



中华人民共和国国家标准

GB/T 42558.3—XXXX

高原用换流站电气设备抗震技术 第3部分：减隔震设计规范

Seismic techniques of electrical equipment in converter station on plateau
Part 3: Code for design of energy dissipation and isolation

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2023年8月)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 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	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	3
4.1 一般规定	3
4.2 场地、地基和基础	4
4.3 减隔震装置要求	4
4.4 连接与节点	5
5 地震作用和抗震计算	5
5.1 一般规定	5
5.2 设计加速度反应谱	5
5.3 设计地震动时程	7
5.4 地震作用效应计算	7
5.5 抗震性能判定	8
6 减震设计	9
6.1 一般规定	9
6.2 设计计算	9
6.3 减震装置选型	10
6.4 连接回路减震设计	11
6.5 构造要求	11
7 隔震设计	11
7.1 一般规定	11
7.2 设计计算	12
7.3 隔震装置选型	14
7.4 构造要求	14
附 录 A （规范性） 互连结构软导线长度计算方法	16
附 录 B （资料性） 减震装置检测	17
附 录 C （资料性） 减震装置的安装、验收与维护	19
附 录 D （资料性） 隔震装置检测	20
附 录 E （资料性） 隔震装置的安装、验收和维护	21

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是GB/T 42558《高原用换流站电气设备抗震技术》的第3部分。GB/T 42558已经发布了以下部分：

——第1部分：抗震试验及评价导则。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国高原电工产品环境技术标准化技术委员会（SAC/TC330）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

直流输电是实现高电压、大容量、远距离送电的重要手段，受制于电源位置、环境等因素，部分站点建于高原区域，具有高海拔、高电压等级特征，与低海拔同型电气设备相比，在结构、高度、长度、质量方面有明显差异，体现为更高、更长、更重、更柔，对高地震烈度区设备的抗震性能提出更严苛的要求。为使该类换流站电气设备的抗震设计、建模计算、试验及评估有所遵循，特制定GB/T 42558《高原用换流站电气设备抗震技术》。

GB/T 42558拟由六个部分构成。

——第1部分：抗震试验及评价导则。目的在于确立适用于高原用换流站内电气设备抗震试验的总体要求及评价原则。

——第2部分：抗震设计规范。目的在于规定高原用换流站电气设备抗震设计总体要求、电气设备的抗震设计、设备耦联连接的抗震设计、设备抗震构造措施。

——第3部分：减隔震设计规范。目的在于规定了高原用换流站内电气设备的减震和隔震设计计算方法、减震和隔震装置选择、构造要求。

——第4部分：设备选型规范。目的在于指导高原用换流站内电气设备的选型，提升电气设备的抗震性能。

——第5部分：设备运维导则。目的在于为运行人员更好地开展高原用换流站内电气设备的监测、巡视、评价、检修运维等工作提供标准依据。

——第6部分：地震监测系统技术规范。目的在于规定高原地震监测系统的适用范围、监测对象与布设、监测系统的组成与技术要求、监测系统的测试、安装与验收、监测系统的管理与维护、监测记录的存储与处理要求。

高原用换流站电气设备抗震技术

第3部分：减隔震设计规范

1 范围

本文件规定了高原地区新建、改建和扩建换流站内电气设备减震和隔震设计要求。

本文件适用于±400 kV及以上电压等级,海拔1 000 m至5 000 m,抗震设防烈度6度~9度地区换流站内电气设备,海拔5 000 m以上或抗震设防烈度9度以上地区应专门研究。

其他变电站/换流站工程的电气设备减震和隔震设计可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 18306-2015 中国地震动参数区划图

GB/T 20688.1 橡胶支座 第1部分:隔震橡胶支座试验方法

GB/T 20688.3-2006 橡胶支座 第3部分:建筑隔震橡胶支座

GB/T 20688.5-2014 橡胶支座 第5部分:建筑隔震弹性滑板支座

GB/T 21429-2008 户外和户内电气设备用空心复合绝缘子定义、试验方法、接收准则和设计推荐

GB/T 37358-2019 建筑摩擦摆隔震支座

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50017 钢结构设计标准

JGJ 145 混凝土结构后锚固技术规程

JGJ 297-2013 建筑消能减震技术规程

JTG/T 2231-01-2020 公路桥梁抗震设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地震作用 earthquake action

由地震动引起的结构动态作用,包括水平地震作用和竖向地震作用。

[来源: GB 50260-2013, 2.1.3]

3.2

抗震设防烈度 seismic precautionary intensity

作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。一般情况下,取50年内超越概率10%的地震烈度,依据现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306)或专门的地震安全性评价工作确定。

[来源: GB 50260-2013, 2.2.1]

3.3

额定机械负荷 specified mechanical load

由制造者规定的用于机械试验的负荷，通常是在室温下施加弯曲负荷。它是考虑外部负荷时绝缘子选用的基础，此时绝缘子处于不可逆的弹塑性阶段。

[来源：GB/T 21429-2008，3.9]

3.4

减震装置 energy dissipation device

设置在电气设备上，用于吸收和耗散由于地震作用引起的设备结构振动能量的装置。

3.5

电气设备减震结构 structure with energy dissipated electrical equipment

在电气设备中安装减震装置而形成的结构，包括电气设备主体、减震装置部件、支撑构件及基础。

3.6

速度相关型减震装置 velocity-dependent energy dissipation device

耗能能力与装置两端的相对速度有关的耗能减震器，一般包括粘滞型减震器、粘弹性减震器等。

[来源：GB/T 21429-2008，3.9, 有修改]

3.7

位移相关型减震装置 displacement-dependent energy dissipation device

耗能能力与装置两端的相对位移有关的耗能减震器，一般包括金属减震器、摩擦减震器等。

[来源：JGJ 297-2013，2.1.4, 有修改]

3.8

复合型减震装置 composite energy dissipation device

耗能能力与减震装置两端的相对位移和相对速度有关的减震装置，如铅黏弹性减震装置等。

[来源：JGJ 297-2013，2.1.5, 有修改]

3.9

减震装置最大设计位移 design displacement of dissipation device

减震装置根据设计目标，在电气设备的设计抗震设防烈度下可以保证减震装置正常工作的位移值。

3.10

减震装置最大设计速度 design velocity of dissipation device

减震装置根据设计目标，在电气设备的设计抗震设防烈度下可以保证减震装置正常工作的速度值。

3.11

减震装置极限位移 ultimate displacement of dissipation device

减震装置能达到的最大变形量，减震装置的变形超过该值后认为其已失去耗能能力。

3.12

减震装置极限速度 ultimate velocity of dissipation device

减震装置能达到的最大速度量，减震装置的速度超过该值后认为其已失去耗能能力。

3.13

附加阻尼比 added damping ratio

电气设备减震结构往复运动时减震装置附加给主体结构的有效阻尼比，即减震装置往复循环一周耗散的能量与电气设备减震结构总应变能之间的比值。

[来源：JGJ 297-2013，2.1.13]

3.14

连接回路 coupling circuit

通过软导线或硬导体连接的两个及以上电气设备组成的回路系统结构。

3.15

隔震层 seismic isolation layer

设置在被隔震的上部电气设备与基础或下部结构之间的全部隔震部件的总称。包括隔震装置、阻尼装置、限位装置、附属装置及相关的支承或连接构件等。

3.16

电气设备隔震结构 structure with isolated high-voltage electrical equipment

为降低地震响应，在结构中设置隔震层而实现隔震功能的电气设备，包括电气设备本体结构、隔震层和基础。

3.17

隔震装置 seismic isolator devices

设置在同一电气设备上的所有隔震器及其附属部件。

3.18

阻尼装置 damping device

通过吸收并耗散地震输入能量而使隔震层地震响应衰减的装置。

3.19

限位装置 stopper

限制隔震层位移使其不超过合理设计范围的装置。

3.20

转换平台 transition platform

设置在隔震装置与上部电气设备之间的平台，使得电气设备的底座布置不影响隔震装置的布置。

[来源：GBT 51408-2021，2.1.2]

3.21

减震效率 damping efficiency

在同一地震作用下，装设减震装置后的电气设备危险截面处减小的应力与未装设减震装置时电气设备同一位置的应力之比。

3.22

隔震效率 isolation efficiency

在同一地震作用下，装设隔震装置后的电气设备危险截面处减小的应力与未装设隔震装置时电气设备同一位置的应力之比。

3.23

设计基本地震加速度 design basic acceleration of ground motion

50年设计基准期超越概率10%的地震加速度值，为一般建设工程抗震设计地震加速度取值。

[来源：GB 50260—2013，2.1.4]

3.24

设计特征周期 design characteristic period of ground motion

抗震设计用的地震影响系数曲线中，反映地震震级、震中距和场地类别等因素的下降段起始点对应的周期值，简称特征周期。

[来源：GB 50260—2013，2.1.5]

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 本文件适用的电气设备宜按设计抗震设防烈度设防。

设计抗震设防烈度可按照抗震设防烈度提高1度或按50年超越概率2%的地震烈度采用。一般情况，电气设备采用较高的设防要求，设备采取措施难以满足设防要求时可不采用。

对于抗震设防烈度为9度的地区，设计抗震设防烈度取抗震设防烈度。

4.1.2 电气设备减震和隔震设计应根据电气设备的结构特点、使用要求、动力特性、设计地震分组及场地类别等情况，确定减震与隔震方案。支柱类和悬吊类设备宜采用减震方案，其他类设备宜采用隔震方案。

4.1.3 电气设备的减震和隔震设计不应影响电气设备的正常使用功能。

4.1.4 按本文件设计的电气设备减震、隔震结构，抗震设防要求应符合 GB/T 42558.2-202x 中第 4.1、4.2 条要求。当遭受到相当于电气设备的设计抗震设防烈度及以下地震作用时，电气设备与减震、隔震装置均不应损坏，仍可继续使用。

4.1.5 电气设备安装减震、隔震装置及其他装置的基础或支架的平面应平整，装置宜均匀布置，其数量和分布应通过计算分析或试验综合确定。装置的设置，宜便于检查、维护或替换。

4.1.6 电气设备用减震与隔震装置的设计使用年限不应低于电气设备的设计使用年限，应进行定期维护和检查。其他装置的设计使用年限低于电气设备的使用年限时，在设计中应注明与预设可更换措施。

4.1.7 电气设备用减震、隔震装置及其他装置的构造宜简单、性能应可靠且对环境温度变化不敏感，应在其性能明确的范围内使用。

4.1.8 当站址处于发震断层 10 km 以内时，减隔震结构地震作用计算应考虑近场影响，乘以增大系数，5 km 以内宜取 1.25，5 km 以外可取不小于 1.15。

4.2 场地、地基和基础

4.2.1 采用减震、隔震设计的电气设备场地宜选择对抗震有利地段，应避免不利地段；当无法避开时，应采取有效措施。

4.2.2 采用减震、隔震设计的电气设备的地基应稳定可靠，场地类别宜为 I、II、III 类；当场地类别为 IV 类时，应采取有效措施。

4.2.3 电气设备减震、隔震结构的地基基础设计和抗震验算，应满足本地区抗震设防烈度地震作用的要求。

4.3 减隔震装置要求

4.3.1 电气设备的减震和隔震装置应考虑温差变化、紫外线等高原环境的影响，并满足耐久性和环境适应性要求。

4.3.2 电气设备应用的减震和隔震装置应符合下列规定：

- a) 减震、隔震装置应具有型式检测报告。
- b) 减震、隔震装置的性能参数和数量应在设计文件中注明。

4.3.3 对新结构形式、体型复杂或有特殊要求的电气设备，可采用地震模拟振动台试验对电气设备减震和隔震方案进行补充验证。

4.3.4 安装减震和隔震装置的电气设备的抗震试验考核，应在减震和隔震装置型式试验合格后进行，并应满足本系列标准 第 1 部分：抗震试验及评判导则 第 5 章要求。

4.3.5 减震和隔震装置的抽样和检测应符合下列规定：

- a) 减震和隔震装置的抽样应根据设计文件和本文件的有关规定进行。
- b) 减震和隔震装置的检测应由具备资质的第三方进行。

4.3.6 环境温度累年最低温度的平均值低于-20 °C及以下地区，应选用具有耐低温性能的减隔震装置。

4.4 连接与节点

- 4.4.1 电气设备减震和隔震装置与支承构件的连接，应符合钢构件连接、钢与钢筋混凝土构件连接、钢与钢管混凝土构件连接构造的规定。
- 4.4.2 电气设备减震和隔震装置与支承、连接件之间宜采用高强度螺栓连接，也可采用焊接。
- 4.4.3 电气设备在减震和隔震装置极限位移或极限速度状态下，与减震和隔震装置连接的构件宜处于弹性工作状态。

5 地震作用和抗震计算

5.1 一般规定

5.1.1 电气设备减震与隔震结构的地震作用应符合下列规定：

- 一般情况下，针对电气设备减震结构和隔震结构，应至少在其两个水平方向分别计算水平地震作用，各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担。
- 电气设备减震与隔震结构可采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响；质量和刚度分布明显不对称时，应计入双向水平地震作用下的扭转影响。
- 长悬臂或悬吊类电气设备或设备关键构件，应计算竖向地震作用。

5.1.2 电气设备减震和隔震结构的地震作用效应计算，应采用下列方法：

当电气设备减震和隔震结构的主体结构处于弹性工作状态，减震和隔震装置处于线性或非线性工作状态时，可采用底部剪力法、振型分解反应谱法、时程分析法。

5.1.3 采用振型分解反应谱法和时程分析法同时计算时，地震作用结果应取时程分析法与振型分解反应谱法二者之间的较大值。

5.2 设计加速度反应谱

5.2.1 对于Ⅱ类场地，地震作用的地震影响系数曲线图 1 的形状参数计算应符合下列规定：

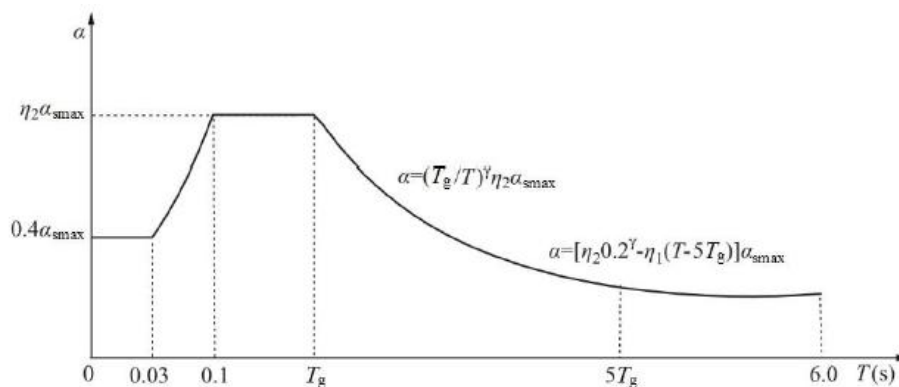


图 1 地震影响系数曲线

- 水平段1，周期小于0.03 s的区段；
- 直线上升段，自0.03 s至0.1 s的区段；
- 水平段2，自0.1 s至特征周期 T_g 区段；
- 曲线下降段，自特征周期 T_g 至 $5T_g$ 区段；

——直线下降段，周期自 $5T_g$ 至 $6s$ 区段。

地震影响系数曲线表达式按公式（1）～公式（4）计算：

$$\alpha = \begin{cases} 0.4\alpha_{\max} & 0 \leq T < 0.03 \\ \left[0.4 + \frac{(\eta_2 - 0.4)}{0.07}(T - 0.03)\right]\alpha_{\max} & 0.03 \leq T < 0.1 \\ \eta_2\alpha_{\max} & 0.1 \leq T < T_g \\ \left(\frac{T_g}{T}\right)^\gamma \eta_2\alpha_{\max} & T_g \leq T < 5T_g \\ [\eta_2 0.2^\gamma - \eta_1(T - 5T_g)]\alpha_{\max} & 5T_g \leq T < 6 \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \xi}{0.3 + 6\xi} \dots\dots\dots (2)$$

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \xi}{4 + 32\xi} \dots\dots\dots (3)$$

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \xi}{0.08 + 1.6\xi} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

α ——地震影响系数；

α_{\max} ——地震影响系数最大值，采用表 1 中水平地震影响系数最大值；

ξ ——阻尼比；

T_g ——特征周期，可采用表 2 中 II 类场地的特征周期；

η_2 ——阻尼调整系数，根据公式 4 确定，小于 0.55 时取 0.55；

γ ——曲线下降段的衰减指数，根据公式 2 确定；

η_1 ——直线下降段的斜率调整系数，根据公式 3 确定，小于 0 时取 0。

表 1 水平地震影响系数最大值

抗震设防烈度	6	7		8		9
设计基本地震加速度对应的地震影响系数最大值	0.125	0.25	0.375 ^a	0.50	0.75 ^b	1.00
带 ^{a、b} 的数值分别对应于设计基本地震加速度为 0.15 g 和 0.30 g 的地区。						

表 2 特征周期值（s）

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

注：设计抗震设防烈度采用较高标准的特征周期应在表中数据上增加 0.05 s。

水平地震影响系数特征周期应按照GB 18306取换流站所在地反应谱特征周期，并根据场地类别调整确定；或根据GB 50011按换流站所在地的设计地震分组和场地类别按表2采用。当场地条件不明确或不充分时场地特征周期 T_g 取0.90 s。

对于其他类场地，计算地震作用的地震影响系数曲线形状参数按下式确定：

$$\alpha_s = \eta_3 \alpha \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- α_s ——不同场地的地震影响系数；
- η_3 ——按公式 5 计算的地震影响系数值；
- α ——地震影响系数最大值场地调整系数，应符合表 3 的规定。

表 3 地震影响系数最大值场地调整系数

场地类别	设计基本地震加速度 (g)					
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	≥0.40
I ₀	0.72	0.74	0.75	0.76	0.85	0.90
I ₁	0.80	0.82	0.83	0.85	0.95	1.00
II	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
III	1.30	1.25	1.15	1.00	1.00	1.00
IV	1.25	1.20	1.10	1.00	0.95	0.90

5.3 设计地震动时程

5.3.1 电气设备的减震和隔震结构采用时程分析方法时，地震动加速度时程曲线的选择应符合下列规定：

- a) 已作地震安全性评价的工程场地，设计地震动时程应根据专门的工程场地地震安全性评价的结果确定。
- b) 未作地震安全性评价的工程场地，可根据本文件设计加速度反应谱，合成与其匹配的设计加速度时程。地震动加速度时程曲线应符合设计反应谱和设计加速度峰值的基本规定，设计基本地震加速度最大值见表 4。
- c) 实际强震记录地震动加速度时程曲线应根据地震烈度、设计地震分组和场地类别进行选择，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。
- d) 可采用实际强震记录或人工合成地震动时程作为地震动输入时程。输入地震动时程不应少于 3 组，其中至少有一组人工合成地震动时程，其有效持续时间宜取设备基本自振周期的 5~10 倍。计算结果宜取时程法计算结果的包络值和振型分解反应谱法计算结果二者之间的较大值。。

表 4 时程分析所用地震加速度时程的最大值 (cm/s²)

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度	9 度
设计基本地震加速度	50	100 (150)	200 (300)	400

注：括号内数值分别用于设计基本地震加速度为0.15g和0.3g的地区。

5.4 地震作用效应计算

5.4.1 当电气设备有支承结构时，宜将支承结构与电气设备作为整体进行减隔震设计；当设备支承结构参数缺乏，应考虑支承结构的动力放大作用，地震输入加速度应乘以支承结构动力反应放大系数，支承结构参数确定后应补充校核减震或隔震设计。设备支承结构动力反应放大系数按 GB/T 42558.2-202x 第 5.3 条确定。

5.4.2 采用底部剪力法或振型分解反应谱法时，应将电气设备与减震或隔震装置进行整体分析，其中减震或隔震装置的非线性特征可按等效线性化的迭代方式计算，并应计算其地震作用和作用效应。

5.4.3 当采用时程分析法时，计算模型的确定应计及电气设备各结构构件的空间分布、减震或隔震装置的位置、整体结构的质量偏心、在两个水平方向的平移和扭转、减震或隔震装置的非线性阻尼特征以及荷载-位移关系特性等。

5.4.4 一般情况下，应至少在两个水平轴方向分别计算水平地震作用，各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担。

5.4.5 对质量和刚度不对称的结构，应计入水平地震作用下的扭转影响；其他情况下，应允许采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。

5.4.6 电气设备或关键设备构件为长悬臂结构或悬吊结构，应计算竖向地震作用，当需要进行双向或三向地震输入时程分析时，两个水平方向和竖向的地震动输入峰值加速度的组合比例为 1:0.85:0.65。

5.5 抗震性能判定

5.5.1 电气设备用于抗震性能验算所取的荷载效应组合应包括设备自重、地震作用、0.25 倍设计风荷载、端子力及设备内部压力所产生的效应组合，见公式 6：

$$S = S_G + S_E + 0.25S_W + S_T + S_P \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S ——荷载效应的组合值，单位为兆帕（MPa）；

S_G ——设备自重标准值（包括设备本体、连接软导线组合引下线、附属连接金具等重量）计算所得效应值，单位为兆帕（MPa）；

S_E ——地震作用标准值计算所得效应值，单位为兆帕（MPa）；

S_W ——风荷载标准值计算所得效应值，特高压设备按照设备应用所在地 100 年一遇的风速取值，其他电压等级设备按照设备应用所在地 50 年一遇的风速取值，单位为兆帕（MPa）；

S_T ——端子力标准值计算所得效应值，端子拉力可取 0.75 倍端子静态最大允许机械载荷值，也可采用 1.1 倍地震作用效应动力放大来等效考虑，单位为兆帕（MPa）；

S_P ——设备内部压力标准值计算所得效应值，应考虑电气设备所处不同海拔位置时的气压修正，单位为兆帕（MPa）。

5.5.2 电气设备应综合其力学性能和电气性能，判定是否满足其抗震设防要求：

a) 力学性能判定准则

电气设备的抗震强度验算，按照设备的根部或其他危险断面处产生的应力值应小于设备或材料的容许应力值，对于设备连接金具、软导体及硬导体的应力要求，应满足表5中载荷短期作用时的应力要求；对于套管和绝缘子，采用破坏应力（破坏弯矩）或额定机械负荷进行判定时，应满足公式7或公式8的规定：

$$\sigma_{Etot} \leq \sigma_v / 1.67 \dots\dots\dots (2)$$

$$M_{Etot} \leq M_v / 1.67 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- σ_v ——电气设备中瓷件的破坏应力值，或复合材料的規定机械负荷时的应力值（MPa）；
- M_v ——电气设备中瓷件的破坏弯矩值，或复合材料的規定机械负荷时的弯矩值（N·m）；
- σ_{Etot} ——地震作用工况荷载组合产生的总应力（MPa）；
- M_{Etot} ——地震作用工况荷载组合产生的总弯矩（N·m）。

表 5 导体和绝缘子的安全系数

类别	载荷短期作用时
套管或支持绝缘子及其金具	1.67
悬式绝缘子及其金具 ^a	2.5
软导线	2.5
硬导体 ^b	1.67
注1：悬式绝缘子的安全系数对应于1h机电试验载荷，而不是破坏载荷。若是后者，安全系数则为3.3；	
注2：硬导体的安全系数对应于破坏应力而不是屈服点应力。若是后者，安全系数则为1.4。	

对于具有明显屈服点的金属构件，其总应力应满足公式 9 的规定：

$$\sigma_{tot-m} \leq 0.9 \sigma_s \quad (4)$$

式中：

- σ_{tot-m} ——地震作用和其他荷载在金属构件上产生的总应力（MPa）；
- σ_s ——金属构件材料屈服强度标准值（MPa）。

b) 电气性能判定准则

当电气设备满足力学性能后，还需对其电气功能进行判定，不同类型电气设备的电气功能评定有所不同，可根据自身功能特点选择评定或测试项目，均需满足性能要求。

6 减震设计

6.1 一般规定

6.1.1 电气设备减震设计应根据电气设备在地震作用时预期的位移或内力等控制要求，选择合适的减震装置。

6.1.2 电气设备用减震装置包括位移相关型减震装置、速度相关型减震装置、复合型减震装置。

6.1.3 减震装置的性能应符合下列规定：

- 减震装置中非减震功能部件的材料应达到设计强度要求，设计荷载应按减震装置 1.5 倍极限作用力选取，应保证减震装置中构件在设计抗震设防烈度下能正常工作。
- 减震装置在性能检测试验工况下，试验滞回曲线应平滑、无异常。

6.1.4 新型减震装置应经过高原环境试验、减震试验，验证减震装置的性能和减震效果。

6.2 设计计算

6.2.1 电气设备减震结构的地震影响系数可根据电气设备减震结构的总阻尼比见本文件 6.2.1 的规定。

6.2.2 位移型减震装置和非线性速度型减震装置附加于电气设备结构的有效刚度应采用等效线性化方法确定。

6.2.3 电气设备减震结构的总阻尼比应为电气设备结构阻尼比和减震装置附加给电气设备结构的有效阻尼比的总和。

6.2.4 加设减震装置的电气设备，可采用应变能法、能量曲线对比法、结构响应对比法等计算减震装置在结构中的附加有效阻尼比。

6.2.5 减震装置附加于电气设备结构的有效阻尼比可按下式估算：

$$\zeta_a = \sum_j W_{c_j} / (4\pi W_s) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ζ_a ——减震结构的附加有效阻尼比；

W_{c_j} ——第 j 个减震器在结构预期位移 Δu_j 下往复循环一周所消耗的能量；

W_s ——减震结构在预期位移下的总应变能。

减震装置附加给设备结构的有效阻尼比超过25%时，宜按25%计算。

6.2.6 不计扭转影响时，电气设备减震结构在水平地震作用下的总应变能，可按下式估算：

$$W_s = (1/2) \sum F_i u_i \dots\dots\dots (2)$$

式中：

F_i ——质点 i 的水平地震作用标准值；

u_i ——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移。

6.2.7 速度线性相关型减震装置在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{c_j} = (2\pi^2 / T_1) \sum c_j \cos^2 \theta_j \Delta u_j^2 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

T_1 ——电气设备减震结构的基本自振周期；

c_j ——第 j 个减震装置的线性阻尼系数；

θ_j ——第 j 个减震装置的减震方向与水平面的夹角；

Δu_j ——第 j 个减震装置两端的相对水平位移。

当减震装置的阻尼系数和有效刚度与结构的自振周期有关时，可取相应于电气设备减震结构基本自振周期值。

6.2.8 位移相关型和速度非线性相关型减震装置在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下式估算：

$$W_{c_j} = A_j \dots\dots\dots (4)$$

式中：

A_j ——第 j 个减震装置的恢复力滞回环在相对水平位移 Δu_j 时的面积。

6.2.9 减震装置的极限位移应不小于最大设计位移的 1.2 倍；速度型减震装置的极限速度应不小于减震装置最大设计速度的 1.2 倍，且减震装置应满足在此极限速度下的承载力要求。

6.2.10 电气设备减震装置的连接构件、连接板、预埋件的作用力取值应不小于减震装置在最大设计位移或最大设计速度下对作用力的 1.2 倍。

6.3 减震装置选型

6.3.1 减震装置应根据电气设备结构类型、地震反应控制目标、应用所处的抗震设防烈度和安装等条件确定。

6.3.2 电气设备减震装置选择应满足以下要求：

- a) 减震装置的强度、刚度、稳定性、变形能力、耗能能力应满足抗震要求。
- b) 减震装置应具有使用地区的最高和最低气温条件的耐候性。
- c) 减震装置及其与电气设备的连接部件应具有良好的耐久性，在正常的使用和维护条件下，其使用寿命不宜低于设备的寿命。
- d) 特高压电气设备采用减震装置的减震效率应达到 30%以上，其他电压等级电气设备采用减震装置的减震效率应达到 40%以上。
- e) 减震装置应由具备资质的第三方机构进行力学性能检测，出具检测报告，检测报告中应提供减震装置的荷载位移曲线、滞回曲线等相关信息。
- f) 减震装置供应商应提供性能参数、使用环境、出厂合格证、安装运输及检查和维护要求等相关资料。

6.3.3 减震装置的外观应符合下列规定：

- a) 减震装置外表应光滑，无明显缺陷。
- b) 减震装置需要考虑防腐、防锈和防火时，应外涂防腐、防锈漆、防火涂料或进行其他相应处理，但不能影响减震装置的正常工作。
- c) 减震装置的尺寸偏差应符合本文件有关规定。

6.4 连接回路减震设计

6.4.1 软导体和硬导体连接的电气设备连接回路，宜对整体连接回路进行减震分析，也可采用单体设备考虑导线动力放大的方式进行减震分析， ± 400 kV 及以上电气设备力矩放大系数可取 1.1，其他电压等级电气设备力矩放大系数可取 1.0。

6.4.2 采用减震措施的软导线连接的电气设备回路，软导线计算长度应按照采取减震技术措施后单体电气设备的位移为依据进行计算。计算方法见附录 A。

6.4.3 采用减震措施的硬导体连接电气设备回路，宜装设伸缩节或滑动金具等，其允许变形应满足采取减震措施后的电气设备的位移要求。

6.5 构造要求

6.5.1 减震装置应根据电气设备结构特点布置安装。支柱类设备宜将减震装置安装在电气设备本体底部与设备支架顶板之间，也可安装在电气设备支架底部与基础之间或其它位置。悬吊式设备的减震装置可安装在设备悬吊点或设备底部。悬臂式设备的减震装置可安装在悬臂结构的支撑构件根部。

6.5.2 安装减震装置后，应尽可能减小支柱类电气设备在地震作用下的扭转效应。

6.5.3 电气设备减震装置与节点板、预埋件的连接，可采用高强螺栓连接、焊接等方式。高强螺栓及焊接的计算、构造要求应符合 GB 50017、GB 50010、JGJ 145 的规定。

6.5.4 电气设备连接钢板的厚度应按与其相连的设备及减震装置的要求确定，当无特殊要求时不宜小于 12 mm，并宜增设加劲肋等加强措施。

7 隔震设计

7.1 一般规定

7.1.1 电气设备隔震计算分析模型应同时包括电气设备与隔震装置等。

7.1.2 确定隔震设计方案时，应与非隔震设计方案进行对比分析。

7.1.3 采用隔震设计的电气设备地震作用应符合下列规定：

- a) 一般情况下，应至少在被隔震电气设备结构的两个水平方向分别计算地震作用。
- b) 被隔震电气设备结构可采用调整地震作用效应的方式计算扭转影响；质量和刚度分布明显不对称的结构，应计入双向水平地震作用的扭转影响。
- c) 进行隔震设计的电气设备本体高宽比宜小于 4，当大于 4 时应增设抗倾覆措施。
- d) 有特殊要求的电气设备进行隔震设计时，宜通过真型或模型试验后确定。

7.1.4 电气设备隔震结构宜采用的隔震装置类型，主要包括天然橡胶支座、铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座、弹性滑板支座、摩擦摆支座及其他隔震装置。

7.1.5 电气设备隔震设计时，应能保证避免上部设备及隔震部件正常位移或变形受到阻挡，不应影响被隔震设备、连接设备或相邻设备的正常功能和使用。

7.1.6 穿过隔震层的设备管线等应采用柔性连接或其它有效措施以适应隔震层在地震作用下的水平和竖向位移。

7.1.7 隔震装置的布置不应使设备结构出现抗震薄弱部位。

7.1.8 除特殊规定外，各类型隔震装置和隔震构造应符合 GB/T 20688.1、GB/T 20688.3、GB/T 20688.5、GB/T 37358-2019 的相关规定。

7.2 设计计算

7.2.1 隔震层设计时，隔震装置应符合下列规定：

- a) 隔震装置的性能参数及滞回曲线应由试验确定。
- b) 隔震装置的设置部位除应按计算确定外，还应考虑便于检查和替换。设计文件中应注明对隔震装置的性能要求，隔震装置安装前应具有符合设计要求的型式检验报告及出厂检验报告。

7.2.2 隔震层设计应符合下列规定：

- a) 同一隔震层选用多种类型、规格的隔震装置时，橡胶类装置不宜与摩擦摆隔震装置在同一隔震层中混合使用。
- b) 隔震层采用摩擦摆隔震装置时，应考虑隔震装置水平滑动时产生的竖向位移，及其对隔震层和结构的影响。并应满足以下要求：
- c) 主滑面的曲面应能容纳地震作用下滑块最大的水平设计位移。
- d) 主滑面应允许滑块的旋转运动，且满足其最大位移要求。
- e) 当隔震层采用隔震装置和阻尼装置时，应使隔震层在地震后基本恢复原位即残余变形不大于最大变形的 5%，隔震层在电气设备的设计抗震设防烈度下的水平最大位移所对应的恢复力，不宜小于隔震层屈服力与摩阻力之和的 1.2 倍。

7.2.3 电气设备进行隔震设计时，应进行竖向承载力验算。

7.2.4 电气设备隔震设计计算分析，应符合下列规定：

- a) 隔震结构的计算简图，应增加由隔震装置组成的质点。
- b) 对变形特征为剪切型的结构可采用剪切模型。
- c) 采用时程分析法进行隔震计算时，输入地震动应满足 5.3 的要求。

7.2.5 隔震层的布置应符合下列规定：

- a) 隔震层宜设置在结构的底部或中下部，其隔震装置应设置在受力较大的部位，隔震装置的规格、数量和分布应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求由计算确定。
- b) 隔震装置的平面布置宜与上部结构和下部结构中竖向受力构件的平面位置相对应，不能相对应时，应采取可靠的结构转换措施。
- c) 同一支承处采用多个隔震装置时，隔震装置之间的净距应能满足安装和更换所需的尺寸。
- d) 隔震层可由阻尼装置与隔震装置合为一体，亦可单独设置，同时宜设置限位装置。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/018054105102006116>