中国工程建设协会标准

**《巨震应对技术规程》**

**T/CECS ×××-202×**

Technical specification for mega earthquake resistance of structures

《巨震应对技术规程》编制委员会

二零二五年一月

中国工程建设标准化协会标准

**《巨震应对技术规程》**

**T/CECS ×××-202×**

主编单位：广州大学

北京峰筑工程技术研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20××年××月××日

**中国\*\*出版社**

**2025年　北　　京**

前　　言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2018〕030号）的要求，编制组经过深入调查研究，认真总结研究成果和实践经验，参考有关国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、场地、地基和基础、地震作用与结构抗震验算、多层与高层房屋、单层工业厂房、大跨屋盖建筑、桥梁、隧道等。

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，由广州大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈至广州大学（地址：广东省广州市大学城外环西路230号广州大学工程抗震研究中心，邮政编码：510006，联系电话：020-86395053，邮箱：JZYDJSGC@163.com）。

|  |  |
| --- | --- |
| 主编单位： | 广州大学 |
|  | 北京峰筑工程技术研究院有限公司 |
| 参编单位： |  |
| 主编人员： |  |

**目 录**

[1 总 则 1](#_Toc185337394)

[2 术语与符号 2](#_Toc185337395)

[3 基本规定 5](#_Toc185337396)

[3.1 抗震设防分类和设防标准 5](#_Toc185337397)

[3.2 地震影响 6](#_Toc185337398)

[3.3抗震概念 7](#_Toc185337399)

[3.4观测和试验 8](#_Toc185337400)

[4 场地、地基和基础 9](#_Toc185337401)

[4.1 场 地 9](#_Toc185337402)

[4.2地基和基础 11](#_Toc185337403)

[5 地震作用与结构抗震验算 12](#_Toc185337404)

[5.1 一般规定 12](#_Toc185337405)

[5.2 地震作用 12](#_Toc185337406)

[5.3 结构抗巨震验算 13](#_Toc185337407)

[6 多层与高层房屋 14](#_Toc185337408)

[6.1一般规定 14](#_Toc185337409)

[6.2抗震构造措施 17](#_Toc185337410)

[7 单层工业厂房 20](#_Toc185337411)

[8 大跨屋盖建筑 22](#_Toc185337412)

[8.1 一般规定 22](#_Toc185337413)

[8.2抗震措施 23](#_Toc185337414)

[9 桥 梁 25](#_Toc185337415)

[9.1 一般规定 25](#_Toc185337416)

[9.2 梁桥抗震验算 25](#_Toc185337417)

[9.3 隔震梁桥验算 25](#_Toc185337418)

[9.4缆索承重桥梁 26](#_Toc185337419)

[10 隧 道 27](#_Toc185337420)

[10.1 一般规定 27](#_Toc185337421)

[10.2 计算要求 27](#_Toc185337422)

[10.3 抗震措施 27](#_Toc185337423)

[附 录 29](#_Toc185337424)

[附录A Ⅲ类和Ⅳ类场地的峰值加速度和水平地震影响系数最大值 29](#_Toc185337425)

[附录B地震动记录选取与调整 30](#_Toc185337426)

[附录C可恢复功能混凝土结构房屋 32](#_Toc185337427)

[附录D钢-混凝土组合结构中的多腔钢管混凝土柱 33](#_Toc185337428)

[附录E 巨震作用下抗震梁桥的验算要求 34](#_Toc185337429)

[附录F 地震逃生与救援 37](#_Toc185337430)

[用词说明 38](#_Toc185337431)

[引用标准名录 39](#_Toc185337432)

[条文说明 41](#_Toc185337433)

CONTENTS

[1 General 1](#_Toc182767558)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc182767559)

[3 Basic Requirements 5](#_Toc182767560)

[3.1 Category and Criterion for Seismic Precaution 5](#_Toc182767561)

[3.2 Earthquake Effect 6](#_Toc182767562)

[3.3 Structural Seismic Resistance Concept 7](#_Toc182767563)

[3.4 Observation and Testing 8](#_Toc182767564)

[4 Site, Soils and Foundation 9](#_Toc182767565)

[4.1 Site 9](#_Toc182767566)

[4.2 Foundations on Soil 11](#_Toc182767567)

[5 Earthquake Action and Seismic Checking for Structures 12](#_Toc182767568)

[5.1 General 12](#_Toc182767569)

[5.2 Earthquake Action 12](#_Toc182767570)

[5.3 Checking for Mega Earthquake Resistant Strucures 13](#_Toc182767571)

[6 Multi-story and Tall Buildings 14](#_Toc182767572)

[6.1 General 14](#_Toc182767573)

[6.2 Seismic Measures 17](#_Toc182767574)

[7 Single-story Factory Buildings 20](#_Toc182767575)

[8 Large-span Buildings 22](#_Toc182767576)

[8.1 General 22](#_Toc182767577)

[8.2 Seismic Measures 23](#_Toc182767578)

[9 Bridges 25](#_Toc182767579)

[9.1 General 25](#_Toc182767580)

[9.2 Checking for Seismic Resistant Bridges 25](#_Toc182767581)

[9.3 Checking for Seismic Isolated Bridges 25](#_Toc182767582)

[9.4 Cable-supported Bridges 26](#_Toc182767583)

[10 Tunnels 27](#_Toc182767584)

[10.1 General 27](#_Toc182767585)

[10.2 Computational Requirements 27](#_Toc182767586)

[10.3 Seismic Measures 28](#_Toc182767587)

[Appendix 29](#_Toc182767588)

[Appendix A Peak Accelerations and Maximum Horizontal Seismic Influence Coefficients for Class III and Class IV Sites 29](#_Toc182767589)

[Appendix B Selection and Adjustment of Earthquake Action Records 30](#_Toc182767590)

[Appendix C Resilient Functional Concrete Structure Buildings  32](#_Toc182767591)

[Appendix D Multi-cell Concrete Filled Steel Tube Columns of Steel-concrete Composite Structures 33](#_Toc182767592)

[Appendix E Checking Requirements for Seismic Resistant Bridges 34](#_Toc182767593)

[Appendix F Escape and Rescue 37](#_Toc182767594)

[Explanation of Wording in This Code 38](#_Toc182767595)

[List of Quoted Standards 39](#_Toc182767596)

[Addition: Explanation of Provisions 41](#_Toc182767597)

## 1 总 则

**1.0.1** 为贯彻执行国家有关防震减灾的法律法规，实行以预防为主的方针，系统性应对巨震灾害，减轻建设工程破坏和次生灾害，避免人员伤亡，减少经济损失，制定本规程。

**1.0.2**本规程适用于抗震设防烈度为6、7、8、9度地区有巨震安全需求的建设工程（建筑、桥梁和隧道工程）。甲类建设工程应考虑应对巨震灾害，乙类建设工程和有巨震安全需求的丙类建设工程宜考虑应对巨震灾害。抗震设防烈度大于9度地区且有巨震安全需求的建设工程应专项研究；有特殊要求的建设工程宜专项研究。

**1.0.3**应对巨震的建设工程，其抗震设防目标应符合以下规定：当遭受相当于本地区基本烈度的设防地震时，建设工程的主体结构基本不受损坏或不需要修理即可继续使用；当遭受罕遇地震时，建设工程的主体结构可发生损坏，经修复后可继续使用；当遭遇巨震作用时，建设工程的主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

**1.0.4**巨震应对措施除应符合本规程要求外，尚应符合国家现行相关规范和标准的规定。

## 2 术语与符号

**2.1 术语**

**2.1.1** 巨震mega earthquake

年超越概率为10-4的地震，即极罕遇地震。

**2.1.2**建设工程 construction engineering

建筑、桥梁和隧道工程的统称。

**2.1.3**抗巨震验算safety checking against mega earthquakes

工程结构在巨震作用下的变形验算。

**2.1.4**抗震概念设计seismic concept design

根据地震灾害和工程经验等所形成的基本设计原则和设计思想，进行建设工程总体布置并确定细部构造的过程。

**2.1.5** 抗震措施seismic measures  
　　除地震作用计算和抗力计算以外的抗震设计内容，包括抗震构造措施。  
**2.1.6** 抗震构造措施details of seismic design  
　　根据抗震概念设计原则，一般不需计算而对结构和非结构各部分必须采取的各种细部要求。

**2.2 符号**

**2.2.1**作用和作用效应

*IMT*——目标地震动参数，目标峰值加速度或者结构自振周期点处目标反应谱值；

*IMR*——强震动记录的峰值加速度或结构自振周期点处目标反应谱值；

——巨震作用下的上下部结构最大墩梁相对位移(m)；

——地震作用导致的场地变形相对位移(m)；

——巨震作用下潜在塑性铰区域的塑性转角；

——场地地震应变；

——柱轴压比；

——巨震作用下墩顶的位移(cm)。

**2.2.2** 材料性能

N——考虑地震作用组合的柱轴向压力设计值；

——混凝土抗压强度标准值（MPa）；

——箍筋的抗拉强度标准值（MPa）；

——塑性铰区域的最大容许转角；

[*θ*p]——层间弹塑性位移角限值；

——桥墩容许位移(cm)。

**2.2.3** 几何参数

——支撑一联上部结构桥墩的平均高度(m)；

——等效塑性铰长度；

——计算搭接长度的下部结构间距离(m)；

——有效跨度(m)。

——搭接长度(cm)；

——最小搭接长度(m)；

——等效屈服曲率；

——极限破坏状态的曲率能力；

——对于矩形截面为截面计算方向的配箍率，对于圆形截面为截面螺旋箍筋的体积配箍率；

——纵向配筋率。

**2.2.4** 计算系数

T1——结构基本自振周期；

V*Se*——岩石的剪切波速或土的等效剪切波速；

*s*——调幅系数；

——轴压比，指结构的最不利组合轴向压力与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值。

## 3 基本规定

### 3.1 抗震设防分类和设防标准

**3.1.1**应对巨震的建设工程，根据其遭受地震破坏后可能造成的人员伤亡、经济损失、社会影响程度及其在抗震救灾中的作用等因素划分抗震设防类别：

**1** 建筑应按照现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223确定其抗震设防类别。

**2** 桥梁和隧道抗震设防类别的划分，宜符合下列规定：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **抗震设防类别** | **甲类** | **乙类** | **丙类** |
| **桥梁** | 在交通路网中特别重要、具有不可替代性、涉及国家公共安全及震后救援的重大桥梁；  长度超过1000m且单跨跨径超过150m的大桥 | 除甲类桥梁以外的干线铁路、高速公路、一级公路、城市快速路上长度超过500m小于1000m且单跨跨径超过50m中型桥梁 | 除甲类、乙类桥梁以外的其它桥梁 |
| **隧道** | 在交通路网中特别重要、具有不可替代性、涉及国家公共安全及震后救援的长大隧道；  单洞跨径超过10m且长度超过1000m的隧道 | 除甲类隧道以外的干线铁路、高速公路、一级公路、城市快速路上单洞跨径超过7m小于10m且长度超过500m小于1000m的中型隧道 | 除甲类、乙类隧道以外的其它隧道 |

**3.1.2** 巨震作用下的各类建筑结构，其地震作用和抗震措施应符合下列规定：

**1** 甲类，应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施；但抗震设防烈度为9度时，应按比9度更高的要求采取抗震措施。同时，应按地震安全性评价结果且高于本地区抗震设防烈度的巨震参数确定其巨震作用，应考虑余震作用。

**2** 乙类，应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施；但抗震设防烈度为9度时，应按比9度更高的要求采取抗震措施。同时，应按本地区巨震参数确定其巨震作用，宜考虑余震作用。

**3** 丙类，宜按本地区抗震设防烈度确定地震作用和抗震措施，在遭遇巨震影响时不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏。同时，宜按本地区巨震参数确定其巨震作用。

**4**对位于高烈度设防地区或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、广播电视等建筑，当遭受相当于本地区抗震设防烈度地震影响时，应保证能够满足正常使用要求。

**5**当工程场地为I类时，对甲类和乙类房屋建筑工程，允许按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施；对丙类房屋建筑工程，抗震构造措施允许按本地区抗震设防烈度降低一度、但不得低于6度的要求。

**3.1.3**考虑应对巨震的各类桥梁、隧道，其地震作用和抗震措施应符合下列规定：

**1** 甲类，应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求采取抗震措施，并应按地震安全性评价结果且高于本地区抗震设防烈度的巨震参数确定其地巨震作用，应考虑余震作用。

**2** 乙类，应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施，并应按本地区抗震设防烈度的巨震参数确定其巨震作用，宜考虑余震作用。

**3** 丙类，宜按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施，宜按本地区巨震参数确定其巨震作用。

### 3.2 地震影响

**3.2.1** 巨震作用下水平地震动的峰值加速度，应根据设计基本地震动加速度值和设防烈度、场地类别、设防水准确定，I类和II类场地的水平地震动加速度时程最大值取值见表3.2.1。

**表3.2.1巨震作用下计算分析时所用水平地震动加速度时程的最大值（cm/s2）**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **设防水准** | **6度** | **7度** | | **8度** | | **9度** |
| **0.10g** | **0.15g** | **0.20g** | **0.30g** |
| **峰值加速度** | 160 | 320 | 460 | 600 | 840 | 1080 |

注：III类和IV类场地所用水平地震动加速度时程的最大值见附录A。

**3.2.2**当巨震验算时，建设工程有地震安全性评价结果，宜按地震安全性评价结果确定场地特征周期；当建设工程无地震安全性评价结果时，其场地特征周期可根据场地类别和设计地震分组按表3.2.2采用。

**表 3.2.2 特征周期值(s)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **设防水准** | **场地类别** | | | | |
| **Ⅰ0** | **Ⅰ1** | **Ⅱ** | **Ⅲ** | **Ⅳ** |
| **第一组** | 0.35 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.80 |
| **第二组** | 0.40 | 0.45 | 0.55 | 0.70 | 0.90 |
| **第三组** | 0.45 | 0.50 | 0.60 | 0.80 | 1.05 |

### 3.3抗震概念

3.3.1建设工程应对巨震时，应符合下述规定：

**1**重视结构选型，结构布置宜规则。

**2**设置多道抗震防线，满足防连续倒塌的要求。

**3**优先采用隔震、消能减震体系。

**4** 条件允许时，可采用功能可恢复结构等新型体系。

**5**除工程抗震措施之外，尚宜采取场地选址与治理、地震逃生、地震救援等综合应对措施。

**3.3.2**建设工程结构体系应根据抗震设防类别、抗震设防烈度、使用功能、场地条件、材料和施工等因素，经技术、经济综合比较确定，并符合下列规定：

**1** 具有清晰、合理的地震作用传递途径；

**2** 具备必要的刚度、强度和耗能能力；

**3** 具有避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构丧失抗震能力或承受重力荷载的能力；

**4**构件具有足够的延性，具有经受多次地震作用损伤累积的抗低周疲劳破坏的能力；

**5** 建筑结构尚应具有足够的牢固性和抗震冗余度，楼、屋盖应具有足够的面内刚度和整体性，基础应具有良好的整体性和抗转动能力，构件连接的设计与构造应能保证构件或连接件的破坏先于节点或锚固件的破坏；

**6**宜具有多道抗震防线；

**7**宜具有合理的刚度和承载力分布；

**8** 桥梁结构宜采用超静定结构，当采用简支体系时，应采用桥面连续构造，并有可靠的防落梁措施；

**9** 隧道同一结构单元应具有良好的整体性，对局部薄弱部位和场地地质突变区域应采取加强措施，隧道与构筑物连接时宜采用柔性连接构造；

**10** 装配式结构的连接构造应保证结构的整体性及抗震性能要求。

**3.3.3**应对建设工程中非结构构件、机电设备、附属设备、贵重物品等采取抗震措施。

**3.3.4** 相邻结构单元之间的防震缝应进行巨震作用下的变形验算，并采取有效措施，避免碰撞或挤压破坏。

**3.3.5**砌体结构房屋宜采用隔震技术，其地震作用及抗震措施应满足现行国家标准《建筑隔震设计标准》 GB/T51408的有关规定。

**3.3.6**应对巨震的建筑作为震时避难场所时，应满足现行国家标准《防灾避难场所设计规范》GB 51143的相关规定要求。

### 3.4观测和试验

3.4.1甲类和乙类建设工程中应设置地震反应观测系统，设计时应预留观测仪器和线路的位置。

3.4.2甲类建设工程的抗巨震性能应进行试验验证，乙类建设工程的抗巨震性能宜进行试验验证，有特殊要求的丙类建设工程的抗巨震性能可进行试验验证。

## 4 场地、地基和基础

### 4.1 场 地

**4.1.1**选择工程场地时，应根据有关国家标准划分对工程抗震有利、一般、不利和危险的地段。

**4.1.2** 建设工程场地应按照有关国家标准进行综合评价。对于不利地段和危险地段，建设工程宜满足下述规定：

**1** 对不利地段，建筑应避开，当无法避开时应采取有效的措施。对危险地段，不应建造甲、乙类建筑，不宜建造丙类建筑，当丙类建筑无法避开危险地段时，宜按照乙类建筑进行抗震设防，应进行工程场地地震安全性评价并采取有效的措施。

**2** 对不利地段和危险地段，桥梁、隧道宜避开。当桥梁和隧道无法避开不利地段和危险地段时，宜进行工程场地地震安全性评价并采取有效的措施。

**3** 对不利地段和危险地段的建设工程，宜进行巨震中的地质灾害和工程灾害分析，制定监测、预警预案。

**4.1.3** 工程场地的类别，应根据场地土层等效剪切波速和覆盖层厚度按表4.1.3划分为四类，其中I类分为I0、I1两个亚类。当有可靠的土层剪切波速和覆盖层厚度且其值处于表4.1.3所列场地类别的分界线附近时，应允许按插值方法确定地震作用计算所用的特征周期。

**表4.1.3各类工程场地的覆盖层厚度(m)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **岩石的剪切波速或土层的等效剪切波速(m/s)** | **场 地 类 别** | | | | |
| **Ⅰ0** | **Ⅰ1** | **Ⅱ** | **Ⅲ** | **Ⅳ** |
| V*Se*＞800 | 0 |  |  |  |  |
| 800≥V*Se*＞500 |  | 0 |  |  |  |
| 500≥V*Se*＞270 |  | ＜5 | ≥5 |  |  |
| 270≥V*Se*＞170 |  | ＜3 | 3～50 | ＞50 |  |
| V*Se*≤170 |  | ＜3 | 3～15 | 15～80 | ＞80 |

注：表中V*Se*系岩石剪切波速或土层的等效剪切波速。

**4.1.4** 建设工程场地存在发震断裂时，应对断裂的工程影响进行评价，并符合下列规定：

**1** 符合下列规定之一的情况，可忽略发震断裂错动对地面建筑和桥梁、隧道工程的影响：

（1）工程场地的设防烈度小于8度；

（2）丙类建设工程场地不存在全新世活动断裂；

（3）甲类和乙类建设工程场地不存在晚更新世以来的活动断裂；

（4）建筑和桥梁工程，在设防烈度为8度、9度时，隐伏断裂的土层覆盖厚度分别大于90 m和120m。对于隧道工程，隐伏断裂的土层覆盖厚度宜考虑埋深的影响。

**2** 对不符合本条1款规定的情况，甲类和乙类建筑、甲类和乙类桥梁及有抗巨震安全需求的丙类桥梁以及隧道工程，应优先避开主断裂带。避让距离不宜小于表4.1.4规定的发震断裂最小避让距离。

**表4.1.4发震断裂的最小避让距离(m)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **烈度** | **建筑抗震设防类别** | | |
| **甲** | **乙** | **丙** |
| **8** | 专门研究 | 300m | 150m |
| **9** | 专门研究 | 600m | 300m |

**3** 无法避开发震断裂及断裂破碎带等危险地段时，宜采取下述措施：

（1）对分散的、低于三层的丙类建筑、丙类桥梁，应按提高一度采取抗震措施，并提高基础和上部结构的整体性。抗震烈度为9度时，应按比9度更高的要求采取抗震措施。

（2）桥梁工程当需跨越断裂时应进行专项研究，采取特殊措施。

（3）隧道工程不宜近距离平行主断裂。当平行于主断裂布置时，宜布设在倾滑断裂带的下盘内。

（4）当隧道穿越发震断裂时，宜布设在断裂带狭窄部位，采取大角度正向穿越，并应根据地形、地质条件确定抗震加强长度。加强段两端应向围岩质量较好的地段延伸，延伸长度最小值可采用《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336的规定。应对断裂的错动速率、错动量等进行专题研究，宜采取消能减隔震技术措施。

**4.1.5** 建设工程应避开巨震中可能滑动的边坡。当无法避开时，应根据现行国家标准《地质灾害危险性评估规范》GB/T 40112，对滑坡灾害危险性进行评估，采取边坡治理等措施。

**4.1.6** 饱和砂土和饱和粉土(不含黄土)的液化判别和地基处理，甲类建设工程应进行专门的场地液化勘察和处理；6度区的乙类建设工程、对液化沉陷敏感的丙类建设工程，可按7度的要求进行判别和处理；7～8度区的丙类建设工程可按本地区抗震设防烈度的要求进行判别和处理，乙类建设工程可按本地区抗震设防烈度提高一度的要求进行判别和处理；9度区的丙类建设工程和乙类建设工程宜进行专项研究。

**4.1.7**地下建设工程场地中含有非饱和结构性粉土、砂黄土及砂质粉黄土或饱和粉质黏土时，宜进行场地震陷变形评价和处理。变形评价和处理措施宜符合《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336的有关规定。

### 4.2地基和基础

**4.2.1** 本节适用于建筑工程和桥梁工程的天然地基、基础和桩基。

**4.2.2**抗震设防烈度为7度（0.15g）、8度、9度时，甲类和乙类建设工程结构的桩基宜采用低承台桩基。

**4.2.3** 天然地基、基础和桩基应进行承载力验算。

**4.2.4** 房屋和桥梁工程应进行地基变形验算，宜满足结构对地基变形的适应能力和使用上的要求。

## 5 地震作用与结构抗震验算

### 5.1 一般规定

**5.1.1**建设工程的地震作用与其他荷载效应组合应符合建筑、桥梁、隧道等国家现行标准的相关规定。

**5.1.2**建设工程应进行巨震作用时的变形验算，并采取相应的抗震措施。

### 5.2 地震作用

**5.2.1** 多高层建筑、桥梁抗巨震验算时，宜采用双向地震动时程输入。7（0.15g）、8、9度时的大跨度、长悬臂结构及8（0.3g）、9度时的高层建筑，应采用三向地震动时程输入。三向地震动输入应沿空间结构底部三向同时输入，地震动参数（加速度峰值或反应谱最大值）比例取为：水平主向：水平次向：竖向=1.00:0.85:0.65，且三向强震加速度时程均应出自同一强震记录。

**5.2.2**大跨度建筑、大跨度桥梁以及长大隧道的抗巨震验算，宜考虑非一致地震动激励。

**5.2.3**建筑结构和桥梁结构采用底部剪力法或振型分解反应谱法计算水平地震作用时，水平地震影响系数应根据设防烈度、场地类别、设计地震分组和结构自振周期以及阻尼比确定，I类和II类场地的水平地震影响系数最大值应按表5.2.3采用。

**表5.2.3水平地震影响系数最大值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **地震影响** | **6度** | **7度** | | **8度** | | **9度** |
| **0.05g** | **0.10g** | **0.15g** | **0.20g** | **0.30g** | **0.40g** |
| **设防地震** | 0.12 | 0.23 | 0.34 | 0.45 | 0.68 | 0.90 |
| **极罕遇地震** | 0.36 | 0.72 | 1.00 | 1.35 | 2.00 | 2.43 |

注：III类和IV类场地的水平地震影响系数最大值见附录A。

**5.2.4**建设工程的地震作用，其设计地震动参数应根据设防烈度按照本规程第三章的相关规定确定，尚应符合下列规定：

**1** 当处于发震断层10km以内时，结构水平地震影响系数最大值应考虑近场影响，乘以增大系数。5km及以内宜取1.25，5km以外可取不小于1.15。

**2** 当工程处于条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石和强风化延时的陡坡、河岸与边坡边缘等不利地段时，应考虑不利地段对水平设计地震参数的放大作用。

### 5.3 结构抗巨震验算

**5.3.1** 宜采用时程分析法进行工程结构抗巨震验算。

**5.3.2**对于建筑结构，可采用倒塌易损性分析方法进行抗巨震验算。建筑结构可接受倒塌概率不宜大于表5.3.2中的可接受最大倒塌概率限值。

**表5.3.2 建筑结构可接受最大地震倒塌概率（%）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **地震影响** | **丙类建筑** | **乙类建筑** | **甲类建筑** |
| **极罕遇地震** | 5 | 1 | 0.1 |

## 6 多层与高层房屋

### 6.1一般规定

**6.1.1** 本章适用于多高层混凝土结构房屋、钢结构房屋和钢-混凝土组合结构房屋。对于乙类和丙类建筑，钢筋混凝土房屋的结构类型和最大适用高度应符合表 6.1.1-1的要求，钢结构房屋的结构类型和最大高度应符合表 6.1.1-2的要求，钢-混凝土组合结构房屋的结构类型和最大高度应符合表 6.1.1-3的要求。平面和竖向均不规则的结构，最大适用高度宜适当降低。

**表6.1.1-1多高层钢筋混凝土房屋的最大适用高度（m）**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **结构类型** | | **设 防 烈 度** | | | | |
| **6** | **7** | **8(0.2g)** | **8(0.3g)** | **9** |
| **框架** | | 50 | 40 | 35 | 不宜采用 | 不应采用 |
| **框架-剪力墙** | | 120 | 100 | 80 | 50 | 30 |
| **全部落地剪力墙** | | 120 | 100 | 80 | 60 | 40 |
| **筒体** | **框架-核心筒** | 130 | 100 | 90 | 70 | 50 |
| **筒中筒** | 150 | 120 | 100 | 80 | 60 |
| **板柱-剪力墙** | | 70 | 55 | 40 | 不应采用 | 不应采用 |

注：

1. 表中框架不含异形柱框架；
2. 甲类建筑，6、7、8度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表的要求，9度时应专门研究；
3. 框架结构、板柱-剪力墙结构以及9度抗震设防的表列其他结构，当房屋高度超过本表数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效的加强措施。

**表6.1.1-2 钢结构房屋的最大适用高度(m)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **结构类型** | **设 防 烈 度** | | | | |
| **6、7度（0.1g）** | **7度（0.15g）** | **8度**  **(0.2g)** | **8度**  **(0.3g)** | **9度**  **(0.4g)** |
| **框架** | 90 | 70 | 70 | 50 | 30 |
| **框架-中心支撑** | 200 | 180 | 150 | 120 | 90 |
| **框架-偏心支撑（延性墙板）** | 220 | 200 | 180 | 160 | 120 |
| **筒体和巨型框架** | 280 | 260 | 240 | 180 | 130 |

注： 1 超过表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施；

2 表中筒体不包括混凝土筒体。

**表6.1.1-3 钢-混凝土组合结构房屋的最大适用高度(m)**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **结构类型** | | **设 防 烈 度** | | | | |
| **6** | **7** | **8(0.2g)** | **8(0.3g)** | **9** |
| **框架** | **型钢混凝土框架** | 50 | 40 | 35 | / | / |
| **钢管混凝土框架** |
| **框架剪力墙** | **型钢混凝土框架-钢骨混凝土剪力墙** | 130 | 120 | 90 | 70 | 45 |
| **钢管混凝土框架-钢骨混凝土剪力墙** |
| **剪力墙** | **钢骨混凝土剪力墙结构** | 135 | 120 | 90 | 70 | 50 |
| **框架核心筒** | **型钢混凝土框架-钢骨混凝土核心筒结构**  **钢管混凝土框架-钢骨混凝土核心筒结构** | 185 | 160 | 125 | 100 | 60 |
| **筒中筒** | **型钢混凝土外筒-钢骨混凝土核心筒**  **钢管混凝土外筒-钢骨混凝土核心筒结构** | 240 | 200 | 140 | 120 | 70 |

注: 1 .表中钢骨混凝土剪力墙结构系指其剪力墙全部或大部分是钢骨混凝土剪力墙构件；

2. 表中"钢骨混凝土核心筒”系指核心筒剪力墙全部或大部分是钢骨混凝土剪力墙构件；

3.表中钢骨混凝土剪力墙也可采用外包钢板混凝土剪力墙；钢骨混凝土核心筒的剪力墙也可采用外包钢板混凝土剪力墙；其抗震措施宜满足有关标准要求。

**6.1.2**多层与高层房屋应根据设防类别、设防烈度、结构类型和房屋高度采用不同的抗震等级，抗震等级应符合现行国家标准的相关规定。

**1** 丙类建筑的混凝土结构和钢-混凝土组合结构的抗震等级应符合《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3和《组合结构设计规范》JGJ 138的有关规定；甲类和乙类建筑物应按照本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施;但抗震设防烈度为9度时应按比9度更高的要求采取抗震措施；抗震构造措施应按提高后的抗震等级确定，但不宜高于特一级。

**2** 钢筋混凝土和钢-混凝土组合结构框架柱和剪力墙不宜低于3级；8度（0.3g）和9度（0.4g）的钢筋混凝土核心筒和钢骨混凝土核心筒宜为特一级。

**3**钢结构房屋的结构抗震等级应在《建筑抗震设计标准》GB/T 50011规定的基础上提高一级采用，但不应高于一级。抗震构造措施应按提高后的抗震等级确定。对于设防烈度6度且50m以下的丙类建筑，应满足抗震等级四级的相关构造措施要求。按《建筑抗震设计标准》GB/T 50011抗震等级已经为一级的建筑，其巨震设计的构造措施需专门论证。

**4** 当房屋高度接近或等于表6.1.1的高度时，应结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

**6.1.3**框架柱的弯矩和剪力设计值宜适当增大。

**6.1.4** 钢结构构件应符合下列要求：

**1** 构件的尺寸应合理控制，避免局部失稳或整个构件失稳。

**2** 宜选用S1或S2级截面。

**6.1.5** 多高层房屋结构薄弱层（部位）巨震作用下的弹塑性层间位移角限值[*θ*p]应满足表6.1.5限值要求。

**表6.1.5层间弹塑性位移角限值**

|  |  |
| --- | --- |
| **结构体系** | **[*θ*p]** |
| **框架（钢筋混凝土、型钢混凝土、钢管混凝土）** | 1/50 |
| **框架-剪力墙、框架-核心筒、板柱-剪力墙** | 1/100 |
| **剪力墙和筒中筒** | 1/120 |
| **多、高层钢结构** | 1/50 |

**6.1.6**钢-混凝土组合结构宜考虑混凝土收缩徐变对抗震性能的影响。钢-混凝土组合梁宜考虑不同工况下楼板与钢梁之间的组合效应。

**6.1.7** 多高层建筑采用隔震和消能减震技术时，应满足以下要求：

**1** 隔震层应采用隔震产品试验提供的滞回模型，按非线性阻尼特性以及非线性荷载－位移关系特性分析模型，隔震建筑上部结构和下部结构宜采用弹塑性分析模型，通过非线性时程分析法计算结构响应。

**2** 应对隔震和消能装置应进行巨震作用下的极限位移和屈曲失效验算。

**3** 隔震结构应进行巨震作用下的抗倾覆验算。

**4**黏滞阻尼器和黏滞阻尼墙等速度相关型消能器在巨震下的最大出力不宜大于1.2倍的设计最大出力。

**5**应加强运维期间的正常检查、定期检查和即时检查，正常检查一般每年2次，定期检查每年1次。检查内容参考国家相关标准。

**6.1.8** 设防烈度地震作用下的隔震建筑结构验算，应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408的有关规定。

**6.1.9** 保持设防地震时正常使用功能建筑的结构验算和构造，应符合现行标准《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则》RISN-TG046的有关规定。

### 6.2抗震构造措施

**6.2.1**考虑巨震作用的钢筋混凝土框架柱，柱轴压比不宜超过表6.2.1的规定；建造于IV类场地且较高的高层建筑，柱轴压比限值应适当减小。

**表6.2.1 柱轴压比限值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **结构类型** | **抗震等级** | | | |
| **特一级** | **一** | **二** | **三** |
| **框架结构** | 0.50 | 0.55 | 0.65 | 0.75 |
| **框架-剪力墙结构、板柱-剪力墙结构、框架核心筒及筒中筒** | 0.60 | 0.65 | 0.75 | 0.85 |

注: 1 剪跨比不大于2的框架柱，其轴压比限值应比表中数值减小0.05;

2 当混凝土强度等级采用C65~C70时，轴压比限值应比表中数值减小0.05;当混凝土强度等级采用C75~C80时，轴压比限值应比表中数值减小0.10。

**6.2.2**考虑巨震作用的钢-混凝土组合结构框架柱，轴压比限值应满足表6.2.2。

**表6.2.2 钢-混凝土组合结构框架柱的轴压比限值**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **结构类型** | **柱类型** | **抗震等级** | | | |
| **特一级** | **一级** | **二级** | **三级** |
| **框架** | 型钢混凝土柱  矩形钢管混凝土柱 | 0.50 | 0.55 | 0.65 | 0.75 |
| 圆钢管混凝土柱 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 |
| **框架-支撑、框架-剪力墙, 框架-核心筒, 筒中筒** | 型钢混凝土柱  矩形钢管混凝土柱 | 0.60 | 0.65 | 0.75 | 0.85 |
| 圆钢管混凝土柱 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 |

注: 1 剪跨比不大于2的框架柱，其轴压比限值应比表中数值减小0.05;

2 当混凝土强度等级采用C65~C70时，轴压比限值应比表中数值减小0.05;当混凝土强度等级采用C75~C80时，轴压比限值应比表中数值减小0.10。

**6.2.3** 考虑巨震作用的钢筋混凝土剪力墙和钢骨混凝土组合剪力墙，墙肢轴压比限值应满足表6.2.3要求。

**表6.2.3钢筋混凝土和钢骨混凝土剪力墙的轴压比限值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **抗震等级** | **特一级、一级（9度）** | **一级（6，7，8度）** | **二、三级** |
| **轴压比限值** | 0.40 | 0.45 | 0.55 |

**6.2.4**钢筋混凝土框架柱箍筋的体积配箍率不宜小于表6.2.4数值。

**表6.2.4钢筋混凝土框架柱的最小体积配箍率**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **柱抗震等级** | **特一级** | **一级** | **二级** | **三级** |
| **柱加密区** | 1.1% | 0.9% | 0.7% | 0.5% |
| **柱非加密区** | 0.55% | 0.45% | 0.35% | 0.25% |

**6.2.5** 钢筋混凝土剪力墙、型钢混凝土剪力墙的水平和竖向分布钢筋的最小配筋率应符合表6.2.5规定。

**表6.2.5 混凝土剪力墙水平和竖向分布钢筋最小配筋率**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **抗震等级** | **特一级** | **一级、二、三级** |
| **钢筋混凝土剪力墙** | 0.40% | 0.30% |
| **型钢混凝土剪力墙** | 0.40% | 0.30% |
| **内置钢板混凝土剪力墙和内置钢斜撑混凝土剪力墙** | 0.50% | 0.45% |

**6.2.6** 型钢混凝土柱的型钢宜采用实腹式型钢；对于型钢混凝土巨柱，宜采用钢板连接的整体式焊接型钢。

**6.2.7**钢管混凝土柱截面宜采用圆形、矩形和正多边形截面。大截面矩形钢管混凝土柱宜用多腔钢管混凝土柱（参见附录D）。

**6.2.8**钢管混凝土柱的套箍系数不宜小于1.0。

**6.2.9** 多高层建筑采用隔震和消能减震技术时，应满足以下构造措施：

1上部结构与周围固定物之间应设置完全贯通的隔离缝，以避免巨震作用下可能的阻挡和碰撞，隔离缝宽度不应小于隔震支座在巨震地震作用下最大水平位移，且不应小于400mm。对相邻隔震结构之间的隔离缝，缝宽取巨震地震作用下最大水平位移值之和，且不应小于700mm。

2隔震建筑上部结构设置的变形缝，其间距可比现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011或[《钢结构设计标准》GB 50017](http://www.baidu.com/link?url=iQW7RuZ-onzCAkqMvJ9hm9MWpEmvzEn1T3bNmN5ZAK2ROEj2Jg82KrmoxGYZ7DuObNNmLs4AlLy4Gv7cRh-WWuN6K42AN4PnB-RMZF1CaVS" \t "_blank)的相关规定适当延长，宜经过详细计算确定；缝宽应符合现行相关标准的规定，且不应小于巨震作用下缝两侧结构最大相对位移的1.2倍。

**3** 隔震支座与上部结构及下部结构的连接应可靠，应使隔震支座在达到极限破坏状态时仍不产生连接的破坏。

4隔震支座应进行地震疲劳性能试验，压应力15MPa时100%变形下进行50个循环加载，其性能变化小于相关规定。

**5**消能器的地震疲劳性能要求，应取巨震设计位移下30个循环加载，其性能变化小于相关规定。

6 消能器的连接部件在巨震下应不屈服，且应具有足够的平面外刚度，防止出现平面外失稳。

**7** 与位移相关型或速度相关型消能器相连的预埋板、支撑和支墩、剪力墙及节点板的作用力取值，应为消能器在巨震设计位移或设计速度下对应阻尼力的1.2倍。

**8** 与消能器相连接的梁、柱和墙构件宜按重要构件设计，并应考虑极罕遇地震作用效应和其他荷载作用效应标准组合，其值应小于构件极限承载力。

## 7 单层工业厂房

**7.0.1**本章适用于单层钢结构厂房和单层钢筋混凝土柱厂房。

**7.0.2** 厂房结构布置应符合下列要求：

**1** 厂房的同一结构单元内，不应采用不同的结构形式、不应采用横墙和排架混合承重；厂房端部应设屋架，不应采用山墙承重。

**2** 工艺要求净空高度相差不大的多跨厂房宜做成等高和等长；高低跨厂房不应采用一端开口的结构布置。钢筋混凝土柱排架不宜抽柱。

**3** 厂房结构应设置完整的支撑系统。屋盖或横梁与柱顶铰接时，宜采用螺栓连接。屋盖宜采用钢屋架。

**4** 厂房围护墙应采用轻质墙板或与柱柔性连接的预制钢筋混凝土墙板；天窗屋面、端壁板、侧板等出屋面围护系统，应采用轻型板材。

**5** 厂房内的工作平台、刚性工作间宜采用钢结构，且应与厂房主体结构脱开。

**7.0.3** 防震缝的设置应符合下列要求：

**1** 通廊、栈桥等构筑物及贴建房屋与厂房结构之间应设防震缝脱开；两个主厂房之间的过渡跨至少应有一侧设防震缝与主厂房脱开。

**2** 防震缝宽度应符合下列要求：

**(1)** 防震缝宽度不应小于房屋高度的1/50，且不应小于200mm。

**(2)** 防震缝两侧结构类型不同时，应按较低房屋高度确定缝宽。

**7.0.4**有巨震安全需求的单层工业厂房结构宜采取消能减震措施。

**1** 应根据结构位移控制要求，并结合重要、大型设备的减震需求，开展消能减震设计。

**2** 在保证可靠传递水平地震作用的同时，宜采用位移相关型消能减震支撑体系。

**3** 对于部分区域采用消能减震措施的厂房，应考虑减震区域对非减震区域的结构抗震能力可能造成的不利影响。

**7.0.5** 工业厂房的计算应符合下列要求：

**1** 结构应采用整体建模，按双向水平地震作用输入计算。跨度大于 24m 的屋盖应考虑竖向地震作用。

**2** 地震作用计算时，厂房围护墙体的自重应计入，但其刚度不应计入。

**3** 巨震作用下的层间位移角不宜大于1/75。

**4** 考虑地震作用组合时，混凝土柱厂房的柱轴压比不宜大于0.6。

**7.0.6** 突出屋面的横向天窗架，当其跨度不大于屋架间距时，其支撑布置应采取

可靠的支撑布置及相应措施。

**7.0.7**在巨震作用下存在高温、高湿、低温、腐蚀、冲击、爆炸等风险时，应采取保护人员生命安全的监控、预警、逃生措施。宜根据灾害类型采取有效应对措施，防止或减少次生灾害造成的不利影响。

## 8 大跨屋盖建筑

### 8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于采用网架结构、网壳结构、立体桁架、弦支穹顶等空间网格结构或索膜等作为屋盖结构的大跨屋盖建筑。

8.1.2 下列丙类大跨屋盖结构宜满足巨震安全要求：

**1** 跨度超过120m或悬挑长度超过40m的空间网格结构或索结构，屋盖结构单元长度大于300m的大跨钢屋盖，屋盖结构形式为常用空间结构形式的多重组合、杂交组合以及屋盖形体特别复杂的大跨钢屋盖。

**2** 有巨震安全需求的其他丙类大跨屋盖建筑。

**8.1.3**大跨屋盖结构选型及支座、连接选型、布置应符合下列各项规定：

**1** 主要受力结构应具有明确的内力重分布途径。

**2** 宜采用空间传力结构体系。

**3** 屋盖结构与下部支承结构之间应可靠连接，屋盖支座的布置宜均匀，支座受力直接。屋盖支座抗震承载力应不低于屋盖结构及屋盖下部结构的抗震承载力。巨震下固定支座不宜产生变形；滑动支座应满足巨震作用下屋盖相对变形的要求，并应采取柔性限位措施。

**4** 下部支承结构应有较多的冗余度和多道传力途径，其抗震性能不应低于屋盖结构。

**5** 下部支承结构宜规则布置，不规则结构应采取抗震加强措施，避免使屋盖产生过大的地震扭转效应。

**6**大跨屋盖结构构件内力变化较大的区域，构件截面和承载力应逐步变化。

**8.1.4**大跨屋盖结构在巨震作用下的计算模型应符合下列规定：

**1** 大跨屋盖应与下部支承结构整体建模分析。

**2** 宜考虑大跨屋盖主檩条对大跨屋盖主结构的支撑作用。

**8.1.5**大跨屋盖结构的关键构件不应屈服，关键的连接节点应保持弹性。

**8.1.6**大跨屋盖结构宜进行抗连续倒塌验算。

**8.1.7** 对于要求应对巨震灾害的大跨屋盖建筑，宜采用隔震和消能减震技术。

**8.1.8** 对设定为应急避难场所的大跨屋盖建筑，应考虑余震的影响。

### 8.2抗震措施

**8.2.1**平面拱、单向平面桁架、单向立体桁架、平面张弦梁（桁架）结构等单向传力为主的屋盖结构应符合下列规定：

**1** 屋盖结构应设置竖向和水平支撑，支撑应具有足够的抗震承载力，保证主结构面外水平地震力的传递。

**2** 平面主桁架在支座处应设置竖向支撑桁架；主桁架跨度大于50m时，在抗震设防烈度为6、7度时，应在其跨中部位设置竖向支撑桁架，抗震设防烈度为8、9度时，竖向支撑桁架间距宜适当减小。

**3** 单向张弦结构纵向连系桁架应具有足够的刚度及承载力；宜采用两端为刚接的连续檩条，加强水平支撑体系；索在巨震作用下不退拉。

**8.2.2**空间立体桁架、空间张弦梁（桁架）结构应在屋盖上下弦平面内设置水平支撑，周边支座处应设置封闭的水平支撑。

**8.2.3** 网架结构宜采用双层或多层形式，应符合现行行业标准《空间网格结构技术规程》JGJ 7的有关规定，网架结构应符合下列规定：

**1** 网架结构宜采用周边支承，应加强网架结构与下部支承结构的连接。

**2** 网架结构杆件连接节点宜采用焊接球节点，复杂节点宜采用铸钢节点。

**3** 网架支座与跨中部位的弦杆和支座处网架腹杆在巨震作用下不应屈服。

**4** 宜适当提高与支座相连杆件及跨中弦杆的强度。

**8.2.4** 网壳结构除应符合现行行业标准《空间网格结构技术规程》JGJ 7的相关规定外，支座、与支座相邻三跨的构件以及跨中弦杆在巨震作用下应不屈服。

**8.2.5** 空间立体桁架应满足以下规定：

**1** 复杂相贯节点宜采用铸钢节点或加强的相贯节点。

**2** 与支座相连的杆件及跨中弦杆在巨震作用下不应屈服。

**8.2.6** 空间张弦梁（桁架）的索在巨震作用下不应退拉。

**8.2.7** 索结构应满足下列规定：

**1** 索结构应符合现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257的有关规定。

**2** 单层索系宜采用重型屋面；双层索系和横向加劲索系宜采用轻型屋面；索穹顶宜采用轻型屋面或膜结构。

**3** 拉索端应可靠锚固，避免拉索及索端锚固在巨震作用失效；关键索在巨震作用下不应退拉。

**4** 支承索结构的下部结构应具有较大的刚度。

**8.2.8** 采用隔震和消能减震技术的大跨屋盖建筑，除应满足本规程第6章的相关规定外，尚应满足现行国家标准《建筑隔震设计标准》 GB/T 51408和《建筑消能减震技术规程》JGJ 297等的有关规定。

## 9 桥 梁

### 9.1 一般规定

**9.1.1**本章适用于采用梁桥（简支梁桥、连续梁桥）、斜拉桥、悬索桥结构形式桥梁。

**9.1.2** 桥梁所遭受的巨震作用应根据本规程第3章和第5章的有关规定确定。

**9.1.3** 巨震作用下，桥梁抗震设计除应符合本规程外，尚应符合国家与行业现行桥梁抗震标准的要求。

**9.1.4**当桥梁跨越发震断层时，应采用结构简单、易于修复的结构，不宜采用拱桥、连续刚构、V形刚构等桥梁形式。

**9.1.5**应最大限度减小跨断层桥梁落梁、倒塌的风险，强化各种防落梁措施，制定震后抢通和修复预案。

### 9.2 梁桥抗震验算

**9.2.1** 巨震作用下，应验算桥墩墩顶的位移或桥墩潜在塑性铰区域塑性转动能力，对高宽比小于2.5的矮墩，可不验算桥墩的变形，但应验算抗弯和抗剪强度。具体验算方法见附录E。

**9.2.2** 巨震作用下，应进行顺桥向和横桥向的桩基础整体抗震性能验算。

**9.2.3** 巨震作用下，圆形、矩形墩柱潜在塑性铰区域内加密箍筋的构造应满足《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01的规定，最小配箍率应满足附录E第4条的要求。

**9.2.4** 简支梁梁端或连续梁梁端至桥墩、台帽或盖梁边缘应有一定的搭接距离，其最小值应满足附录E第5条的要求。

### 9.3 隔震梁桥验算

**9.3.1**巨震作用下，在进行隔震桥梁墩台与基础的验算时，可将隔震装置传递的水平地震力除以2.5的折减系数后，按行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362和《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363进行验算。

**9.3.2** 巨震作用下，对采用板式橡胶支座、盆式支座和球钢等支座的梁桥，容许支座损伤或破坏；但支座损伤破坏后，应采用墩梁限位或耗能装置，按隔震桥梁设计与验算。

9.3.3 隔震装置的验算应符合下列要求：

1 对橡胶隔震支座，巨震作用下产生的剪切应变宜控制在350%以下，并应校核其稳定性。

2 巨震作用下，隔震支座允许出现拉应力。但应对支座的稳定性和极限承载力进行验算，采用必要的辅助限位装置。

3 对于非橡胶隔震装置，应验算产品性能指标。

**9.4缆索承重桥梁**

**9.4.1** 巨震作用下，大跨缆索承重桥梁（斜拉桥、悬索桥）应考虑行波效应、非一致激励的作用，并应进行专题研究。

**9.4.2** 巨震作用下，悬索桥主缆、斜拉桥拉索、主梁应在弹性范围内工作；主塔、基础等重要结构受力构件可发生有限损伤，震后经修复可继续使用；伸缩缝、支座等构件容许破坏。

## 10 隧 道

**10.1 一般规定**

**10.1.1** 本章适用于盾构法、矿山法、明挖法、沉管法等工法建造的隧道。

**10.1.2** 当隧道穿越抗震危险地段时，应进行工程场地地震安全性评价或专门研究。

**10.2 计算要求**

**10.2.1** 隧道在巨震作用下的地震响应分析应采用非线性动力时程分析方法。

**10.2.2** 建立隧道非线性动力分析模型时，应模拟场地土体和隧道结构的非线性行为以及场地的边界条件。

**10.2.3** 隧道的地震响应分析参数应采用三向地震动同时输入：

**1** 地震动参数（加速度峰值）比例取值宜根据工程场地地震安全性评价确定；

**2** 当工程场地地震安全评价报告中未提出地震动参数时，可根据第5章之规定确定。

**10.2.4** 应根据隧道的使用功能要求进行衬砌结构及连接部位的变形验算。

**10.3 抗震措施**

**10.3.1**隧道处于可液化地层时，应分析场地液化对隧道的影响，并采取相应的措施。

**10.3.2** 隧道处于震陷地层时，应分析场地震陷对隧道的影响，并采取相应的措施。

**10.3.3**隧道应设置防止巨震带来的次生灾害的措施。

**10.3.4** 矿山法隧道抗震设防地震动0.4g及以上地区或穿越活动断层时，穿越区段宜适当加大隧道内轮廓尺寸。

**10.3.5** 盾构法隧道抗震设防地震动0.2g及以上地区的大直径盾构隧道除计算分析外，必要时可采用振动台试验等方式进行验证。

**10.3.6** 沉管法隧道管节接头、节段接头的防水材料应满足适应巨震作用接头变形的水密性要求，重点设防的沉管法隧道接头应设置限位装置。

**10.3.7**明挖法隧道结构宜采用现浇结构。部分构件采用装配式构件时，装配式构件应与其他构件可靠联结。

## 附 录

**附录A Ⅲ类和Ⅳ类场地的峰值加速度和水平地震影响系数最大值**

**A.0.1** Ⅲ类和Ⅳ类场地，进行巨震作用下时程计算分析时，所用水平地震动的峰值加速度宜按表A.0.1采用。

**A.0.1 巨震作用下Ⅲ类和Ⅳ类场地水平地震加速度时程的最大值 (cm/s2)**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **设防水准** | **6度** | **7度** | | **8度** | | **9度** |
| **0.05g** | **0.10g** | **0.15g** | **0.20g** | **0.30g** | **0.40g** |
| **Ⅲ类场地** | 170 | 290 | 435 | 580 | 870 | 1160 |
| **Ⅳ类场地** | 160 | 280 | 390 | 520 | 785 | 1050 |

**A.0.2** Ⅲ类和Ⅳ类场地，巨震作用下建筑和桥梁结构采用底部剪力法或振型分解反应谱法计算水平地震作用时的水平地震影响系数最大值*α*max宜按表A.0.2采用。

**A.0.2 巨震作用下Ⅲ类和Ⅳ类场地水平地震影响系数最大值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **设防水准** | **6度** | **7度** | | **8度** | | **9度** |
| **0.05g** | **0.10g** | **0.15g** | **0.20g** | **0.30g** | **0.40g** |
| **Ⅲ类场地** | 0.47 | 0.90 | 1.15 | 1.35 | 2.00 | 2.43 |
| **Ⅳ类场地** | 0.45 | 0.86 | 1.10 | 1.35 | 1.90 | 2.19 |

**附录B地震动记录选取与调整**

**B.0.1** 地震动记录选取应考虑地震危险性的主要控制震级、距离以及场地等因素，宜选用本场地或附近场地记录的地震动，可选用与本场地地质条件相似的场地记录的地震动。

**B.0.2** 对处于发震断裂两侧10km以内的结构，应考虑近断层效应并挑选符合场地特征的地震动记录。

**B.0.3** 采用时程分析法进行工程结构抗巨震验算时，应选择不少于9条符合建设场地类别和设计地震动分组的实际地震动记录。当实际地震动记录数量不足时，可采用适当的人工模拟地震动，其中实际强震记录的数量不应少于总数的2/3。同一次地震不同测点所测量的强震记录最多选两条，同一地震事件或者同一台站的强震动记录不宜超过总数量的1/3。

**B.0.4** 采用易损性分析进行建筑结构抗倒塌验算时，应选择不少于25组实际地震动加速度时程，地震动的选取宜按照现行标准《建筑结构抗倒塌设计标准》T/CECS 392中的相关规定来进行，亦可参考国内外相关研究所推荐可用于结构倒塌分析的地震动记录。地震加速度时程记录，其峰值加速度不应小于0.1g，峰值速度不应小于12.5m/s，同一地震事件中选用的地震记录数不宜超过2组。

**B.0.5** 所选地震动记录的平均加速度反应谱与规范目标谱在目标周期段的相对误差应不高于相应规范要求。在目标周期段的平均反应谱与目标谱之间的相对误差不宜高于20%。当选取强震记录数量低于9条时，应保证单条强震记录反应谱与目标谱在周期目标段的相对误差不高于50%。

**B.0.6**实际强震记录地震动加速度时程曲线在对应于隔震结构主要振型对应周期点附近时，每条实际强震记录对应的反应谱与设计反应谱的谱值最大偏差不应超过20%；所合成的人工模拟加速度时程曲线对应的反应谱与设计反应谱在对应于隔震结构各周期点的偏差平均值不宜大于5%，最大偏差不宜大于10%。在人工模拟地震动加速度合成时，宜考虑不同阻尼比对反应谱的影响和天然相位信息的非平稳特征对结构响应的影响。

**B.0.7**主震加速度时程曲线的有效持续时间不宜小于结构基本自振周期的5倍和15秒。

**B.0.8**对于主余震作用下的结构反应分析，应选取真实主余震地震动记录集或采用人工构造主余震地震动序列，所选取地震动的平均地震影响系数曲线应与现行建筑、桥梁和隧道国家标准规定的地震影响系数曲线在统计意义上相符。

**B.0.9**对于短周期结构，宜采用表3.2.1规定的巨震作用下加速度时程的最大值，对地震动加速度时程曲线进行线性调幅，调幅系数不宜超过10。对于中长周期结构，宜采用结构基本自振周期T1对应的加速度反应谱值Sa(T1)=α(T1)g作为目标值，在目标周期段内采用最大误差平方和（SSE）最小的原则，对地震动加速度时程曲线进行线性调幅，调幅系数不宜超过5，宜选用[0.2T1, 2T1]作为目标周期段。

**B.0.10**时程分析时，余震地震动宜满足下述规定：

**1** 主震与余震加速度时程曲线的间隔时间不宜小于60s；

**2** 对于需要验算主余震不倒的丙类工程，余震加速度时程曲线的峰值加速度不宜小于主震地震动的60%；对于乙类工程，余震加速度时程曲线的峰值加速度不宜小于主震地震动的80%；对于甲类工程，余震加速度时程曲线的峰值加速度不宜小于主震地震动的95%；

**3** 对于需要验算主余震不倒的丙类工程，余震加速度时程曲线的有效持续时间不宜小于结构基本自振周期的7.5倍；对于乙类工程，余震加速度时程曲线的有效持续时间不宜小于结构基本自振周期的7倍；对于甲类工程，余震加速度时程曲线的有效持续时间不宜小于结构基本自振周期的6.5倍；余震加速度时程曲线的有效持续时间且不宜小于22秒；

**4** 当实际主余震序列记录数量不足时，可采用适当的人工模拟主余震序列，其中实际记录的数量不宜少于总数的1/3；

**5** 所选取余震地震动的平均地震影响系数曲线应与现行建筑、桥梁和隧道国家标准规定的地震影响系数曲线在统计意义上相符。

**附录C 可恢复功能混凝土结构房屋**

**C.0.1**本附录适用于可恢复功能混凝土结构房屋，结构类型和最大适用高度应符合表C.0.1的规定。

**表C.0.1 可恢复功能结构最大适用高度（m）**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **可恢复功能结构类型** | **设防烈度** | | | | |
| **6** | **7** | **8 (0.2g)** | **8 (0.3g)** | **9** |
| **设置摇摆构件的框架结构** | 60 | 60 | 50 | 30 | 25 |
| **自复位框架结构** | 40 | 40 | 30 | 15 | - |
| **自复位支撑-摇摆框架结构** | 35 | 35 | 25 | 10 | - |
| **自复位框架-剪力墙结构** | 60 | 60 | 40 | 15 | - |
| **自复位剪力墙结构** | 70 | 70 | 50 | 20 | - |
| **设置可更换连梁的框架-剪力墙结构** | 130 | 130 | 110 | 70 | 60 |
| **设置可更换连梁的剪力墙结构** | 140 | 140 | 120 | 70 | 60 |

**C.0.2** 可恢复功能混凝土结构的材料性能应符合下列规定：

**1** 混凝土的强度等级不宜低于C40；

**2** 可恢复功能混凝土结构的钢筋宜优先选用延性、韧性和可焊性较好的钢筋；耗能钢筋和纵向受力钢筋宜选用HRB400级和HRB335级热轧钢筋，箍筋宜选用HRB400级、HRB335级和HPB300级热轧钢筋；

**3** 预应力筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

**C.0.3** 可恢复功能混凝土结构体系应适当放松具有大变形能力的构件与其他普通构件间连接节点的约束。

**C.0.4** 可恢复功能混凝土结构的平面和立面应规则，结构规则性宜根据现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011有关规定判定。

**C.0.5**在巨震作用下，可恢复功能结构的抗震设防性能水准是不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

**C.0.6** 可恢复功能结构体系宜采用基于位移的设计方法进行结构设计。

**C.0.7** 可恢复功能结构体系宜采用成熟可靠的抗震构造措施。

**附录D 钢-混凝土组合结构中的多腔钢管混凝土柱**

**D.0.1** 本附录适用于钢-混凝土组合结构房屋中多边多腔钢管混凝土柱。

**D.0.2**考虑地震作用组合的多腔钢管混凝土框架柱，其轴压比应按下式计算，且不宜大于表D.0.2规定的限值。

=N/(fcAc+ fsAs) (D.0.2)

式中: —— 柱轴压比;

N——考虑地震作用组合的柱轴向压力设计值。

**表D.0.2多腔钢管混凝土柱轴压比限值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **结构类型** | **柱类型** | **抗震等级** | | |
| **特一级** | **一级** | **二级** |
| **框架** | 多腔钢管素混凝土柱 | 0.55 | 0.60 | 0.70 |
| 多腔钢管钢筋混凝土柱 | 0.65 | 0.70 | 0.80 |
| **框架-支撑、框架-剪力墙, 框架-核心筒, 筒中筒** | 多腔钢管素混凝土柱 | 0.60 | 0.65 | 0.75 |
| 多腔钢管钢筋混凝土柱 | 0.70 | 0.75 | 0.85 |

注：1.当混凝土强度等级采用C65~C70时，轴压比限值应比表中数值减小0.05;

2.当混凝土强度等级采用C75~C80时，轴压比限值应比表中数值减小0.10；

3.结构类型应符合本规程6.1.1条的有关规定。

**D.0.3**多腔钢管混凝土柱的钢板厚度不宜小于10mm。

**D.0.4**多腔钢管混凝土柱的套箍指标宜在0.80～2之间。

**附录E 巨震作用下抗震梁桥的验算要求**

**E.0.1** 桥墩墩顶的位移、桥墩潜在塑性铰区域塑性转动能力应满足式E.0.1-1或E.0.1-2的要求

(E.0.1-1)

(E.0.1-2)

式中：

──巨震作用下墩顶的位移(cm)；

──桥墩容许位移(cm)，按第E.0.3条计算；

──巨震作用下，潜在塑性铰区域的塑性转角；

──塑性铰区域的最大容许转角，可按式（E.0.1-2）计算。

**E.0.2** 塑性铰区域的最大容许转角应根据极限破坏状态的曲率能力、按下式计算：

(E.0.2-1)

式中：──等效屈服曲率（1/cm）；

──极限破坏状态的曲率能力（1/cm）；

──等效塑性铰长度(cm)。

**E.0.3** 计算桥墩顺桥向和横桥向容许位移时，可在盖梁处施加水平力*F*（图E.0.3-1），进行非线性静力分析，当墩柱的任一塑性铰达到其最大容许转角或极限曲率时，盖梁处的横向水平位移即为容许位移。



**图E.0.3-1 双柱墩的容许位移**

**E.0.4** 圆形、矩形墩柱潜在塑性铰区域内最小配箍率应的计算及要求如下。

圆形截面

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (E.0.4-1) |

矩形截面

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (E.0.4-2) |

式中：——对于矩形截面为截面计算方向的配箍率，对于圆形截面为截面螺旋箍筋的体积配箍率；

——轴压比，指结构的最不利组合轴向压力与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值；

——纵向配筋率；

——混凝土抗压强度标准值（MPa）；

——箍筋的抗拉强度标准值（MPa）。

**E.0.5** 简支梁梁端或连续梁梁端至墩、台帽或盖梁边缘最小值，可按式（E.0.5-1）~（E.0.5-3）计算

（E.0.5-1）

（E.0.5-2）

（E.0.5-3）

式中：——搭接长度(cm)，指图E.0.5所示的梁端部到下部构造顶部边缘的上部构造的长度；

——巨震作用下的上下部结构最大墩梁相对位移(m)，计算时可考虑防落梁装置和位移限制器的作用，应考虑场地液化和桥墩几何变形的影响；

——地震作用导致的场地变形相对位移(m)；

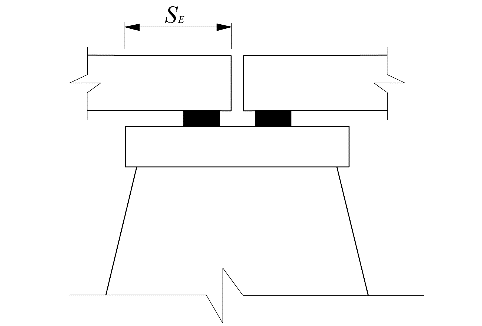
——场地地震应变，对于Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类场地可分别取0.0025、0.00375、0.005；

——计算搭接长度的下部结构间距离(m)，其取值与桥梁的结构形式，支座的类型等相关；

——最小搭接长度(m)；

——支撑一联上部结构桥墩的平均高度(m)，桥台计算时取0；

——有效跨度(m)，单个桥墩上两侧梁的跨度不同时，取其较大值。



**图E.0.5 梁端至墩、台帽或盖梁边缘的最小距离**

**附录F 地震逃生与救援**

**F.0.1** 本章适用于满足本规程抗震设防规定的建设工程中人员的逃生和原地自组织救援。

**F.0.2**，宜针对具体的建设工程制定地震逃生与救援预案。预案应考虑巨震作用下的直接灾害、次生灾害、工程抗震性能、场地环境、人员、交通和医疗等因素。

**F.0.3** 逃生人员宜采用地震综合逃生法，宜根据人员地震逃生验算的结果选择逃生概率较大的预案。

**F.0.4** 在地震直接作用后的不同地震灾害阶段，有移动能力的人员可及时转移到高等级逃生安全区域，安全区域可设置在地震避难场所或距离次生灾害源较远的区域。

**F.0.5**宜根据地震逃生预案进行人员地震逃生培训，并定期开展人员地震逃生演练；宜根据地震救援预案进行人员地震救援培训，并定期开展人员地震救援演练。

## 用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1**　表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

**2**　表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

**3**　表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

**4**　表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

## 引用标准名录

《工程场地地震安全性评价》GB 17741

《中国地震动参数区划图》GB 18306

《地质灾害危险性评估规范》GB/T 40112

《混凝土结构设计标准》GB/T 50010

《建筑抗震设计标准》GB/T 50011

[《钢结构设计标准》GB 50017](http://www.baidu.com/link?url=iQW7RuZ-onzCAkqMvJ9hm9MWpEmvzEn1T3bNmN5ZAK2ROEj2Jg82KrmoxGYZ7DuObNNmLs4AlLy4Gv7cRh-WWuN6K42AN4PnB-RMZF1CaVS)

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《铁路工程抗震设计规范》GB 50111

《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223

《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909

《防灾避难场所设计规范》GB 51143

《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336

《建筑隔震设计标准》GB/T 51408

《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002

《组合结构通用规范》GB 55004

《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01

《公路隧道抗震设计规范》JTG 2232

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362

《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363

《公路工程抗震规范》JTG B02

《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3

《空间网格结构技术规程》JGJ 7

《组合结构设计规范》JGJ 138

《索结构技术规程》JGJ 257

《建筑消能减震技术规程》JGJ 297

《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166

《建筑工程混凝土结构抗震性能设计规程》 DBJ/T 15-151

《建筑结构抗倒塌设计标准》T/CECS 392

《建筑结构抗震性能化设计标准》T/CECA 20024

《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则》RISN-TG046

**中国工程建设标准化协会标准**

**巨震应对技术规程**

**T/CECS XXX—202X**

## 条文说明

**制定说明**

巨震灾害是我国新时期防震减灾所面临的挑战，本规程编制组会同有关单位总结国内已有的防震减灾经验和研究成果，结合我国抗震设防、社会和经济发展、工程设计与施工等实际情况，编制出适用于我国国情的《巨震应对技术规程》。本规程确定了不同建设工程主体结构在巨震作用下的不倒塌或发生危及生命的严重破坏的基本设防目标，有机整合场地选址与治理、工程抗震、地震逃生、应急救援等减防灾方式，以降低巨震灾害带来的破坏和不利影响。本规程的实施将有效保护人民生命和财产的安全。

为便于广大的设计、制作、施工等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，本规程编制组按章节条顺序编制了条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，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。

**目 次**

1 总则44

2 术语与符号46

3 基本规定47

3.1 抗震设防分类和设防标准47

3.2 地震影响47

3.3 抗震概念48

3.4 观测和试验50

4 场地、地基和基础51

4.1 场 地51

4.2 地基和基础52

5 地震作用与结构抗震验算54

5.1 一般规定54

5.2 地震作用54

5.3 结构抗巨震验算54

6 多层与高层房屋56

6.1 一般规定56

6.2 抗震构造措施57

7 单层工业厂房59

8 大跨屋盖建筑61

8.2 抗震措施61

9 桥 梁62

9.1 一般规定62

9.4 缆索承重桥梁62

10 隧 道63

10.1 一般规定63

10.2 计算要求63

10.3 抗震措施64

附 录65

附录A Ⅲ类和Ⅳ类场地的加速度峰值和水平地震影响系数最大值65

附录B地震动记录选取与调整66

附录C 可恢复功能混凝土结构房屋68

附录D 钢-混凝土组合结构中的多腔钢管混凝土柱70

附录F 地震逃生与救援71

**1 总 则**

**1.0.1** 地震灾害是造成我国人民伤亡人数最多的自然灾害，其中我国汶川地震（2008）造成约8.7万人死亡或者失踪，约37.5万人受伤。历次地震震害表明，真正造成人员伤亡、财产损失的地震往往是巨震。随着我国经济的发展，人民对生命安全和财产安全有着越来越高的要求，减轻巨震灾害是我国城镇化和防震减灾新时期所面临的挑战。国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306于2015年颁布。该标准明确提出了极罕遇地震动，为巨震的地震动参数提供了依据。《建设工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令第744号）于2021年颁布实施。该条例明确提出位于高烈度地震区和地震重点监视防御区的学校、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、广播电视等八类建筑应当按照不低于乙类（重点设防类）建筑的要求采取抗震设防措施，而且鼓励在其他类型的建设工程中采用隔震减震等技术，提高抗震性能。这对防震减灾提出了更高的要求，因此有必要在建设工程中采取有效措施，避免或减轻巨震灾害。

**1.0.2** 本条规定了进行巨震安全验算的工程范围，包括但不限于甲类和乙类的建设工程（建筑、桥梁和隧道工程），也包括有巨震安全需求的丙类建设工程。抗震设防烈度大于9度地区且有巨震安全需求的建设工程的实践经验和研究较少，应进行专项研究；行业上或功能上有特殊要求的建设工程，例如核电站等，宜进行专项研究。

1.0.3 抗震设防水准不仅仅是技术问题，而且与该国经济发展水平密切相关。2019年我国[人均GDP首次超过1万美元，](http://www.guancha.cn/politics/2020_01_17_531956.shtml)部分城市人均GDP超过2万美元。房产是我国居民资产的重要组成部分。国家明确提出建设韧性城市。在这种新的形势下，抗震设防不仅仅考虑避免人员伤亡，而且要适当考虑保护财产安全，避免或者减少地震造成的人民财产重大损失、产业链转移等。在工程实践中，北京中信大厦（中国尊）等部分建设工程的抗震性能高于“大震不倒”的目标，并经过了振动台试验的考验。本规程在现有科研成果、工程实践基础上，结合我国经济发展水平，针对建设工程（建筑、桥梁、隧道）提出了更高的抗震设防目标，可简称为“中震微损（基本不坏），大震可修，巨震不倒”。这不但利于减轻巨震时人员和财产损失，而且有利于提高建设工程在小震、中震和大震时的韧性。为了与国内现有抗震相关标准保持连续性，本规程参考了《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223、《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《建筑隔震设计标准》GB/T 51408、《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336、《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01、《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166、《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909、《铁路工程抗震设计规范》GB 50111、《公路隧道抗震设计规范》JTG 2232等标准。本规程设防目标是建设工程抗巨震的最低要求，也可根据工程实际情况，采用更高的抗巨震设防目标，如“巨震可修”等。

**2 术语与符号**

**2.1.1**国内对用于建设工程的巨震尚有不同的认识，从狭义上来讲，巨震指极罕遇地震。如无特殊声明，本规程所述的巨震是狭义巨震。但是，汶川地震（2008，Ms8.0）、日本311地震（2011，Mw9.0）、土耳其地震（2023，Ms7.8）等地震表明，地震及其灾害具有复杂性。有可能发生超越概率低于极罕遇地震超越概率的地震，造成严重破坏；也有可能发生超越概率位于罕遇地震与极罕遇地震之间的地震，仍然造成严重破坏。因此，有必要引入广义巨震的概念。从广义上来讲，超越概率低于罕遇地震超越概率的地震均是巨震。

**2.1.2**从广义上来讲，建设工程指为人类生活、生产提供物质技术基础的各类建筑物、构筑物和工程设施的建造活动及相关工作。本规程中的建设工程为狭义定义，特指建筑、桥梁和隧道工程。

。

**3 基本规定**

**3.1 抗震设防分类和设防标准**

**3.1.1** 根据《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 ，特殊设防类可简称甲类，重点设防类可简称乙类，标准设防类可简称丙类。本规程根据表达需要采用简称。

桥梁、隧道有其特殊性。以隧道为例，目前铁路、公路、市政、轨道交通等不同行业对隧道的划分不同。本规程从桥梁和隧道的破坏后果、可修复性等给出了分类标准。应对巨震的桥梁和隧道，其设防类别可根据桥梁和隧道的国防和震后救援需求，以及铁路、公路、地下铁道行业的特点进行适当调整。

**3.1.3**不同行业、不同类型桥梁，其抗震措施有所不同，应根据行业特点和需求采取相应的抗震措施。

隧道为地下工程，有其特殊性。总体来看，在地震作用下隧道地震破坏较地上建筑破坏较轻，且修复困难，所以给出较高的抗震性能目标。不同行业、不同类型隧道，抗震措施有所不同，应根据行业特点和需求采取相应的抗震措施。

**3.2 地震影响**

**3.2.1**本条确定了巨震作用下水平地震动加速度时程的最大值，主要依据《中国地震动参数区划图》GB 18306的有关内容。局部场地条件对地震波的峰值、频谱等动力特性有直接影响，会显著地放大或缩小地震作用。例如：1985年9月19日，墨西哥发生了8.1级地震，距离震中400公里之外的墨西哥城震害严重，超过了周边地区的震害，位于古湖泊上的高层建筑破坏显著；2008年5月12日发生的汶川地震，渭河盆地的灾害较周围地区明显严重。工程抗震的地震动参数应考虑场地的影响，而且随着计算机硬件和专业软件的发展，工程师专业素质的提升，具备了考虑场地因素的条件。鉴于考虑场地影响的工程经验较少，对于I类场地，所用水平地震动加速度时程的最大值和II类场地取值一致。III类和IV类场地所用水平地震动加速度时程的最大值较II类场地有所变化，详见附录A。

**3.2.2**巨震作用下的场地特征周期主要考虑了下述因素：1. 巨震地震动由更大震级地震等因素引起，较大地震的地震动长周期成分更丰富；2.场地土非线性作用，使得地震作用放大，较长周期成分更显著。

**3.3抗震概念**

**3.3.1**、**3.3.2** 这两条主要强调综合减灾和抗震概念。

与小震和中震不同，发生巨震时，除了建设工程本身的破坏或者倒塌造成的灾害，往往伴随着较高概率的地震滑坡、地震火灾等次生灾害。日本311地震（2011，Mw9.0）造成了日本二战后最严重的地震破坏。地震和地震海啸共造成日本1.84万人死亡或失踪，接近20万栋建筑物受损，其中大部分由海啸造成。我国汶川地震（2008，Ms8.0）中，北川王家岩滑坡造成约1600人死亡，滑坡体达到约480万立方米。上述地震显然无法通过单纯加强结构抗震性能应对。地震灾害决定巨震应对必须整合场地、工程、人员、设施等应对措施。建设工程抗震是减轻巨震灾害的基础，也要高度重视场地选址与不良地质灾害治理、地震逃生、地震救援等应对措施。

本标准重视计算对巨震应对的作用，在弹塑性时程分析变形验算基础上，引入了易损性分析作为补充变形验算手段。但是，本规程仍然把抗震概念设计放在第一位，强调遵循概念抗震、计算分析、抗震措施相结合的基本原则。计算分析的结构是理想结构，不是真实的结构。真实的结构是复杂的，是混凝土、砌块、木材、钢材等材料所组成的结构体。真实的结构随着荷载作用、时间和环境变化，力学性能是变化的。如果进一步考虑到实际的地震、岩土等与计算模型的差异，结构在小震作用下的真实反应是世界级难题。大震和巨震时，计算分析将涉及到复杂的非线性阶段，现有的计算方法难以准确模拟从弹性到破坏的过程，难以准确计算其在实际地震发生时的内力和变形。主要存在下述因素导致理论分析与实际反应的区别：1）本构模型难以与实际结构相符，2）材料参数难以与实际结构相符，3）地震频谱、峰值、持时难以与实际地震相符，而且加载路径难以与实际相符，4）边界条件难以与结构实际边界条件相符。以常用的混凝土强度和弹性模量参数为例，同一项目同一标号的混凝土，由于混凝土原材料的差异、运输条件的差异、养护条件的差异、浇筑和振捣的差异、内置钢筋配置的差异，不同部位的混凝土强度和弹性模量是不同的。同一部位的混凝土，其强度和弹性模量会随着时间变化。现在的计算模型无法反映出如此复杂的情况。所以，本规程仍然高度重视概念抗震和抗震措施。

具有高抗震性能的结构体系应有较好的延性、变形能力和抗倒塌能力，能实现巨震下不倒塌且不造成次生灾害。对于房屋建筑，应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011进行不规则、特别不规则和严重不规则的判定及不规则建筑的设计措施。不规则的建筑应按规定采取加强措施；特别不规则的建筑应进行专门研究和论证，采取特别的加强措施；严重不规则的建筑不应采用。

抗巨震结构体系宜具有多道抗震防线，合理设计刚度和承载力分布。例如对多高层钢结构房屋，可考虑设置偏心支撑、延性墙板、屈曲约束支撑等耗能支撑，以在结构体系内建立起一系列塑性分布区，从而起到耗散地震能量和保护其他重要构件的作用。

工程实践证明，隔震和消能减震技术能有效降低巨震的地震作用，保护主体结构。对于要求应对巨震灾害的结构工程和巨震作用下使用功能不中断的房屋建筑优先采用隔震和消能减震结构。

考虑逃生与救援是减轻人员伤亡的措施之一，是对地震作用不确定性、设计中存在未考虑到的因素等不利情况的有效补充，符合多种手段综合减轻人员伤亡的思想。地震逃生应对措施主要指震时避险和震后疏散。地震救援应对措施指在进行建筑物、桥梁、隧道设计时有利于震后救援开展的措施。

**3.3.3**对建设工程中非结构构件等采取抗震措施，有利于减少人员伤亡和财产损失。

**3.3.5**唐山地震、汶川地震震害表明，造成我国地震中伤亡人数最多的房屋类型是砌体结构房屋，即使满足现有标准要求，震中高烈度区的砌体房屋仍然可能倒塌或者严重破坏。砌体建筑具有长寿命、热工性能好、便于施工的优点，目前村镇新建房屋仍然以砌体房屋为主。为了减轻村镇砌体房屋在巨震中的损伤和破坏，宜采用隔震技术。对于未采用隔震技术又希望实现巨震不倒的砌体房屋，如无经验，可按照下述措施进行实施：1.砌体结构应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的有关规定；2.地震作用宜采用设防地震烈度的地震动参数；3.抗震构造措施应按本地区抗震设防烈度提高一度的要求采取有关措施。如对抗震的砌体建筑有更高抗震要求，可采用砌体-钢筋混凝土筒体混合结构体系。

**3.3.6** 我国人口持续向城市转移，大型、特大城市不断增加，避难场所面临场地、资金、建设等压力。按照本规程要求进行相应的设计，能够实现巨震安全，适当改造可基本实现避难场所的要求，宜考虑城市防灾规划、工程地质、次生灾害源及类型、建筑功能等因素，选择合适的学校、体育场馆、住宅等建筑兼做震时避难场所。

**3.4 观测和试验**

**3.4.1** 目前在巨震作用下建设工程的动力特征和震害观测数据较少，宜对甲类和乙类建设工程设置地震反应观测系统，获得相应的数据。

**3.4.2**目前抗巨震的研究和工程实践尚不多，宜进行适当的抗震试验。也可根据实际情况，对有抗巨震的丙类工程进行试验验证。

**4 场地、地基和基础**

**4.1 场 地**

**4.1.1**建筑、桥梁、隧道对工程场地的划分有所不同，工程场地应按有关国家标准对建设工程场地进行综合评价。建筑工程抗震地段的划分宜符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011中有关规定，桥梁工程抗震地段的划分宜符合现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01的有关规定，隧道工程抗震地段的划分宜符合现行行业标准《公路隧道抗震设计规范》JTG 2232的有关规定。

**4.1.2**应对巨震灾害，应重视合理选址，避开不利地段和危险地段。但是，对于桥梁和隧道或特殊的丙类建筑有时需要建设在不利地段和危险地段，无法采取避开方式，宜采取监测、预警、逃生、救援等综合措施，减少或避免巨震中发生地质灾害或工程破坏的影响。

**4.1.4** 巨震的地震作用和破坏通常大于大震时的地震作用和破坏，所以表4.1.4 在《建筑抗震设计标准》GB/T 50223的基础上适当增大了避让距离。

《公路工程抗震规范》JTG B02规定，隧道范围内有发震断裂时，应考虑发震断裂错动对隧道的影响。设计基本地震动峰值加速度大于或等于0.2g和0.4g的地区，当必须修建隧道时，隧道边缘距离主断裂边缘的距离应分别大于300m和500m。隧道无法避让断层破碎带等危险地段时，宜采取大角度穿越，并应根据地形、地质条件确定抗震加强长度。加强段两端应向围岩质量较好的地段延伸，延伸长度最小值可采用《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336的规定。

**4.1.5**在巨震（本条的巨震为广义巨震）作用下，滑坡造成的灾害是导致人员财产损失的重要因素之一。以汶川地震（2008，Ms8.0）为例，在震中约1万平方公里范围内，发生近2万处滑坡崩塌，对人员和财产造成了严重伤害，其中北川王家岩滑坡造成约1600人死亡，滑坡体达到约480万立方米，远超过特大型地质灾害的限值。但是，随着我国西部开发等要求，越来越多的房屋建筑、桥梁、隧道建设在有可能发生地震滑坡的地方，所以宜考虑巨震作用下边坡灾害和治理。

边坡级别应根据相关建设工程的级别、边坡与建设工程的相互关系、边坡破坏造成的影响等因素确定；建设工程为甲类时，须采用专项论证确定；建设工程为乙类时，应采用专项论证确定；建设工程为丙类且有抗巨震要求时，宜采用专项论证确定，也可根据现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB50330和相关行业标准确定。

边坡的稳定计算宜采用拟静力法，可用极限平衡法、有限元强度折减法进行计算，计算分析宜考虑渗流；当有可靠依据时，经过专项论证，可采用永久位移分析方法。

鉴于巨震作用下的边坡滑动研究较少，且本规程适用的工程较为重要，有可能造成严重后果，宜适当增大抗滑稳定安全系数。对于抗巨震的丙类工程、乙类桥梁和隧道，相应的边坡抗滑稳定安全系数宜适当增大，增大系数不宜小于1.05，对于甲类桥梁和隧道，相应的增大系数不宜小于1.10。

**4.1.6**本条规定主要依据液化场地的震害调查结果。许多资料表明在6度区液化对房屋结构所造成的震害是比较轻的，但是如果6度区发生巨（大）震时，有可能造成较为严重的影响。因此本条规定对液化沉陷敏感的丙类建筑、乙类建筑、甲类建筑考虑设防巨震时，宜考虑液化影响，需进行液化判别。

关于黄土的液化可能性及其危害在我国的历史地震中虽不乏报导，但缺乏较详细的评价资料，在20世纪50年代以来的多次地震中，黄土液化现象很少见到，对黄土的液化判别尚缺乏经验，但值得重视。近年来的国内外震害与研究还表明，砾石在一定条件下也会液化，但是由于黄土与砾石液化研究资料还不够充分，暂不列入规范，有待进一步研究。

**4.1.7**部分工程对震陷比较敏感，本条要求对震陷进行判别并予以适当处理。

**4.2 地基和基础**

**4.2.1**与建筑和桥梁的地基不同，隧道工程为地下结构，开挖过程通常为卸载过程。隧道工程的地基承载力和变形有其特殊性，本规程暂时不包括该部分内容。

**4.2.2**与无桩基的工程相比较，同等情况下有桩基的工程震害较轻，所以抗巨震的房屋或者桥梁宜采用桩基。

**4.2.3**本条对需要进行承载力验算的工程范围适当加大。抗震承载力验算时，标准组合中的地震作用宜根据工程实际需要适当提高，如无经验和依据，可参照下述要求：不考虑余震影响时，不宜小于《建筑抗震设计标准》GB/T 50011地震作用的1.6倍；考虑余震影响时，不宜小于《建筑抗震设计标准》GB/T 50011地震作用的2.2倍；如有更高要求，可采用设防烈度地震作用或更大的地震作用。

**4.2.4** 地震中的基础破坏，相当一部分破坏是由地基变形控制，所以需要对地基变形进行验算。通过对变形进行控制，以减少地震中地基变形过大对基础和上部结构带来的破坏和不良影响。

**5 地震作用与结构抗震验算**

**5.1 一般规定**

**5.1.2**本规程在满足建筑、桥梁、隧道抗震设计的基础上，通过变形控制来实现“巨震不倒”的性能目标，不同建设工程结构的允许变形限值详见有关章节。

**5.2 地震作用**

**5.2.1**对于房屋建筑，本条较现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011要求验算竖向地震的范围更大一些。

**5.2.2** 长大结构地震动输入的空间差异应主要考虑不同支承点处地震动的行波效应、相干效应和局部场地效应。在下述情况应考虑地震动的空间效应：①当长大结构穿越不同场地土或跨越断层时；②当长大结构处于不同的环境介质（如陆地-水）时；③当结构的平面投影尺度很大时（跨度大于120m，或长度大于300m，或悬臂大于40m）；④对于多点地震动作用下可能发生同相或异相振动的长大结构，以及刚度较大的长大结构，应重点考虑地震动空间效应的影响。

**5.2.3** 参考《中国地震动参数区划图》GB 18306水平地震影响系数最大值。在工程实践中，建筑结构宜采用《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的地震影响系数曲线，桥梁结构宜采用《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01的地震设计加速度反应谱曲线，隔震结构宜采用《建筑隔震设计标准》GB/T 51408的地震影响系数曲线。

**5.2.4** 目前对近断层场地范围的限定意见不一致，但10km的距离通常被认为是近断层场地的范围。

**5.3 结构抗巨震验算**

**5.3.1、5.3.2**通过时程分析验算地震作用下变形的方法相对成熟，本规程优先推荐时程分析法。对房屋建筑，也可采用倒塌易损性分析方法进行补充验算。采用时程分析法时，巨震作用下加速度时程的最大值按表3.2.1采用，场地特征周期按表3.2.2采用。

采用倒塌易损性分析方法进行建筑结构抗巨震验算时，宜计算巨震作用所对应的条件倒塌概率。考虑巨震应对的丙类、乙类建筑结构的倒塌概率宜适当小于未考虑巨震应对的丙类、乙类建筑，因此采用了本表数据。工程中甲类建筑结构的地震破坏经验极为有限，且破坏后后果非常严重，原则上不应倒塌，暂定可接受的最大倒塌概率为0.1%。

**6 多层与高层房屋**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 本条文给出了钢筋混凝土结构、钢结构、钢-混凝土组合结构考虑抗巨震设计时不同结构类型的最大适用高度。在巨震作用下，结构体系的最大适用高度均较现有规范的最大适用高度有所降低。

框架在巨震作用下的P-Δ效应较大，8度（0.3g）和9度区的结构宜优先选择框架剪力墙、剪力墙、框架核心筒、筒中筒、巨型框架体系。

为了应对巨震灾害，从结构体系上做了进一步提升，表6.1.1-3的柱、剪力墙、核心筒构件全部采用钢与混凝土组合的构件，取消了钢筋混凝土构件，与传统的组合柱-钢筋混凝土剪力墙/核心筒结构比较，延性更好，承载力更高。偏于安全，相应的高度限值在《组合结构设计规范》JGJ 138基础上适当下调。

型钢混凝土柱系指内置型钢的钢筋混凝土柱。钢骨混凝土剪力墙系指内置钢构件的钢筋混凝土剪力墙（也可称之为内置钢-混凝土剪力墙），包括内置型钢、内置钢板、内置钢斜撑的混凝土剪力墙。外包钢板混凝土剪力墙是由两侧钢板，内部核心混凝土和必要的连接构造组成的可以共同受力的剪力墙，具有承载力高、延性好、便于施工的优点。该剪力墙包括外包双钢板混凝土剪力墙、多腔钢管混凝土剪力墙等具体形式，有一定工程实践，已经被纳入《组合结构通用规范》 GB 55004。外包钢板混凝土剪力墙形式多样，尚无相应的建筑工程行业标准。应选择钢与混凝土能够共同作用、研究较为深入、有一定工程实践、施工质量和检测有保证的结构形式，宜有相应技术标准作为支撑。多腔钢管混凝土剪力墙的延性和承载力较好，焊接变形较小，工程实践较多（天津117大厦、珠海横琴国贸大厦等），可优先采用。

**6.1.2** 对于考虑巨震的钢筋混凝土和钢-混凝土组合结构的抗震构造措施，具体构造措施要求与现行国家标准基本保持一致。抗巨震时，对构件的承载力和延性要求更高，因此本规程要求构件抗震等级不低于3级，高烈度区的钢筋混凝土核心筒和钢骨混凝土核心筒的抗震等级为特一级。

对于考虑巨震的钢结构房屋抗震构造措施，基于现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的规定适当提高。对于设防烈度6度且50m以下的丙类建筑，《建筑抗震设计标准》GB/T 50011未要求其抗震等级。抗巨震时，对构件的延性要求更高，因此，本条文要求其满足抗震等级四级的构造措施要求。

**6.1.3** 震害调查发现，我国建筑结构中较多出现“强梁弱柱”的破坏模式，宜适当加强框架柱的刚度和承载力。如无经验，可结合工程抗震的实际需求，参照下述数据取值：钢筋混凝土柱增大系数为1.20～2.00，钢-混凝土组合柱的增大系数为1.15~1.80，钢柱增大系数为1.1~1.50。抗震等级低的构件取较大值，抗震等级高的构件取较小值。

**6.1.5** 经过多次地震考验，我国不同结构体系在大震作用下的弹塑性层间位移角限值基本上可以满足我国“大震不倒”的预定性能目标。为了保持标准的连续性和便于设计人员操作，本规程各结构体系在巨震作用下的弹塑性位移角限值与该体系在大震下的弹塑性位移角限值保持一致。

**6.1.6** 对于钢-混凝土组合结构构件，混凝土收缩徐变可能导致钢与混凝土之间脱空，对构件的承载力、刚度等性能产生不利影响，甚至造成两者不能共同作用，应予以考虑。

**6.2 抗震构造措施**

**6.2.1**、**6.2.2**本条文给出了考虑巨震作用时各结构体系中的框架柱轴压比限值，相对于日本，我国框架柱截面偏小，冗余度较低。本规程各结构体系框架柱的轴压比限值较现有规范中的轴压比限值适当降低，提高框架柱的延性和冗余度。对于钢筋混凝土结构，本规程给出了特一级钢筋混凝土柱的轴压比限值。

对于圆钢管混凝土柱，《组合结构设计规范》JGJ 138没有对其轴压比进行限制，鉴于本规程用于抗巨震，且钢管混凝土柱截面较大之后，有可能出现施工缺陷等问题，从而降低钢管混凝土柱的延性和承载力，所以本条文对圆钢管混凝土柱轴压比进行了适当限制。

**6.2.3** 剪力墙轴压比适当下调，以提升剪力墙的延性和冗余度。

**6.2.4、6.2.5**适当提升框架柱的体积配箍率和剪力墙的最小配筋率，有利于提高构件在最小配箍率和配筋率时的延性和承载力冗余度。

**6.2.6**试验研究及震害调查表明，配置实腹式型钢的型钢混凝土柱具有良好的变形性能和耗能能力，而配置空腹式型钢的型钢混凝土柱的变形性能和抗剪性能相对较差，结构抗巨震时应采用实腹式型钢。对于型钢混凝土巨柱，通常有多个型钢，针对型钢之间不设连接板和设置连接板的情况进行了对比试验。实验结果表明，设置连接板的型钢混凝土巨柱具有更好的抗震性能。为保证型钢混凝土巨柱的整体承载力和延性性能，宜采用由钢板连接成整体的型钢混凝土巨柱。

**6.2.8** 钢管混凝土柱试验结果表明，当套箍系数小于1.0时，构件延性会有所降低。

**6.2.9**隔震建筑与周围固定物（其它房屋或结构、挡土墙等）相邻时要设置隔离缝，缝宽不宜小于隔震层在巨震下最大水平位移计算值的2.0倍，以防止结构因碰撞导致破坏。该条对于隔离缝的要求属于最低要求。考虑施工空间、人员进出等条件，实际隔离缝宽度远大于本条规定的最小值。欧洲采用隔震技术的核电厂，隔离缝宽度一般在2.0m左右。对于两相邻的隔震结构，其缝宽不应小于其最大水平位移计算值的两倍，且不应小于700mm。

**7 单层工业厂房**

**7.0.1**本条取消了《建筑抗震设计标准》GB/T50011中的砖柱厂房类型，选择了抗震性能较好的结构类型。

**7.0.2** 厂房结构的横向抗侧力体系，可采用刚接框架、铰接框架、门式刚架或其他高抗震性能结构体系。厂房结构的纵向抗侧力体系优先采用带柱间支撑的框架，也可采用刚接框架。

厂房内设有桥式起重机时，起重机梁系统的构件与厂房框架柱的连接应能可靠地传递地震作用。起重机的铁梯不应靠近防震缝设置；多跨厂房各跨上的起重机铁梯应设置在3个柱距以上的不同柱间。

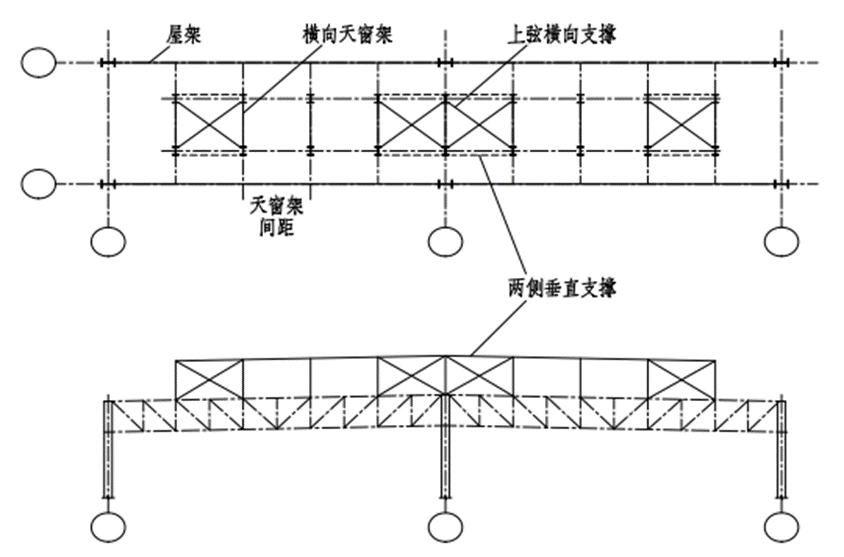
**7.0.5**结构计算应考虑构件在巨震下进入弹塑性工作阶段和P-Δ效应。弹塑性分析可根据性能预期目标，采用动力时程分析方法。横向抗震计算应计及屋盖的横向弹性变形，按多质点空间结构分析。考虑不对称时扭转的影响时，也按多质点空间结构分析。

支承在屋（楼）面、平台上，并伸出屋面的质量较大的烟囱、放散管等，应作为结构的一部分进行整体结构地震作用计算，对其与厂房结构的连接，应采用适当的构造加强措施。

**7.0.6**天窗架是单层厂房的常见形式，也是抗巨震的薄弱环节。当其跨度不大于屋架间距时，其支撑布置宜符合表7.0.6的要求。

**表7.0.6 突出屋面的横向天窗架支撑布置**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **支撑名称** | | **支撑布置** |
| **传统矩形横向天窗架** | 上弦横向支撑 | 横向天窗架两端及转折处各设一道，但间距应不大于30m。 |
| 两侧竖向支撑 | 横向天窗架两端及转折处各设一道，且支撑开间之间不设支撑的天窗架开间数应小于4。 |
| **圆弧形轻型横向气楼架** | 上弦横向支撑 | 气楼单元两端开间及每隔不超过30m设一道（气楼架立柱柱距小于2m时，气楼开间应取两个柱距）。 |
| 圆弧组件支撑 |
| 立柱竖向支撑 |



**图7.0.6 突出屋面的横向天窗架支撑布置**

**7.0.7**工业厂房存在爆炸等特殊风险时，宜采取地震逃生等措施，优先保证人员安全。

**8 大跨屋盖建筑**

**8.2 抗震措施**

**8.2.1** 屋盖结构应设置支撑实现下述效果：1是确保主体结构的整体稳定性；2是保证主结构间水平地震的可靠传递和竖向地震作用下屋盖结构的整体性。

设置竖向支撑桁架有利于提高主桁架的平面外稳定性，主桁架平面外支撑结构的间距 除满足上述规定外，其抗震承载力应根据巨震下结构的损伤状态及抗震性能目标确定。

**8.2.7**关键索是指索退拉将导致结构整体失效，出现局部或整体垮塌的索；索结构中的索在非地震荷载组合作用下均不得退拉、松弛。

**9 桥 梁**

**9.1 一般规定**

**9.1.4** 应对巨震的桥梁，宜采用对变形不敏感的结构形式。拱桥、连续刚构、V形刚构因对断层错位非常敏感，且修复难度大，不宜用于跨断层桥梁。

**9.4 缆索承重桥梁**

**9.4.1** 应对巨震的斜拉桥、悬索桥，受跨度较大、结构设计参数较多、设防目标不一、地震响应极为复杂等因素的影响，在以往工程实践中尚未形成较为完善一致的防震对策，因此，需要结合工程项目的实际情况，进行专题分析或试验研究，在隔震、消能减震等对策综合比较的基础上确定防震对策。

**9.4.2**在巨震作用下，悬索桥主缆、斜拉桥拉索以及主梁损伤后对车辆的运行影响较大，因此不应发生损伤；主塔、基础可发生混凝土裂缝开裂过大，截面部分钢筋进入屈服等轻微损坏，地震后不需修复或经简单修复可继续使用；伸缩缝、支座等构件地震损伤后可以替换。

**10 隧 道**

**10.1 一般规定**

**10.1.1** 本条规定了采用巨震应对技术的隧道范围。包括不限于受巨震作用影响地区的长大水下隧道、穿越活动断裂以及地层条件显著变化的隧道。

长大水下隧道，由于其重要性及在水下的特殊性，地震时一旦遭到破坏，将造成灾难性的后果以及不可估量的损失，且修复困难，应进行巨震应对设计。

震害调查表明，穿越断层破碎带、软硬地层界面等不良地质时隧道结构会遭遇严重破坏，表现为衬砌开裂、剥落、剪切破坏、错台、漏水等，同时结构的震后修复难度也非常大。相关研究也指出，软硬地层突变位置是隧道抗震设计的薄弱部位，结构的应力、应变显著增大。因此，穿越活动断裂以及地层条件显著变化的隧道应进行巨震应对设计，考虑活动断裂错动以及地层刚度变化对隧道的影响。

**10.1.2**《岩土工程勘察规范》GB 50021第5.7.2条规定，抗震危险地段应根据《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的要求提出专门研究的建议。重大工程应按照《工程场地地震安全性评价》GB 17741进行专项地震安全性评价，给出场地基岩处、隧道底部、地表三个位置的三向地震动参数。

**10.2 计算要求**

**10.2.1** 巨震作用下，隧道结构和场地土体会进入弹塑性状态，采用动力时程分析法进行求解，能较真实地获得隧道结构的地震响应。

**10.2.2** 隧道的地震响应分析应包括土体与结构的动力相互作用分析，采用时程分析法时，应根据设计要求，提供地层剖面、土层剪切波速、动剪切模量、阻尼比等动力参数，建立考虑隧道结构和周围岩土体非线性行为的动力模型。

**10.2.3** 各向地震动参数比例取值与地震类型密切相关，特别是直下型地震或者近场脉冲型地震，其竖向地震动加速度峰值可能大于水平向地震动加速度峰值。因此，对于进行了工程场地地震安全性评价的隧道工程应由地震安评给出，否则应根据本规程第5章之规定确定。

**10.2.4** 隧道抗巨震验算只涉及变形验算，目前采用的验算指标主要选取影响隧道使用功能的变形量、裂缝宽度、接头张开量等。《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909和《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336针对隧道结构的验算指标主要考虑直径变化率、层间位移角和变形缝的变形量。

**10.3 抗震措施**

**10.3.1** 场地中存在可液化土层时，应探明各可液化土层的深度和厚度，判定场地液化等级，并根据场地液化等级，采取全部消除液化沉陷，或部分消除液化沉陷且对结构和基础进行处理的抗液化措施。

**10.3.2** 场地中含有非饱和结构性粉土、砂黄土及砂质粉黄土或饱和粉质黏土时，应进行场地震陷变形评价和处理。对已判定为震陷场地进行抗震处理时，可采用下列措施：

**1** 应采用整片或局部垫层、强夯、挤密等地基处理措施，消除土层的全部或部分湿陷量和震陷量。

**2** 采用加密法加固、注浆、旋喷或深层搅拌等方法进行加固时，处理深度应达到震陷土层的下界。

**10.3.4** 矿山法隧道穿越活动断层因断层上下盘的相对运动，导致结构错位，可能会侵入隧道限界内，震后修复难度大。因此，本条提出适当加大隧道在穿越活动断层段的内轮廓尺寸，可减小隧道巨震后因错位带来的的修复难度。抗震区段隧道限界和内轮廓的最小间距不小于35cm。

**10.3.5** 盾构隧道是通过横向和纵向连接螺栓将预制管片连接而形成的一种隧道结构，在巨震作用下，可能出现错台、渗漏、螺栓断裂、接头板破坏等震害现象，因此本条规定高烈度区大直径盾构隧道结构除计算分析外，必要时还需要采用振动台试验等方式验证。

**10.3.6** 沉管法隧道埋深浅、结构预制，隧道外部为回填层。接头是沉管隧道主要薄弱环节，故此条对沉管管节接头措施作出相关规定。

**10.3.7** 明挖法隧道结构一般都采用矩形钢筋混凝土结构，采用现浇结构比装配式更利于抗震，其抗震构造措施可参照同类地面结构。

**附录A Ⅲ类和Ⅳ类场地的加速度峰值和水平地震影响系数最大值**

**A.0.1** 《中国地震动参数区划图》GB 18306增加了根据场地类别对场地地震动峰值加速度调整的内容。表A.0.1参考《中国地震动参数区划图》GB 18306宣贯教材第12章表12.3-1和表12.4-1至表12.4-5，对部分取值进行了调整得到。

**A.0.2** 《中国地震动参数区划图》GB 18306增加了根据场地类别对水平地震影响系数最大值调整的内容。表A.0.2参考《中国地震动参数区划图》GB 18306宣贯教材第8章表8.4-4的场地调整系数Fa，对表5.2.4进行调整得到。

**附录B地震动记录选取与调整**

**B.0.2** 满足以下任意一个条件的场地应归类为近断层：

**1** 矩震级Mw>7，断层距离<15km；

**2** 矩震级Mw>6，断层距离<10km。

以下情况例外：

**1** 沿着断层方向的年滑移率小于1毫米的断层部分不予考虑；

**2** 表面投影不应包括大于等于10公里断层部分。

**B.0.7**有效持续时间一般从首次达到该时程曲线最大峰值的10%那点算起，到最后一点达到最大峰值的10%位置，有效持时为结构自振周期的5~10倍。

**B.0.9**可根据峰值加速度或者结构自振周期点处反应谱值计算调幅系数，调幅系数可按照下面公式计算：

 (B.0.9)

式中：*s*——调幅系数；

*IMT*——目标地震动参数，即目标峰值加速度或结构自振周期点处目标反应谱值；

*IMR*——强震动记录的峰值加速度或结构自振周期点处目标反应谱值。

**B.0.10** 由于地震震级、震源、场地等因素不同，余震峰值加速度与主震峰值加速度有着复杂的关系，根据部分台站实测的主震峰值加速度和余震峰值加速度记录来看，多数余震峰值加速度小于主震峰值加速度，少数余震峰值加速度大于或等于主震峰值加速度。综合考虑余震特点及工程破坏造成的后果等因素，本条给出相应的甲类、乙类和丙类工程余震峰值加速度。

经过主震之后，工程有一定损伤或破坏，其结构基本自振周期通常大于弹性阶段的结构自振周期。按照本标准设计的工程，甲类工程的损伤较小，乙类工程的损伤较大，丙类工程的损伤最为严重，所以本条给出相应等级工程余震地震动有效持续时间。

同一台站实测且适用于实际工程的主余震序列记录数量有限，本条允许余震阶段采用较多的人工模拟地震动。

主震和余震在震源、传播路径、场地等是相关的，余震的频谱特性与主震有一定的关联性，所以对余震地震动的反应谱提出本条要求。

**附录C 可恢复功能混凝土结构房屋**

**C.0.1** 应对巨震可采用可恢复功能混凝土结构新体系。可恢复功能混凝土结构主要有三种实现方法，即：一、通过设置摇摆墙（构件）或摇摆框架控制结构整体变形模式，从而减少或控制结构薄弱层变形引起的地震损伤破坏；二、通过自复位技术（如预应力筋、SMA或弹簧等装置）减少结构震后残余变形、减轻地震损伤；三、通过可更换技术，实现震后快速更换受损构件，从而恢复结构正常使用功能。上述三类为目前地震可恢复功能结构体系的主要分类。

**C.0.2** 可恢复功能混凝土结构体系常采用预应力，根据《混凝土结构设计标准》GB/T 50010，预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于C40。普通钢筋选用延性、韧性和可焊性较好的钢筋，该规定与一般混凝土结构要求相同；耗能钢筋和箍筋宜选用高强度热扎带肋钢筋或热扎光圆钢筋，以满足耗能能力和对混凝土的约束；预应力筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋，提高构件的抗裂性、刚度及抗渗性，以充分发挥材料性能。

**C.0.3** 可恢复功能混凝土结构体系中的部分构件具有大变形能力，如摇摆墙、自复位梁柱节点、自复位墙等，这些构件当作为结构的主要抗侧力体系并与其他普通构件（如承重框架）相连时，由于普通构件不具备对应的大变形能力，因此为减少由于变形差异引起的普通结构构件的损伤，本条文规定大变形构件与普通构件连接节点应适当放松约束。事实上，可恢复功能混凝土结构本身就具有放松连接节点约束的构造特点，如摇摆结构与基础约束的放松、自复位梁柱节点连接约束的放松等。

**C.0.4** 可恢复功能混凝土结构作为新型结构体系，应尽量保持结构平面和立面规则性。如果工程确实有需要，按相关规范判定为不规则的结构，应根据实际情况进行研究分析，并采取必要的加强措施。

**C.0.6** 基于性态抗震设计以结构的抗震性能水平为控制指标进行结构及构件的设计，使结构在指定强度地震作用下的损伤破坏程度及由此造成的经济损失、人员伤亡等控制在预期目标范围内。结构变形（位移）指标与抗震性能的相关性，比力指标与抗震性能的相关性更好，采用位移作为设计变量的抗震设计方法，能更好地控制结构的性能。因此，相比于基于力的抗震设计方法，直接对设计水准下结构位移相关的性能指标进行设计，从概念上更加准确。另外，现有大量研究表明可恢复功能结构更适合采用基于位移的抗震设计方法，并且相比基于力的抗震设计方法，基于位移抗震设计方法能降低结构成本。基于位移抗震设计是基于性态抗震设计重要组成，并已取得系列研究成果。

**附录D 钢-混凝土组合结构中的多腔钢管混凝土柱**

**D.0.1**多腔钢管混凝土柱是由多腔钢管与内部填充的素混凝土或钢筋混凝土组成并共同受力的柱构件。多腔钢管混凝土柱具有承载力高、抗震延性好、抗火能力强的优点，在天津117、中国尊等工程应用，取得了良好效果。该柱已经被纳入《组合结构设计规范》JGJ138等标准。本附录不适用于多腔圆钢管混凝土柱。

**D.0.3、D.0.4** 鉴于多腔钢管混凝土构件的重要性和复杂性，钢板厚度不宜太薄，套箍指标不宜太低。

**附录F 地震逃生与救援**

**F.0.1**地震逃生与救援是减轻人员伤亡的有效措施之一，是对地震作用不确定性、工程中存在未考虑到的因素等不利情况（发生倒塌、发生非结构构件破坏、发生次生灾害等）的有效补充，符合使用多种手段综合减轻人员伤亡的思想。本章的地震逃生包括地震发生时紧急避险和震后疏散。震后救援涉及自救和互救等，本章救援仅限于震后人员自发组织的救援，不包括专业救援队伍到达后的外部救援行动。

**F.0.2** 直接灾害指建筑、桥梁、隧道在巨震直接作用下，本身破坏所造成的灾害；次生灾害指在巨震中可能发生危及人身安全的地震火灾、地震洪灾、地震海啸等次生灾害。由于对未来遭遇的地震强度难以准确预测，因此建议针对具体的建设工程，在巨震设防水准下开展地震逃生与救援预案制定工作。

**F.0.3** 地震综合逃生法：针对具体的环境、地震和逃生人员状况，综合考虑各方面因素，结合具体的逃生安全目标，选择合适的逃生路径和逃生行为，采用正确的逃生流程，得到成功概率比较高的地震逃生方法。

**F.0.4** 地震直接作用之后，可能发生地震火灾、地震洪灾、地震海啸等次生灾害，可根据实际灾害情况，决定是否转移至更安全的区域。

**F.0.5** 逃生与救援的培训和演练是实现成功救援的保障之一，宜开展针对工程使用人员的地震逃生、救援知识教育，并根据地震逃生与救援预案定期进行培训和演练。