

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50994 – 2014

工业企业电气设备抗震鉴定标准

Standard for aseismic appraisal of electrical
facilities in industrial plants

2014 – 05 – 29 发布

2015 – 03 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

工业企业电气设备抗震鉴定标准

Standard for aseismatic appraisal of electrical
facilities in industrial plants

GB 50994-2014

主编部门:中国石油化工集团公司

批准部门:中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期:2015年3月1日

中国计划出版社

2014 北 京

中华人民共和国国家标准
工业企业电气设备抗震鉴定标准

GB 50994-2014



中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 2.125 印张 51 千字

2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷



统一书号: 1580242 · 477

定价: 13.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 431 号

关于发布国家标准 《工业企业电气设备抗震鉴定标准》的公告

现批准《工业企业电气设备抗震鉴定标准》为国家标准，编号为GB 50994—2014，自 2015 年 3 月 1 日起实施。其中，第 1.0.4、3.0.10 条为强制性条文，必须严格执行。

本标准由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2014 年 5 月 29 日

前 言

本标准是根据住房和城乡建设部《关于印发〈2012 年工程建设标准规范制修订计划〉的通知》(建标〔2012〕5 号)的要求,由中国石化工程建设有限公司会同有关单位共同编制完成。

本标准在编制过程中经编制组广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并经广泛征求意见和多次讨论、修改,最后经审查定稿。

本规范共分为 5 章和 3 个附录,主要内容包括:总则、术语和符号、基本规定、抗震鉴定、抗震验算等。

本标准中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本标准由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国石油化工集团公司负责日常管理,由中国石化工程建设有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中,如有意见或建议,请寄送中国石化工程建设有限公司(地址:北京市朝阳区安慧北里安园 21 号;邮政编码:100101)。

本标准主编单位、参编单位、参加单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位: 中国石化工程建设有限公司

参 编 单 位: 中国地震灾害防御中心

贵阳铝镁设计研究院有限公司

鞍钢集团工程技术有限公司

中石化石油工程设计有限公司

参 加 单 位: 江西变压器科技股份有限公司

天水长城开关厂有限公司

胜利油田海洋电气有限责任公司

主要起草人：卢丙仕 倪正理 赵凤新 邓少强 宋 刚
孙光明 孙恒志 袁学群 胡向全
主要审查人：侯忠良 葛学礼 姚德康 邱正华 张晓鹏
赵 勇 押现中 齐 青 张郁山 李小波
姜 涛 魏田涛 张文成 范景昌 朱小利
王庆如 陈双翥

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(5)
4	抗震鉴定	(7)
4.1	电力变压器类	(7)
4.2	三相垂直布置电抗器	(8)
4.3	断路器、避雷器	(9)
4.4	电力电容器组(柜)	(10)
4.5	电瓷设备	(11)
4.6	蓄电池	(12)
4.7	屏、柜、箱类设备和组合电器	(12)
5	抗震验算	(15)
5.1	地震作用计算	(15)
5.2	楼层动力反应放大系数	(19)
5.3	电力变压器	(19)
5.4	三相垂直布置电抗器	(24)
5.5	断路器、避雷器	(26)
附录 A	电气设备减震措施	(30)
附录 B	三相垂直布置电抗器抗震措施	(33)
附录 C	楼层上设备地震作用计算	(37)
本标准用词说明		(39)
引用标准名录		(40)
附:条文说明		(41)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic specification	(5)
4	Aseismatic measures appraisal	(7)
4.1	Category of transformer	(7)
4.2	Vertically installed three-phase reactors	(8)
4.3	Breaker, arrester	(9)
4.4	Capacitor groups	(10)
4.5	Electric porcelain equipments	(11)
4.6	Accumulator battery	(12)
4.7	Panel-shaped, cabinet-shaped, box-shaped and combination equipments	(12)
5	Aseismatic calculation	(15)
5.1	Calculation of seismic action	(15)
5.2	Floor dynamic magnification factor	(19)
5.3	Transformer	(19)
5.4	Vertically installed Three-phase reactors	(24)
5.5	Breaker, arrester	(26)
Appendix A	Shock-absorbing measure of electric equipments	(30)
Appendix B	Seismatic fortification measure of three-phase reactor in vertical layout	(33)

Appendix C	Calculation of seismic action on the electric equipments installed on the floor	(37)
Explanation of wording in this standard	(39)
List of quoted standards	(40)
Addition	Explanation of provisions	(41)

1 总 则

1.0.1 为了使工业企业既有电气设备(以下简称:电气设备)经抗震鉴定和采取抗震措施后,达到抗震设防标准,以减轻电气设备地震破坏、避免人员伤亡、减少经济损失,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于设计基本地震加速度值不大于 $0.40g$ (即抗震设防烈度 9 度及以下)地区,且电压等级为 $220kV$ 及以下的工业企业既有电力变压器、电抗器、断路器、避雷器、电流(压)互感器、电瓷设备、电力电容器组(柜)、蓄电池组(柜)、开关柜、变流柜、控制(保护)屏、直流屏、应急电源装置和组合电器及其他电气设备的抗震鉴定和应采取的抗震措施。

本标准不适用于设计基本地震加速度值大于 $0.40g$ 地区或有特殊要求的工业企业既有电气设备的抗震鉴定。

1.0.3 按本标准进行抗震鉴定和实施抗震措施的电气设备,当遭受本地区抗震设防烈度及以下地震影响时,应不致产生严重损坏,经简单维修可继续供电。

1.0.4 设计基本地震加速度为 $0.05g$ (即抗震设防烈度 6 度)及以上地区未进行抗震设防的电气设备,必须进行抗震鉴定和采取必要的抗震措施。

1.0.5 设计基本地震加速度值和抗震设防烈度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;对已编制抗震设防区划的地区或已进行地震安全性评价的工程场地,可按批准的设计地震动参数或抗震设防烈度进行抗震鉴定。

1.0.6 电气设备的抗震鉴定除应符合本标准的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 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。

2.1.2 抗震设防 seismic precaution

各类工程结构按照规定的可靠性要求,针对可能遭遇的地震危害性所采取的工程和非工程的防御措施。

2.1.3 抗震设防标准 seismic precautionary criterion

衡量抗震设防要求高低的尺度,由抗震设防烈度或设计地震动参数及结构抗震设防类别确定。

2.1.4 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,取 50 年内超越概率为 10% 的地震烈度。

2.1.5 抗震鉴定 seismic appraisal

通过检查既有工程的设计、施工质量和现状,按规定的抗震设防要求,对其在地震作用下的安全性进行评估。

2.1.6 抗震加固 seismic retrofit for engineering; seismic strengthening for engineering

使现有工程结构达到抗震鉴定的要求所进行的设计和施工。

2.1.7 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。

2.1.8 地震作用效应 seismic action effect

在地震作用下结构产生的内力(剪力、弯矩、轴向力、扭矩等)

或变形(线位移、角位移)等。

2.1.9 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% 的地震加速度设计取值。

2.2 符 号

2.2.1 地震作用和作用效应

F ——电气设备(结构)的地震作用;

m ——电气设备的质量;

m_i ——集中在质点 i 的操作状态下的质量;

M ——弯矩;

T ——结构自振周期;

T_g ——特征周期;

σ ——拉(压)应力;

τ ——剪应力;

g ——重力加速度。

2.2.2 材料性能

E ——材料弹性模量;

K ——体系的侧移刚度;

σ ——拉(压)应力;

τ ——剪切应力;

$[\sigma]$ ——许用应力设计值;

$[\tau]$ ——许用剪应力设计值。

2.2.3 几何参数

A ——截面面积;

d ——圆形截面的内径;

D ——圆形截面的外径;

H ——结构的高度;

H_i ——质点 i 的计算高度;

I ——截面惯性矩；

W ——截面模量；

Z ——截面矩。

2.2.4 计算系数

k ——不均衡系数；

α ——地震影响系数；

α_{\max} ——地震影响系数最大值；

β ——楼层动力放大系数；

λ ——刚度折减系数；

γ ——振型参与系数。

3 基本规定

3.0.1 电气设备应按以下要求分为重要电气设备和一般电气设备:

1 重要电气设备:电压等级为 110kV 和 220kV 或向企业的一级用电负荷供电的电气设备,以及其他在地震时必需保障供电的电气设备;

2 一般电气设备:除 1 款外的电气设备。

3.0.2 电气设备在抗震鉴定时,其外观检查应符合下列要求:

1 设备本身应无损坏,电瓷部件应无裂纹;

2 电气连接应可靠,固定螺栓应完好,螺母应无松动;

3 设备与基础或支承结构的连接应牢固;

4 焊缝应无裂纹,金属部件应无严重锈蚀;

5 设备的支承构架和附件应无变形或损坏。

3.0.3 电气设备所在地区遭受的地震影响可采用下列地震动参数表征:

1 设计基本地震加速度或抗震设防烈度;

2 特征周期。

3.0.4 设计基本地震加速度值和抗震设防烈度的对应关系应符合表 3.0.4 的规定。

表 3.0.4 设计基本地震加速度值和抗震设防烈度的对应关系

设计基本地震加速度值	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
抗震设防烈度	6	7		8		9

注: g 为重力加速度, 9.8m/s^2 。

3.0.5 电力变压器类、三相垂直布置电抗器和避雷器、断路器及瓷套管等电气设备当具有下列情况之一时,均应进行抗震验算:

1 设计基本地震加速度值为 0.20g 及以上地区;

2 设计基本地震加速度值为 $0.10g$ 及 $0.15g$ 地区,且电压等级为 $110kV$ 和 $220kV$;

3 设计基本地震加速度值为 $0.15g$ 地区,且放置电气设备的楼层或支架高度大于 $2.0m$ 。

3.0.6 下列电气设备可不进行抗震验算,但应对固定方式和本体结构进行抗震鉴定并采取抗震措施:

1 电力电容器组(柜)、蓄电池组(柜)、开关柜、变流柜、控制(保护)屏、直流屏、应急电源装置和组合电器及其他电气设备;

2 放置电气设备的柜架等;

3 本标准第 3.0.5 条规定以外的电气设备。

3.0.7 重要电气设备应按本地区设计基本地震加速度值提高一级进行地震作用计算,并按抗震设防烈度提高一度采取抗震措施;当抗震设防烈度为 9 度时,地震作用计算所采用的设计基本地震加速度值可不再提高,抗震措施的要求可适当提高。

3.0.8 电气设备不满足抗震鉴定要求时,应采取抗震措施或按本标准附录 A 采取减震措施。

3.0.9 除本标准另有规定外,电气设备抗震验算所采用的许用应力设计值应按下列规定选用:

1 弹性材料可取材料设计温度下许用应力的 1.4 倍,但不应大于材料在设计温度下屈服强度的 0.9 倍;

2 脆性材料可取材料受拉强度设计值的 1.2 倍或材料设计温度下破坏应力值的 0.6 倍。

3.0.10 各类电气设备应可靠地固定在基础、支座或柜架上,设备的地脚螺栓或焊接强度应满足抗震设防要求。

3.0.11 设计基本地震加速度值为 $0.20g$ 及以上地区,高位布置或多层布置的配电设备宜改为低位布置或采取抗震措施,管形母线宜采用悬挂形式。

3.0.12 电气设备引线和设备之间的连接宜采用软导线,其长度应留有余量。当采用硬母线连接时,应加设伸缩接头过渡。

4 抗震鉴定

4.1 电力变压器类

I 一般规定

- 4.1.1 电力变压器类应包括变压器和消弧线圈。
- 4.1.2 电力变压器类抗震鉴定时,应重点检查安装方式、引线与外部连接的方式、油枕支架以及散热器悬臂的强度。
- 4.1.3 抗震设防烈度 7 度及以上时,应按本标准第 5 章的有关规定进行抗震验算。

II 抗震鉴定

- 4.1.4 变压器和消弧线圈的抗震鉴定应满足下列规定:
 - 1 变压器和消弧线圈应与基础固定;
 - 2 变压器与外部连接的母线应设置软连接;
 - 3 变压器的油枕支架应无明显变形,支架与变压器本体和油枕的连接应牢固;
 - 4 变压器的悬臂式散热器及连接应完好。
- 4.1.5 单独设置的油冷却器与变压器本体之间的连接管,在靠近变压器处应设有切断阀和柔性接头。
- 4.1.6 电杆上变压器应有固定措施。

III 抗震措施

- 4.1.7 变压器和消弧线圈不满足本节抗震鉴定要求时,应按下列规定采取抗震措施:
 - 1 变压器和消弧线圈,应采用地脚螺栓或焊接等方法直接固定在基础上,不应仅采用限位措施;
 - 2 当变压器套管采用软导线连接时,应适当放松;当绝缘间距不满足要求时,可采用弹簧线夹;当采用硬母线连接且截面尺寸

大于 $50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 时,应加设软连接;10kV 及以下配电变压器,抗震设防烈度为 6 度或 7 度时,宜加设软连接;抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,应加设软连接;

3 变压器的悬臂式散热器,可采用固定在变压器本体上的角钢支架支撑或用扁钢沿散热器环形连接。

4.1.8 单独设置的油冷却器与变压器本体之间的连接管,在靠近变压器处应设有切断阀和柔性接头,散热器、潜油泵及连接管与基础之间的距离,不应小于 200mm。

4.1.9 电杆上变压器的下部,应设有螺栓与下横梁固定;抗震设防烈度为 8 度及以上时,其上部与电杆之间也宜采取固定措施。

4.2 三相垂直布置电抗器

I 一般规定

4.2.1 三相垂直布置电抗器应包括三相垂直布置水泥电抗器和三相垂直布置干式空心电抗器。

4.2.2 三相垂直布置电抗器抗震鉴定时,应重点检查电抗器类型和安装方式。

4.2.3 抗震设防烈度 7 度及以上时三相垂直布置水泥电抗器和抗震设防烈度 8 度及以上时三相垂直布置干式空心电抗器,应按本标准第 5 章进行抗震验算。

II 抗震鉴定

4.2.4 三相垂直布置电抗器的抗震鉴定应满足下列规定:

- 1 三相垂直布置电抗器宜为干式空心电抗器;
- 2 三相电抗器宜水平布置。

III 抗震措施

4.2.5 三相垂直布置电抗器不满足本节抗震鉴定要求时,应按下列规定采取抗震措施:

1 抗震设防烈度为 6 度或 7 度时,三相垂直布置水泥电抗器宜更换为干式空心电抗器;抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,应更

换为干式空心电抗器；

2 三相垂直布置电抗器在场地条件允许时，宜改为三相水平布置。

4.2.6 三相垂直布置水泥电抗器和抗震设防烈度 8 度及以上地区的三相垂直布置干式空心电抗器，经抗震验算不满足抗震要求时，可采用本标准附录 B 的方法进行抗震加固。

4.2.7 抗震设防烈度 7 度及以下地区的三相垂直布置干式空心电抗器或三相水平布置水泥电抗器的支承瓷瓶，经抗震验算不满足抗震要求时，应将支撑瓷瓶更换为强度更高的瓷瓶。

4.3 断路器、避雷器

I 一般规定

4.3.1 断路器和避雷器应包括独立安装的断路器、自立式避雷器和拉杆式避雷器。

4.3.2 断路器和避雷器抗震鉴定时，应重点检查瓷瓶、瓷瓶与法兰连接、外接导线和拉杆各方向拉力。

4.3.3 抗震设防烈度 7 度及以上时，断路器和避雷器应按本标准第 5 章进行抗震验算。

II 抗震鉴定

4.3.4 断路器和避雷器的抗震鉴定应满足下列规定：

- 1 断路器和避雷器的瓷瓶应完好；
- 2 瓷瓶与法兰连接应牢固；
- 3 断路器和避雷器的底座与中间法兰应完好，螺母不应松动；
- 4 断路器和避雷器的外接导线应为软连接或有伸缩接头。

4.3.5 有绝缘拉杆的避雷器，拉杆的各方向拉力应均匀。

III 抗震措施

4.3.6 断路器和避雷器不满足本节抗震鉴定要求时，应按下列规

定采取抗震措施或按本标准附录 A 采取减震措施：

1 断路器和避雷器的瓷瓶有损坏或裂纹时，应更换为完好的瓷瓶；

2 瓷瓶与法兰的连接螺母应拧紧；

3 断路器和避雷器的底座与中间法兰有锈蚀时，应除锈，螺母应拧紧；

4 断路器和避雷器的外接导线当采用硬母线或管形母线连接时，应加设软连接或伸缩接头。

4.3.7 有绝缘拉杆的避雷器，拉杆的各方向拉力应均匀；不满足强度要求或有损伤时，应更换拉杆。

4.4 电力电容器组(柜)

I 一般规定

4.4.1 电力电容器组(柜)应包括架上、架下、柜内、柜外、单体或群体多种安装形式的电容器。

4.4.2 电力电容器组(柜)抗震鉴定时，应重点检查安装方式和与外接导线连接。

4.4.3 电力电容器组(柜)可不进行抗震验算。

II 抗震鉴定

4.4.4 电力电容器组(柜)的抗震鉴定应满足下列规定：

1 电力电容器组(柜)应与基础固定；

2 电力电容器引线应为软导线。

III 抗震措施

4.4.5 电力电容器组(柜)不满足本节抗震鉴定要求时，应按下列规定采取抗震措施：

1 电力电容器组(柜)底座应通过地脚螺栓固定在支承结构上；

2 电力电容器引线不宜采用硬导线，抗震设防烈度为 7 度～9 度时，硬导线应装设伸缩接头或更换为软导线。

4.5 电 瓷 设 备

I 一 般 规 定

4.5.1 电瓷设备应包括断路器和避雷器以外的以电瓷件为主要部件的各类电气设备。

4.5.2 电瓷设备抗震鉴定时,应重点检查安装方式、瓷件连接和瓷件类型。

4.5.3 电瓷设备可不进行抗震验算。

II 抗 震 鉴 定

4.5.4 电瓷设备的抗震鉴定应满足下列规定:

1 抗震设防烈度 7 度及以上地区的电瓷件宜为高强度电瓷件;

2 高压电瓷设备的引线应为软导线连接;

3 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,电压等级为 110kV 及以上高压电瓷设备,应为低位或单层布置;

4 电流(压)互感器的底座应与基础固定。

III 抗 震 措 施

4.5.5 电瓷设备不满足本节抗震鉴定要求时,应按下列规定采取抗震措施:

1 抗震设防烈度为 7 度~9 度时,普通电瓷件宜更换为高强度电瓷件;

2 抗震设防烈度为 7 度~9 度时,高压电瓷设备的引线宜采用软导线连接。当采用硬导线连接时,应装设伸缩接头或更换为软导线;

3 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,电压等级为 110kV 及以上高位或重叠式高压电瓷设备,宜采用低位或单层布置;

4 电流(压)互感器的底座,应通过地脚螺栓固定在支承结构上。

4.6 蓄 电 池

I 一 般 规 定

- 4.6.1 蓄电池类设备应包括玻璃缸式蓄电池组和浮放的免维护蓄电池。
- 4.6.2 蓄电池抗震鉴定时,应重点检查安装方式和外接导线。
- 4.6.3 蓄电池可不进行抗震验算。

II 抗 震 鉴 定

- 4.6.4 蓄电池的抗震鉴定应满足下列规定:
 - 1 蓄电池应有防止位移、倾倒或跌落措施;
 - 2 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,玻璃缸式蓄电池组的单体之间应有防碰撞措施;
 - 3 玻璃缸式蓄电池的加固支架不应妨碍蓄电池的维护和检查;
 - 4 蓄电池之间应为软导线或电缆连接。

III 抗 震 措 施

- 4.6.5 蓄电池不满足本节抗震鉴定要求时,应按下列规定采取抗震措施:
 - 1 蓄电池应有防止位移、倾倒或跌落措施,可采取支架固定方式,支架应固定在支承结构上;
 - 2 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,玻璃缸式蓄电池组的单体之间应设有隔板或垫块;
 - 3 玻璃缸式蓄电池的加固支架高度应大于蓄电池重心高度,但不应妨碍蓄电池的维护和检查;
 - 4 蓄电池之间宜采用软导线或电缆连接,端电池应采用电缆作为引线。

4.7 屏、柜、箱类设备和组合电器

I 一 般 规 定

- 4.7.1 屏、柜、箱类设备和组合电器应包括各类开关柜、控制屏、

保护屏、配电箱、应急电源或组合电器等。

4.7.2 屏、柜、箱类设备抗震鉴定时,应重点检查箱体结构及其安装方式。

4.7.3 屏、柜、箱类设备可不进行抗震验算。

II 抗震鉴定

4.7.4 屏、柜、箱类设备的抗震鉴定应满足下列规定:

- 1 各类屏、柜、箱的底部应与基础固定;
- 2 开关柜内移出式电气装置应有锁住机构;
- 3 开关柜和抽屉柜的二次电缆插头不应松动;
- 4 开关柜和控制(保护)屏等上的继电器和表计均应固定;
- 5 固定式开关柜中的油浸式电压互感器应固定;
- 6 控制(保护)屏中的印刷电路插件与插板不应松动;
- 7 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,成排的开关柜、配电屏和控制(保护)屏之间,应联结成整体。在通过建筑物沉降缝或伸缩缝处,柜(屏)间连接的硬母线应有软连接。

4.7.5 组合电器的抗震鉴定应满足下列规定:

- 1 组合电器应与基础固定;
- 2 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,组合电器不宜安装在建筑物沉降缝、伸缩缝或抗震缝处。

III 抗震措施

4.7.6 各类屏、柜、箱不满足本节抗震鉴定要求时,应按下列规定采取抗震措施:

1 开关柜、变流柜、控制(保护)屏、直流屏及其他应急电源装置等的底部,应采用地脚螺栓固定在支承结构上,地脚螺栓数量不应少于 4 个,应每角设置不少于 1 个。每台设备长度大于 1.0m 时,应增加螺栓数量或按电气设备制造商的要求做,也可采用柜体底部与支承结构焊接固定方式,焊点位置及数量应同螺栓固定方式,每条焊缝长度不应小于 40mm,焊脚高度不应小于焊接件的厚度;

- 2 开关柜内移出式电气装置,应安装锁住机构;

3 开关柜和抽屉柜的二次电缆插头,应采用防松措施;

4 开关柜和控制(保护)屏等上的继电器和表计均应采用螺栓或夹具固定;

5 固定式开关柜中的油浸式电压互感器,应采用螺栓与底盘固定;

6 控制(保护)屏中的印刷电路插件与插板,应有防止松动的锁住设施;

7 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,成排的开关柜、配电屏和控制(保护)屏之间,应用螺栓在设备重心以上联结成整体。在通过建筑物沉降缝或伸缩缝处,柜(屏)间连接的硬母线应采用软连接。

4.7.7 组合电器不满足本节抗震鉴定要求时,应按下列规定采取抗震措施:

1 组合电器底座应通过地脚螺栓固定在基础上;

2 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,组合电器不宜安装在建筑物沉降缝、伸缩缝或抗震缝处。

5 抗震验算

5.1 地震作用计算

5.1.1 电气设备的地震作用计算方法选用宜符合下列要求：

1 高度不超过 30m, 且以剪切变形为主的结构和近似于单质点体系的电气设备(含基础地面以上部分), 可采用底部剪力法等简化方法；

2 除上款外的电气设备宜采用振型分解反应谱法。

5.1.2 地面上的电气设备(或结构)地震影响系数应根据抗震设防烈度或设计基本地震加速度、设计地震分组、场地类别和结构自振周期、结构的阻尼比(图 5.1.2)确定。其水平地震影响系数最大值应按表 5.1.2-1 的规定采用；特征周期值应根据场地类别和设计地震分组按表 5.1.2-2 的规定采用。

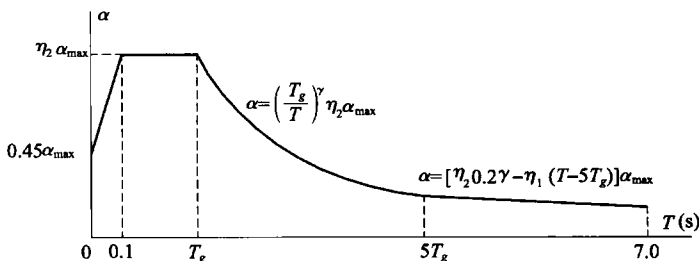


图 5.1.2 地震影响系数曲线

α —地震影响系数； α_{\max} —地震影响系数最大值；

η_1 —直线下降段的下降斜率调整系数； γ —衰减指数；

T_g —特征周期； η_2 —阻尼调整系数； T —结构自振周期

表 5.1.2-1 水平地震影响系数最大值

抗震设防烈度	6 度	7 度		8 度		9 度
设计基本地震加速度值	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
水平地震影响系数最大值	0.12	0.23	0.34	0.45	0.67	0.90

表 5.1.2-2 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

5.1.3 地震影响系数曲线的阻尼调整和形状参数,应符合下列要求:

1 当结构的阻尼比取 0.05 时,地震影响系数曲线的阻尼调整系数应按 1.0 采用,形状参数应符合下列规定:

- 1) 直线上升段,应为周期小于 0.1s 的区段;
- 2) 水平段,自 0.1s 至特征周期区段,应取最大值(α_{\max});
- 3) 曲线下降段,自特征周期至 5 倍特征周期区段,衰减指数应取 0.9;
- 4) 直线下降段,自 5 倍特征周期至 7s 区段,下降斜率调整系数应取 0.02。

2 当结构的阻尼比不等于 0.05 时,地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定:

- 1) 曲线下降段的衰减指数应按下列公式确定:

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad (5.1.3-1)$$

式中: γ ——曲线下降段的衰减指数;

ζ ——阻尼比。

- 2) 直线下降段的下降斜率调整系数应按下列公式确定:

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta} \quad (5.1.3-2)$$

式中: η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数,小于 0 时应取 0。

3) 阻尼调整系数应按下式确定:

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \quad (5.1.3-3)$$

式中: η_2 ——阻尼调整系数, 当小于 0.55 时, 应取 0.55。

5.1.4 电气设备(或结构)的阻尼比可按表 5.1.4 的规定取值。

表 5.1.4 电气设备(或结构)的阻尼比

电气设备(或结构)类型	钢制设备(含钢结构)	钢筋混凝土结构	电瓷设备
阻尼比	0.04	0.05	0.03

5.1.5 采用底部剪力法时, 电气设备(或结构)的水平地震作用标准值(图 5.1.5)可按下列公式计算:

$$F_H = \alpha_1 m_{eq} g \quad (5.1.5-1)$$

$$m_{eq} = \lambda_m \sum_{i=1}^n m_i \quad (5.1.5-2)$$

$$F_i = \frac{m_i H_i^\delta}{\sum_{i=1}^n m_i H_i^\delta} \quad (5.1.5-3)$$

式中: F_H ——电气设备(或结构)的总水平地震作用标准值(N);

g ——重力加速度(m/s^2), 取 9.8;

α_1 ——对应于电气设备(或结构)基本自振周期的水平地震影响系数;

m_{eq} ——电气设备(或结构)在操作状态下的等效总质量(kg);

λ_m ——等效质量系数, 单质点体系取 1, 多质点体系取 0.85;

F_i ——作用于质点 i 的水平地震作用标准值(N);

m_i ——集中在质点 i 的操作状态下的质量(kg);

H_i ——质点 i 的计算高度(m);

n ——质点数;

δ ——电气设备(或结构)的弯曲变形影响指数, 应按表 5.1.5 选取。

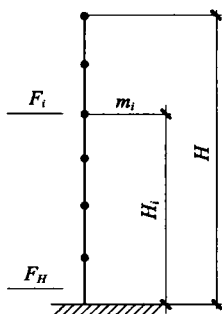


图 5.1.5 水平地震作用标准值示意图

表 5.1.5 弯曲变形影响指数

电气设备(或结构)基本自振周期	<0.5	0.5~2.5	>2.5
δ	1.0	$0.75+0.5T_i$	2

注: T_i 为设备基本自振周期(s)。

5.1.6 采用振型分解反应谱法时,电气设备(或结构)的地震作用标准值作用效应计算应符合下列规定:

1 电气设备 j 振型 i 质点的水平地震作用标准值应按下列公式计算:

$$F_{Hji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} m_i g \quad (5.1.6-1)$$

$$\gamma_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ji} m_i}{\sum_{i=1}^n X_{ji}^2 m_i} \quad (5.1.6-2)$$

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

式中: F_{Hji} ——第 j 振型 i 质点的水平地震作用标准值(N);

α_j ——电气设备(或结构)第 j 振型自振周期的地震影响系数;

γ_j ——第 j 振型的振型参与系数;

X_{ji} ——第 j 振型第 i 质点的水平相对位移;

k ——振型数,一般情况下,可取前 3 阶振型。

2 水平地震作用效应(弯矩、剪力、轴向力)应按下列式计算:

$$S_H = \sqrt{\sum_{j=1}^k S_{Hj}^2} \quad (5.1.6-3)$$

式中: S_H ——水平地震作用效应;

S_{Hj} ——电气设备(或结构)第 j 振型水平地震作用产生的效应。

5.1.7 设计基本地震加速度不小于 $0.20g$ 时,应计入竖向地震作用影响。

5.1.8 垂直于地面的电气设备,竖向地震作用标准值可取其水平地震作用标准值的 60% ;非垂直于地面的电气设备,竖向地震作用标准值可取该设备垂直于地面时水平地震作用标准值的 70% 。

5.2 楼层动力反应放大系数

5.2.1 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,地震影响系数应乘以支承结构的动力反应放大系数。

5.2.2 可将支承结构与电气设备作为一个整体进行抗震鉴定。

5.2.3 对安装在室外低矮支架、室内底层或洞内的电气设备,其支承结构的动力反应放大系数的取值不宜小于 1.2 。

5.2.4 室内二、三层楼板上的电气设备,建筑物的动力反应放大系数应取 2.0 。安装在更高楼层上的电气设备,建筑物的动力反应放大系数取值应大于 2.0 ,也可按本标准附录 C 的规定计算建筑物的动力反应放大系数和电气设备地震作用。

5.2.5 电力变压器本体上的部件(油枕、散热器和瓷套管等),动力反应放大系数应取 1.5 。

5.3 电力变压器

5.3.1 电力变压器的地脚螺栓抗震验算,应符合下列规定:

1 安装在地面上的电力变压器本体的水平地震作用计算,应符合本标准第 5.1 节的规定,地震影响系数可按本标准表 5.1.2-1 取最大值,变压器的总质量应包括本体、油、油枕、散热器和绝缘套

管等质量；

2 设置在楼层上的电力变压器本体的水平地震作用计算，应符合本标准第 5.2 节的规定，变压器基本自振周期可取 0.1s；

3 在水平和竖向地震作用下地脚螺栓的应力计算应符合下列规定：

1) 地脚螺栓的拉应力，可按下列公式计算：

抗震设防烈度为 7 度时：

$$\sigma_0 = \frac{2F_H H_v - m_{eq} l_b}{nA_b l_b} \quad (5.3.1-1)$$

抗震设防烈度大于 7 度时：

$$\sigma_0 = \frac{F_v}{nA_b} + \frac{2F_H H_v - m_{eq} l_b}{nA_b l_b} \quad (5.3.1-2)$$

式中： σ_0 ——在地脚螺栓上产生的拉应力(Pa)；

F_H ——变压器本体的水平地震作用(N)；

F_v ——变压器本体的竖向地震作用(N)；

n ——地脚螺栓个数；

A_b ——每个地脚螺栓的有效截面积(m²)；

l_b ——地脚螺栓的最小间距(m)；

H_v ——变压器本体高度二分之一处至基础面的距离(m)；

m_{eq} ——设备的总质量(包括变压器的本体、油枕、散热器、绝缘套管等)(kg)。

2) 地脚螺栓的剪应力，可按下列公式计算：

抗震设防烈度为 7 度时：

$$\tau_0 = \frac{F_H - 0.3m_{eq}}{nA_b} \quad (5.3.1-3)$$

抗震设防烈度大于 7 度时：

$$\tau_0 = \frac{F_H - 0.3(m_{eq} - F_v)}{nA_b} \quad (5.3.1-4)$$

式中： τ_0 ——在地脚螺栓上产生的剪应力(Pa)。

4 电力变压器的地脚螺栓抗震验算,应满足下列公式要求:

$$\sigma_0 \leq [\sigma]_d \quad (5.3.1-5)$$

$$\tau_0 \leq [\tau]_d \quad (5.3.1-6)$$

式中: $[\sigma]_d$ ——地脚螺栓常温下拉伸许用应力设计值(Pa),对低碳钢可取 $180 \times 10^6 \text{ Pa}$;

$[\tau]_d$ ——地脚螺栓常温下许用剪应力设计值(Pa),对低碳钢可取 $150 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。

5.3.2 变压器悬臂式散热器的抗震验算,应符合下列规定:

1 散热器的水平地震作用,可按下列式计算:

$$F_t = \alpha_{\max} m_t g \quad (5.3.2-1)$$

式中: F_t ——散热器的水平地震作用(N);

m_t ——散热器的质量(kg)。

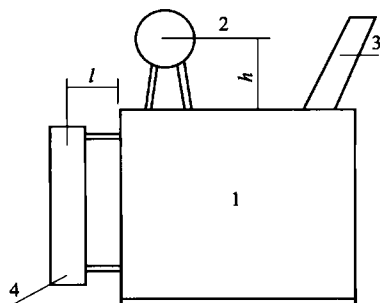


图 5.3.2 变压器简图

1—变压器本体; 2—油枕; 3—绝缘套管; 4—散热器

2 抗震设防烈度为 7 度及以上时,散热器与变压器本体连接钢管,在水平地震作用下的弯曲应力,可按下列式计算:

$$\sigma_1 = \frac{F_t l D}{2nI} \quad (5.3.2-2)$$

式中: σ_1 ——散热器与变压器本体连接钢管在水平地震作用下的弯曲应力(Pa);

l ——散热器中心至变压器(图 5.3.2)本体边缘的间距(m);

D ——散热器与变压器连接管的外径(m);

n ——散热器与变压器本体连接管的根数;

I ——一根连接钢管的截面惯性矩(m^4)。

3 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,散热器与变压器本体连接钢管,在水平地震作用下的剪应力,可按下式计算:

$$\tau_1 = \frac{F_t}{nA} \quad (5.3.2-3)$$

式中: τ_1 ——散热器与变压器本体连接钢管在水平地震作用下的剪应力(Pa);

A ——一根连接钢管的截面积(m^2)。

4 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,散热器与变压器本体连接钢管在竖向地震作用下的弯曲应力,可按下式计算:

$$\sigma_2 = \frac{(F_{tv} + m_t g) l D}{2nI} \quad (5.3.2-4)$$

式中: F_{tv} ——散热器的竖向地震作用(N);

σ_2 ——散热器与变压器本体连接钢管在竖向地震作用下的弯曲应力(Pa)。

5 抗震设防烈度为 8 度或 9 度时,散热器与变压器本体连接钢管在竖向地震作用下的剪应力,可按下式计算:

$$\tau_2 = \frac{F_{tv} + m_t g}{nA} \quad (5.3.2-5)$$

式中: τ_2 ——散热器与变压器本体连接钢管在竖向地震作用下的剪应力(Pa)。

6 散热器与变压器连接钢管的组合应力,可按下式计算:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + 3\tau_0^2} \quad (5.3.2-6)$$

式中: σ ——连接钢管的组合应力(Pa);

σ_0 ——取 σ_1 与 σ_2 的较大值(Pa);

τ_0 ——取 τ_1 与 τ_2 的较大值(Pa)。

7 散热器与变压器本体连接钢管的抗震验算,应满足下式要求:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (5.3.2-7)$$

式中: $[\sigma]$ ——散热器与变压器本体连接钢管常温下的许用应力设计值(Pa);应按本标准第 3.0.9 条确定。

5.3.3 变压器油枕的抗震验算,应符合下列规定:

1 水平地震作用,应按下式计算:

$$F_o = \alpha_{\max} m_o g \quad (5.3.3-1)$$

$$F_{ov} = 0.6 F_o \quad (5.3.3-2)$$

式中: F_o ——变压器油枕的水平地震作用(N);

m_o ——变压器油枕的质量(kg);

F_{ov} ——变压器油枕竖向地震作用(N)。

2 水平地震作用下弯曲应力,应按下式计算:

$$\sigma_1 = \frac{F_o h}{2 Z_1} \quad (5.3.3-3)$$

式中: σ_1 ——变压器油枕在水平地震作用下的弯曲应力(Pa);

h ——油枕二分之一处至变压器(图 5.3.2)所示与油枕支腿连接处的距离(m);

Z_1 ——油枕一个支腿沿油枕纵向的截面矩(m³)。

3 水平地震作用下剪应力,应按下式计算:

$$\tau_1 = \frac{F_o}{2A} \quad (5.3.3-4)$$

式中: τ_1 ——变压器油枕在水平地震作用下的剪应力(Pa);

A ——油枕一个支腿的截面积(m²)。

4 变压器油枕的压应力,可按下列规定计算:

1) 抗震设防烈度为 7 度时,可按下式计算:

$$\sigma_2 = \frac{m_o g}{2A} \quad (5.3.3-5)$$

2) 抗震设防烈度大于 7 度时,可按下式计算:

$$\sigma_2 = \frac{F_{ov} + m_o g}{2A} \quad (5.3.3-6)$$

式中: F_o ——变压器油枕的水平地震作用(N);

σ_2 ——变压器油枕的压应力(Pa)。

5 变压器油枕支腿截面的组合应力应按本标准第 5.3.2 条中公式 5.3.2-6 计算。

6 变压器油枕支腿的组合应力,应满足下式要求:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (5.3.3-7)$$

式中: σ ——变压器油枕支腿截面的组合应力值(Pa);

$[\sigma]$ ——变压器油枕支腿常温下的许用应力设计值(Pa),应按本标准第 3.0.9 条确定。

5.4 三相垂直布置电抗器

5.4.1 三相垂直布置电抗器(以下简称:电抗器),每层支撑瓷瓶应进行抗震验算。

5.4.2 电抗器抗震验算时,可简化为串联三自由度计算模型,各质点质量应分别取各相电抗器的质量,且位于质心处。

5.4.3 电抗器的基本自振周期可按下列公式计算,简化计算时可取 0.1s。

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 m_i H_i^2}{\sum_{i=1}^3 K_i (H_i - H_{i-1})^2}} \quad (5.4.3-1)$$

$$K_i = \frac{12EI_i n_i}{h_i^3} \quad (5.4.3-2)$$

式中: K_i ——第 i 层支承瓷瓶柱的侧移刚度(N/m);

E ——支承瓷瓶柱材料的弹性模量(Pa);

I_i ——单根第 i 层支承瓷瓶柱的截面惯性矩(m⁴);

n_i ——第 i 层支承瓷瓶柱的数目;

H_i ——质点 i 的高度(m);

h_i ——第 i 层支承瓷瓶柱的高度(m);

m_i ——第 i 质点的质量(kg)。

5.4.4 电抗器每层质点水平地震作用计算,应按本标准第 5.1.5 条规定执行。

5.4.5 每层支承瓷瓶柱底部弯矩,应按下列公式计算:

$$M_1 = \sum_{i=1}^3 F_i H_i \quad (5.4.5-1)$$

$$M_2 = \sum_{i=2}^3 F_i (H_i - H_1 - h/2) \quad (5.4.5-2)$$

$$M_3 = F_3 (H_3 - H_2 - h/2) \quad (5.4.5-3)$$

式中: M_1 、 M_2 、 M_3 ——第 1、2、3 层支承瓷瓶柱底部弯矩(N·m);

h ——单相电抗器的高度(m)。

5.4.6 每层支承瓷瓶柱的拉应力和剪应力,应分别按下列公式计算:

$$\sigma_{ti} = \frac{1}{n_i A_i} \left(\frac{4M_i}{D_i} - \sum_{j=i}^3 m_j g \right) \quad (5.4.6-1)$$

$$\tau_i = \frac{\sum_{j=i}^3 F_j}{n_i A_i} \quad (5.4.6-2)$$

式中: σ_{ti} ——第 i 层支承瓷瓶柱的底部拉应力(Pa);

τ_i ——第 i 层支承瓷瓶柱的剪应力(Pa);

A_i ——单根第 i 层支承瓷瓶柱的有效截面积(m²);

D_i ——第 i 层支承瓷瓶柱的中心圆直径(m)。

5.4.7 每层支承瓷瓶柱的截面抗震验算,应分别满足下列公式要求:

$$\sigma_{ti} \leq [\sigma] \quad (5.4.7-1)$$

$$\tau_i \leq [\tau] \quad (5.4.7-2)$$

式中: $[\sigma]$ ——支承瓷瓶柱常温下的许用拉应力设计值(Pa),应按本标准第 3.0.9 条确定;

$[\tau]$ ——支承瓷瓶柱常温下的许用剪应力设计值(Pa),应按本标准第 3.0.9 条确定。

5.4.8 电抗器各层地脚螺栓的拉应力和剪应力,应分别按下列公

式计算：

$$\sigma_{bti} = \frac{1}{n_i n_{bti} A_{bti}} \left(\frac{4M_i}{D_{ri}} - \sum_{j=i}^3 m_j g \right) \quad (5.4.8-1)$$

$$\tau_{bti} = \frac{\sum_{j=i}^3 F_j - 0.4 \sum_{j=i}^3 m_j g}{n_i n_{bti} A_{bti}} \quad (5.4.8-2)$$

式中： σ_{bti} ——第 i 层支承瓷瓶柱地脚螺栓的拉应力(Pa)，当计算值小于 0 时，应取 0；

τ_{bti} ——第 i 层支承瓷瓶柱地脚螺栓的剪应力(Pa)，当计算值小于 0 时，应取 0；

n_{bti} ——第 i 层单根支承瓷瓶柱的地脚螺栓数；

A_{bti} ——第 i 层支承瓷瓶柱一个地脚螺栓的有效截面积(m^2)；

D_{ri} ——第 i 层支承瓷瓶柱地脚螺栓的中心圆直径(m)。

5.4.9 电抗器各层地脚螺栓截面的抗震验算，应分别满足下列公式要求：

$$\sigma_{bti} \leq [\sigma_{bt}] \quad (5.4.9-1)$$

$$\tau_{bti} \leq [\tau_{bt}] \quad (5.4.9-2)$$

式中： $[\sigma_{bt}]$ ——地脚螺栓常温下许用拉应力设计值(Pa)，应按本标准第 3.0.9 条确定；

$[\tau_{bt}]$ ——地脚螺栓常温下的许用剪切应力设计值(Pa)，应按本标准第 3.0.9 条确定。

5.5 断路器、避雷器

5.5.1 断路器和避雷器的下列部位，应进行抗震验算：

1 断路器或避雷器的根部瓷件；

2 有绝缘拉杆的避雷器在绝缘拉杆上面一节瓷件的根部。

5.5.2 安装在地面上的断路器和避雷器的基本自振周期计算应

符合下列要求:

1 断路器和无绝缘拉杆的避雷器的基本自振周期,可按下列公式计算:

$$T = 1.787 \sqrt{\frac{mH^3}{EI\beta}} \quad (5.5.2-1)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad (5.5.2-2)$$

式中: T ——设备的基本周期(s);

m ——设备的总质量,包括所有装置及油的质量(kg);

H ——设备的总高(m);

E ——瓷件材料的弹性模量(Pa),可取 75×10^9 Pa;

β ——考虑节点等因素的刚度折减系数,断路器可取 0.2;避雷器可取 0.22;

I ——瓷件根部的截面惯性矩(m^4);

D 、 d ——瓷瓶的外径与内径(m)。

2 有绝缘拉杆避雷器的基本自振周期,应按下式计算:

$$T = 1.835 \sqrt{\frac{mH^3}{EI}} \quad (5.5.2-3)$$

5.5.3 安装在地面上的断路器及避雷器的地震作用和地震弯矩计算应符合下列要求:

1 无绝缘拉杆的避雷器及断路器的地震作用及计算截面的弯矩,应按下列公式计算:

$$F = \alpha mg \quad (5.5.3-1)$$

$$M = F \left(\frac{2}{3} H - h \right) \quad (5.5.3-2)$$

式中: F ——无绝缘拉杆的避雷器及断路器所受地震作用(N);

M ——计算断面的弯矩($N \cdot m$);

α ——地震影响系数,按本标准第 5.1.2 条确定;

h ——计算断面距离设备根部的高度(m)。

2 有绝缘拉杆避雷器的水平地震作用和计算截面的弯矩应

符合下列要求：

1) 有绝缘拉杆避雷器的水平地震作用，应按下式计算：

$$F = \alpha mg \quad (5.5.3-3)$$

2) 当计算断面距离 h 不小于 $\frac{5}{8}H$ 时，拉杆与避雷器连接部位的弯矩，应按下式计算：

$$M = F(0.88H - h) \quad (5.5.3-4)$$

3) 当计算断面距离 h 小于 $\frac{5}{8}H$ ，大于等于 0 时，拉杆与避雷器连接部位以下的弯矩，应按下式计算：

$$M = F(0.612h - 0.1275H) \quad (5.5.3-5)$$

5.5.4 安装在支座上的断路器、避雷器(图 5.5.4)的基本自振周期，应按下列公式计算：

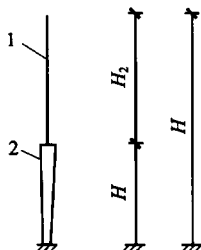


图 5.5.4 安装在支座上的设备计算示意

1—设备；2—支座

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad (5.5.4-1)$$

$$K = \frac{\lambda_1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3}} \quad (5.5.4-2)$$

$$K_1 = \frac{3E_1 I_1}{H_1^3} \quad (5.5.4-3)$$

$$K_2 = \frac{24E_1 I_2}{H_2^3} \quad (5.5.4-4)$$

$$K_3 = \frac{4E_1 I_1}{H_1 H_2 (2H_1 + H_2)} \quad (5.5.4-5)$$

式中: m' ——体系的等效质量(kg),可取设备的总质量(包括所有装置和油的质量)和支座质量的 1/3 之和;

K ——体系的侧移刚度(N/m);

λ_1 ——侧移刚度折减系数,断路器可取 0.19;避雷器可取 0.22;

E_1 ——支座材料弹性模量(Pa);

I_1, I_2 ——支座截面、瓷件截面的惯性矩(m^4);

H_1, H_2 ——支座高度(算到杯口)、设备高度(m)。

5.5.5 安装在支座上的断路器和避雷器计算截面上的弯矩,应按下列式计算:

$$M = \alpha m' g \left(H_1 + \frac{H_2}{2} - h \right) \quad (5.5.5)$$

5.5.6 断路器及避雷器的抗震验算,应满足下列公式要求:

$$\sigma = \frac{kM}{W} \leq [\sigma] \quad (5.5.6-1)$$

$$W = \frac{\pi}{32D} (D^4 - d^4) \quad (5.5.6-2)$$

式中: σ ——设备计算断面的应力(Pa);

W ——计算断面的截面模量(m^3);

D, d ——瓷瓶的外径与内径(m);

$[\sigma]$ ——验算部位材料的许用应力设计值(Pa);常温下瓷件材料可取 11.2×10^6 Pa, C25 混凝土支座可取 18×10^6 Pa;

k ——不平衡系数,可取 1.5。

附录 A 电气设备减震措施

A.1 一般规定

A.1.1 电气设备可采用装设减震器的方式达到减震效果,减震器可选用橡胶阻尼器、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。

A.1.2 应根据电气设备的结构特点、使用要求、自振周期及场地类别等,选择相适应的减震措施。

A.1.3 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橡胶阻尼器。

A.1.4 电气设备加设减震器之后,应满足强度、位移和工艺要求。

A.1.5 减震器宜设置在支架或电气设备与基础、建(构)筑物的连接处。

A.1.6 采用减震措施时,不应影响电气设备的正常使用功能。

A.1.7 减震装置安装后应定期检查,至少应在每次设备除尘检修时进行一次全面检查。

A.2 减震措施

A.2.1 电气设备安装减震器后的抗震验算,可采用减震器的技术参数进行,也可将原设备的最大组合应力乘以应力折减系数的方法,应力折减系数应按表 A.2.1 确定。

表 A.2.1 应力折减系数

抗震设防烈度	场地类别			
	I	II	III	IV
7 度	0.4	0.4	0.5	0.7
8 度	0.6	0.6	0.6	0.7

A.2.2 安装减震器的电气设备与其他设备的连接线应为柔性连接。

A.3 避雷器减震措施

A.3.1 避雷器安装橡胶垫减震措施后的抗震验算,可按未安装橡胶垫减震措施时的最大应力乘以 0.4 的方法进行抗震验算。

A.3.2 避雷器减震装置的橡胶垫,可按图 A.3.2 所示方法进行安装。

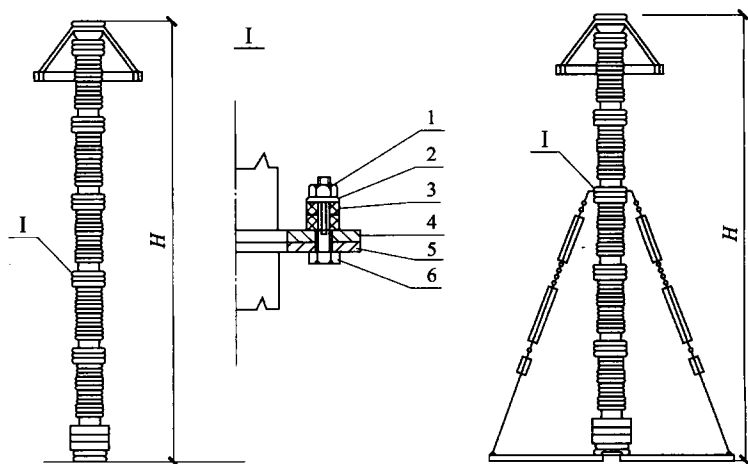


图 A.3.2 避雷器减震装置示意

1—螺母;2—垫圈;3—橡胶阻尼垫;

4—瓷瓶上法兰;5—瓷瓶下法兰;6—螺栓

A.3.3 无绝缘拉杆的避雷器,抗震设防烈度为 7 度时,可在其根部瓷瓶法兰的连接螺栓上加设双层橡胶阻尼垫。抗震设防烈度为 8 度时,应在每个瓷瓶法兰的连接螺栓上加设双层橡胶阻尼垫。

A.3.4 有绝缘拉杆的避雷器,应在每个瓷瓶法兰的连接螺栓处增设双层橡胶阻尼垫。

A.3.5 橡胶阻尼垫的规格(外径 \times 内径 \times 厚度),宜为 25mm \times 13mm \times 8mm。

A.3.6 安装橡胶阻尼垫后,避雷器顶部的导线的位移量不应小于 15mm。

A.3.7 避雷器安装减震装置时,应符合下列要求:

1 安装时应旋动螺栓压缩橡胶阻尼垫,使每组橡胶阻尼垫的总压缩量为 4mm;

2 橡胶阻尼垫材料为丁基橡胶时,应具有良好的阻尼特性、耐热性和抗老化性,并应符合国家现行有关标准的要求。

附录 B 三相垂直布置电抗器抗震措施

B.1 一般规定

B.1.1 三相垂直布置电抗器抗震措施(图 B.1.1)应保证原电气性能不受影响。

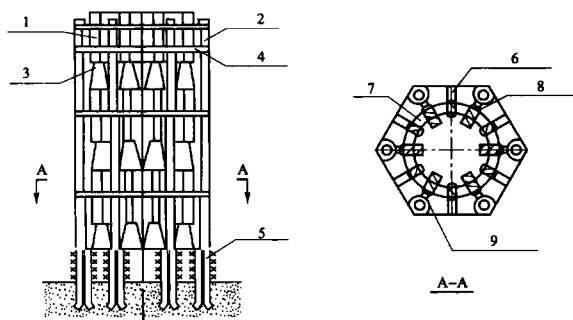


图 B.1.1 三相垂直布置电抗器抗震措施示意

- 1—电抗器;2—环氧玻璃钢柱;3—支承瓷瓶;4—环向紧固钢带;
5—埋地组合钢管;6—环氧玻璃钢隔板;7—线圈;
8—电抗器柱;9—环氧玻璃钢垫板

注:环氧玻璃钢垫板和环氧玻璃钢柱与电抗器必须连接紧固形成一体。

B.1.2 当采用环氧玻璃钢为主材时,应符合下列要求:

1 环氧玻璃钢制品应按有关标准进行力学性能试验,根据环氧玻璃钢材料实际受力情况,试验项目应包括:抗拉强度、抗弯强度、抗压强度、抗剪强度、密度和弹性模量等;

2 应对环氧玻璃钢绝缘性能进行交流耐压试验。主要电气性能应满足下列要求:

- 1) 内电阻系数应大于 $10^9 \Omega/\text{mm}$;
- 2) 平行层击穿电压应(在 $90^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 和电极中心距离为 15mm 时)大于 15kV。

3 环氧玻璃钢管到达现场后,每批量应取不少于 1 根进行工频交流耐压试验。

B. 1. 3 采取抗震措施后投运的电抗器,应符合下列要求:

1 钢带对地的悬浮电位值不应大于 2V,应密切监测紧钢带的温度变化;

2 连续运行 4 周后,宜在额定电压、最大负荷电流(接近或等于电抗器额定电流)时作发热试验。

B. 1. 4 环氧玻璃钢柱长度,应按下式确定:

$$L = 3H + h - 0.1 \quad (\text{B. 1. 4})$$

式中: L ——环氧玻璃钢柱长度(m);

H ——电抗器单相高度(m);

h ——电抗器基础高度(m)。

B. 1. 5 环氧玻璃钢材料应有机械性能试验报告,试验报告应包括试验内容和方法。

B. 1. 6 环氧玻璃钢作为电抗器 B 级绝缘加固材料,应进行交流耐压试验,试验电压和试验时间应符合表 B. 1. 6 的规定。

表 B. 1. 6 绝缘试验电压及时间规定

电压等级(kV)	试验电压(kV)	试验时间(min)
6	32	工频交流 1
10	42	工频交流 1

B. 1. 7 环氧玻璃钢的内电阻系数应大于 $10^9 (\Omega/\text{mm})$,平行层击穿电压(在 $90^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 和电极中心距离为 15mm)应大于 15kV 要求,以上由制造厂家试验并出具证明。

B. 1. 8 环氧玻璃钢柱到达现场后,每批应抽样做工频交流耐压试验,每组抽样不应少于 1 根,试验项目应符合下列要求:

1 环氧玻璃钢柱应做交流耐压试验,试验标准应符合本标准表 B. 1. 6 的规定;

2 电抗器加固竣工刷漆后,应对电抗器整体进行常规交流耐压试验;

3 对采取抗震措施后投运的电抗器,应测试紧固钢带对地电

压,其值应小于 2V。

B.2 构造要求

B.2.1 选用钢管的内径应与环氧玻璃钢管外径相近,并套在环氧玻璃钢管的下部。其环氧玻璃钢管的下端应与地平线在一个平面上,用 3 个或 4 个 M16 螺栓连接,螺栓间距可取螺栓孔径的 3 倍~10 倍,埋地深度应大于 0.3m。加固措施安装后,加固柱下部钢管应埋入基础内并浇灌混凝土(图 B.2.1)。所有的钢管均应有良好的接地措施。

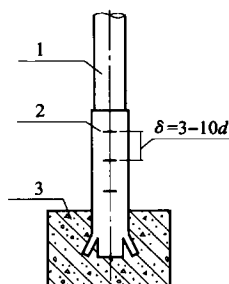


图 B.2.1 埋地钢管示意

1—环氧玻璃钢管; 2—埋地组合钢管; 3—混凝土基础

B.2.2 环氧玻璃钢管、环向紧固钢带和垫板之间,应采用 M16 或 M12 螺栓将三者连接一体(图 B.2.2)。垫板可采用酚醛树脂层压板或采用硬木浸变压器油,并刷防潮涂料。

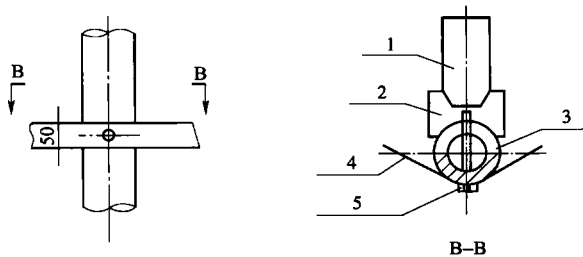


图 B.2.2 环氧玻璃钢管、环向紧固钢带与垫板连接示意

1—电抗器支撑瓷瓶柱; 2—酚醛树脂层压板; 3—环氧玻璃钢管;

4—环向紧固钢带; 5—固定螺栓

B. 2.3 电抗器坐落在混凝土楼板上时,组合钢管应焊接在底板上;底板与楼板应采用 4 个 M20 的螺栓牢固连接,且应采用双螺母或单螺母加弹簧垫圈(图 B. 2.3)。

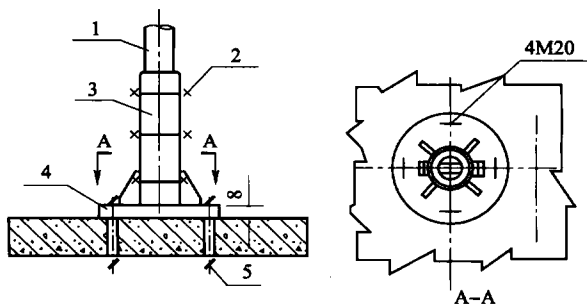


图 B. 2.3 组合钢管与楼板连接示意

1—加固环氧玻璃钢管; 2—螺栓; 3—加固组合钢管;

4—筋板; 5—固定螺栓

B. 2.4 环向紧固钢带宜选 50mm×5mm 低碳钢带或奥氏体不锈钢带。钢带可分为两段或三段用 M16 螺栓环形连接,钢带应与电抗器贴紧,应使电抗器与加固构架形成一个整体。钢带宜布置在各相电抗器的质心处,顶部一相应在质心附近对称布置两圈环向紧固钢带。

B. 2.5 每根环向紧固钢带应断开,间距宜为 4mm~10mm,并应采用环氧玻璃钢隔板连接(图 B. 2.5)。

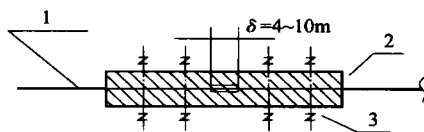


图 B. 2.5 环向紧固钢带连接

1—环向紧固钢带; 2—环氧玻璃钢隔板; 3—连接螺栓

附录 C 楼层上设备地震作用计算

C. 0.1 楼层上的电气设备,其所在楼层的动力放大系数应按图 C. 0.1 确定。其中,确定基本自振周期时,可将建(构)筑物视为电气设备的刚性基础。

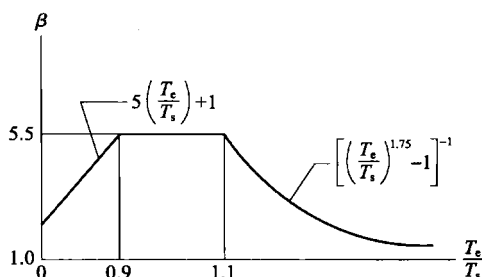


图 C. 0.1 楼层动力放大系数曲线

β —楼层动力放大系数;

T_s —支承电气设备的建(构)筑物的基本自振周期(s);

T_e —电气设备的基本自振周期(s)

C. 0.2 确定支承电气设备的建(构)筑物的自振周期时,楼层质量应包括楼层上的电气设备及其附属物的质量。当楼层自身质量标准值难以确定时,钢结构建(构)筑物可取 $100\text{kg/m}^2 \sim 150\text{kg/m}^2$, 钢筋混凝土结构建(构)筑物可取 $450\text{kg/m}^2 \sim 600\text{kg/m}^2$ 。

C. 0.3 建(构)筑物的基本自振周期计算宜符合下列规定:

- 1 钢结构建(构)筑物的基本自振周期,可按下式计算:

$$T_s = 0.03H_s \quad (\text{C. 0.3-1})$$

式中: H_s ——建(构)筑物的总高度(m)。

- 2 钢筋混凝土结构建(构)筑物的基本自振周期,可按下列式计算:

$$T_s = 0.075 H_s^{3/4} \quad (\text{C. 0. 3-2})$$

3 砖混结构建(构)筑物的基本自振周期,可按下列式计算:

$$T_s = 0.05 H_s^{3/4} \quad (\text{C. 0. 3-3})$$

C. 0. 4 楼层上电气设备的水平地震作用计算,应符合下列规定:

1 支承电气设备的多层建(构)筑物可简化成多自由度体系进行抗震计算(本标准图 5. 1. 5);

2 第 i 层楼层的加速度系数,应按下列式计算:

$$\alpha'_{si} = \frac{F_i}{m_i g} \quad (\text{C. 0. 4-1})$$

式中: α'_{si} ——第 i 层楼层的加速度系数;

F_i ——第 i 层楼层的水平地震作用标准值(N)。

3 第 i 层楼层上的电气设备的水平地震影响系数,应按下列式计算:

$$\alpha_{si} = \beta \alpha'_{si} \quad (\text{C. 0. 4-2})$$

式中: α_{si} ——第 i 层楼层上的电气设备的水平地震影响系数。

4 第 i 层楼层上的电气设备的水平地震作用标准值,应按下列式计算:

$$F_{Hsi} = \alpha_{si} m_{eg} g \quad (\text{C. 0. 4-3})$$

式中: F_{Hsi} ——第 i 层楼层上电气设备的水平地震作用标准值(N)。

5 楼层上的电气设备计算的水平地震作用标准值,若小于按建在地面上所得到的水平地震作用标准值时,应采用建在地面上所得到的水平地震作用标准值。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,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

《中国地震动参数区划图》GB 18306

中华人民共和国国家标准

工业企业电气设备抗震鉴定标准

GB 50994-2014

条 文 说 明

制 订 说 明

《工业企业电气设备抗震鉴定标准》GB 50994—2014,经住房和城乡建设部 2014 年 5 月 29 日以第 431 号公告批准发布。

本标准在制定过程中参考了《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 和《构筑物抗震设计规范》GB 50191,并与《电力设施抗震设计规范》GB 50260 进行了协调。同时,向全国有关单位和部分专家广泛征求意见,编制组对反馈意见进行了认真讨论和研究,这些都在编制中有所体现。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《工业企业电气设备抗震鉴定标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明,还着重对强制性条文的强制性理由做了解释。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	(47)
3	基本规定	(49)
4	抗震鉴定	(50)
4.1	电力变压器类	(50)
4.2	三相垂直布置电抗器	(50)
4.3	断路器、避雷器	(51)
4.5	电瓷设备	(51)
4.6	蓄电池	(51)
4.7	屏、柜、箱类设备和组合电器	(52)
5	抗震验算	(53)
5.1	地震作用计算	(53)
5.2	楼层动力反应放大系数	(53)
5.5	断路器、避雷器	(54)
附录 B	三相垂直布置电抗器抗震措施	(56)
附录 C	楼层上设备地震作用计算	(58)

1 总 则

1.0.1 本条是标准编制目的和指导思想,本标准编制贯彻了《中华人民共和国抗震减灾法》地震工作以“预防为主”的方针;抗震鉴定是以现有科技水平和经济条件为前提,相信将来抗震设防水平会有所提高。

1.0.2 本条是本标准的适用范围,基本涵盖了我国工业企业绝大部分既有电气设备的种类,对少部分未在本标准的适用范围内的电气设备抗震鉴定,可参照本标准相类似的电气设备抗震鉴定规定执行。

1.0.3 在地震中,电气行业被国际工程抗震界称之为生命线工程,其抗震重要性高于其他行业。一般情况下,抗震鉴定标准的设防目标要略低于设计标准。所以,本标准的抗震设防目标,略高于现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023,但比现行国家标准《工业企业电气设备抗震设计规范》GB 50556 略低。

1.0.4 本条为强制性条文,必须严格执行。在国内外历次破坏性地震中,电气设备的被破坏现象比比皆是,轻则短时停电,重则因主要设备破坏严重长时间停电,给震后救灾和恢复建设增大难度。我国是多地震国家之一,在建国后的 60 多年时间里,发生过无数次破坏性地震,这些地震大部分发生在低烈度区或不需抗震设防的地区,给国家和人民的生命、财产带来巨大损失。所以本条强制性规定设计基本地震加速度值为 0.05 及以上(即:抗震设防烈度 6 度及以上)地区的工业企业未进行抗震设防的既有电气设备必须进行抗震鉴定。

1.0.5 一般情况下,各企业的抗震设防烈度是采用现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 规定的该地区的地震动参数

和与之对应的抗震设防基本烈度,对做过地震安评的企业,则按主管部门批准的地震动参数进行抗震设防。重要工程需要提高设防等级时,必须经国家主管部门的批准后方可实施。

3 基本规定

3.0.2 本条规定了工业企业电气设备抗震鉴定时,需要进行宏观检查鉴定的主要内容,在实施过程中要根据电气设备的实际情况确定。

3.0.4 本条的设计基本地震加速度值和抗震设防烈度的对应关系是参照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 编制的。其中设计基本地震加速度值的每一档本标准称之为一级。

3.0.7 本条规定了重要电气设备和一般电气设备抗震鉴定的区别;现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《构筑物抗震设计规范》GB 50191 规定,重要建筑物的抗震措施提高 1 度,基本地震加速度不提高;但现行国家标准《电力设施抗震设计规范》GB 50260 规定,重要结构的抗震措施和抗震计算均提高 1 度,这显然不太合理;本标准是按现行国家标准《工业企业电气设备抗震设计规范》GB 50556 规定选用的。

3.0.9 本条规定了电气设备抗震鉴定验算时,许用应力取值的规定。一般情况下,抗震设计许用应力取材料许用应力的 1.2 倍,抗震鉴定则取抗震设计许用应力的 1.2 倍,综合起来看,抗震鉴定应取材料许用应力的 1.44 倍,所以本标准规定应取材料许用应力的 1.4 倍。

3.0.10 本条为强制性条文,必须严格执行。经国内有关单位的震害调查及计算分析,电流互感器、棒式绝缘子及穿墙套管,地震时一般不会遭受破坏,只需将浮放设备固定即可。电力电容器、蓄电池及开关柜屏箱类设备,本身大多为钢制框架结构,强度较高,本身重心也较低,据国内外震害调查,只要是用地脚螺栓固定的,地震时一般不会遭受破坏。

4 抗震鉴定

4.1 电力变压器类

4.1.4、4.1.7 变压器因浮放受地震而损坏的情况,在许多震害调查报告中已有说明。关于固定方式有两种意见,一种认为采用螺栓或焊接的方式;一种认为应采用打拉线或其他弹性固定。在经过振动台试验后,证明铁芯加速度比变压器外壳小,应力也不大。在企业以往的加固工作中,变压器仅采用角钢等进行限位,在发生高于本地区设防烈度地震影响时,仍有可能发生位移、倾斜或倾倒的情况,抗震效果不太明显。因此本条规定,应采取地脚螺栓或焊接方式固定,但需满足抗震强度要求。

变压器硬母线加软连接对保护变压器瓷套管有很大作用。有部分企业的变压器已加软线连接,但做法各异。地震时影响因素很多,对软连接详细计算较困难,本条规定只是根据各企业的经验,综合总结得出的。

一般情况下,软连接宜采用各向柔软度相同的铜编织带制成。硬母线断口长度宜为 200mm 左右。软连接安装位置应尽量靠近套管,在变压器与外部第一个支持点之间。

大型变压器的散热器和油枕与本体连接较薄弱,而且地震时会产生二次放大作用。在振动台进行的试验证明,散热器和油枕的加速度值为输入值的 2 倍以上,所以要进行验算并且对其加固要给予重视。

4.2 三相垂直布置电抗器

4.2.4、4.2.5 十几年前国内主要是选用水泥电抗器,由于该类电抗器质量大且水泥抗拉强度低,地震中极易被震坏;所以,近些年

来新设计的变配电装置多选用干式空心电抗器,而原有的水泥电抗器也逐渐被干式空心电抗器取代。

4.2.6 有些企业由于经济条件限制,三相垂直布置水泥电抗器仍需继续使用较长时间。对这部分三相垂直布置电抗器和给出附录 B 的抗震加固方法;三相垂直布置干式空心电抗器,在抗震设防烈度 8 度及以上时,更换瓷瓶后经抗震验算仍不能满足抗震设防要求,本条规定可采用附录 B 的抗震加固方法。

4.2.7 过去常用的普通瓷瓶破坏强度在 20MPa 左右,随着近些年来科技进步,瓷瓶的破坏强度不断提高,目前有的可达到 90MPa;所以,我们习惯将破坏强度大于 40MPa 的瓷瓶称为高强瓷瓶。

4.3 断路器、避雷器

4.3.4 本标准中要求各种引线的连接应减少对设备的影响。根据国外的研究表明,当采用软连接引线时,引线对设备的影响较小,具有一定的柔性;而硬连接的引线,对设备有较大的影响。这点都在破坏性地震中得到验证。

4.5 电瓷设备

4.5.4、4.5.5 根据国内外历次地震震害表明,当硬母线与电瓷件直接连接时,电瓷件极易被拉坏,当采用软导线(适当放松)连接时,则情况好得多,电瓷件基本完好,不易被拉坏。

4.6 蓄电池

4.6.4、4.6.5 以往的破坏性地震,对浮放蓄电池影响较大,成排成列浮放蓄电池倾斜和倾倒现象屡见不鲜。所以,本条规定浮放蓄电池应有防倾斜和倾倒的措施。

过去有的企业蓄电池加固后,由于支架影响观察蓄电池的液面,因此被拆掉,起不到抗震作用。

4.7 柜、屏、箱类设备和组合电器

4.7.6 采用地脚螺栓固定较为困难时,允许焊接固定,但必须保证焊缝强度,即柜、屏的四个角都要焊接固定,且每处焊接长度不小于 40mm。

企业中有部分手车柜和抽屉柜的二次电缆采用刷式插头,这种插头在地震时极易松动,使得失去操作电源。有的厂已改为有防松措施插头,效果较好。

4.7.5、4.7.7 GIS 是近些年来才使用的,汶川地震时,阿坝铝厂的一套 GIS 组合电气稍有轻微移位,未影响正常供电,整体抗震效果较好;还具有减少占地面积、节省空间和使用方便可靠等诸多优点,深受用户欢迎。但请用户注意在安装时,GIS 整体应尽量避免开抗震缝、伸缩缝和断裂带。

5 抗震验算

5.1 地震作用计算

5.1.1 绝大多数电气设备高度在 30m 以内,在地震作用计算时采用底部剪力法基本可以满足工程需要。

5.1.2 该条是根据多本国家标准规范不同的反应谱,经反复比较和研究,编制组采用现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的地震反应谱为本标准的地震反应谱。因为,该地震反应谱对电气设备的地震作用计算较为合适;表 5.1.2-1 中的水平地震影响最大值是按本地区遭受抗震设防烈度地震影响时选用的,这与本标准第 1.0.3 条的抗震设防目标相一致。

5.1.4 该条的阻尼比系数,是以有关标准、规范所采用实测数值为基础,经过比较、归纳和筛选,并与国内多位抗震专家共同研讨而确定的。

5.1.5、5.1.6 该两条是国家标准规范的经典计算方法,公式 5.1.5-3 中的 δ 是考虑弯曲变形影响的指数。

5.1.8 本条是竖向地震作用取值规定。

5.2 楼层动力反应放大系数

根据国内外和中石化的振动台试验结果和震害情况的调查分析结果表明,当一较小结构物安放在较大建(构)筑物上面时,地面加速度会通过较大建(构)筑物的放大后传递给上面较小结构物,通过国内外科学试验表明,放大作用是随建(构)筑物的高度成正比而变化的,一般情况下,建(构)筑物的动力反应放大系数在 2.0~3.0,现行国家标准《电力设施抗震设计规范》GB 50260 中的动力反应放大系数选取是较为可行的。所以,为保证各标准规范

相协调,本标准的反应放大系数是与现行国家标准《电力设施抗震设计规范》GB 50260 相一致的。

5.5 断路器、避雷器

5.5.1 断路器及避雷器都为悬臂结构,根据震害调查和实型试验分析,危险断面都发生在根部,所以需对瓷件根部截面进行验算。

有些避雷器有绝缘拉杆(如 220kV 避雷器),根据震害分析和内力计算发现,在绝缘拉杆上面一节瓷瓶根部的内力较大,所以需对该截面(见图 5.5.1 中 1-1 截面)进行抗震验算。

根据以前对 500kV 避雷器的振动台试验、分析结果,当瓷件最大应力达到 $14 \times 10^6 \text{ Pa}$ 时,底部瓷瓶的法兰连接螺栓的最大应力只达到 $56 \times 10^5 \text{ Pa}$,远小于螺栓的许用应力,地震时一般不会在此产生破坏,所以此条只要求对瓷件的应力进行抗震验算。

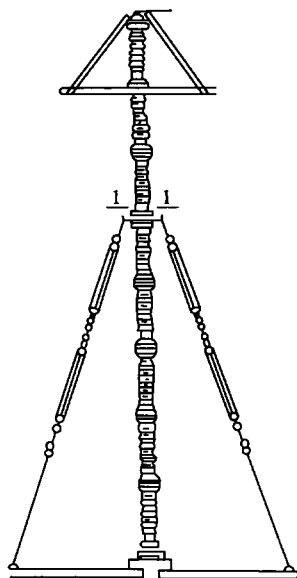


图 1 220kV 避雷器示意

5.5.2 断路器及无绝缘拉杆的避雷器的计算模型取为质量均匀分布的连续杆。这是因为断路器及避雷器基本上为一连续介质且无明显突加质量的悬臂结构。

由于断路器、避雷器为多节瓷瓶由螺栓连接而成,节点间为弱性连接,使实测刚度比计算刚度小。根据设备在振动台的试验结果,选用了刚度折减系数 β 来反映这一因素。根据试验分析结果,对断路器选用 $\beta=0.2$;对避雷器选用 $\beta=0.22$ 。有绝缘拉杆的避雷器,可利用 Ragleigh-Ritz 法求其上限解(频率偏高、周期偏低,故安全)。

附录 B 三相垂直布置电抗器抗震措施

推荐采用环氧玻璃钢作为加固材料,是出于以下几个原因:

(1)由于电抗器是空心电感线圈,因此必须选用非磁性材料,不致减小磁路的磁导。否则磁导减小,在一定电流作用下,电抗器电感会增加,导致母线电压过低。

(2)环氧玻璃钢材料具有相当高的抗弯曲强度和抗冲击强度,不易老化,抗腐能力强,耐热,耐烧。

(3)环氧玻璃钢材料具有良好的介电性能,在高压电场作用下,能安全运行。

B. 1.5 环氧玻璃钢是一种复合材料,其机械性能与成分配比及成型工艺有相当密切关系,性能的离散系数大。因此,本条要求对环氧玻璃钢制品按有关标准进行机械性能试验。考虑到环氧玻璃钢材料在加固结构中承受不同形式的荷载,因此要求试验的项目一般为:抗拉强度、抗弯强度、抗压强度、抗剪强度、密度和弹性模量等。

B. 1.6、B. 1.7 环氧玻璃钢作为电抗器加固材料,其绝缘性能是很重要的,应对环氧玻璃钢管进行交流耐压试验。按国家有关规定,环氧玻璃钢为 B 级绝缘材料,其主要电极性能应达到:内电阻系数 $>10^9 \Omega/\text{mm}$;平行层击穿电压(在 $90^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 和电极中心距离为 15mm 时)大于 15kV,这些均由绝缘材料厂家负责保证。

B. 1.8 环氧玻璃钢管到达现场后,每批量作抽样工频交流耐压试验,具体试验项目和标准如下:

(1)环氧玻璃钢管单件交流耐压试验。

试验方法:在同一环氧玻璃钢柱的相邻二块垫板距离间加压,不加压的两端用金属皮包扎接地,如果一根管有四处垫板,就要重

复作三次耐压试验。

试验中,若电压无法加上或金属包皮处有烧灼现象应停止试验,说明是否受潮或环氧玻璃钢材料不符合要求。

(2)电抗器加固竣工刷漆后,对电抗器整体作常规交流耐压试验,试验标准同加固前交流耐压试验,合格后方可投入运行。

(3)对采取抗震措施后投运的电抗器,应测钢带对地的悬浮电位值,除上述电气试验外,还应注意监视各部加固件的温度变化。

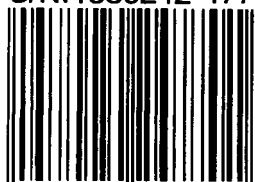
附录 C 楼层上设备地震作用计算

该附录主要是根据“设备反应谱研究”编制的。从图 C.0.1 可看出,楼层动力放大系数 β 不仅是设备自振周期,而且也是支承设备的建(构)筑物自振周期的函数。这较好地体现了地面运动、建(构)筑物和设备三者动力特性之间的相互关系,所以是比较合理的。

为了便于比较,曾对工程实际中一些安放在构筑物上的设备进行了验算。构筑物的地震作用是按整个结构进行计算的,而不是取单跨。考虑在同一设防烈度下,设备安放在楼层上同一场地的地面上的地震作用比值。对于相同的设备和构筑物,随着场地土类别的变化,该比值可能发生成倍的变化;随着楼层的变化,该比值也能发生成倍的变化;设备安装的层数越高,该比值越大;当然,随着安放设备的结构物的不同,该比值也发生变化。

本标准规定楼层上设备的地震作用“不得小于该设备按建在地面上时所计算得到的数值”,所以,上述设备地震作用的比值小于 1 时,都应取值为 1,这是为了安全起见。比值较大的设备一般是安放在较矮结构物的顶层上(这时设备的自振周期与结构物的基本自振周期相差不大),场地土类别较高,且设备质量与楼层质量(包括该楼层上所计算设备以外其他设备的质量)的比值较小的情况下。总的来看,该结果较好地反映了楼层上设备的地震作用,其方法是可用的。

S/N:1580242·477



9 158024 247701 >



统一书号: 1580242·477

定 价: 13.00元