

美国 ANSI/AISC SSPEC-2002

《钢结构建筑抗震设计规定》介绍(一)

摘 要 2002年1月31日,美国钢结构协会(AISC)和AISC规范委员会正式批准发布《钢结构建筑抗震设计规定》。本文重点介绍了该《规定》中“钢结构建筑”部分的1、3~7各个章节的主要内容,包括《规定》的适用范围、荷载、材料及节点连接等,对有关内容作了必要的说明。其它章节内容将在后续介绍中陆续与读者共飨。

关键词 LRFD 规范 地震荷载抗力体系 放大地震荷载 结构超强系数

1. 适用范围

本规定条款适用于建筑物地震荷载抗力体系中的钢结构构件及连接节点的设计和施工。各条款适用于现行建筑规范中分类为建筑物抗震设计类别D(或等效于D类)和高于D类的建筑物的抗震设计。

本规定条款应结合AISC的钢结构建筑《荷载和抗力分项系数设计规范》(LRFD规范)共同使用。地震荷载抗力体系中的所有构件和连接节点均应满足LRFD规范所规定的设计承载力要求,并应符合LRFD规范附加条款的要求。

2. 参考规定、规范及标准(略)

3. 抗震设计一般要求

设计承载力要求和其他抗震规定,如建筑物抗震设计类别、建筑使用功能组别、建筑物建设场地的地震区划和对建筑物的高度及不规则性的限制等,将在各相关的现行建筑规范[1]~[5]中叙述。

在1997 NEHRP规范[1](FEMA, 1997a)中,要求首先根据建筑物的使用功能将其分为三个建筑使用功能组别(Seismic Use Group)。其中,第3组别为建筑物包括重要建筑设施,第2、1组别为建筑物包括在地震时将产生较低的公共灾害的建筑设施。然后按建筑使用功能组别、建设场地的地震度和建筑物的自振周期等来确定建筑物抗震设计类别,A、B和C类一般适用于建造在低至中等地震度地区的建筑物,D类一般适用于建造在高等地震度地区的建筑物及建造在中等地震度地区属第3组别的建筑物。E和F类一般适用于建造在特别高等地震度地区的第1、2、3组别的建筑物。该规范的抗震规定对A、B、C三类建筑是非强制性的,而对D、E和F类,包括考虑结构体系的超静定特点的建筑则是强制性的。

在ASCE 7 (ASCE, 2000) [2]中, 根据建筑物的使用功能将其分为四种建筑用途组别 (Occupancy Group), 如第4组别为包括有基本设施的建筑物。然后按建筑用途组别、建设场地的地震度等级来确定建筑物抗震性能类别 (Seismic Performance Category), A、B和C类一般适用于建造在低至中等地震度地区的建筑物, 该规范的抗震规定对A、B、C三类建筑是非强制性的, 但对建造在高地震度地区的D和E类建筑则需强制执行。

在1997UBC规范 (ICBO, 1997a) [3]和1996 SEAOC抗震规定 (附录C) (SEAOC, 1996) [4]中, 根据建筑物建设场地的地震区划、建筑物重要性和场地土来确定建筑物抗震设计类别。

4. 荷载、荷载组合和强度标准值

4.1 荷载及荷载组合

荷载及荷载组合应按现行建筑规范的相关规定确定。在这些规范的条款中, 使用了放大地震荷载 (Amplified Seismic Load) 的概念, 即: 地震荷载 E 的水平分量乘超强(overstrength)系数 O_o , 其中地震荷载 E 和 E 的水平分量由各现行建筑规范给定。当 O_o 无专门定义时, 可采用表1中所列值。

表1 结构体系超强系数 O_o 值

地震荷载抗力体系分类	O_o
满足本《规定》第 部分要求的抗弯框架体系	3
满足本《规定》第 部分要求的偏心支撑框架 (EBF)	2.5
满足本《规定》第 部分要求的其他类型体系	2

在ASCE 7、2000IBC、2000NEHRP和1997UBC等规范中, 对水平地震荷载 Q_E 的放大系数 O_o 均作了规定, 从表2所列可见, 各规范的定义是不相同的。在各规范的早期版本中, 认为通过荷载组合就可以澄清这些差别 (如在1997版《钢结构建筑抗震设计规定》中所采用的放大的地震荷载的附加荷载组合: $1.2D+1.0E+0.2S+O_oQ_E$ (4-1式) $0.9D-O_oQ_E$ (4-2式))。但由于各种规范所使用的原始资料和背景的差别, 荷载组合 (4-1式) 及 (4-2式) 反而造成了更大的混淆。为此, 在本《规定》中取消了荷载组合 (4-1式) 及 (4-2式), 而代之以“放大地震荷载 (Amplified Seismic Load)”。明确了当在规范中使用放大地震荷载时, 则要求使用超强(overstrength)系数 O_o 。

表 2

各现行建筑规范的荷载组合规定

当重力效应对结构不利时			
规范名称	包括地震荷载 E 的基本组合	E 的定义	考虑结构超强
ASCE 2002	$1.2D+1.0E+0.5L+0.2S$	$E=?Q_E+0.2 S_{DS}D$	$E=O_0Q_E+0.2 S_{DS}D$
NEHRP 2000	同 ASCE 2002	$E=?Q_E+0.2 S_{DS}D$	$E=O_0Q_E+0.2 S_{DS}D$
IBC 2000[5]	$1.2D+1.0E+f_1L+f_2S$	$E=?Q_E+0.2 S_{DS}D$	$E_M=O_0Q_E+0.2 S_{DS}D$
UBC	$1.2D+1.0E+f_1L+f_2S$	$E=?E_h+E_y$	$E_M=O_0E_h$
		$E_y=0.5C_GID$	
当重力效应对结构有利时			
ASCE 2002	$0.9D+1.0E+1.6H$	$E=?Q_E-0.2 S_{DS}D$	$E=O_0Q_E-0.2 S_{DS}D$
NEHRP 2000	同 ASCE 2002	$E=?Q_E-0.2 S_{DS}D$	$E=O_0Q_E-0.2 S_{DS}D$
IBC 2000	$0.9D+1.0E$	$E=?Q_E-0.2 S_{DS}D$	$E=O_0Q_E-0.2 S_{DS}D$
UBC	$0.9D+1.0E$	$E=?E_h+E_y$	$E_M=O_0E_h$
		$E_y=0.5C_GID$	

4.2 强度标准值

除非相关规范有修改外，建筑物结构抗力体系、结构构件和节点连接的强度标准值均应符合LRFD 规范的要求。

表3列出了2000 NEHRP规范中的各种钢结构体系的设计参数，以供参考。其中， R 为地震荷载折减系数，以考虑结构地震荷载抗力体系的内在超强和延性特性。 C_d 为作用力放大系数，考虑在强度设计中计算地震侧移时对作用力的放大效应。各项系数的使用应和现行建筑规范保持一致，并对各规范中有关建筑物分类、建筑高度、建筑竖向及水平方向的不规则性、场地特性等方面的限制和修正予以适当的考虑。

表 3 2000 NEHRP 规范的钢结构体系设计参数

基本结构体系和地震荷载抗力体系分类	R	C_d
结构体系设计满足LRFD 规范要求但不满足本《规定》第 部分要求	3	3

结构体系设计同时满足LRFD 规范和本《规定》第 部分的要求：		
设有支撑的框架体系：		
特殊中心支撑框架（SCBF），见本《规定》第13章	6	5
普通中心支撑框架（OCBF），见本《规定》第14章	4	4.5
偏心支撑框架（EBF），见本《规定》第15章		
在偏离柱节点的支撑-梁连接处与柱间设耗能梁段	8	4
在偏离柱节点的支撑-梁连接处与柱间未设耗能梁段	7	4
抗弯框架体系：		
特殊抗弯框架（SMF），见本《规定》第9章	8	5.5
中等抗弯框架（IMF），见本《规定》第10章	4.5	4
普通抗弯框架（OMF），见本《规定》第11章	3.5	3
特殊桁架式抗弯框架（STMF），见本《规定》第12章	7	5.5
复合框架体系（设有可承受25%基底剪力的SMF）：		
特殊中心支撑框架（SCBF），见本《规定》第13章	8	6.5
偏心支撑框架（EBF），见本《规定》第15章		
在偏离柱节点的支撑-梁连接处与柱间设耗能梁段	8	4
在偏离柱节点的支撑-梁连接处与柱间未设耗能梁段	7	4
复合框架体系（设有可承受25%基底剪力的IMF*）：		
特殊中心支撑框架（SCBF），见本《规定》第13章	4.5	4.5
*在建筑物抗震设计类别A、B和C类中,允许用OMF代替IMF		

5. 层间侧移

层间侧移设计值和层间侧移限值应由现行建筑规范的相关规定确定。

在LRFD 规范及各现行建筑规范中对层间侧移限值并没有给出专门的要求。因为层间侧移限值通常用于保证结构的适用性设计之中，而适用性极限状态(正常使用极限状态)设计主要取决于工程判断而不是确定的设计极限值。

6. 材料

6.1 使用规范

地震荷载抗力体系中的钢结构应满足LRFD 规范第A3.1a节的要求，当建筑楼层数超过一层时，其抗力体系中使用的钢材应满足下列美国材料试验学会（ASTM）规范：包括A36/A36M、A53/A53M、A500（等级B或C）、A501、

A529/A529M、A572/A572M (42级 (290MPa)、50级 (345MPa) 或 55级 (290MPa))、A588/A588M、A913/A913M (50级 (345MPa) 或 65级 (450MPa))、A992/A992M。柱脚底板所用钢材应满足上述ASTM规范和ASTM A283/A283M等级D的要求。除对材料的适用性有确切的试验资料外,对要求发展弹塑性的杆件所采用钢材的最小屈服强度应不得大于50Ksi (345MPa)。

应该指出,在地震区的结构设计中采用钢结构是基于钢材的非弹性特性和可焊性。钢材一般应满足下列要求:(1) 屈强比不大于0.85;(2) 应有明显的屈服台阶;(3) 具有非弹性大变形能力,要求在2英寸(50mm)长的标距上的伸长率大于等于20%;(4) 良好的可焊性。

6.2 材料特性对确定构件或节点承载力时的影响

在设计荷载作用下,结构构件或节点的承载力应根据相应杆件的实际屈服强度 $R_y F_y$ 来确定,其中 F_y 是所用等级钢材的最小计算屈服强度。在表4中给出了轧制型钢和钢筋的 R_y 值。若根据试验可确定材料的实际屈服强度,则允许使用 R_y 试验值。

表4 不同类型钢材 R_y 值

分 类	R_y
板材和其他所有产品	1.1
热轧结构型钢和钢筋	
ASTM A36/A36M	1.5
ASTM A572/A572M (42级 (290MPa))	1.3
其它等级钢材	1.1
结构管材	
ASTMA500、A501、A618和A847	1.3
钢管	
ASTMA53/A53M	1.4

6.3 冲击韧性要求

当地震荷载抗力体系中采用ASTM A6/A6M (第3、4、5组)翼缘厚度大于等于1.5in(38mm)的型钢和厚度大于等于2.0in(50mm)的板材时,其夏比V型切口冲击韧性值应符合LRFD 规范第A3.1c节的要求,即在试验温度70°F (21°C)下,夏比V型切口冲击功不应低于27J。

7 . 接头、连接和紧固件

7.1 适用范围

作为地震荷载抗力体系组成部分的接头、连接和紧固件应符合LRFD 规范第十章 (Chapter J) 的要求。

7.2 螺栓连接

7.2.1 所有螺栓应采用完全受拉高强螺栓。所有螺栓连接摩擦面应按A级接触面或摩擦型连接要求制作。螺栓连接的设计剪切承载力允许按承压型连接的设计剪切承载力进行计算。A级接触面是未经涂装的干净轧制表面，或经喷砂（丸）处理后涂复以A型面层的表面。其最小抗滑移系数 $\mu=0.33$ 。

7.2.2 当在同一个连接摩擦面上栓、焊并用时，不考虑螺栓连接承受荷载。

7.2.3 螺栓承压型连接应采用标准孔型或短槽孔型（开槽方向与力作用方向垂直），使用其它孔型应有必要的试验资料（参见附录S）。

7.2.4 在确定受剪或剪拉联合作用下的螺栓连接的设计承载力时，当螺栓孔处的标准承压承载力小于或等于 $2.4dtF_u$ 时，应符合LRFD 规范第十章 (Chapter J) J3.7和J3.10节的要求，（其中 dtF_u 。

LRFD 规范第十章J3.10节要求，为避免在螺栓承压型连接中连接材料的过度变形，在考虑螺栓孔边变形时，将螺栓孔处的承压承载力限制为 $F R_n=0.75 \times 2.4 dtF_u$ （其中， F 是抗力分项系数， R_n 是承压承载力值）。此限制的真正含义是要求承压变形不超过 $1/4$ in（6mm）。当然，在地震时实际的承压荷载会大于设计值，螺栓孔处的变形也可能超过理论限值。但此限制有效地减轻了在中等地震作用下所造成的震害。

7.2.5 对地震荷载抗力体系中的螺栓连接接头，应按在杆件中或在接头部位进入延性极限状态进行连接接头的构造设计。

7.3 焊接连接

7.3.1 焊接工作应按美国焊接学会（AWS D1.1）要求的焊接工艺规程（WPS）操作实施，并得到注册工程师的批准。

7.3.2 当钢结构处于封闭状态，其环境温度维持在不低于 50°F （ 10°C ）时，在特殊和中等抗弯框架中下列部位的全熔透坡口焊缝（CJP），应按AWS要求的方法进行冲击韧性试验，其值达到在试验温度 -20°F （ -29°C ）时冲击功为20 ft-lbs(27J)，并按本规定附录X或其它获得认可的方法进行冲击韧性试验，其值应达到在试验温度 70°F （ 21°C ）时冲击功为40 ft-lbs(54J)：

1) 梁翼缘对柱的焊缝

2) 剪力板和梁腹板对柱的坡口焊缝

3) 柱拼接接头

当结构的环境温度低于50°F (10°C) 时, 上述检验合格温度可相应降低。

7.3.3 在地震荷载抗力体系中构件和连接所使用的其它焊缝金属, 应按AWS要求, 其冲击韧性达到在试验温度-20°F (-29°C) 时冲击功为20 ft-lbs (27J)。此要求适用于本《规定》的其它场合。

7.3.4 属地震荷载抗力体系组成部分的构件和连接接头, 对因误差、制作或安装需要(如定位焊、吊装的辅助装置、电弧割槽、火焰切割等)而在其塑性铰区域(详见7.4.1条说明)产生不连续和不均匀时, 需按注册工程师的要求予以修复。

7.4 其它连接

7.4.1 不得在梁翼缘的希望产生塑性铰的区域内设置焊接栓钉。塑性铰区域定为: 在理论塑性铰位置两侧各二分之一梁高的长度。允许采用点焊固定压型钢板楼板。在塑性铰区域内, 不得有压型钢板的附件穿透梁翼缘。

7.4.2 作为地震荷载抗力体系中的构件, 在希望产生塑性铰的区域内不得采用焊接、栓接、螺钉连接及射钉等方法设置周边角钢、外部立面装饰、内隔墙、风道、管线或其它构造设施。在塑性铰区域之外有连接物穿透构件时, 应进行验算, 确保其净截面满足要求。

参考文献

[1] 2000NEHRP: 美国地震安全委员会 (Building Seismic Safety Council BSSC) 发布的《新建房屋建筑和其它结构抗震规程的建议条款 2000版本》(NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures), 新版条款的修订和发布由国家减轻地震灾害计划(National Earthquake Hazard Reduction Program NEHRP)进行

[2] ASCE 7: 美国土木工程师协会标准 (American Society Civil Engineers) —《房屋建筑和其它结构最小荷载》(Minimum Design loads for buildings and Other Structures, ASCE 7-02), 其最新版本为ASCE 7-02, 于2003年1月发布

[3] UBC: 《统一建筑规范》(Uniform Building Code)

[4] 1996 SEAOC: 加州结构工程师协会 (Seismology Committee Structural Engineers Association of California)发布的《抗侧力要求和条文说明》1996年版本

(Recommended Lateral Force Requirements and Commentary 1996)

[5] 2000 IBC : 由国际规范委员会 (International Code Committee ICC) 发布的《国际房屋建筑规范》2000年版本(International Building Code 2000)

未完待续，见《钢结构建筑抗震设计规定》介绍(二)