



T/ CECS xxx-20xx

中国工程建设标准化协会标准

延性桁框结构技术规程

Technical specification for Special Truss

Moment Frames (STMF)

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会标准

延性桁框结构技术规程

Technical specification for Special Truss

Moment Frames (STMF)

T/CECS xxx-20xx

主编单位： 中国建筑科学研究院有限公司
中建一局集团建设发展有限公司

批准单位： 中国工程建设标准化协会

施行日期： 20XX 年 XX 月 XX 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《2021 年第一批协会标准制订、修订计划》的通知》（建标协字（2021）11 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 6 章，主要内容包括：总则、术语和符号、基本设计规定、结构计算分析、构件设计与构造要求、制作安装与涂装。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会抗震专业委员会归口管理，由中国建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中国建筑科学研究院有限公司（地址：北京市朝阳区北三环东路 30 号；邮编：100013）。

主编单位：中国建筑科学研究院有限公司

中建一局集团建设发展有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目录

1	总则	4
2	术语和符号	5
2.1	术语	5
2.2	符号	5
3	基本设计规定	7
3.1	设计原则	7
3.2	材料选用	9
3.3	适用范围	10
3.4	结构变形要求	11
3.5	结构形式	12
4	结构计算分析	15
4.1	基本原则与分析模型	15
4.2	弹性分析	16
4.3	弹塑性时程分析与性能化设计	16
4.4	荷载和荷载组合的效应	17
4.5	增层改造中采用延性桁框结构	18
5	构件设计与构造要求	19
5.1	延性消能段设置	19
5.2	构件验算	21
5.3	构造要求	24
5.4	连接设计	28
6	制作 安装与涂装	30
6.1	钢构件的制作	30
6.2	钢构件安装	31
6.3	防腐涂装	31
6.4	防火涂装	32

Contents

1	General Provisions	4
2	Terms and Symbols	5
	2.1 Terms	5
	2.2 Symbols.....	5
3	Basic Requirements.....	7
	3.1 General Requirements	7
	3.2 Material Selection	9
	3.3 Applicable Scope	10
	3.4 Structure Deformation Requirements	11
	3.5 Structural System.....	12
4	Structural Analysis	15
	4.1 Principles and Analysis Models.....	15
	4.2 Elasticity Analysis.....	16
	4.3 Elastic-Plastic Analysis and Performance-Based Design.....	16
	4.4 Effects of Loads and Load Combinations	17
	4.5 STMF Structure in Storey-adding Reconstruction.....	18
5	Component Design and Construction Requirements	19
	5.1 Special Segment Arrangement	19
	5.2 Calculation of Member Bearing Capacity	21
	5.3 Construction Requirements	24
	5.4 Connection Design	28
6	Fabrication, Installation and Coating	30
	6.1 Component Fabrication.....	30
	6.2 Component Installation	31
	6.3 Antirust Coating	31
	6.4 Fire Resistance Coating	32

1 总则

1.1.1 为在延性桁框结构的设计、制作、安装及验收中贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量，制定本规程。

按本规程进行抗震设计的建筑，其基本的抗震设防目标是：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，主体结构不受损坏或不需修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，可能发生损坏，但经一般性修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。使用功能或其他方面有专门要求的建筑，当采用抗震性能化设计时，具有更具体或更高的抗震设防目标。

1.1.2 本规程适用于抗震设防烈度 7 度及以上的地区工业与民用建筑。

说明：延性桁框结构的延性及耗能能力强，适用于有较高抗震设防要求的地区。对于六度及以下地区，可选用普通钢框架结构。

1.1.3 延性桁框结构的设计、制作、安装与验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 延性桁架结构 special truss moment frame

带有延性耗能段桁梁的延性钢框架结构。

2.1.2 延性消能段 special segment

延性桁架结构中，用于耗散地震能量而特别设计的高延性桁架区段。

2.1.3 非延性段 Non-special segment

延性桁架结构中，除延性消能段以外的结构构件，晚于延性消能段进入塑性状态。

2.1.4 空腹式消能段 Vierendeel special segment

在桁架的消能段内，由无斜腹杆的节间组成的延性消能段。

2.1.5 弱 X 斜腹杆式消能段 special segment with weak-X-diagonal members

采用“X”型布置的细长斜腹杆节间的延性消能段。

2.1.6 塑性转动能力 plastic rotation capacity

受弯构件承受弯曲荷载，并进入塑性状态后，在承载力不发生退化前所能达到的最大塑性转角。

2.1.7 非消能段效应增大系数 amplifying factor for non-special segment

为确保屈服机制的形成，通过在设计中对非消能段荷载效应进行放大所乘的系数。

2.2 符号

γ_0 ——结构重要性系数。

R_d ——结构构件承载力设计值。

R_k ——结构构件承载力标准值。

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数。

$\theta_{p,ss}$ ——弦杆上的塑性转角需求值

$[\theta_{p,ss}]$ ——弦杆塑性转动能力的限值

L ——桁架跨度；

L_s ——延性消能段的长度；

θ_p ——结构罕遇地震作用下最大的弹塑性层间位移角

V_l ——延性消能段的受剪承载力

P_{nt} ——弦杆的受拉屈服承载力

P_{nc} ——弦杆的受压屈服承载力

S_{web} 、 S_{chord} 、 S_{col} ——分别为为腹杆、弦杆和柱的荷载效应设计值

$S_{web,com}$ 、 $S_{chord,com}$ 、 $S_{col,com}$ ——为腹杆、弦杆、柱的荷载效应计算值。

S_p ——组合截面填板间距；

N_j ——弱 X 斜腹杆端部的连接承载力设计值；

η_y ——钢材超强系数

λ ——延性桁框结构延性消能段弦杆及其区域内竖腹杆宽厚比

3 基本设计规定

3.1 设计原则

3.1.1 延性桁框结构应采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量结构构件的可靠度，采用分项系数的设计表达式进行设计。

3.1.2 延性桁框结构的安全等级和设计使用年限应符合现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068 和《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153 的规定。

3.1.3 结构构件按承载力极限状态设计时，持久设计状况、短暂设计状况应满足下列公式要求：

$$\text{不考虑地震作用时,} \quad \gamma_0 S_d \leq R \quad (3.1.4-1)$$

$$\text{多遇地震作用时,} \quad S_E \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (3.1.4-2)$$

式中，

γ_0 ——结构重要性系数。对安全等级为一级的结构构件不小于 1.1，对安全等级为二级的结构构件不小于 1.0。

S_d ——不考虑地震组合时，荷载效应组合的设计值。

S_E ——考虑地震组合时，荷载和地震作用效应组合的设计值。

R_d ——结构构件承载力设计值。

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定取值。

3.1.4 延性桁框结构的填充墙、隔墙等非结构构件宜采用轻质板材，并与主体结构可靠连接。

3.1.5 延性桁框结构设计文件应注明延性消能段区域，并明确延性消能段所采用的材料及构造要求。

3.1.6 延性桁框结构中的延性消能段应先于非延性段屈服。

说明：延性桁框结构中，延性消能段作为其主要耗能部件，应先于非延性段屈服，以达到耗散地震能量，提高结构延性的作用。

3.1.7 延性桁框结构应根据设防分类、烈度和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。丙类建筑的抗震等级应按表 3.1.7 确定。

表 3.1.7 延性桁框结构建筑的抗震等级

建筑高度	烈度		
	7	8	9
≤50m	四	三	二
>50m	三	二	一

注：

1. 高度接近或等于高度分界时，应允许结合房屋不规则程度和场地、地基条件确定抗震等级；
2. 一般情况下，构件的抗震等级应与结构相同；当某个部位各构件的承载力均满足 2 倍地震作用组合下的内力要求时，构件抗震等级应允许按降低一度确定。

3.1.8 楼盖结构应具有事宜的舒适度。楼盖结构的竖向振动频率不宜小于 3HZ，竖向振动加速度峰值不应大于表 3.1.8 的限值。

表 3.1.8 楼盖竖向振动加速度限值

人员活动环境	峰值加速度限值 (m/s ²)	
	竖向自振频率不大于 2HZ	竖向自振频率不小于 5HZ
住宅、办公	0.07	0.05
商场及室内连廊	0.22	0.15

注：楼盖结构竖向频率为 2HZ~4HZ，峰值加速度限值可按线性插值选取。

3.1.9 在既有结构顶部，采用延性桁架结构体系进行增层改造时，既有结构部分的鉴定与加固设计应符合《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB50021 的相关规定。新增延性桁架结构的抗震等级宜按 3.1.7 条，按增层后的房屋高度直接确定。

3.2 材料选用

3.2.1 延性桁架结构，当消能段置于桁架跨中时，延性消能段的弦杆和弱 X 斜腹杆消能段中的弱 X 斜杆宜采用 Q235 钢材或其他延性更好的钢材；当消能段置于桁架端部时，特殊设计的位移型阻尼器，其耗能材料宜采用 Q235 钢材或其他延性更好的钢材。其他构件的钢材选择，应符合《钢结构设计标准》GB 50017 相关要求。

3.2.2 延性消能段使用的钢材，应满足以下规定：

- 1 钢材屈服强度实测值与屈服强度标准值比值不应大于 1.30；
- 2 钢材屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85；
- 3 钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%；
- 4 钢材应满足屈服强度实测值不高于上一级钢材屈服强度规定值的条件；
- 5 钢材工作温度时的夏比冲击韧性不应低于 27J。

说明：考虑到我国 Q235 钢材超强系数往往较高，而过高的超强系数将导致延性消能段无法先于非消能段进入屈服状态，对结构延性不利。参考《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99-2015 附录 E 中给出的 Q235 钢材超强系数 1.25，适当提高到 1.30 作为延性消能段钢材的性能要求。

3.2.3 非延性段结构的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量的合格保证。对焊接承重结构，尚应具有碳当量和冷弯试验合格的保证。承重结构钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85, 伸长率不应小于 20%。

3.2.4 钢材的强度设计值和物理性能指标，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用。

3.2.5 焊接材料、紧固件的选择及强度设计指标，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用。本规程中关键焊缝所使用的填充金属，应进行夏比冲击韧性检验，在其工作温度下，夏比冲击韧性不应低于 27J；且在 20 摄氏度下，夏比冲击韧性不应低于 47J。

说明：《美国钢结构建筑抗震规范》ANSI/AISC 341-22 中对关键焊缝（Critical Weld）的要求是 20 摄氏度下冲击韧性不小于 54J，对标我国规范中冲击韧性 47J 的焊材。

3.2.6 焊钉的材料应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的规定。

3.2.7 结构设计图纸和材料订货文件中，应注明钢材的钢号、质量等级、交货状态以及连接材料的型号(或钢号)。

3.2.8 采用钢管混凝土柱时，填充的混凝土强度等级不宜低于 C30。对 Q235 钢管柱，宜填充 C30 或 C40 级的混凝土；对 Q355 钢管柱，宜填充 C40 或 C50 级的混凝土。楼板混凝土的强度等级不宜低于 C30。混凝土、钢筋的材料力学性能、强度标准值应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3.3 适用范围

3.3.1 延性桁架结构的高度应符合：抗震设防 7 度地区，结构高度不大于 70m；抗震设防烈度 8 度区，结构高度不大于 40m；抗震设防烈度 9 度区，结构高度不大于 30m。当建筑高度超过以上限值时，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施。

说明：

延性桁架结构的延性及耗能能力较好，但其跨度往往较大，考虑到国内相关

工程经验较少，对延性桁架结构的应用高度进行限制。鉴于延性桁架结构的特性与框架结构相似，参照《高层民用建筑钢结构设计规程》表 3.2.2 中相关规定，并对 9 度钢框架结构的楼层适用高度进行了适当降低（原 50m）；

若超出了此适用高度范围，允许通过性能化设计等方法进行专项论证分析。

3.3.2 延性桁架结构的高宽比 7 度时不宜大于 6.5；8 度时不宜大于 6.0；9 度时不宜大于 5.5。

说明：延性桁架结构主要以大跨度多层结构为主，参考《建筑抗震设计标准》GB50011 相关规定。

3.3.3 既有建筑改造中，当采用延性桁架结构作为新增楼层结构时，新增结构不宜超过 2 层，新增总高度不宜超过 15m，并宜进行专项论证。

说明：增层改造项目中，顶部新增结构受“鞭端效应”影响，地震作用更显著，考虑到加固改造经济性考虑，新增楼层不宜过多，新增高度不宜过大。

3.4 结构变形要求

3.4.1 计算桁架、梁的挠度时，可考虑楼板的组合作用。受弯构件的挠度容许值不宜大于下表规定的值。

构件类别		挠度允许值	
		[v T]	[v Q]
楼层梁	桁架及主梁	L/400	L/500
	次梁及楼梯梁	L/250	L/300
	抹灰顶棚的次梁	L/250	L/350
楼板		L/150	/

注：L 为构件跨度；[v T]为全部荷载标准值产生的挠度（起拱度应减去拱度）的容许值；[v Q]为可变荷载标准值产生的挠度允许值。

说明：参考《钢结构设计标准》GB50017 和《交错桁架钢结构设计规程》JGJ/T 329, 确定相关变形现值。

3.4.2 延性桁框结构中桁架可预先起拱，起拱值根据计算需要确定，可为恒载加1/2活载标准值组合下桁架产生的挠度。

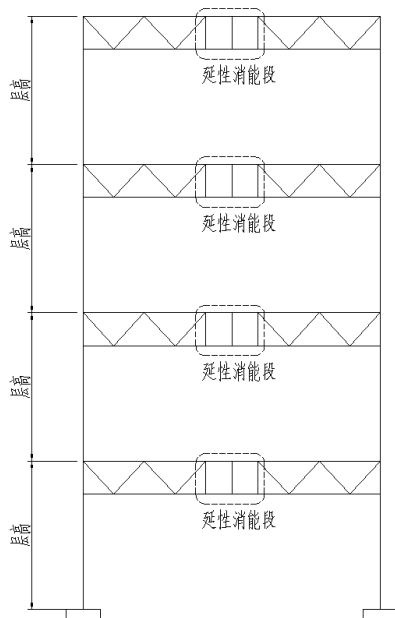
3.4.3 延性桁框结构在风荷载作用下的层间位移不宜大于 $h/250$ ， h 为层高。

3.4.4 延性桁框结构在地震作用下的层间位移应满足下表的值，还应符合其他现行有关规范要求的位移限值。

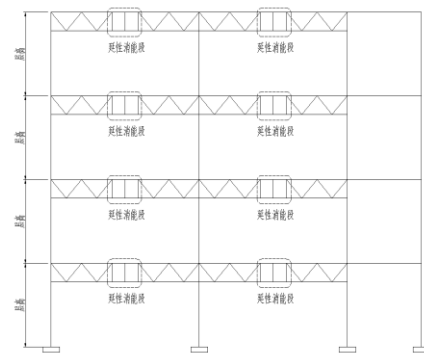
地震工况	层间位移限值
多遇地震	$h/250$
罕遇地震	$h/50$

3.5 结构形式

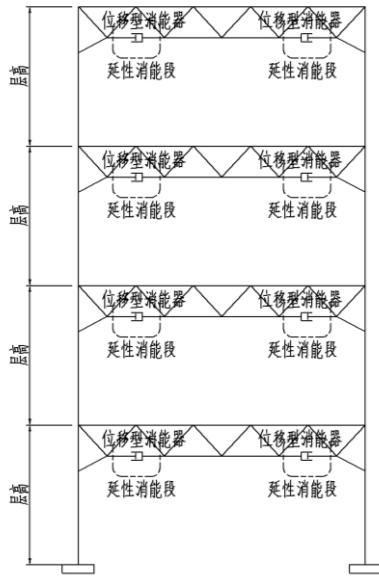
3.5.1 延性桁框结构按跨数可分为单跨（3.5.1a）和多跨（3.5.1b）。延性耗能段可设置在桁架跨中（3.5.1a），也可设置在桁架端部（3.5.1c）。设置在桁架端部的延性耗能段宜选择位移型消能器作为其主要耗能构件。设置在桁架跨中的延性耗能段，可采用空腹式消能段（3.5.1a），也可采用弱 X 斜腹杆式消能段（3.5.1d）。



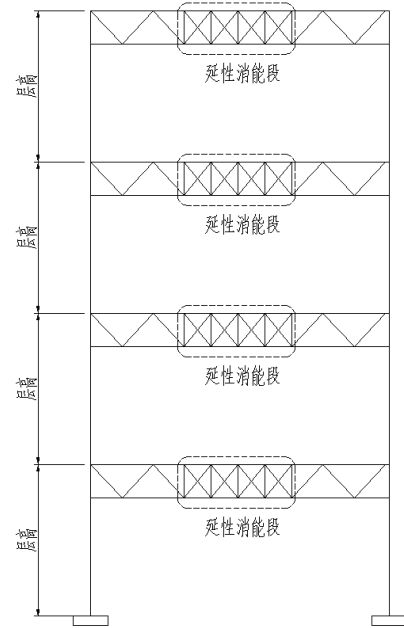
3.5.1a 单跨延性桁框结构 在跨中设置空腹桁架延性耗能段



3.5.1b 多跨延性桁框结构

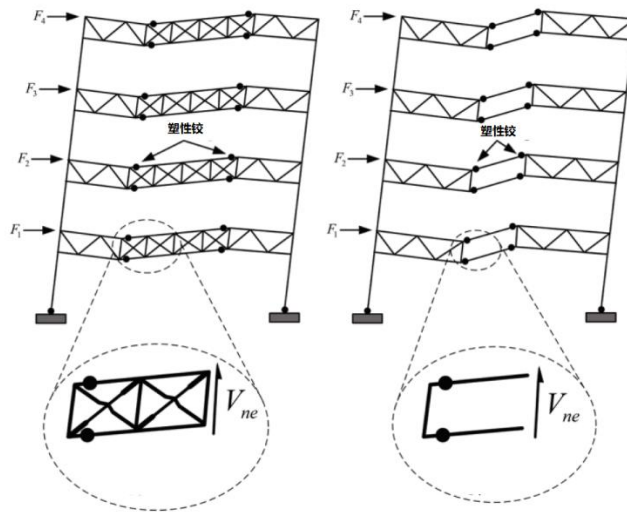


3. 5. 1c 延性耗能段在桁架端部的延性桁架结构



3. 5. 1d 弱 X 斜腹杆消能段延性桁架结构

说明：延性桁架结构屈服机制如下图所示，空腹式延性耗能段塑性铰首先出现在延性耗能段上下弦杆处；弱 X 斜腹杆式消能段塑性铰首先出现在弱 X 斜腹杆处，之后陆续在延性耗能段上下弦杆处出现塑性铰。



3.5.2 结构平面布置上，可在两个主受力方向上均采用延性桁架结构；也可在仅在某一方向上采用延性桁架结构，应使结构各层的抗侧力刚度中心与水平作用合力中心接近。楼、电梯间可设置局部框架，局部框架应根据实际情况确保抗侧力体系清晰、明确。

3.5.3 延性桁架结构的平面、立面布置宜规则，应符合现行《高层民用钢结构技术规程》JGJ99 的相关规定。

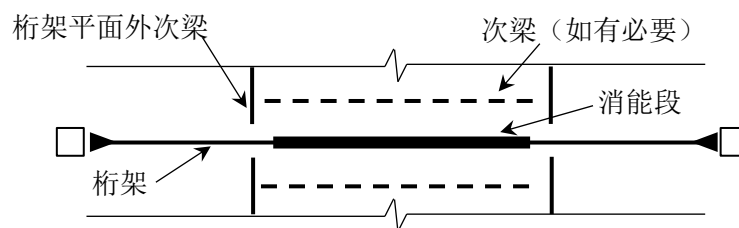
3.5.4 延性桁架结构的柱脚宜按刚接柱脚设计，当确需采用铰接柱脚时，宜进行专项论证。

3.5.5 延性消能段位于跨中的延性桁架结构，桁架跨度不宜大于 20m，桁架的高度不宜大于 1.8m。

说明：参考《美国钢结构建筑抗震规范》ANSI/AISC 341-22 相关规定。

3.5.6 当消能段布置在跨中时，不宜使消能段承担过大的竖向荷载，同时桁架平面外的次梁不应布置在消能段内。

说明：参考 AISC/SEI 341-22 E4.4a 相关说明。当采用空腹桁架形式时，桁架的竖向承载力有限，不论采用空腹桁架式，还是“X”弱腹杆式，当过多的竖向荷载施加在消能段内时，竖向荷载在桁架弦杆上的轴力会影响消能段弦杆的弯曲塑性变形能力。



4 结构计算分析

4.1 基本原则与分析模型

4.1.1 延性桁框结构应进行考虑竖向荷载、风荷载、地震作用以及其他应考虑的相关荷载作用下的结构计算。竖向荷载、风荷载和多遇地震作用下，结构内力和变形可采用弹性方法计算。罕遇地震作用下的弹塑性变形应采用弹塑性时程分析方法计算。

4.1.2 多遇地震下的弹性计算以及罕遇地震下的弹塑性分析计算，在分析计算时应计入重力二阶效应。

说明：延性桁框结构应属于有侧移框架体系，在分析计算设计时应考虑二阶效应。

4.1.3 延性桁框结构使用反应谱法进行多遇地震下的计算分析时，应考虑非承重填充墙体的刚度影响并对周期予以折减。

4.1.4 延性桁框结构当非承重墙为填充轻质砌块、填充轻质墙板或外挂墙板时，自振周期折减系数可为 $0.9 \sim 1.0$ 。

说明：填充墙两端与框架柱，填充墙顶端与框架梁之间宜留出不小于 20mm 的间隙。

4.1.5 延性桁框结构在多遇地震作用计算时，阻尼比可取 0.04，在罕遇地震作用下可取 0.05。

说明：参考《建筑抗震设计规范》GB50011 与《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 中钢结构阻尼比相关规定确定。

4.1.6 延性桁框结构的计算分析，还应符合现行《钢结构设计标准》GB50017、《建筑抗震设计规范》GB50011 和其他有关规范的规定。

说明：延性桁框结构刚重比、位移比等验算指标与其他钢结构无明显差异，验算要求与其他钢结构一致，在此不再赘述。

4.2 弹性分析

4.2.1 延性桁架结构，当延性消能段设置在桁架端部时，延性消能段内屈曲约束支撑与柱和桁架下弦杆宜为铰接。

4.2.2 对于体型复杂、结构布置复杂的延性桁架结构，应至少采用两个不同的结构分析软件进行整体计算。对结构分析软件的分析结果，应进行分析判断，确认其合理、有效后，方可作为工程设计依据。

4.3 弹塑性分析与性能化设计

4.3.1 延性桁架结构的性能化设计，应按照《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的相关内容设计验算。当建筑要求达到中震下正常使用性能要求，宜选择跨中设置弱 X 腹杆延性消能段的延性桁架结构，或桁架端部设置延性消能段的延性桁架结构，并宜按照《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则》RISN-TG 046 验算结构变形、楼面加速度等相关指标。

说明：依据《建设工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令 第 744 号）当建筑属于“位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等，应当按照国家有关规定采用隔震减震等技术，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求”，跨中设置弱 X 腹杆延性消能段的延性桁架结构，和桁架端部设置延性消能段的延性桁架结构均属于采用了减隔震技术，但跨中设置空腹桁架延性消能段的延性桁架结构，由于没有专设的耗能装置（构件），仅通过上下弦杆屈服耗能，《建设工程抗震管理条例》规定的“两区八类建筑”不建议采用此种结构形式。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/548063104056007003>