

高电压技术



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



高电压技术

屠幼萍



高电压与电磁兼容北京市重点实验室



80798656, 13691145432



typ@ncepubj.edu.cn

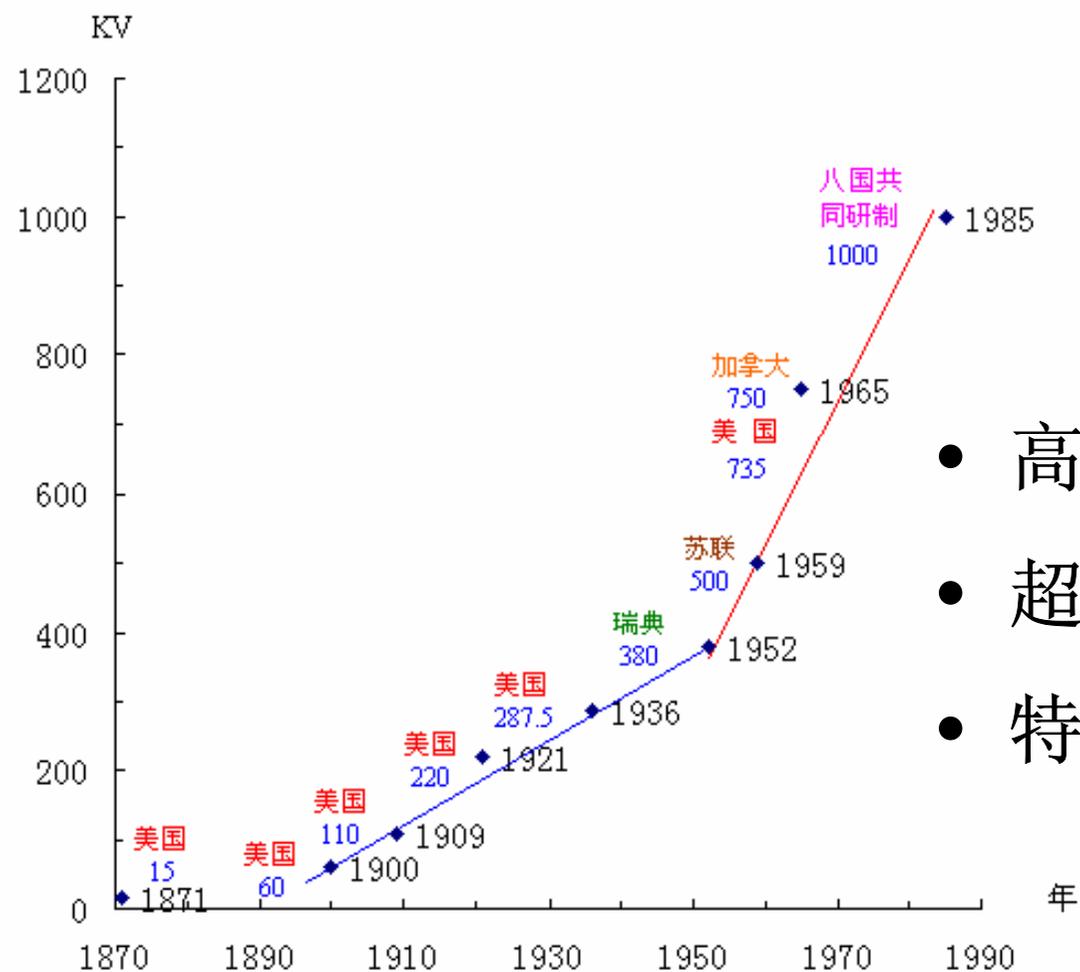


华北电力大学
North China Electric Power University

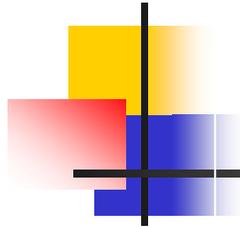
高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



一、世界电压等级的发展与提高



- 高压 3kV~100kV
- 超高压 100kV~750kV
- 特高压 >750kV



- 美国最早于**1882**年在珍珠街发电厂开始发电，仅用于照明
- 从十九世纪末到二十世纪五十年代，电压直线 ↗
- 从二十世纪六十年代后，电压 ↗↗
- 采用**750KV**电压等级的有美、苏、日、德、英、法、加、意八个国家
- **AEP**（美国电力公司）和**ASEA**（瑞典通用电力公司）联合对**2000KV**进行了试验，技术上没有问题，二十世纪七十年代就有**1500~2000KV**线路和变电所的初步设计



二、提高电压等级的技术依据:

三相线损 $\Delta P = 3I^2R$

其中 $I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos\phi}$; $R = \rho \frac{l}{S}$

$$\Delta P = \frac{P^2 \rho l}{U^2 S \cos^2\phi} \propto \frac{P^2 l}{U^2 S}$$

R: 导线电阻

ρ : 导线电阻率

l : 导线长度

S: 导线截面积

P: 传输功率

U: 线路电压

提高电压等级可以实现大功率、远距离的输送电力



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



三、提高电压的效

- 降低线路损耗
- 提高输送功率
- 提高输送距离
- 节省线路走廊
- 降低线路造价
- 长距离输电可联接地域网有利于电力调度
- 降低工作电流和系统短路电流，利于系统运行和降低设备造价

例如：输送750万千伏安容量的电力

345KV电压等级

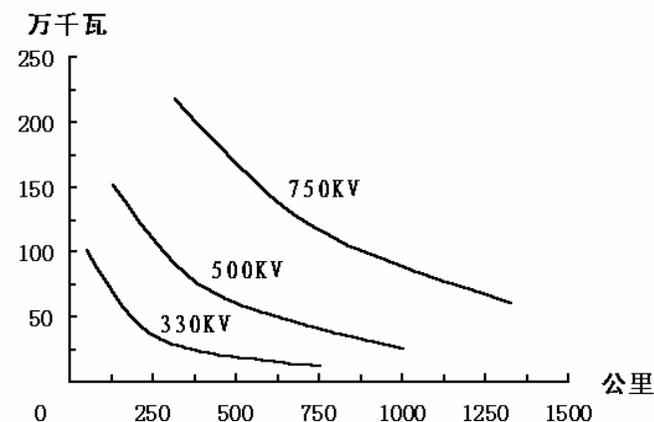
需：七条双回线 走廊宽度为 221.5 m

1200KV电压等级

需：仅用一条单回线 走廊宽度为 91.5 m

即：可提高单位走廊宽度输送容量

不同电压等级线损



不同电压等级传输能量曲线



新发展

- 特高压输电

各国发展特高压输电的原因不尽相同

俄罗斯有可能在2020年左右建设1800~2000kV线路

- 直流输电、紧凑型输电及灵活输电

直流输电的优越性值得重视

我国第一条220kV紧凑型试验线路从北京安定到河北廊坊，长26公里，于1994年9月投入试运行

- 其它的输电方式如超导输电、低温输电、无线输电、多相输电等也在研究中



二、中国电力工业的现状与发展

■ 电压等级

已有交流**500kV**、**330kV**、**220kV**、**110kV**、**35kV**及直流**±500kV**电压等级，西北正在建设**750kV**线路，交流**1000kV**等级及直流**±800kV**等级的输电线路正在进行

■ 我国电网基本框架

发展全国联网是解决我国能源分布与电力消费矛盾的重要措施



我国电网基本框架





我国的发电一次能源主要分布西部地区，而电力消费主要集中在中、东部和南部地区。西电东送、南北互供，发展全国联网是解决我国能源分布与电力消费矛盾的重要措施。并将形成北、中、南三个输电通道。

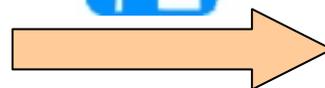


华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



电力系统的构成

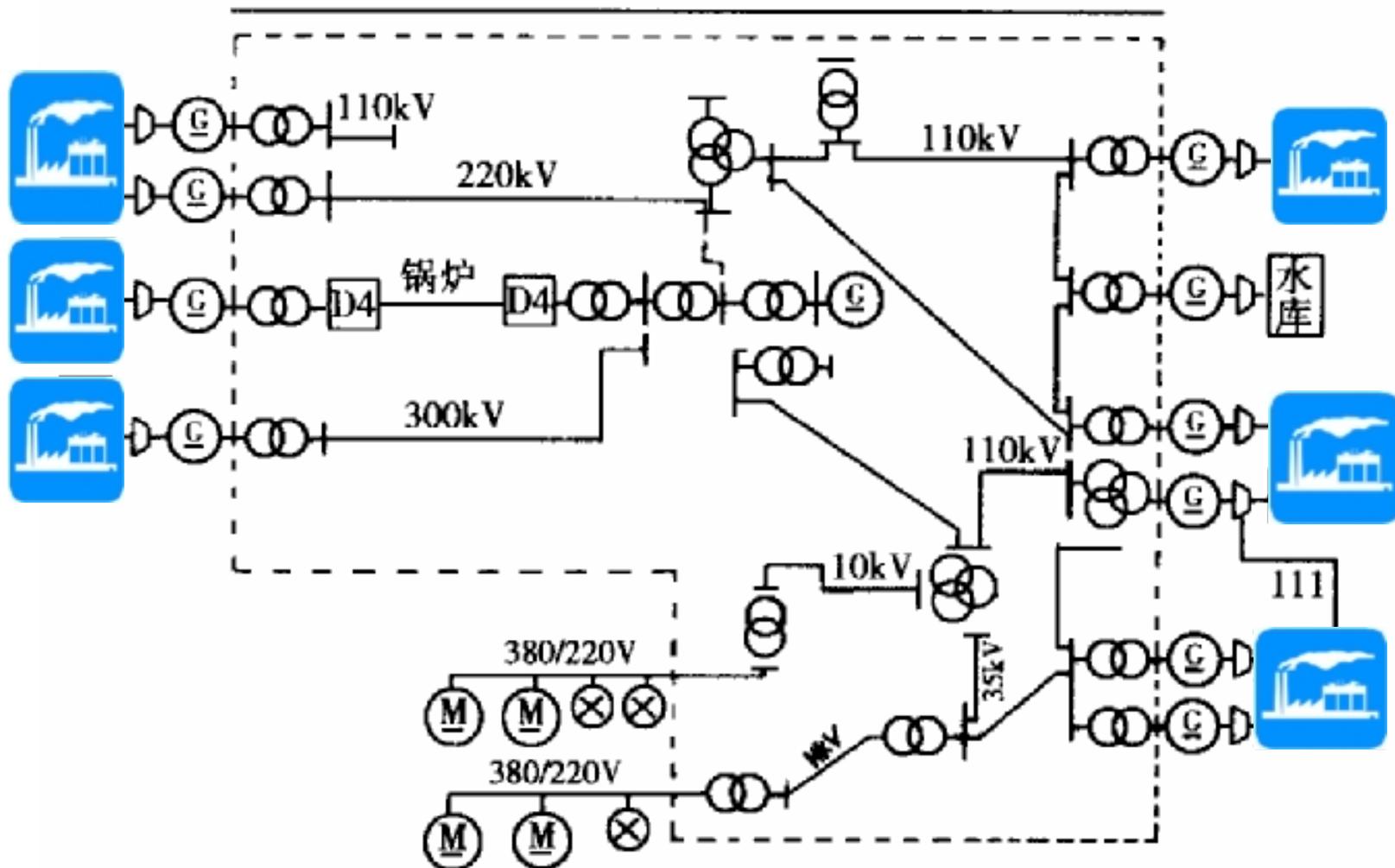


华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



电力网



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



高压电气设备

变压器



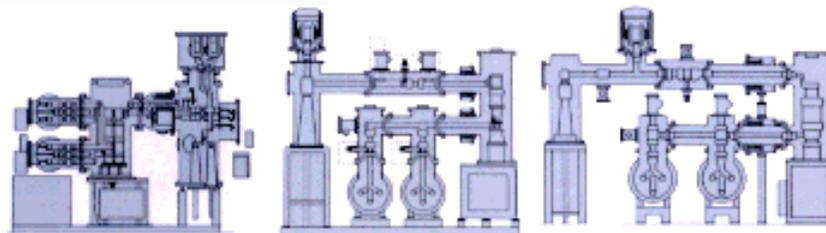
电容性设备



电力电缆



发电机



GIS ...



停电原因

(%)

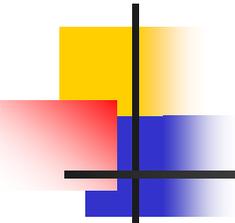
城市	电网结构	管理不善	设备故障	检修	电源不足	外部因素	气象影响
上海	0.06	2.12	45.31	39.17	0.00	10.78	2.56
太原	1.63	3.04	16.76	64.71	0.53	10.31	3.02
长春	0.40	1.82	14.66	69.26	0.00	8.02	5.84
杭州	2.97	4.82	18.44	67.18	0.00	5.34	1.25
广州	0.00	19.45	28.69	50.96	0.00	0.00	0.90
西宁	0.04	3.78	49.50	29.19	0.00	17.49	0.00



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





1981~1990年间，我国主要电网有近1/3的电网事故的直接起因是设备故障损坏所造成的，而在“八五”期间，由设备故障直接引发的电网事故占事故总量的26.3%，可见提高设备的运行可靠性是保证电力系统安全运行的关键。

现代电力设备的可靠性在很大程度上取决于其绝缘的可靠性。



旧金山大停电



美国旧金山1998年2月8日，太平洋天然气电力公司(PGE)变电站发生停电事故，所有从圣马特欧变电站至旧金山的5条115 kV输电线全部跳开，旧金山地区2个发电厂解列，456000多个用户停电。

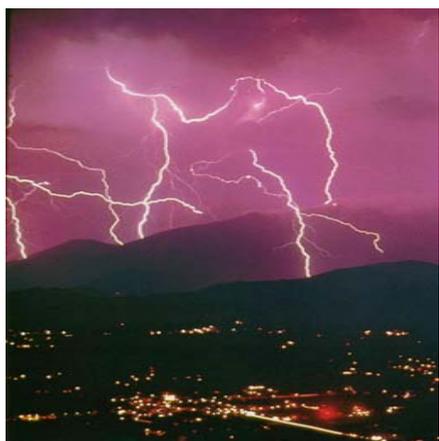


华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



巴西大停电



巴西圣保罗 1999年，由于闪电击中圣保罗的一个变电站，变压器跳闸导致电网解列，引起巴西南部地区停电长达4小时之久。停电波及巴西27个州的11个州，停电地区是巴西人口和工商业最密集的地区，直接影响1.7亿人的正常工作与生活，经济损失非常严重。由于停电发生在午间交通高峰时间，交通灯熄灭，引起严重交通堵塞。



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



纽约大停电



美国纽约2002年3月位于曼哈顿东区的爱迪生联合电厂突然失火，并引燃了用于发电的燃油。这起事故造成纽约第14大街以南的6.3万户居民住宅停电，附近的格林尼治和索霍等地区也受到影响。居住在世贸中心遗址附近的居民又一次感受到了“9·11”时的恐怖气氛。驾车者在昏暗的高速公路上小心翼翼地行驶，高大建筑内的人们在漆黑的楼道里摸索着前行，耳边不时传来阵阵警笛声。



菲律宾大停电



菲律宾主岛吕宋岛2002年5月21日由于海底电缆损坏，引发大面积停电事故，全国人口一半以上受到影响。首都马尼拉和广泛地区四千多万人没有电力供应。

这次停电对菲律宾的商业运作造成重大打击。受停电影响，铁路系统停顿，数以千计的乘客被困车厢内；菲律宾股票市场也被迫中断交易。



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



加州大停电



美国加州2002年1月以及3月连续两次发生全州停电事故。为防止整个系统瘫痪，加州实行了二战后的首次灯火管制，以避免对电力设备造成损害，引发更大面积的不能控制的断电事故。电力官员称用电高峰再次对该州设备严重老化的电力系统带来完全瘫痪的威胁，加州已宣布进入3级紧急状态。



Cisco、IBM和Intel等公司担心加州能源危机恶化，正考虑撤离硅谷。加州议会正拟定一项4亿美元的电力拯救计划。





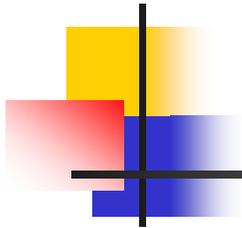
希腊北部地区2002年6月12日下午由于气温过高，希腊北部最大城市萨洛尼卡附近一座变电站内的变压器突然发生爆炸，造成包括该市在内的大部分希腊北部地区供电中断。发生长达一个多小时的严重停电事故，造成许多城市交通瘫痪，通讯系统无法正常工作。



瑞典首都斯德哥尔摩于2002年3月11日开始，由于地下隧道的输电电缆被烧毁，连续两天发生大面积停电事件，造成许多工厂停产，严重影响了当地居民的正常生活。

英国南部莱斯特郡5月11日发生大面积停电。2万多户家庭连续几天生活在黑暗中。附近的肯特郡、萨塞克斯郡和萨里郡的3.1万户家庭的断电现象则持续了更长一段时间。





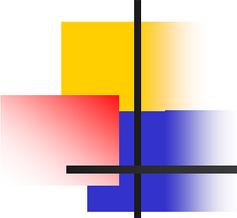
在我国，近20年来各大电网中规模较大的停电事故约有140余起，每次损失数以亿计。近几年事故次数虽有所下降。但其规模和造成的损失却大幅度扩大和上升。随着全国电网的形成，电力系统重大事故也更将危及到我国国家安全。



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





台湾大停电

台湾1999年7月29日全岛发生五十年来最大的一起停电事故，南北两条超高压输电线路损坏，进而引发连锁反应，造成台中电厂、通霄电厂、林口电厂、协和电厂、深澳电厂以及核能一、二、三厂全部跳闸，总跳机电量高达1000万千瓦，全台湾停电用户高达900万户。包括机场、医院、科学园等敏感地区，都一度陷入停电状态。直接经济损失在150亿新台币以上。新竹科学园的26座晶片厂生产线因此停顿1至2天，每座晶片厂的损失估计超过5000万元，由于适逢月底出货高峰，总计这次大停电造成新竹科园区的损失约新台币100亿元以上。



辽沈大停电



辽沈地区2001年2月22日遭遇最严重大面积停电事故，沈阳市区停电面积已经超过70%。辽沈停电事故是从高压输电线路污闪开始的。辽沈为我国重工业区，含盐的空气污染物附着在绝缘瓷瓶上，大雾湿气使瓷瓶绝缘能力降低，电弧沿着瓷瓶表面爬升，出现闪络放电现象。辽沈停电事故中，几乎所有的高压输电线路都出现污闪，停电事故最厉害的就是工业集中、污染严重的铁西区，该区全部停止了电力供应，损失巨大。

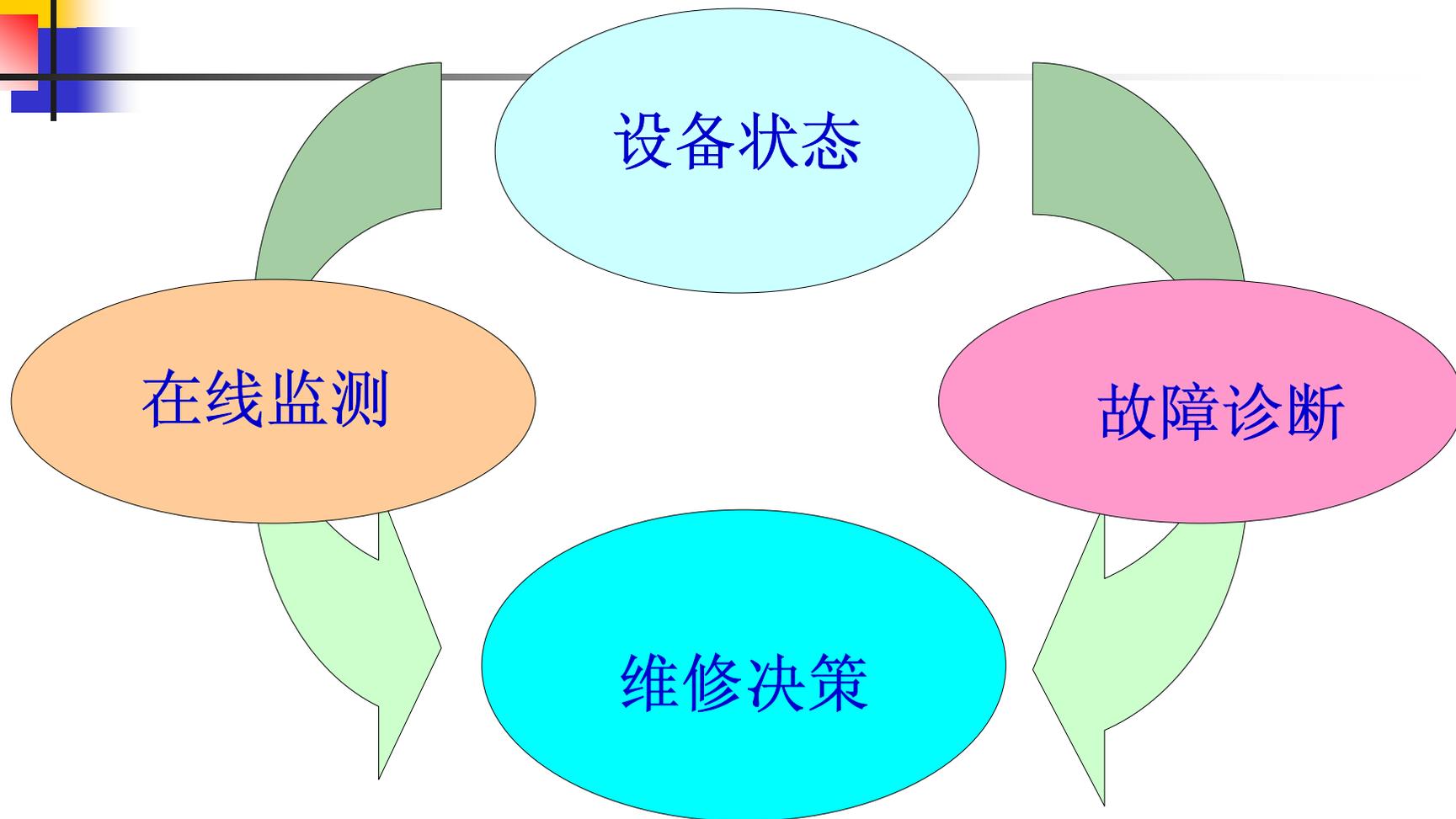


华北电力大学
North China Electric Power University

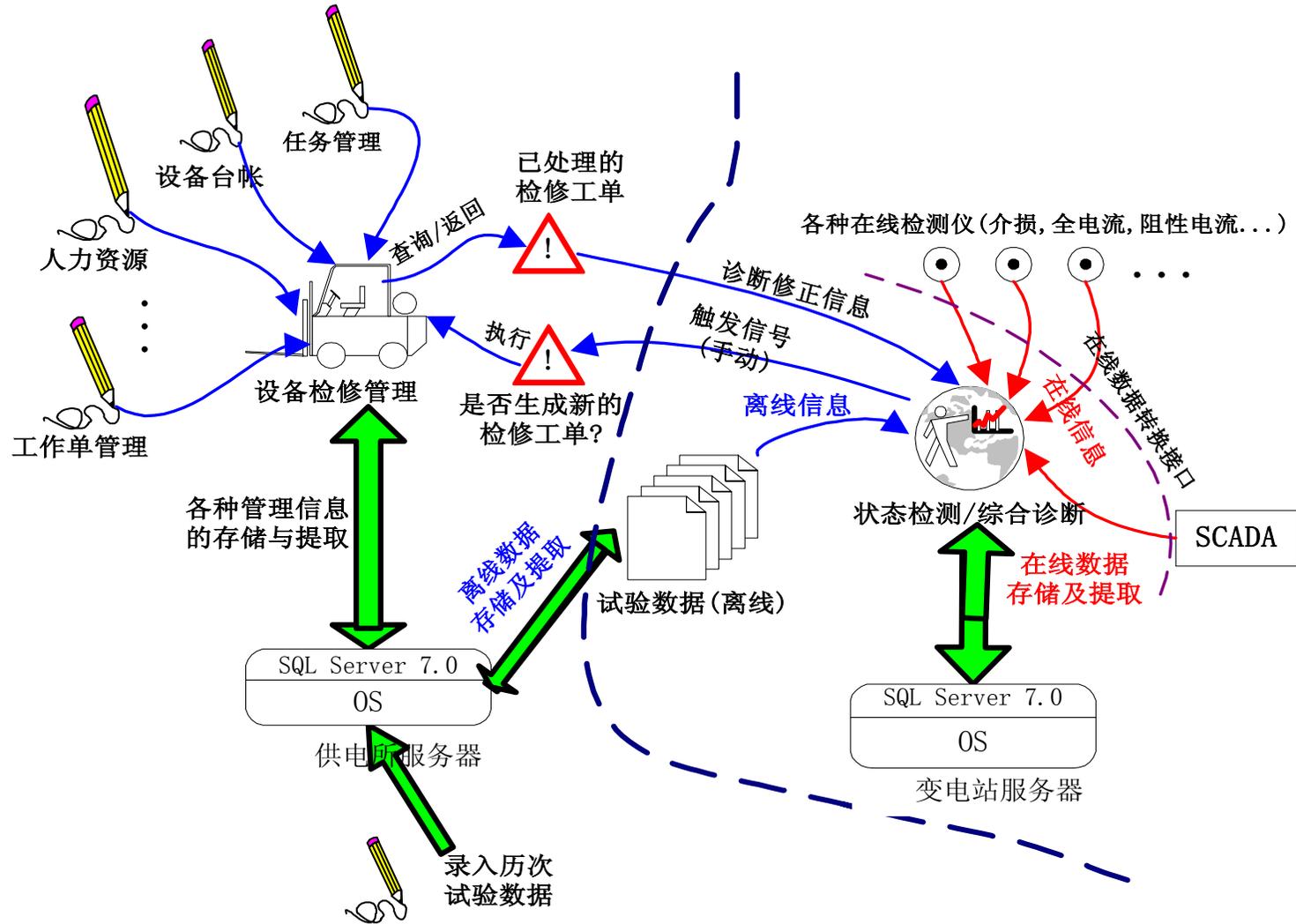
高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



安全运行的基础



设备状态维修管理系统

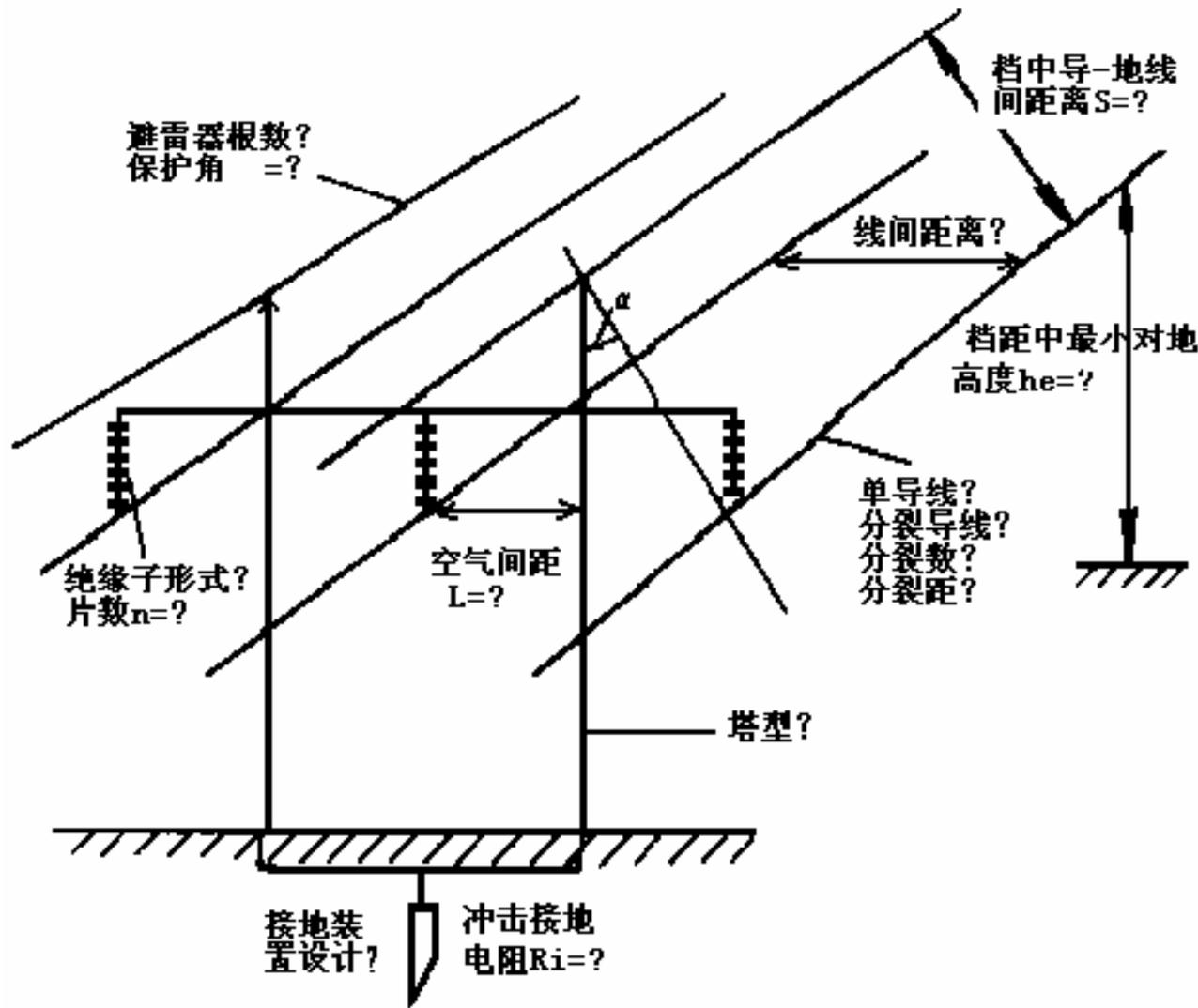


华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



三、高电压工程的主要问题



电力工业与高电压技术的密切关系

高压架空输电线设计中的高电压技术问题



绝缘问题

- 绝缘材料

研究各种绝缘材料在高电压下的各种性能、现象以及相应的过程、理论

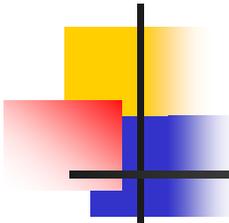
- 绝缘结构（电场结构）

同一种材料在不同的绝缘结构下的外在表现

- 电压形式

同样材料、结构，不同电压下绝缘性能不相同





试验问题

- 各种经济、灵活的高电压发生装置
- 电气设备各种绝缘试验项目的设计

预防性试验

在线监测、故障诊断

状态维修

高电压的测量

高强度量、微弱量、快速量



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



过电压防护问题

外过电压（雷电过电压）

■ 内过电压

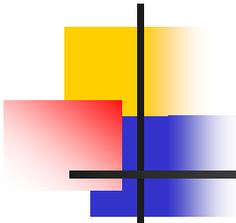
- 工频过电压
- 谐振过电压
- 操作过电压

■ 老化、污秽（在运行电压及过电压下）

■ 保护装置

分析各类过电压的特点及形成条件，研究各种保护装置及其保护特性





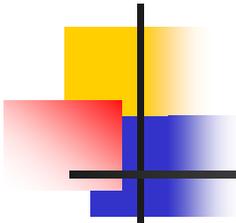
绝缘配合

- 中心问题:

解决电力系统中过电压与绝缘这一对矛盾，将电力系统绝缘确定在既经济又可靠的水平

- 原则





电磁环境问题

■ 电磁兼容

更多的电子及微电子设备对强电系统进行保护和监控，其对暂态干扰具有明显的敏感性和脆弱性

强电系统电压高、容量大，对弱电系统产生更加强烈的电磁干扰

开展关于如何限制弱电系统内的暂态干扰电压的试验及研究工作

■ 生态效应



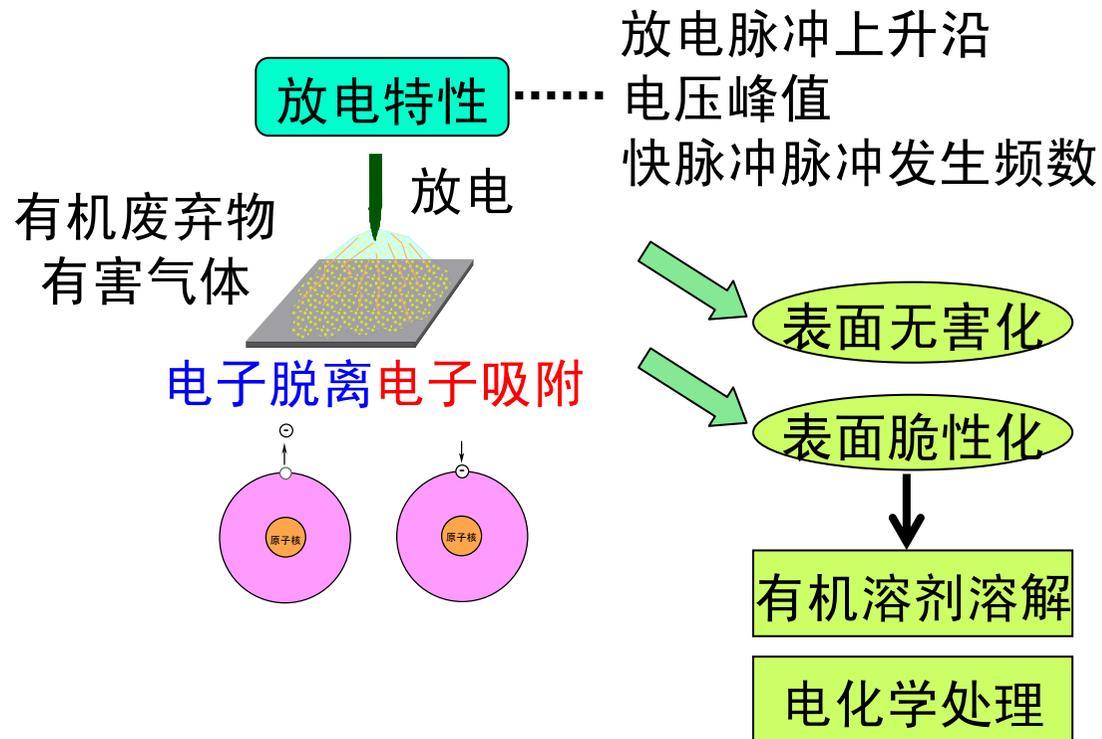
四、高电压技术在其它领域中的应用

- 材料表面处理
- 刻蚀、薄膜沉积
- 医疗器具消毒
- 臭氧生成、化学合成
- 废气处理
- 果蔬汁灭菌保鲜
- 大功率气体激光器
- 等离子体减阻
- 新型光源
- 等离子体隐形
- 定向能武器(电磁炮/干扰弹等)



放电等离子体无害化处理技术的开发

放电处理



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



高功率放电无害化处理技术的开发

高功率放电脉冲

果蔬汁灭菌保鲜

产生高温
(几千度)

三次采油

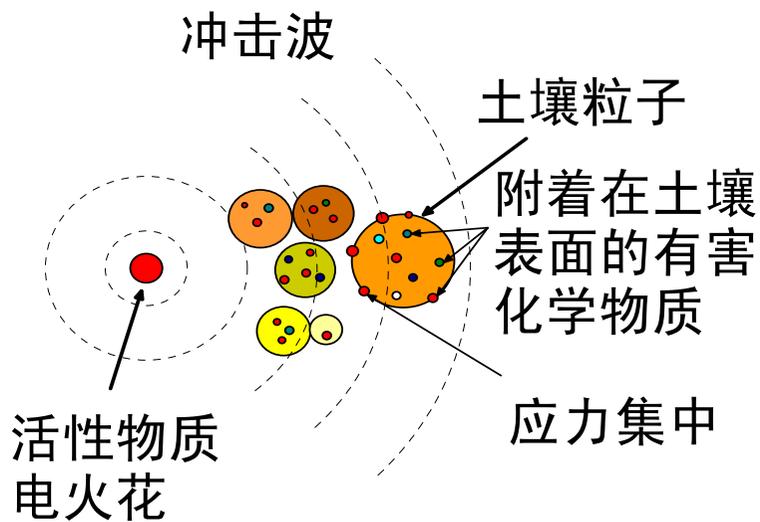
产生冲击波

体外碎石

定向能武器

促进氧化还原

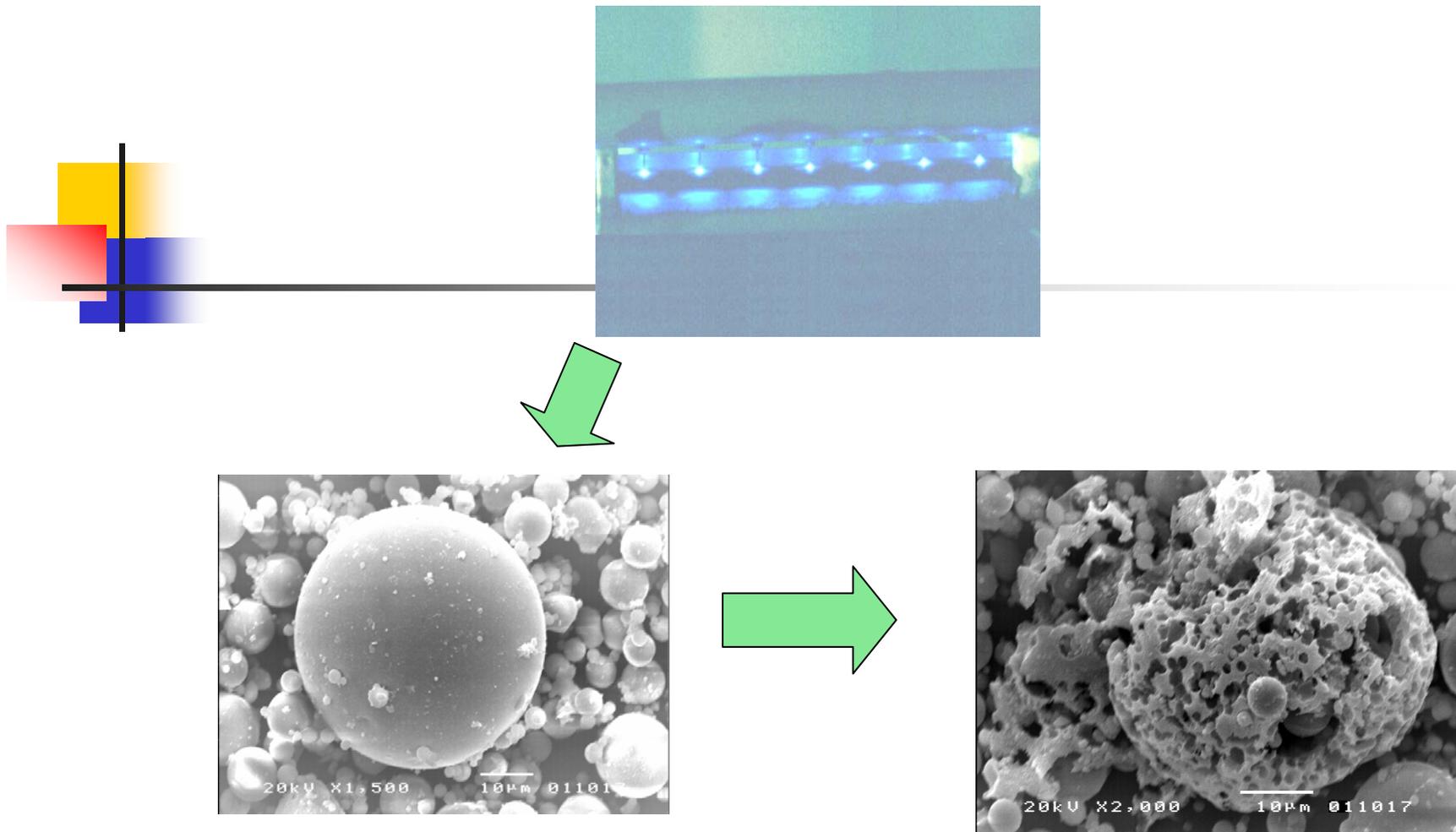
冲击波处理



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





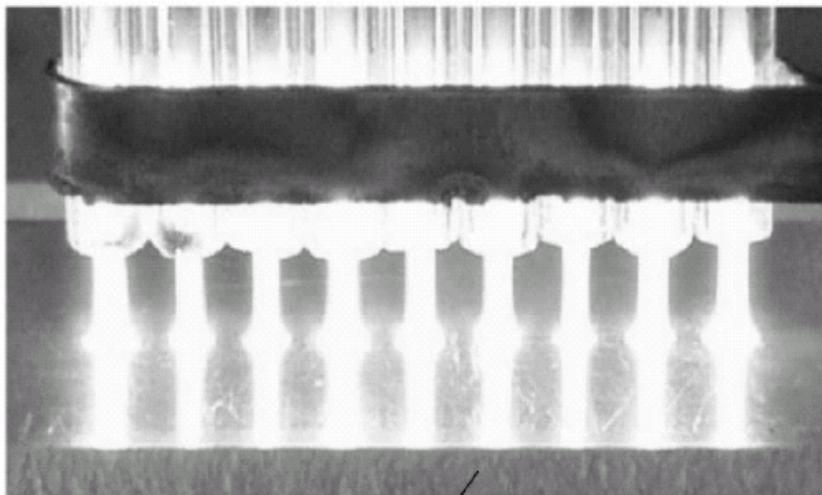
含有二恶英的粉尘放电处理



华北电力大学
North China Electric Power University

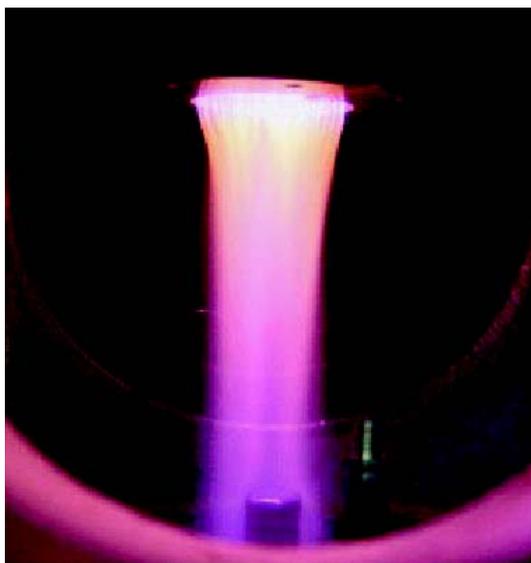
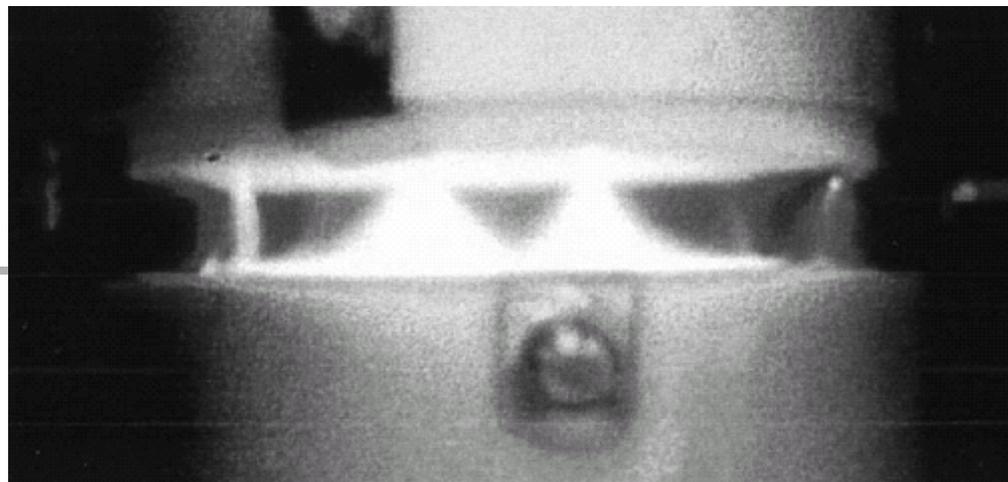
高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





Al substrate

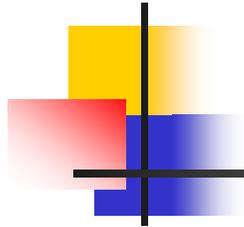
3 mm



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





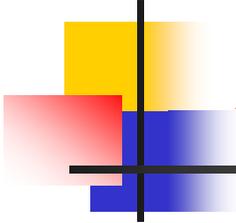
体外碎石技术

肾结石、胆结石的体外粉碎是利用高压脉冲产生一定向冲击波，经聚焦后作用于患处将结石击碎

除菌及清鲜空气

利用空气中电晕放电，控制产生一定浓度臭氧(强氧化剂)，达到杀菌及清洁空气的作用(目前空调中所谓的等离子体空气清新技术)





◆脉冲电磁场刺激小脑顶核治疗脑血管疾病

使用脉冲电磁场刺激小脑顶核后，可改善大脑血流，缩小脑梗塞体积，患者脑循环动力参数有明显好转，神经功能得到极大的改善。

◆脉冲电磁场对细胞膜的可逆性击穿效应

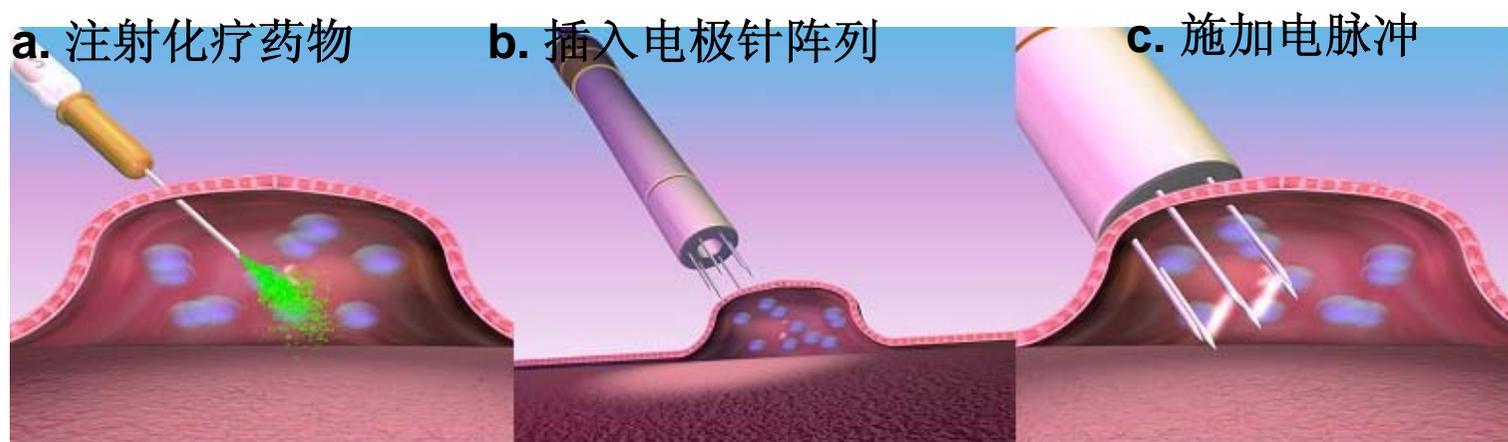
在一定剂量的短时电脉冲作用下细胞膜出现暂时微孔，脉冲撤出后，微孔愈合，细胞膜恢复原始结构的现象



癌症的电穿孔疗法 (美国 Genetronics 公司)

采用电脉冲辅助化疗药物如博莱霉素等治疗肿瘤。

治疗机理：一定剂量（电场强度 1.6kV/cm 、脉宽 $100\mu\text{s}$ 、频率 $1\sim 4\text{Hz}$ ）的（ $4\sim 10$ 个）电脉冲导致肿瘤细胞膜电穿孔，使细胞膜的电导率和粒子渗透作用剧增从而促进化疗药物的运送。



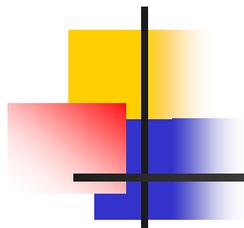
MedPulser®系统的治疗过程



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





污水处理

利用高频脉冲高压产生高浓度臭氧，与污水作用能够分解污水中的有机物，去除臭气，实现污水的处理

烟气处理

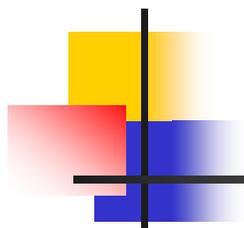
利用高功率脉冲形成高能活性离子，可以实现工厂烟气的脱硫脱硝，净化排污（国家863项目）



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





等离子体隐身

国家自然科学基金
重大研究项目

利用等离子体与电磁波的作用机制(能够有效吸收大量的电磁波),产生覆盖飞行器的等离子体层,能有效吸收雷达信号,达到隐身的目的



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC



五、高电压技术的主要内容

- 解决电力系统中过电压与绝缘这一对矛盾。

研究的出发点:

如何将电力系统绝缘确定在既经济又可靠的水平

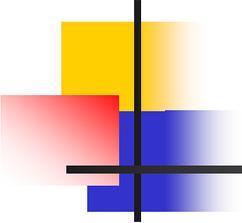
电力系统绝缘所面临的危害

过电压（受到雷电过电压、内部过电压和谐振过电压的作用）

老化（在高电压与长期工作运行的环境中绝缘性能下降）

因此如何将电力系统绝缘所受各种过电压限制在最低水平，并掌握各种绝缘（气体、液体、固体）及其绝缘结构在各种电压作用下的所有特性，确保电力设备安全可靠地运行是高电压技术的研究课题





1、绝缘体、电介质的的电气特性和相关物理量

导电性 —— 电导 G

绝缘强度 —— 绝缘击穿场强 $E_{\text{击}}$

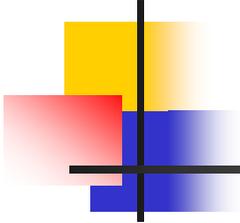
介质极化 —— 相对介电常数 ϵ_r

介质损耗 —— 介质损耗角正切 $\text{tg}\delta$

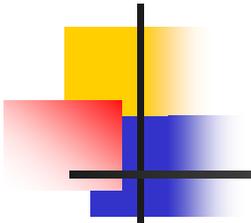
电气绝缘（气体、液体、固体及组合绝缘）在运行状态所受各种因素（温度、频率、场强）的影响其特性的变化，长期老化的机理等

电气绝缘及其结构（包括均匀与极不均匀场）在各种外施电场（直流、交流、雷电与操作过电压等）中的放电机理和击穿特性



- 
- 2、雷电过电压和内部过电压的成因、限制措施及防护，研究如何将过电压限制在最低水平
 - 3、绝缘水平与绝缘配合的制定
 - 4、电气设备绝缘预防性试验
 - 5、电气设备在线检测和监测与故障诊断技术
 - 6、电气设备状态维修技术



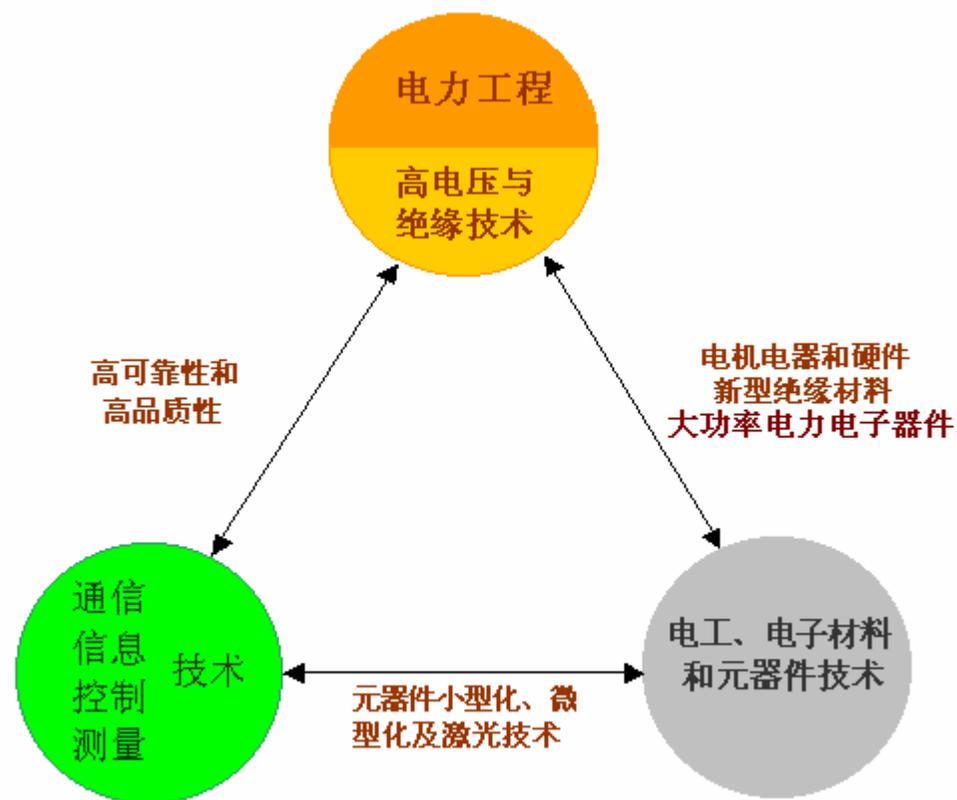


六、《高电压技术》特点

- 在目前电力工程类专业的教学计划中，《高电压技术》是唯一研讨电力系统过电压和绝缘问题的一门课程。实属强电方面各个专业学生知识结构中不可或缺的组成部分。
- 以实验为基础，具有理论性强、实践性强、跨学科多的特点



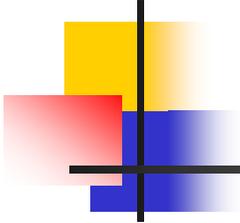
电气-电子工程学现状和高电压与绝缘技术所处位置



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC





The End



华北电力大学
North China Electric Power University

高电压与电磁兼容北京市重点实验室
Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC

