

〔日〕电气技术标准调查委员会

技术标准出版社



电气设备抗震设计指南

JEAG 5003 - 1980



内 容 简 介

本书以“避免电力系统在地震时，大范围、长时间停止供电”为基础，同时也注意到经济性等因素，提出了全面协调地进行电气设备抗震设计的基本问题。书中比较系统的介绍了高压、超高压电气设备抗震设计的条件、标准和方法，提供了计算程序和模拟地震动力的试验方法。叙述了各类电气设备抗震设计标准依据的理论分析和试验数据，并附有各类电气设备抗震设计实例。还特别就垂直加速度的作用，地基、基础的影响及外力叠加的考虑方法诸问题，进行了专题阐述，是一本很有价值的参考书。

本书适用于从事地震、工程抗震管理、研究部门，高压、超高压电器产品设计、生产和研究部门，电力工程设计、运行维修及研究部门和各工业部门（如化工、煤炭、冶金、石油、机械……等）从事电力运行维修、管理部门的工程技术人员，以及高等院校有关专业师生参考使用。也适用于其他工业设备抗震设计参考使用。

電気設備の耐震対策指針

JEAG5003—1980

电气设备抗震设计指南

JEAG5003—1980

〔日〕电气技术标准调查委员会 编著

周书瑞 郭展潮 译

技术标准出版社出版

（北京复外三里河）

技术标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本 850×1168 1/32 印张 5⁵/₈ 字数 138,000

1984年5月第一版 1984年5月第一次印刷

印数 1—12,000

书号：15169·3-220 定价 ~~6.26~~ 元

0.50

科技新书目

49—181

出版说明

地震是电气设备尤其是高压、超高压电气设备的重要环境条件之一，是国外很活跃的“生命线地震工程*”的重要组成部分。强烈的地震，可以在很短的时间内造成巨大的损失。历次强震，电气设备都遭到严重破坏，并且带来威胁很大的次生灾害，例如火灾、断水、断电等。日本东京大地震持续数日的大火灾；我国唐山大地震，致使唐山地区电力系统瘫痪，较长时间的断水、断电，造成严重的社会和经济后果，都是突出的实例。

目前，地震这一环境条件日益被国内外所重视。国际电工委员会 IEC 第 75 技术委员会 (TC75) 已将制定地震环境条件标准列入了近期规划，日本、智利、美国、法国、西德等国家，都先后制定了本国的电气设备抗震设计标准或指南（包括核电站的电气设备）。其中日本 1980 年 6 月颁发的《电气设备抗震设计指南》JEAG5003—1980，是一本迄今比较系统的电气设备抗震设计工具书。

我国关于这方面的研究是最近几年才开始的，从国内的实际需要来看，提高我国高压、超高压电气设备的抗震能力势在必行。随着电压等级的升高、设备容量的增大，以及社会对电力供应可靠性的要求越来越高，保证电力系统具有一定的抗震能力，已经成为必须尽快解决的课题。

-
- 生命线地震工程：七十年代初期，美国发生 San Fernando 地震，使洛杉矶市的城市能源系统、公用设施、道路等遭到破坏，直接威胁人民的生命安全，“生命线”一词开始广泛使用。1974 年美国首先成立了“生命线地震工程技术协会”(TCLEE)，中国、日本等国家也先后开展起来。“生命线地震工程”概括起来包括：能源系统（电力、煤气、热力、石油输送等系统）、通讯系统、交通系统、卫生系统（给水、排水系统）等方面的震害分析、抗震能力研究的理论分析和试验报告等内容。

日本是世界上地震频繁发生的国家之一，尤其是最近一些年来，新潟等地的一些大地震给包括电气设备在内的各种工业设备造成了极其严重的破坏。日本“电气技术标准调查委员会”的有关专家，经过两年多充分调查研究、总结经验，编写、审议和批准了这本《电气设备抗震设计指南》JEAG5003—1980，并于1980年6月正式颁发。

这本书对我国很有参考价值，为此，我们组织翻译出版了这本书，使其能为发展我国工业设备抗震科学研究、迅速提高电气设备抗震能力，并为我国电气设备开拓更广阔的国际市场，起到应有的作用。

由于本书是根据日本的具体情况编写的，在参考使用时，请务必根据我国的具体情况决定能否直接采用或酌情增减、修改后采用；关键内容或主要数据是否能直接引用或需要通过验证后再采用等。在参阅或引用本书内容时，请注意先仔细阅读“推荐辞”和“关于《电气设备抗震设计指南》的要点”。

翻译本书时，结合国内实际需要，将该书正文前的“电气技术指南的阅读方法”和本书编著委员会委员名单删略，对“序”内容亦略有删减。

由于水平所限，错误之处，恳请指正。

1981年10月

推 荐 辞

日本是世界有数的地震频繁发生的国家之一。最近一些年来新潟、十胜近海地震以及宫城县近海地震等一些大的地震给包括电气设备在内的各种工业设备造成了相当严重的危害。随着“大规模地震对策特别措施法”的制定（1978年6月15日），引起社会对各种设备的抗震性能的极大关注。从这个观点出发，对于变电站等的电气设备也非常有必要寻求有效的抗震对策。

特别是最近随着社会对电力需要增加和城市高度集中而出现的电气设备大型化的趋势，使确保电力的稳定供应成为日趋重要的课题。

电气设备的抗震研究课题，是一个新的领域。值得庆幸的是日本电气协会成立了“电气技术标准调查委员会”，并积极开展各项活动，编写了《电气设备抗震设计指南》。这本书明确地介绍了电气设备抗震设计的基本事项，因而完全可以作为电气设备抗震设计、施工的工作手册，而且对于电气设备的维护、管理人员来说也是必不可少的读物。

本书是由“电气技术标准调查委员会”的有关专家，经过两年多的时间编写、审议和批准的。其主要适用对象为供电设备，但一般企业自备的发、变电设备也可以此为参考。本书出版所期望的目标是使电气设备抗震措施更为安全、可靠，以保证地震时电力的稳定供应。

通商产业省 资源能源厅
长官官房审议官

児玉勝臣

1980年5月

序

1978年1月,在电气技术标准调查委员会,发、变电专业委员会内成立了发、变电站电气设备抗震分会,并经过两年多的时间,对变电站等电气设备的抗震措施进行了调查研究。

在此期间,与“大规模地震对策特别措施法”制定的同时,于1978年6月发生了宫城县近海地震,造成了严重的震害,引起了社会上对电气设备抗震性能的极大关注。另一方面,最近由于变电站等电气设备向着高电压和大型化的方向发展,所以,防止地震破坏正在成为确保电力的稳定供应的重要课题。

因此,为了防止地震给电力供应造成重大障碍,特编写了这本《电气设备抗震设计指南》。

本书充分考虑了变电站等电气设备的特殊性,介绍了抗震设计的基本事项和具体内容,同时也考虑了在实际使用中,力求简便、易行,且切实可靠。

衷心期望各有关方面,广泛运用本设计指南,以便在变电站等电气设备的抗震设计中,充分发挥作用。

另外,在编写本书的时候,曾广泛地听取和采纳了通产省等有关方面的宝贵意见,并进行了认真地讨论和研究。但是书中还有一些问题尚待今后进一步探讨,准备经过补充和修订,使之更加完善。

电气技术标准调查委员会

发变电专业委员会

主编 成松启二

1980年5月

目 录

◇推荐辞	资源能源厅, 长官官房审议官	児玉勝臣
◇序	发变电专业委员会主编	成松启二
◇关于《电气设备抗震设计指南》的要点	发变电专业委员会	
	发变电站电气设备抗震分会会长	坂上正已

◇关于《电气技术指南》

第一章 总则

1.1 目的	(5)
1.2 适用范围	(5)
1.3 有关的标准和规程	(5)
〔说明〕	
1) 变电站等	(5)
2) 170千伏以上的主回路设备	(5)
3) 主回路设备	(6)
4) 确保主回路设备机能的控制、辅助装置	(6)
5) 已运行设备	(6)

第二章 抗震设计

2.1 一般事项	(7)
2.1.1 地震力的设计标准	(7)
2.1.2 区域的划分	(7)
2.1.3 标准地基	(7)
2.1.4 外力的叠加	(7)
2.2 户外电瓷型电气设备的抗震设计	(7)
2.2.1 适用对象	(7)
2.2.2 设计方法	(7)
2.2.3 设计地震力	(8)

2.3 户外变压器的抗震设计	(8)
2.3.1 适用对象	(8)
2.3.2 设计方法	(8)
2.3.3 设计地震力	(8)
2.4 室内电瓷型电气设备和室内变压器的抗震设计	(9)
2.4.1 适用对象	(9)
2.4.2 设置在地下室和一层的情况	(9)
2.4.3 设置在二层以上的情况	(9)
2.5 其它设备的抗震设计	(9)
2.5.1 适用对象	(9)
2.5.2 设计方法	(10)
2.5.3 设计地震力	(10)

〔说明〕

1) 关于地震力	(10)
(1) 水平加速度	(10)
(2) 垂直加速度的处理	(13)
(3) 卓越频率范围	(14)
2) 区域划分的处理	(15)
3) 地震动力响应特性	(15)
(1) 户外电瓷型电气设备的动力响应特性	(15)
(2) 户外变压器绝缘套管的动力响应特性	(18)
(3) 室内电瓷型电气设备和室内变压器绝缘套管的动力响应特性	(20)
(4) 标准地基	(21)
4) 外力的叠加	(21)
5) 抗震设计的考虑方法	(22)
(1) 电瓷型电气设备和变压器绝缘套管	(22)
(2) 变压器本体和其它设备	(26)

参考资料 I 电气设备的抗震设计

第一章 从抗震的角度看电气设备的特征

1.1 电气设备的固有频率和抗震设计方法	(29)
1.2 电瓷型电气设备	(30)

1.3	变压器绝缘套管	(30)
1.4	变压器本体和其它设备	(31)
第二章 抗震设计方法		
2.1	设计程序	(32)
2.2	振动模型	(34)
2.2.1	电气设备的振动模型	(34)
2.2.2	基础的振动模型	(37)
2.3	动力响应分析方法	(42)
2.3.1	简易法	(44)
2.3.2	振型动力分析法	(47)
2.3.3	直接积分时程动力分析法	(48)
第三章 构件的强度		
3.1	金属结构材料的许容应力	(50)
3.2	瓷件、瓷套的强度	(50)
第四章 抗震设计的验证方法		
4.1	基本的考虑方法	(51)
4.2	振动试验的方法	(51)
4.2.1	试品和振动试验设备	(54)
4.2.2	测试内容和测试系统的选择	(54)
4.2.3	振动试验	(55)
4.2.4	抗震性能的评价	(56)
第五章 抗震设计实例		
5.1	电瓷型电气设备和变压器	(56)
5.2	其它设备的抗震设计	(56)
5.2.1	蓄电池	(56)
5.2.2	配电盘类	(66)
5.2.3	空气压缩机设备	(66)
5.2.4	地脚螺栓的设计和施工	(66)
5.2.5	电气设备导线的安装	(67)
参考资料Ⅱ 地基和基础的抗震设计		
第一章 地基和基础的设计方法		
1.1	基础的设计	(69)

1.1.1 荷载条件	(69)
1.1.2 地基条件和基础形式	(70)
1.1.3 依据的规范和标准	(70)
1.2 变电站等设施建设过程中的地基调查和相应措施	(70)
1.2.1 地质调查	(70)
1.2.2 地基处理的注意事项	(71)
1.2.3 对液化地基的研究和相应措施	(72)
第二章 地基—基础对电气设备抗震强度的影响	
2.1 地基—基础体系对电气设备动力响应特性的影响	(74)
2.2 地基—基础体系固有频率 f_0 的推算方法	(79)
第三章 地基的评价	
3.1 地基评价方法	(81)
3.1.1 地基传播 S 波速度的直接测量法	(82)
3.1.2 从 N 值推算 V_s 值的方法	(82)
3.1.3 激振试验法	(83)
3.2 对于打桩基础的地基—基础体系固有频率 f_0 的确定方法	(83)
附录 1 用语说明	(89)
附录 2 抗震设计用构件强度	(92)
1) 金属结构材料的许容应力	(92)
2) 瓷件的破坏强度	(93)
3) 瓷套的破坏强度	(93)
附录 3 有关设备的抗震设计标准	(94)
附录 4 地震和震害的调查结果	(127)
1. 新潟地震	(127)
2. 静岡地震	(133)
3. 松代连续性地震	(137)
4. 十勝近海地震	(142)
5. 伊豆半岛近海地震	(151)
6. 伊豆大岛近海地震	(153)
7. 宫城县近海地震	(156)
附录 5 加速度图和区域划分	(163)

关于《电气设备抗震设计指南》的要点

本指南充分考虑到当前社会的现状及其对电气设备的依赖程度，以“避免电力系统在地震时，大范围、长时间停止供电”为基础，同时也注意到了经济性等各种因素，提出了全面协调地进行电气设备抗震设计的基本问题。本指南还特别考虑了与其它有关设备在抗震设计上的一致性，以确保整个供电系统具有适当的抗震强度。

根据以上基本方针，归纳整理出这本标准抗震设计或称为适用于标准电气设备的抗震设计指南。但是要指出的是其中一部分尚待今后进一步研究和积累经验。因而，在使用的过程中，希望能充分注意到这一问题。

本指南的主要内容分为：归纳基本事项的正文部分和作为正文部分补充的参考资料部分。参考资料部分又分别包括电气设备的抗震设计和地基与基础的抗震设计等具体内容。综合各章、节主要内容及基本考虑方法，扼要介绍如下：

第一章 总 则

总则对指南的基本事项作出了规定。即对本指南适用的电压等级和适用的电气设备范围作出了规定。关于电压等级：考虑到电气设备的设计现状和停止供电的影响程度，规定电压在 170 千伏以上的主回路电气设备及确保其机能的控制、辅助装置为本指南的研究对象。关于适用范围：以变电站内的电气设备为主，但也包括与变电站同等的其他电气设备和装置。例如水力、火力发电站和配电所内的电气设备和装置。

第二章 抗 震 设 计

本章规定了确保作为研究对象的电气设备具有足够的抗震强度的

设计地震力和设计条件。在抗震设计中，只要选定了标准地基、满足所规定的设计条件，就可以进行标准设计，否则，需要进行个别设计。在进行抗震设计时，要根据电气设备的结构特点和地震动力响应特性，分别采用适当的方法进行动态设计或静态设计。

参考资料 I 电气设备的抗震设计

“参考资料 I”提供了正文部分所规定的设计条件和进行标准设计的方法，还提供了电气设备抗震设计的实例。

本章还具体地叙述了各种电气设备的抗震设计方法和试验验证方法。

参考资料 II 地基和基础的抗震设计

本章与上一章相同的方式，具体归纳整理了地基和基础的抗震设计方法和评价方法。

附 录

附录部分记载了编写本书时参考的资料以及进行抗震设计时所必需的参考资料。

以上有关电气设备抗震设计的具体事项以及参考资料中所提及的事项，都是根据实际震害调查研究的结果编写的。所以希望今后一些新的研究成果或实际应用中的经验及时提供上来，以便对本指南进行必要的修正。

发变电专业委员会 发变电站电气设备抗震分会

会长 坂上正巳

1980年5月

关于《电气技术指南》*

根据“电气事业法”制定的技术标准，对于确保电气设备和装置所必要的最低限度的安全性能负有法律责任。

“电气技术标准调查委员会”编写的《电气技术规程》一书，在具体地说明和规定这些技术标准的同时，还详细而又浅显易懂的记述了设计、施工、维护、检查等有关事项。同时还根据从事电气工作的专家、从事电气设备的维护管理人员和施工人员所应遵守的事项，分门别类地规定了各自应尽的义务、注意事项以及应予推荐的工作内容等。

但是，在瞬息万变的技术革新时代，一些与新技术有关的，在安全上需要注意的问题，还存在着不少尚待研究的或不确定因素较多的，以及由于问题难以解决而无法或不适于作出统一规定的成分。而规程只能对主要的、必须遵守的项目作出规定，还不能作为方法、措施而加以使用。鉴于上述原因，决定编写《电气技术指南》。

《电气技术指南》适用于以下几种情况：

(1) 与新技术有关的事项，但在标准化或规范化方面还缺乏国内外经验和先例的情况；

(2) 是安全所必需的事项，但其方法或措施在理论上还未确立或存在着几种理论解释，从而难于制定适用广泛的标准和规范的情况。

(3) 存在一些未解决或不确定因素，难以具体明确区分属于应尽义务、注意事项、推荐内容等细节的情况。

(4) 对社会形势的适应性变化快、难以判断，制定为标准或规范是否适当的情况。

* 《电气设备抗震设计指南》属于《电气技术指南》的“发变电篇”——译者注。

《电气技术指南》是以政府各有关部门为主，由有关各方面许多权威组成的“电气技术标准调查委员会”，用艰苦的劳动和很长时间的慎重讨论编写而成的。

《电气技术指南》的内容相当庞杂，规定一个内容范围是困难的。文中记载的许多问题和实例、指标、参考资料以及概要的、指导性的内容，原则上都是确保安全的必需事项，有些条文成熟后，有可能编入规程。

因而《电气技术指南》是以《电气技术规程》为准的，应予遵守。但是，在使用时请注意如下事项：

（1）在实际运用时，对问题的解释不应阻碍技术的进步。

（2）充分理解条文内容，切忌在设计和施工中造成错误。

（3）本指南未列入的事项、方法等，如在安全上确实适用应予采纳。

参加“电气技术标准调查委员会”的委员、专业委员、研究会员等各方面人士约 500 人。如果把从事技术性审编的政府各有关部门、火力发电技术协会、日本电机工业协会、日本电力建设工业协会、日本电线工业协会等技术委员会有关人员都计算在内，参与这项工作的近千人。

《电气技术指南》是我国电气技术的一项成果，也是为广大民间企业服务的规章。如果对该指南的内容有意见或异议而要求审议，可以向“日本电气协会”提出。

第一章 总 则

1.1 目的

制定本指南的目的在于防止因变电站内等电气设备被地震破坏而给电力供应造成重大障碍。

1.2 适用范围

本指南适用于变电站内等 170 千伏以上的主回路电气设备及确保其机能的控制、辅助装置。

1.3 有关的标准和规程

与本指南有关的标准和规程如下：

○安全方面的法规

○电气事业法（1964 年第 170 号法律）

○电气事业法施行令（1965 年第 206 号政令）

○电气事业法施行规则（1965 年第 51 号通商产业省令）

○关于制定电气设备技术标准的省令（1965 年第 61 号通商产业省令）

○关于制定电气设备技术标准的通知（1965 年第 271 号通商产业省通知）

【说明】

1) 变电站等

本指南以变电站的电气设备为研究对象。也适用于水力、火力发电站以及配电所等电气设备。但不包括厂家自用发、变电气设备和极局部的发、变电气设备（例如配电用变电所等）。

2) 170 千伏以上的主回路设备

为了不使地震给电力系统造成大范围、长时间的障碍，以规模较大、涉及面较广的 170 千伏以上的主回路电气设备为抗震设

计的研究对象。

对于 170 千伏以下的电气设备不作为抗震设计的研究对象，其理由如下：

○170 千伏以下的电气设备万一发生停电事故，其影响面较小，同时也比较容易地利用邻接的变电站经过系统转换继续供电，而且设备的修复时间也短。

○170 千伏以下的电气设备及其辅助设备，在结构上其机械强度也比较高。

3) 主回路设备

直接输送电力的一次设备称作主回路设备。包括：

○变压器

○开关设备（断路器、隔离开关、气体绝缘开关等）

○测试用互感器

○电力电缆

○母线

另外，以下设备由于数量少又属于特殊设备，不作为本指南标准抗震设计之列，需要个别设计。包括载波器、串联电容器、穿墙套管；整流装置（由交流变换成直流或反向变换的装置）等。

4) 确保主回路设备机能的控制、辅助装置

主回路控制、辅助装置是确保主回路设备功能的电源装置、辅机和控制保护装置等。如下所示：

○站用电源装置（内燃机发电装置、蓄电池、充电机、变换器包括变流器、变频器、变压器等，封闭型配电盘等）。

○配电盘类

○空气压缩机设备（包括压力管线）、控制电缆。

另外，关于保护继电器的误动作，会引起暂时的功能停止，这一点是难以避免的。

5) 已运行设备

本指南适用于新设或增设的电气设备，不包括已运行设备。但对已运行设备考虑抗震措施时，希望采用本指南所列各项原则。

第二章 抗震设计

2.1 一般事项

本章对于标准抗震设计的基本内容——设计方法、设计地震力作出了规定。

2.1.1 地震力的设计标准

本指南对抗震设计的设计标准即由地表面输入的地震力规定如下：

(1) 最大水平加速度： $0.3g^*$

注：一般不考虑垂直加速度，但是，如在结构上必须考虑的话，可考虑为水平加速度的 $1/2$ 。

(2) 卓越频率范围： $0.5\sim 10\text{Hz}$

2.1.2 区域的划分

原则上不进行区域划分。

2.1.3 标准地基

对户外电瓷型电气设备和户外变压器进行抗震设计时，把下述适用于设计地震力的地基定义为标准地基。其条件规定如下：

标准地基条件：传播S波速度(V_s 值)在 150m/s 以上或N值在5以上的地基定义为标准地基。凡不符合上述条件的地基，均需要进行个别设计。

2.1.4 外力的叠加

原则上不考虑外力的叠加。

2.2 户外电瓷型电气设备的抗震设计

2.2.1 适用对象

户外开关设备、测试用互感器和电力电缆头等。

2.2.2 设计方法

* “g”，加速度单位， $1g=9.80655\text{米/秒}^2$ ，下同——译者注。