工安装除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《木结构通用规范》GB55005和现行国家标准《木结构工程施工规范》GB/T50772的有关规定。

10.2.2 木结构工程施工前，应由建设单位组织监理、施工和设计单位进行设计文件会审和设计单位作技术交底，结果应记录在案。施工单位应制定完整的施工方案，并应经建设或监理单位审核确认后再进行施工。

【条文说明】对施工准备阶段中组织程序及过程文件进行规定，工程开工前应对相关程序进行检查。

10.2.3 木构件在施工安装阶段，应针对主要施工工况进行强度、变形和稳定性验算。木构件吊装时动力系数宜取1.2；当有可靠经验时，动力系数可根据实际受力情况和安全要求适当增减。

10.2.4 木构件在吊装时应符合下列规定：

- 1 对于已进行拼装的构件，应根据结构形式和跨度确定吊点，经试吊证明结构具有足够的刚度方可开始吊装；
- 2 对刚度较差的构件，应根据其在提升时的受力情况采用附加构件进行加固；
- 3 构件吊装就位时，应使其拼装部位对准预设部位垂直落下；校正构件安装轴线位置后初步校正构件垂直并紧固连接节点。

【条文说明】木构件运输及安装过程中的吊装应重点关注，对于特殊构件应进行吊装验算。

10.2.5 木-混凝土组合构件中的剪力连接件施工应符合下列规定：

- 1 剪力连接件的型号、间距和数量应满足设计要求；
- 2 当剪力连接件采用植筋时，植筋作业宜在工厂内进行，植筋预钻孔直径宜比

植筋直径大4 mm ~ 6mm，注胶时植筋孔内不应有气泡。

10.3 混凝土结构工程

10.3.1 木-混凝土组合结构的混凝土构件施工安装除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《混凝土结构通用规范》GB55008和现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666的有关规定。

10.3.2 当采用预制混凝土板或钢筋桁架楼承板等预制构件时，宜选择有代表性的单元或部分进行试制作、试安装。

【条文说明】当施工单位第一次从事某种类型的预制构件施工或结构形式比较复杂时，为保证预制构件制作、运输、装配等施工过程的可靠，建议施工前针对重点过程进行试制作和试安装，发现问题要及时解决，以减少正式施工中的可能发生的问题和缺陷。

10.3.3 钢筋桁架楼承板等含有镀锌钢板的部品部件在安装时，不得使用火焰切割。

【条文说明】钢筋桁架楼承板等在安装时禁止使用乙炔火焰切割，以防止形成镀锌层被破坏而锈蚀、切口不整齐等影响结构质量的缺陷。

11 工程质量验收

11.0.1 木-混凝土组合结构的质量验收除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《木结构通用规范》GB55005和《组合结构通用规范》GB55004的有关规定，以及现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204的有关规定。

11.0.2 木-混凝土组合结构验收应同时覆盖木构件、钢筋和钢材、混凝土等各部分，针对隐蔽工序应采用分段验收的方式。

11.0.3 木-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，应检验木构件施工质量；
- 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。

【条文说明】根据木-混凝土组合构件施工中存在着隐蔽工序的特点，按照过程控制的要求，上一道工序验收合格后才能进行下一道工序施工，本条第1、2、3款就是按照工序顺序排列的。

11.0.4 木-混凝土组合结构竣工验收应提供下列文件：

- 1 结构施工图和设计变更文件，应在施工图中注明修改内容；
- 2 结构安装过程中，业主、设计单位、构件制作单位、施工安装单位达成协议的各种技术文件；
- 3 结构中采用的木构件、连接紧固件和混凝土构件的产品合格证、检测报告等质量证明文件；
- 4 结构安装时的测量检查记录，变形监测记录；
- 5 试验报告和技术资料；
- 6 隐蔽工程分段验收记录。

【条文说明】施工过程中在各阶段分别做好施工记录，形成可供验收审查的文件。对于隐蔽工程应提前制定验收规划，有序的进行验收。

12 使用与维护

12.0.1 木-混凝土组合结构的使用与维护除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家强制性工程建设规范《木结构通用规范》GB55005，以及现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010和《胶合木结构技术规范》GB/T50708的有关规定。

12.0.2 木-混凝土组合结构在结构设计工作年限内，应根据结构安全性等级、结构类型、使用环境建立检查监测与维护管理制度。

12.0.3 当发生地震、台风、火灾等重大自然灾害后，应对木-混凝土组合结构的安全性和耐久性进行应急检查，应对破损的结构和构件进行检测评价，并应根据破损程度按评价结果进行维修加固。

12.0.4 当木-混凝土组合结构在使用中发生下列情形之一时，应进行检测与鉴定，并根据检测鉴定结果进行恰当处理。

- 1 达到设计工作年限拟继续使用时；
- 2 使用用途、环境、条件改变时；
- 3 进行结构改造、改建或扩建、大修时；
- 4 存在较严重的质量缺陷或出现较严重的腐蚀、变质、损伤、变形影响安全和使用时；
- 5 出现危及使用安全迹象时；
- 6 日常检查评估确定应检测时。

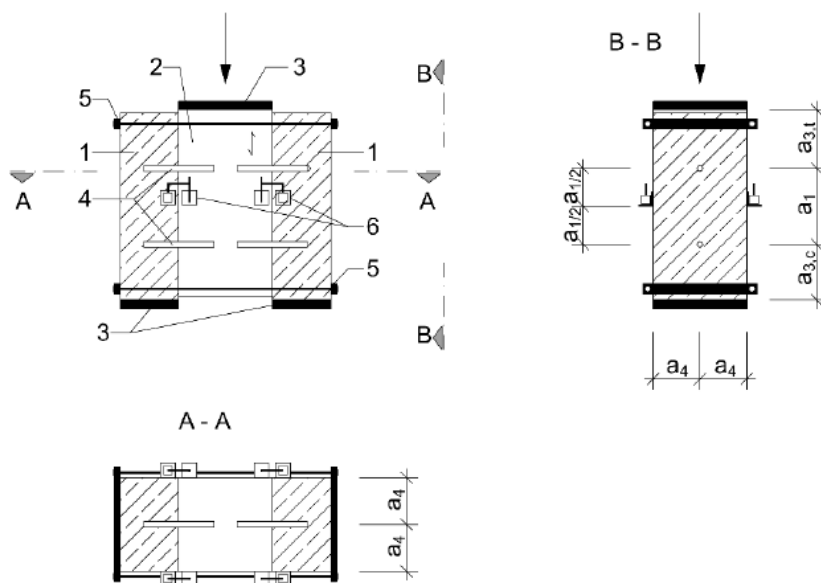
12.0.5 木-混凝土组合结构工程竣工验收使用1年后，应对结构进行常规检查。对公共建筑，在使用过程中，应每隔3年进行一次常规检查。当检查过程中发现影响结构适用性和耐久性的危害和隐患时，应立即维修。常规检查应包括下列项目：

- 1 主要结构构件的开裂、倾斜、变形情况；
- 2 结构构件之间的连接松动情况，以及连接件破损或缺失情况；
- 3 木构件腐朽和白蚁危害情况；
- 4 木结构墙面变形、开裂和损坏的情况；
- 5 木结构墙体面板受潮情况，以及面板的固定螺钉松动和脱落情况；
- 6 木结构外墙上门窗边框的密封胶或密封条开裂、脱落、老化等损坏现象；
- 7 屋面防水系统和屋面排水系统运行状况；
- 8 消防设备有效性和可操控性。

附录 A 界面连接承载力与刚度特性的试验确定方法

A.1 试验装置

A.1.1 木-混凝土组合构件的界面连接力学性能试验可采用图A.1.1所示的双剪连接试件的试验装置，试验时可采用防止试验过程中木构件与混凝土板分离的约束装置，同时需要保证此约束不会产生提高木与混凝土之间摩擦力的预压力。



图A.1.1 推出试验装置示意图

1—木材；2—混凝土；3—钢垫板；4—剪力连接件；5—约束装置；6—位移计；

a_1 —紧固件在顺纹方向的间距； $a_{3,c}$ —非受力端紧固件的端距； $a_{3,t}$ —受力端紧固件的端距； a_4 —紧固件的边距

A.1.2 当图A.1.1所示的推出试件采用栓钉连接时，在试件每个剪切面上应布置至少两个紧固件；对于其他界面连接形式，试件设计应能代表实际性能。

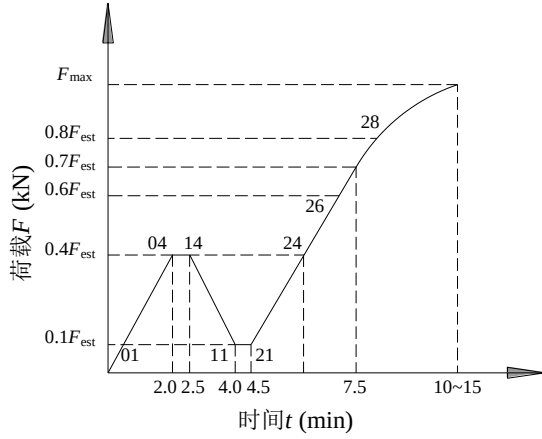
A.1.3 图A.1.1所示的推出试件尺寸设计除应符合本标准5.4节的规定外，尚应符合现行国家标准《木结构设计标准》GB50005的有关规定。

A.2 加载制度

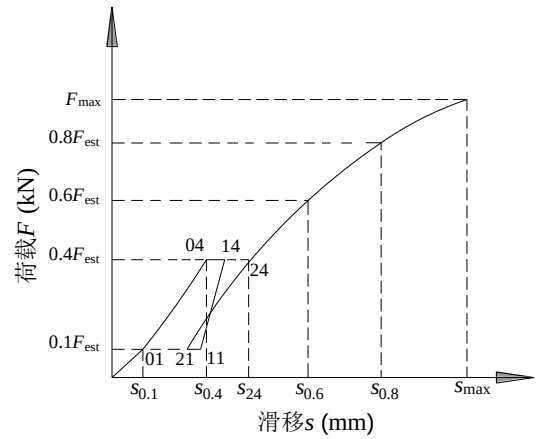
A.2.1 待测试件的预估最大荷载 F_{est} 应根据经验、计算或初步试验确定；如果在试验过程中，已经进行的试验的最大荷载的平均值与预估值 F_{est} 的偏差超过20%，则在后续试验中应做相应调整。

A.2.2 推出试验宜采用图A.2.2所示的加载制度，当试件达到极限载荷或滑移值为15

mm时，可停止试验。



图A.2.2 推出试验加载制度示意图



图A.2.3 荷载—滑移曲线示意图

A.2.3 应记录每个试件在特征点的滑移值 s 和最大荷载 $F_{\max}$ 下的滑移值 $s_{\max}$ ，如图A.2.3所示。

A.2.4 试件的最大荷载 $F_{\max}$ 应取为滑移值小于或等于15 mm时所达到的最大荷载。

A.3 力学性能的确定方法

A.3.1 单个试件两个剪面的极限承载力取为A.2.4所规定的试件最大荷载 $F_{\max}$ ；

A.3.2 试件的界面滑移值可参照图A.2.2和图A.2.3并根据如下规定确定：

- 1 试件的初始滑移、 $0.6F_{\text{est}}$ 时的滑移和 $0.8F_{\text{est}}$ 时的滑移，应按下列公式确定：

$$\begin{cases} \text{初始滑移 } s_i: & s_{0.4} \\ 0.6F_{\text{est}} \text{ 时的滑移: } & s_{0.6} \\ 0.8F_{\text{est}} \text{ 时的滑移: } & s_{0.8} \end{cases} \quad (\text{A.3.2-1})$$

- 2 试件的界面滑移调整值应符合下列规定：

- 1) 界面初始滑移调整值应按下列公式确定：

$$s_{i,\text{mod}} = \frac{4}{3}(s_{0.4} - s_{0.1}) \quad (\text{A.3.2-2})$$

式中： $s_{i,\text{mod}}$ ——初始滑移调整值（mm）；

$s_{0.1}$ ——加载时荷载达到 $0.1F_{\text{est}}$ 时的滑移值（mm）。

- 2) 界面在 $0.6F_{\text{est}}$ 时的滑移调整值应按下列公式确定：

$$s_{0.6,\text{mod}} = s_{0.6} - s_{24} + s_{i,\text{mod}} \quad (\text{A.3.2-3})$$

式中： $s_{0.6,\text{mod}}$ ——界面在 $0.6F_{\text{est}}$ 时的滑移调整值（mm）；

s_{24} ——加载时荷载再次达到 $0.4F_{\text{est}}$ 时的滑移值（mm）。

3) 界面在 $0.8F_{\text{est}}$ 时的滑移调整值应按下列公式确定:

$$S_{0.8,\text{mod}} = S_{0.8} - S_{24} + S_{i,\text{mod}} \quad (\text{A.3.2-4})$$

式中: $S_{0.8,\text{mod}}$ ——界面在 $0.8F_{\text{est}}$ 时的滑移调整值 (mm)。

3 试件的弹性滑移应按下列公式确定:

$$S_e = \frac{2}{3}(S_{14} + S_{24} - S_{11} - S_{21}) \quad (\text{A.3.2-5})$$

式中: S_e ——试件的弹性滑移 (mm);

S_{14} ——加载时荷载初次达到 $0.4F_{\text{est}}$ 且持续30s时的滑移值 (mm);

S_{11} ——加载时荷载由 $0.4F_{\text{est}}$ 降至 $0.1F_{\text{est}}$ 时的滑移值 (mm);

S_{21} ——加载时荷载由 $0.4F_{\text{est}}$ 降至 $0.1F_{\text{est}}$ 且持续30s时的滑移值 (mm)。

A.3.3 每批试件在正常使用极限状态下的两个剪面的初始滑移刚度 k_i 可取其平均值并按下列公式计算:

$$k_i = 0.4F_{\text{est}}/s_i \quad (\text{A.3.3})$$

式中: k_i ——正常使用极限状态下的界面初始滑移刚度 (N/mm)。

A.3.4 每批试件在正常使用极限状态下的两个剪面的滑移刚度 k_s 可取其平均值并按下列公式计算:

$$k_s = 0.4F_{\text{est}}/s_{i,\text{mod}} \quad (\text{A.3.4})$$

式中: k_s ——正常使用极限状态下的界面滑移刚度 (N/mm)。

A.3.5 每批试件在承载能力极限状态下的两个剪面的滑移刚度 k_u 可取为 $0.6F_{\text{est}}$ 时的界面滑移调整值 $S_{0.6,\text{mod}}$ 的平均值。

A.3.6 试件在承载能力极限状态下的滑移值 s_u 可根据其破坏类型取为破坏时的滑移值、荷载—滑移曲线下降段对应于 $0.8F_{\text{max}}$ 的滑移值或15mm。