

前 言

本规范是根据原建设部《关于印发〈2004年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2004〕67号)的要求,由中国电力工程顾问集团西北电力设计院会同有关单位共同编制完成。

本规范在修订过程中,修订组经广泛调查研究,认真总结实践经验,经广泛征求意见和多次讨论修改,最后经审查定稿。

本规范共分8章,主要内容包括:总则,术语和符号,场地,选址与总体布置,电气设施地震作用,电气设施,火力发电厂和变电站的建(构)筑物,送电线路杆塔及微波塔。

本规范修订的主要技术内容包括:

1. 增加了术语和符号章节;
2. 修订了规范的适用范围;
3. 按国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 确定场地划分,修改了地震影响系数;
4. 对动力设计方法、支架动力放大系数、荷载效应组合以及地震试验等提出了更明确的要求;
5. 增加了电气设备的隔震与消能减震设计;
6. 适度增加了主厂房钢筋混凝土结构布置的要求,对特别不规则布置提出了限制条件;补充了栈桥与相邻建(构)筑物间在高抗震设防要求时的连接方式等内容;明确了抗震验算杆塔的设计原则;
7. 吸收了汶川大地震电力设施及电力设备受损情况的经验和教训,适当提高了电力设施的抗震设计标准;
8. 增加了强制性条文。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国电力企业联合会负责日常管理,由中国电力工程顾问集团西北电力设计院负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料,将意见和建议反馈给中国电力工程顾问集团西北电力设计院(地址:西安市高新技术产业开发区团结南路 22 号;邮政编码:710075),以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:中国电力工程顾问集团西北电力设计院

参 编 单 位:中国地震局地球物理研究所

中国地震局工程力学研究所

郑州机械研究所

中国电力科学研究院

同济大学

中国电力工程顾问集团华北电力设计院工程
有限公司

中国电力工程顾问集团华东电力设计院

重庆大学

西安西开高压电气股份有限公司

主要起草人:张晓江 刘明秋 朱小利 林 娜 李小军

周正华 刘玉民 代泽兵 谢 强 张玉明

卢智成 马团生 赵纪生 刘启方 潘炎根

陈正伦 李英民 何丽婷 余明星 唐先明

史 东 周 爽 朴昌吉

主要审查人:贾 成 童建国 张蜂蜜 刘锡荟 姚德康

刘厚建 曹枚根 尤红兵 赵风新 杜继平

刘开华 陈 峥 包永忠 刘晓瑞 陈其春

李国荣 周建军 夏应朴 钟西岳 周 玉
张润明 张希捷 顾丕骅 闫关星 姜 涛
张自平 张晓星 隋国秀

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(4)
2.1	术语	(4)
2.2	符号	(5)
3	场 地	(8)
4	选址与总体布置	(10)
5	电气设施地震作用	(12)
6	电气设施	(18)
6.1	一般规定	(18)
6.2	设计方法	(18)
6.3	抗震计算	(20)
6.4	抗震试验	(23)
6.5	电气设施布置	(24)
6.6	电力通信	(25)
6.7	电气设施安装设计的抗震要求	(25)
6.8	电气设备的隔震与消能减震设计	(26)
7	火力发电厂和变电站的建(构)筑物	(28)
7.1	一般规定	(28)
7.2	钢筋混凝土主厂房结构布置和构造要求	(30)
7.3	钢结构主厂房结构布置和构造措施	(33)
7.4	集中控制楼、配电装置楼	(34)
7.5	运煤廊道	(34)
7.6	变电站建(构)筑物	(35)
8	送电线路杆塔及微波塔	(40)

8.1 一般规定	(40)
8.2 计算要点	(41)
8.3 构造要求	(42)
本规范用词说明	(43)
引用标准名录	(44)

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(4)
2.1	Terms	(4)
2.2	Symbols	(5)
3	Site	(8)
4	Site selection and general arrangement	(10)
5	Seismic action for electrical facilities	(12)
6	Electrical facilities	(18)
6.1	General requirement	(18)
6.2	Design-method	(18)
6.3	Seismic calculation	(20)
6.4	Seismic strength verification testing	(23)
6.5	Electrical facilities arrangement	(24)
6.6	Electrical communication	(25)
6.7	Seismic requirement for electrical facilities installation	(25)
6.8	Design of seismic isolation and energy dissipation for electrical facilities	(26)
7	Buildings and structure in power stations and substations	(28)
7.1	General requirement	(28)
7.2	Reinforced concrete power house structural arrangement and constructional requirement	(30)
7.3	Steel power house structural arrangement and constructional Measures	(33)

7.4	Central control building and switchgear building	(34)
7.5	Coal conveyor gallery	(34)
7.6	Buildings and structures in substations	(35)
8	Transmission line tower and microwave tower	(40)
8.1	General requirement	(40)
8.2	Essentials in calculation	(41)
8.3	Constructional requirement	(42)
	Explanation of wording in this code	(43)
	List of quoted standards	(44)

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行《中华人民共和国防震减灾法》，实行“以防为主、防御与救助结合”的方针，使电力设施经抗震设防后，减轻电力设施的地震破坏，避免人员伤亡，减少经济损失，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于抗震设防烈度 6 度至 9 度地区的新建、扩建、改建的下列电力设施的抗震设计：

- 1 单机容量为 12MW~1000MW 火力发电厂的电力设施。
- 2 单机容量为 10MW 及以上水力发电厂的有关电气设施。
- 3 电压等级为 110kV~750kV 交流输变电工程中的电力设施。
- 4 电压等级为 ± 660 kV 及以下直流输变电工程中的电力设施。
- 5 电力通信微波塔及其基础。

1.0.3 新建、改建和扩建的电力设施必须达到抗震设防要求。

1.0.4 按本规范设计的电力设施中的电气设施，当遭受到相当于本地区抗震设防烈度及以下的地震影响时，不应损坏，仍可继续使用；当遭受到高于本地区抗震设防烈度相应的罕遇地震影响时，不应严重损坏，经修理后即可恢复使用。

1.0.5 按本规范设计的电力设施的建(构)筑物，当遭受到低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，主体结构不受损坏或不需修理仍可继续使用；当遭受到相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，可能发生损坏，但经一般修理或不需修理仍可继续使用；当遭受到高于本地区抗震设防烈度相应的罕遇地震影响时，不应倒塌或发生危及生命的严重破坏。

1.0.6 电力设施应根据其抗震的重要性的特点分为重要电力设施和一般电力设施,并应符合下列规定:

1 符合下列条款之一者为重要电力设施:

- 1)单机容量为 300MW 及以上或规划容量为 800MW 及以上的火力发电厂;
- 2)停电会造成重要设备严重破坏或危及人身安全的工矿企业的自备电厂;
- 3)设计容量为 750MW 及以上的水力发电厂;
- 4)220kV 枢纽变电站,330kV~750kV 变电站,330kV 及以上换流站,500kV~750kV 线路大跨越塔,±400kV 及以上线路大跨越塔;
- 5)不得中断的电力系统的通信设施;
- 6)经主管部(委)批准的,在地震时必须保障正常供电的其他重要电力设施。

2 除重要电力设施以外的其他电力设施为一般电力设施。

1.0.7 电力设施中的建(构)筑物根据其重要性分为三类,并应符合下列规定:

1 重要电力设施中发电厂的主要建(构)筑物和输变电工程供电建(构)筑物为重点设防类,简称为乙类。

2 一般电力设施中的主要建(构)筑物和有连续生产运行设备的建(构)筑物以及公用建(构)筑物、重要材料库为标准设防类,简称为丙类。

3 乙、丙类以外的次要建(构)筑物为适度设防类,简称为丁类。

1.0.8 电力设施的抗震设防地震动参数或烈度必须按国家规定的权限审批、颁发的文件(图件)确定。

1.0.9 电力设施的抗震设防烈度或地震动参数应根据现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 的有关规定确定。对按有关规定做过地震安全性评价的工程场地,应按批准的抗震设防

设计地震动参数或相应烈度进行抗震设防。重要电力设施中的电气设施可按抗震设防烈度提高 1 度设防,但抗震设防烈度为 9 度及以上时不再提高。

1.0.10 各抗震设防类别的建(构)筑物的抗震设防标准,均应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的有关规定。

1.0.11 当架空送电线路的重要大跨越杆塔和基础需提高 1 度设防时,应组织专家审查,并报主管单位核准。

1.0.12 电力设施中的电气设施和建(构)筑物的抗震设计除应符合本规范的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

住房城乡建设部信息中心
浏览专用

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 抗震设防烈度 seismic precautionary intensity

按国家规定的权限批准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。

2.1.2 场地 site

工程群体所在地,具有相似的反应谱特征。其范围相当于厂区、居民小区和自然村或不小于 1.0km^2 的平面面积。

2.1.3 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。

2.1.4 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。

2.1.5 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。

2.1.6 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。

2.1.7 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。

2.1.8 固有频率 natural frequency

只取决于结构本身物理特性(质量、刚度和阻尼)的自由振动频率。

2.1.9 时程曲线 time history curve

加速度、速度、位移等物理量与时间的关系曲线分别称为加速度、速度、位移时程曲线。

2.1.10 正弦拍波 sine beat

由较低频率正弦波调制的某一频率的连续正弦波。一个正弦拍波的持续时间为调制频率的半个周期。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应:

F_{ji} —— j 振型 i 质点的水平地震作用标准值;

F_{EK} ——结构总水平地震作用标准值;

F_i —— i 质点的水平地震作用标准值;

F_n ——顶部附加水平地震作用;

G_i 、 G_j ——分别为集中于质点 i 、 j 的重力荷载代表值;

G_{eq} ——结构(设备)等效总重力荷载代表值;

S_E ——地震作用效应(弯矩、轴向力、剪力、应力和变形);

S ——地震作用效应与其他荷载效应的基本组合;

S_k ——作用、荷载标准值的效应;

S_{Ek} ——水平地震作用标准值的效应;

S_j —— j 振型水平地震作用效应;

M ——弯矩;

N ——轴向力;

V ——地震作用产生的剪力。

2.2.2 抗力和材料性能:

E_c ——瓷套管的弹性模量;

$K_{c,e}$ ——瓷套管的抗弯刚度;

R ——结构(设备)构件承载力设计值；

K ——结构(设备)构件的刚度；

σ_{tot} ——地震作用和其他荷载产生的总应力；

σ_v ——设备或材料的破坏应力。

2.2.3 几何参数：

H_0 ——电气设施体系重心高度；

h ——计算断面处距底部高度；

H_i 、 H_j ——分别为 i 、 j 质点的计算高度；

h_c ——瓷套管与法兰胶装高度；

I_c ——截面惯性矩；

d_c ——瓷套管胶装部位外径；

L_c ——梁单元长度；

t_e ——法兰与瓷套管之间的间隙距离。

2.2.4 计算系数：

ζ ——结构阻尼比；

γ ——衰减指数；

η_1 ——地震影响系数曲线中直线下降段的下降斜率调整系数；

η_2 ——阻尼调整系数；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

α ——水平地震影响系数；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值(周期 $T=0$ 的值, $0.40\alpha_{\text{max}}$ 对应着刚性结构动力不放大)。

2.2.5 其他：

a_0 ——设计基本地震加速度；

g ——重力加速度；

a ——地面运动时程的水平加速度；

a_s ——地面运动时程的最大水平加速度；

T ——体系(结构)自振周期；

f ——体系(结构)在测试方向的基本频率；

T_g ——特征周期；

T_p ——正弦拍波各拍间时间间隔；

X_{ji} —— j 振型 i 质点的 X 方向相对水平位移；

Y_{ji} —— j 振型 i 质点的 Y 方向相对水平位移。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

3 场 地

3.0.1 工程场地按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 可分为有利、一般、不利和危险地段。

3.0.2 工程场地的类别划分,应以土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度为准。

3.0.3 场地土层剪切波速的测量,应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

3.0.4 工程场地覆盖层厚度的确定,应符合下列要求:

1 一般情况下,应按地面至剪切波速大于 500m/s 且其下卧各层岩土剪切波速均不小于 500m/s 的土层顶面的距离确定。

2 当地面 5m 以下存在剪切波速大于上部各土层的剪切波速 2.5 倍的土层,且该层及其下卧各层岩土剪切波速均不小于 400m/s 时,可按地面至该土层顶面的距离确定。

3 剪切波速大于 500m/s 的孤石、透镜体,应视同周围土层。

4 土层中的火山岩硬夹层,应视为刚体,其厚度应从覆盖土层中扣除。

3.0.5 土层的等效剪切波速,应按下列公式计算:

$$v_{se} = \frac{d_0}{t} \quad (3.0.5-1)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}} \quad (3.0.5-2)$$

式中: v_{se} ——土层等效剪切波速(m/s);

d_0 ——计算深度(m),取覆盖层厚度和 20m 两者的较小值;

t ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间(s);

d_i ——计算深度范围内第 i 土层的厚度(m);

v_{si} ——计算深度范围内第 i 土层的剪切波速(m/s)；

n ——计算深度范围内土层的分层数。

3.0.6 工程场地类别,应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度按表 3.0.6 划分为四类,其中 I 类分为 I₀、I₁ 两个亚类。当有可靠的剪切波速和覆盖层厚度且其值处于表 3.0.6 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设计特征周期。

表 3.0.6 场地覆盖层厚度

等效剪切波速 (m/s)	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
$V_s > 800$	$d = 0$	—	—	—	—
$800 \geq V_s > 500$		$d = 0$	—	—	—
$500 \geq V_{se} > 250$		$d < 5$	$d \geq 5$	—	—
$250 \geq V_{se} > 150$		$d < 3$	$3 \leq d < 50$	$d \geq 50$	—
$V_{se} \leq 150$		$d < 3$	$3 \leq d < 15$	$15 \leq d < 80$	$d \geq 80$

注: V_s 为场地岩石剪切波速; V_{se} 为场地土层等效剪切波速; d 为覆盖层厚度(单位:m)。

3.0.7 场地内存在发震断裂时,应对断裂的工程影响进行评价,并应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

3.0.8 当需要在条状突出的山嘴、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进行建设时,除保证地震作用下的稳定性外,尚应估计不利地段对设计地震动参数可能产生的影响,应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的方法对设计地震动参数进行修正。

3.0.9 场地地质勘察应划分对电力设施有利、一般、不利和危险的地段,并提供电力设施的场地覆盖层厚度、土层剪切波速和岩土地震稳定性(滑坡、崩塌等)评价结果,以及对液化地基提供液化判别、液化等级、液化深度等数据。

3.0.10 输电线路勘察范围和勘察项目可按有关规定执行。

4 选址与总体布置

4.0.1 发电厂、变电站应选择在对抗震有利的地段,并应避免对抗震不利地段;当无法避开时,应采取有效措施。不得在危险地段选址。

4.0.2 发电厂不宜建在抗震设防烈度为 9 度的地区。当必须在 9 度抗震设防烈度地区建厂时,重要电力设施应建在坚硬(坚硬土或岩石)场地。

4.0.3 发电厂的铁路、公路或变电站的进站道路应避免地震时可能发生崩塌、大面积滑坡、泥石流、地裂和错位的危险地段。

4.0.4 电力设施的主要生产建(构)筑物、设备,根据其所处场地的地质和地形,应选择对抗震有利的地段进行布置,并应避免不利地段。

4.0.5 当在 8m 以上高挡土墙、高边坡的上、下平台布置电力设施时,应根据其重要性适当增加电力设施至挡土墙或边坡的距离。

4.0.6 发电厂的燃油库、酸碱库、液氨脱硝剂制备及存储车间宜布置在厂区边缘较低处。燃油罐、酸碱罐、液氨罐四周应设防护围堤。

4.0.7 发电厂厂区的地下管、沟,宜简化和分散布置,并不宜平行布置在道路行车道下面,但抗震设防烈度为 7 度~9 度地震区不应布置在主要道路行车道内。地下管、沟主干线应在地面上设置标志。

4.0.8 发电厂厂外的管、沟、栈桥不宜布置在遭受地震时可能发生崩塌、大面积滑坡、泥石流、地裂和错位等危险地段,宜避开洞穴和欠固结填土区。

4.0.9 发电厂的主厂房、办公楼、试验楼、食堂等人员密集的建筑

物,主要出入口应设置安全通道,附近应有疏散场地。

4.0.10 发电厂道路边缘至建(构)筑物的距离应满足地震时消防通道不致被散落物阻塞的要求。

4.0.11 发电厂、变电站水准基点的布置应避开对抗震不利地段。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

5 电气设施地震作用

5.0.1 电气设施的地震作用应按下列原则确定：

1 电气设施抗震验算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。

2 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。

3 抗震设防烈度为 8 度、9 度时，大跨度设施和长悬臂结构应验算竖向地震作用。

5.0.2 电气设施可采用静力法、底部剪力法、振型分解反应谱法或时程分析法等进行抗震分析。

5.0.3 地震作用的地震影响系数应根据现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 的有关规定、场地类别、结构自振周期、阻尼比及本规范第 1.0.9 条确定，并应符合下列要求：

1 水平地震影响系数最大值应根据设计基本地震加速度应按表 5.0.3-1 采用，设计基本地震加速度应根据现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 取电气设施所在地的地震动峰值加速度。

2 水平地震影响系数特征周期应根据现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 取电气设施所在地反应谱特征周期，并根据场地类别调整确定；或根据国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 按电气设施所在地的设计地震分組和场地类别按表 5.0.3-2 采用。如按罕遇地震计算时特征周期增加 0.05s。

注：周期大于 6.0s 的结构所采用的地震影响系数应专门研究。

表 5.0.3-1 水平地震影响系数最大值

抗震设防烈度	6	7	7	8	8	9
设计基本地震 加速度(g)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
地震影响系数 最大值	0.125	0.250	0.375	0.500	0.750	1.000

表 5.0.3-2 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

5.0.4 对已编制地震小区划的城市或开展工程场地地震安全性评价的场地,应按批准的设计地震动参数采用相应的地震影响系数。

5.0.5 地震作用的地震影响系数曲线的形状参数应符合下列要求:

1 对于 II 类场地,地震作用的地震影响系数曲线(图 5.0.5)的形状参数计算应符合下列规定:

- 1) 直线上升段,周期小于 0.1s 的区段;
- 2) 水平段,自 0.1s 至特征周期的区段;
- 3) 曲线下降段,自特征周期至 5 倍特征周期的区段;
- 4) 直线下降段,自 5 倍特征周期至 6s 区段;
- 5) 地震影响系数曲线按下式表达:

$$\alpha = \begin{cases} \left[0.40 + \frac{\eta_2 - 0.40}{0.1} T \right] \alpha_{\max} & 0 \leq T < 0.1 \\ \eta_2 \alpha_{\max} & 0.1 \leq T < T_g \\ \left(\frac{T_g}{T} \right)^\gamma \eta_2 \alpha_{\max} & T_g \leq T < 5T_g \\ \left[\eta_2 \cdot 0.2^\gamma - \eta_1 (T - 5T_g) \right] \alpha_{\max} & 5T_g \leq T \leq 6.0 \end{cases} \quad (5.0.5-1)$$

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad (5.0.5-2)$$

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta} \quad (5.0.5-3)$$

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \quad (5.0.5-4)$$

式中： α ——地震影响系数；

α_{\max} ——地震影响系数最大值；

T_g ——特征周期；

T ——结构自振周期；

ζ ——结构阻尼比；

γ ——衰减指数；

η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数，当计算值 $\eta_1 < 0$ 时， η_1 应取为 0；

η_2 ——阻尼调整系数，当计算值 $\eta_2 < 0.55$ 时， η_2 应取为 0.55。

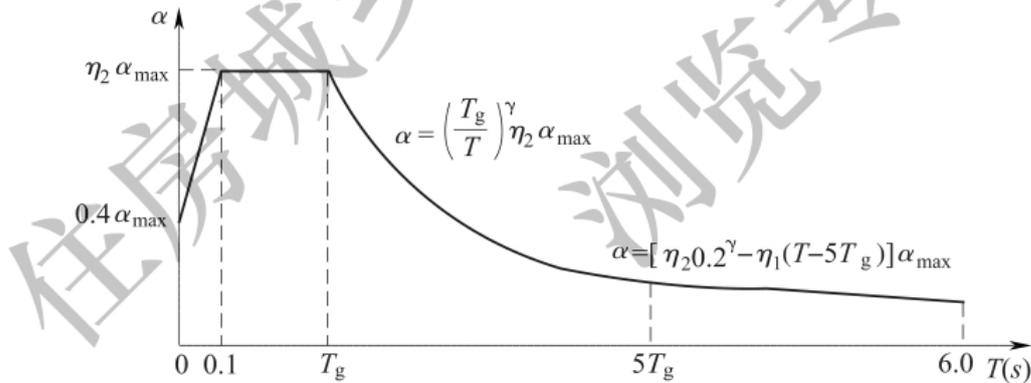


图 5.0.5 地震影响系数曲线

2 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：

$$\alpha_s = \eta_3 \alpha \quad (5.0.5-5)$$

式中： α_s ——不同类场地的地震影响系数；

α ——按式(5.0.5-1)计算的地震影响系数值；

η_3 ——地震影响系数最大值场地调整系数，应符合表 5.0.5 的规定。

表 5.0.5 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

5.0.6 当采用底部剪力法进行结构水平地震作用计算(图 5.0.6)时,结构的总水平地震作用标准值及各质点的水平地震作用标准值,应按下列公式计算:

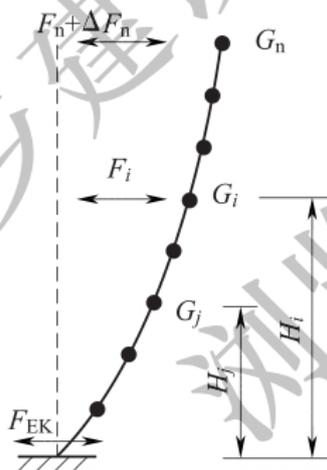


图 5.0.6 结构水平地震作用计算简图

1 结构总水平地震作用标准值应按下列公式计算:

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq} \quad (5.0.6-1)$$

式中: F_{Ek} ——结构总水平地震作用标准值;

α_1 ——对应于结构基本自振周期的水平地震影响系数,应按本规范第 5.0.5 条采用;

G_{eq} ——结构等效总重力荷载,单质点应取总重力荷载代表值,多质点可取总重力荷载代表值的 85%。

2 各质点的水平地震作用标准值应按下列公式计算:

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_{EK} \cdot (1 - \delta_n) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5.0.6-2)$$

式中： F_i —— i 质点的水平地震作用标准值；

G_i 、 G_j ——分别为集中于质点 i 、 j 的重力荷载代表值；

H_i 、 H_j ——分别为 i 、 j 质点的计算高度；

δ_n ——顶部附加地震作用系数，可符合表 5.0.6 的规定。

表 5.0.6 顶部附加地震作用系数

T_g (s)	$T_1 > 1.4T_g$ (s)	$T_1 \leq 1.4T_g$ (s)
≤ 0.35	$0.081T_1 + 0.07$	0
$< 0.35 \sim 0.55$	$0.081T_1 + 0.01$	
> 0.55	$0.081T_1 - 0.02$	

注： T_1 为结构的基本自振周期。

3 顶部附加水平地震作用应按下列式计算：

$$\Delta F_n = \delta_n F_{EK} \quad (5.0.6-3)$$

式中： ΔF_n ——顶部附加水平地震作用，应符合表 5.0.6 的要求。

5.0.7 当采用振型分解反应谱法时，所取振型数应能保证参与质量至少达到总质量的 90% 或以上。地震作用和作用效应应符合下列规定：

1 结构 j 振型 i 质点的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i \quad (5.0.7-1)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

$$\gamma_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n X_{ji}^2 G_i} \quad (5.0.7-2)$$

式中： F_{ji} —— j 振型 i 质点的水平地震作用标准值；

α_j ——相应于 j 振型自振周期的水平地震影响系数，应按本规范第 5.0.5 条采用；

γ_j —— j 振型的参与系数；

X_{ji} —— j 振型 i 质点的水平相对位移；

G_i —— i 质点的重力荷载代表值，应包括全部恒荷载、固定设备重力荷载和附加在质点上的其他重力荷载。

2 当相邻振型周期比小于 0.9 时，各振型的水平地震作用效应(弯矩、剪力、轴向力和变形)，应按下式进行计算：

$$S_{E_k} = \sqrt{\sum_{j=1}^m S_j^2} \quad (5.0.7-3)$$

式中： S_{E_k} ——水平地震作用效应；

S_j —— j 振型水平地震作用效应。

3 当相邻振型周期比大于 0.9 时，各振型的水平地震作用效应(弯矩、剪力、轴向力和变形)，应按下列公式进行计算：

$$S_{E_k} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \rho_{jk} S_j S_k} \quad (5.0.7-4)$$

$$\rho_{jk} = \frac{8 \sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4 \zeta_j \zeta_k (1 + \lambda_T^2) \lambda_T + 4(\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \quad (5.0.7-5)$$

式中： S_{E_k} ——水平地震作用效应；

S_j 、 S_k ——分别为 j 、 k 振型地震作用效应；

ζ_j 、 ζ_k ——分别为 j 、 k 振型的阻尼比；

ρ_{jk} —— j 振型与 k 振型的耦联系数；

λ_T —— k 振型与 j 振型的自振周期比。

6 电气设施

6.1 一般规定

6.1.1 电气设施的抗震设计应符合下列规定：

1 重要电力设施中的电气设施，当抗震设防烈度为 7 度及以上时，应进行抗震设计。

2 一般电力设施中的电气设施，当抗震设防烈度为 8 度及以上时，应进行抗震设计。

3 安装在屋内二层及以上和屋外高架平台上的电气设施，当抗震设防烈度为 7 度及以上时，应进行抗震设计。

6.1.2 电气设备、通信设备应根据设防标准进行选择。对位于高烈度区且不能满足抗震要求或对于抗震安全性和使用功能有较高要求或专门要求的电气设施，可采用隔震或消能减震措施。

6.2 设计方法

6.2.1 电气设施的抗震设计宜采用下列方法：

1 对于基频高于 33Hz 的刚性电气设施，可采用静力法。

2 对于以剪切变形为主或近似于单质点体系的电气设施，可采用底部剪力法。

3 除以上款外的电气设施，宜采用振型分解反应谱法。

4 对于特别不规则或有特殊要求的电气设施，可采用时程分析法进行补充抗震设计。

6.2.2 当采用静力设计法进行抗震设计时，地震作用产生的弯矩或剪力可分别按下列公式计算：

1 地震作用产生的弯矩可按下式计算：

$$M = \frac{a_0 G_{eq} (H_0 - h)}{g} \quad (6.2.2-1)$$

式中： M ——地震作用产生的弯矩(kN·m)；

a_0 ——设计地震加速度值；

G_{eq} ——结构等效总重力荷载代表值(kN)；

H_0 ——电气设施体系重心高度(m)；

h ——计算断面处距底部高度(m)；

g ——重力加速度。

2 地震作用产生的剪力可按下式计算：

$$V = \frac{a_0 G_{eq}}{g} \quad (6.2.2-2)$$

式中： V ——地震作用产生的剪力(kN)。

6.2.3 当采用底部剪力法进行抗震设计或采用振型分解反应谱法进行抗震设计时，应符合本规范第5章的有关规定。

6.2.4 当采用动力时程分析法进行抗震设计时，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三条，其中至少应有一条人工合成地震动时程。时程的总持续时间不应少于30s，其中强震动部分不应小于6s。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的较大值。

6.2.5 当需进行竖向地震作用的时程分析时，地面运动最大竖向加速度 a_v 可取最大水平加速度 a_h 的65%。

6.2.6 当电气设备有支承结构时，应充分考虑支承结构的动力放大作用；若仅作电气设施本体的抗震设计时，地震输入加速度应乘以支承结构动力反应放大系数，并应符合下列规定：

1 当支架设计参数确定时，应将支架与电气设施作为一个整体进行抗震设计。

2 当支架设计参数缺乏时，对于预期安装在室外、室内底层、地下洞内、地下变电站底层地面上或低矮支架上的电气设施，其支架的动力反应放大系数的取值不宜小于1.2，且支架设计应保证其动力反应放大系数不大于所取值。

3 安装在室内二、三层楼板上的电气设备和电气装置,建筑物的动力反应放大系数应取 2.0。对于更高楼层上的电气设备和电气装置,应专门研究。

4 安装在变压器、电抗器的本体上的部件,动力反应放大系数应取 2.0。

6.2.7 电气设施抗震设计地震作用计算应包括体系的总重力(含端子板、金具及导线的重量)、内部压力、端子拉力及 0.25 倍设计风载等产生的荷载,可不计算地震作用与短路电动力的组合。

6.3 抗震计算

6.3.1 电气设施按静力法进行抗震计算时,应包括下列内容:

1 地震作用计算。

2 电气设备、电气装置的根部和其他危险断面处,由地震作用效应与按规定组合的其他荷载效应所共同产生的弯矩、应力的计算。

3 抗震强度验算。

6.3.2 电气设施按振型分解反应谱法或时程分析法进行抗震计算时,应包括下列内容:

1 体系自振频率和振型计算。

2 地震作用计算。

3 在地震作用下,各质点的位移、加速度和各断面的弯矩、应力等动力反应值计算。

4 电气设备、电气装置的根部和其他危险断面处,由地震作用效应及与按规定组合的其他荷载效应所共同产生的弯矩、应力的计算。

5 抗震强度验算。

6.3.3 电气设施抗震设计应根据体系的特点、计算精度的要求及不同的计算方法,可采用质量—弹簧体系力学模型或有限元力学

模型。

6.3.4 质量—弹簧体系力学模型应按下列原则建立：

1 单柱式、多柱式和带拉线结构的体系可采用悬臂多质点体系或质量—弹簧体系。

2 装设减震阻尼装置的体系，应计入减震阻尼装置的剪切刚度、弯曲刚度和阻尼比。

3 高压管型母线、大电流封闭母线等长跨结构的电气装置，可简化为多质点弹簧体系。

4 变压器类的套管可简化为悬臂多质点体系。

5 计算时应计入设备法兰连接的弯曲刚度。

6.3.5 直接建立质量—弹簧体系力学模型时，主要力学参数应按下列原则确定：

1 把连续分布的质量简化为若干个集中质量，并应合理地确定质点数量。

2 刚度应包括悬臂或弹簧体系的刚度和连接部分的集中刚度，并应符合下列规定：

1) 悬臂或弹簧体系的刚度可根据构建的弹性模量和外形尺寸计算求得。

2) 当法兰与瓷套管胶装时，弯曲刚度 K_c 可按下式计算：

$$K_c = \frac{6.54 \times 10^7 \times d_c h_c^2}{t_e} \quad (6.3.5-1)$$

式中： K_c ——弯曲刚度(N·m/rad)；

d_c ——瓷套管胶装部位外径(m)；

h_c ——瓷套管与法兰胶装高度(m)；

t_e ——法兰与瓷套管之间的间隙距离(m)。

3) 当法兰与瓷套管用弹簧卡式连接时，其弯曲刚度可按下式计算：

$$K_c = \frac{4.9 \times 10^7 \times d_c h_c'^2}{t_e} \quad (6.3.5-2)$$

式中： h'_c ——弹簧卡式连接中心至法兰底部的高度(m)。

4) 减震阻尼装置的弯曲刚度可按制造厂规定的性能要求确定。

6.3.6 按有限单元分析建立力学模型时,应合理确定有限单元类型和数目,并应符合下列规定:

1 有限单元的力学参数可由电气设备体系和电气装置的结构直接确定。

2 当电气设备法兰与瓷套管连接的弯曲刚度用一个等效梁单元代替时,该梁单元的截面惯性矩 I_c 可按下式计算:

$$I_c = K_c \frac{L_c}{E_c} \quad (6.3.6-1)$$

式中： I_c ——截面惯性矩(m^4)；

L_c ——梁单元长度(m),取单根瓷套管长度的 1/20 左右；

E_c ——瓷套管的弹性模量(Pa)。

6.3.7 在对电气设施进行地震作用计算时,应采用结构的实际阻尼比。对于电瓷类设备,若实际阻尼比未知,建议取值最大不超过 2%,并应符合本规范第 5 章的有关规定。

6.3.8 电气设施的结构抗震强度验算,应保证设备和装置的根部或其他危险断面处产生的应力值小于设备或材料的容许应力值。

当采用破坏应力或破坏弯矩进行验算时,瓷套管和瓷绝缘子的应力及弯矩应分别满足下列公式的要求:

1 地震作用和其他荷载作用产生的瓷套管和瓷绝缘子总应力应按下式计算:

$$\sigma_{tot} \leq \frac{\sigma_v}{1.67} \quad (6.3.8-1)$$

式中： σ_{tot} ——地震作用和其他荷载产生的总应力(Pa)；

σ_v ——设备或材料的破坏应力值(Pa)。

2 地震作用和其他荷载产生的瓷套管和瓷绝缘子总弯矩应按下式计算:

$$M_{\text{tot}} \leq \frac{M_y}{1.67} \quad (6.3.8-2)$$

式中： M_{tot} ——地震作用和其他荷载产生的总弯矩(N·m)；

M_y ——设备或材料的破坏弯矩(N·m)。

6.4 抗震试验

6.4.1 对新型设备或改型较大的设备,应采取地震模拟振动台试验验证其抗震能力;对由于尺寸、重量或复杂性等原因而不具备整体试验条件的设备,或已经通过试验而又改型不大的设备,可以采用部分试验或试验与分析相结合的方法进行验证。

6.4.2 试件应按照运行条件进行安装,任何仅用于试验的固定或连接设施不应影响试件的动力性能。

6.4.3 电气设施抗震强度验证试验应分别在两个主轴方向上检验危险断面处的应力值。但对于对称结构的电气设备和电气装置,可只对一个方向进行验证试验。

6.4.4 对横向布置的穿墙套管等大跨度、长悬臂电气设施,宜采用水平和竖向双向同时输入波形进行验证试验。

6.4.5 电气设施抗震强度验证试验的输入波形和加速度值应按下列原则确定:

1 对于原型电气设备带支架体系和原型电气装置体系的验证试验,振动台输入波形可采用满足本规范第 5.0.5 条规定的地震影响系数曲线的实际强震记录或人工合成地震波;输入的加速度值应按设计采用的烈度及本规范表 5.0.3-1 采用。当仅进行电气设备本体或电气设备和电气装置的部件验证试验时,其幅值应乘以本规范第 6.2.6 条所规定的动力反应放大系数。

2 当仅进行电气设备本体或电气设备和电气装置的部件验证试验时,振动台输入波形也可采用 5 个正弦共振调幅 5 波组成的正弦拍波(图 6.4.5)。

各拍的加速度时程可按下列规定确定:

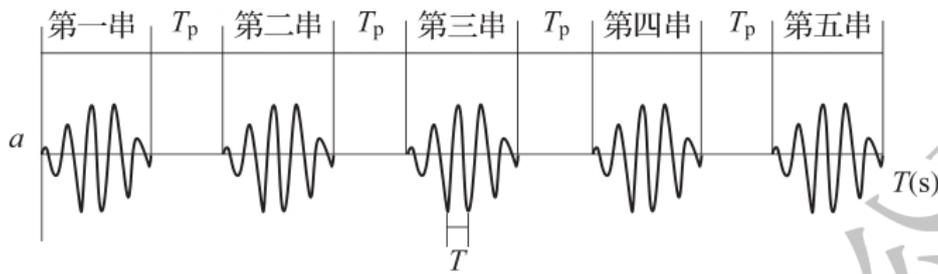


图 6.4.5 正弦拍波

当 $t \geq 5T$ 时, $a=0$;

当 $0 \leq t < 5T$ 时, a 值可按下列公式确定:

$$a = a_s \sin \omega t \cdot \sin \frac{\omega t}{10} \quad (6.4.5-1)$$

$$a_s = 0.75a_0 \quad (6.4.5-2)$$

式中: a ——各时程的水平加速度(g);

t ——时间(s);

T ——体系在测试方向的基本自振周期(s);

a_s ——时程分析地面运动最大水平加速度(g);

a_0 ——与设计拟采用烈度对应的地震加速度值(g);

ω ——体系在测试方向的基本自振圆频率(Hz)。

为避免各拍地震反应的叠加,各拍间隔可按下式确定:

$$T_p \geq \left(\frac{1}{f}\right) \left(\frac{1}{\xi}\right) \quad (6.4.5-3)$$

式中: T_p ——拍间间隔(s);

f ——体系在测试方向的基本频率(Hz)。

6.4.6 试件的测点布置应根据电气设施的结构形式、试验要求等确定,所有测点的数值应同时记录和采集。

6.4.7 验证试验测得的危险断面应力值,应与重力、内部压力、端子拉力及 0.25 倍设计风载等荷载所产生的应力进行组合,当满足本规范第 6.3.8 条规定时,可确认本型式产品能满足抗震要求。

6.5 电气设施布置

6.5.1 电气设施布置应根据抗震设防烈度、场地条件和其他环境

条件,并结合电气总布置及运行、检修条件,通过技术经济分析确定。

6.5.2 当抗震设防烈度为 8 度及以上时,电气设施布置宜符合下列要求:

1 电压为 110kV 及以上的配电装置形式,不宜采用高型、半高型和双层屋内配电装置。

2 电压为 110kV 及以上的管型母线配电装置的管型母线,宜采用悬挂式结构。

3 电压为 110kV 及以上的高压设备,当满足本规范第 6.4.1 条抗震强度验证试验要求时,可按照产品形态要求进行布置。

6.5.3 当抗震设防烈度为 8 度及以上时,110kV 及以上电压等级的电容补偿装置的电容器平台宜采用悬挂式结构。

6.5.4 当抗震设防烈度为 8 度及以上时,干式空心电抗器不宜采用三相垂直布置。

6.6 电力通信

6.6.1 重要电力设施的电力通信,必须设有两个及以上相互独立的通信通道,并应组成环形或有迂回回路的通信网络。两个相互独立的通道宜采用不同的通信方式。

6.6.2 一般电力设施的大、中型发电厂和重要变电站的电力通信,应有两个或两个以上相互独立的通信通道,并宜组成环形或有迂回回路的通信网络。

6.6.3 电力通信设备应具有可靠的电源,并应符合下列要求:

1 重要电力设施的电力通信电源,应由能自动切换的、可靠的双回路交流电源供电,并应设置独立可靠的直流备用电源。

2 一般电力设施的大型发电厂和重要变电站的电力通信电源,应设置工作电源和直流备用电源。

6.7 电气设施安装设计的抗震要求

6.7.1 抗震设防烈度为 7 度及以上的电气设施的安装设计应符

合本节要求。

6.7.2 设备引线和设备间连线宜采用软导线,其长度应留有余量。当采用硬母线时,应有软导线或伸缩接头过渡。

6.7.3 电气设备、通信设备和电气装置的安装应牢固可靠。设备和装置的安装螺栓或焊接强度应满足抗震要求。

6.7.4 变压器类安装设计应符合下列要求:

1 变压器类宜取消滚轮及其轨道,并应固定在基础上。

2 变压器类本体上的油枕、潜油泵、冷却器及其连接管道等附件以及集中布置的冷却器与本体间连接管道,应符合抗震要求。

3 变压器类的基础台面宜适当加宽。

6.7.5 旋转电机安装设计应符合下列要求:

1 安装螺栓和预埋铁件的强度,应符合抗震要求。

2 在调相机、空气压缩机和柴油发电机附近应设置补偿装置。

6.7.6 断路器、隔离开关、GIS 等设备的操作电源或气源的安装设计应符合抗震要求。

6.7.7 蓄电池、电力电容器的安装设计应符合下列要求:

1 蓄电池安装应装设抗震架。

2 蓄电池在组架间的连线宜采用软导线或电缆连接,端电池宜采用电缆作为引出线。

3 电容器应牢固地固定在支架上,电容器引线宜采用软导线。当采用硬母线时,应装设伸缩接头装置。

6.7.8 开关柜(屏)、控制保护屏、通信设备等,应采用螺栓或焊接的固定方式。当设防烈度为 8 度或 9 度时,可将几个柜(屏)在重心位置以上连成整体。

6.8 电气设备的隔震与消能减震设计

6.8.1 应根据电气设备的结构特点、使用要求、自振周期以及场地类别等,选择相适应的隔震与消能减震措施。

6.8.2 隔震与减震措施分别为装设隔震器和减震器。常用的隔

震器或减震器包括橡胶阻尼器、阻尼垫和剪弯型、拉压型、剪切型等铅合金减震器以及其他减震装置。

6.8.3 当采用隔震或消能措施时,不应影响电气设备的正常使用功能。

6.8.4 隔震器和消能减震器应满足强度和位移要求。

6.8.5 隔震器或消能减震器宜设置在支架或电气设备与基础、建筑物及构筑物的连接处。

6.8.6 减震设计应根据电气设备结构特点、自振频率、安装地点场地土类别,选择相适应的减震器,并应符合下列要求:

1 安装减震器的基础或支架的平面应平整,每个减震器受力应均衡。

2 根据减震器的水平刚度及转动刚度验算电气设备体系的稳定性。

6.8.7 冬季环境温度低于 -15°C 及以下地区,应选用具有耐低温性能的隔震或减震器。

6.8.8 在对装设减震器的体系进行抗震分析时,应计入其剪切刚度、弯曲刚度和阻尼比,其弯曲刚度可按制造厂规定的性能要求确定。

7 火力发电厂和变电站的建(构)筑物

7.1 一般规定

7.1.1 发电厂和变电站(或换流站)的建(构)筑物抗震设防类别应按表 7.1.1 确定,各设防类别建(构)筑物的抗震设防标准,均应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 中 3.0.3 的要求。

表 7.1.1 发电厂和变电站(或换流站)建(构)筑物抗震设防类别

类别	发电厂建(构)筑物名称	变电站(或换流站)建(构)筑物名称
重点设防类 (简称乙类)	重要电力设施中的主厂房、集中控制楼、直接空冷器支架、烟囱、烟道、网控楼、调度通信楼、屋内配电装置室、碎煤机室、运煤转运站、运煤栈桥、圆形(或球形)煤场、热网首站、燃油和燃气机组电厂的燃料供应设施。电厂的消防站或消防车库	1. 220kV 及以下枢纽变电站和 330kV 及以上变电站:主控通信楼、配电装置楼(室)、继电器室、站用电室; 2. ±330kV 及以上换流站:控制楼、阀厅、继电器室、站用电室、综合楼(备班楼)
标准设防类 (简称丙类)	除乙、丁类以外的其他建(构)筑物	1. 所有构架、设备支架; 2. 除乙类以外的其他建(构)筑物,包括综合楼(备班楼)检修备品库、泵房、消防设备间、汽车库等
适度设防类 (简称丁类)	一般材料库、自行车棚和厂区厕所	—

注:规模较小的乙类建筑,当采用抗震性能较好的结构体系时,允许按丙类建筑设防。

7.1.2 电力设施中的建(构)筑物应根据设防分类、烈度、结构类型和结构高度采用不同的抗震等级,并应符合相应的计算和构造措施要求。电力设施中丙类建筑的抗震等级应按表 7.1.2 确定。

表 7.1.2 电力设施中丙类建(构)筑物的抗震等级

结构类型或建(构)筑物名称		设防烈度							
		6		7		8		9	
钢筋 混凝土 框架结构	高度(m)	≤25	>25	≤25	>25	≤25	>25	≤25	
	框架	四	三	三	二	二	—	—	
	大跨度 框架	三		二		—		—	
钢筋混 凝土框架 -抗震墙 结构	高度(m)	≤60	>60	≤60	>60	≤60	>60	≤50	
	框架	四	三	三	二	二	—	—	
	抗震墙	三		二		—		—	
钢结构	高度(m)	≤50	>50	≤50	>50	≤50	>50	≤50	>50
	框架- 支撑		四	四	三	三	二	二	—
集中控制 楼、屋内配 电装置楼	钢筋混 凝土结构	三		二		—		—	
	钢结构	四		三		二		—	
运煤 廊道	高度(m)	≤30	>30~55	≤30	>30~50	≤30	>30~40	≤25	
	钢筋 混凝土结构	四	三	三	二	二	—	—	
	高度(m)	≤50	>50	≤50	>50	≤50	>50	≤50	>50
	钢结构		四	四	三	三	二	二	—

注:1 表中高度指室外地面至檐口的高度(不包括局部突出屋面部分)。

2 高度接近或等于高度分界时,应允许结合建(构)筑物的不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

3 大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架。

4 表中运煤廊道是指廊道支柱采用钢筋混凝土结构或钢结构。

5 当运煤廊道跨度大于 24m 时,抗震等级应再提高一级。

6 设置少量抗震墙的钢筋混凝土框架-抗震墙结构,在规定的水平力作用下,底层框架部分所承担的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 50%时,其框架部分的抗震等级应按表中框架对应的抗震等级确定,适用的最大高度应允许比框架适当增加。

7.1.3 电力设施中的建(构)筑物地震作用和结构抗震验算,应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

7.1.4 当抗震设防烈度为 6 度时,除本规范有具体规定外,对乙、丙、丁类建筑(不包括国家规定抗震设防烈度 6 度区要提高 1 度设防的电力设施)可不进行地震作用计算,但应满足相应的抗震构造措施要求。

7.1.5 结构体系应有明确和合理的地震作用传递途径,应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对重力荷载的承载能力,应具备必要的抗震承载力、良好的变形能力和消耗地震能量的能力,对可能出现的薄弱部位,应采取措施提高抗震能力。

7.1.6 厂房结构设计应与工艺设计相协调,平面布置宜对称、规则,并应具有良好的整体性,竖向宜规则,结构侧向刚度宜均匀变化,同时应合理布局结构抗侧力体系和结构构件,以满足抗震概念设计的要求。

7.1.7 主厂房结构材料的选择应综合考虑电厂的重要性、抗震设防类别、抗震设防烈度、场地条件、地基、厂房布置等因素,高烈度区宜优先选用抗震性能较好的钢结构。

7.1.8 对常规三列式布置的主厂房结构,当抗震设防烈度 6 度和 7 度、I~II 类场地时,主厂房宜采用钢筋混凝土框架结构;当抗震设防烈度 7 度、III~IV 类场地和抗震设防烈度 8 度、I 类场地时,主厂房宜采用钢筋混凝土框架-抗震墙结构,也可采用钢结构;抗震设防烈度 8 度 II~IV 类场地时,主厂房宜采用钢结构,结构体系宜选择框架-支撑结构;单机容量 1000MW 及以上时,主厂房宜采用钢结构,当采用钢筋混凝土结构时应进行专门论证。

7.1.9 抗震设防烈度 8 度、9 度地区的厂房可采用消能减震设计。

7.2 钢筋混凝土主厂房结构布置和构造要求

7.2.1 主厂房的结构布置,应与工艺专业统一规划,平面和竖向布置宜规则、均匀、对称,应符合下列要求:

1 设备宜采用低位布置,减轻工艺荷载,隔墙和围护结构宜采用轻质材料,降低结构自重,降低建(构)筑物的高度和重心。

2 框架的平面布置,应控制局部凹凸变化,对常规布置的主厂房结构,不宜采用集中控制楼插入主厂房框架的平面布置,不应采用局部单排架布置;当需要采用时宜按实际需要增设防震缝。

3 不宜采用较长的悬臂构件,不应在悬臂结构、锅炉与主厂房之间可滑动的平台上布置重型设备。

4 不宜采用错层和侧向刚度突变的结构。

5 结构体系宜有多道设防,合理布置抗侧力构件,使结构两个主轴方向的动力特性宜接近。

7.2.2 主厂房结构的防震缝,应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定进行确定,并应符合下列要求:

1 主厂房主体结构与汽机基座之间应设防震缝。

2 主厂房主体结构与锅炉炉架、加热器平台、运煤栈桥和结构类型不同的毗连建(构)筑物宜设防震缝。

3 列入同一计算简图的建(构)筑物可不设防震缝,但应保证结构的整体工作性。

4 防震缝不宜加大距离作其他用途。

5 钢结构建(构)筑物、软弱地基上主厂房的防震缝宽度宜适当加大。

7.2.3 当不同体系之间的连接走道不能采用防震缝分开时,应采用一端简支一端滑动。

7.2.4 主厂房外侧柱列的抗震措施,可根据结构布置、设防烈度、场地条件、荷载大小等因素,选择框架结构或框架-抗震支撑体系。

当外侧柱列设置支撑时,宜采用交叉形式的钢支撑,当有吊车或抗震设防烈度 8 度、9 度时,宜在厂房单元两端增设上柱支撑。

7.2.5 抗震墙或抗震支撑宜集中布置在每一柱列伸缩缝区段的中部,使结构的刚度中心接近质量中心,并宜在框架柱列上对称布置。

7.2.6 抗震墙或抗震支撑应沿全高设置,沿高度方向不宜出现刚

度突变。

7.2.7 框架结构的围护墙和隔墙应优先采用轻质墙或与柱柔性连接的墙板,当抗震设防烈度 8 度、9 度时墙体应有满足层间变位的变形能力,外墙板的连接件应具有足够的延性和适当的转动能力。

7.2.8 屋盖结构应为自重轻、重心低、整体性强的结构,屋架和柱顶、屋面板与屋架、支撑和主体结构(屋架)之间的连接应牢固。各连接处均应使屋盖系统抗震能力得到充分利用,并不应采用无端屋架或屋面梁的山墙承重方案。

7.2.9 汽机房屋面应采用有檩轻型屋盖体系,屋盖承重结构可采用钢屋架,当汽机房跨度不大于 30m 时,可采用实腹钢梁,屋面宜采用压型钢板和其他轻型材料。

7.2.10 屋盖的抗震构造应符合下列规定:

1 当屋架(或钢梁)与柱顶的连接,抗震设防烈度 8 度及以下时宜采用螺栓,抗震设防烈度 9 度时宜采用钢板铰。当屋架(或钢梁)与支座采用螺栓连接时,安装完毕后应将螺杆与螺帽焊牢,屋架(或钢梁)端部支承垫板的厚度不宜小于 16mm。

2 有檩屋盖的檩条应与屋架(钢梁)焊牢,应有足够的支承长度。当采用双脊檩时,应在跨度 1/3 处相互拉结。轻型屋盖的压型钢板应与檩条可靠拉结。

7.2.11 当主厂房采用框排架结构时,汽机房屋盖支撑系统的设置和承重结构与主体结构的连接除了应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定外,还应采取加强措施。

7.2.12 山墙抗风柱的柱顶,应与端屋架的上弦(或屋面梁的上翼缘)有可靠连接,连接部位应位于上弦横向支撑与屋架(屋面梁)的连接节点处,位置不符合时应在支撑中增设次腹杆,将山墙顶部的水平地震作用传至节点部位。

7.3 钢结构主厂房结构布置和构造措施

7.3.1 主厂房钢结构可采用框架结构、框架-支撑结构。当采用框架-支撑结构时应符合下列要求：

1 柱间支撑宜布置在荷载较大的柱间，且宜在同一柱间上下贯通，不贯通时应错开开间后连续布置，并宜适当增加相近楼层、屋面的水平支撑，确保支撑承担的水平地震作用能传递至基础。

2 柱间支撑杆件应采用整根材料，当超过材料最大长度规格时，可采用对接焊缝等强拼接，且不应小于支撑杆件塑性承载力的1.2倍。

3 纵向柱间支撑宜设置于柱列中部附近。

4 屋面的横向水平支撑和顶层的柱间支撑，宜设置在厂房单元端部的同一柱间内；当厂房单元较长，应每隔3个~5个柱间设置一道。

5 楼层水平支撑的布置应与柱间支撑位置相协调。

6 钢结构宜采用中心支撑，有条件时也可采用偏心支撑等耗能支撑。中心支撑宜采用交叉支撑，也可采用人字支撑或单斜杆支撑，不宜采用K形支撑；支撑的轴线应交汇于梁柱构件轴线的交点，确有困难时偏离中心不应超过支撑杆件的宽度，并应计入由此产生的附加弯矩。

7 厂房水平支撑可设在次梁底部，但支撑杆端部应与楼层轴线上主梁的腹板和下翼缘同时相连。

8 楼层轴线上的主梁可作为水平支撑系统的弦杆，斜杆与弦杆夹角宜在 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。

9 当楼板上开大孔时，应在开孔周围的柱网区格设水平支撑。

7.3.2 钢结构的抗震构造措施宜符合下列要求：

1 梁与柱的连接宜采用柱贯通型。

2 当柱在两个互相垂直的方向都与梁刚接时，宜采用箱型截面。当仅在一个方向刚接时，宜采用工字型截面，并应将柱腹板置

于刚接框架平面内。

3 当柱与梁刚接时,柱在梁翼缘对应位置设置横向加劲肋,且加劲肋厚度不应小于梁的翼缘厚度。

4 梁腹板宜采用摩擦型高强度螺栓通过连接板与柱连接,腹板角部宜设置扇形切角,其端部与梁翼缘的全熔透焊缝应隔开。

5 当框架梁采用悬臂梁段与柱刚接时,悬臂梁段与柱应预先采用全焊接连接,梁的现场拼接可采用翼缘焊接腹板螺栓连接或全部螺栓连接。

6 当梁与柱刚性连接时,柱在翼缘上下各 500mm 的节点范围内,工字形柱翼缘与腹板或箱形柱壁板间的连接焊缝,应采用全熔透焊缝。

7 框架柱接头宜位于框架梁上方 1.3m 附近,当采用焊接连接时,上下柱的对接接头应采用全熔透焊缝;在柱拼接接头上下各 100mm 范围内,工字形截面柱翼缘与腹板间的焊缝,应采用全熔透焊缝。

7.4 集中控制楼、配电装置楼

7.4.1 集中控制楼、配电装置楼可根据设防烈度、场地类别选用可靠的抗震结构形式。一般宜采用现浇钢筋混凝土框架结构,楼(屋)盖应采用现浇钢筋混凝土结构。对于框架结构的抗震等级应按本规范表 7.1.2 确定。

7.4.2 结构中的构造柱、圈梁和填充墙的抗震要求应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

7.4.3 当抗震设防烈度 8 度、9 度时,对于控制室顶部大开间结构的屋面宜采用钢结构和轻型屋面。

7.4.4 集中控制楼、配电装置楼与相邻建(构)筑物之间宜设抗震缝。

7.5 运煤廊道

7.5.1 地上廊道结构应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》

GB 50011的有关规定,进行地震作用和作用效应计算。

7.5.2 地上廊道跨度不大于 24m 的廊身结构,可不进行竖向地震作用的抗震验算;但抗震设防烈度 8 度、9 度时,地上廊道跨度大于 24m 的廊身结构,应进行竖向地震作用的抗震验算。

7.5.3 当抗震设防烈度 8 度、9 度时,地上廊道楼面应采用现浇钢筋混凝土楼板,屋面和围护结构宜采用轻型结构,不应采用砌体结构围护。

7.5.4 当廊道跨度大于 18m 时,跨间承重结构宜采用钢梁或钢桁架。当采用钢桁架结构时,应在桁架跨度两端支座处设置门型框架。

7.5.5 地上廊道与相邻建筑物之间,抗震设防烈度 7 度时宜设置防震缝,抗震设防烈度 8 度和 9 度时应设置防震缝。

7.5.6 当抗震设防烈度 6 度、7 度和 8 度,场地为 I~II 类场地时,廊道跨间承重结构可采用搁置在相邻建(构)筑物上的滑动或滚动支座,但应采取防止脱落的措施。

7.6 变电站建(构)筑物

7.6.1 变电站或换流站建(构)筑物抗震设防类别及抗震设防标准、钢筋混凝土房屋的抗震等级应分别符合本规范表 7.1.1 和表 7.1.2 的规定。

7.6.2 变电站或换流站建筑物的地震作用和结构抗震验算,应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

7.6.3 变电站主控通信楼、配电装置楼(室)以及换流站控制楼、阀厅、户内直流场等建筑物,宜择优选用规则的形体,其抗侧力构件的平面布置宜规则对称、侧向刚度沿竖向宜均匀变化、竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小、避免侧向刚度和承载力的突变。

7.6.4 变电站多层配电装置楼不应采用单跨框架结构。

7.6.5 换流站阀厅及户内直流场单极均为单层工业厂房,宜采用

钢排架结构、钢筋混凝土排架结构等质量和刚度分布对称的结构形式。其抗震构造措施应符合下列规定：

1 当采用钢排架结构时，厂房框架柱的长细比、厂房框架柱及梁的板件宽厚比、厂房的屋盖支撑及柱间支撑布置、柱脚构造等，均应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

当屋盖横梁与柱顶铰接时，宜采用螺栓连接。

2 采用钢筋混凝土排架结构时，抗震设防烈度 8 度时屋架（屋面梁）与柱顶的连接宜采用螺栓，抗震设防烈度 9 度时宜采用钢板铰，亦可采用螺栓；屋架（屋面梁）端部支撑垫板的厚度不宜小于 16mm。

3 当内直流场设有桥式起重机时，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纵向水平地震作用。

7.6.6 构架柱梁应优先采用抗震性能较好的钢结构。构架柱宜采用 A 字形钢管柱、角钢或钢管格构式柱，220kV 及以下电压等级的构架柱也可采用 A 字形钢筋混凝土环形杆和钢管混凝土柱等结构形式；构架梁宜采用单钢管梁、三角形或矩形断面的格构式钢梁等结构形式。

7.6.7 设备支架宜与构架的结构形式相协调，宜采用钢管支架、角钢或钢管格构式支架、钢筋混凝土环形杆支架和钢管混凝土支架等结构形式。

7.6.8 构架应分段按多质点体系进行地震作用计算。构架地震作用效应计算简图与静力效应计算简图应取得一致，并应分别验算顺导线方向和垂直导线方向的水平地震作用，且应由各自方向的抗侧力构件承担。

7.6.9 设备支架应与其上电气设备联合按多质点进行地震作用计算。当计算结构基本自振周期时，柱重力荷载可按柱自重标准值的 $1/4$ 作用于柱顶取值；当计算水平地震作用时，柱重力荷载可按柱自重标准值的 $2/3$ 作用于柱顶取值。

7.6.10 构架、设备支架的地震作用和荷载效应组合应符合下列要求：

1 当计算地震作用时，构架、设备支架的重力荷载代表值应取结构自重标准值、导线自重标准值、设备自重标准值（包括绝缘子串、金具、阻波器及其他电气设备自重标准值）和正常运行工况各可变荷载组合值之和，应按下式计算：

$$S_{GE} = S_{GK} + \Psi_{Ci} S_{Qik} \quad (7.6.10-1)$$

式中： S_{GE} ——重力荷载代表值；

S_{GK} ——结构自重标准值、设备自重标准值及导线自重标准值；导线自重标准值可取安装气象条件下非紧线相导线张力标准值的垂直分量；

Ψ_{Ci} ——可变荷载 S_{Qik} 的组合值系数，一般取 0.5；

S_{Qik} ——分别对应表 7.6.10 正常运行工况时四种气象条件下各可变荷载标准值，对应本条第 2 款进行地震作用效应组合。

表 7.6.10 正常运行工况四种气象条件下导线可变荷载标准值及风速取值

序号	可变荷载代号	各可变荷载标准值及对应的风速
1	S_{Q1k}	大风气象条件下，电气提供的导线张力标准值的垂直分量扣除导线自重标准值后的可变荷载标准值，此时风速取基本风压对应的风速
2	S_{Q2k}	覆冰有风气象条件下，电气提供的导线张力标准值的垂直分量扣除导线自重标准值后的可变荷载标准值，此时取 10m/s 的风速
3	S_{Q3k}	最低气温气象条件下，电气提供的导线张力标准值的垂直分量扣除导线自重标准值后的可变荷载标准值，此时取 10m/s 的风速
4	S_{Q4k}	最高气温气象条件下，电气提供的导线张力标准值的垂直分量扣除导线自重标准值后的可变荷载标准值，此时取 10m/s 的风速

2 正常运行工况四种气象条件下,构架、设备支架地震作用效应和其他荷载效应的基本组合,应按下式计算:

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{EV} S_{EVK} + \Psi_Q \gamma_Q S_{QK} + \Psi_w \gamma_w S_{wk} \quad (7.6.10-2)$$

式中: S ——结构构件内力组合的设计值,包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等;

γ_G ——重力荷载分项系数,一般情况下应采用 1.2;当重力荷载效应对构件承载能力有利时,不应大于 1.0;

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应,可按本条第 1 款采用;

γ_{Eh} 、 γ_{EV} ——水平、竖向地震作用分项系数,按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 采用;

γ_Q ——正常运行工况导线荷载水平分量分项系数,应采用 1.3;

γ_w ——风荷载分项系数,应采用 1.4;

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应,尚应乘以相应的增大系数或调整系数;

S_{EVK} ——竖向地震作用标准值的效应,尚应乘以相应的增大系数或调整系数;

S_{wk} ——作用于构架、设备支架的风荷载标准值的效应(即结构风压):顺导线方向风作用时,结构风压作用在构架平面外;垂直导线方向风作用时,结构风压作用在构架平面内;除大风气象条件下取基本风压对应的风速计算结构风压外,其他气象条件应采用 10m/s 时的风速计算结构风压;

S_{QK} ——正常运行工况导线荷载水平分量标准值的效应;

Ψ_Q ——正常运行工况导线荷载水平分量组合值系数,应采用 1.0;

Ψ_w ——风荷载组合值系数,对于风荷载起控制作用的构支架应采用 0.2。

7.6.11 下列构支架、站区独立避雷针可不进行截面抗震验算,而

需满足抗震构造要求：

1 抗震设防烈度 6 度，在任何类场地的构支架及其地基基础。

2 抗震设防烈度小于或等于 8 度，I、II 类场地的构支架及其地基基础。

3 抗震设防烈度小于 9 度的站区独立避雷针。

7.6.12 变压器(高抗)、换流变(平抗)等大型落地设备，应加强设备本体与基础之间的连接，以防止这些质量较大的大型设备在地震时发生滑移、脱轨、转动或倾斜等震害。

住房和城乡建设部信息中心
浏览专用

8 送电线路杆塔及微波塔

8.1 一般规定

8.1.1 线路路径和塔位选择宜避开危险地段,如地震时易出现滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流、地基液化等及发震断裂带上可能发生地表位错的地段,当无法避让时,应采取必要措施。

8.1.2 混凝土跨越塔不宜用于地震烈度为 8 度及以上地区或者地基地震易液化,且液化深度较深的场地。

8.1.3 当线路通过地质灾害易发区时,宜采用单回路架设。

8.1.4 大跨越工程应进行地震安全性评估。

8.1.5 输电线路杆塔和基础抗震设防烈度应采用当地的基本地震烈度;对于乙类建筑,地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求,当抗震设防烈度为 6 度~8 度时,抗震措施应符合本地区抗震设防烈度提高 1 度的要求;当为 9 度时,应符合比 9 度抗震设防更高的要求;地基基础的抗震措施,应符合国家现行有关标准的规定。

8.1.6 位于 7 度及以上地区的混凝土高塔、8 度及以上地区的钢结构大跨越塔和微波高塔、9 度及以上地区的各类杆塔和微波塔均应进行抗震验算。

8.1.7 7 度及以上地区的大跨越塔、微波高塔及特殊重要的杆塔基础、8 度及以上地区的 220kV 及以上耐张型杆塔的基础,当场地为饱和砂土或饱和粉土(不含黄土)时,均应考虑地基液化的可能性,必要时要采取稳定地基或基础的抗液化措施。

8.1.8 对大跨越杆塔和长悬臂横担杆塔尚应进行竖向地震作用验算;当为 8 度时,可取该结构、构件重力荷载代表值的 10%;当

为 9 度时,可取 20%。设计基本地震加速度为 0.3g 时,可取该结构、构件重力荷载代表值的 15%。

8.2 计算要点

8.2.1 计算杆塔动力特性时,可不计入导线和避雷线的重量。

8.2.2 计算地震作用时,重力荷载代表值应按无冰、年平均温度的运行情况取值。

8.2.3 杆塔地震作用一般采用振型分解反应谱计算,当需要精确计算时,宜采用时程分析法。杆塔结构采用振型分解反应谱法计算地震作用时,可只取前 2 个~3 个振型,当基本自振周期大于 1.5s 时,应适当增加振型个数。

8.2.4 杆塔结构的地震作用效应与其他荷载效应的基本组合应按下式计算:

$$S = \gamma_G \cdot S_{GE} + \gamma_{Eh} \cdot S_{Ehk} + \gamma_{EV} \cdot S_{EVK} + \Psi_Q \cdot \gamma_Q \cdot S_{QK} + \Psi_w \cdot \gamma_w \cdot S_{wk} \quad (8.2.4)$$

式中: γ_G ——重力荷载分项系数,对结构受力有利时取 1.0,不利时取 1.2,验算结构抗倾覆或抗滑移时取 0.9;

γ_{Eh}, γ_{EV} ——水平、竖向地震作用分项系数,应按表 8.2.4 的规定采用;

γ_Q ——活荷载分项系数,取 $\gamma_Q = 1.4$;

γ_w ——风荷载分项系数,取 $\gamma_w = 1.4$;

Ψ_Q ——风荷载组合值系数,可取 0.2;

Ψ_w ——活荷载组合值系数,可取 0.35;

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应;

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应;

S_{EVK} ——竖向地震作用标准值的效应;

S_{QK} ——活荷载的代表值效应;

S_{wk} ——风荷载标准值效应。

表 8.2.4 地震作用分项系数

考虑地震作用的情况		γ_{Eh}	γ_{Ev}
仅考虑水平地震作用		1.3	不考虑
仅考虑竖向地震作用		不考虑	1.3
同时考虑水平与 竖向地震作用	水平地震作用为主时	1.3	0.5
	竖向地震作用为主时	0.5	1.3

8.2.5 结构构件的截面抗震验算,应采用下列设计表达式:

$$S \leq \frac{R}{\gamma_{RE}} \quad (8.2.5)$$

式中: R ——结构构件承载力设计值;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数,应按表 8.2.5 确定;

表 8.2.5 承载力抗震调整系数

材 料	结 构 构 件	承载力抗震调整系数
钢	跨越塔	0.85
	除跨越塔以外的其他铁塔	0.80
	焊缝和螺栓	1.00
钢筋混凝土	跨越塔	0.90
	钢管混凝土杆塔	0.80
	钢筋混凝土杆	0.80
	各类受剪构件	0.85

8.3 构造要求

8.3.1 基本地震烈度为 9 度及以上地区,铁塔与基础宜采用地脚螺栓连接方式,便于出现地基不均匀沉降后的基础处理。

8.3.2 结构的阻尼比,自立式铁塔宜取 0.03,钢筋混凝土杆塔和拉线杆塔宜取 0.05。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《建筑抗震设计规范》GB 50011

《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223

《中国地震动参数区划图》GB 18306

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用