

(2016年版)

注册电气工程师 执业资格考试专业考试 复习指导书

(供配电专业)

注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会 编

下册



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

(2016年版)

注册电气工程师 执业资格考试专业考试 复习指导书

(供配电专业)

注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会 编

下册



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是注册电气工程师执业资格考试系列教材之一。全书共 15 章，章、节的编排与《注册电气工程师（供配电）执业资格考试专业考试大纲》相对应，按照 2016 年新规规范清单对教材内容进行了更新，为原书的修订版。教材包含了供配电、建筑电气、电气传动等专业的相关内容，是一本较完整的复习资料。教材中的重要内容增加了出处，以便于考生对照复习。修订后的教材内容更加丰富、全面、实用、贴近考试，得到了命题专家组的认可。

本书可供参加注册电气工程师（供配电）执业资格考试的专业技术人员复习参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

注册电气工程师执业资格考试专业考试复习指导书：
2016 年版. 供配电专业：全 2 册/注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会编. —北京：中国电力出版社，
2016.6 (2016.7 重印)

ISBN 978-7-5123-9194-9

I. ①注… II. ①注… III. ①电气工程—资格考试—自学参考资料 ②供电系统—资格考试—自学参考资料 ③配电系统—资格考试—自学参考资料 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 073582 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

三河市百盛印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 6 月第一版 2016 年 7 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 66.5 印张 1635 千字

印数 3001—5000 册 定价 260.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

注册电气工程师执业资格考试复习指导教材

编 委 会

主	任	李爱民				
副	主	任	郝士杰			
委	员	浦文宗	张玉军	杨月红	张蜂蜜	宋志昂
		任元会	姚家祎	黄纯懿	邵晓钢	张文才
		杨德才	赵登福	陶 勤	张 农	叶四新
		孙成群				
顾	问	弋东方				

主	编	济钢集团国际工程技术有限公司	黄纯懿
副	主	编	中国航空工业规划设计研究院 任元会
		核工业第二研究设计院	姚家祎
		中国航天建筑设计研究院	卞铠生

章 名	编写人	校审人
1 安全	任元会	黄纯懿
2 环境保护与节能	黄纯懿	任元会
3 负荷计算及负荷分级	卞锐生	任元会
4 110kV 及以下供配电系统	濮松夫	姚家祎
5 110kV 及以下变配电站站址选择及 电气设备布置	濮松夫	姚家祎
6 短路电流计算	姚家祎	濮松夫
7 110kV 及以下电气设备选择	姚家祎 任元会	濮松夫 姚家祎
8 导体选择、电缆线路和架空线路	卞锐生	任元会
9 变配电站控制、测量仪表、继电 保护及自动装置	姚家祎	黄纯懿
10 变配电站操作电源	姚家祎	黄纯懿
11 过电压保护及防雷	李鸿路 孙成群	卞锐生
12 接地装置	李鸿路	卞锐生
13 照明	任元会	姚家祎
14 电气传动	黄纯懿	濮松夫
15 建筑智能化	张路明	朱立彤

前言

为加强对勘察设计行业的管理,保证工程质量,维护社会公共利益和人民生命财产安全,规范设计市场,人事部、建设部先后印发了《勘察设计注册工程师制度总体框架及实施规划》(人发〔2001〕5号)和《注册电气工程师执业资格考试实施办法》(人发〔2003〕25号)等文件,启动了勘测设计执业资格注册管理制度。自2005年起,开始组织进行注册电气工程师执业资格考试。

为了便于考生系统地复习,全面掌握注册电气工程师执业资格考试大纲所涉及的内容,提高复习效率,我们组织有关方面的专家成立了注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会,按照考试大纲的要求,编写了注册电气工程师系列复习指导教材。

近几年来,我国的工程建设规模和技术水平有了很大提高,许多工程建设标准和规程规范都进行了修订,教材中的有些内容已不能与现行的规程规范相适应,为此我们组织专家对教材进行了重新修编,以满足考生应考复习的需要。

此次修编,仍根据《注册电气工程师(供配电)执业资格考试专业考试大纲》所列考试范围,按照2016年报名通知中新规程规范清单,对教材进行更新。同时吸收了培训教师、考生在使用教材时提出的意见和建议,对本书教材内容进行了补充完善,对教材中的重要内容增加了出处,文中摘录规范处,条文编号及图、表编号,直接采用规范本身的编号,文中直接引用规程规范的部分,字体均为楷体,以便于考生对文中内容的区分和对照复习。

教材包含了供配电、建筑电气、电气传动等专业的相关内容,是一本较完整的复习资料。修订后的教材内容更加丰富、全面、实用、贴近考试,得到了命题专家组的认可。可供参加注册电气工程师(供配电)执业资格考试的专业技术人员复习参考。

全书共15章,章、节的编排与《注册电气工程师(供配电)执业资格考试专业考试大纲》相对应,为原书的修订版。本次修订由黄纯懿担任主编,任元会、姚家祎、卞铠生担任副主编。在本书的编审过程中,得到了不少单位和专家的大力支持,并提出了很多宝贵意见和建议,对此我们表示衷心的感谢。

由于考试内容涉及范围广,且修编时间很紧,书中难免存在疏漏之处,真诚希望读者提出宝贵意见,以便本书再版时改进。意见和建议请发至 cceen2@163.com 邮箱中。

注册电气工程师执业资格考试复习指导教材编委会

二〇一六年五月

目 录

前言

上 册

1 安全	1
1.1 工程建设标准(电气专业)强制性条文	1
1.2 电流对人体的效应(根据 GB/T 13870.1—2008《电流对人和家畜的效应第1部分:通用部分》)	1
1.3 安全电压及电击防护的基本要求	15
1.4 低压配电系统接地故障保护和等电位联结	21
1.5 危险环境电力装置的特殊设计要求	32
1.6 电气设备防误操作的要求及措施	59
1.7 电气工程设计的防火要求及措施	60
1.8 电力设施抗震设计和措施	67
2 环境保护与节能	71
2.1 电气设备对环境的影响及防治措施	71
2.2 供配电系统设计的节能措施	78
2.3 提高电能质量的措施	114
2.4 节能型电气产品的选用方法	127
3 负荷计算及负荷分级	141
3.1 负荷计算	141
3.2 负荷分级	174
4 110kV 及以下供配电系统	181
4.1 供配电系统	181
4.2 电能质量	199
4.3 无功补偿	217
5 110kV 及以下变配电站站址选择及电气设备布置	226
5.1 变配电站站址选择	226
5.2 变配电站型式	228
5.3 变配电站的布置设计	230
5.4 特殊环境配电装置设计	242
5.5 各级电压配电装置的安全净距	246
6 短路电流计算	250
6.1 短路电流计算方法	250
6.2 短路电流计算结果的应用	281

6.3	影响短路电流的因素及限制短路电流的措施	281
6.4	短路电流在导体和电器中引用的热效应	282
7	110kV 及以下电气设备选择	284
7.1	常用电气设备选择的技术条件和环境条件	284
7.2	高压变压器配电设备的选择	289
7.3	低压配电设备及电器元件的选择	313
8	导体选择、电缆线路和架空线路	342
8.1	导体选择	342
8.2	电缆线路	358
8.3	架空线路	378
9	变配电站控制、测量仪表、继电保护及自动装置	404
9.1	变配电站控制、测量和信号设计要求	404
9.2	电气设备和线路继电保护配置、整定计算及选型的原则	420
9.3	变配电站自动装置及综合自动化的设计要求	442
10	变配电站操作电源	448
10.1	系统设计	448
10.2	直流负荷	450
10.3	保护与监控	453
10.4	设备选择	460
10.5	设备布置	480
10.6	专用蓄电池室对相关专业的要求	481
10.7	交流操作电源的设计要求	482

下 册

11	过电压保护及防雷	487
11.1	电气装置的过电压保护	487
11.2	电气装置的绝缘配合	509
11.3	建筑物防雷的分类及措施	517
11.4	建筑物防雷装置和防雷电磁脉冲设计的要求和计算方法	540
12	接地装置	566
12.1	高压电气装置接地	566
12.2	发电厂和变电站的接地网	567
12.3	高压架空线路的接地	583
12.4	6kV ~ 220kV 电缆线路的接地	585
12.5	高压配电电气装置的接地	587
12.6	低压系统的接地和保护总等电位连接系统	588
12.7	接地电阻的计算	605
12.8	发电厂和变电站的入地故障电流及地电位升高的计算	610

13 照明	613
13.1 照明方式和照明种类	613
13.2 照度标准和照明质量	615
13.3 光源、电器附件及灯具的选择	636
13.4 照明配电及控制	647
13.5 照度计算	651
13.6 照明工程节能标准与措施	657
14 电气传动	668
14.1 电气传动系统的组成及分类	668
14.2 电动机的选择	678
14.3 交、直流电动机的起动方式及起动校验	698
14.4 交、直流电动机调速技术	720
14.5 交、直流电动机电气制动方式及计算方法	789
14.6 电动机保护配置及计算方法	794
14.7 低压交流电动机控制电器的选择	802
14.8 电动机调速系统性能指标	816
14.9 PLC 的应用	820
15 建筑智能化	846
15.1 火灾自动报警系统	846
15.2 建筑设备监控系统	885
15.3 安全防范系统	911
15.4 通信网络系统	930
15.5 综合布线系统	947
15.6 有线电视系统	959
15.7 公共广播、厅堂扩声及会议系统	969
15.8 公共显示装置与呼叫信号系统	993
15.9 智能化集成系统	1004
15.10 弱电机房工程设计与环境要求	1007
15.11 室内弱电线路敷设	1017
15.12 室外弱电线路敷设	1021
附录一 关于印发《注册电气工程师执业资格制度暂行规定》 《注册电气工程师执业资格考试实施办法》和 《注册电气工程师执业资格考核认定办法》的通知	1025
附录二 关于公布注册电气工程师执业资格考试专业考试大纲的通知	1029
附录三 专业考试注意事项	1042

过电压保护及防雷

11.1 电气装置的过电压保护

11.1.1 电气装置过电压种类

11.1.1.1 电气装置绝缘上作用的电压

根据 GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中的规定,交流电气装置绝缘上作用的电压有:

- 1 持续运行电压,其值不超过系统最高电压,持续时间等于设备设计寿命。
- 2 暂时过电压,包括工频过电压和谐振过电压。
- 3 操作过电压。
- 4 雷电过电压。
- 5 特快速瞬态过电压 (VFTO)。

11.1.1.2 相对地暂时过电压和操作过电压标幺值的基准电压

根据 GB/T 50064—2014 中的规定,相对地暂时过电压和操作过电压标幺值的基准电压应符合下列规定:

- 1 当系统最高电压有效值为 U_m 时,工频过电压的基准电压 (标幺值 1.0) 应为 $U_m/\sqrt{3}$ 。
- 2 谐振过电压、操作过电压和 VFTO 的基准电压 (标幺值 1.0) 应为 $\sqrt{2}U_m/\sqrt{3}$ 。

11.1.1.3 系统最高电压的范围

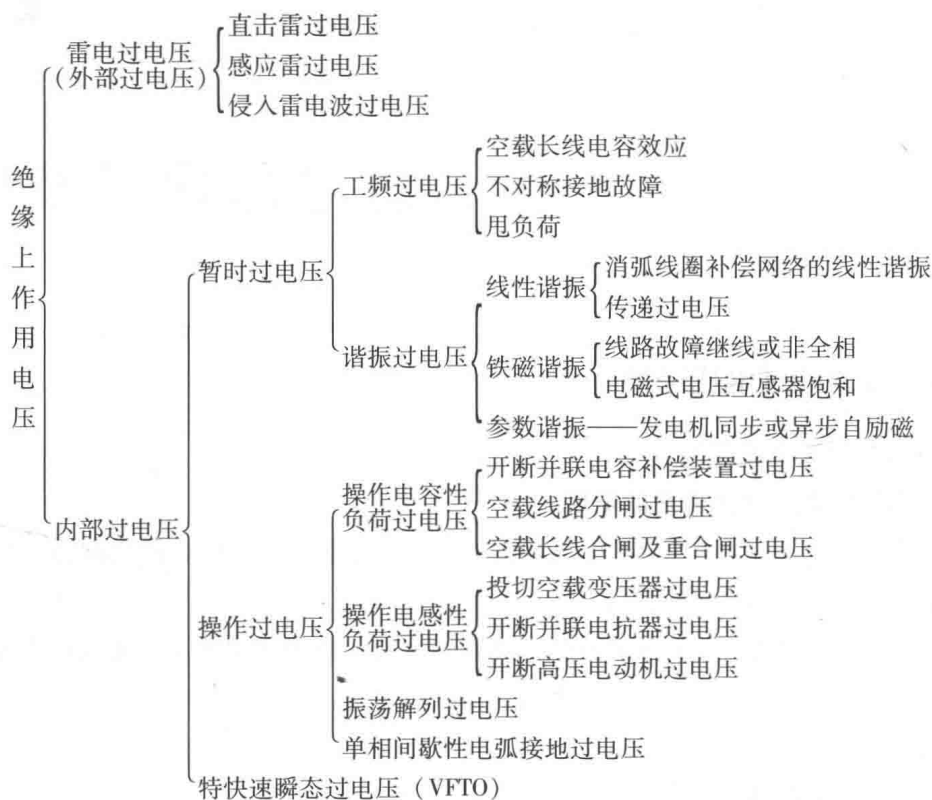
根据 GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中的规定,系统最高电压的范围分为:

- 1 范围 I, $7.2\text{kV} \leq U_m \leq 252\text{kV}$ 。
- 2 范围 II, $252\text{kV} \leq U_m \leq 800\text{kV}$ 。

注:本考试内容仅限于 110kV 及以下电压等级。

11.1.1.4 过电压的分类及其产生原因

交流电气装置的过电压,按其起因、幅值、波形及持续时间,归纳如下:



11.1.2 暂时过电压及其限制

暂时过电压包括工频过电压和谐振过电压。

11.1.2.1 工频过电压及限制

GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中规定，工频过电压及其对保护设计的要求：

4.1.1 工频过电压幅值应符合下列要求：

(1) 范围Ⅰ中的不接地系统工频过电压不应大于 $1.1\sqrt{3}$ （标幺值）。

(2) 中性点谐振接地、低电阻接地和高电阻接地系统工频过电压不应大于 $\sqrt{3}$ （标幺值）。

(3) 110kV系统，工频过电压不应大于1.3（标幺值）。

(4) 变电站内中性点不接地的35kV和66kV并联电容补偿装置系统工频过电压不应超过 $\sqrt{3}$ （标幺值）。

4.1.4 设计时应避免110kV有效接地系统中偶然形成局部不接地系统产生较高的工频过电压，其措施应符合下列要求：

1 当形成局部不接地系统，且继电保护装置不能在一定时间内切除110kV变压器的低、中压电源时，不接地的变压器中性点应装设间隙。当因接地故障形成局部不接地系统时，该间隙应动作；系统以有效接地系统运行发生单相接地故障时，间隙不应动作。间隙距离还应兼顾雷电过电压下保护变压器中性点标准分级绝缘的要求。

2 当形成局部不接地系统，且继电保护装置设有失地保护可在一定时间内切除110kV变压器的三次、二次绕组电源时，不接地的中性点可装设无间隙金属氧化物接闪

器 (MOA), 应验算其吸收能量。该接闪器还应符合雷电过电压下保护变压器中性点标准分级绝缘的要求。

11.1.2.2 谐振过电压及其限制

GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中规定, 谐振过电压及其对保护设计的要求:

4.1.5 对于线性谐振和非线性铁磁谐振过电压, 应采取防止措施避免其产生, 或用保护装置限制其幅值和持续时间。

4.1.6 对于发电机自励磁过电压, 可采用高压并联电抗器或过电压保护装置加以限制。当同步发电机容量小于自励磁的判据时, 应避免单机带空载长线运行。不发生自励磁的判据可按式确定

$$W_N > Q_c X_d^* \quad (4.1.6)$$

式中: W_N ——不发生自励磁的发电机额定容量 ($\text{MV} \cdot \text{A}$);

Q_c ——计及高压并联电抗器和低压并联电抗器的影响后的线路充电功率 (Mvar);

X_d^* ——发电机及升压变压器等值同步电抗标么值, 以发电机容量为基准。

4.1.7 装有高压并联电抗器线路的非全相谐振过电压的限制应符合下列要求:

1 在高压并联电抗器的中性点接入接地电抗器, 接地电抗器电抗值宜按接近完全补偿线路的相间电容来选择, 应符合限制潜供电流的要求和对并联电抗器中性点绝缘水平的要求。对于同塔双回线路, 宜计算回路之间的耦合对电抗值选择的影响。

2 在计算非全相谐振过电压时, 宜计算线路参数设计值和实际值的差异、高压并联电抗器和接地电抗器的阻抗设计值与实测值的偏差、故障状态下的电网频率变化对过电压的影响。

4.1.9 系统采用带有均压电容的断路器开断连接有电磁式电压互感器的空载母线, 经验算可产生铁磁谐振过电压时, 宜选用电容式电压互感器。当已装有电磁式电压互感器时, 运行中应避免引起谐振的操作方式, 可装设专门抑制此类铁磁谐振的装置。

4.1.10 变压器铁磁谐振过电压限制措施应符合下列要求:

1 经验算断路器非全相操作时产生的铁磁谐振过电压, 危及 110kV 中性点不接地变压器的中性点绝缘时, 变压器中性点宜装设间隙, 间隙应符合本规范第 4.1.4 条第 1 款的要求。

2 当继电保护装置设有缺相保护时, 110kV 变压器不接地的中性点可装设无间隙 MOA, 应验算其吸收能量。该接闪器还应符合雷电过电压下保护变压器中性点标准分级绝缘的要求。

4.1.11 6~66kV 不接地系统或偶然脱离谐振接地系统的部分, 产生的谐振过电压有:

- 1 中性点接地的电磁式电压互感器过饱和;
- 2 配电变压器高压绕组对地短路;
- 3 输电线路单相继线且一端接地或不接地;

4 限制电磁式电压互感器铁磁谐振过电压宜选取下列措施：

1) 选用励磁特性饱和点较高的电磁式电压互感器；

2) 减少同一系统中电压互感器中性点接地的数量，除电源侧电压互感器高压绕组中性点接地外，其他电压互感器中性点不宜接地；

3) 当 X_{C0} 是系统每相对地分布容抗， X_m 为电压互感器在线电压作用下单相绕组的励磁电抗时，可在 10kV 及以下的母线上装设中性点接地的星形接线电容器组或用一段电缆代替架空线路以减少 X_{C0} ，使 X_{C0} 小于 $0.01X_m$ ；

4) 当 K_{13} 是互感器一次绕组与开口三角形绕组的变比时，可在电压互感器的开口三角形绕组装设阻值不大于 (X_m/K_{13}^2) 的电阻或装设其他专门消除此类铁磁谐振的装置；

5) 电压互感器高压绕组中性点可接入单相电压互感器或消谐装置。

4.1.12 谐振接地的较低电压系统，运行时应避免谐振状态；非谐振接地的较低电压系统，应采取增大对地电容的措施防止高幅值的转移过电压。

11.1.3 操作过电压及其限制

11.1.3.1 操作过电压及其对保护设计的要求

GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中规定，操作过电压及其对保护设计的要求：

4.2.1 对线路操作过电压绝缘设计起控制作用的空载线路合闸及单相重合闸过电压设计时，应符合下列要求：

6 当范围 I 的线路要求深度降低合闸或重合闸过电压时，可采取限制措施。

4.2.2 故障清除过电压及限制应符合下列要求：

1 工程的设计条件宜选用线路单相故障接地故障清除后，在故障线路或相邻线路上产生的过电压；

2 对于两相短路、两相或三相接地故障，可根据预测结果采取相应限制措施；

3 对于线路上较高的故障清除过电压，可在线路中部装设 MOA 或在断路器上安装分闸电阻予以限制。

4.2.3 无故障甩负荷过电压可采用 MOA 限制。

4.2.4 对振荡解列操作下的过电压应进行预测。预测振荡解列过电压时，线路送受端电势功角差宜按系统严重工况选取。

4.2.5 投切空载变压器产生的操作过电压可采用 MOA 限制。

4.2.6 空载线路开断时，断路器发生重击穿产生的空载线路分闸过电压的限制措施应符合下列要求：

1 对 110kV 系统，开断空载架空线路宜采用重击穿概率极低的断路器，开断电缆线路应采用重击穿概率极低的断路器，过电压不宜大于标幺值为 3.0。

2 对 66kV 及以下不接地系统或谐振接地系统，开断空载线路应采用重击穿概率极低的断路器。6kV~35kV 的低电阻接地系统，开断空载线路应采用重击穿概率极低的断路器。

4.2.7 6kV~66kV 系统中，开断并联电容补偿装置应采用重击穿概率极低的断路器。

限制单相重击穿过电压宜将并联电容补偿装置的 MOA 保护（图 4.2.7）作为后备保护。断路器发生两相重击穿不作为设计的工况。

4.2.8 开断并联电抗器时，宜采用截流数值较低的断路器，并宜采用 MOA 或能耗极低的 R-C 阻容吸收装置作为限制断路器强制熄弧截流产生过电压的后备保护。对范围Ⅱ的并联电抗器开断时，也可使用选相分闸装置。

4.2.9 当采用真空断路器或采用截流值较高的少油断路器开断高压感应电动机时，宜在断路器与电动机之间装设旋转电动机用 MOA 或能耗极低的 R-C 阻容吸收装置。

4.2.10 对 66kV 及以下不接地系统发生单相间歇性电弧接地故障时产生的过电压，可根据负荷性质和工程的重要程度进行必要的预测。

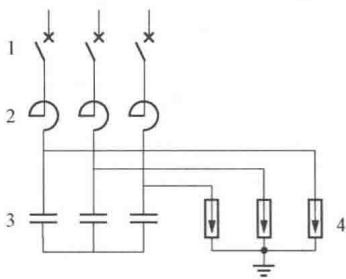


图 4.2.7 并联电容补偿装置的 MOA 保护

1—断路器；2—串联电抗器；
3—电容器组；4—MOA

11.1.3.2 限制操作过电压用 MOA 的基本要求

GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中规定，限制操作过电压用 MOA 的基本要求：

4.4.1 电气装置保护用相对地 MOA 的持续运行电压不应低于系统的最高相电压。变压器、并联电抗器中性点 MOA 的持续运行电压应按额定电压和适当的荷电率确定。

4.4.2 电气装置保护用 MOA 的额定电压可按式（4.4.2-1）或式（4.4.2-2）选取，确定参数时应依据系统暂时过电压的幅值、持续时间和 MOA 的工频电压耐受时间特性。有效接地和低电阻接地系统，接地故障清除时间不大于 10s 时，MOA 的额定电压可按式（4.4.2-1）选取；非有效接地系统，接地故障清除时间大于 10s 时，MOA 的额定电压可按式（4.4.2-2）选取。

$$U_R \geq U_T \tag{4.4.2-1}$$

$$U_R \geq 1.25U_T \tag{4.4.2-2}$$

式中： U_R ——MOA 的额定电压（kV）；
 U_T ——系统的暂时过电压（kV）。

4.4.3 当系统工频过电压符合本规范第 4.1.1 条和第 4.4.3 条的规定时，各种系统 MOA 的持续运行电压和额定电压可按表 4.4.3 选择。

表 4.4.3 MOA 持续运行电压和额定电压

系统中性点 接地方式		持续运行电压（kV）		额定电压（kV）	
		相地	中性点	相地	中性点
有效 接地	110kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.27U_m/0.46U_m$	$0.75U_m$	$0.35U_m/0.58U_m$

续表

系统中性点 接地方式		持续运行电压（kV）		额定电压（kV）	
		相地	中性点	相地	中性点
非有效 接地	不接地	$1.10U_m$	$0.64U_m$	$1.38U_m$	$0.80U_m$
	谐振接地	U_m	$U_m/\sqrt{3}$	$1.25U_m$	$0.72U_m$
	低电阻接地	$0.80U_m$	$0.46U_m$	U_m	$U_m/\sqrt{3}$
	高电阻接地	U_m	$U_m/\sqrt{3}$	$1.25U_m$	$U_m/\sqrt{3}$

注 1 110kV 中性点斜线的上、下方数据分别对应系统无和有失地的条件；
4 本表不适用于 110、220kV 变压器中性点不接地且绝缘水平低于本规范表 6.4.6-3 所列数值的系统。

- 4.4.4 具有发电机和旋转电动机的系统，相对地 MOA 的额定电压，对应接地故障清除时间不大于 10s 时，不应低于旋转电动机额定电压的 1.05 倍；接地故障清除时间大于 10s 时，不应低于旋转电动机额定电压的 1.3 倍。旋转电动机用 MOA 的持续运行电压不宜低于 MOA 额定电压的 80%。旋转电动机中性点用 MOA 的额定电压，不应低于相应相对地 MOA 额定电压的 $1/\sqrt{3}$ 。
- 4.4.5 采用 MOA 限制各种操作过电压时应通过仿真计算进行校核，其吸收能量应按工程要求确定。

11.1.4 特快速瞬态过电压（VFTO）

VFTO 及限制。GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中规定，特快速瞬态过电压（VFTO）及其对保护设计的要求如下：

2.0.4 特快速瞬态过电压 very fast transient overvoltage（VFTO）

气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）和复合电器（HGIS，即 Hybrid GIS）的隔离开关在某些操作方式下，产生频率为数十万赫兹至数兆赫兹的高频振荡过电压，称为特快速瞬态过电压。

4.3 VFTO 及限制。

范围 II GIS 和 HGIS 变电站应预测隔离开关开合管线产生的 VFTO。当 VFTO 会损坏绝缘时，宜避免引起危险的操作方式或在隔离开关加装阻尼电阻。

GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中对 VFTO 及限制措施的说明：

4.3.1 依据目前工程研究的实际情况新增了本条。GIS 和 HGIS 变电站中隔离开关开合管线，可产生 VFTO。VFTO 的特点是波前时间很短（小于 $0.1\mu s$ ）；波前之后的振荡频率很高（大于 1MHz）；幅值也较高（最大值可达 2.5 标么值）。高幅值 VFTO 会损害 GIS、HGIS、变压器和电磁式电压互感器绝缘，或损害二次设备或对二次电路产生电磁骚扰。

变压器与 GIS 经过架空线路或电缆相连时，在变压器上的 VFTO 幅值不高，波前时

间也有所变缓。变压器与 GIS 之间通过油气套管相连时, 在变压器上的 VFTO 较严重, 可损害变压器匝间绝缘。

“隔离开关加装阻尼电阻”的条件, 参见本规范第 6.4.3 条第 2 款。

11.1.5 雷电过电压及其保护

11.1.5.1 雷电过电压及其保护的一般规定

根据 GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中规定, 雷电过电压及保护的一般规定如下:

5.1.1 雷电过电压保护设计应包括线路雷电绕击、反击或感应过电压以及变电站直击、雷电侵入波过电压保护的设计。

5.1.2 输电线和变电站的防雷设计, 应结合当地已有线路和变电站的运行经验、地区雷电活动强度、地闪密度、地形地貌及土壤电阻率, 通过计算分析和经济比较, 按差异化原则进行设计。

11.1.5.2 接闪杆和接闪线的保护范围

GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》中规定的接闪杆和接闪线的保护范围及计算方式:

5.2.1 单支接闪杆的保护范围 (图 5.2.1), 应按下列公式计算:

1 接闪杆在地面上的保护半径, 应按下列公式计算:

$$r = 1.5hP \quad (5.2.1-1)$$

式中: r ——保护半径 (m);

h ——接闪杆或接闪线的高度 (m) 当 $h > 120\text{m}$ 时, 可取其等于 120m;

P ——高度影响系数, $h \leq 30\text{m}$, $P = 1$; $30\text{m} < h \leq 120\text{m}$, $P = 5.5/\sqrt{h}$; $h > 120\text{m}$, $P = 0.5$ 。

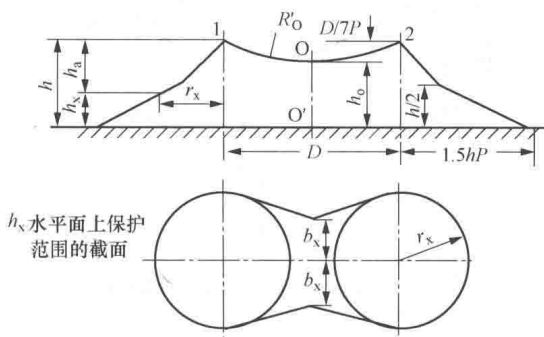


图 5.2.2-1 高度为 h 的两等高接闪杆的保护范围

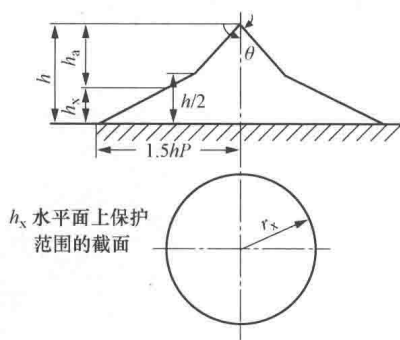


图 5.2.1 单支接闪杆的保护范围
 θ ——保护角 ($^\circ$)

2 在被保护物高度 h_x 水平面上的保护半径应按下列方法确定:

1) 当 $h_x \geq 0.5h$ 时, 保护半径应按下列公式确定:

$$r_x = (h - h_x)P = h_a P \quad (5.2.1-2)$$

式中: r_x ——接闪杆或接闪线在 h_x 水平面上的保护范围 (m);

h_x ——被保护物的高度 (m);

h_a ——接闪杆的有效高度 (m)。

2) 当 $h_x < 0.5h$ 时, 保护半径应按式确定:

$$r_x = (1.5h - 2h_x)P \tag{5.2.1-3}$$

5.2.2 两支等高接闪杆的保护范围 (图 5.2.2-1), 应按下列方法确定:

1 两杆外侧的保护范围应按单支接闪杆的计算方法确定。

2 两杆间的保护范围应按通过两杆顶点及保护范围上部边缘最低点 O 的圆弧确定, 圆弧的半径为 R'_0 。O 点为假想接闪杆的顶点, 其高度应按式计算:

$$h_0 = h - D/(7P) \tag{11-2-4}$$

式中: h_0 ——两杆间保护范围上部边缘最低点高度 (m);

D ——两接闪杆间的距离 (m)。

3 两杆间 h_x 水平面上保护范围的一侧最小宽度 b_x 应按图 5.2.2-2 确定。当 b_x 大于 r_x 时, 应取 b_x 等于 r_x 。

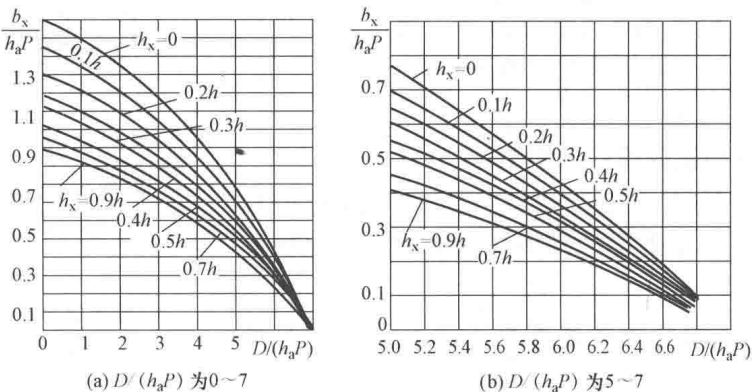


图 5.2.2-2 两等高接闪杆间保护范围的一侧最小宽度 (b_x) 与 $D/(h_a P)$ 的关系

4 两杆间距离与杆高之比 D/h 不宜大于 5。

5.2.3 多支等高接闪杆的保护范围 (图 5.2.3), 应按下列方法确定:

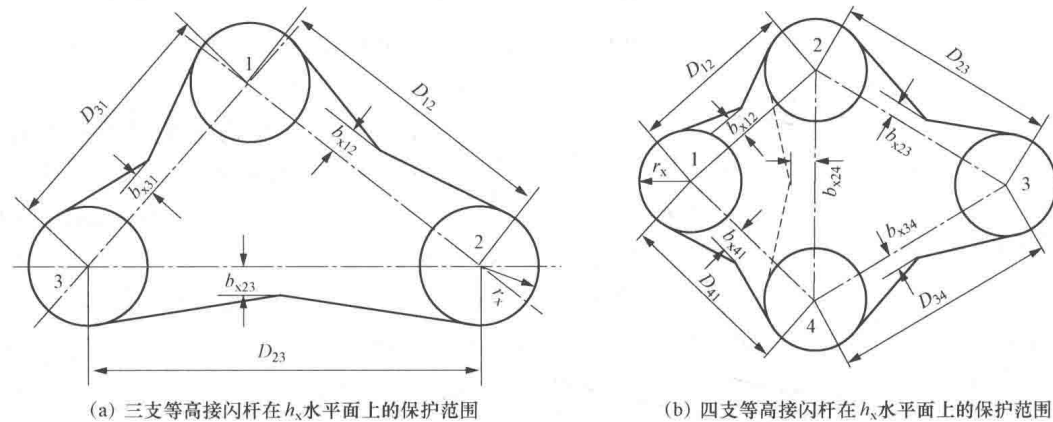


图 5.2.3 三支、四支等高接闪杆在 h_x 水平面上的保护范围

1 三支等高接闪杆所形成的三角形的外侧保护范围应分别按两支等高接闪杆的计