



中华人民共和国国家标准

GB/T 38591—2020

建筑抗震韧性评价标准

Standard for seismic resilience assessment of buildings

2020-03-31 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 要求 2

 4.1 评价的主要内容 2

 4.2 评价的原则和方法 3

 4.3 评价的结论 3

5 建筑损伤状态判定 3

 5.1 一般要求 3

 5.2 结构构件损伤状态 3

 5.3 非结构构件损伤状态 3

6 建筑修复费用计算 4

 6.1 一般要求 4

 6.2 构件修复费用计算 4

 6.3 建筑修复费用计算 4

 6.4 建筑修复费用评价指标 4

7 建筑修复时间计算 5

 7.1 一般要求 5

 7.2 计算方法 5

8 人员伤亡计算 7

 8.1 伤亡人数计算方法 7

 8.2 计算参数取值 7

 8.3 人员伤亡评价指标 8

9 建筑抗震韧性等级评价 9

 9.1 修复费用评级 9

 9.2 修复时间评级 9

 9.3 人员伤亡评级 9

 9.4 建筑抗震韧性等级 9

附录 A（规范性附录） 建筑抗震韧性评级流程 10

附录 B（规范性附录） 弹塑性时程分析的模型及方法 12

附录 C（规范性附录） 结构构件易损性信息 16

附录 D（资料性附录） 常规结构构件的工程需求参数建议值 23

附录 E（规范性附录） 非结构构件易损性信息 28

附录 F（资料性附录） 非结构构件的工程需求参数建议值 54

附录 G（规范性附录） 构件损伤状态判定方法 62

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国住房和城乡建设部提出并归口。

本标准起草单位：清华大学、住房和城乡建设部标准定额研究所、中国建筑科学研究院有限公司、中国地震局工程力学研究所、同济大学、北京工业大学、中国建筑设计研究院有限公司、北京清华同衡规划设计研究院有限公司、北京市建筑设计研究院有限公司、奥雅纳工程咨询(上海)有限公司、华诚博远工程技术集团有限公司、北京筑信达工程咨询有限公司、中国建筑西南设计研究院有限公司、北京建筑大学、哈尔滨工业大学、中国石化工程建设有限公司、北京欣兴奥建筑结构工程技术有限公司、北京筑福建筑科学研究院有限责任公司、浙江建科减震科技有限公司、山东建筑大学。

本标准主要起草人：潘鹏、王涛、陆新征、王啸霆、周颖、张令心、王昌兴、纪晓东、刘鹏、董有、解琳琳、马东辉、王载、王立军、王志涛、王家祥、方东平、冯远、吕大刚、朱岩、杨涛、张鑫、苏宇坤、李楠、李全旺、李楚舒、陈曦、陈瑞金、余红霞、苗启松、罗开海、赵霞、郝江婷、赵森林、聂鑫、黄世敏、翟长海。

建筑抗震韧性评价标准

1 范围

本标准规定了建筑抗震韧性评价的要求、建筑损伤状态判定、建筑修复费用计算、建筑修复时间计算、人员伤亡计算、建筑抗震韧性等级评价。

本标准适用于新建和既有建筑的抗震韧性评价。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

建筑抗震韧性 seismic resilience of building

建筑在设定水准地震作用后，维持与恢复原有建筑功能的能力。

3.2

建筑抗震安全功能 seismic safety function of building

建筑在设定水准地震作用下，保障人员生命安全的性能。

3.3

建筑基本功能 fundamental function of building

满足建筑使用要求、维持其正常运行所必需的建筑性能。

注：包括建筑空间正常使用，结构安全和设备正常运转。

3.4

建筑综合功能 comprehensive function of building

建筑维持其基本功能，并保持外观和内部装饰、装修完好的性能。

3.5

安全性恢复 safety recovery

建筑经修复后，其抗震安全功能得以复原。

3.6

功能性恢复 functional recovery

建筑经修复后，其基本功能得以复原。

3.7

综合性恢复 comprehensive recovery

建筑经修复后，其综合功能得以复原。

3.8

工程需求参数 **engineering demand parameter**

建筑抗震韧性评价所需的表征建筑抗震性能的参数。

注：通常包括建筑层间位移角、楼面加速度等。

3.9

建筑修复费用 **restoration cost of building**

建筑恢复其综合功能所需要的直接费用。

3.10

建筑修复时间 **repair time of building**

在修复工作所需材料、人员、设备齐全的条件下，建筑恢复其基本功能所需要的时间。

4 要求

4.1 评价的主要内容

4.1.1 建筑抗震韧性评价应包括下列内容：

- a) 集成评价对象的有效建筑信息，应包括建筑物各个楼层的面积、层高、房间功能，人员分布，建筑结构构件和非结构构件的种类、数量、材料、几何尺寸、安装方式等；
- b) 建立评价对象的结构模型，对于既有建筑，宜进行振动测试，依据测试结果进行模型修正，并进行在设定水准地震作用下的弹塑性时程分析；
- c) 应由弹塑性时程分析结果中提取工程需求参数；
- d) 应根据工程需求参数，结合结构构件和非结构构件的易损性数据库，确定评价对象所包含的全部构件的损伤状态；
- e) 应根据评价对象全部构件的损伤状态，计算其在设定水准地震作用下的修复费用、修复时间和人员伤亡；
- f) 应根据评价对象在设定水准地震作用下的修复费用、修复时间和人员伤亡指标，综合评价其抗震韧性等级。

建筑抗震韧性评价流程见图 1。

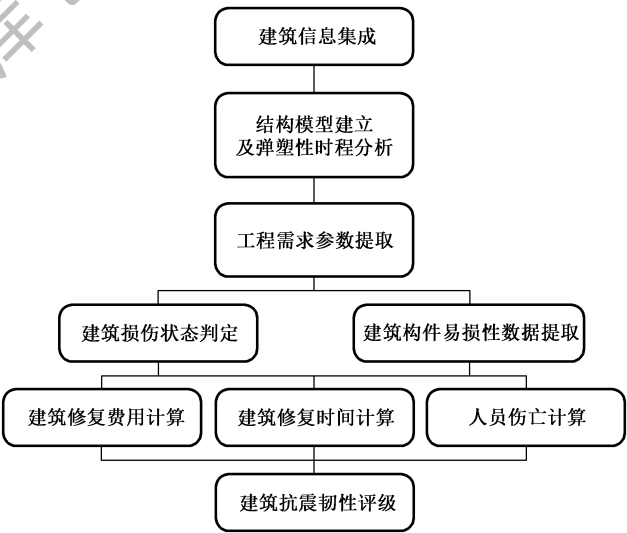


图 1 建筑抗震韧性评价流程图

4.1.2 建筑抗震韧性评价的详细流程见附录 A。

4.2 评价的原则和方法

4.2.1 建筑抗震韧性评价应以结构弹塑性时程分析和结构构件、非结构构件易损性数据库为基础。结构弹塑性时程分析模型及方法见附录 B,结构构件易损性数据库参见附录 C 和附录 D,非结构构件易损性数据库参见附录 E 和附录 F。

4.2.2 建立结构模型时,应符合工程实际情况,材料强度应取强度标准值。

4.2.3 建筑抗震韧性评价应采用设定水准地震作用下结构弹塑性时程分析所得出的工程需求参数作为依据。

4.2.4 承担建筑抗震韧性评价工作的单位,应具备进行建筑结构弹塑性时程分析和概率分析的能力。

4.3 评价的结论

4.3.1 建筑抗震韧性评价的结论应采用星级制进行表达,由一星至三星表示,抗震韧性等级逐级提高。

4.3.2 建筑抗震韧性评价的结论应采用专用标牌在建筑物显要位置标示,标牌内容除应含有建筑工程抗震性能的基本信息外,尚应包括韧性等级、采用标准、评价单位、评价时间。

5 建筑损伤状态判定

5.1 一般要求

5.1.1 建筑损伤状态判定应根据构件易损性数据库和工程需求参数确定结构构件和非结构构件的损伤状态。构件易损性数据采用随工程需求参数变化的概率分布表征。常用的钢筋混凝土结构构件、钢结构构件和建筑中非结构构件的工程需求参数取值参见附录 D 和附录 F。

5.1.2 工程需求参数矩阵应根据弹塑性时程分析结果,采用联合对数正态分布函数按附录 G 进行扩充。

5.1.3 建筑损伤状态判定应考虑所有结构构件与非结构构件,并应根据构件的易损性、所在楼层和工程需求参数的类型进行构件分组。

5.1.4 构件的种类、数量宜根据实际情况确定。

5.2 结构构件损伤状态

结构构件的损伤状态宜分为 5 级,包括:

- a) 完好(0 级):不发生任何损伤;
- b) 轻微(1 级):仅发生影响外观的轻微损伤;
- c) 轻度(2 级):发生经简单修补后可恢复原有功能的一般损伤;
- d) 中度(3 级):发生经常规修复手段后可恢复原有功能的较严重损伤;
- e) 重度(4 级):发生影响构件承载能力、需要进行替换的严重损伤。

5.3 非结构构件损伤状态

非结构构件的损伤状态宜分为 4 级,包括:

- a) 完好(0 级):不发生任何损伤;
- b) 轻度(1 级):发生经简单修补后可恢复原有功能的一般损伤;
- c) 中度(2 级):发生经常规修复手段后可完全恢复的较严重损伤;
- d) 重度(3 级):发生需要进行替换的严重损伤。

6 建筑修复费用计算

6.1 一般要求

6.1.1 应按所有震损构件综合性恢复进行评价,建筑修复费用由对震损构件进行修复、拆除和置换所产生的各项直接费用组成,包含人工费、材料费、机械费等。

6.1.2 计算时不考虑建筑物抗震韧性能力提升所产生的额外费用。

6.1.3 计算时应采用现行定额。

6.2 构件修复费用计算

6.2.1 第 k 层内处于损伤状态 j 的第 i 类构件的经济损失按式(1)计算:

$$L_{(i,j,k)} = \eta_{1(i,j)} \times C_{(i,j,k)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$L_{(i,j,k)}$ ——第 k 层内处于损伤状态 j 的第 i 类构件所对应的经济损失;

i, j, k ——分别代表构件种类、损伤状态和所在楼层的编号;

$C_{(i,j,k)}$ ——第 k 层内处于损伤状态 j 的第 i 类构件的造价之和,采用现行定额计算;

$\eta_{1(i,j)}$ ——第 i 类构件处于损伤状态 j 时的损失系数,其取值见表 C.7 和表 E.4。

6.2.2 同层内所有构件的修复费用总和应考虑同类构件的修复工程量对修复费用的影响,进行折减,并按式(2)计算:

$$R_{(k)} = \sum_{i=1}^m R_{(i,k)} = \sum_{i=1}^m \left[\zeta_{C(i)} \sum_{j=1}^n (\eta_{2(i,j)} \times L_{(i,j,k)}) \right] \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$R_{(k)}$ ——第 k 层所有构件的修复费用总和;

m ——构件类别的数量;

$R_{(i,k)}$ ——第 k 层第 i 类构件的修复费用;

$\zeta_{C(i)}$ ——考虑第 i 类构件修复工程量的修复费用折减系数,其取值见表 C.10 和表 E.7;

n ——构件损伤状态类别的数量;

$\eta_{2(i,j)}$ ——处于损伤状态 j 的第 i 类构件的修复系数,其取值见表 C.8 和表 E.5。

6.3 建筑修复费用计算

建筑修复费用应为建筑所包含各类构件的修复费用的总和,并按式(3)计算:

$$R_T = \sum_{k=1}^s (\lambda_{C(k)} R_{(k)}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

R_T ——建筑物的建筑修复费用;

s ——建筑物楼层总数;

$\lambda_{C(k)}$ ——楼层位置对构件修复费用的影响系数,按表 C.9 和表 E.6 取值。

6.4 建筑修复费用评价指标

6.4.1 应采用建筑修复费用与建造成本的比值作为建筑修复费用评价指标,并按式(4)计算:

$$\kappa = R_T / C_T \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

κ ——建筑修复费用评价指标;

C_T ——建筑物按照现行定额计算得到的建造成本。

6.4.2 建筑物的建造成本应为建造目标建筑物所需的总费用,并应根据现行定额,按式(5)计算:

$$C_T = \sum_{i=1}^m C_{(i)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$C_{(i)}$ ——按现行定额计算的第 i 类构件的建造成本。

7 建筑修复时间计算

7.1 一般要求

7.1.1 建筑修复时间应计入所有震损构件完成建筑功能性恢复所需的修复时间。

7.1.2 建筑修复时间不宜计入建筑震损评估、修复方案制定、修复材料采购、施工设备租赁等各项开工前准备工作所耗费的时间。

7.2 计算方法

7.2.1 计算建筑修复时间时应考虑建筑物主要修复工作在层间和层内的先后次序,并应符合下列要求:

- 建筑物的主要修复工作应包括结构构件修复、围护构件修复、隔断构件修复、吊顶及附属构件修复、管线修复、大型设备修复、楼梯修复、电梯修复。
- 不同楼层的修复工作可同时展开。
- 同一层内,主要修复工作应按开工时间先后分为两个阶段。第一阶段修复工作为结构构件修复和楼梯修复;第二阶段修复工作包括围护构件修复、隔断构件修复、吊顶及附属构件修复、管线修复、大型设备修复和电梯修复。第一阶段修复工作全部结束后方可开始第二阶段修复工作。
- 第一阶段的各主要修复工作宜同时开始。第二阶段修复工作中,除隔断构件修复和吊顶及附属构件修复外,各主要修复工作宜同时开始;管线修复、隔断构件修复和吊顶及附属构件修复应依次进行。
- 电梯的修复时间应根据最大楼面加速度响应进行评估,各层修复时间均宜考虑电梯修复时间。
- 建筑震损的修复时间应按照主要修复工作的先后次序,取主要修复工作的最长时间组合作为建筑修复时间的评价指标。

7.2.2 各主要修复工作的修复时间应按下列原则和方法进行计算:

- 不同损伤状态下的构件,实现功能性恢复目标所需时间应以单个工人完成此项工作的修复工时表达,其取值见表 C.11 和表 E.8。
- 同层内同类型震损构件的修复工时应根据其数量,考虑规模效应和效率提升所产生的积极影响,并应考虑楼层所在高度对修复时间的影响,按式(6)计算:

$$Q_{(i,k)} = \sum_{j=1}^n (Q_{(i,j,k)} \times n_{(i,j,k)}) \times \zeta_{T(i)} \times \lambda_{T(k)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$Q_{(i,k)}$ ——第 k 层第 i 类构件的修复工时总和,单位为人天(人·d);

$Q_{(i,j,k)}$ ——第 k 层处于损伤状态 j 的第 i 类构件的修复工时,单位为人天(人·d),按表 C.11 和表 E.8 取值;

$n_{(i,j,k)}$ ——第 k 层处于损伤状态 j 的第 i 类构件数量;

$\zeta_{T(i)}$ ——考虑第 i 类震损构件修复工程量的修复工时折减系数,按表 C.12 和表 E.9 取值;

$\lambda_{T(k)}$ ——考虑震损构件所在楼层位置 k 的楼层影响系数,按表 C.13 和表 E.10 取值。

- c) 修复工时应按照单层面积或单位构件的工人数量需求和主要修复工作的工人单层最大容量,转化为修复时间。

- d) 单层内的工人数量需求应按式(7)或式(8)计算:

$$N_{W_i,k} = q_{(r,W_i)} A_{(k)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$N_{W_i,k} = q_{(r,W_i)} n_{(W_i)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$N_{W_i,k}$ ——完成某类修复工作 W_i 时,第 k 层内的工人数量需求,单位为人;

$A_{(k)}$ ——楼层 k 的建筑面积,单位为平方米(m^2);

$n_{(W_i)}$ ——修复工作 W_i 中包含的震损构件的数量;

$q_{(r,W_i)}$ ——单层单位面积或单台震损设备的工人数量需求,其取值见表 1。

表 1 单层单位面积或单台震损设备的工人数量需求

主要修复工作编号	修复工作内容	工人数量的需求
W_1	结构构件修复	2 人/100 m^2
W_2	楼梯修复	2 人/个
W_3	围护构件修复	1 人/100 m^2
W_4	隔断构件修复	1 人/100 m^2
W_5	吊顶及附属构件修复	1 人/100 m^2
W_6	管线修复	1 人/100 m^2
W_7	大型设备修复	3 人/台
W_8	电梯修复	2 人/台

- e) 建筑物单层内可同时容纳的工人总量不应超过按式(9)计算得到第 k 层的单层工人最大容量。超出时,宜适当调整第 k 层主要修复工作的工人数量 $N_{W_i,k}$,并应保证主要修复工作的先后次序仍符合 7.2.1 的规定。

$$N_{k,\max} = 0.026 A_{g,k} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$A_{g,k}$ ——第 k 层的建筑面积,单位为平方米(m^2)。

- f) 第 k 层主要修复工作的修复时间按式(10)计算:

$$T_{W_i,k} = \frac{\sum_{i=1}^{m_{W_i}} Q_{(i,k)}}{N_{W_i,k}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$T_{W_i,k}$ ——第 k 层主要修复工作 W_i 的修复时间,单位为天(d);

m_{W_i} ——主要修复工作 W_i 中所包含的构件类型数量;

- g) 建筑物完成全部主要修复工作所需要的修复时间按式(11)~式(13)计算:

$$T_{k,S1} = \max(T_{W_1,k}, T_{W_2,k}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$T_{k,S2} = \max(T_{W_3,k}, T_{W_4,k} + T_{W_5,k} + T_{W_6,k}, T_{W_7,k}, T_{W_8,k}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$T_{\text{tot}} = \max(T_{k,S1} + T_{k,S2}) \Big|_1^{n_S} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：
 $T_{k,S1}$ ——第 k 层完成第一阶段修复工作所需要的修复时间，单位为天(d)；
 $T_{k,S2}$ ——第 k 层完成第二阶段修复工作所需要的修复时间，单位为天(d)；
 T_{tot} ——建筑修复时间，建筑物完成全部功能性修复工作所需要的修复时间，单位为天(d)；
 n_S ——楼层数。

8 人员伤亡计算

8.1 伤亡人数计算方法

人员伤亡数可按式(14)和式(15)计算：

$$M_H = \sum_{r=1}^5 \left[r_{hr} \sum_{k=1}^{n_S} (\zeta_k A_{r,k}) \right] \dots\dots\dots (14)$$

$$M_D = \sum_{r=1}^5 \left[r_{dr} \sum_{k=1}^{n_S} (\zeta_k A_{r,k}) \right] \dots\dots\dots (15)$$

式中：
 M_H ——受伤人数；
 M_D ——死亡人数；
 r_{hr} ——名义受伤率， $r_{h1} \sim r_{h5}$ ，分别表示不同破坏等级 r 的楼层对应的受伤率；
 r_{dr} ——名义死亡率， $r_{d1} \sim r_{d5}$ ，分别表示不同破坏等级 r 的楼层对应的死亡率；
 ζ_k ——第 k 层的室内人员密度；
 $A_{r,k}$ ——楼层破坏等级为 r 级的第 k 层的建筑面积。

8.2 计算参数取值

8.2.1 第 k 层的室内人员密度 ζ_k 可根据被评价建筑的实际人员密度取值，或根据楼层内房屋的功能按表 2 和式(16)确定。

表 2 各类建筑用房的室内人员密度 ζ_m

房间功能	建议取值/(人/m ²)
大型场馆(影剧院、展览馆、体育馆等)	1.0
教育用房(教室等)	1.0
商业用房(百货店、商场等)	0.6
办公用房(办公室等)	0.5
住宿用房(旅馆、住宅等)	0.2
食堂、餐厅等	0.8

$$\zeta_k = \frac{\sum \zeta_m A_{m,k}}{A_{g,k}} \dots\dots\dots (16)$$

式中：
 ζ_m ——第 m 类功能的房间的人员密度，单位为人每平方米(人/m²)；
 $A_{m,k}$ ——第 k 层内第 m 类功能的房间的建筑面积，单位为平方米(m²)；
 $A_{g,k}$ ——第 k 层房间的建筑面积，单位为平方米(m²)。

8.2.2 楼层破坏等级应根据下列方法判定：

- a) 楼层破坏等级 r 分为 I ~ V 级,依次表示楼层处于完好、轻微破坏、轻度破坏、中等破坏、严重破坏的状态；
- b) 建筑物各层依据层内结构构件或可致伤亡的填充墙、吊顶等非结构构件处于特定损伤状态的数量占各自总量的比例按表 3 判定其破坏等级,判定结果取两者中较大的楼层破坏等级。

表 3 楼层破坏等级判定标准

楼层破坏等级	结构构件	可致伤亡的非结构构件
I	损伤状态不大于 1 级的构件数量占比等于 100%	损伤状态为 1 级的构件占比不超过 10%,且不出现损伤状态超过 1 级的构件
II	损伤状态为 2 级的构件占比不超过 10%,且不出现损伤状态大于 2 级的构件	损伤状态为 1 级的构件占比不超过 30%,且不出现损伤状态大于 1 级的构件
III	损伤状态为 2 级的构件占比不超过 20%,且损伤状态为 3 级的构件占比不超过 10%,且不出现损伤状态为 4 级的构件	震损构件占比不超过 50%,且损伤状态为 2 级的构件占比不超过 10%,且不出现损伤状态超过 2 级的构件
IV	损伤状态为 2 级的构件占比不超过 50%,且损伤状态为 3 级的构件占比不超过 20%,且损伤状态为 4 级的构件占比不超过 10%	震损构件占比超过 50%,且损伤状态为 2 级的构件占比不超过 50%,且损伤状态为 3 级的构件占比不超过 10%
V	损伤状态为 2 级的构件占比超过 50%,或损伤状态为 3 级的构件占比 20%,或损伤状态为 4 级的构件占比超过 10%	损伤状态为 2 级的构件比例超过 50%,或损伤状态为 3 级的构件占比超过 10%

8.2.3 名义受伤率 r_{br} 和名义死亡率 r_{dr} 按表 4 取值。

表 4 不同破坏等级楼层内人员的名义伤亡率

楼层破坏等级	名义受伤率 r_{br}	名义死亡率 r_{dr}
I	0	0
II	1/80 000	0
III	1/20 000	0
IV	1/8 000	1/80 000
V	1/140	1/800

8.3 人员伤亡评价指标

采用建筑中伤亡人数占全部人数的比例作为人员伤亡评价指标,其计算按式(17)和式(18):

$$\gamma_H = \frac{M_H}{\sum \zeta_m A_m} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\gamma_D = \frac{M_D}{\sum \zeta_m A_m} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

γ_H ——受伤率;

γ_D ——死亡率；
 A_m ——建筑物内第 m 类功能的房间的建筑面积之和,单位为平方米(m^2)。

9 建筑抗震韧性等级评价

9.1 修复费用评级

建筑修复费用指标应按表 5 评定等级。

表 5 建筑修复费用指标的等级

等级	地震水准	建筑修复费用指标 κ
三星	罕遇地震	$\kappa \leq 5\%$
二星	罕遇地震	$5\% < \kappa \leq 10\%$
一星	设防地震	$\kappa \leq 10\%$

9.2 修复时间评级

建筑修复时间指标应按表 6 评定等级。

表 6 建筑修复时间指标的等级

等级	地震水准	建筑修复时间指标 T_{tot}
三星	罕遇地震	$T_{tot} \leq 7\text{ d}$
二星	罕遇地震	$7\text{ d} < T_{tot} \leq 30\text{ d}$
一星	设防地震	$T_{tot} \leq 30\text{ d}$

9.3 人员伤亡评级

人员伤亡指标应按表 7 评定等级。

表 7 人员伤亡指标的等级

等级	地震水准	人员伤亡指标 γ_H 和 γ_D
三星	罕遇地震	$\gamma_H \leq 1.0 \times 10^{-4}$, 且 $\gamma_D \leq 1.0 \times 10^{-5}$
二星	罕遇地震	$\gamma_H \leq 1.0 \times 10^{-3}$, 且 $\gamma_D \leq 1.0 \times 10^{-4}$
一星	设防地震	$\gamma_H \leq 1.0 \times 10^{-3}$, 且 $\gamma_D \leq 1.0 \times 10^{-4}$

9.4 建筑抗震韧性等级

9.4.1 修复费用指标、修复时间指标和人员伤亡指标应采用由蒙特卡洛模拟计算得到的具有 84% 保证率的拟合值。

9.4.2 建筑的抗震韧性等级应综合考虑建筑修复费用、建筑修复时间和人员伤亡三项指标的等级进行评价,取三项评价指标的最低等级作为该建筑的抗震韧性等级。



附 录 A
(规范性附录)
建筑抗震韧性评级流程

A.1 评级流程

建筑抗震韧性评级应按照图 A.1 所示建筑抗震韧性评级流程确定。其中,蒙特卡洛模拟的次数不应少于 1 000 次。

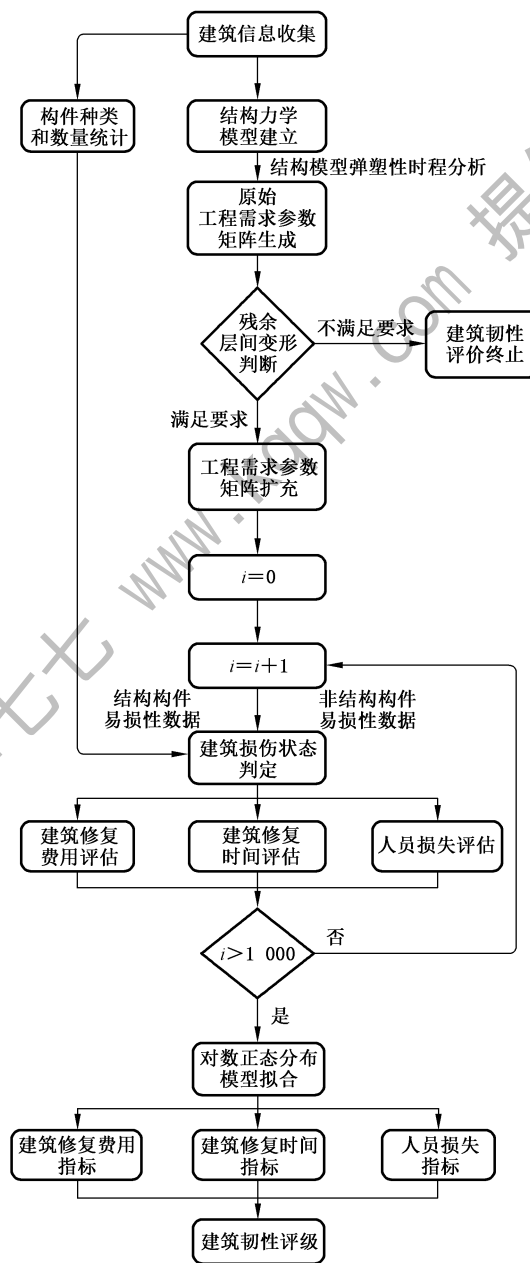


图 A.1 建筑抗震韧性评级流程

A.2 原始工程需求参数矩阵

建筑结构的原始工程需求参数矩阵,应按附录 B 弹塑性时程分析方法确定。

A.3 残余层间变形限值

宜采用罕遇地震水准作用下弹塑性时程分析的平均值,并取最大层残余变形平均值与层残余变形限值比较。当大于限值时,则判断建筑不可修,终止建筑抗震韧性评级;当小于或等于限值时,可进行建筑抗震韧性评级。钢筋混凝土和钢结构的住宅或公共建筑的层残余位移角限值宜取 1/200。

A.4 工程需求参数矩阵扩充

原始工程需求参数矩阵应采用附录 G 的方法进行工程需求参数矩阵的扩充,形成扩充后工程需求参数矩阵。

A.5 抗震韧性指标计算方法

A.5.1 抗震韧性指标的计算应采用蒙特卡洛方法。

A.5.2 对于一次蒙特卡洛模拟,应按第 5 章并结合构件易损性信息判定建筑损伤状态。

A.5.3 按第 6 章、第 7 章和第 8 章计算一次蒙特卡洛模拟的抗震韧性指标时,应包括建筑修复费用、修复时间和人员伤亡。抗震韧性指标的计算应进行多次模拟,分别获取各项指标的集合。

A.5.4 采用对数正态分布模型拟合各项抗震韧性指标集合,并采用具有 84% 保证率的拟合值作为建筑韧性评价的依据。

附 录 B
(规范性附录)
弹塑性时程分析的模型及方法

B.1 地震动输入

B.1.1 采用时程分析法进行地震响应分析时,所选取地震波的数量,以及持时、幅值和频谱等参数应符合 GB 50011 的相关规定,且应符合下列规定:

- a) 应按建筑场地类别和设计地震分组选用不少于 11 组的实际强震记录和人工模拟的加速度时程曲线,其中实际强震记录的数量不应少于总数的 2/3。
- b) 多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法所采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符。
- c) 地震波的有效持续时间不宜小于建筑结构基本自振周期的 5 倍和 15 s,地震动记录的时间间隔可取 0.01 s 或 0.02 s。
- d) 对处于发震断裂两侧 10 km 以内的结构,地震动参数应计入近场影响。当建筑位于条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石和强风化岩石的陡坡、河岸和边坡边缘等不利地段时,尚应估计不利地段对地震动可能产生的放大作用,按照 GB 50011 的规定确定。

B.1.2 输入地震的地面运动峰值加速度应按表 B.1 采用,同时其地面运动峰值速度不应小于表 B.2 的数值。

表 B.1 时程分析时输入地震的地面运动峰值加速度 单位为厘米每二次方秒

地震影响	6 度	7 度	8 度	9 度
设防地震	50	100(150)	200(300)	400
罕遇地震	125	220(310)	400(510)	620
注: 7、8 度时括号内数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。				

表 B.2 时程分析时输入地震的地面运动峰值速度 单位为厘米每秒

设防烈度	6 度	7 度	8 度	9 度
设防地震	5.0	10.0(15.0)	20.0(30.0)	40.0
罕遇地震	12.5	22.0(31.0)	40.0(51.0)	62.0
注: 7、8 度时括号内数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。				

B.1.3 弹塑性时程分析时,地震动输入应符合下列规定:

- a) 一般情况下,应在建筑结构的两个主轴方向同时输入水平地震动时程;
- b) 8、9 度时的隔震建筑、存在转换层的结构、跨度超过 20 m 的大跨度结构、悬臂长度超过 4 m 的长悬臂结构,以及 9 度时的高层建筑,应同时计算竖向地震作用;
- c) 8 度及以上烈度时,采用隔震设计的建筑结构应采用 GB 50011 规定的计算方法计算竖向地震作用;
- d) 水平次向和竖向地震动的峰值加速度宜分别取水平主向地震动峰值加速度的 85% 和 65%。

B.2 分析模型

B.2.1 进行建筑地震响应分析时,宜采用三维计算模型。计算模型应符合结构的受力状态,构件的材料、尺寸、配筋等应与结构实际情况一致。

B.2.2 建立计算模型时应考虑重力二阶效应和大变形的影响。

B.2.3 对于框架结构,当楼梯会显著影响结构动力响应时,应考虑其不利影响。

B.2.4 弹塑性时程分析重力荷载代表值应符合 GB 50011 和 GB 50009 的相关规定。

B.2.5 对于本标准适用的建筑类型,其结构的力学模型应符合下列规定:

- a) 预期在地震作用下可能屈服的结构构件模型应采用弹塑性模型;预期不屈服的结构构件可采用线弹性模型,但应检查计算结果是否满足预期假定。
- b) 框架梁、柱构件宜采用弹塑性纤维梁单元,塑性铰位置明确的构件也可采用设置集中塑性铰的梁单元。设置集中塑性铰的钢筋混凝土梁单元和钢梁单元可分别采用图 B.1 和图 B.2 所示的骨架线,骨架线上各关键点参数可按附录 C 取值。

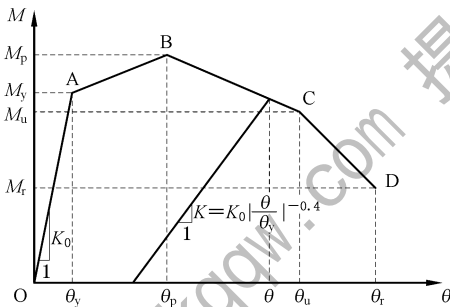


图 B.1 设置集中塑性铰的钢筋混凝土梁单元骨架线

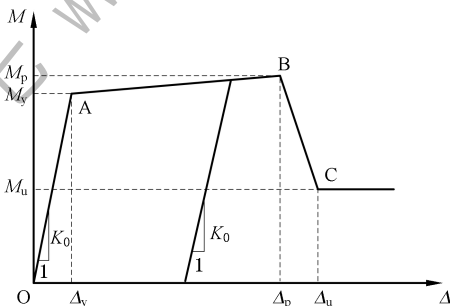


图 B.2 设置集中塑性铰的钢梁单元骨架线

- c) 剪力墙构件宜采用壳单元,规则墙体也可采用墙单元。
 - d) 跨高比大于或等于 5 的混凝土连梁或钢连梁宜采用梁单元;跨高比小于 5 的混凝土连梁宜采用壳单元,跨高比小于 5 的钢连梁宜采用设置集中塑性铰的梁单元或非线性弹簧单元。
 - e) 屈曲约束支撑可采用桁架杆单元或定义力-位移关系的非线性弹簧单元;黏滞阻尼器可采用弹簧-阻尼元件串联单元;软钢阻尼器和隔震垫可采用定义力-位移关系的非线性弹簧单元。
 - f) 楼板宜采用弹性或弹塑性楼板模型。
- B.2.6 有限元模型的材料本构及参数取值应符合下列规定:
- a) 材料强度应按 4.2.2 的规定进行取值。
 - b) 混凝土本构模型应考虑受压刚度退化和软化行为、以及受拉开裂行为,钢筋本构模型应考虑屈

服和包辛格效应。材料单轴本构模型按 GB 50010 中的规定选取。

- c) 对于三级以上的框架柱及剪力墙边缘约束区,核心区约束混凝土受压骨架线可采用图 B.3 所示的曲线 OAB,并按式(B.1)~式(B.6)确定:

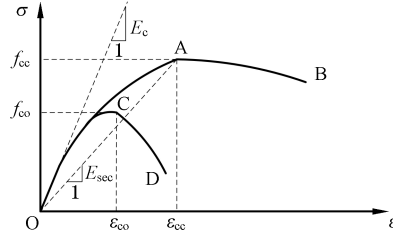


图 B.3 核心区约束混凝土模型受压骨架线

$$f = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

$$f_{cc} = f_{co} \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f_l}{f_{co}}} - 2 \frac{f_l}{f_{co}} \right) \quad \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

$$x = \frac{\epsilon}{\epsilon_{cc}} \quad \dots\dots\dots (\text{B.3})$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad \dots\dots\dots (\text{B.4})$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right) \right] \quad \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

$$E_{sec} = f_{cc} / \epsilon_{cc} \quad \dots\dots\dots (\text{B.6})$$

式中:

- f ——约束混凝土轴向受压应力;
 ϵ ——约束混凝土轴向受压应变;
 f_{cc} ——约束混凝土单轴受压峰值承载力;
 f_{co} ——素混凝土单轴受压峰值承载力;
 f_l ——有效约束应力,按 B.2.6 d) 计算;
 ϵ_{cc} ——约束混凝土单轴受压峰值承载力对应的轴向受压应变;
 ϵ_{co} ——素混凝土单轴受压峰值承载力对应的轴向受压应变;
 E_c ——混凝土的初始弹性模量;
 E_{sec} ——约束混凝土对应于峰值承载力点的割线模量。

- d) 有效约束应力 f_l 可按式(B.7)~式(B.9)确定:

对于圆形截面,径向的有效应力 f_l :

$$f_l = 0.5 k_e \rho_s f_{yh} \quad \dots\dots\dots (\text{B.7})$$

对于矩形截面, x 方向和 y 方向的有效应力 f_{lx} 和 f_{ly} :

$$f_{lx} = k_e \rho_x f_{yh} \quad \dots\dots\dots (\text{B.8})$$

$$f_{ly} = k_e \rho_y f_{yh} \quad \dots\dots\dots (\text{B.9})$$

式中:

- k_e ——有效约束系数,按 B.2.6 e) 计算;
 ρ_x ——矩形截面 x 方向体积配箍率;
 ρ_y ——矩形截面 y 方向体积配箍率;

ρ_s ——体积配箍率；
 f_{yh} ——箍筋屈服强度。

e) 有效约束系数 k_e 可按式(B.10)确定：

$$k_e = \frac{A_e}{A_c(1 - \rho_{cc})} \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

式中：

A_e ——有效混凝土核心面积，按 B.2.6 f) 计算；

A_c ——核心区混凝土面积，按 B.2.6 f) 计算；

ρ_{cc} ——纵筋面积与核心区混凝土面积的比值。

f) 有效混凝土核心面积 A_e 和核心区混凝土面积 A_c 可按式(B.11)～式(B.14)确定：

对于圆形截面：

$$A_e = \frac{\pi}{4} \left(d_s - \frac{s'}{2} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (B.11)$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} d_s^2 \quad \dots\dots\dots (B.12)$$

对于矩形截面：

$$A_e = [B'D' - \sum_i^n \frac{W_i^2}{6}] \left(1 - \frac{s'}{2B'} \right) \left(1 - \frac{s'}{2D'} \right) \quad \dots\dots\dots (B.13)$$

$$A_c = B'D' \quad \dots\dots\dots (B.14)$$

式中：

s' ——箍筋垂直净间距；

d_s ——箍筋所围圆形的净直径加上箍筋直径；

B' ——矩形截面约束混凝土核心宽度；

D' ——矩形截面约束混凝土核心高度；

W_i ——纵筋净间距。

g) 钢构件本构模型宜采用随动强化滞回模型或混合强化滞回模型；当钢构件单轴应力应变关系有强化段时，屈服后强化刚度可取初始刚度的 1%，或根据试验确定；当分析中需考虑结构或构件的严重失效行为时，应考虑构件的局部屈曲和断裂效应。当采用集中塑性铰模型时，考虑局部屈曲和断裂效应的钢构件本构模型应按附录 C 和附录 D 确定；当采用纤维模型时，纤维的单轴受压应力-应变关系曲线需考虑局部屈曲影响，参数的取值应使截面的整体弯矩-转角关系曲线与附录 C 和附录 D 的规定保持基本一致，或根据试验数据确定。

h) 屈曲约束支撑可采用双线性力-位移关系模型。减、隔震结构中消能减震构件弹塑性模型应有相应的试验依据。

B.2.7 时程分析所用阻尼比应符合下列规定：

a) 结构的阻尼模型可采用瑞雷阻尼模型。当采用其他阻尼模型时，应有充分依据。

b) 在设防地震下，高度不大于 50 m 的钢结构可取 4%；高度大于 50 m 且小于或等于 200 m 的钢结构可取 3%；高度大于 200 m 的钢结构宜取 2%；当偏心支撑钢框架部分承担的地震倾覆力矩大于地震总倾覆力矩的 50%，钢结构的阻尼比可相应增加 0.5%；钢结构罕遇地震下的弹塑性时程分析，阻尼比可取 5%。

c) 混凝土结构在设防地震和罕遇地震下的弹塑性时程分析阻尼比可取 5%。

d) 混合结构在设防地震和罕遇地震作用下的阻尼比可取 5%。

e) 对于隔震结构和消能减震结构，其结构阻尼比取值应符合 GB 50011 的相关规定。减、隔震结构中消能构件和隔震构件的阻尼参数取值应有试验依据。

附 录 C
(规范性附录)
结构构件易损性信息

C.1 结构构件分类及易损性分组

C.1.1 同一结构构件类别,应根据易损性参数分为不同的易损性分组。易损性构件可采用编码形式表达,材料种类、结构类型、构件类别-易损性参数 X_1 、易损性参数 X_2 、……、易损性参数 X_n ,易损性参数的个数宜根据构件类别进行选择。

C.1.2 结构构件的易损性参数宜选择材料种类、轴压比、剪跨比、抗震构造措施等影响结构构件韧性性能的关键参数。

C.2 发生正截面破坏的钢筋混凝土结构构件损伤状态判别标准

C.2.1 发生正截面破坏的钢筋混凝土结构的损伤状态等级应根据时程分析得到的构件最大转角 θ 按表 C.1 确定,或根据时程分析得到的混凝土主压应变 ϵ_3 和钢筋主拉应变 ϵ_1 按表 C.2 确定。

表 C.1 基于转角的正截面破坏型钢筋混凝土结构构件损伤状态判别标准

损伤状态等级	判别标准
0 级	$\theta \leq \theta_y$
1 级	$\theta_y < \theta \leq \theta_{10}$
2 级	$\theta_{10} < \theta \leq \theta_p$
3 级	$\theta_p < \theta \leq \theta_u$
4 级	$\theta > \theta_u$

表 C.2 基于应变的正截面破坏型钢筋混凝土结构构件损伤状态判别标准

损伤状态等级	判别标准	
	混凝土	钢筋
0 级	$ \epsilon_3 \leq \epsilon_p $	且 $\epsilon_1 < \epsilon_y$
1 级	$ \epsilon_3 \leq \epsilon_p $	且 $\epsilon_y < \epsilon_1 \leq 2\epsilon_y$
2 级	$ \epsilon_p < \epsilon_3 \leq 1.5 \epsilon_p $	或 $2\epsilon_y < \epsilon_1 \leq 3.5\epsilon_y$
3 级	$1.5 \epsilon_{cp} < \epsilon_3 \leq \epsilon_{cu} $	或 $3.5\epsilon_y < \epsilon_1 \leq 12\epsilon_y$
4 级	$ \epsilon_3 > \epsilon_{cu} $	或 $\epsilon_1 > 12\epsilon_y$
ϵ_p 和 ϵ_{cu} 应按 GB 50010 确定,对核心区约束混凝土,宜考虑约束效应对峰值应变和极限应变的提高。 注 1: ϵ_1 为钢筋主拉应变。 注 2: ϵ_3 为混凝土主压应变。 注 3: ϵ_p 和 ϵ_{cu} 分别为混凝土单轴受压峰值应变和极限应变。 注 4: ϵ_y 为钢筋的屈服应变。		

C.2.2 发生正截面破坏的钢筋混凝土结构构件的弯矩-转角模型宜采用图 C.1 所示的 4 折线模型表示。 θ_y 、 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 分别为构件的名义屈服点 B、性能点 IO、峰值点 C、性能点 LS 和极限点 CP 对应的转角。

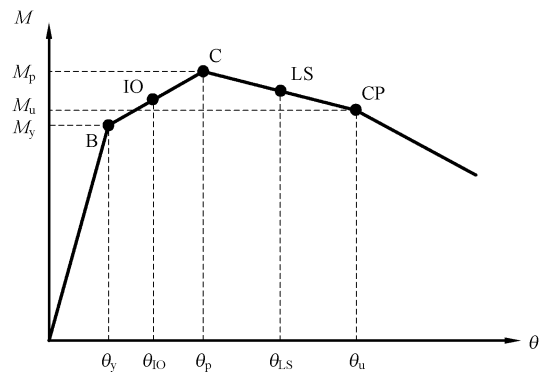


图 C.1 正截面破坏的钢筋混凝土结构构件弯矩 M -转角 θ 的关系

C.3 发生斜截面破坏的钢筋混凝土结构构件损伤状态判别标准

C.3.1 发生斜截面破坏的钢筋混凝土结构构件的损伤状态等级应根据时程分析得到的构件最大转角 θ 按表 C.3 划分,或根据时程分析得到的构件截面最大内力 V 或 T 按表 C.4 确定。

表 C.3 基于转角的斜截面破坏型钢筋混凝土结构构件损伤状态判别标准

损伤状态等级	判别标准
0 级	$\theta \leq \theta_y$
1 级	$\theta_y < \theta \leq \theta_{IO}$
2 级	$\theta_{IO} < \theta \leq \theta_p$
3 级	$\theta_p < \theta \leq \theta_u$
4 级	$\theta > \theta_u$

表 C.4 基于截面内力的斜截面破坏型钢筋混凝土结构构件损伤状态判别标准

损伤状态等级	判别标准
0 级	$V \leq V_d$ 或 $T \leq T_d$
1 级	$V_d < V \leq 0.5(V_d + V_k)$ 或 $T_d < T \leq 0.5(T_d + T_k)$
2 级	$0.5(V_d + V_k) < V \leq 0.5(V_k + V_m)$ 或 $0.5(T_d + T_k) < T \leq 0.5(T_k + T_m)$
3 级	$0.5(V_k + V_m) < V \leq V_m$ 或 $0.5(T_k + T_m) < T \leq T_m$
4 级	$V > V_m$ 或 $T > T_m$
<p>注 1: V_d、T_d为按照材料强度设计值计算得到的构件斜截面承载力。 注 2: V_k、T_k为按照材料强度标准值计算得到的构件斜截面承载力。 注 3: V_m、T_m为按照材料强度平均值计算得到的构件斜截面承载力。 注 4: 各个斜截面承载力计算值的对数标准差可取 0.5。</p>	

C.3.2 发生斜截面破坏的钢筋混凝土结构构件的剪力-转角模型宜采用图 C.2 所示的 4 折线模型表示。 θ_y 、 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 分别为构件的名义屈服点 B、性能点 IO、峰值点 C、性能点 LS 和极限点 CP 对应的转角。

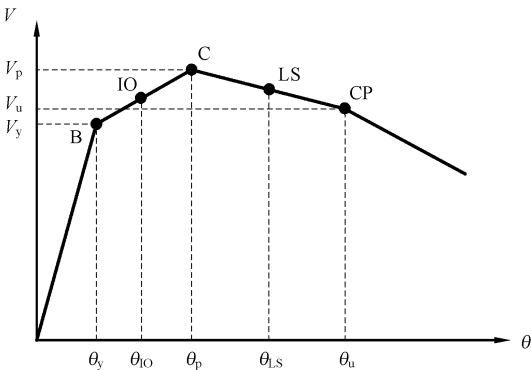


图 C.2 斜截面破坏的钢筋混凝土结构构件剪力 V-转角 θ 的关系

C.4 钢结构构件损伤状态判别标准

C.4.1 钢梁、钢柱的损伤状态等级应根据时程分析得到的构件最大转角按表 C.5 确定。

表 C.5 钢梁、钢柱的损伤状态判别标准

损伤状态等级	判别标准
0 级	$\theta \leq \theta_y$
1 级	$\theta_y < \theta \leq \theta_{IO}$
2 级	$\theta_{IO} < \theta \leq \theta_{LS}$
3 级	$\theta_{LS} < \theta \leq \theta_u$
4 级	$\theta > \theta_u$

C.4.2 钢结构构件的弯矩-转角模型或剪力-转角模型宜采用图 C.3 所示的 4 折线模型表示。 θ_y 、 θ_{IO} 、 θ_{LS} 、 θ_p 和 θ_u 分别为构件的名义屈服点 B、性能点 IO、性能点 LS、峰值点 C 和极限点 CP 对应的转角。

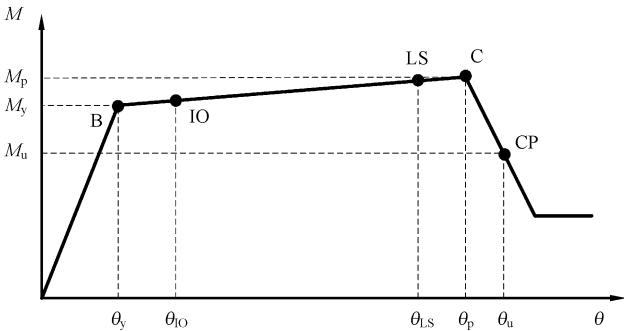


图 C.3 钢结构构件弯矩 M-转角 θ 的关系

C.5 钢支撑构件损伤状态判别标准

C.5.1 钢支撑的损伤状态等级应根据时程分析得到的构件受拉位移和受压位移绝对值的较大值按表 C.6 确定。

表 C.6 钢支撑的损伤状态判别标准

损伤状态等级	判别标准
0 级	$\Delta \leq \Delta_y$
1 级	$\Delta_y < \Delta \leq \Delta_{IO}$
2 级	$\Delta_{IO} < \Delta \leq \Delta_{LS}$
3 级	$\Delta_{LS} < \Delta \leq \Delta_u$
4 级	$\Delta > \Delta_u$

C.5.2 钢支撑构件的轴力-位移模型宜采用图 C.4 所示的 4 折线模型表示。 Δ_y 、 Δ_{IO} 、 Δ_{LS} 、 Δ_p 和 Δ_u 分别为构件的名义屈服点 B、性能点 IO、性能点 LS、峰值点 C 和极限点 CP 对应的轴向位移。

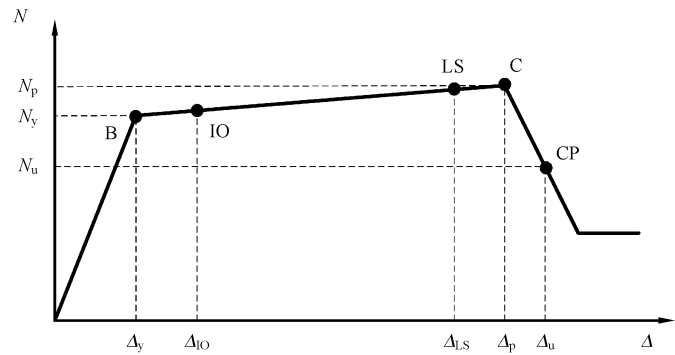


图 C.4 钢支撑构件轴力 N -轴向位移 Δ 的关系

C.6 结构构件修复费用计算中的系数取值

- C.6.1 结构构件的损失系数应为结构构件处于某一损伤状态时,其经济损失与造价的相对比值。
- C.6.2 结构构件的经济损失应为采用常规维修方法,将受损构件恢复至震前状态所需要的直接经济费用,包括人工费、材料费、机械费等。
- C.6.3 结构构件的造价应为按照现行定额制作结构构件所需的费用。
- C.6.4 结构构件的损失系数应按表 C.7 取值。

表 C.7 不同损伤状态下结构构件的损失系数

结构构件名称	损伤状态等级对应的损失系数			
	1 级	2 级	3 级	4 级
钢筋混凝土框架柱	0.10	0.20	0.50	1.00
钢筋混凝土框架梁	0.10	0.20	0.60	1.00

表 C.7 (续)

结构构件名称	损伤状态等级对应的损失系数			
	1 级	2 级	3 级	4 级
钢筋混凝土剪力墙	0.10	0.20	0.75	1.00
钢筋混凝土连梁	0.10	0.20	0.60	1.00
钢结构梁	0.10	0.35	0.65	1.00
钢结构柱	0.10	0.35	0.65	1.00
钢支撑构件	0.10	0.20	0.75	1.00

C.6.5 结构构件的修复系数应为结构构件处于某一损伤状态时,其修复费用与经济损失的相对比值。同类结构构件在某一损伤状态下的修复系数应为不考虑构件体积、所在地区等因素影响的常数,其取值应按表 C.8 确定。

表 C.8 不同损伤状态下结构构件的修复系数

结构构件名称	损伤状态等级对应的修复系数			
	1 级	2 级	3 级	4 级
钢筋混凝土框架柱	1.20	1.15	1.07	3.57
钢筋混凝土框架梁	1.22	1.18	1.06	3.15
钢筋混凝土剪力墙	1.37	1.24	1.06	2.72
钢筋混凝土连梁	1.22	1.18	1.06	2.54
钢结构梁	1.10	1.72	1.72	1.72
钢结构柱	1.22	4.50	4.50	4.50
钢支撑构件	1.10	1.72	1.72	1.72

C.6.6 结构构件修复费用的楼层影响系数取值应按表 C.9 确定。

表 C.9 结构构件修复费用的楼层影响系数

楼层	楼层影响系数
12 层以上	1.10
7 层~12 层	1.08
4 层~6 层	1.05
1 层~3 层	1.00

C.6.7 同类结构构件的总修复费用应按其工程量考虑折减,折减系数取值按表 C.10 确定。

表 C.10 结构构件的工程量折减系数

结构构件类别	计算单位	损伤构件数量		
		≤10	11~49	≥50
钢筋混凝土框架柱	根	1.00	插值	0.85
钢筋混凝土框架梁	根	1.00	插值	0.85
钢筋混凝土剪力墙	片	1.00	插值	0.85
钢筋混凝土连梁	个	1.00	插值	0.85
钢结构梁	根	1.00	插值	0.85
钢结构柱	根	1.00	插值	0.85
钢支撑构件	个	1.00	插值	0.85

C.7 结构构件修复工时计算中的系数取值

C.7.1 结构构件的修复工时是指在人工、材料、设备等修复条件完全具备的前提下,由单个工人完成处于某一损伤状态的单一结构构件的功能性恢复所需要的时间,单位为人天(人·d)。

C.7.2 结构构件修复工时的取值宜按表 C.11 确定。

表 C.11 不同损伤状态下结构构件的修复工时

结构构件名称	计算单位	损伤状态等级对应的修复工时			
		1 级	2 级	3 级	4 级
钢筋混凝土框架柱	根	2.6	6.2	9.4	27.8
钢筋混凝土框架梁	根	3.8	5.6	11.3	25.0
钢筋混凝土剪力墙	片	4.2	5.3	13.9	30.0
钢筋混凝土连梁	个	3.8	5.6	10.3	21.5
钢结构梁	根	2.0	15.0	15.0	15.0
钢结构柱	根	2.0	14.6	14.6	14.6
钢支撑构件	个	2.0	11.6	11.6	11.6

C.7.3 同类型震损构件数量对修复工时的影响采用工程量折减系数表示,其取值应按表 C.12 确定。

表 C.12 结构构件修复时间的工程量折减系数

结构构件类别	计算单位	损伤构件数		
		≤10	11~49	≥50
钢筋混凝土框架柱	根	1.0	插值	0.75
钢筋混凝土框架梁	根	1.0	插值	0.75
钢筋混凝土剪力墙	片	1.0	插值	0.75
钢筋混凝土连梁	个	1.0	插值	0.75

表 C.12 (续)

结构构件类别	计算单位	损伤构件数		
		≤ 10	11~49	≥ 50
钢结构梁	根	1.0	插值	0.80
钢结构柱	根	1.0	插值	0.80
钢支撑构件	个	1.0	插值	0.80

C.7.4 结构构件修复时间的楼层影响系数取值应按表 C.13 确定。

表 C.13 结构构件修复时间的楼层影响系数

楼层	楼层影响系数
12 层以上	1.10
7 层~12 层	1.08
4 层~6 层	1.05
1 层~3 层	1.00



附录 D
(资料性附录)

常规结构构件的工程需求参数建议值

D.1 适用范围

本附录适用于常规钢筋混凝土结构和钢结构建筑的主要结构构件,包括钢筋混凝土梁、柱、剪力墙、连梁,钢结构梁、柱、支撑等。

D.2 弯曲破坏型钢筋混凝土结构构件工程需求参数

D.2.1 压弯破坏的钢筋混凝土框架柱,其弯矩-转角($M-\theta$)模型的有关参数可按下列规定确定,亦可由试验或由经过试验验证的计算确定:

- a) 峰值点 C 的弯矩 M_p 为构件的正截面受弯承载力,可按 GB 50010 的规定计算,计算时材料强度按 4.2.2 的规定采用;
- b) 名义屈服点 B 的弯矩 M_y 可取为 $0.8M_p$;
- c) 极限点 CP 的弯矩 M_u 可取为 $0.85M_p$;
- d) 名义屈服点 B 的转角 θ_y 可取为 $2M_p h/EI_0$, EI_0 为构件的弹性抗弯刚度, h 为截面高度;
- e) IO、C、LS、CP 点的转角 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 可按表 D.1 确定。

表 D.1 压弯破坏钢筋混凝土框架柱转角 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 取值

抗震等级	轴压比 α_c	$\theta_{IO}/$ rad	对数 标准差	$\theta_p/$ rad	对数 标准差	$\theta_{LS}/$ rad	对数 标准差	$\theta_u/$ rad	对数 标准差
一	$\alpha_c \leq 0.3$	0.007	0.40	0.010	0.40	0.018	0.40	0.026	0.40
	$0.3 < \alpha_c < 0.9$	线性插值							
	0.9	0.007	0.45	0.010	0.45	0.017	0.45	0.024	0.45
二	$\alpha_c \leq 0.3$	0.007	0.40	0.010	0.40	0.016	0.40	0.023	0.40
	$0.3 < \alpha_c < 1.05$	线性插值							
	1.05	0.007	0.45	0.010	0.45	0.015	0.45	0.021	0.45
三、四	$\alpha_c \leq 0.3$	0.007	0.40	0.010	0.40	0.015	0.40	0.021	0.40
	$0.3 < \alpha_c < 1.05$	线性插值							
	1.05	0.007	0.45	0.010	0.45	0.014	0.45	0.019	0.45

D.2.2 钢筋混凝土框架梁和跨高比大于 5 的钢筋混凝土连梁,其弯矩-转角($M-\theta$)模型的有关参数可按下列规定确定,也可由试验或由经过试验验证的计算公式确定:

- a) 峰值点 C 的弯矩 M_p 为构件的正截面受压承载力,可按 GB 50010 的规定计算,计算时材料强度按 4.2.2 的规定采用;
- b) 名义屈服点 B 的弯矩 M_y 可取为 $0.9M_p$;
- c) 极限点 CP 的弯矩 M_u 可取为 $0.9M_p$;
- d) 名义屈服点 B 的转角 θ_y 可取为 $3M_p h/EI_0$, EI_0 为构件的弹性抗弯刚度, h 为截面高度;
- e) B、IO、C、LS、CP 点的转角 θ_y 、 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 可按表 D.2 确定。

表 D.2 钢筋混凝土框架梁转角 θ_y 、 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 取值

骨架线参数	转角/rad	对数标准差
θ_y	$3M_p h/EI_0$	0.4
θ_{IO}	$0.5(\theta_y + \theta_p)$	0.4
θ_p	0.01	0.4
θ_{LS}	0.02	0.4
θ_u	0.03	0.4

D.2.3 压弯破坏的钢筋混凝土剪力墙,其弯矩-转角($M-\theta$)模型的有关参数可按下列规定确定,亦可由试验或由经过试验验证的计算公式确定:

- a) 峰值点 C 的弯矩 M_p 为构件的正截面受压承载力,可按 GB 50010 的规定计算,计算时材料强度按 4.2.2 的规定采用;
- b) 名义屈服点 B 的弯矩 M_y 可取为 $0.8M_p$;
- c) 极限点 CP 的弯矩 M_u 可取为 $0.85M_p$;
- d) 性能点 IO、LS 的弯矩值可按对应转角线性插值计算;
- e) B、IO、C、LS、CP 点的转角 θ_y 、 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 可按表 D.3 确定。

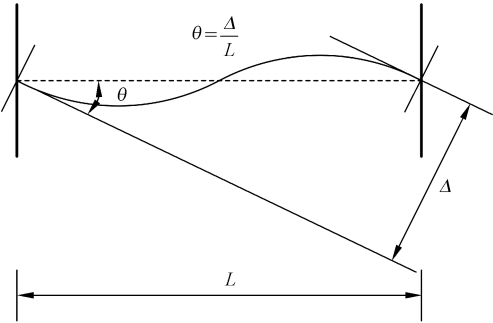
表 D.3 压弯破坏钢筋混凝土剪力墙转角 θ_y 、 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 取值

骨架线参数	损伤描述	转角/rad	对数标准差
θ_y	边缘纵筋屈服	0.003 5	0.37
θ_{IO}	混凝土墙出现多条受弯裂缝	0.005	0.30
θ_p	受压侧保护层开始剥落,但尚未露出纵筋	0.008	0.32
θ_{LS}	保护层剥落明显,纵筋裸露	0.010	0.21
θ_u	钢筋受压屈曲,边缘构件约束混凝土开始压溃	0.013	0.46

D.3 剪切破坏型钢筋混凝土结构构件工程需求参数

跨高比小于或等于 5 的钢筋混凝土连梁的剪力-相对转角($V-\theta$)模型的有关参数可按下列规定确定,亦可由试验或经过试验验证的计算确定:

- a) 相对转角根据图 D.1 进行计算。



说明:

Δ —— 地震作用下钢筋混凝土连梁的两端相对变形;

L —— 连梁长度。

图 D.1 钢筋混凝土连梁的相对变形角计算示意图

- b) 峰值点 C 的剪力 V_p 为构件的斜截面受剪承载力,可按 GB 50010 的规定计算,计算时材料强度按 4.2.2 的规定采用。
- c) 名义屈服点 B 的剪力 V_y 可取为 $0.8V_p$ 和 $2M_p/L$ 的较小值,其中, M_p 为连梁端部正截面承载力, L 为连梁净跨。
- d) 性能点 CP 的剪力 V_u 可取为 $0.5V_p$ 。
- e) B、IO、C、LS、CP 点的相对转角 θ_y 、 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 可按表 D.4 确定。

表 D.4 跨高比小于或等于 5 的钢筋混凝土连梁相对转角 θ_y 、 θ_{IO} 、 θ_p 、 θ_{LS} 和 θ_u 取值

骨架线参数	损伤描述	相对转角/rad	对数标准差
θ_y	边缘纵筋屈服	0.005	0.44
θ_{IO}	两端出现多条受弯裂缝	0.009	0.40
θ_p	交叉斜裂缝形成	0.013	0.40
θ_{LS}	混凝土保护层开始剥落	0.015	0.52
θ_u	钢筋屈曲、混凝土剪坏或压溃	0.025	0.39

D.4 钢结构构件工程需求参数

钢结构梁、柱的弯矩-转角($M-\theta$)模型的有关参数可按下列规定确定,也可由试验或由经过试验验证的计算公式确定:

- a) 钢梁、钢柱名义屈服点 B 处的转角 θ_y 可分别按式(D.1)、式(D.2)确定:

$$\theta_y = Wf_y l_b / 6EI_b \dots\dots\dots (D.1)$$

$$\theta_y = (1 - P/P_y)Wf_y l_c / 6EI_c \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

- W ——塑性截面模量;
- f_y ——预期的材料屈服强度;
- l_b ——钢梁长度;
- I_b ——钢梁截面惯性矩;
- l_c ——钢柱长度;
- I_c ——钢柱截面惯性矩;
- P ——钢柱轴力;
- P_y ——钢柱轴向屈服承载力;
- E ——材料弹性模量。

- b) 钢梁、钢柱名义屈服点 B 处的弯矩 M_y 可分别按式(D.3)、式(D.4)确定:

$$M_y = Wf_y \dots\dots\dots (D.3)$$

$$M_y = \min[1.18(1 - P/P_y)Wf_y, Wf_y] \dots\dots\dots (D.4)$$

- c) 钢梁、钢柱骨架线上的其他参数可按表 D.5 确定。
- d) 各特征点数据的对数标准差 β 可取为 0.4。

表 D.5 钢梁、钢柱骨架线 θ_{10} 、 θ_{1S} 和 θ_u 取值

钢构件类型			转角/ θ_y		
			θ_{10}/θ_y	θ_{1S}/θ_y	θ_u/θ_y
梁 (H 截面)	$\frac{b_f}{2t_f}\leqslant\frac{9}{\sqrt{F_y/235}}$ 且 $\frac{h}{t_w}\leqslant\frac{72}{\sqrt{F_y/235}}$		2	10	12
	$\frac{b_f}{2t_f}\geqslant\frac{11}{\sqrt{F_y/235}}$ 或 $\frac{h}{t_w}\geqslant\frac{110}{\sqrt{F_y/235}}$		1.25	4	5
	其他		分别根据翼缘宽厚比(第 1 项)和腹板高厚比(第 2 项)进行线性插值,取较小值		
柱 (H 截面)	$\frac{P}{P_{CL}}<0.2$	$\frac{b_f}{2t_f}\leqslant\frac{9}{\sqrt{F_y/235}}$ 且 $\frac{h}{t_w}\leqslant\frac{51}{\sqrt{F_y/235}}$	2	10	12
		$\frac{b_f}{2t_f}\geqslant\frac{11}{\sqrt{F_y/235}}$ 或 $\frac{h}{t_w}\geqslant\frac{79}{\sqrt{F_y/235}}$	1.25	4	5
		其他	分别根据翼缘宽厚比(第 1 项)和腹板高厚比(第 2 项)进行线性插值,取较小值		
	$\frac{P}{P_{CL}}\geqslant 0.2$	$\frac{b_f}{2t_f}\leqslant\frac{9}{\sqrt{F_y/235}}$ 且 $\frac{h}{t_w}\leqslant\frac{45}{\sqrt{F_y/235}}$	1.25	$15-23.3\frac{P}{P_{CL}}$	$18-28.3\frac{P}{P_{CL}}$
		$\frac{b_f}{2t_f}\geqslant\frac{11}{\sqrt{F_y/235}}$ 或 $\frac{h}{t_w}\geqslant\frac{68}{\sqrt{F_y/235}}$	1.25	1.5	1.8
		其他	分别根据翼缘宽厚比(第 1 项)和腹板高厚比(第 2 项)进行线性插值,取较小值		
柱 (方管 截面)	$\frac{P}{P_{CL}}<0.2$	$\frac{b_f}{2t_f}\leqslant\frac{19}{\sqrt{F_y/235}}$ 且 $\frac{h}{t_w}\leqslant\frac{51}{\sqrt{F_y/235}}$	2	10	12
		$\frac{b_f}{2t_f}\geqslant\frac{33}{\sqrt{F_y/235}}$ 或 $\frac{h}{t_w}\geqslant\frac{79}{\sqrt{F_y/235}}$	1.25	4	5
		其他	分别根据翼缘宽厚比(第 1 项)和腹板高厚比(第 2 项)进行线性插值,取较小值		
	$\frac{P}{P_{CL}}\geqslant 0.2$	$\frac{b_f}{2t_f}\leqslant\frac{19}{\sqrt{F_y/235}}$ 且 $\frac{h}{t_w}\leqslant\frac{45}{\sqrt{F_y/235}}$	1.25	$15-23.3\frac{P}{P_{CL}}$	$18-28.3\frac{P}{P_{CL}}$
		$\frac{b_f}{2t_f}\geqslant\frac{33}{\sqrt{F_y/235}}$ 或 $\frac{h}{t_w}\geqslant\frac{68}{\sqrt{F_y/235}}$	1.25	1.5	1.8
		其他	分别根据翼缘宽厚比(第 1 项)和腹板高厚比(第 2 项)进行线性插值,取较小值		
注 1: b_f 为翼缘宽度。 注 2: t_f 为翼缘厚度。 注 3: h 为截面高度。 注 4: t_w 为腹板厚度。 注 5: F_y 为材料屈服强度。 注 6: P_{CL} 为柱受压承载力。					

D.5 钢支撑构件工程需求参数

钢支撑构件的轴力-位移($N-\Delta$)模型的相关参数可按下列规定确定,亦可由试验或由经过试验验证的计算公式确定:

- a) 钢支撑受拉和受压宜分别采用不同的骨架线参数;
- b) 钢支撑受拉骨架线的 N_y 为支撑截面受拉屈服轴力, Δ_y 为 N_y 作用下构件的轴向弹性受拉位移;
- c) 钢支撑受压骨架线的 N_y 为支撑受压承载力,取受拉屈服承载力与受压稳定承载力较小值, Δ_y 为 N_y 压力作用下构件的弹性受压位移;
- d) 钢支撑骨架线上的其他参数可按表 D.6 和表 D.7 确定,其对数标准差可取 0.3。

表 D.6 钢支撑受拉骨架线 Δ_{10} 、 Δ_{15} 和 Δ_u 取值

钢支撑类型	轴向位移/ Δ_y		
	Δ_{10}/Δ_y	Δ_{15}/Δ_y	Δ_u/Δ_y
H 截面、工字截面	1.5	11	14
矩形或圆形钢管	1.5	8	10

表 D.7 钢支撑受压骨架线 Δ_{10} 、 Δ_{15} 和 Δ_u 取值

钢支撑类型		轴向位移/ Δ_y		
		Δ_{10}/Δ_y	Δ_{15}/Δ_y	Δ_u/Δ_y
长细比 $\frac{Kl}{i}\geqslant4.2\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	H 截面、工字截面	1.5	9	11
	矩形或圆形钢管	1.5	8	10
长细比 $\frac{Kl}{i}\leqslant2.1\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	H 截面、工字截面	1.5	8	9
	矩形或圆形钢管	1.5	7	8
长细比 $2.1\sqrt{\frac{E}{F_y}}<\frac{Kl}{i}<4.2\sqrt{\frac{E}{F_y}}$		线性插值		
<p>注 1: K 为支撑计算长度系数。</p> <p>注 2: l 为支撑净长度。</p> <p>注 3: i 为回转半径。</p> <p>注 4: E 为钢材弹性模量。</p> <p>注 5: F_y 为钢材屈服强度。</p>				

附 录 E
(规范性附录)
非结构构件易损性信息

E.1 非结构构件分类及易损性分组

E.1.1 同一非结构构件类别,应根据易损性参数分为不同的易损性分组,可采用编码形式表达:构件类别-易损性参数 X_1 、易损性参数 X_2 、……、易损性参数 X_n ,易损性参数的个数 n 宜根据构件类别进行选择。

E.1.2 非结构构件的易损性参数宜选择材料种类、抗震连接构造等影响非结构构件韧性性能的关键参数。

E.1.3 非结构构件损伤状态的详细描述见表 E.1。

表 E.1 非结构构件损伤状态详细描述

构件	分组	损伤状态等级		
		1 级	2 级	3 级
吊 顶	面积: $\leq 25 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	5%的吊顶破坏	30%的吊顶破坏	全部吊顶破坏
	面积: $\leq 25 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	5%的吊顶破坏	30%的吊顶破坏	全部吊顶破坏
	面积: $> 25 \text{ m}^2 \sim 95 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	5%的吊顶破坏	30%的吊顶破坏	全部吊顶破坏
	面积: $> 25 \text{ m}^2 \sim 95 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	5%的吊顶破坏	30%的吊顶破坏	全部吊顶破坏
	面积: $> 95 \text{ m}^2 \sim 230 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	5%的吊顶破坏	30%的吊顶破坏	全部吊顶破坏
	面积: $> 95 \text{ m}^2 \sim 230 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	5%的吊顶破坏	30%的吊顶破坏	全部吊顶破坏
	面积: $> 230 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	5%的吊顶破坏	30%的吊顶破坏	全部吊顶破坏
	面积: $> 230 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	5%的吊顶破坏	30%的吊顶破坏	全部吊顶破坏
悬挂式灯具	非抗震设计	—	—	悬吊杆上部连接破坏, 悬吊杆螺纹疲劳破坏
	抗震设计	—	—	悬吊杆上部连接破坏, 悬吊杆螺纹疲劳破坏
填充墙	轻钢龙骨石膏板, 到顶, 上、下端固定	轻微裂缝	石膏板发生开裂和挤压破坏	石膏板发生大量开裂和挤压破坏、栓钉屈曲
	轻钢龙骨石膏板, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	轻微裂缝	石膏板发生开裂和挤压破坏	石膏板发生大量开裂和挤压破坏、栓钉屈曲
	轻钢龙骨石膏板, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	轻微裂缝	石膏板发生开裂和挤压破坏	石膏板发生大量开裂和挤压破坏、栓钉屈曲
	木龙骨石膏板, 到顶, 上、下端固定	紧固件或节点油漆开裂	石膏板发生局部或整齐的平面外屈曲或挤压破坏	石膏板发生大量开裂和挤压破坏、栓钉屈曲

表 E.1 (续)

构件	分组	损伤状态等级		
		1 级	2 级	3 级
楼梯	预制钢楼梯,非抗震节点	局部钢构件屈服	钢材屈曲,腹板开裂	失去承载能力,节点或焊接破坏
	非单片式预制混凝土楼梯构件,非抗震节点	局部混凝土开裂、剥落、局部钢筋屈服	结构性破坏,但承载力未受损,大量混凝土开裂、压碎、钢筋屈服	失去承载能力,大量混凝土压坏,节点破坏
	钢支撑与混凝土踏步组合楼梯,非抗震节点	局部钢构件屈服	钢材屈曲,腹板开裂	失去承载能力,节点或焊接破坏
隔墙饰面	石膏板+墙纸,到顶,上、下端固定	—	—	墙纸变形、撕裂
	石膏板+墙纸,不到顶,下端固定、上端侧向支撑	—	—	墙纸变形、撕裂
	石膏板+墙纸,到顶,下端固定,上端滑槽	—	—	墙纸变形、撕裂
	石膏板+瓷砖,到顶,上、下端固定	—	瓷砖和接缝轻微裂缝	瓷砖和接缝开裂
	石膏板+瓷砖,不到顶,下端固定、上端侧向支撑	—	瓷砖和接缝轻微裂缝	瓷砖和接缝开裂
	石膏板+瓷砖,到顶,下端固定,上端滑槽	—	瓷砖和接缝轻微裂缝	瓷砖和接缝开裂
	大理石或木饰面,到顶,上、下端固定	—	大理石/木板轻微裂缝	大理石/木板开裂
	大理石或木饰面,不到顶,下端固定、上端侧向支撑	—	大理石/木板轻微裂缝	大理石/木板开裂
玻璃幕墙	大理石或木饰面,到顶,下端固定,上端滑槽	—	大理石/木板轻微裂缝	大理石/木板开裂
	普通框架式单片玻璃幕墙	—	玻璃开裂	玻璃从框架中掉落
	普通框架式幕墙,双层隔热型玻璃幕墙	—	玻璃开裂	玻璃从框架中掉落
	框架式幕墙,双层隔热钢化玻璃,厚度 6 mm+13 mm	封条破坏	玻璃开裂	玻璃从框架中掉落
	框架式幕墙、单片夹胶钢化玻璃,厚度 6 mm	—	玻璃开裂	玻璃从框架中掉落
	框架式幕墙、单片非夹胶钢化玻璃,厚度 6 mm	—	玻璃开裂	玻璃从框架中掉落
	框架式幕墙,双层隔热型玻璃幕墙,厚度 6 mm+6 mm	封条破坏	玻璃开裂	玻璃从框架中掉落
	框架式幕墙,双层隔热钢化玻璃,厚度 6 mm+12 mm	—	玻璃开裂	玻璃从框架中掉落

表 E.1 (续)

构件	分组	损伤状态等级		
		1 级	2 级	3 级
电 梯	曳引电梯	—	—	系统各部件的锚固破坏或牵引绳破坏
	液压电梯	—	—	控制系统破坏
冷 水 管	管径: >80 mm; 仅垂直支撑	—	法兰连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: >80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	法兰连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: >80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	侧向支撑破坏, 每 300 m 有一处	—
热 水 管	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	多个支撑破坏, 每 300 m 内破坏的管道长度 20 m
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	多个支撑破坏, 每 300 m 内破坏的管道长度 20 m
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	法兰连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	法兰连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	侧向支撑破坏, 每 300 m 有一处	竖向支撑破坏, 每 300 m 有一处
污 水 管	铸铁管, 柔性连接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	多个支撑破坏, 每 300 m 内破坏的管道长度 20 m
	铸铁管, 柔性连接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	—
	铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 管道破坏	—	—	节点破坏, 每 300 m 有一处
	铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	多个支撑破坏, 每 300 m 内破坏的管道长度 20 m
	铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	—	节点破坏, 每 300 m 有一处
	铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	—

表 E.1 (续)

构件	分组	损伤状态等级		
		1 级	2 级	3 级
蒸汽管道	管径: < 80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: < 80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	多个支撑破坏, 每 300 m 内破坏的管道长度 20 m
	管径: < 80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: < 80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	—
	管径: ≥ 80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	法兰连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: ≥ 80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	法兰连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: ≥ 80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	侧向支撑破坏, 每 300 m 有一处	竖向支撑破坏, 每 300 m 有一处
消防喷淋水管	水平支管, 无支撑	—	喷水或连接处少量渗漏滴水, 每 300 m 有一处	连接破坏, 大量渗漏, 每 300 m 有一处
	水平支管, 有支撑	—	喷水或连接处少量渗漏滴水, 每 300 m 有一处	连接破坏, 大量渗漏, 每 300 m 有一处
喷头立管	嵌入无支撑柔性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	—	连接处喷水或渗漏, 渗漏率 1%	连接破坏, 大量渗漏, 破坏率 1%
	嵌入无支撑刚性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	—	连接处喷水或渗漏, 渗漏率 1%	连接破坏, 大量渗漏, 破坏率 1%
	嵌入有支撑柔性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	—	连接处喷水或渗漏, 渗漏率 1%	连接破坏, 大量渗漏, 破坏率 1%
	无吊顶、长度不超过 2 m	—	连接处喷水或渗漏, 渗漏率 1%	连接破坏, 大量渗漏, 破坏率 1%
冷却水管	管径: < 80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: < 80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	多个支撑破坏, 每 300 m 内破坏的管道长度 20 m
	管径: < 80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: < 80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	单个支撑破坏, 每 600 m 不超过 1 个(每 6 m 一个支撑)	—
	管径: ≥ 80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	法兰连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: ≥ 80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	垂直支撑破坏, 每 300 m 有一处	—

表 E.1 (续)

构件	分组	损伤状态等级		
		1 级	2 级	3 级
冷却水管	管径: ≥ 80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	法兰连接处有渗漏, 每 300 m 有一处	管道破裂, 每 300 m 有一处
	管径: ≥ 80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	侧向支撑破坏, 每 300 m 有一处	竖向支撑破坏, 每 300 m 有一处
冷水机组	容量: ≤ 100 t; 无锚固, 无隔振	—	—	受损, 需要修复冷水机组或附件
	容量: > 100 t ~ 350 t; 无锚固, 无隔振	—	—	受损, 需要修复冷水机组或附件
	容量: > 350 t ~ 750 t; 无锚固, 无隔振	—	—	受损, 需要修复冷水机组或附件
	容量: > 750 t $\sim 1\,000$ t; 无锚固, 无隔振	—	—	受损, 需要修复冷水机组或附件
	容量: ≤ 100 t; 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	容量: > 100 t ~ 350 t; 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	容量: > 350 t ~ 750 t; 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	容量: > 750 t $\sim 1\,000$ t; 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
冷却塔	容量: ≤ 100 t; 无锚固, 无隔振	—	—	设备及附属管件受损
	容量: > 100 t ~ 350 t; 无锚固, 无隔振	—	—	设备及附属管件受损
	容量: > 350 t ~ 750 t; 无锚固, 无隔振	—	—	设备及附属管件受损
	容量: > 750 t $\sim 1\,000$ t; 无锚固, 无隔振	—	—	设备及附属管件受损
	容量: ≤ 100 t; 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	容量: > 100 t ~ 350 t; 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	容量: > 350 t ~ 750 t; 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	容量: > 750 t $\sim 1\,000$ t; 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏

表 E.1 (续)

构件	分组	损伤状态等级		
		1 级	2 级	3 级
空气压缩机	小型, 无锚固, 无隔振, 非医用	—	—	电机损坏, 需要修复或替换
	大型, 无锚固, 无隔振, 非医用	—	—	电机损坏, 需要修复或替换
	小型, 无锚固, 无隔振, 医用	—	—	电机损坏, 需要修复或替换
	大型, 无锚固, 无隔振, 医用	—	—	电机损坏, 需要修复或替换
	小型, 有锚固或隔振, 非医用	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	大型, 有锚固或隔振, 非医用	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	小型, 有锚固或隔振, 医用	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	大型, 有锚固或隔振, 医用	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
暖通空调管道风机	隔振+水平支撑	—	波纹管破坏, 需修复波纹管	风机脱离隔离器, 修复风机、隔振器以及管道
	隔振+水平及垂直支撑	—	波纹管破坏, 需修复波纹管	风机脱离隔离器, 修复风机、隔振器以及管道
	未隔振+水平支撑	—	—	波纹管破坏, 需替换波纹管
	未隔振+水平及垂直支撑	—	—	波纹管破坏, 需替换波纹管
暖通空调风管	镀锌钢管, 截面积 $<0.6\text{ m}^2$, 水平支撑	—	单个支撑破坏, 修复支撑及附近的管道	数个连续的支撑破坏, 替换破坏的管道及支撑
	镀锌钢管, 截面积 $<0.6\text{ m}^2$, 水平+垂直支撑	—	单个支撑破坏, 修复支撑及附近的管道	数个连续的支撑破坏, 替换破坏的管道及支撑
	镀锌钢管, 截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$, 水平支撑	—	单个支撑破坏, 修复支撑及附近的管道	数个连续的支撑破坏, 替换破坏的管道及支撑
	镀锌钢管, 截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$, 水平+垂直支撑	—	单个支撑破坏, 修复支撑及附近的管道	数个连续的支撑破坏, 替换破坏的管道及支撑
	不锈钢管, 截面积 $<0.6\text{ m}^2$, 水平支撑	—	单个支撑破坏, 修复支撑及附近的管道	数个连续的支撑破坏, 替换破坏的管道及支撑
	不锈钢管, 截面积 $<0.6\text{ m}^2$, 水平+垂直支撑	—	单个支撑破坏, 修复支撑及附近的管道	数个连续的支撑破坏, 替换破坏的管道及支撑
	不锈钢管, 截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$, 水平支撑	—	单个支撑破坏, 修复支撑及附近的管道	数个连续的支撑破坏, 替换破坏的管道及支撑
	不锈钢管, 截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$, 水平+垂直支撑	—	单个支撑破坏, 修复支撑及附近的管道	数个连续的支撑破坏, 替换破坏的管道及支撑

表 E.1 (续)


构件	分组	损伤状态等级		
		1 级	2 级	3 级
支管及风口	位于吊顶内,无独立安装绳	—	—	支管或风口掉落,需要替换风口、支管及附近的吊顶
	无吊顶,无独立安全绳,水平支撑	—	—	支管或风口掉落,需要替换风口、支管
	无吊顶,无独立安全绳,水平+垂直支撑	—	—	支管或风口掉落,需要替换风口、支管
△△△箱带卷盘	水平或垂直支撑 	—	—	线圈与管道的连接破坏,热水泄漏
空调系统风机	无隔振,无锚固	—	—	设备破坏,需替换设备
	隔振,无限位措施	—	—	设备破坏或锚固破坏或同时破坏
	刚性锚固或隔振且采取限位措施	—	—	设备破坏或锚固破坏或同时破坏
空气处理机组	风量: $\leq 2.35 \text{ m}^3/\text{s}$; 无锚固,无隔振	—	—	设备或附属管道破坏,需要替换设备或管道
	风量: $> 2.35 \text{ m}^3/\text{s} \sim 4.7 \text{ m}^3/\text{s}$; 无锚固,无隔振	—	—	设备或附属管道破坏,需要替换设备或管道
	风量: $> 4.7 \text{ m}^3/\text{s} \sim 12 \text{ m}^3/\text{s}$; 无锚固,无隔振	—	—	设备或附属管道破坏,需要替换设备或管道
	风量: $> 12 \text{ m}^3/\text{s} \sim 18 \text{ m}^3/\text{s}$; 无锚固,无隔振	—	—	设备或附属管道破坏,需要替换设备或管道
	风量: $\leq 2.35 \text{ m}^3/\text{s}$; 有锚固	—	—	锚固未破坏,设备不能工作,附属管道破坏,需要修复或替换
	风量: $> 2.35 \text{ m}^3/\text{s} \sim 4.7 \text{ m}^3/\text{s}$; 有锚固	—	—	锚固未破坏,设备不能工作,附属管道破坏,需要修复
	风量: $> 4.7 \text{ m}^3/\text{s} \sim 12 \text{ m}^3/\text{s}$; 有锚固	—	—	锚固未破坏,设备不能工作,附属管道破坏,需要修复
	风量: $> 12 \text{ m}^3/\text{s} \sim 18 \text{ m}^3/\text{s}$; 有锚固	—	—	锚固未破坏,设备不能工作,附属管道破坏,需要修复
变压器	$\leq 100 \text{ kVA}$, 无锚固,无隔振	—	—	设备不能运行,需要修复/替换
	$> 100 \text{ kVA} \sim 350 \text{ kVA}$, 无锚固,无隔振	—	—	设备不能运行,需要修复/替换
	$> 350 \text{ kVA} \sim 750 \text{ kVA}$, 无锚固,无隔振	—	—	设备不能运行,需要修复/替换

表 E.1 (续)

构件	分组	损伤状态等级		
		1 级	2 级	3 级
变 压 器	>750 kVA~1 500 kVA, 无锚固, 无隔振	—	—	设备不能运行, 需要修复/替换
	≤100 kVA, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	>100 kVA~350 kVA, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	>350 kVA~750 kVA, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
	>750 kVA~1 500 kVA, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏或设备破坏, 或同时破坏
电 机 控 制 箱	无锚固, 无隔振	—	—	锚固破坏, 需要修复
	有锚固或隔振	—	—	锚固和设备同时受损, 需要修复/替换
配 电 盘 / 低 压 开 关 设 备	100 A~350 A, 无锚固, 无隔振	—	—	设备不能运行, 需要修复/替换
	>350 A~750 A, 无锚固, 无隔振	—	—	设备不能运行, 需要修复/替换
	>750 A~1 200 A, 无锚固, 无隔振	—	—	设备不能运行, 需要修复/替换
	>1 200 A~2 000 A, 无锚固, 无隔振	—	—	设备不能运行, 需要修复/替换
	100 A~350 A, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏, 或设备破坏或同时破坏
	>350 A~750 A, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏, 或设备破坏或同时破坏
	>750 A~1 200 A, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏, 或设备破坏或同时破坏
	>1 200 A~2 000 A, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏, 或设备破坏或同时破坏
柴 油 发 电 机	100 kVA~350 kVA, 无锚固或隔振	—	设备不能运行, 需要修复	—
	>350 kVA~750 kVA, 无锚固或隔振	—	设备不能运行, 需要修复	—
	>750 kVA~1 200 kVA, 无锚固或隔振	—	设备不能运行, 需要修复	—
	>1 200 kVA~2 000 kVA, 无锚固或隔振	—	设备不能运行, 需要修复	—

表 E.1 (续)

构件	分组	损伤状态等级		
		1 级	2 级	3 级
柴油发电机	100 kVA ~ 350 kVA, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏, 或设备破坏或同时破坏
	>350 kVA ~ 750 kVA, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏, 或设备破坏或同时破坏
	>750 kVA ~ 1 200 kVA, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏, 或设备破坏或同时破坏
	>1 200 kVA ~ 2 000 kVA, 有锚固或隔振	—	—	锚固破坏, 或设备破坏或同时破坏

E.2 非结构构件损伤状态判别标准

E.2.1 对于各类非结构构件, 其工程需求参数主要包括层间位移角或楼面加速度的中位值和标准差。

E.2.2 位移敏感型非结构构件的损伤状态等级应根据时程分析得到的构件所在层的层间位移角 θ 按表 E.2 确定。

表 E.2 位移敏感型非结构构件基于层间位移角的损伤状态判别标准

损伤状态等级	判别标准
0 级	$\theta \leq \theta_1$
1 级	$\theta_1 < \theta \leq \theta_2$
2 级	$\theta_2 < \theta \leq \theta_3$
3 级	$\theta > \theta_3$
注 1: θ 为地震作用下, 构件所在层所经历的最大层间位移角。 注 2: θ_1 、 θ_2 和 θ_3 分别为非结构构件损伤状态等级为 1 级~3 级对应的层间位移角限值。	

E.2.3 加速度敏感型非结构构件的损伤状态等级应根据时程分析得到的楼面加速度峰值 PFA 按表 E.3 确定。

表 E.3 加速度敏感型非结构构件基于楼面加速度的损伤状态判别标准

损伤状态等级	判别标准
0 级	$PFA \leq PFA_1$
1 级	$PFA_1 < PFA \leq PFA_2$
2 级	$PFA_2 < PFA \leq PFA_3$
3 级	$PFA > PFA_3$
注 1: PFA 为地震作用下, 构件安装位置所经历的最大楼面加速度。 注 2: PFA_1 、 PFA_2 和 PFA_3 分别为非结构构件损伤状态等级为 1 级~3 级对应的楼面加速度限值。	

E.3 非结构构件修复费用计算中的系数取值

- E.3.1 非结构构件的损失系数应为非结构构件处于某一损伤状态时,其经济损失与造价的相对比值。
- E.3.2 非结构构件的经济损失应为采用常规维修方法,将受损构件恢复至震前状态所需要的直接经济费用,包括人工费、材料费、机械费等。
- E.3.3 非结构构件的造价是指按照现行定额制作非结构构件所需的费用。
- E.3.4 非结构构件的损失系数应按表 E.4 取值。

表 E.4 非结构构件损失系数

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的损失系数		
			1 级	2 级	3 级
吊顶	面积:≤25 m ² ;仅垂直支撑	m ²	0.10	0.50	1.00
	面积:≤25 m ² ;垂直支撑与侧向支撑	m ²	0.10	0.50	1.00
	面积:>25 m ² ~95 m ² ;仅垂直支撑	m ²	0.10	0.50	1.00
	面积:>25 m ² ~95 m ² ;垂直支撑与侧向支撑	m ²	0.10	0.50	1.00
	面积:>95 m ² ~230 m ² ;仅垂直支撑	m ²	0.10	0.50	1.00
	面积:>95 m ² ~230 m ² ;垂直支撑与侧向支撑	m ²	0.10	0.50	1.00
	面积:>230 m ² ;仅垂直支撑	m ²	0.10	0.50	1.00
	面积:>230 m ² ;垂直支撑与侧向支撑	m ²	0.10	0.50	1.00
悬挂式灯具	非抗震设计	个	—	—	1.00
	抗震设计	个	—	—	1.00
填充墙	轻钢龙骨石膏板,到顶,上、下端固定	m ²	0.22	0.50	1.00
	轻钢龙骨石膏板,不到顶,下端固定、上端侧向支撑	m ²	0.22	0.50	1.00
	轻钢龙骨石膏板,到顶,下端固定,上端滑槽	m ²	0.22	0.50	1.00
	木龙骨石膏板,到顶,上、下端固定	m ²	0.22	0.50	1.00
楼梯	预制钢楼梯,非抗震节点	个	0.02	0.14	1.00
	非单片式预制混凝土楼梯构件,非抗震节点	个	0.03	0.16	1.00
	钢支撑与混凝土踏步组合楼梯,非抗震节点	个	0.02	0.13	1.00
隔墙饰面	石膏板+墙纸,到顶,上、下端固定	m ²	—	—	1.00
	石膏板+墙纸,不到顶,下端固定、上端侧向支撑	m ²	—	—	1.00
	石膏板+墙纸,到顶,下端固定,上端滑槽	m ²	—	—	1.00
	石膏板+瓷砖,到顶,上、下端固定	m ²	—	0.24	1.00
	石膏板+瓷砖,不到顶,下端固定、上端侧向支撑	m ²	—	0.24	1.00
	石膏板+瓷砖,到顶,下端固定,上端滑槽	m ²	—	0.24	1.00
	大理石或木饰面,到顶,上、下端固定	m ²	—	0.42	1.00
	大理石或木饰面,不到顶,下端固定、上端侧向支撑	m ²	—	0.42	1.00
	大理石或木饰面,到顶,下端固定,上端滑槽	m ²	—	0.42	1.00

表 E.4 (续)

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的损失系数		
			1 级	2 级	3 级
玻璃幕墙	普通框架式单片玻璃幕墙	m ²	—	1.00	1.00
	普通框架式幕墙, 双层隔热型玻璃幕墙	m ²	—	1.00	1.00
	框架式幕墙, 双层隔热钢化玻璃, 厚度 6 mm+13 mm	m ²	0.72	1.00	1.00
	框架式幕墙、单片夹胶钢化玻璃, 厚度 6 mm	m ²	—	1.00	1.00
	框架式幕墙、单片非夹胶钢化玻璃, 厚度 6 mm	m ²	—	1.00	1.00
	框架式幕墙, 双层隔热型玻璃幕墙, 厚度 6 mm+6 mm	m ²	0.72	1.00	1.00
	框架式幕墙, 双层隔热钢化玻璃, 厚度 6 mm+12 mm	m ²	—	1.00	1.00
电梯	曳引电梯	个	—	—	0.52
	液压电梯	个	—	—	0.44
冷水管	管径: >80 mm; 仅垂直支撑	m	—	0.11	1.00
	管径: >80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: >80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.15	—
热水管	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.10	1.00
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.10	—
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.11	0.11
污水管	铸铁管, 柔性连接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.15	1.00
	铸铁管, 柔性连接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.15	—
	铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	—	0.10
	铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.12	1.00
	铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	—	0.10
	铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.15	0.15
蒸汽管道	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.10	0.11
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.10	—
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.11	0.11

表 E.4 (续)

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的损失系数		
			1 级	2 级	3 级
消防喷淋水管	水平支管,无支撑	m	—	0.13	1.00
	水平支管,有支撑	m	—	0.13	1.00
喷头立管	嵌入无支撑柔性可拆卸吊顶,长度不超过 2 m	个	—	1.00	1.00
	嵌入无支撑刚性可拆卸吊顶,长度不超过 2 m	个	—	1.00	1.00
	嵌入有支撑柔性可拆卸吊顶,长度不超过 2 m	个	—	1.00	1.00
	无吊顶,长度不超过 2 m	个	—	1.00	1.00
冷却水管	管径: <80 mm;仅垂直支撑,管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: <80 mm;仅垂直支撑,支撑破坏	m	—	0.10	1.00
	管径: <80 mm;垂直与侧向支撑,管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: <80 mm;垂直与侧向支撑,支撑破坏	m	—	0.10	—
	管径: ≥80 mm;仅垂直支撑,管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: ≥80 mm;仅垂直支撑,支撑破坏	m	—	0.11	—
	管径: ≥80 mm;垂直与侧向支撑,管道破坏	m	—	0.11	1.00
	管径: ≥80 mm;垂直与侧向支撑,支撑破坏	m	—	0.11	0.11
冷水机组	容量: ≤100 t;无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	容量: >100 t~350 t;无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	容量: >350 t~750 t;无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	容量: >750 t~1 000 t;无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	容量: ≤100 t;有锚固或隔振	个	—	—	0.65
	容量: >100 t~350 t;有锚固或隔振	个	—	—	0.65
	容量: >350 t~750 t;有锚固或隔振	个	—	—	0.65
	容量: >750 t~1 000 t;有锚固或隔振	个	—	—	0.65
冷却塔	容量: ≤100 t;无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	容量: >100 t~350 t;无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	容量: >350 t~750 t;无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	容量: >750 t~1 000 t;无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	容量: ≤100 t;有锚固或隔振	个	—	—	0.65
	容量: >100 t~350 t;有锚固或隔振	个	—	—	0.65
	容量: >350 t~750 t;有锚固或隔振	个	—	—	0.65
	容量: >750 t~1 000 t;有锚固或隔振	个	—	—	0.65

表 E.4 (续)

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的损失系数		
			1 级	2 级	3 级
空气压缩机	小型,无锚固,无隔振,非医用	个	—	—	0.66
	大型,无锚固,无隔振,非医用	个	—	—	0.71
	小型,无锚固,无隔振,医用	个	—	—	0.58
	大型,无锚固,无隔振,医用	个	—	—	0.59
	小型,有锚固或隔振,非医用	个	—	—	0.30
	大型,有锚固或隔振,非医用	个	—	—	0.54
	小型,有锚固或隔振,医用	个	—	—	0.46
	大型,有锚固或隔振,医用	个	—	—	0.46
暖通空调管道 风机	隔振+水平支撑	个	—	0.27	1.00
	隔振+水平及垂直支撑	个	—	0.27	1.00
	未隔振+水平支撑	个	—	—	0.27
	未隔振+水平及垂直支撑	个	—	—	0.27
暖通空调风管	镀锌钢管,截面积 $<0.6\text{ m}^2$,水平支撑	m	—	0.11	1.00
	镀锌钢管,截面积 $<0.6\text{ m}^2$,水平+垂直支撑	m	—	0.11	1.00
	镀锌钢管,截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$,水平支撑	m	—	0.12	1.00
	镀锌钢管,截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$,水平+垂直支撑	m	—	0.12	1.00
	不锈钢管,截面积 $<0.6\text{ m}^2$,水平支撑	m	—	0.08	1.00
	不锈钢管,截面积 $<0.6\text{ m}^2$,水平+垂直支撑	m	—	0.08	1.00
	不锈钢管,截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$,水平支撑	m	—	0.09	1.00
	不锈钢管,截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$,水平+垂直支撑	m	—	0.09	1.00
支管及风口	位于吊顶内,无独立安装绳	个	—	—	1.00
	无吊顶,无独立安全绳,水平支撑	个	—	—	1.00
	无吊顶,无独立安全绳,水平+垂直支撑	个	—	—	1.00
VAV 箱带卷盘	水平或垂直支撑	个	—	—	1.00
空调系统风机	无隔振,无锚固	个	—	—	1.00
	隔振,无限位措施	个	—	—	1.00
	刚性锚固或隔振且采取限位措施	个	—	—	1.00
空气处理机组	风量: $\leq 2.35\text{ m}^3/\text{s}$;无锚固,无隔振	个	—	—	0.37
	风量: $> 2.35\text{ m}^3/\text{s} \sim 4.7\text{ m}^3/\text{s}$;无锚固,无隔振	个	—	—	0.36
	风量: $> 4.7\text{ m}^3/\text{s} \sim 12\text{ m}^3/\text{s}$;无锚固,无隔振	个	—	—	0.35
	风量: $> 12\text{ m}^3/\text{s} \sim 18\text{ m}^3/\text{s}$;无锚固,无隔振	个	—	—	0.35
	风量: $\leq 2.35\text{ m}^3/\text{s}$;有锚固	个	—	—	0.33
	风量: $> 2.35\text{ m}^3/\text{s} \sim 4.7\text{ m}^3/\text{s}$;有锚固	个	—	—	0.33
	风量: $> 4.7\text{ m}^3/\text{s} \sim 12\text{ m}^3/\text{s}$;有锚固	个	—	—	0.32
	风量: $> 12\text{ m}^3/\text{s} \sim 18\text{ m}^3/\text{s}$;有锚固	个	—	—	0.32

表 E.4 (续)

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的损失系数		
			1 级	2 级	3 级
变压器	≤100 kVA,无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	>100 kVA~350 kVA,无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	>350 kVA~750 kVA,无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	>750 kVA~1 500 kVA,无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	≤100 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	0.64
	>100 kVA~350 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	0.67
	>350 kVA~750 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	0.67
	>750 kVA~1 500 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	0.66
电机控制箱	无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	有锚固或隔振	个	—	—	1.00
配电盘/低压 开关设备	100 A~350 A,无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	>350 A~750 A,无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	>750 A~1 200 A,无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	>1 200 A~2 000 A,无锚固,无隔振	个	—	—	1.00
	100 A~350 A,有锚固或隔振	个	—	—	0.67
	>350 A~750 A,有锚固或隔振	个	—	—	0.62
	>750 A~1 200 A,有锚固或隔振	个	—	—	0.62
	>1 200 A~2 000 A,有锚固或隔振	个	—	—	0.63
柴油发电机	100 kVA~350 kVA,无锚固或隔振	个	—	0.01	—
	>350 kVA~750 kVA,无锚固或隔振	个	—	0.00	—
	>750 kVA~1 200 kVA,无锚固或隔振	个	—	0.00	—
	>1 200 kVA~2 000 kVA,无锚固或隔振	个	—	0.00	—
	100 kVA~350 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	0.16
	>350 kVA~750 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	0.16
	>750 kVA~1 200 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	0.16
	>1 200 kVA~2 000 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	0.16

E.3.5 非结构构件的修复系数应为非结构构件处于某一损伤状态时,其修复费用与经济损失的相对比值。同类非结构构件在某一损伤状态下的修复系数为不考虑构件体积、所在地区等因素影响的常数,其取值应按表 E.5 确定。

表 E.5 不同损伤状态下非结构构件的修复系数

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的修复系数		
			1 级	2 级	3 级
吊顶	面积: $\leq 25 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	m^2	1.93	1.49	1.31
	面积: $\leq 25 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	m^2	1.93	1.49	1.31
	面积: $> 25 \text{ m}^2 \sim 95 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	m^2	1.93	1.49	1.31
	面积: $> 25 \text{ m}^2 \sim 95 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	m^2	1.93	1.49	1.31
	面积: $> 95 \text{ m}^2 \sim 230 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	m^2	1.93	1.49	1.31
	面积: $> 95 \text{ m}^2 \sim 230 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	m^2	1.93	1.49	1.31
	面积: $> 230 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	m^2	1.93	1.49	1.31
	面积: $> 230 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	m^2	1.93	1.49	1.31
悬挂式灯具	非抗震设计	个	—	—	1.98
	抗震设计	个	—	—	1.98
填充墙	轻钢龙骨石膏板, 到顶, 上、下端固定	m^2	1.15	1.21	1.27
	轻钢龙骨石膏板, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	m^2	1.15	1.21	1.27
	轻钢龙骨石膏板, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	m^2	1.15	1.21	1.27
	木龙骨石膏板, 到顶, 上、下端固定	m^2	1.15	1.21	1.27
楼梯	预制钢楼梯, 非抗震节点	个	1.00	1.80	1.29
	非单片式预制混凝土楼梯构件, 非抗震节点	个	1.40	1.44	1.24
	钢支撑与混凝土踏步组合楼梯, 非抗震节点	个	2.00	1.80	1.27
隔墙饰面	石膏板+墙纸, 到顶, 上、下端固定	m^2	—	—	1.00
	石膏板+墙纸, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	m^2	—	—	1.00
	石膏板+墙纸, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	m^2	—	—	1.00
	石膏板+瓷砖, 到顶, 上、下端固定	m^2	—	1.00	1.00
	石膏板+瓷砖, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	m^2	—	1.00	1.00
	石膏板+瓷砖, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	m^2	—	1.00	1.00
	大理石或木饰面, 到顶, 上、下端固定	m^2	—	1.00	1.00
	大理石或木饰面, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	m^2	—	1.00	1.00
	大理石或木饰面, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	m^2	—	1.00	1.00
玻璃幕墙	普通框架式单片玻璃幕墙	m^2	—	1.67	1.67
	普通框架式幕墙, 双层隔热型玻璃幕墙	m^2	—	1.40	1.40
	框架式幕墙, 双层隔热钢化玻璃, 厚度 6 mm+13 mm	m^2	1.67	1.40	1.40
	框架式幕墙、单片夹胶钢化玻璃, 厚度 6 mm	m^2	—	1.40	1.40
	框架式幕墙、单片非夹胶钢化玻璃, 厚度 6 mm	m^2	—	1.67	1.67
	框架式幕墙, 双层隔热型玻璃幕墙, 厚度 6 mm+6 mm	m^2	1.67	1.40	1.40
	框架式幕墙, 双层隔热钢化玻璃, 厚度 6 mm+12 mm	m^2	—	1.40	1.40

表 E.5 (续)

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的修复系数		
			1 级	2 级	3 级
电梯	曳引电梯	个	—	—	1.00
	液压电梯	个	—	—	1.00
冷水管	管径: >80 mm; 仅垂直支撑	m	—	2.33	1.34
	管径: >80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	2.33	1.34
	管径: >80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	1.67	—
热水管	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.49
	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	1.49
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.49
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	—
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.49
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.49
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	1.49
污水管	铸铁管, 柔性连接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	2.00	1.34
	铸铁管, 柔性连接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	2.00	—
	铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	—	2.00
	铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	2.00	1.34
	铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	—	2.00
	铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	2.00	—
蒸汽管道	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	—
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	2.11
消防喷淋水管	水平支管, 无支撑	m	—	2.11	1.34
	水平支管, 有支撑	m	—	2.11	1.34
喷头立管	嵌入无支撑柔性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	个	—	2.11	1.34
	嵌入无支撑刚性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	个	—	2.11	1.34
	嵌入有支撑柔性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	个	—	2.11	1.34
	无吊顶, 长度不超过 2 m	个	—	2.11	1.34

表 E.5 (续)

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的修复系数		
			1 级	2 级	3 级
冷却水管	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	—
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	—
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	2.11	1.34
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	2.11	2.11
冷水机组	容量: ≤100 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	1.03
	容量: >100 t~350 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	1.02
	容量: >350 t~750 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	1.02
	容量: >750 t~1 000 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	1.02
	容量: ≤100 t 有锚固或隔振	个	—	—	1.03
	容量: >100 t~350 t 有锚固或隔振	个	—	—	1.02
	容量: >350 t~750 t 有锚固或隔振	个	—	—	1.02
	容量: >750 t~1 000 t 有锚固或隔振	个	—	—	1.02
冷却塔	容量: ≤100 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	1.06
	容量: >100 t~350 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	1.04
	容量: >350 t~750 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	1.05
	容量: >750 t~1 000 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	1.03
	容量: ≤100 t 有锚固或隔振	个	—	—	1.06
	容量: >100 t~350 t 有锚固或隔振	个	—	—	1.04
	容量: >350 t~750 t 有锚固或隔振	个	—	—	1.05
	容量: >750 t~1 000 t 有锚固或隔振	个	—	—	1.03
空气压缩机	小型, 无锚固, 无隔振, 非医用	个	—	—	1.17
	大型, 无锚固, 无隔振, 非医用	个	—	—	1.05
	小型, 无锚固, 无隔振, 医用	个	—	—	1.06
	大型, 无锚固, 无隔振, 医用	个	—	—	1.02
	小型, 有锚固或隔振, 非医用	个	—	—	1.32
	大型, 有锚固或隔振, 非医用	个	—	—	1.06
	小型, 有锚固或隔振, 医用	个	—	—	1.08
	大型, 有锚固或隔振, 医用	个	—	—	1.02

表 E.5 (续)

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的修复系数		
			1 级	2 级	3 级
暖通空调管道 风机	隔振+水平支撑	个	—	1.40	1.08
	隔振+水平及垂直支撑	个	—	1.40	1.08
	未隔振+水平支撑	个	—	—	1.08
	未隔振+水平及垂直支撑	个	—	—	1.08
暖通空调风管	镀锌钢管,截面积 $<0.6\text{ m}^2$,水平支撑	m	—	1.44	1.03
	镀锌钢管,截面积 $<0.6\text{ m}^2$,水平+垂直支撑	m	—	1.44	1.03
	镀锌钢管,截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$,水平支撑	m	—	1.27	1.03
	镀锌钢管,截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$,水平+垂直支撑	m	—	1.27	1.03
	不锈钢管,截面积 $<0.6\text{ m}^2$,水平支撑	m	—	1.19	1.01
	不锈钢管,截面积 $<0.6\text{ m}^2$,水平+垂直支撑	m	—	1.19	1.01
	不锈钢管,截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$,水平支撑	m	—	1.11	1.01
	不锈钢管,截面积 $\geq 0.6\text{ m}^2$,水平+垂直支撑	m	—	1.11	1.01
支管及风口	位于吊顶内,无独立安装绳	个	—	—	1.50
	无吊顶,无独立安全绳,水平支撑	个	—	—	1.50
	无吊顶,无独立安全绳,水平+垂直支撑	个	—	—	1.50
VAV 箱带卷盘	水平或垂直支撑	个	—	—	1.17
空调系统风机	无隔振,无锚固	个	—	—	1.07
	隔振,无限位措施	个	—	—	1.07
	刚性锚固或隔振且采取限位措施	个	—	—	1.07
空气处理机组	风量: $\leq 2.35\text{ m}^3/\text{s}$;无锚固,无隔振	个	—	—	1.05
	风量: $> 2.35\text{ m}^3/\text{s} \sim 4.7\text{ m}^3/\text{s}$;无锚固,无隔振	个	—	—	1.06
	风量: $> 4.7\text{ m}^3/\text{s} \sim 12\text{ m}^3/\text{s}$;无锚固,无隔振	个	—	—	1.05
	风量: $> 12\text{ m}^3/\text{s} \sim 18\text{ m}^3/\text{s}$;无锚固,无隔振	个	—	—	1.04
	风量: $\leq 2.35\text{ m}^3/\text{s}$;有锚固	个	—	—	1.05
	风量: $> 2.35\text{ m}^3/\text{s} \sim 4.7\text{ m}^3/\text{s}$;有锚固	个	—	—	1.06
	风量: $> 4.7\text{ m}^3/\text{s} \sim 12\text{ m}^3/\text{s}$;有锚固	个	—	—	1.05
	风量: $> 12\text{ m}^3/\text{s} \sim 18\text{ m}^3/\text{s}$;有锚固	个	—	—	1.04
变压器	$\leq 100\text{ kVA}$,无锚固,无隔振	个	—	—	1.20
	$> 100\text{ kVA} \sim 350\text{ kVA}$,无锚固,无隔振	个	—	—	1.14
	$> 350\text{ kVA} \sim 750\text{ kVA}$,无锚固,无隔振	个	—	—	1.14
	$> 750\text{ kVA} \sim 1\,500\text{ kVA}$,无锚固,无隔振	个	—	—	1.12
	$\leq 100\text{ kVA}$,有锚固或隔振	个	—	—	1.17
	$> 100\text{ kVA} \sim 350\text{ kVA}$,有锚固或隔振	个	—	—	1.14
	$> 350\text{ kVA} \sim 750\text{ kVA}$,有锚固或隔振	个	—	—	1.13
	$> 750\text{ kVA} \sim 1\,500\text{ kVA}$,有锚固或隔振	个	—	—	1.12

表 E.5 (续)

构件	分组	计算单位	损伤状态等级对应的修复系数		
			1 级	2 级	3 级
电机控制箱	无锚固,无隔振	个	—	—	1.07
	有锚固或隔振	个	—	—	1.06
配电盘/低压 开关设备	100 A~350 A,无锚固,无隔振	个	—	—	1.16
	>350 A~750 A,无锚固,无隔振	个	—	—	1.20
	>750 A~1 200 A,无锚固,无隔振	个	—	—	1.20
	>1 200 A~2 000 A,无锚固,无隔振	个	—	—	1.14
	100 A~350 A,有锚固或隔振	个	—	—	1.15
	>350 A~750 A,有锚固或隔振	个	—	—	1.19
	>750 A~1 200 A,有锚固或隔振	个	—	—	1.19
	>1 200 A~2 000 A,有锚固或隔振	个	—	—	1.13
柴油发电机	100 kVA~350 kVA,无锚固或隔振	个	—	1.01	—
	>350 kVA~750 kVA,无锚固或隔振	个	—	1.02	—
	>750 kVA~1 200 kVA,无锚固或隔振	个	—	1.02	—
	>1 200 kVA~2 000 kVA,无锚固或隔振	个	—	1.01	—
	100 kVA~350 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	1.01
	>350 kVA~750 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	1.01
	>750 kVA~1 200 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	1.02
	>1 200 kVA~2 000 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	1.01

E.3.6 非结构构件修复费用的楼层影响系数应按表 E.6 取值。

表 E.6 非结构构件修复费用的楼层影响系数

楼层	楼层影响系数
12 层以上	1.10
7 层~12 层	1.08
4 层~6 层	1.05
1 层~3 层	1.00

E.3.7 同类震损状态的非结构构件的总修复费用应按其工程量考虑折减,折减系数按表 E.7 取值。

表 E.7 非结构构件的工程量折减系数

非结构构件名称	计算单位	构件数量对应的折减系数		
		1	2~9	≥10
吊顶	m ²	1.00	插值	0.96
悬挂式灯具	个	1.00	插值	0.96

表 E.7（续）

非结构构件名称	计算单位	构件数量对应的折减系数		
		1	2~9	≥10
填充墙	m ²	1.00	插值	0.89
楼梯	个	1.00	插值	0.96
隔墙饰面	m ²	1.00	插值	0.89
玻璃幕墙	m ²	1.00	插值	0.87
电梯	个	1.00	插值	1.00
冷水管	m	1.00	插值	0.93
热水管	m	1.00	插值	0.93
污水管	m	1.00	插值	0.93
蒸汽管道	m	1.00	插值	0.93
消防喷淋水管	m	1.00	插值	0.93
喷头立管	个	1.00	插值	0.93
冷却水管	m	1.00	插值	0.93
冷水机组	个	1.00	插值	1.00
冷却塔	个	1.00	插值	1.00
空气压缩机	个	1.00	插值	0.96
暖通空调管道风机	个	1.00	插值	0.96
暖通空调风管	m	1.00	插值	0.93
支管及风口	个	1.00	插值	0.96
VAV 箱带卷盘	个	1.00	插值	0.96
空调系统风机	个	1.00	插值	0.96
空气处理机组	个	1.00	插值	0.96
变压器	个	1.00	插值	1.00
电机控制箱	个	1.00	插值	0.96
配电盘/低压开关设备	个	1.00	插值	0.96
柴油发电机	个	1.00	插值	1.00

E.4 非结构构件修复工时计算中的系数取值

E.4.1 非结构构件的修复工时应在人工、材料、设备等修复条件完全具备的前提下，由单个工人完成处于某一损伤状态的单一非结构构件的功能性恢复所需要的时间，单位为天。

E.4.2 非结构构件修复工时应按表 E.8 取值。

表 E.8 非结构构件修复工时

构件 (修复工作编号)	分组	计算 单位	损伤状态等级对应的修复工时		
			1 级	2 级	3 级
吊顶 (W ₅)	面积: ≤25 m ² ; 仅垂直支撑	m ²	0.015	0.116	0.240
	面积: ≤25 m ² ; 垂直支撑与侧向支撑	m ²	0.015	0.116	0.240
	面积: >25 m ² ~95 m ² ; 仅垂直支撑	m ²	0.014	0.111	0.230
	面积: >25 m ² ~95 m ² ; 垂直支撑与侧向支撑	m ²	0.014	0.111	0.230
	面积: >95 m ² ~230 m ² ; 仅垂直支撑	m ²	0.014	0.108	0.222
	面积: >95 m ² ~230 m ² ; 垂直支撑与侧向支撑	m ²	0.014	0.108	0.222
	面积: >230 m ² ; 仅垂直支撑	m ²	0.013	0.105	0.214
	面积: >230 m ² ; 垂直支撑与侧向支撑	m ²	0.013	0.105	0.214
悬挂式灯具 (W ₅)	非抗震设计	个	—	—	0.001
	抗震设计	个	—	—	0.500
填充墙 (W ₃ 、W ₄)	轻钢龙骨石膏板, 到顶, 上、下端固定	m ²	0.015	0.029	0.056
	轻钢龙骨石膏板, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	m ²	0.015	0.029	0.056
	轻钢龙骨石膏板, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	m ²	0.005	0.012	0.023
	木龙骨石膏板, 到顶, 上、下端固定	m ²	0.008	0.015	—
楼梯 (W ₂)	预制钢楼梯, 非抗震节点	个	0.441	2.98	22.0
	非单片式预制混凝土楼梯构件, 非抗震节点	个	0.772	4.08	25.3
	钢支撑与混凝土踏步组合楼梯, 非抗震节点	个	0.371	2.50	19.4
隔墙饰面 (W ₄)	石膏板+墙纸, 到顶, 上、下端固定	m ²	—	—	0.030
	石膏板+墙纸, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	m ²	—	—	0.030
	石膏板+墙纸, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	m ²	—	—	0.030
	石膏板+瓷砖, 到顶, 上、下端固定	m ²	—	0.080	0.323
	石膏板+瓷砖, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	m ²	—	0.080	0.323
	石膏板+瓷砖, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	m ²	—	0.080	0.323
	大理石或木饰面, 到顶, 上、下端固定	m ²	—	0.200	0.499
	大理石或木饰面, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	m ²	—	0.200	0.499
	大理石或木饰面, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	m ²	—	0.200	0.499
玻璃幕墙 (W ₃)	普通框架式单片玻璃幕墙	m ²	—	0.216	0.216
	普通框架式幕墙, 双层隔热型玻璃幕墙	m ²	—	0.312	0.312
	框架式幕墙, 双层隔热钢化玻璃, 厚度 6 mm+13 mm	m ²	0.216	0.312	0.312
	框架式幕墙、单片夹胶钢化玻璃, 厚度 6 mm	m ²	—	0.312	0.312
	框架式幕墙、单片非夹胶钢化玻璃, 厚度 6 mm	m ²	—	0.216	0.216
	框架式幕墙, 双层隔热型玻璃幕墙, 厚度 6 mm+6 mm	m ²	0.216	0.312	0.312
	框架式幕墙, 双层隔热钢化玻璃, 厚度 6 mm+12 mm	m ²	—	0.312	0.312

表 E.8 (续)

构件 (修复工作编号)	分组	计算 单位	损伤状态等级对应的修复工时		
			1 级	2 级	3 级
电梯 (W ₈)	曳引电梯	个	—	—	26.2
	液压电梯	个	—	—	10.0
冷水管 (W ₆)	管径: >80 mm; 仅垂直支撑	m	—	0.001	0.001
	管径: >80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: >80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	—
热水管 (W ₆)	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	—
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.012
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.012
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	0.001
污水管 (W ₆)	铸铁管, 柔性连接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	0.010
	铸铁管, 柔性连接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	—
	铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	—	0.012
	铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	0.015
	铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	—	0.012
	铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	—
蒸汽管道 (W ₆)	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	—
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.012
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.012
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	0.001
消防喷淋水管 (W ₆)	水平支管, 无支撑	m	—	0.001	0.002
	水平支管, 有支撑	m	—	0.001	0.002
喷头立管 (W ₆)	嵌入无支撑柔性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	个	—	0.002	0.006
	嵌入无支撑刚性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	个	—	0.006	0.001
	嵌入有支撑柔性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	个	—	0.006	0.001
	无吊顶, 长度不超过 2 m	个	—	0.002	0.006

表 E.8 (续)

构件 (修复工作编号)	分组	计算 单位	损伤状态等级对应的修复工时		
			1 级	2 级	3 级
冷却水管 (W ₆)	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.001
	管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	—
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.012
	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	—
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	m	—	0.001	0.012
	管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	m	—	0.001	0.001
冷水机组 (W ₇)	容量: ≤100 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	9.51
	容量: >100 t~350 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	23.6
	容量: >350 t~750 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	26.3
	容量: >750 t~1 000 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	31.1
	容量: ≤100 t; 有锚固或隔振	个	—	—	6.80
	容量: >100 t~350 t; 有锚固或隔振	个	—	—	17.0
	容量: >350 t~750 t; 有锚固或隔振	个	—	—	19.8
	容量: >750 t~1 000 t; 有锚固或隔振	个	—	—	2.42
冷却塔 (W ₇)	容量: ≤100 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	5.58
	容量: >100 t~350 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	13.8
	容量: >350 t~750 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	15.3
	容量: >750 t~1 000 t; 无锚固, 无隔振	个	—	—	18.0
	容量: ≤100 t; 有锚固或隔振	个	—	—	4.07
	容量: >100 t~350 t; 有锚固或隔振	个	—	—	9.62
	容量: >350 t~750 t; 有锚固或隔振	个	—	—	3.27
	容量: >750 t~1 000 t; 有锚固或隔振	个	—	—	3.82
空气压缩机 (W ₇)	小型, 无锚固, 无隔振, 非医用	个	—	—	0.600
	大型, 无锚固, 无隔振, 非医用	个	—	—	2.236
	小型, 无锚固, 无隔振, 医用	个	—	—	1.013
	大型, 无锚固, 无隔振, 医用	个	—	—	4.120
	小型, 有锚固或隔振, 非医用	个	—	—	1.389
	大型, 有锚固或隔振, 非医用	个	—	—	3.990
	小型, 有锚固或隔振, 医用	个	—	—	2.270
	大型, 有锚固或隔振, 医用	个	—	—	4.818

表 E.8 (续)

构件 (修复工作编号)	分组	计算 单位	损伤状态等级对应的修复工时		
			1 级	2 级	3 级
暖通空调 管道风机 (W ₇)	隔振+水平支撑	个	—	0.824	0.953
	隔振+水平及垂直支撑	个	—	0.824	0.953
	未隔振+水平支撑	个	—	—	0.824
	未隔振+水平及垂直支撑	个	—	—	0.824
暖通空调风管 (W ₆)	镀锌钢管,截面积<0.6 m ² ,水平支撑	m	—	0.003	0.007
	镀锌钢管,截面积<0.6 m ² ,水平+垂直支撑	m	—	0.003	0.007
	镀锌钢管,截面积≥0.6 m ² ,水平支撑	m	—	0.004	0.009
	镀锌钢管,截面积≥0.6 m ² ,水平+垂直支撑	m	—	0.004	0.009
	不锈钢管,截面积<0.6 m ² ,水平支撑	m	—	0.005	0.018
	不锈钢管,截面积<0.6 m ² ,水平+垂直支撑	m	—	0.005	0.058
	不锈钢管,截面积≥0.6 m ² ,水平支撑	m	—	0.007	0.078
	不锈钢管,截面积≥0.6 m ² ,水平+垂直支撑	m	—	0.007	0.078
支管及风口 (W ₆)	位于吊顶内,无独立安装绳	个	—	—	0.353
	无吊顶,无独立安全绳,水平支撑	个	—	—	0.353
	无吊顶,无独立安全绳,水平+垂直支撑	个	—	—	0.353
VAV 箱带卷盘 (W ₆)	水平或垂直支撑	个	—	—	1.76
空调系统风机 (W ₇)	无隔振,无锚固	个	—	—	3.12
	隔振,无限位措施	个	—	—	1.91
	刚性锚固或隔振且采取限位措施	个	—	—	1.91
空气处理机组 (W ₇)	风量:≤2.35 m ³ /s;无锚固,无隔振	个	—	—	2.50
	风量:>2.35 m ³ /s~4.7 m ³ /s;无锚固,无隔振	个	—	—	3.786
	风量:>4.7 m ³ /s~12 m ³ /s;无锚固,无隔振	个	—	—	6.426
	风量:>12 m ³ /s~18 m ³ /s;无锚固,无隔振	个	—	—	6.624
	风量:≤2.35 m ³ /s;有锚固	个	—	—	2.504
	风量:>2.35 m ³ /s~4.7 m ³ /s;有锚固	个	—	—	3.905
	风量:>4.7 m ³ /s~12 m ³ /s;有锚固	个	—	—	6.184
	风量:>12 m ³ /s~18 m ³ /s;有锚固	个	—	—	6.430
变压器 (W ₇)	≤100 kVA,无锚固,无隔振	个	—	1.78	—
	>100 kVA~350 kVA,无锚固,无隔振	个	—	4.28	—
	>350 kVA~750 kVA,无锚固,无隔振	个	—	5.02	—
	>750 kVA~1 500 kVA,无锚固,无隔振	个	—	4.69	—
	≤100 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	1.31

表 E.8 (续)

构件 (修复工作编号)	分组	计算 单位	损伤状态等级对应的修复工时		
			1 级	2 级	3 级
变压器 (W ₇)	>100 kVA~350 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	2.79
	>350 kVA~750 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	3.42
	>750 kVA~1 500 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	3.30
电机控制箱 (W ₇)	无锚固,无隔振	个	—	—	1.46
	有锚固或隔振	个	—	—	1.09
配电盘/低压 开关设备 (W ₇)	100 A~350 A,无锚固,无隔振	个	—	2.18	—
	>350 A~750 A,无锚固,无隔振	个	—	3.05	—
	>750 A~1 200 A,无锚固,无隔振	个	—	3.48	—
	>1 200 A~2 000 A,无锚固,无隔振	个	—	4.23	—
	100 A~350 A,有锚固或隔振	个	—	—	1.90
	>350 A~750 A,有锚固或隔振	个	—	—	2.62
	>750 A~1 200 A,有锚固或隔振	个	—	—	3.13
	>1 200 A~2 000 A,有锚固或隔振	个	—	—	3.67
柴油发电机 (W ₇)	100 kVA~350 kVA,无锚固或隔振	个	—	0.43	—
	>350 kVA~750 kVA,无锚固或隔振	个	—	0.83	—
	>750 kVA~1 200 kVA,无锚固或隔振	个	—	1.47	—
	>1 200 kVA~2 000 kVA,无锚固或隔振	个	—	2.36	—
	100 kVA~350 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	0.54
	>350 kVA~750 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	6.14
	>750 kVA~1 200 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	8.08
	>1 200 kVA~2 000 kVA,有锚固或隔振	个	—	—	1.18

E.4.3 同类型震损构件数量对修复工时的影响采用工程量折减系数表示,其取值应按表 E.9 确定。

表 E.9 非结构构件修复时间的工程量折减系数

非结构构件名称	构件数量对应的折减系数		
	1	2~10	>10
吊顶	1.00	插值	0.90
悬挂式灯具	1.00	插值	1.00
填充墙	1.00	插值	0.90
楼梯	1.00	插值	1.00
隔墙饰面	1.00	插值	0.90
玻璃幕墙	1.00	插值	0.90
电梯	1.00	插值	1.00

表 E.9 (续)

非结构构件名称	构件数量对应的折减系数		
	1	2~10	>10
冷水管	1.00	插值	0.95
热水管	1.00	插值	0.95
污水管	1.00	插值	0.95
蒸汽管道	1.00	插值	0.95
消防喷淋水管	1.00	插值	0.95
喷头立管	1.00	插值	0.95
冷却水管	1.00	插值	0.95
冷水机组	1.00	插值	1.00
冷却塔	1.00	插值	1.00
空气压缩机	1.00	插值	1.00
暖通空调管道风机	1.00	插值	1.00
暖通空调风管	1.00	插值	0.95
支管及风口	1.00	插值	1.00
VAV 箱带卷盘	1.00	插值	1.00
空调系统风机	1.00	插值	1.00
空气处理机组	1.00	插值	1.00
变压器	1.00	插值	1.00
电机控制箱	1.00	插值	1.00
配电盘/低压开关设备	1.00	插值	1.00
柴油发电机	1.00	插值	1.00

E.4.4 非结构构件修复时间的楼层影响系数取值应按表 E.10 确定。

表 E.10 非结构构件修复时间的楼层影响系数

楼层	楼层影响系数
12 层以上	1.10
7 层~12 层	1.08
4 层~6 层	1.05
1 层~3 层	1.00



附 录 F
(资料性附录)
非结构构件的工程需求参数建议值

F.1 适用范围

本附录适用于常规住宅楼、办公楼等民用或商业建筑中的主要非结构构件,包括持久性的建筑非结构构件和支承于建筑结构的附属机电设备等,包括下列内容:

- a) 建筑非结构构件为建筑中除承重骨架体系以外的固定构件和部件,主要包括非承重墙体,附着于楼面和屋面结构的构件、装饰构件和部件,固定于楼面的大型储物架等。
- b) 建筑附属机电设备为现代建筑使用功能服务的附属机械、电气构件、部件和系统,主要包括电梯、照明和应急电源、通信设备,管道系统,采暖和空气调节系统,烟火监测和消防系统,公用天线等。

F.2 非结构构件工程需求参数

常见的非结构构件的工程需求参数宜按表 F.1 取值。

表 F.1 非结构构件工程需求参数

构件	工程需求 参数类型	分组	不同损伤状态等级对应的中位值			不同损伤状态等级对应的标准差		
			1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
吊 顶	PFA	面积: $\leq 25 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	1.17 g	1.58 g	1.82 g	0.25 g	0.25 g	0.25 g
		面积: $\leq 25 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	1.6 g	1.95 g	2.07 g	0.3 g	0.3 g	0.3 g
		面积: $> 25 \text{ m}^2 \sim 95 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	0.8 g	1.1 g	1.69 g	0.38 g	0.32 g	0.25 g
		面积: $> 25 \text{ m}^2 \sim 95 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	1.47 g	1.88 g	2.03 g	0.3 g	0.3 g	0.3 g
		面积: $> 95 \text{ m}^2 \sim 230 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	0.7 g	1.2 g	1.43 g	0.25 g	0.25 g	0.25 g
		面积: $> 95 \text{ m}^2 \sim 230 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	1.21 g	1.75 g	1.95 g	0.3 g	0.3 g	0.3 g
		面积: $> 230 \text{ m}^2$; 仅垂直支撑	0.56 g	1.08 g	1.0 g	0.25 g	0.25 g	0.25 g
悬挂式灯具	PFA	面积: $> 230 \text{ m}^2$; 垂直支撑与侧向支撑	1.09 g	1.69 g	1.91 g	0.3 g	0.3 g	0.3 g
		非抗震设计	—	—	0.6 g	—	—	0.4 g
填充墙	Θ	抗震设计	—	—	1.5 g	—	—	0.4 g
		轻钢龙骨石膏板, 到顶, 上、下端固定	0.005	0.01	0.021	0.4	0.3	0.2
		轻钢龙骨石膏板, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	0.01	0.013	0.018	0.3	0.3	0.3
		轻钢龙骨石膏板, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	0.004	0.011	0.019	0.45	0.35	0.25
		木龙骨石膏板, 到顶, 上、下端固定	0.002 1	0.007 1	0.007 1	0.6	0.45	0.45
楼梯	Θ	预制钢楼梯, 非抗震节点	0.005	0.017	0.028	0.6	0.6	0.45
		非单片式预制混凝土楼梯构件, 非抗震节点	0.005	0.017	0.028	0.6	0.6	0.45
隔墙饰面	Θ	钢支撑与混凝土踏步组合楼梯, 非抗震节点	0.005	0.017	0.028	0.6	0.6	0.45
		石膏板+墙纸, 到顶, 上、下端固定	—	—	0.002 1	—	—	0.6
		石膏板+墙纸, 不到顶, 下端固定、上端侧向支撑	—	—	0.006 4	—	—	0.3
		石膏板+墙纸, 到顶, 下端固定, 上端滑槽	—	—	0.002	—	—	0.7
		石膏板+瓷砖, 到顶, 上、下端固定	—	0.002 1	0.007 1	—	0.6	0.45

表 F.1 (续)

构件	工程需求 参数类型	分组	不同损伤状态等级对应的中位值			不同损伤状态等级对应的标准差		
			1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
隔墙饰面	Θ	石膏板+瓷砖,不到顶,下端固定、上端侧向支撑	—	0.006 4	0.011	—	0.3	0.3
		石膏板+瓷砖,到顶,下端固定,上端滑槽	—	0.002	0.005	—	0.7	0.4
		大理石或木饰面,到顶,上、下端固定	—	0.002 1	0.007 1	—	0.6	0.45
		大理石或木饰面,不到顶,下端固定、上端侧向支撑	—	0.006 4	0.011	—	0.3	0.3
		大理石或木饰面,到顶,下端固定,上端滑槽	—	0.002	0.005	—	0.7	0.4
玻璃幕墙	Θ	普通框架式单片玻璃幕墙	—	0.033 8	0.038 3	—	0.4	0.4
		普通框架式幕墙,双层隔热型玻璃幕墙	—	0.021	0.024	—	0.45	0.45
		框架式幕墙,双层隔热钢化玻璃,厚度 6 mm+13 mm	0.026	0.026 8	0.033 9	0.25	0.25	0.25
		框架式幕墙、单片夹胶钢化玻璃,厚度 6 mm	—	0.015 6	0.056 1	—	0.35	0.35
		框架式幕墙、单片非夹胶钢化玻璃,厚度 6 mm	—	0.013 8	0.021 9	—	0.25	0.3
		框架式幕墙,双层隔热型玻璃幕墙,厚度 6 mm+6 mm	0.027	0.027 6	0.030 3	0.3	0.3	0.3
		框架式幕墙,双层隔热钢化玻璃,厚度 6 mm+12 mm	—	0.023 4	0.031	—	0.3	0.3
电梯	PFA	曳引电梯	—	—	0.39 g	—	—	0.45 g
		液压电梯	—	—	0.5 g	—	—	0.3 g
冷水管	PFA	管径:≥80 mm;仅垂直支撑	—	1.5 g	2.6 g	—	0.4 g	0.4 g
		管径:≥80 mm;垂直与侧向支撑,管道破坏	—	2.25 g	4.1 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径:≥80 mm;垂直与侧向支撑,支撑破坏	—	1.5 g	—	—	0.4 g	—
热水管	PFA	管径:≤80 mm;仅垂直支撑,管道破坏	—	0.55 g	1.1 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径:≤80 mm;仅垂直支撑,支撑破坏	—	1.2 g	2.4 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径:≤80 mm;垂直与侧向支撑,管道破坏	—	0.55 g	1.1 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径:≤80 mm;垂直与侧向支撑,支撑破坏	—	2.25 g	—	—	0.5 g	—

表 F.1 (续)

构件	工程需求 参数类型	分组	不同损伤状态等级对应的中位值			不同损伤状态等级对应的标准差		
			1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
热水管	PFA	管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	1.5 g	2.6 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	2.25 g	4.1 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	1.5 g	2.25 g	—	0.5 g	0.5 g
污水管	PFA	铸铁管, 柔性连接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	1.2 g	2.4 g	—	0.5 g	0.5 g
		铸铁管, 柔性连接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	2.25 g	—	—	0.5 g	—
		铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 管道破坏	—	—	2.25 g	—	—	0.5 g
		铸铁管, 插接, 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	1.2 g	2.4 g	—	0.5 g	0.5 g
		铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	—	3.0 g	—	—	0.5 g
		铸铁管, 插接, 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	2.25 g	—	—	0.5 g	—
		管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	0.55 g	1.1 g	—	0.5 g	0.5 g
蒸汽管道	PFA	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	1.2 g	2.4 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	0.55 g	1.1 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	2.25 g	—	—	0.5 g	—
		管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	1.5 g	2.6 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	2.25 g	4.1 g	—	0.4 g	0.4 g
		管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	1.5 g	2.25 g	—	0.4 g	0.4 g
消防喷淋水管	PFA	水平支管, 无支撑	—	1.1 g	2.4 g	—	0.4 g	0.5 g
		水平支管, 有支撑	—	1.5 g	2.6 g	—	0.4 g	0.4 g
喷头立管	PFA	嵌入无支撑柔性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	—	0.75 g	0.95 g	—	0.4 g	0.4 g
		嵌入无支撑刚性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	—	0.55 g	0.95 g	—	0.4 g	0.4 g
		嵌入有支撑柔性可拆卸吊顶, 长度不超过 2 m	—	1.5 g	2.25 g	—	0.4 g	0.4 g
		无吊顶、长度不超过 2 m	—	1.5 g	2.25 g	—	0.4 g	0.4 g

表 F.1 (续)

构件	工程需求 参数类型	分组	不同损伤状态等级对应的中位值			不同损伤状态等级对应的标准差		
			1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
冷却水管	PFA	管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	0.55 g	1.1 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: <80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	1.2 g	2.4 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	0.55 g	1.1 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: <80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	2.25 g	—	—	0.5 g	—
		管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 管道破坏	—	1.5 g	2.6 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: ≥80 mm; 仅垂直支撑, 支撑破坏	—	2.25 g	—	—	0.5 g	—
		管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 管道破坏	—	2.25 g	4.1 g	—	0.5 g	0.5 g
		管径: ≥80 mm; 垂直与侧向支撑, 支撑破坏	—	1.5 g	2.25 g	—	0.5 g	0.5 g
		容量: ≤100 t; 无锚固, 无隔振	—	—	0.2 g	—	—	0.4 g
		容量: >100 t~350 t; 无锚固, 无隔振	—	—	0.2 g	—	—	0.4 g
冷水机组	PFA	容量: >350 t~750 t; 无锚固, 无隔振	—	—	0.2 g	—	—	0.4 g
		容量: >750 t~1 000 t; 无锚固, 无隔振	—	—	0.2 g	—	—	0.4 g
		容量: ≤100 t; 有锚固或隔振	—	—	0.72 g	—	—	0.2 g
		容量: >100 t~350 t; 有锚固或隔振	—	—	0.72 g	—	—	0.2 g
		容量: >350 t~750 t; 有锚固或隔振	—	—	0.72 g	—	—	0.2 g
		容量: >750 t~1 000 t; 有锚固或隔振	—	—	0.72 g	—	—	0.2 g
		容量: ≤100 t; 无锚固, 无隔振	—	—	0.5 g	—	—	0.4 g
		容量: >100 t~350 t; 无锚固, 无隔振	—	—	0.5 g	—	—	0.4 g
		容量: >350 t~750 t; 无锚固, 无隔振	—	—	0.5 g	—	—	0.4 g
		容量: >750 t~1 000 t; 无锚固, 无隔振	—	—	0.5 g	—	—	0.4 g
冷却塔	PFA	容量: ≤100 t; 有锚固或隔振	—	—	0.97 g	—	—	0.6 g

表 F.1 (续)

构件	工程需求 参数类型	分组	不同损伤状态等级对应的中位值			不同损伤状态等级对应的标准差		
			1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
冷却塔	PFA	容量: >100 t~350 t; 有锚固或隔振	—	—	0.97 g	—	—	0.6 g
		容量: >350 t~750 t; 有锚固或隔振	—	—	0.97 g	—	—	0.6 g
		容量: >750 t~1 000 t; 有锚固或隔振	—	—	0.97 g	—	—	0.6 g
空气压缩机	PFA	小型, 无锚固, 无隔振, 非医用	—	—	0.25 g	—	—	0.45 g
		大型, 无锚固, 无隔振, 非医用	—	—	0.25 g	—	—	0.45 g
		小型, 无锚固, 无隔振, 医用	—	—	0.25 g	—	—	0.45 g
		大型, 无锚固, 无隔振, 医用	—	—	0.25 g	—	—	0.45 g
		小型, 有锚固或隔振, 非医用	—	—	0.47 g	—	—	0.2 g
		大型, 有锚固或隔振, 非医用	—	—	0.47 g	—	—	0.2 g
		小型, 有锚固或隔振, 医用	—	—	0.47 g	—	—	0.2 g
暖通空调管道风机	PFA	大型, 有锚固或隔振, 医用	—	—	0.47 g	—	—	0.2 g
		隔振+水平支撑	—	1.92 g	2.4 g	—	0.5 g	0.5 g
		隔振+水平及垂直支撑	—	2.25 g	2.6 g	—	0.4 g	0.4 g
		未隔振+水平支撑	—	—	1.9 g	—	—	0.4 g
		未隔振+水平及垂直支撑	—	—	2.25 g	—	—	0.4 g
暖通空调风管	PFA	镀锌钢管, 截面积<0.6 m ² , 水平支撑	—	1.5 g	2.25 g	—	0.4 g	0.4 g
		镀锌钢管, 截面积<0.6 m ² , 水平+垂直支撑	—	1.5 g	2.25 g	—	0.4 g	0.4 g
		镀锌钢管, 截面积≥0.6 m ² , 水平支撑	—	1.5 g	2.25 g	—	0.4 g	0.4 g
		镀锌钢管, 截面积≥0.6 m ² , 水平+垂直支撑	—	3.75 g	4.5 g	—	0.4 g	0.4 g
		不锈钢管, 截面积<0.6 m ² , 水平支撑	—	1.5 g	2.25 g	—	0.4 g	0.4 g
		不锈钢管, 截面积<0.6 m ² , 水平+垂直支撑	—	1.5 g	2.25 g	—	0.4 g	0.4 g
		不锈钢管, 截面积≥0.6 m ² , 水平支撑	—	1.5 g	2.25 g	—	0.4 g	0.4 g
		不锈钢管, 截面积≥0.6 m ² , 水平+垂直支撑	—	3.75 g	4.5 g	—	0.4 g	0.4 g

表 F.1 (续)

构件	工程需求 参数类型	分组	不同损伤状态等级对应的中位值			不同损伤状态等级对应的标准差		
			1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
支管及风口	PFA	位于吊顶内,无独立安装绳	—	—	1.3g	—	—	0.4g
		无吊顶,无独立安全绳,水平支撑	—	—	1.5g	—	—	0.4g
		无吊顶,无独立安全绳,水平+垂直支撑	—	—	1.5g	—	—	0.4g
VAV 箱带卷盘	PFA	水平或垂直支撑	—	—	1.9g	—	—	0.4g
空调系统风机	PFA	无隔振,无锚固	—	—	0.5g	—	—	0.4g
		隔振,无限位措施	—	—	1.0g	—	—	0.6g
		刚性锚固或隔振且采取限位措施	—	—	4.8g	—	—	0.6g
空气处理机组	PFA	风量: $\leq 2.35 \text{ m}^3/\text{s}$; 无锚固,无隔振	—	—	0.25g	—	—	0.4g
		风量: $> 2.35 \text{ m}^3/\text{s} \sim 4.7 \text{ m}^3/\text{s}$; 无锚固,无隔振	—	—	0.25g	—	—	0.4g
		风量: $> 4.7 \text{ m}^3/\text{s} \sim 12 \text{ m}^3/\text{s}$; 无锚固,无隔振	—	—	0.25g	—	—	0.4g
		风量: $> 12 \text{ m}^3/\text{s} \sim 18 \text{ m}^3/\text{s}$; 无锚固,无隔振	—	—	0.25g	—	—	0.4g
		风量: $\leq 2.35 \text{ m}^3/\text{s}$; 有锚固	—	—	1.54g	—	—	0.6g
		风量: $> 2.35 \text{ m}^3/\text{s} \sim 4.7 \text{ m}^3/\text{s}$; 有锚固	—	—	1.54g	—	—	0.6g
		风量: $> 4.7 \text{ m}^3/\text{s} \sim 12 \text{ m}^3/\text{s}$; 有锚固	—	—	1.54g	—	—	0.6g
变压器	PFA	风量: $> 12 \text{ m}^3/\text{s} \sim 18 \text{ m}^3/\text{s}$; 有锚固	—	—	1.54g	—	—	0.6g
		$\leq 100 \text{ kVA}$, 无锚固,无隔振	—	—	1.01g	—	—	0.6g
		$> 100 \text{ kVA} \sim 350 \text{ kVA}$, 无锚固,无隔振	—	—	1.01g	—	—	0.6g
		$> 350 \text{ kVA} \sim 750 \text{ kVA}$, 无锚固,无隔振	—	—	1.01g	—	—	0.6g
		$> 750 \text{ kVA} \sim 1\,500 \text{ kVA}$, 无锚固,无隔振	—	—	1.01g	—	—	0.6g
		$\leq 100 \text{ kVA}$, 有锚固或隔振	—	—	3.05g	—	—	0.5g
		$> 100 \text{ kVA} \sim 350 \text{ kVA}$, 有锚固或隔振	—	—	3.05g	—	—	0.5g
		$> 350 \text{ kVA} \sim 750 \text{ kVA}$, 有锚固或隔振	—	—	3.05g	—	—	0.5g
		$> 750 \text{ kVA} \sim 1\,500 \text{ kVA}$, 有锚固或隔振	—	—	3.05g	—	—	0.5g

表 F.1 (续)

构件	工程需求 参数类型	分组	不同损伤状态等级对应的中位值			不同损伤状态等级对应的标准差		
			1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
电机控制箱	PFA	无锚固,无隔振	—	—	0.73 g	—	—	0.45 g
		有锚固或隔振	—	—	2.4 g	—	—	0.4 g
配电盘/低压开关 设备	PFA	100 A~350 A,无锚固,无隔振	—	—	2.16 g	—	—	0.45 g
		>350 A~750 A,无锚固,无隔振	—	—	2.16 g	—	—	0.45 g
		>750 A~1 200 A,无锚固,无隔振	—	—	2.16 g	—	—	0.45 g
		>1 200 A~2 000 A,无锚固,无隔振	—	—	2.16 g	—	—	0.45 g
		100 A~350 A,有锚固或隔振	—	—	3.05 g	—	—	0.4 g
		>350 A~750 A,有锚固或隔振	—	—	3.05 g	—	—	0.4 g
		>750 A~1 200 A,有锚固或隔振	—	—	3.05 g	—	—	0.4 g
		>1 200 A~2 000 A,有锚固或隔振	—	—	3.05 g	—	—	0.4 g
柴油发电机	PFA	100 kVA~350 kVA,无锚固或隔振	—	0.9 g	—	—	0.4 g	—
		>350 kVA~750 kVA,无锚固或隔振	—	0.9 g	—	—	0.4 g	—
		>750 kVA~1 200 kVA,无锚固或隔振	—	0.9 g	—	—	0.4 g	—
		>1 200 kVA~2 000 kVA,无锚固或隔振	—	0.9 g	—	—	0.4 g	—
		100 kVA~350 kVA,有锚固或隔振	—	—	2.0 g	—	—	0.2 g
		>350 kVA~750 kVA,有锚固或隔振	—	—	2.0 g	—	—	0.2 g
		>750 kVA~1 200 kVA,有锚固或隔振	—	—	2.0 g	—	—	0.2 g
		>1 200 kVA~2 000 kVA,有锚固或隔振	—	—	2.0 g	—	—	0.2 g

附 录 G
(规范性附录)
构件损伤状态判定方法

G.1 蒙特卡洛模拟流程

构件损伤状态应采用蒙特卡洛模拟方法确定,蒙特卡洛模拟流程见图 G.1。

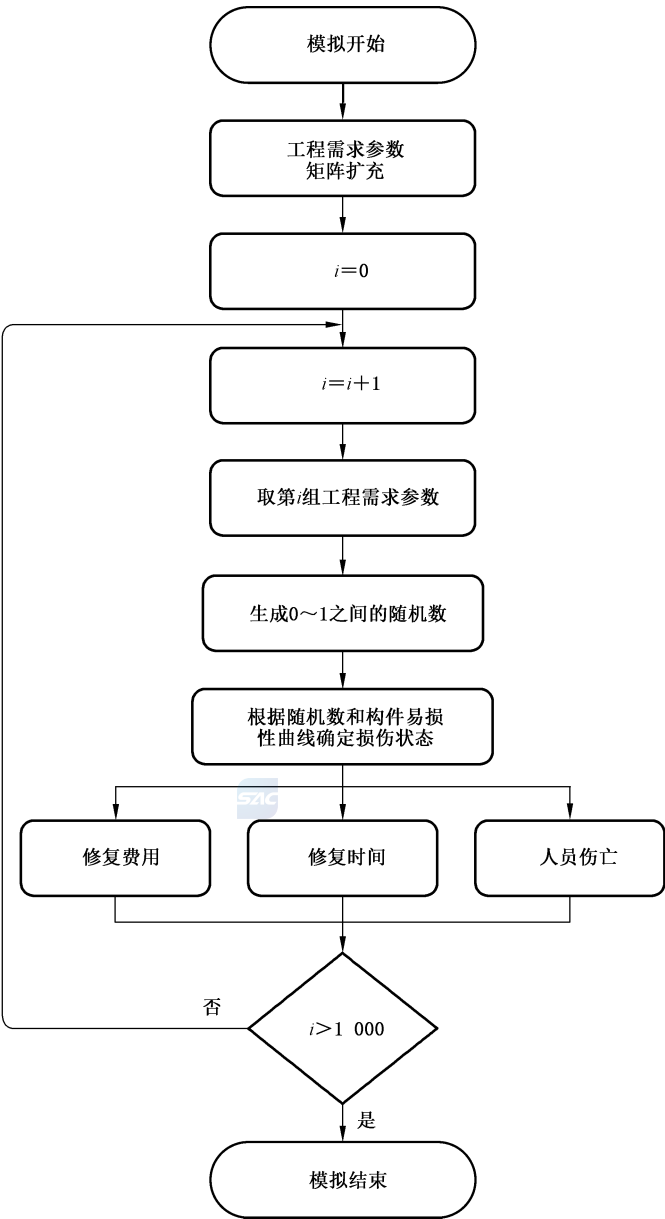


图 G.1 蒙特卡洛模拟流程

G.2 工程需求参数矩阵扩充方法

G.2.1 每次时程分析可得到一组工程需求参数,将各次时程分析的工程需求参数组装为矩阵,每列表

示一个特定的工程需求参数的取值,每行表示一次时程分析的结果。

G.2.2 扩充后的工程需求参数与分析得到的工程需求参数应具有相同的联合分布,扩充后的工程需求参数矩阵与时程分析得到的工程需求参数矩阵应具有相同的均值与方差。

G.2.3 工程需求参数的分布取联合对数正态分布。对工程需求参数矩阵的值应取对数,新矩阵中参数分布应满足联合正态分布。

G.2.4 工程需求参数的对数分布可由式(G.1)确定:

$$Z = LU + M_Y \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

Z —— $Z=[Z_1,Z_2,\cdots,Z_n]^T$, Z_i 为第 i 个工程需求参数的取对数变量;

L —— Σ_{YY} 矩阵 Cholesky 分解得到的下三角矩阵, Σ_{YY} 为取对数后的工程需求参数矩阵 Y 的协方差矩阵;

U —— $U=[U_1,U_2,\cdots,U_m]^T$, U_i 为第 i 个独立正态分布的变量;

M_Y ——矩阵 Y 的均值矩阵。

G.2.5 当矩阵 Σ_{YY} 满秩时,G.2.4 中 m 应等于工程需求参数的个数 n ;当矩阵 Σ_{YY} 不满秩时, m 应等于 Σ_{YY} 的秩。 L 为 $n \times m$ 的矩阵,当 i 小于 j 时, l_{ij} 取 0。

G.2.6 独立正态分布变量的取值可由计算机的伪随机数生成。

G.2.7 工程需求参数的分布由其取对数的分布取指数确定。

G.2.8 利用式(G.1)计算得到一组工程需求参数的对数取值,取指数后得到工程需求参数的取值,多次利用式(G.1),将计算结果组装为矩阵,即可得到扩充后的工程需求参数分布的取值。

G.3 构件损伤状态判定方法

G.3.1 构件各类损伤状态的发生概率应由其所依赖的工程需求参数,结合构件易损性数据确定。

G.3.2 一次蒙特卡洛模拟中构件的损伤状态应采用生成随机数的方法,结合构件各类损伤状态的超越概率确定。在给定工程需求参数的条件下,即给定图 G.2 中 A 点,第 i 级损伤状态的超越概率为 P_i 。生成 0~1 的随机数 R ,当 $P_1 \leq R \leq 1$ 时,损伤状态为 0 级损伤状态 DS_0 ;当 $P_{i+1} \leq R < P_i$ 时,损伤状态为 i 级损伤状态 DS_i ;当 $0 \leq R < P_n$ 时,损伤状态为 n 级损伤状态 DS_n 。

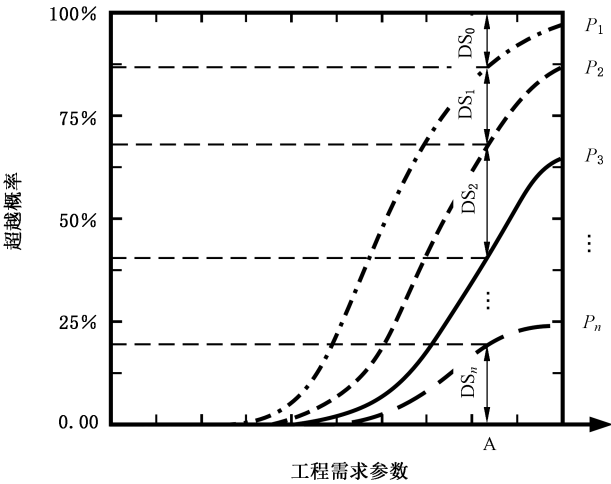


图 G.2 构件易损性曲线示意