



第三十屆國際大电网會議 論文選集

(下)

SEE

1985. 9

目 录

下 册

出席第三十届国际大电网会议的汇报	俞民基 (1)
------------------------	-----------

第十一学术委员会——旋转电机

旋转电机学术委员会讨论情况介绍	张为杰 (14)
汽轮发电机转轴的扭转疲劳的监测 (11—07)	(23)
从统计运行数据分析电机及其构件的可靠性 (11—10)	(31)
800MW3000rpm全水冷汽轮发电机 (11—11)	(39)
其他论文摘要	(46)

第十二学术委员会——变压器

变压器学术委员会的技术综论	朱英浩 (50)
超高压变压器与以SF ₆ 为绝缘的金属外壳电气联接之间的两种型式过渡联接的有关 问题、检查和维护 (12—01)	(78)
大型电力变压器的套管和联接 (12—15)	(87)
其他论文摘要	(97)

第十三学术委员会——开关设备

开关设备学术委员会的技术报告	楼家法 (102)
用于发展SF ₆ 断路器的诊断工具及计算机模拟 (13—02)	(123)
气体断路器灭弧系统的计算方法 (13—03)	(130)
隔离开关设计及试验的综述 (13—05)	(142)
其他论文摘要	(151)

第十四学术委员会——高压直流输电

高压直流输电系统的功率调制控制 (14—03)	(159)
纳尔逊河高压直流系统对受端交流网扰动的响应 (14—04)	(170)
适用于高压直流输电中交流滤波和过电压研究的交流系统模型 (14—08)	(177)
其他论文摘要	(189)

十五学术委员会——绝缘材料

绝缘材料学术委员会技术报告	冯勤为 (193)
绝缘材料和绝缘结构在多重作用下的性能 (15—03)	(209)
从局部放电的产生和发展来评价高场强下的液体绝缘的性能 (15—09)	(219)
气体绝缘电力变压器中压缩SF ₆ 气体绝缘技术发展的新概念 (15—10)	(232)
其他论文摘要	(244)

第二十一学术委员会——电力电缆

高压电力电缆学术委员会报告	刘子玉 (249)
荷兰超高压交联聚乙烯电缆的开发和考验 (21—02)	(257)
气体绝缘输电管道在日本的应用 (21—05)	(266)
特高压直流输电用自容式充电电缆的设计 (21—07)	(274)
其他论文摘要	(285)

第二十二学术委员会——架空线路

架空送电线路技术报告	贺辉亚 (289)
超高压特高压输电线路的电气机械结构和环境影响的标准 (22—05)	(319)
架空线导线振动的控制 (22—07)	(328)
紧凑的和惯用的超高压线路的技术经济比较 (22—13)	(335)
其他论文摘要	(345)

下 册

第二十三学术委员会——变电所

变电所学术委员会技术报告	贺辉亚 (350)
变电所的消防系统和消防措施 (23—01)	(375)
全封闭变电所高效率现场电压试验程序的研究 (23—05)	(386)
高压变电所支柱绝缘子在短路荷载下的动特性和强度 (23—12)	(399)
变电站的防震措施	(412)
其它论文摘要	(422)

第三十三学术委员会——过电压和绝缘配合

过电压和绝缘配合	徐士珩 (425)
高压直流换流站在自然污秽方面的运行经验 (33—01)	(430)
应用高性能金属氧化物避雷器的特高压SF ₆ 绝缘装置与 输电线路的绝缘配合 (33—03)	(444)

高压直流系统外绝缘绝缘强度的研究及其在设计和试验中的应用 (33—12)	(453)
其他论文摘要	(470)

第三十四学术委员会—继电保护

继电保护学术委员会课题与讨论	陈景祺 辛绍平 (476)
在系统发生故障时, 将系统解列切负荷与自动恢复系统运行 (34—03)	(477)
电力系统继电器与继电保护系统性能的估价 (34—07)	(485)
发电站和电网保护方针的协调 (34—14)	(493)
其他论文摘要	(502)

第三十五委员会—电力系统通讯

电力系统通信领域内的新发展	孙继荣 (507)
适用于语音及数传的移动通讯系统—基站同时同频发射的无线电通讯网 (35—01)	(510)
电力事业综合多路无线网系统 (35—02)	(521)
包交换法 (报文分组交换) 在电力系统通讯网中的应用 (35—03)	(527)
用架空电力线的光纤通讯 (35—04)	(536)
其他论文摘要	(546)

第三十六学术委员会—干扰

日本电力中央研究所AKAGI1000KV研究项目电晕试验设备和试验结果

(直到1983年) (36—05)	(549)
交流电晕效应新的研究结果损失, 无线电干扰, 可听噪音及其相互关系 (36—06)	(557)
超高压和特高压输电线路电晕效应的研究 (36—11)	(565)
其他论文摘要	(572)

第三十七学术委员会—系统规划与发展

系统规划与发展学术委员会技术总结	俞祖寿 (576)
电力系统规划面临着经济、社会、环保目标的要求并受其约束 (37—04)	(581)
小电力公司与大系统互连 (37—08)	(592)
以降低资本支出为目的在输电网扩建计划中应用概率统计方法 (37—09)	(601)
特长距离输电系统目前的约束条件 (37—12)	(614)
其它论文摘要	(629)

第三十八学术委员会—电力系统分析

电力系统分析及技术学术委员会技术总结	韩祯祥 俞民基 (633)
在瑞典海格培的2000Wvar静止补偿器 (38—02)	(637)
静止无功补偿器用于高压直流站的弱交流系统的控制模型和模拟研究 (38—07) ..	(647)
蒂纳维尔电力局1200KV输电线路试验的六年经验和计划 (38—08)	(654)

其他论文摘要	(664)
--------------	---------

第三十九学术委员会—电力系统运行与控制

电力系统运行与控制学术委员会技术报告	陈景祺 辛绍平 (669)
美国超高压系统中应用单相重合闸的经验 (39—08)	(673)
法国电力公司 (EDF) 国家控制中心新的实时计算控制系统 (39—10)	(682)
125个电力系统计算机控制中心—未来概念的经验基础 (39—14)	(694)
其他论文摘要	(705)

附 录

全部论文的英文目录

下具有某种故障风险，对于选择哪一种为好，讨论中并未定论。

涉及到GIS诊断技术的论文有：（1）SC—23—05，GIS高效现场试验的研究（法国），（2）SC—23—08，GIS异常情况的诊断技术（美国），（3）SC—23—07，1200kV GIS现场试验的经验和诊断技术（美国）。

SC—23—05一文详细介绍了法国电力公司关于GIS现场加压试验和诊断技术的经验和研究结果。

△为什么需要现场检查：GIS在运行中的故障总是在投入运行后不久出现的，大多数原因是由于现场安装运输中出现的原因，因为在制造厂都通过型式试验和例行试验而加以验证的。后来制造厂也规定要求在现场进行检查和试验，包括：外表检查、几何和电气测试，泄漏检查，气体分析，放射线检查等，运行方面特别关心的是加压试验。

GIS都是整体运输，在现场并不打开，因此不准备作端子与端子之间的介质强度试验，但只作相对地的试验。根据组装的实际情况，可能需要重新考虑这一点。

△GIS的耐压特性及其机理：根据法国电力公司的试验和运行经验，关于GIS健全和故障的介质特性如下：

- 总的说来，GIS的规定水平与实际水平之间的偏移值，冲击的情况稍低于工频的情况。
- 正极波的绝缘水平稍高于负极波（约为5%），这与GIS部件的电极几何形状非常均匀有关。正极波的闪络电压的分散性更大一些。
- 振荡波的绝缘水平高于波前时间（ $<10\mu s$ ）相同的全波绝缘水平，这对负波更为显著。波的极性突然改变无特殊的影响。
- 电极表面故障（电极表面缺陷，变形或附有金属物等）：电极表面故障时，介质强度的降低对短波前更为敏感，特别是当电极弯曲半径较小的情况更甚。800kV GIS电极表面故障（电极表面有针尖）对绝缘水平的影响如表1：

表 1

波 形	工 频	雷电冲击波	
		正极性	负极性
额定绝缘水平 (KV)	>700	1900	1900
电极有针尖部时的闪络电压 (KV)	>700	455	1000

• 绝缘污染故障：IEEE文献（PAS—100. NO. 5. PP. 3694—3702）认为在工频电压下影响最大。但法国电力公司现场试验的结果说明：存在粒子时的闪络有时出现在雷电波下，而不是在工频电压下。这可以解释为：带电表面上附有粒子，相当于电极表面故障，其影响已在前面说明。

• 电极表面具有突出部分的影响：当GIS母线表面突出2~5毫米长的针（针尖直径为数微米）时，雷电冲击绝缘水平比工频情况低得相当多。这可解释为：针尖周围发生电晕，在工频电压情况下电晕趋于稳定状态，等于增加了针尖的直径，防止了闪络，对雷电冲击、波头电压上升太快时，电晕发展到雪崩条件而导致闪络。如果冲击波陡度不大时，包括操作冲击波在内，不致使电晕达到雪崩时，也不会发生闪络。

△音响检测器：随着电压增高，电晕所产生的噪音和发光在增强，或因电晕造成的雪崩造成的闪络，可用检测器测得。音响检测器可用麦克风、加速仪或音响传感器。麦克风需设

在一阀门内直接与SF₆气体相接触，而加速仪或音响传感器可以用耦合器简单地设在GIS外壳上，可以随意移动，易于确定故障位置。法国电力公司系采用加速仪。

原理：如图1所示，当某一点故障，相当于一声源点，声响应按 $1/d^2$ 而减低，声压与 $1/d$ 成正比，但在GIS内因来回反射之故，反射波与始发波相混合。在气体内、传播波为纵向型的，在介质中传输方向形成交变的压缩运动，当这些波打在器壁时，产生传导和反射，在开始时反射率接近100%，相继产生连续反射作用，波的衰减是很慢的。器壁的传输有两种：（1）压缩波，在撞击点产生，此波衰减很快；（2）剪切波，其传输速度快，衰减小，用加速仪检测此类波。传输速度：在SF₆中为 150mS^{-1} ，在外壁中则为 3000mS^{-1} ，传感器首先接收到的是剪切波。接收到的并非准周期性的波，而是脉冲形的，这是由于前述的混合之故。

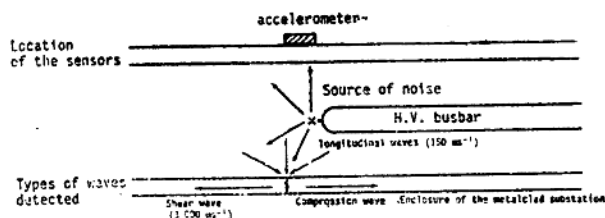


图1 声波的传播

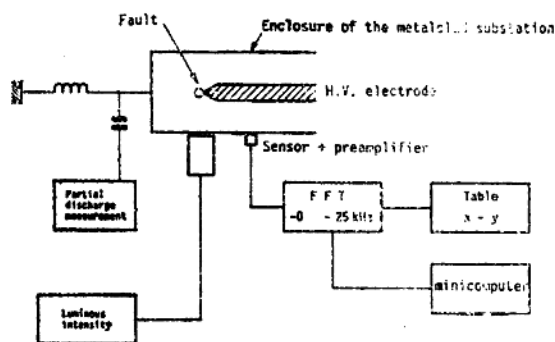


图2 电气及音响数据收集

△试验结果：

——当传感器离开故障点时，信号很快衰落，并且间隔绝缘子对信号传输的衰减起很大作用，因此确定故障小室的位置很容易。

——在整个频率范围内，当电晕及电压增大时，信号水平也增大。

——在0~25HZ范围内，低频下的感受信号水平比高频时的大。

音响检测器不仅可用于检测绝缘水平降低，还可用以测定振动位置。例如，防晕罩的螺栓松动，由于静电力的作用，引起罩子振动。但从其振动频率可鉴别不同于电晕引起的。

△检测闪络：

由于闪络引起的音响冲击，其衰减很快（从小室到另一小室）。可用麦克风及一电子

△音响测量系统：如图1—2所示，由以下部分组成：

——传感器：加速仪（经前置放大，调谐在40HZ）。

——耦合器：传感器装在一个粘水溶物中，以增进高于10 KHZ的传输。

——分析装置：双频道福里哀分析器，藉助于光电倍增器的信号，可对放电现象进行同期触发，以发现局部放电。

——数据储存：在微机中储存典型的频谱曲线。

——综合采用两种方法，以很好地测定电晕效应与声信号之间特性关系：（1）传统的高频电流测量方法，测定局部放电，（2）光电倍增器，对着故障点放在一个石英窥察孔内。

装置, 储存和显示噪声的峰值。网络位置的确定, 普遍采用声检测器。

此外, 由于 SO_2 的含量, 在绝缘子闪络时比在气体中闪络时为大, 可用此特性加以检测。在后一情况(气体中闪络) SO_2 含量小于检测灵敏度限值(0.1PPm), 在前一情况则达数十 PPm 。

SC-23-08, “GIS异常情况的诊断技术(美国)”

△红外扫描技术: 利用红外电视系统能揭示局部过热(温度与时间和空间的关系)。利用这一监控装置能估计: (1) 损坏的位置, (2) 损坏的严重程度, (3) 从高能弧光故障, 一直到接触点过热都能检测。

装置由以下部分组成: (1) 红外照相机镜头: 装在变电所的一根柱上, 能进行 30° 左右上下扫描, 可监控整个GIS装置。(2) 监控盘: 包括电视屏及带式记录系统。

当GIS母线闪络时产生的高频瞬变信号将自动使这一系统接入, 照相镜头按规定的程序扫描, 将红外对象记录于带上, 当需要时可重放。红外扫描不能检测低能高压闪络, 也不能检测低能局部放电所形成的起始故障。但是它对检测载流触头不正常所引起的大量过热是非常有效的。

因该装置由高频瞬变信号触发起动, 故对隔离开关操作也会动作起动。

其故障检测系统系用一热电体光导摄像管。不选用液氮冷却, 因此维护工作量小。

△薄膜传感器: 为利用化学原理的一种电阻元件。当 SF_6 在电弧中产生副产物时, 此电阻元件的电阻率随之以很大数量级成反比地变化, 通过电路及一小电池测得。

其最大反应时间取决于 SF_6 气体中及器壁上的含水量, 非常干燥时需2小时, 300PPm 水分时为30分钟, 1000PPm 时为10分钟。

薄膜传感器能检测 SF_6 气体中持续的局部放电及电极对地和电极之间的电弧。但这种传感器必须装在 SF_6 气体中。

△光传感器: 为一硅摄像装置, 检测 SF_6 装置内的弧光放电现象, 需穿入器壁中, 能传感低值光。GIS装置需装好几个光传感器, 对相邻传感器进行对比, 以确定故障位置。当光量达到一限值时, 用电磁指示器记忆和显示。光传感器的状态指示器由一可由电磁线圈动作而翻转的机械指示器组成。

光传感器能检测局部放电及电弧, 也能检测高压现场试验时的电弧, 是一种多功能的诊断工具。它必须穿入壁内。

△磁传感器: 它调谐于GIS外壳外的磁场。在全部封闭在内的系统中正常情况下, 壳外磁场基本为0。在故障时则传感器可测出其变化。此种传感器只能检测电弧故障, 不适用于检测异常运行情况, 例如局部放电引起的故障。

△ SF_6 气体分析: 广泛应用。通过 SF_6 气体分析, 可准确测定电弧所产生物质及确定异常的局部放电情况。能诊断检查出GIS气体组成部分很小的变化, 这是其他方法所不能检测的。这种分析已被广泛应用。

• 空气: 平均值在 $0.1\sim 1\%$ (体积), 过多时往往是由于不恰当的充气和漏气。

• CF_4 : 平均值在 $0.01\sim 0.05\%$ (体积)。ASTM规范标准是应小于 0.083% (体积)或 0.05% (重量)。 CF_4 含量高时说明有电晕或低能电弧, 涉及到含炭成分, 例如石墨电阻

或环氧树脂。

- 其他氟化物：这些微量的氟化物物，例如 (CCl_2F_2) ， (C_2F_6) 等并非有害，但必须注意通过电弧分解后、形成自由碳，附在表面上为闪络创造条件。

- 水分：气体内的水分是非常重要的诊断指标。过高的水气含量，在低温时结露于绝缘表面，能在电弧或电晕时加速 SF_6 的分解。

二、变电所供电安全和可靠性问题（包括环境、防火和防震）

（一）防火

本次会议论文中有三篇以23研究委员会名义发表的关于变电所、地下水电厂和电缆防火的总结。系具有全面性和指导性的文件，很有参考价值。这三篇为：（1）SC—23—01 “变电所防火系统及措施；”（2）SC—23—04 “地下水电站的防火及保护”；（3）SC—23—10 “电缆着火特性的发展水平，以及防止火势沿电缆蔓延的方法”。

讨论中提到电缆中可加入适当的添加剂，以提高电缆绝缘的阻燃性能，但这些添加剂将进一步增加着火时烟气的程度，这些浓烟具有毒性和腐蚀性。新型电缆材料的发展，将考虑在阻燃特性，烟气的毒性和腐蚀性，以及价格之间采取折衷解决。

讨论中对于变电所的防火设施费用高，与火灾的机率少，是否值得装防火设施有异议。讨论总结认为防火设施费，对于有人值班变电所，一般占变电所造价的0.5~2%，2%是个上限，对于无人值班变电所，将超过2%（包括遥控设施），显然过高，但绝大多数变电所均装设不同程度的防火设施。

SC—23—01 “变电所防火系统及措施”一文，有很好的参考价值，详见译文部分。它全面统计归纳和总结了各国的防火措施。

在选择防火设施时应考虑以下几点：一着火的机率小；——防火措施的费用；——防火装置的可靠性；——保护对象及其邻近设备的重要性。根据以上原则、大部分公司对屋内外装置采取了防火措施，以减小变电所电力变压器及其邻近设备、建筑物等的损失。也有因空气污染、环境保护、人身安全而设置。少部分公司并不考虑防火设施，都是因为考虑投资费用和着火的机率小。

变电所防火重点对象为变压器，控制室和电缆。

△变压器：大多数国家对屋内、外变压器均有防火设施，少数国家只在特殊情况下设有防火设施。几乎所有屋内充油电力变压器均采取防火保护。有的公司只对无人值班变电所采取防火措施，一般设遥控警报信号装置。

喷水保护一般用于屋外变压器， CO_2 、卤素化合物通常用于屋内设备。

防火系统主要针对主变油箱及冷却器或油枕等。当采用水喷雾灭火系统时，喷嘴安在变压器和冷却器周围，多数分两层设置，或有50%的公司设在油箱底面以下，也有按三层设置的大多数情况，一个贮水箱（或压力箱）供变压器数量最多的为2—4个。这几乎与变压器间的距离无关，但多数为30—40米。少数国家，当探测到火灾后，对所有变压器同时喷水。灭火装置的运行时间通常在5~10分钟之间。通常不考虑对付重燃的用水，一般用水量在2000—6000立升/分，这取决于变压器的尺寸（10~25立升/分、平方米变压器表面）。供水工作

压力通常为7—10巴。通常屋外的喷嘴不按最大风速设计，但有些公司指出：从7直到36米/秒风速（作者也怀疑其在最大风速下的效果）。

CO₂装置主要按每立方米容积供给0.5~3公斤CO₂，运行时间在0.5~3分之间，工作压力为50—60巴

卤素化合物用量通常为被保护体积的5%（在大气压力下），工作时间为10秒，工作压力为10—40巴。

固定式防火装置用得最普遍。根据所调查的50%事例中：移动式的及固定和移动组合式的、两种都有。几乎所有固定式防火装置均采用自动操作的。

灭火装置允许在变压器带负荷或不带负荷时操作，据各公司的报告统计，各占一半。

变压器室的通风系统通常在灭火装置启动时关闭。

灭火后多长时间允许进入现场：无具体规定，需根据经验或实测。CO₂装置：变化很大从10、20及30—120分钟。水：1分钟。

• 变压器土建工程防火措施：

几乎所有变电所变压器间用1~4个防火墙（钢筋混凝土或其他材料）加以间隔。有时取决于到邻近设备的距离（9—15米）。大多数情况间隔墙高度与变压器油箱高度、油枕和套管尺寸有关，最大超过0.3~2米。间隔墙的长度、多数按变压器油箱及冷却器尺寸，超过2—6米，或按油坑尺寸设计。

大多数国家、油坑容积只少能满足变压器及冷却器的排油量，此油坑也能满足水喷雾所需的水量，有时还包括雨水、碎石及备用容积。

几乎所有情况均采用下列措施，以熄灭变压器周围的油着火：

——油坑（堤）内具有一层200—300mm的碎石。

——变压器周围铺一层200—300mm碎石（50—120mm），冷却器下油坑的碎石系在镀锌铁格栅上的，这将具有冷却和隔绝空气的效果。

——填沙砾的油坑。

——具有小孔的钢筋混凝土穹隆。

——变压器附近备有灭火用砂。

通常另设油坑，能将着火后的油迅速引入，从变压器底部到承油池管路的坡度约为10%。

近年来很多国家采用油水分离设施，当有人值班及油水分离器不可靠时采用人工操作，或在特殊设计的独立油箱或油坑中自动操作。

大多数国家在变压器组之间、或在变压器和建筑物之间均有明显的最小空地的规定。有时在变压器间具有12.5~15米空地，及在变压器到变电所围墙或建筑物间，或到其他电压等级部分之间，具有20—30米的空地。

△继电保护、控制室及电缆层：

多数（>50%）采用防火设施以避免关键设备的风险以及由此而引起的二次损失，两者同等重要。约50%的公司装设移动式或固定式CO₂灭火装置，其他多数装卤素化合物。

灭火系统通常由检测器自动启动。在着火区外，手控或多点手动遥控用得很少。

大多数公司有好几种检测器。几乎所有公司均有烟气检测器，双金属热偶检测器，光检测器也用得很多，只有两个公司采用石英管或塑料检测器。

$\frac{1}{4}$ 的公司采用防火材料。几乎50%的公司在继电、控制或电缆屋内采用档火物，有防火墙，防火隔板（堵塞物），还有少见的防火门，自闭门或与邻室和地下室完全隔开的门。

△电缆

大多数公司采用消极的防火措施——堵火或类似的措施。只有少数采用积极的防火措施——采用在电缆绝缘中放置特殊的添加剂以改善控制电缆和电力着火时的性能。总之，主要措施为限制火的蔓延。

添加剂的作用：延长火灾时的运行时间；限制烟气的蔓延；减少腐蚀气体产生或有毒的焰气。

电力电缆的敷设方法：各公司各有自己的规定，详见SC—23—10。

探测器型式

有烟气探测器（屋内），复合金属及石英管探测器，还有采用光学的，反应于空气压力上升速度的，塑料管的及热探测电缆等。

通常每 $10\sim 25\text{m}^2$ 用一个探测器。优先选用可靠性高，探测时间短及误报警的探测器。

防火系统常以着火探测器作为启动元件。某些公司仅有保护继电器（瓦斯、差动、压力漏烟继电器等），或与探测器相组合。为防止灭火系统误动作，很多公司采用两种判据。

- 两种探测器相串联；
- 温度及瓦斯继电器或 CO_2 漏烟；
- 探测器与断路器跳闸位置接点；
- 探测器与差动继电器。

大多数公司的自动火警装置对当地人员发出警铃（笛）或闪光，有些直接向消防队发出火警。

△火灾问题的研究

25%的公司回答20年内没有火灾事故。8个公司报导有1次，10个公司有2或3次，4个公司发生过10次，有1个公司20年内发生了15次。

引起火灾损失主要不是由于灭火装置的低功能。大多数公司的防火系统是可靠和有效的。

火灾损失费取决于起因及损失范围，此费用约在5000英镑到200万英镑，后者相当于—电力变压器的费用。而防火保护的费用约为变电所造价的0.5~2%。

SC23—04“地下水电站的防火保护”是以SC23研究委员会名义发表的总结报告。

△检测器型式

对于发电机变压器组及发电机的探测器采用型式统计分别如表2及表3。

△灭火介质：有水， CO_2 ，卤化物气体，干化学剂及泡沫。各国采用情况见表4及表5。

·水：有两种：高压水流或水喷雾。

高压水流喷在油面，水油混合、降低油的气化率。水喷雾除冷却油温外，水还具有蒸发汽吸热的这种冷却作用。此外水气冲淡空气，减少着火所需的氧气，防止重燃的危险。

· CO_2 ： CO_2 比空气重、排除氧化着火。 CO_2 通常以液态储于罐中，因此具有有限的冷却

表 2

发电机变压器组的探测器型式 (15年统计资料)

型 式 \ 国 家	日本	加拿大	澳大利亚	英国	瑞典	意大利	西德	挪威	美国
热探测器	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓
游离 " " "							✓		
光 " " "	✓								
差动继电器		✓						✓	✓
瓦斯 " " "							✓	✓	✓

表 3

发电机的探测器型式

型 式 \ 国 家	日本	加拿大	澳大利亚	英国	瑞典	意大利	西德	挪威	美国	巴西
热 探 测 器	✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓
游离传感器					✓				✓	
差动继电器		✓		✓	✓				✓	
定子接地继电器									✓	
手 动 操 作	✓								✓	

表 4

变压器灭火装置型式

型 式 \ 国 家	日本	加拿大	澳大利亚	英国	瑞典	意大利	西德	挪威	美国	巴西
装置数量	9	6	7	10	10	24	2	58	4	
水	7		4	10		14	2			
CO ₂		6						40	4	
卤化物1301	2					10		18		

表 5

发电机灭火装置型式

型 式 \ 国 家	日本	加拿大	澳大利亚	英国	瑞典	意大利	西德	挪威	美国	巴西
装 置 数 量	26	6	18	10	26	36	2	60	6	16
水	16		3		26					
CO ₂		6	4	4		15		30	6	12
卤化物1301				6				10		
其 他	10		11			21	2	20		4

效果。当 CO_2 散发很快时，有可能重燃。

- 卤化物：为一系列非导电气体的总称，系卤素碳氢化合物。最常用灭火剂为卤化物1301 (CBrF_3) 及卤化物1211 (CBrClF_2)。前者最常用于手提灭火器，后者因为毒性最小，用于固定式灭火装置。

卤化物灭火剂为一抑制剂，阻止着火过程的化学反应，只需很小浓度（低到2%）即可得到所需的灭火效果。当在火焰接触面高达510℃高温时，卤化物1301分解形成（HBr）及（HF），为有毒性和难闻的气味，极小量就对人体有害。因此应设警报装置，以保护人身安全。

卤化物1211也产生分解物，形成光气（碳酸氢），这是非常危险的，不能用于固定式灭火装置。

- 干化学剂：最常用于手提灭火器。它把可燃体与空气隔绝及压熄火焰。当加热后，也与卤化物一样，起抑制剂作用。其缺点为：使用后清洗工作量大。由于其有限的冷却效果，可能出现重燃。

- 泡沫剂：与水一样能起到冷却和排氧作用。其优点为只需少量的水（与水喷雾相比）缺点：贮存中会变质，须定期更换。由于具有腐蚀性，使用后管路系统须清洗，很费事。

△变压器

- 采用电缆或SF₆管缆连接：变压器与开关场之间采用电缆连接，可避免采用敞开式套管。电缆套管可与变压器油不渗透。电缆油箱和套管，在短路故障时能引起着火和爆炸，如采用SF₆作为绝缘介质，可避免这一缺点。SF₆绝缘套管可设在电缆走廊内。

在新型水电站内，只有主变压器及300kV以上的高压电缆是充油的。

- 水轮发电机与主变压器单元制，不经断路器直接连接时，电缆装置由于故障后较长的磁场衰减时间（1~2秒），燃弧时间较长，增加着火和二次爆炸的危险。如果在主变与发电机之间装一断路器，则燃弧时间大大降低。

为减小变压器着火或爆炸的损失，变压器总是布置在单独的房间内，电力电缆设在单独隧道内。

变压器的压力释放可利用电缆隧道或独立的释放隧道。

- 当用 CO_2 灭火（过去最常用）时，喷咀管路分布于变压器室周围上部，用量1~1.5 kg/m³，这相当于100%填充度。探测器放在变压器上部屋顶面。优点是价廉，不污染，维护工作量小，对油起火灭火效果好。缺点是气体充满房间所需时间长，可能为2分钟，灭火时间较长。 CO_2 不适宜对油气及气体爆炸类的灭火。

- 卤化物灭火：近年来有替代 CO_2 的趋势。一般以球罐贮存，置于高于变压器顶部的墙上，喷咀可直接设在罐上，或可用多个较小的罐，可使放出时间减少。卤化物1301比 CO_2 贵得多。当卤化物1301的填充度为2%（容积）时，即有灭火效果，但为保证可靠性，建议填充度增大到5~6%。

由于其用量少（与 CO_2 相比）填充时间相当短，浓度低时不特别有毒，人短时停留不会有危险（与 CO_2 相比）。

- 防爆保护：可利用卤化物1301短时充填的特点，以限制油汽和气体爆炸。灭火剂贮罐要小，浓度要高。贮罐可做成爆炸囊型，放出时间可减少到300ms。填充度提高到10~12%

这样在罐附近可高达17%。

用于爆炸的探测器有：（1）压力探测器（放在变压器或变压器与电缆连接处）；（2）紫外线探测器，置于可能爆炸处，反应于电弧或火光；（3）热探测器，置屋顶面，反应温度上升率。

·水：水灭火优于气体，已述于前。用量： $0.35 \text{ 立升/秒} \cdot \text{平方米}$ 变压器表面。其缺点为：（1）需有足购水量和水压，如用柴油泵不可靠。如用压力罐运行时间短，受限制。运行时间需考虑10~15分钟。（2）需排大量水，需具备油水分离装置。（3）需防止误动作时引起电气短路，特别屋内设备电气绝缘水平低，并需防止屋内设备水浸入。

△发电机：发电机室、机壳或穴内，通常用 CO_2 或卤化物1301灭火，而不用水灭火，以防误操作时水进入线圈、轴承及其他辅机，至少引起铁心锈蚀。热探测器或烟气探测器置于发电机室腔或机壳内，不推荐采用反应温度上升率的热探测器。

CO_2 使用量为 2 kg/m^3 （即比变压器室稍大）。卤化物1301使用量为容积的5~6%（与变压器室相同）。

SC—23—10“电缆着火特性的发展水平，以及防止火势沿电缆蔓延的方法”一文也系以SC—23学术委员会名义发表的总结性文件。

△阻燃和耐火型电缆：多年来聚氯乙烯广泛用于电缆绝缘和外皮，由于其优越的电气性能，加工和运用方便，并具有某些阻燃性能，将逐步取代橡皮及油纸电缆。

其阻燃程度取决于其化合物中氯的高含量（重量在30~35%之间）。在高温时聚氯乙烯分解出氯化氢以及较低含量的阻燃性其他产物。但很多电缆堆在一起，燃烧时温度可高达600—700℃，将会持续燃烧。火势蔓延是由于增塑剂在高温时挥发所致。此外，大量氯化氢引成很浓的黑烟。具有毒性和腐蚀性。为进一步改善聚氯乙烯电缆的阻燃性能，可加入适当添加剂，但这将进一步增加烟气的浓度。

根本的解决办法是发展完全新一代的产品，所谓“无卤素材料”，这可降低一些阻燃性能一般是能接受的，它们的造价要高一些。一些阻燃新材料正在开发，例如，硅橡胶与云母相混合。或全部为矿物绝缘材料，这只用于特殊地点，缺点是价高，安装问题还不是很重要。

改进电缆防火特性还可能应用合适的铠装，以改善冷却效果及使电缆外皮更结实一些。

新型电缆材料的发展：将在阻燃特性、毒性和腐蚀性烟气，以及价格之间、考虑折衷解决。

△电缆敷设准则：

各公司有其不同的规定。一种很普通的实践是将电力电缆和控制电缆敷设在同一支架上。也有一种倾向是把电力电缆也分开，取决于其电压。有时规定水平、垂直间的各种距离。有些公司对原子能电站，常规电厂采取电缆分开的准则。分开的准则能使每一支架电缆数量减少，也就减少火势沿电缆支架蔓延的风险。

英国中央发电局（CEGB）严格限制每米支架上的有机材料量，ENEL公司规定并限制支架装满的程度。CEGB的观点：为防止火势蔓延应根据试验规定电缆排列和敷设方法，每捆电缆根数应是很少的。其他公司的观点是应从电缆型式的选择和分开电缆，来防止火势蔓延，包括挡火和灭火措施。

△防止火势蔓延、积极和消极的措施：

• 积极的防火措施：一般用水喷雾灭火系统、特别适用电缆隧道及电缆区。电缆室及控制室采用卤化物或 CO_2 灭火装置。

• 消极的防火措施（堵火和挡火）：

防火材料档火板：设在电缆架间、墙和地板孔洞，是最通用措施。少数公司在同一房间内，沿电缆架（例如在电缆架交叉处，或沿电缆路径隔几个设1处）设挡火板。

采用防火蔓延带，火抑制漆，防燃涂料或聚硅酮泡沫材料等包在电缆外面，也有将石棉板放在电缆架底。在地板或墙上穿管时用防火材料封死。

（二）防 震

涉及到这方面的论文有三篇：（1）SC—23—09“联合采用试验和计算两种方法，以确定变电所设备的抗震性能（西德）；”（2）SC—23—13“变电所的防震措施（法国）；”（3）SC—23—12“高压电站支持绝缘子在短路下的动态特性及其强度（西德）”。

近年来电气设备抗震性能的理论计算方法与试验方法和手段均有很大的发展。用有限之算法与实际试验结果作对比，误差在10%以内，这对设备大不便作实际试验的设备有很大的意义。试验规模和手段均在提高，包括设备带支架和引线进行试验。根据计算和试验结果，制造厂和用户可用阻尼器、软连结等技术，使设备适应大多数严重地震的情况。

法国代表R. Kugler 发言认为用指数波进行试验比正弦波更接近于实际地震情况。在临界频率1及2周时，正弦波具有安全系数为7，而指数波的安全系数为3。在较高频率时，指数波比正弦波更接近于实际地震，可避免试验对象在试验中过应力。认为智利和美国的一些公司采用正弦波持续5周进行试验标准，过于保守。

支柱绝缘子在短路应力作用下，动态抗弯力的瞬时值高于在相同的弯力应变值下的静态抗弯力值，后者约为前者的85%。这并不能证明支柱绝缘子具有较高的动态强度，而是因为动态情况下沿绝缘子长度的应变分布较均匀。相反，在动态试验中，其断裂应变值比静态值低6%，估计强度必须根据最大的应变值来替代，因而被认为材料的动态强度低于静态强度。

SC—23—09“联合采用试验和计算两种方法以确定变电所设备的抗震性能（西德）”一文，介绍了西德已研制成一种现代化的设备抗震试验装置，可进行6个自由度振动；动态特性频率范围可在0.01~100赫间调节，能对800千伏断路器整个一相（重9吨，试验台以上可高达8米）进行试验。

抗震性能的研究必须有两手，一是试验手段，二是计算方法，两者综合应用才能满足和解决实际问题。

变电所设备对地震问题可以分两类：一是设备间相互影响较小的简单设备，例如绝缘柱式设备；二是设备间相互有直接影响的设备，例如SF₆全封闭电器。对于具有简单结构的设备，采用具有1个到数个自由度的数学模型计算；对于复杂结构的设备，采用有限元法计算。对于断路器通过分析计算和试验这两种基本方法鉴定，其结果只差10%。

标准断路器可视作一个自由度系统。当加特殊阻尼器的断路器则变为1~2个自由度系统。

计算和试验结果说明：800千伏断路器头部质量，4个断口，并有合闸电阻和均压电容，也能承受得住严重的地震。其他荷重，例如操作力、短路力、风压、导线拉力必须加到

地震荷载上，总应力还应留有裕度，保证在抗弯强度之下。支架需与设备综合考虑，应具有足够的刚度（避开地震波频率，为最大临界，频率的1~2倍）。有些公司仍规定正弦波持续5个周波试验，是很保守的。这种保守程度愈高，则振动系统的阻尼度愈低。对高压设备的平均情况，在5%的阻尼率下，按正弦波持续5个波进行试验，其理论上的放大倍数将为按典型的“时史法”确定的两倍。因此应推荐采用接近实际地震情况的鉴定标准，在经济上也是有理由的。

对于各级电压SF₆断路器振动性能的测试值参见表6。

表6 SF₆断路器振动性能的测试值

额定电压 (KV)	245	420	800
总质量 (T)	5.8	5.3	9.3
头部质量 (T)	1.0	1.4	2.0
瓷柱：自振频率 X (赫)	1.6	1.8	1.1
Y (赫)	1.2	1.2	0.8
阻尼率 X (%)	6.7	11.1	4.8
Y (%)	4.8	4.8	4.9
摩擦阻尼器：自振频率 (赫)	0.9	0.7	0.65
阻尼率 (%)	25	25	25
地震应力鉴定等级 (IEC50A (Sec) 192)	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ

对于各级电压电流互感器振动性能的测试结果参见表7。

表7 电流互感器振动性能的测试数据

额定电压 (KV)	123	245	525
高度 (mm)	2320	2620	6540
质量 (T)	0.36	0.72	3.2
自振频率 X (赫)	15.5	7.8	2.6
y (赫)	17.5	8.7	2.6
Z (")		22.0	
阻尼率 x (%)	5~7	7~8.5	8~10
y (%)	6~7	5.5~6	10~11
地震应力鉴定等级	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ

对于无阻尼器及有阻尼器时，对断路器的计算和测试应力的比较结果参见表8。

• 800kv设备的试验条件：（详见图3）

正常荷载：导线短路荷载（40KA对称），

导线静态安装张力；

导线及设备风荷载 (100km/h) ;

特殊荷载: 地震荷载。

表 8 断路器计算应力和测试应力的比较

当断路器无阻尼器时	$\frac{\text{计算应力}}{\text{测试应力}} \times 100\%$			
	正弦波 (5m / S ²)		EL centro地震波	
	X	Y	X	Y
245KV: 复杂断路器、2 断口/相	97	110	90	93
420KV: 单相、4 断口/相	95	102	91	100
800KV: 单相 (4 断口) + (合闸电阻)	98	97	101	98
当断路器有阻尼器时	X	Y	X	Y
245KV: 复杂断路器、2 断口/相	99	99	103	101
420KV: 单相、4 断口/相	97	98	108	97
800KV: 单相 (4 断口) + (合闸电阻)	94	103	96	104

正常荷载时瓷件的极限破坏强度的安全系数为 2, 这强度理解为小于两个标准偏差的平均值。

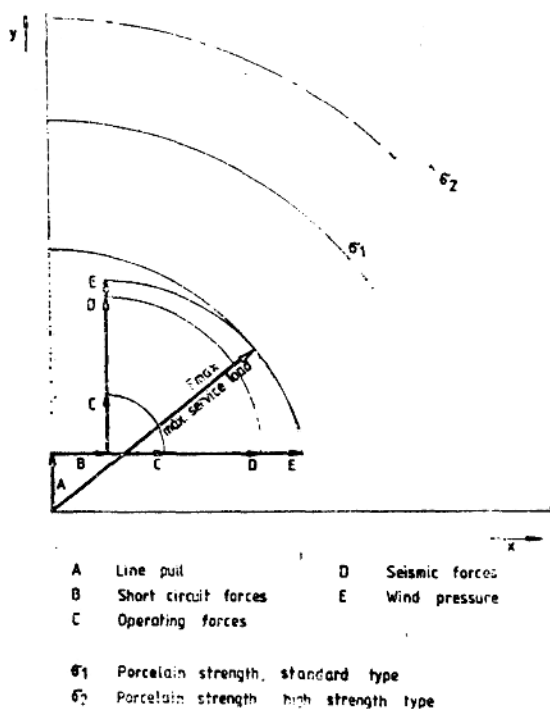


图 3. 荷载组合图