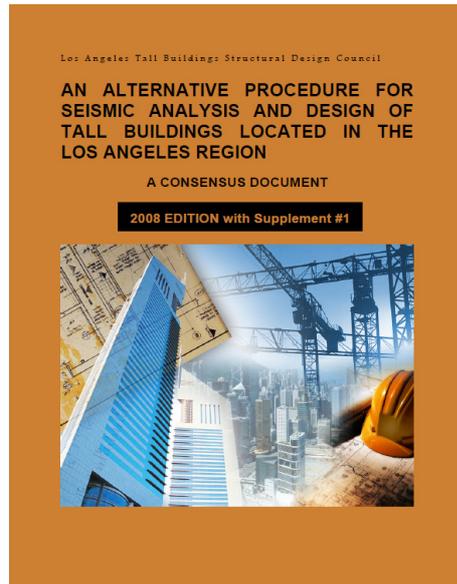


An Alternative Procedure For Seismic Analysis And Design of Tall Buildings Located in The Los Angeles Region

Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council, 2008

Dr. Gregg Brandow, *Brandow & Johnston Associates*
Dr. Lauren Carpenter, *WHL Consulting Engineers*
Mr. Brian L. Cochran, *Weidlinger Associates, Inc.*
Mr. Tony Ghodsi, *Englekirk Partners*
Dr. Gary C. Hart *Professor Emeritus of UCLA*
Dr. Sampson C. Huang, *Saiful/Bouquet, Inc.*
Dr. Marshall Lew, *MACTEC, Inc.*
et al.



目 录

第 1 章 引言	3
1.1 概述	3
1.2 2005 年版以来的变化	3
第 2 章 目的、适用范围、编写依据和基本思想	5
2.1 目的	5
2.2 适用范围	5
2.3 编写依据	6
2.4 基本思想	7
第 3 章 分析和设计流程	9
3.1 概述	9
3.2 能力设计法	12
3.2.1 非线性行为的限制	12
3.2.2 最小基底剪切强度	14
3.3 使用可靠性	15
3.3.1 概述	15
3.3.2 正常使用状态的地震设计	15
3.3.3 数学模型	15

3.3.4 分析程序的说明.....	16
3.3.5 偶然扭转的影响评价	16
3.3.6 可接受标准	16
3.4 防倒塌	18
3.4.1 地面运动	18
3.4.2 数学模型	19
3.4.3 分析步骤	20
3.4.4 可接受标准	21
第 4 章 同行审阅要求	23
4.1 SPRP 成员的资质及挑选	23
4.2 同行评审范围	23
第 5 章 地震记录仪器	25
5.1 概述	25
5.2 仪器计划和审查	25
5.3 最小通道数	25
5.4 仪器分布	26
5.5 安装和维护	26
2008 年 LATBSDC 可选规范 1#补充	27
S1 钢筋混凝土延性框架	27
S.1.1 受弯构件 (ACI 318-08 §21.5)	27
S.1.2 承受弯曲和轴向载荷的框架构件 (ACI 318-08 §21.6)	28
S2 高强度混凝土的质量控制	28
S.2.1. 高强混凝土的中期强度	28
S.2.2 混凝土配合比规定	29
S3.剪切折减因子 (梁、柱和墙)	30

第1章 引言

1.1 概述

此规范的目的在于提供一个可选的，基于性能的高层建筑抗震设计和分析方法，使得建筑物在地震地面运动时具有可预测的安全性能。这些规定使得高层建筑上的相关需求更加精确。因此，此规范设计方案的应用，将保证建筑物能够可靠有效地抵御地震。

1.2 2005 年版以来的变化

本规范的当前版本（2008 LATBSDC）与此前的版本（2005 LATBSDC）相比，包含众多显著的差异。2005 年版的规范开启了一阵研究热潮，主要包括以改善地震区域高层建筑分析、设计和建设为目的的指南和方法。旧金山建筑检测部门（SFDBI）是第一个效仿的机构，其官方文件的第一稿与本规范的 2005 年版十分相似，这份文件最终成为 AB-083，并被北加州的结构工程师协会（SEAONC）出版。然而，在发展过程中，AB-083 有了自己的形式，到其出版（SEAONC2007）时，已经成为与 2005 版有了很大差异的一份文件。在 LATBSDC 2008 版本编写的过程中，AB-083 的作者亲切地鼓励 LATBSDC 采用尽可能多的与 AB-083 相同的有必要的术语。虽然 AB-083 和 2008 LATBSDC 的起源相同且有许多相同的术语，二者在高层建筑的抗震设计方法上却有明显的不同。2005 LATBSDC 和 AB-083 均体现了允许例外情况的规范方法，这些例外情况均经过慎重考虑。2008 LATBSDC，恰恰相反，完全脱离规范的要求，其一切方法均是基于能力设计和性能化设计方法。

下面是本文件相比于 2005 LATBSDC 显著不同的列表：

- 明确采用通过基于能力设计方法针对建筑的结构体系比例；

- 去除了显式的和基于规范的生命安全评估步骤；

- 正常使用状态规定的重大修改；
- 防倒塌规定的重大修改；
- 简化的荷载组合；
- 关于同行审查的要求的重大修改；
- 采用详细的地震仪器的要求；

第2章 目的、适用范围、编写依据和基本思想

2.1 目的

本规范的目的在于提供一个可选的，基于性能的高层建筑抗震设计和分析方法，使得建筑物在地震地面运动时具有可预测的安全性能。这些规定使得高层建筑上的相关需求更加精确。因此，此规范设计方案的应用，将保证建筑物能够可靠有效地抵抗地震。

C.2.1. 规范条文的目的是提供一个最低级别安全性的工程建筑。规范的目的是为客户提供安全的设计标准，为所有类型的建筑物，从一两层的住房到最高的结构。由于这一广泛的适用性，规定包含了很多并非特别适用于高层建筑的要求，这可能会导致高层建筑在经济性和安全性方面均达不到最佳的设计。性能化设计方法的发展和能力设计法的成熟，允许我们使用更直接的、非规范性的、更合理的方法来分析和设计的高层建筑。本规范依赖于这些进步，为一个可靠有效的高层建筑结构的抗震设计提供一个合理的方法。本规范只涉及非规范性的高层建筑的抗震设计。本规范并不涵盖重要设施。

2.2 适用范围

本规范中包含的分析方法仅限应用于高层建筑。基于本规范目的，高层建筑是指建筑 h_n 距附近平均地表高度在 160 英尺（50 米）以上的建筑。

这里的高度 h_n ，是第 n 层距基础的高度。第 n 层可以是结构的屋顶，但不包括设备层和其他突出屋顶但是质量远小于屋顶的结构。基础一般可取建筑结构附近地表的平均值。

C.2.2. 本规范虽然没有限制使用于较矮的建筑，但是应用范围已被有意缩小至高层建筑。其原因有二，第一，委员会认为较短的建筑，其活动范围以外的。其次，本规范中包含的分析方法复杂且耗时，因此，对一个小型的、不太复杂的建筑应用这样一个详尽的分析方法的合理性是值得怀疑的。

2.3 编写依据

本规范的制定依据 2006 年版的国际建筑规范（2006 IBC）的第 104.11 节和 2007 年加州建筑法规第 108.7 节作为基础。这些规范条文允许使用以已经确立的但是复杂的力学原理为基础合理分析方法替代规范中的侧向力分析方法。

C.2.3. 传统上，所有的规范都允许使用替代性的分析和设计方法，只要其能以力学原理证明或者有可信的实验结果的支持。

2006 年版本的 IBC 中的第 104.11 节规定如下：

“本规范规定的目的不在于阻碍材料的应用或禁止任何设计或本规范没有具体规定的建建筑，倘若任何这样的替代已被认可。任何替代的材料、设计或施工方法应被建筑主管部门认可，只要提出的设计符合要求、与本规范规定的意图一致，替代的材料、方法或工作从预期目的来看，至少在品质、强度、效益、耐火性、耐久性和安全性方面相当于本规范中规定的。”

2007 年版本的 CBC 中第 108.7 节规定如下：

“住房和社区发展部门采用的本规范中规定的目的，不在于禁止使用本规范中没有明确描述的可替代的材料、器械、安装方法、设备、设计或建造方法。”

另外，2007 年版的 CBC 引用的 ASCE 7-05 的第 12.6 节规定：

“第 12 章所要求的结构分析应包括表 12.6.1 允许的类型之一，建立在结构的抗震设计类别、结构系统、动力特性和规律的基础上，或得到权威部门的批准，其他替代方法是可以接受的……”

2.4 基本思想

本规范中包含的替代分析方法是能力设计原则，以及一系列最先进的性能化设计评估。首先，能力设计原则应适用于设计具有延性屈服或者非线性侧向变形机制的结构。可以使用线性分析确定屈服所需力的大小。设计是否可行以及建筑性能是否可接受需要使用两个不同级别的地震地面运动来证明：

1. 频遇地震作用下建筑正常使用。正常使用极限状态的设计地震选用 30 年内超越概率为 50%（重现期为 43 年）的地震水平。正常使用极限状态评价使用的结构模型应当在考虑预期水平的激励和损坏的基础上，包含实际结构的估计刚度和阻尼。评价的目的是为了验证该建筑物的结构和非结构构件在这种情况下的地震中和地震后是否能保证正常使用。必要的维修应该是小范围的，且基本上不影响建筑物功能的正常使用。在此级别的地震下与建筑相关的结构和非结构构件应基本上在弹性范围内。评估应采用三维线性或非线形动力分析。一般情况下，当构件承受外力不超过强度时，可以假设建筑处于弹性范围内。当外力超过了结构所能承受的强度，超出的部分不能大到对结构的残余强度或稳定性造成影响。
2. 罕遇地震下的建筑低倒塌概率。罕遇地震定义为 50 年内超越概率为 2%（重现期 2475 年）的地震水平，其有一个确定的上限。这种地震即 ASCE 7-05 所定义的最大考虑地震（Maximum Considered Earthquake, MCE）此概念已被 2006 年版本和 2007 年版本的 CBC 采用。罕遇地震评估的目的是防御在此罕遇事件下的建筑倒塌，保证人类的生命安全。该评估应采用三维非线性动力响应分析。此级别的评价目的是为了保证在上述罕遇地震下建筑物不会发生倒塌。抗侧力体系构件和其他结构构件的受力需求均需要被检验。外立面和其与结构的连接必须适应罕遇地震下的位移而不会失效。

分析的每个步骤的基本要求摘要示于表 1。关于这些步骤的详细信息包含于本规范以下各节。

表1 基本要求摘要

设计/评估 步骤	地面运 动强度 ¹	分析类 型	数学模 型分类	是否考虑偶 然扭转?	材料退化 因子(Φ)	材料强度
1			非线性行为定义/能力设计法			
2	50/30	LDP ² 或 NDP ³	3D ⁴	评估	1.0	全过程 使用预期材 料性质参数, 计算脆性材 料性能时使 用指定的强 度值。
3	MCE ⁵	NDP	3D ⁴	如果步骤 2 考虑, 是。 否则, 否。	1.0	

¹ 超越概率百分比/年限

² 线性动态分析

³ 非线性动态分析

⁴ 三维

⁵ ASCE 7-05 定义

第3章 分析和设计流程

3.1 概述

建筑的抗震分析与设计应分三个步骤进行，其目的在于使目标建筑具有以下特点：

- 1) 一个准确定义的非弹性行为，其特点是非线性构件明确，而其他构件设计要强于非线性构件（能力设计法）。
- 2) 建筑的结构和非结构的体系和构件在频遇地震（30年内超越概率为50%）下能够正常使用。
- 3) 建筑在罕遇地震（50年内超越概率上限为2%）下的倒塌可能极低。

一个全面而详细的同行评审过程是这样的设计标准的组成部分，为此需要建立抗震同行评审委员会（SPRP）来审查和批准能力设计法和评估建筑性能。同行评审的要求细节等包含在第4节。

C.3.1. 本规范中包含的方法是根植于大多数建筑规范背后哲学的先进体现。这些规范要求建筑物满足以下要求¹：

1. 抵抗轻微的地震地面运动水平不破坏；
2. 抵抗中等水平的地震地面运动而不产生结构损伤，允许可能的非结构性损坏；
3. 抵抗与建筑地点附近预测的或曾经发生的最大地震强度相同的地震，不能倒塌，但允许可能的结构性以及非结构性损坏。

(续)

在性能化设计的概念框架中, SEAOC2 提出以下级别的设计和验证:

事件	重现期	超越概率
经常	43 年	30 年内 50%
偶尔	72 年	50 年内 50%
罕见	475 年	50 年内 10%
非常罕见	975 年	100 年内 10%

同样的 SEAOC² 性能化设计框架, 提出以下建议新建筑的抗震性能目标:

		抗震性能水平			
		正常运行	基本运行	生命安全	接近倒塌
抗震 设计 水平	经常 (43 年)	基本目标	不可接受	不可接受	不可接受
	偶尔 (72 年)	基本/灾害目标	基本目标	不可接受	不可接受
	罕见 (475 年)	严格安全目标	基本/灾害目标	基本目标	不可接受
	非常罕见 (975 年)	不可行	严格安全目标	基本/灾害目标	基本目标

本规范中包含的方法的目的是获得满足建筑要求或超过以上列举的基本目标的建筑设计。

1. SEAOC, 推荐的抗侧力要求和说明, 1967 年, 第 2313(a)。
2. SEAOC, 推荐的侧向力要求和评注, 1999 年, 第 7 版, 附录 G 和 I。

C.5.1. (续)

通过要求在 30 年内超越概率 50% 地震事件下的正常使用状态，50 年内超越概率 2% 地震事件下不倒塌的要求，达成上述目标。

取消显式生命安全评价的合理性：

2007 年加州建筑规范以 2006 年国际建筑规范为基础，后者参考引用了 ASCE 7-05 抗震规定。ASCE 7-05 抗震规定的说明可以在 FEMA 450 的第 2 部分找到。此说明明确指出，对于普通建筑物的规定，目的在于保证在遇到最大考虑地震时建筑的低倒塌概率。MCE 地震的定义为，50 年内超越概率为 2%（重现期为 2475 年）的地震水平，或者为附近主要活动断层产生地震的特征震级中位数的 150%。二者取较小值作为 MCE 地震水平。这种做法与之前的规范形成了鲜明的对比，例如统一建筑规范（UFC），它要求在 50 年内超越概率为 10%（重现期为 475 年）的设计地震水平下，建筑满足生命安全性能的设计目标。

旧的规范并没有直接提供在 MCE 罕遇地震下防止倒塌的保护。因此，新的规范相比旧的规范，明确提出了在 MCE 罕遇地震作用下建筑结构不发生倒塌。为了保留 R 系数和与使用旧版规范用户熟悉的设计程序，新规范采用 MCE 2/3 强度水平的地震来评估结构的强度和变形。取 2/3 的折减值是考虑到在较旧的规范中的 R 系数含有至少 1.5 的内在保证值。也就是说，使用这些 R 系数设计的建筑物应该能够抵御设计地震水平的 150% 且没有显著的倒塌风险。

本规范的理念与 2007 年版本的 CBC 的理念一致。建筑物必须通过适当的非线性分析和合理的构造设计证明其在 MCE 罕遇地震下的倒塌概率足够低到合理的程度。另外，正常使用极限状态的检验需要纳入程序，保证建筑物在遭受频繁、低强度的地震下不会遭到严重破坏，这种地震在其生命周期内是很有可能发生一次或多次的。根据建筑规范的标准，非结构构件和系统应当锚定或者支撑在建筑结构上，保证其在地震下不被破坏。

3.2 能力设计法

建筑设计应基于能力设计原则和本规范中描述的分析程序。能力设计标准应体现在具体项目的抗震设计标准中。具体项目的抗震设计标准应清楚地表述结构体系如何实现以下几个特点：

- a) 建筑的结构体系有良好的非弹性行为，其特点是非线性构件明确，而其他构件设计的强于非线性构件。非线性行为仅发生在确定的构件和区域；
- b) 建筑的结构体系有一个最低限度的基底剪切强度（参见第 3.2.2 节）。

3.2.1 非线性行为的限制

非线性行动只允许发生在在明确划定的区域。这些区域在设计时应充分考虑延性及防护措施，使其在 MCE 罕遇地震所施加的位移、扭转和拉伸时具有足够的储备能力，避免倒塌。

C.3.2.1 限制非线性行为只发生在有限的预先定义的用来耗能的延性区域，这是能力设计的精髓。

典型的非线性区域和行为在下面的表格中说明。此表内容并不是绝对的。其他区域只要有充足的理由亦可包含在设计中。

(续)

表 C.3.2.1 典型的非线性区域和行为

结构体系	区域和行为
延性框架 (钢、混凝土或其组合)	梁端弯曲屈服 (转换梁除外); 梁柱节点区剪切; P-M-M* 柱底屈服 (基础或地下室顶部)
特殊中心支撑框架	支撑 (拉伸屈服和屈曲压缩); P-M-M 柱底屈服 (基础或地下室顶部)
偏心支撑框架	剪切连接部分横梁 (剪切屈服首选, 但允许弯剪组合屈服); P-M-M 柱底屈服 (基础或地下室顶部)
无粘结支撑框架	无粘结支撑内核的拉压屈服; P-M-M 柱底屈服 (基础或地下室顶部)
特殊钢板剪力墙	腹板剪切屈服; 梁端弯曲屈服
R/C 剪力墙	P-M-M 柱底屈服 (基础或地下室顶部 或其他明确定义的塑性铰区允许延伸到高于最低非线性行为平面之上合理的高度。); 弯曲屈服和/或连梁剪切屈服
地基	受控摇摆; 控制沉降

* 轴向合力和单轴或双轴弯曲引起的屈服

3.2.2 最小基底剪切强度

根据本规范规定设计的建筑应当满足下列关于最低基底剪切强度的要求：

$$V_{\min} = 0.03W \quad (1)$$

其中， V_{\min} 是结构弹性行为阶段对应的基底剪切强度（参见 3.3.6 节）， W 是基础以上建筑物的总重。

以上要求可与通过弹性反应谱分析得到的最小基底剪切强度保证，分析中使用到的设计谱是经多调幅得到的大于等于 V_{\min} 或者根据 ASCE 7-05 12.8.3 节得到的静态侧向荷载的 CQC (complete quadratic combination, 即完全二次振型组合) 基底剪力组合。

C.3.2.2 毫无疑问，强制的最低基底剪切强度的要求不是基于性能设计方法的要求。在最近一次高层建筑的繁荣期，即 20 世纪 80 年代到 90 年代初之间，洛杉矶地区设计建造的高层一般都是用 $0.03W$ 作为设计基底剪力的下限。 $0.03W$ 作为最小基底剪力是和钢结构的屈服应力相关的。对于结构弹性行为阶段要求相同的基底剪切强度，仅是保留洛杉矶的高层建筑的设计传统。

本规范 2005 年版本中 $0.025W$ 的最小基底剪切强度的要求，是 ASCE 7-05 规定绝对最小基底剪切强度的 2.5 倍。

LATBSDC 及其邀请的咨询小组认为，从目前版本规范的规定中消除评估程序，而保留一个的最小基底剪切强度要求。随着根据本规范分析和设计的建筑性能信息的增多，这个限制可能会被修改或取消。

3.3 使用可靠性

3.3.1 概述

本评估的目的是为了验证在地震期间和地震之后, 建筑物的结构构件和非结构构件和其他附件能够维持其一般功能。必要的维修应该是小范围的, 且基本上不影响建筑物功能的正常使用。

C.3.3.1. 本规范的目的不是要求结构在适用性地面运动仍然保持完全弹性。分析可以指出主要结构体系中延性构件的细微屈服, 如果分析结果不是构件产生较大变形或者需要大修的构件破坏。分析同样可以指出轻微的可修复性的混凝土构件开裂。

在典型的情况下, 线性频谱分析是可以利用的, 前提是考虑适当的刚度和阻尼, 并且使用与地面运动对应的线性响应频谱表示地震需求。响应时程分析时, 地震波的选择和换算应符合 ASCE 7-05 第 16.1.3 节的要求, 符合正常使用状态的反应谱而不是 MCE 反应谱的要求, 符合由不少于 7 条合适地震波的计算响应的平均值表示设计需求。

3.3.2 正常使用状态的地震设计

正常使用状态的设计地震为 30 年内超越概率为 50% (重现期为 43 年) 的地震水平。在弹性分析时可以用特定地点的设计反应谱的形式表示, 如果进行非线性分析, 则用时程曲线表示。如果使用了地震动时程曲线, 应根据 ASCE 7-05 16.1.3 节的规定进行调幅。

3.3.3 数学模型

为了在建筑动态分析计算可以进行, 要求一定程度上精确表示质量和结构刚度的空间分布, 因而需要使用一种三维的物理结构的数学模型。结构模型应包括实际的考虑到预期水平的激励和损坏下结构的刚度和阻尼估计值。全过程使用预期材料性质参数, 计算脆性材料性能时使用指定的强度值。

C.3.3.3. 三维数学模型的结构是所有分析和评估都需要的。鉴于目前的建模能力和可用的软件系统, 没有任何理由依靠近似的二维模型估计高楼大厦实际的三维行为。通过使用三维模型获得的准确性优势远远超过使用二维模型带来的简单。

3.3.4 分析程序的说明

无论是线性响应频谱分析或非线性动力响应分析可以用于可维护性评估。分析应考虑 $P-\Delta$ 效应。固有和偶然扭转的作用都需要评估, 以确定意外是否扭转需要被列入的防倒塌评估中。应评估结构的荷载组合:

$$1.0D+L_{\text{exp}}+1.0E$$

其中, D 是恒荷载和 L_{exp} 的是预期的活荷载。

3.3.4.1 弹性反应谱分析

至少 90% 的结构参与质量应包括在沿主要水平方向的响应计算中。模态响应分析应使用完全二次型组合 (CQC) 方法组合。

相应的响应参数, 包括力、力矩和位移, 应表示为的弹性响应参数 (ERP), 不得减少。

3.3.4.2 非线性动力响应分析

用于可靠性评价的数学模型应是用于 MCE 地震动下防倒塌评价的数学模型一致。

3.3.5 偶然扭转的影响评价

可靠性评价不需要考虑偶然偏心的情况。然而, 即使不考虑可靠性评价的分析方法, 在 ASCE 7-05 第 12.8.4.3 节中定义的, 须计算每个楼层的扭转的放大因子 A_x (x 代表楼层), 如果任何一层的 A_x 超过 1.50, 则应在防倒塌技术评估中应考虑偶然偏心 (参见第 3.4.3.1 和 3.4.3.2 的详细信息)。

3.3.6 可接受标准

3.3.6.1 弹性反应谱分析

结构应被视为已符合可接受性标准，如果没有能力需求比（对于钢构件是 ERP 比上 LRFD 即荷载抗力系数限值，对于混凝土构件是 ERP 比上 USD 限值）超过：

- 1.0 脆性行为，如剪切，扭转和轴向载荷。
- 1.2 延性行动，如弯曲和拉伸（钢构件）。

结构的整体位移角不超过 $0.005h_n$ 。

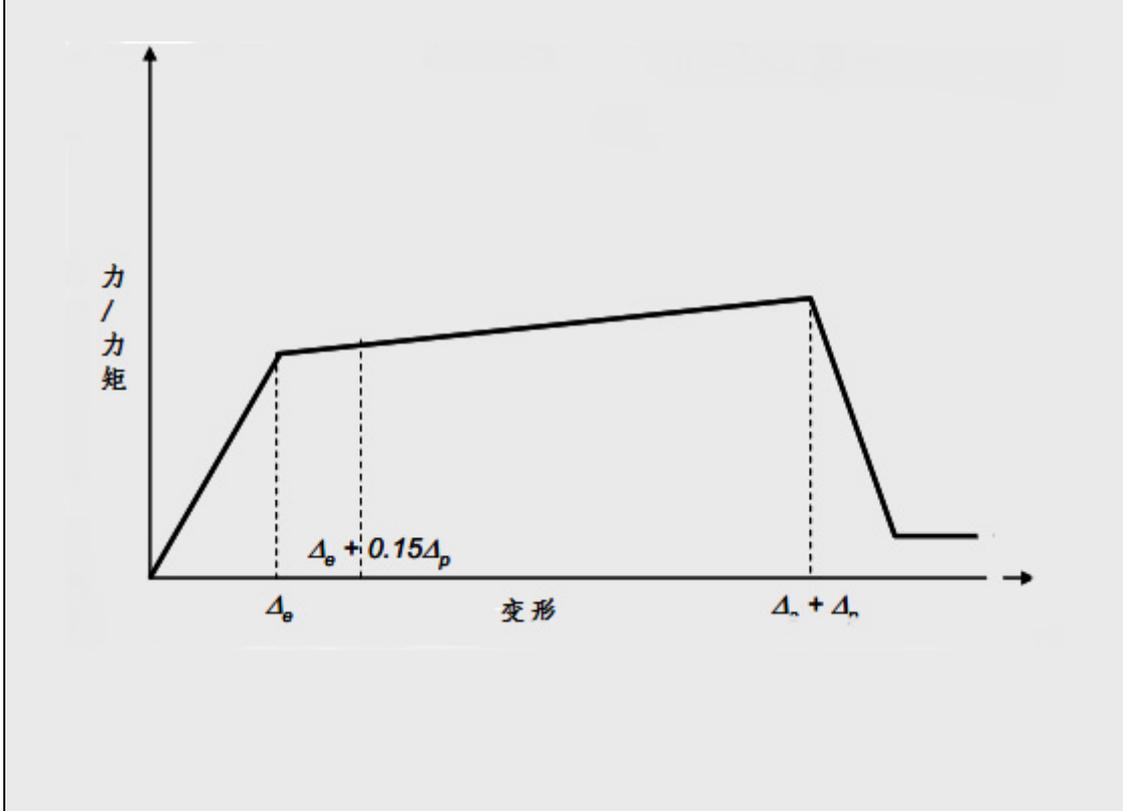
3.3.6.2 非线性动力响应分析

最少使用三组符合 ASCE 7-05 16.1.3 节规定的经过调幅的时程曲线（推荐使用 7 组或更多）。

需要注意的是时程调整到 5% 阻尼的可靠性设计谱。如果使用 3 对时程曲线则取最大响应值评估，否则取最大值的平均值。建筑结构应被视为已符合可接受性标准，如果：

- 抗力要求不超过脆性行为（如，剪力，轴力等）。
- 延性行为的非弹性变形需求比例不超过 $\Delta E + 0.15\Delta_p$ ，其中 ΔE 是最大弹性形变的变形水平， Δ_p 为对应的最大塑性形变（未显著破坏）的变形水平，并且
- 结构的整体位移角不超过 $0.005h_n$ 。

C.3.3.6 延性行为中允许有限的非线性行为。这种有限的非线性行为评估方法是，将弹性反应谱分析中所允许的最大需求能力比提高为 1.2 的方式，而不是延性行为的 1.0 对于非线性响应的评估，延性行为 15% 的非弹性变形能力可以利用如下图所示。



3.4 防倒塌

3.4.1 地面运动

3.4.1.1 设计反应谱

最大考虑地震（MCE）为代表的地震动反应谱和反应谱系数的确定应参照 ASCE 7-05 第 21 章的特定地点的程序。MCE 地震动的概念为 ASCE 7-05 第 21 章中所定义。

3.4.1.2 时程曲线

在分析中需要使用 7 条或更多合适的地面运动时程曲线。地面运动的时程曲线及其挑选应符合 ASCE 7-05 16.1.3 节的要求。调幅程序或频谱匹配程序都可以

使用。此外，在适用的情况下，适当数量的地面运动的时程曲线应包括近断层和方向的影响，如速度脉冲会在相对长的时间段内产生比较大的谱坐标。

C.3.4.1.2. 取较多的合适地面运动的时程曲线进行分析，将会提供更可靠的分析基础。由于 3 组地面运动提供的分析精度较小，7 组或更多组地面运动的采用是必要的。ASCE 7-05 第 16.1.3 节包含既定的选择时程曲线的方法，因此，在本规范中通过引用采纳。

3.4.2 数学模型

须使用物理结构的三维数学模型来表示结构的质量和刚度的空间分布。所有的非线性反应分析均应考虑 $P-\Delta$ 效应。除了指定的构件和抗侧力体系，所有会显著贡献或影响建筑物的全部或局部刚度的其他的构件和组件的组合都应包括在该数学模型中。

全过程使用预期材料性质参数，计算脆性材料性能时使用指定的强度值。钢筋混凝土的刚度特性，应考虑开裂对初始刚度的影响。

嵌入混凝土中的钢构件的有效初始刚度应考虑嵌入的区域的影响。而对于钢框架体系，节点区（梁柱节点）的变形贡献也应考虑在内。

所有可能会发生显著强度退化的结构元件，因为需要分析其响应时程，在动态分析中应当确定这些构件并考虑对应的影响。

非线性时程分析中，包括所有的建筑恒荷载的 $P-\Delta$ 效应应当明确考虑。

在分析模型中构件的属性，应考虑地震并加上预期的重力荷载。在没有可供选择的其他信息的情况下，重力荷载应根据荷载组合 $1.0D+L_{exp}$ 确定。

构件的强度应根据预期值（ $\phi=1.0$ ），考虑了材料的超强（见表 2）。

表2 预期材料强度

材料	预期强度
结构钢	
热轧型钢和钢板	
ASTM A36/A36M	$1.5 F_y$
ASTM A572/A572M Grade 42 (290)	$1.3 F_y$
ASTM A992/A992M	$1.1 F_y$
所有其他等级	$1.1 F_y$
方钢	
ASTM A500, A501, A618, A847	$1.3 F_y$
钢管	
ASTM A53/A53M	$1.4 F_y$
钢板	$1.1 F_y$
其他	$1.1 F_y$
钢筋	$1.17 f_y$
混凝土	$1.3 f_c'$

C.3.4.2. 三维数学模型的结构是所有分析和评估都需要的。考虑 $P-\Delta$ 效应是触发倒塌崩溃的关键。混凝土和钢筋的建议超强材料的强度值是基于 ASCE 41-06，结构钢的强度值是基于 2005 年 AISC 抗震规定。建筑结构主体和基础之间的边界模拟是非常重要的。

3.4.3 分析步骤

结构应进行的三维非线性响应时程分析 (NLRH)。如本规范的第 3.4.3.1 节中描述的，应检查意外扭转的效果。当地面运动要素代表特定地点垂直断层和平行断层时，需要根据断层方向并考虑建筑物将其应用到三维的数学分析模型中。当地震动要素取向随机时，其方向应随机地应用到模型，单个地面运动时程曲线禁止应用于多个方向。

对于每一个水平地面运动，结构应在此荷载组合下进行评估：

$$1.0D+L_{\text{exp}}+1.0E$$

3.4.3.1 意外扭转

如果可靠性评估结果显示必须考虑意外扭转（参见 3.3.5 节），应选择在危险情况下高于平均需求值的时程曲线证实。此组时程曲线一次应用在原始位置质心上，另一次应用在对最小偏心率位置的一个或两个水平方向上，或在增大建筑物的自然倾向旋转方向。

考虑偶然偏心的模型与不考虑偶然偏心的模型计算出的最大需求比例应当在多种行为中引起注意。如果该比率超过 1.20，相应的行为允许的受力和变形限制应除以相应的比值。

另外，所有的时程分析在不改变允许能力的情况下都可以考虑最小偏心（除了原始分析）。

3.4.3.2 敏感性分析

作为代替第 3.4.3.1 的意外扭转分析的一种附加方法，敏感性分析可以用于不同地点不同材料性能或配置的建筑，以证明其可靠性。

C.3.4.3. 本规范的 2005 年版中，偶然偏心分析包含在规定的生命安全评价程序中。由于本规范的当前版本中的这些规定的条款已被取消，这个问题需要在无论是适用性评价或防塌评价或两者中加以解决，偶然偏心分析的实施过程的重要性与否，需要在相较不那么麻烦的可维护性评估过程中确定。如果在可维护性评价中意外偏心是重要的，那么偶然偏心必须包括在防倒塌评价中。即使是这样，仍需要进行一组敏感性分析代替考虑传统的偶然偏心。

3.4.4 可接受标准

结构强度和变形能力不得小于根据本规范第 3.4.3 节要求确定的值。应明确确定设计用于响应非线性地震的结构构件或行为。所有其他构件及其行为应通过分析证明基本保持弹性。

设计用于非线性地震响应的结构构件或行为，应评估各个构件及他们之间的连接是否有足够的承受的变形需求的能力。承载力和变形能力，应根据适用的规范或有代表性的试验结果，或者应通过使用期望材料特性的分析证实。NLRH 分析的平均结果，任意层的层间位移比峰值不得超过 0.03。

应允许采取使用 7 组或更多组的记录的分析确定的需求值（构件内力，构件的非弹性变形，层间位移角）。必须设置转换构件，并且能够将其他部分产生的

地震力传递到提供对应抗力的构件。不包括在地震抵抗系统的每个构件应能抵抗重力荷载、地震力以及本节中列出的地震变形的要求。

C.3.4.4 变形能力，可以认为等同于 ASCE 41（补充 1）规定的非线性响应程序中相应的基本防倒塌指标。

例外：较大的变形能力只有在其能够被试验、同行审查小组或者建筑主管部门证实时才可以使用。如果 ASCE 41-06（补充 1）超过基本防倒塌变形能力，则需要考虑强度退化、刚度退化和迟滞捏拢效应。另外，结构的基底剪切能力不应低于 ASCE 41-06（补充 1）中基本防倒塌限制对应变形时基底剪切能力的 90%。

ASCE 41-06（补充 1）中基本防倒塌限制的非线性响应程序经过选择，使得在倒塌之前不会出现重大退化。因此，如果变形低于这些限制，模型没有必要考虑退化。但是，如果超过相关的 ASCE 41-06（补充 1）规定限制，数学模型必须明确包含各种材料的退化、捏拢效应的影响和迟滞模型。

使用 7 组地面运动或更多是必需的，因为它提供了一个更可靠基于统计的需求值。传力构件具有适当的性能对于传递地震力到抗力构件是是必不可少的。

因此，适当的设计和分配构件，对于建筑的性能是非常重要的。所有的结构元素，无论其强度是否考虑在建筑抗侧力体系中（结构构件是否被设计为地震力抵抗系统的一部分），其都应设计和说明以适应施加的地震变形。对于不包括在抗地震力系统的构件，如果变形不超过对应的 ASCE 41-06（补充 1）中非线性响应程序第二防倒塌限值，则被认为是可以接受的。

第4章 同行审阅要求

地震同行审查专家组（SPRP）对于每一个项目都是应当组织的。根据本规范中的要求和指导方针，SPRP 提供一个独立的、客观的和涉及到建筑抗震性能的结构设计的技术审查，并就建筑设计是否符合本规范要求 and 建设主管部门提出的其他要求提出意见。

SPRP 参与的目的不在于替代通常由 EOR 行使的建筑结构设计质量保证措施。EOR 负结构设计的完全责任，包括证明建筑设计与本规范要求和建设主管部门提出的其他要求一致。建设主管部门和任何规划审查顾问负责指导实施结构规划审查。

4.1 SPRP 成员的资质及挑选

除非建设主管部门决定，否则，SPRP 应至少包括三名在相关领域公认的专家，如结构工程，地震工程研究，基于性能的地震工程，非线性响应时程分析，高层建筑设计，地震地面运动，岩土工程，地质工程，以及其他和工程面临问题相关方面的知识。SPRP 成员由建设主管部门根据他们的资格是否适用于地震同行评审的项目进行挑选。建设主管部门可以要求项目赞助人及 EOR 提议 SPRP 成员，对于 SPRP 成员确定做最终决定。SPRP 成员应当与承担的项目没有利益冲突，并且不能是该项目设计团队的成员。SPRP 在建设主管部门的指导下提供专业意见。

4.2 同行评审范围

建设主管部门应当注明 SPRP 的评审范围的。在此基础上，SPRP，单独或作为一个团队，应在合同中对于提供工程服务包括书面的工作范围。服务范围应包括审查下列事项：地震损伤的确定，地面运动的描述，抗震设计方法，抗震性能目标，验收标准，数学建模和仿真，抗震设计和结果，图纸和规格。

在可行的情况下，SPRP 应在结构设计阶段尽可能早的组织起来，使其有机会评估那些在设计后期更改会影响设计进展的基本设计决策。早在设计阶段，

EOR、建设主管部门和 SPRP 三方应共同确定 SPRP 审查节点的频率和时间，以及在每个节点上 EOR 预期的设计进度。SPRP 应向 EOR 和建设主管部门提供书面意见，相应的 EOR 应书面答复。SPRP 应维护一个总结 SPRP 意见、EOR 意见和其解决方案的日志记录。在 EOR 和建设主管部门提出请求时，SPRP 有义务提供此日志记录。在审查结束时，SPRP 应提交建设主管部门正式的审查范围书面报告，包括评论日志，符合本规范要求的对于设计的专业意见。建设主管部门在临时许可审查时可以向 SPRP 要求中期报告，

C.4. 强烈推荐由建设主管部门正式委任一个咨询委员会。该咨询委员会由获得广泛尊重和认可的相关领域专家组成，这些领域包括但不限于结构工程、性能化设计、非线性分析技术和岩土工程。咨询委员会的成员可为一个预定的错开的时间内提供咨询。咨询委员会需要在多个项目中定期监督设计评审过程，协助建设主管部门制定标准和类似的设计条件下的程序，解决同行评审中产生的纠纷。

第5章 地震记录仪器

根据本规范分析和设计的建筑应配有根据本节规定的地震相关记录仪器。

5.1 概述

结构监测的主要目标是通过为计算机建模和震后的状态评估损伤检测提供数据，提高建筑系统的安全性和可靠性。考虑到结构系统和响应数值（加速度，位移，应变，旋转，压力）的频谱，规定的目的在于提供可行且灵活的仪器设置要求，以促进实现这些目标。在一个给定的建筑中，应选择能够在事后评估提供最有用的数据的仪器。对于特定的建筑类型，在相对较小的仪器需求下，不同类型的仪器提供了更广阔范围内的数据。

5.2 仪器计划和审查

仪器计划应由 EOR 编制，并提交 SPRP 和建设主管部门审查和批准。SPRP 批准的仪器计划，应当标明在相应的结构图上。记录仪和加速度计必须采用加州地质调查局（CGS）批准的类型。

5.3 最小通道数

表 2 中规定了最小数量通道的建筑的最低仪器数要求。SPRP 和建设主管部门可以共同决定是否增加通道的最小数量要求。

每个通道对应于一个单一的响应的数值（例如，单向楼层加速度、层间位移等）。

表2 最小仪器通道数

地上楼层数	最小通道数
10-20	15
20-30	21
30-50	24
>50	30

5.4 仪器分布

仪器的分布或布局应当经过逻辑化设计，使其监控最有意义的数值。

传感器应根据测量目标和自身类型，设置于建筑的关键测量位置。传感器应通过专用线缆连接到一个或多个中央记录仪，相互关联使其有相同的时间和触发，坐落于一个可访问的、受保护的位置，时刻处于可通信状态。

5.5 安装和维护

建筑的业主应当安装和维护仪器系统，在建设主管部门需要的情况下配合传输必要的数据库。

2008 年 LATBSDC 可选规范 1#补充

S1 钢筋混凝土延性框架

抗弯构件应符合 ACI 318-08 第 21 章的要求，以下是修改的注意事项。ITG-4.3R-07 ACI 的建议并不适用。

S.1.1 受弯构件 (ACI 318-08 § 21.5)

S.1.1.1 ACI 318-08 § 21.5.3.2 (d) 中间距限制由 12 英寸减少至 6 英寸。

C.S1.1.1. 对于高层钢筋混凝土的特殊框架体系，大面积的梁柱截面是常见的。ACI 318-08 § 21.5.3.2 限制的箍筋间距：(a) $d/4$ ，(b) 最小纵筋直径的 8 倍，(c) 24 倍箍筋直径，(d) 12 英寸。对于具有大型构件尺寸的高层建筑，12 英寸的限制可能起控制作用。对于大尺寸构件，没有测试数据评估 12 英寸的限值是否能达到预期的塑性扭转值。

S.1.1.2 在 ACI 318-08 § 21.5.3.1 确定的长度基础上，箍筋在垂直方向横截面面积 A_{sh} 不应小于由 ACI 318-08 方程 (21-5) 确定的要求，其中 b_c 为测出的最外层的垂直腿的箍筋间距。

C.S.1.1.2. 增加的要求是为了确保在抗弯框架屈服区域梁有足够的约束。在高层建筑设计中，柱子通常使用高强度混凝土，梁使用普通强度混凝土（例如， f_{conf} 值为 3000 至 5000 psi）。使用的 ACI 318-08 式 (21-5)，其目的是保证柱子符合 ACI 要求以及梁的延性，确保在塑性铰区有足够的围压存在，使其在严重扭转和 MCE 地震动的情况下，钢筋不会屈曲。

S.1.2 承受弯曲和轴向载荷的框架构件 (ACI 318-08 § 21.6)

柱轴向载荷下主荷载组合 (利用 7 组或 7 组以上的地面运动计算得到的平均值, 2008 年 LATBSDC, 3.4 节), 不应超过 $0.40f_c'A_g$ 。

C.S.1.2. 试验已经显示, 柱的变形能力随着轴向荷载的增加而降低。设置 $0.40f_c'A_g$ 限制的意图是保持轴力水平低于 $1.1P_{bal}$, 其中 $1.1P_{bal}$ 的是考虑期望材料强度临界破坏状态的轴力。

有关其他信息, 请参阅下面的参考:

1. “Drift-Dependent Confinement Requirements for Reinforced Concrete Columns under Cyclic Loading,” I. Brachmann, J. Browning, and A. Matamoros, ACI Structural Journal, September-October 2004, pp. 669-677.
2. “High-Strength Concrete Columns under Simulated Earthquake Loading,” O. Bayrak and S. A. Sheikh, ACI Structural Journal, November-December, 1997, pp. 708-722.

S2 高强度混凝土的质量控制

以下对于 ACI 318-08 规定修改或者添加, 仅针对于解决加利福尼亚州南部的高强混凝土使用中的解决具体问题。用于本补充的高强混凝土定义为 f_c' 等于或大于 6000psi 的混凝土。

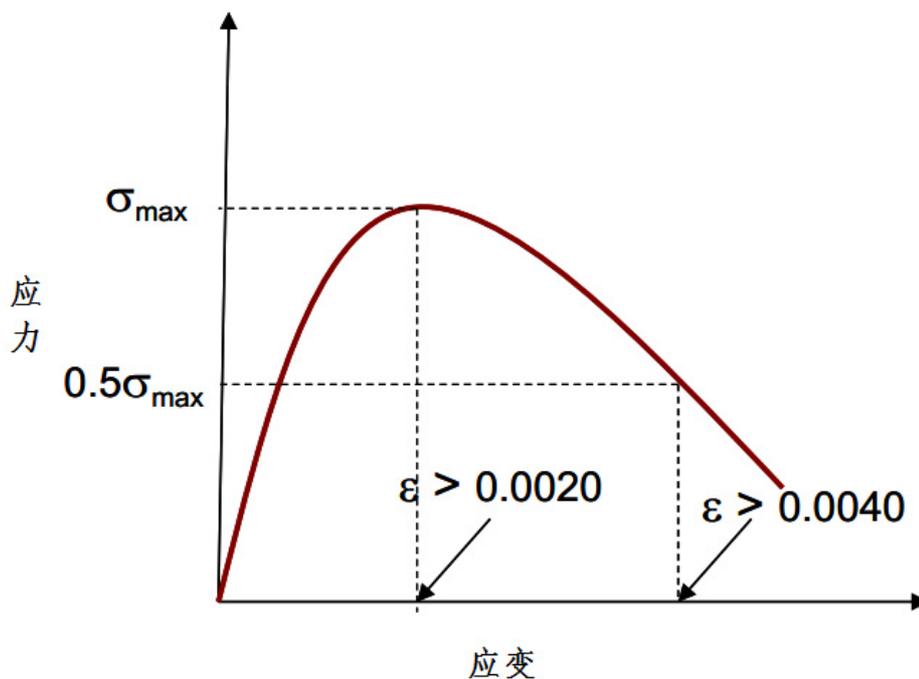
S.2.1. 高强混凝土的中期强度

表 S-1 所示的混凝土抗压强度限制是基本要求。另外, 最大应力点混凝土的应变不应小于 0.002, 超过最大强度点, 应力水平为最大应力值一半的点处混凝土应变不应小于 0.004 (参见图 S-1)。

表S-1 高强混凝土的中期强度和最终强度

强度(psi)	中期强度和最终强度(psi)
$6000 \leq f_c' < 8000$	<ul style="list-style-type: none"> ● 28 天强度 6000 ● 90 天强度 $1.0 f_c'$
$8000 \leq f_c' \leq 12000$	<ul style="list-style-type: none"> ● 28 天强度 6000 ● 90 天强度 $0.75 f_c'$

强度(psi)	中期强度和最终强度(psi)
$f_c' > 12000$	<ul style="list-style-type: none"> ● 365 天强度 $1.0 f_c'$ ● 28 天强度 $0.50 f_c'$ ● 90 天强度 $0.75 f_c'$ ● 365 天强度 $1.0 f_c'$



图S-1 应变能力需求

S.2.2 混凝土配合比规定

文档提出的具体比例将产生强度等于或大于所需的强度 f_{cr}' 的混凝土（见 ACI 318-08 § 5.3.2），且应当包含如下规定的强度试验记录。下面的试验记录，应当包括龄期为 28 天、90 天、365 天和任何其他有必要天数的龄期。

- 按照与 ACI 318-08 § 5.3.3.1 试验的数量应是 10 或更多。
- 圆柱试件应与用于项目的混凝土保持一致，应当取自用于工程的混凝土运输车或系统。
- 至少 10 立方码的混凝土应以成批进行测试。

- 强度试验报告须包含以下信息：
- a) 该混凝土的应力-应变图；
 - b) 根据 ASTM C 469 测得的弹性模量，根据 ASTM C 469 和劈裂抗拉强度；
 - c) 根据 ASTM C 157 测得的长度变化；
 - d) 根据 ASTM C 512 进行的加载蠕变试验结果。

C.S.2. 南加州常用的混凝土骨料弱于美国东部。因此，为了解决在这一地区利用高强混凝土的有关问题，在南加州的具体要求是必要的。南加州的高强混凝土的测试结果一般只限于 365 天强度小于 12000 psi。因此，保守起见，建议使用强度大于 12000 psi 的高强混凝土。

S3. 剪切折减因子（梁、柱和墙）

使用 2008 版 LATBSDC 的 7 组或更多组地面运动计算的平均剪力时，梁、柱、墙的剪切设计折减因子取 $\Phi=0.75$ 。另外，对应于加一个标准偏差的结果的剪力的光谱匹配或 1.50 倍平均光谱匹配的结果，折减因子可以取 $\Phi=1.0$ 。

当剪力值不是基于上的分析结果，而是利用构件的抗弯能力确定，折减因子可以取 $\Phi=1.0$ 。