



电网雷电防护技术与工程实践

谷山强

国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司

国家能源雷电灾害监测预警与安全防护重点实验室

中国气象局雷电重点开放实验室(培育类)

电网雷击风险预防湖北省重点实验室

2023年10月17日



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

C
O
N
T
E
N
T
S

目录



一、背景介绍



二、电网雷电监测



三、电网雷害风险评估



四、最新研究进展



五、结语与展望

⚡ 气象是影响电网设备安全运行和电力可靠供应的重要因素

我国**电力设备广泛分布**，覆盖典型宏观气候区、典型微观气象条件区、典型地形地貌区。部分设备所在区域**气象灾害频繁**，极易造成**设备设施受灾停运**，引发大面积停电事故。

国务院印发了国发〔2022〕11号《气象高质量发展纲要（2022—2035年）》提出**实施“气象+”赋能行动**。强化电力气象灾害预报预警，做好电网安全运行和电力调度精细化气象服务。



山火



雷电



暴雨



台风

⚡ 雷电是联合国公布的十大自然灾害之一

- 全球每天平均发生**800万**次雷电
- 雷电破坏力巨大，会引发森林大火、油库爆炸、人身伤亡，造成重大财产损失



牲畜死亡



风力发电机损毁



油库爆炸



森林大火



雷电地闪放电



雷击造成**直流线路降功率、降压运行、交流线路导地线断股**等次数明显增多，间接引发**直流线路换相失败、交流线路设备损坏**等情况逐年凸显，甚至造成多起电网大停电事故，其社会影响巨大。



绝缘子灼蚀



导线断股



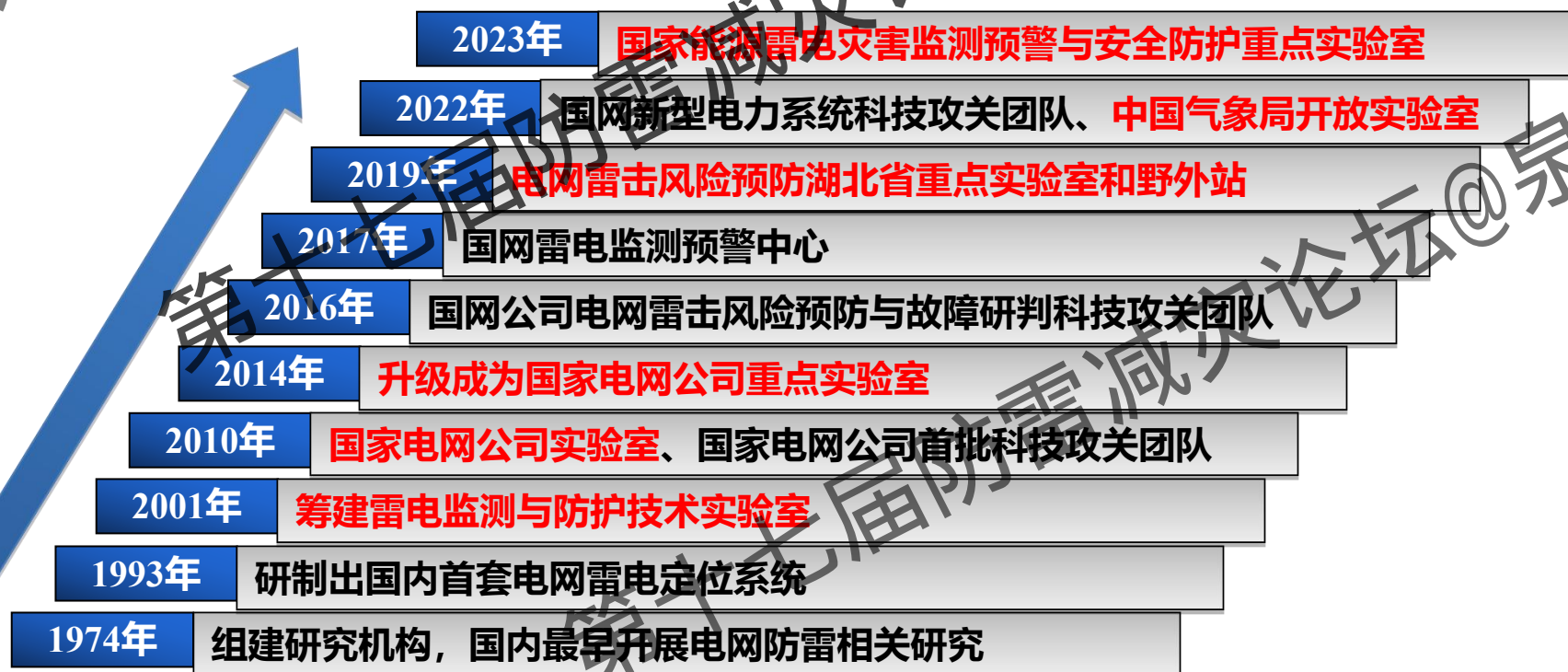
绝缘子炸裂



大面积停电



实验室**源于武汉高压研究所建所之初**，是国内最早开展电网防雷的研究机构，上世纪九十年代研制出国内首套雷电定位系统，**获国家科技进步奖**，**2001年正式筹建**雷电监测与防护技术实验室，**2010年评定**为国网实验室，**2014年升级**为国网重点实验室，**2019年成为**湖北省重点实验室和野外科学观测站，**2022年成为**国网第一批新型电力系统科技攻关团队、**气象局开放实验室**，**2023年成为**国家能源重点实验室。

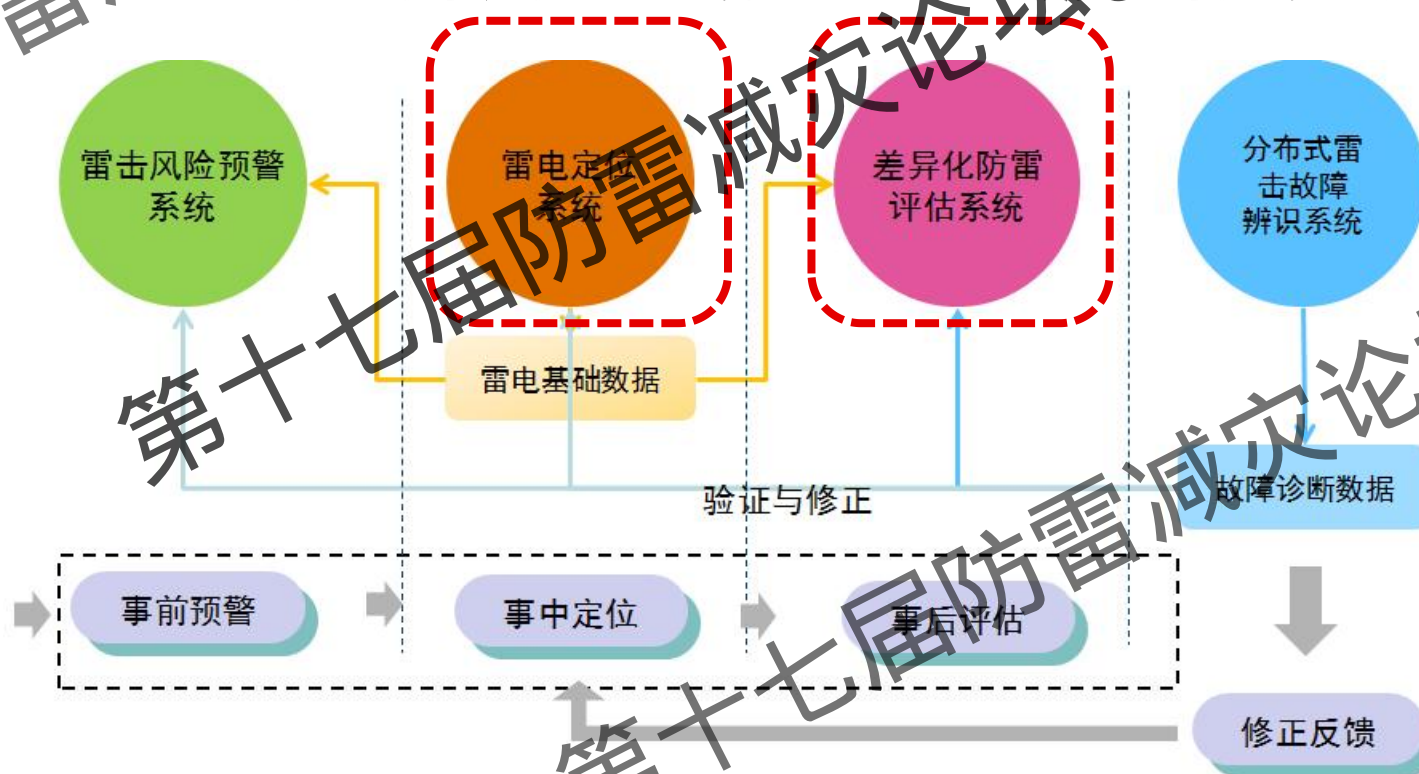




按照“**发现-分析-解决-预防**”问题的路线，实验室围绕**雷击监测、评估、防护和预警**四个方向，开展对雷电的监测、预警、防护技术攻关，提升能源行业雷电防护能力、减少雷击导致故障和灾害。



针对电力行业致灾机理和雷害特征，持续开展长达20年重要核心技术装备的研发和实践，目前已基本建成“事前预警-事中监测-事后治理”的全过程电网防雷体系，并将优秀成果赋能社会，提升社会及国际影响力。





国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

C
O
N
T
E
N
T
S

目录



背景介绍



二、**电网雷电监测**



三、电网雷害风险评估



四、最新研究进展

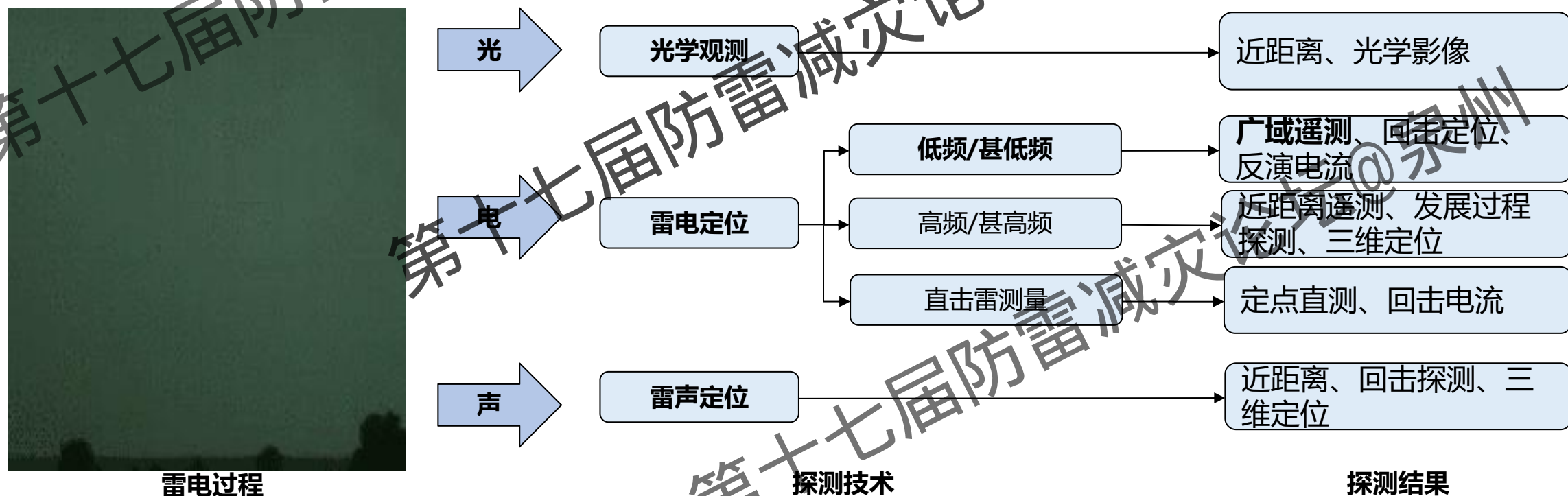


五、结语与展望



雷电监测技术

雷电过程伴随**声、光、电磁多种类型信号**，频谱宽、要素广，可采用不同技术手段进行探测。
包括**雷电光学观测、雷声探测定位、雷电电磁波多频段探测**等。
基于电磁信号的雷电监测定位技术更加广泛地应用于实际生产运行中。





广域雷电监测系统原理

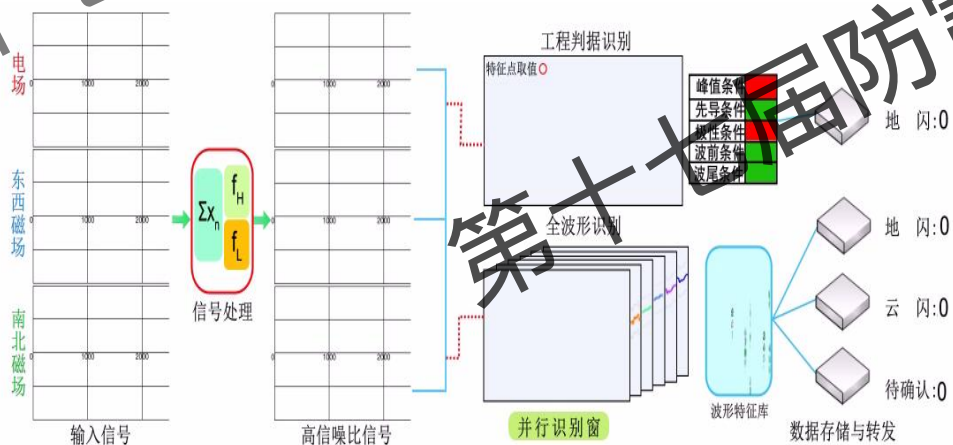
雷电监测系统通过多个探测站同步探测雷电产生的电磁信号，结合综合定位模型，能够实时获得雷电发生时间、位置、极性、幅值、回击次数等多项雷电基础参数数据。





电网雷电监测技术现状

电网现行数字式雷电探测站，**采用地闪信号全波形识别方法**，大幅提升了雷电探测效率，解决了长期以来同收率较低的难题。结合我国电网分布特征，实现了**考虑电磁波传播路径补偿的参数反演和探测站优化组合的高精度时差定位方法**，建立了具备高算力性能，多业务服务能力，可扩展应用的广域雷电监测系统。



雷电地闪信号全波形准确识别方法

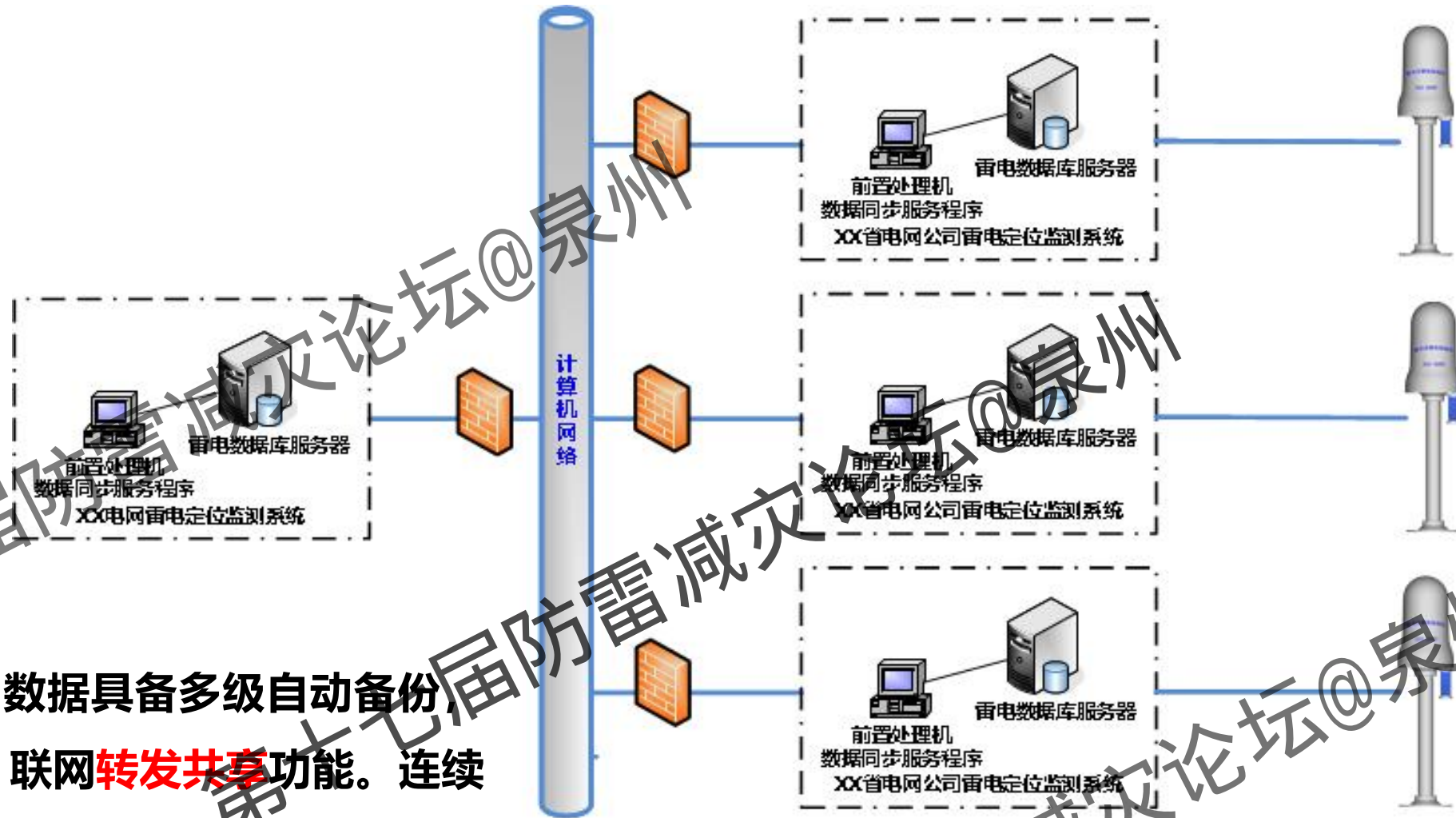
反演计算公式

$$\text{磁场 } H_z(r, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{R^3} i(z', t - R/c) + \frac{r}{cR^2} \frac{\partial i(z', t - R/c)}{\partial t} \right] dz'$$

$$\text{电场 } E_z(r, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \int_{-L}^L \left[\frac{2(z-z')^2 - r^2}{R^5} \int_0^L i(z', \tau - R/c) d\tau + \frac{2(z-z')^2 - r^2}{cR^4} i(z', t - R/c) - \frac{r^2}{c^2 R^3} \frac{\partial i(z', t - R/c)}{\partial t} \right] dz'$$

电磁波传播路径补偿与多探测站组合优化解算

雷电监测网数据具备多级自动备份，
自动召回补齐，**联网转发共享**功能。连续
运行近30年的。



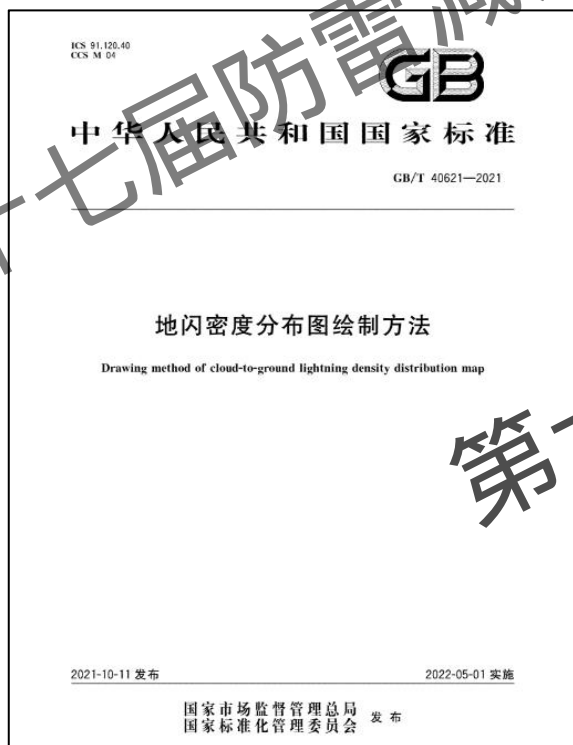
中心站级数据自动补齐

探测站级数据自动召回



雷电监测数据应用-技术标准

牵头修订了国标《基于雷电定位系统的地闪密度》（GB/T 37047-2018）、制定了《地闪密度分布图绘制方法》（GB/T 40621-2021）。



《地闪密度分布图绘制方法》国标



$$\text{第}k\text{个网格的地闪密度值 } N_{Gk} = \frac{\text{第}k\text{个网格中发生的地闪次数}}{\text{年限} \times \text{第}k\text{个网格的面积}}$$

单位: 个/(km²·a) 单位: a 单位: km² 单位: 个

A级	$N_g < 0.78$
B1级	$0.78 \leq N_g < 2.0$
B2级	$2.0 \leq N_g < 2.78$
C1级	$2.78 \leq N_g < 5.0$
C2级	$5.0 \leq N_g < 7.98$
D1级	$7.98 \leq N_g < 11.0$
D2级	$11.0 \leq N_g < 15.5$
E级	$N_g \geq 15.5$

地闪密度及等级划分



获取了雷电流幅值累积概率分布曲线及其表达式。

$$P(>I)=\frac{1}{1+(I/a)^b}$$

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
a (kA)	35.11	34.11	33.02	32.93	30.16	30.00
b	2.71	2.82	2.81	2.79	2.74	2.69
年份	2011	2012	2013	2014	十年平均值	
a (kA)	32.17	29.51	29.97	28.32	31.33	
b	2.95	2.81	2.77	2.73	2.76	

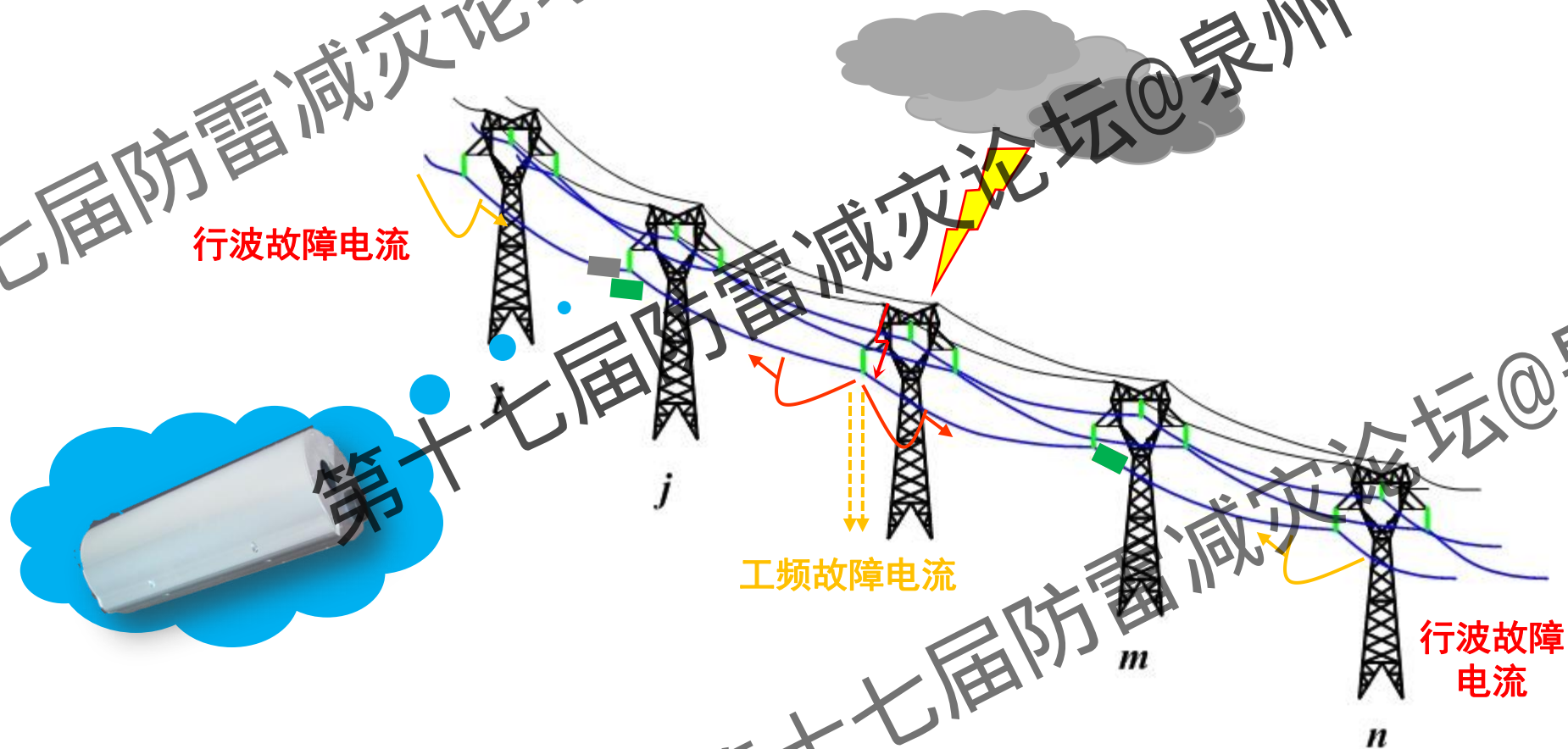


国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

二、电网雷电监测



输电线路雷击监测技术





目录



背景介绍



二、电网雷电监测



三、电网雷害风险评估



四、最新研究进展



五、结语与展望



电网雷害风险评估

我国电网防雷多年来一直执行过电压保护规程，虽然考虑了雷电活动、地形对雷击风险的影响，但精细化程度不够，采用经验公式或工程模型进行评估，雷击风险评估不够准确。

雷击理论模型及运行经验均表明，**防雷性能与雷电活动、地形地貌、线路杆塔参数等因素密切相关。**

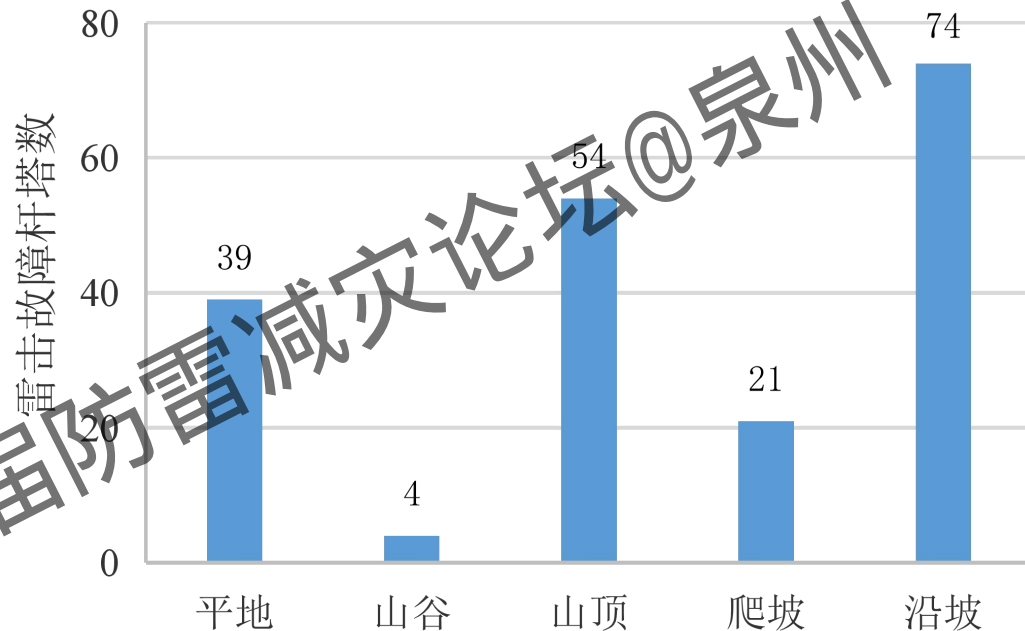
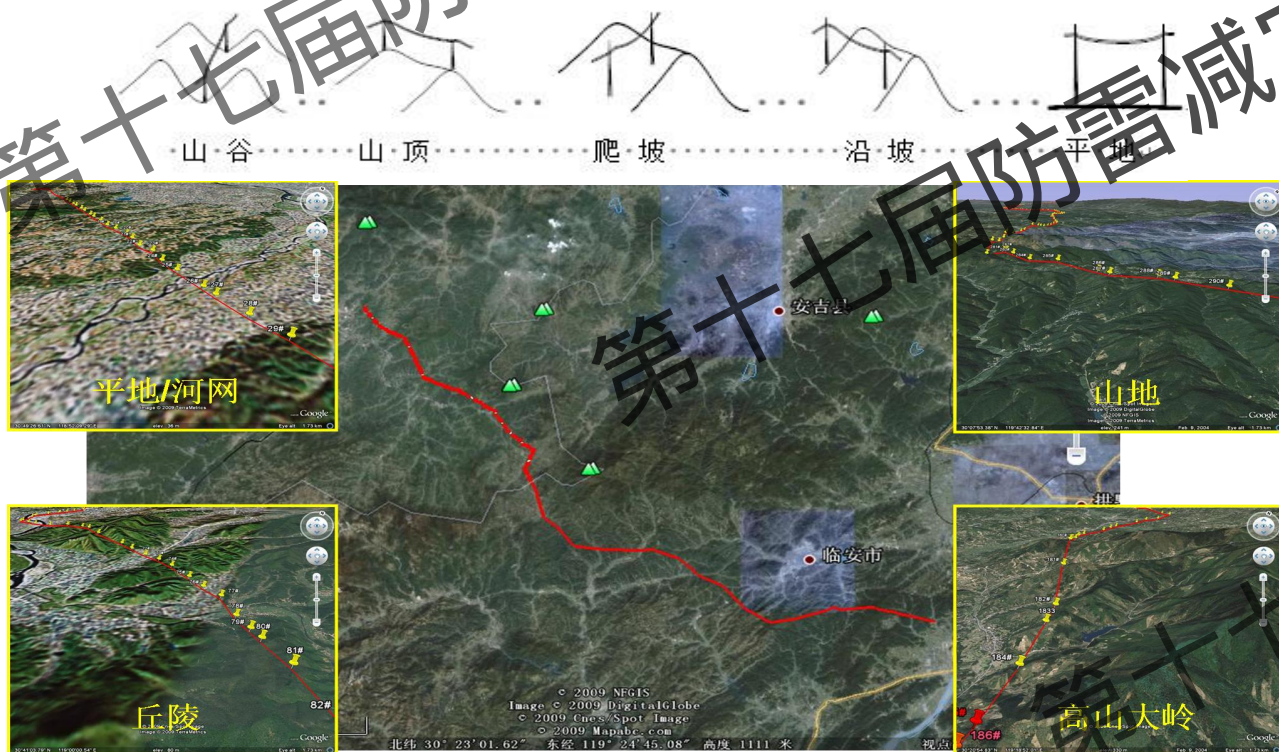




电网雷害风险评估

山谷、山顶、爬坡、沿坡、平地等不同地貌，对线路绕击防雷性能的影响显著不同。

330kV及以上雷击故障杆塔，沿坡地形的雷击故障杆塔最多，占比38.5%，再加上山顶地形合占2/3，山谷仅占3.1%。

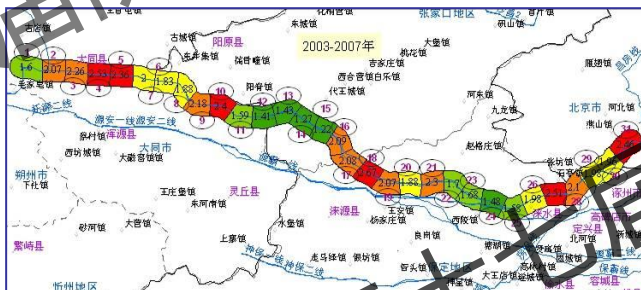




电网雷害风险评估

基于线路雷电活动差异、输电线路结构差异、线路地形地貌差异提出了输电线路雷害风险评估技术

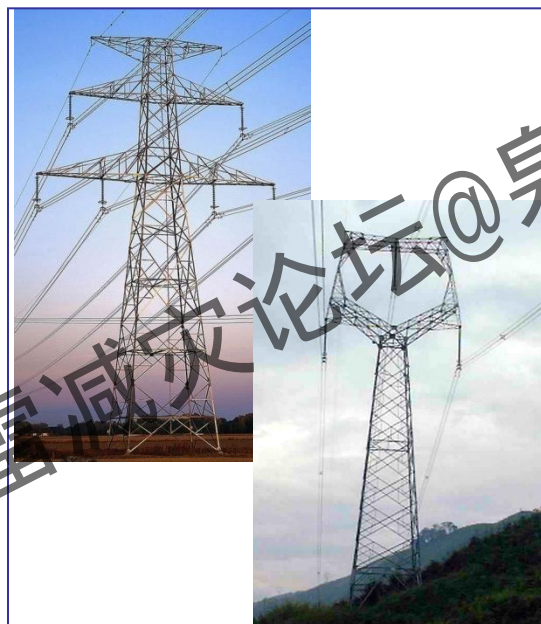
线路雷电活动差异



输电线路结构差异

杆号	塔型	档距 (m)	绝缘子串型	
325	ZB5	-4.5	402	XWP2-160
326	ZB5	25	343	XWP2-160
327	ZB3	27	344	XWP2-160
328	ZB6T	35	350	XWP2-160
329	DG1	40	350	FC-210P/170
330	ZB6T	164	177	LXHY3-160
331	JG1	77.5	307	FC-210P/170
332	DG1	9.5	221	FC-210P/170
333	SNJ30	91	548	FC-210P/170
⋮	塔型		绝缘配置	

线路地形地貌差异

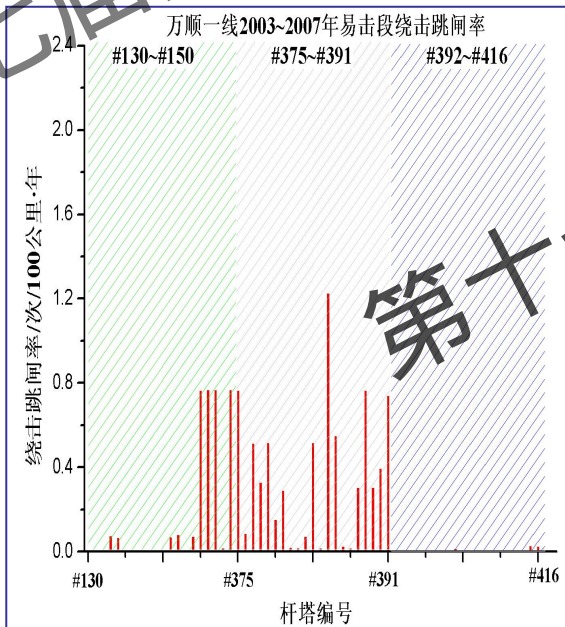




电网雷害风险评估

基于线路雷电活动差异、输电线路结构差异、线路地形地貌差异提出了输电线路雷害风险评估技术

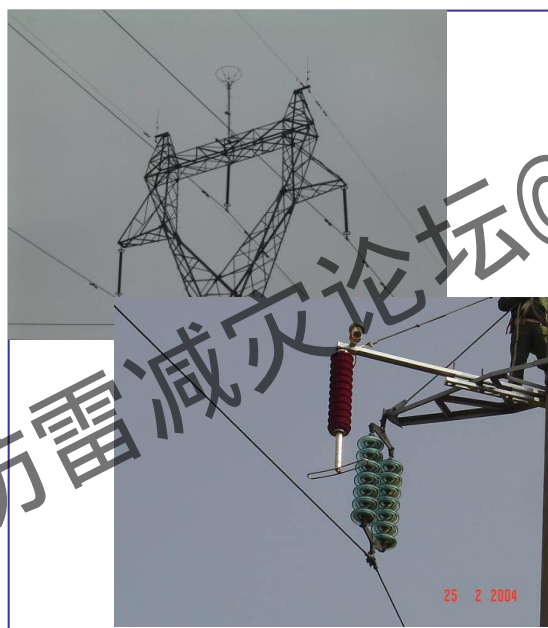
耐雷性能差异



影响因素差异



防雷措施差异



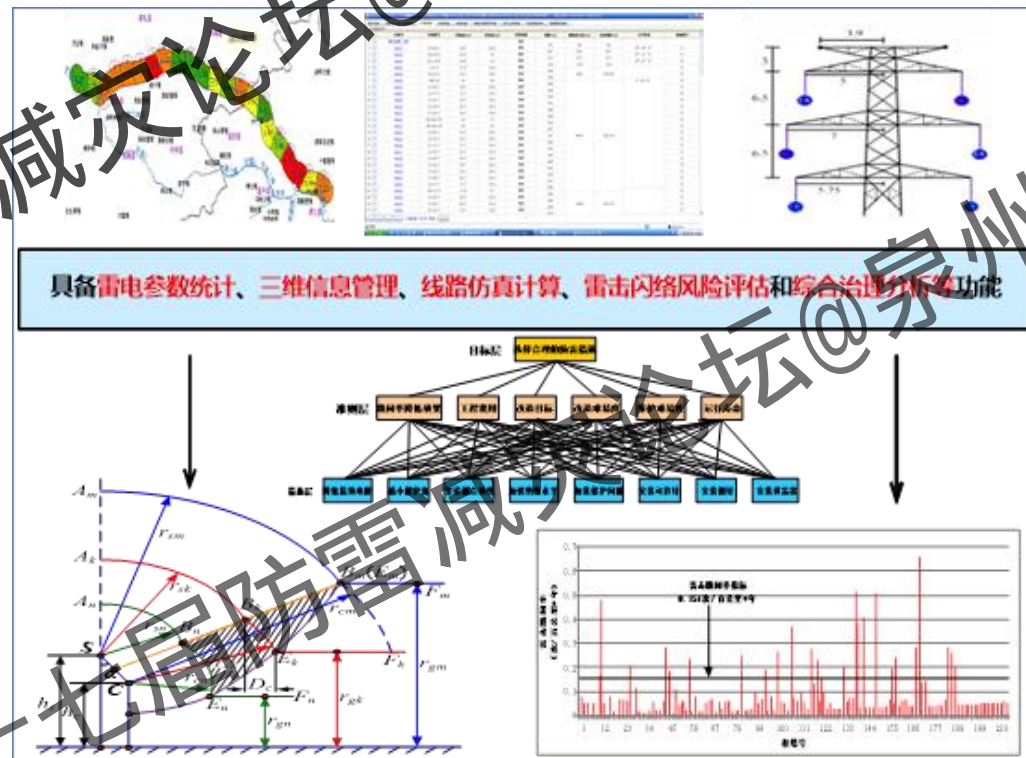
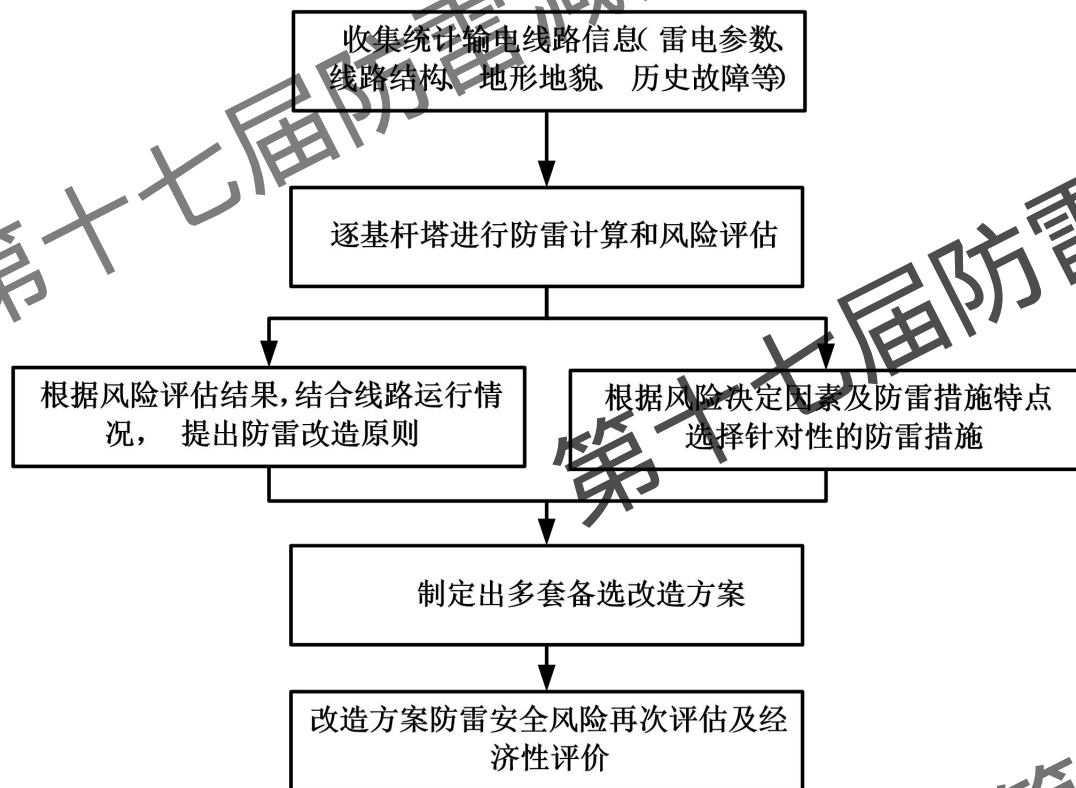


三、电网雷害风险评估



电网雷害风险评估

输电线路雷害风险评估流程





国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

C
O
N
T
E
N
T
S

目录



背景介绍



二、电网雷电监测



三、电网雷害风险评估



四、最新研究进展



五、结语与展望

随着新型电力系统的推进，**高比例新能源和电力电子设备广泛接入**，对电网防雷提出了新的挑战。



新型电力系统示范区建设



电网安全运行挑战

注：新型电力系统建设及运行挑战来源于陈国平《关于新型电力系统重大技术方向的思考》



未来，为全面响国家“**碳达峰、碳中和**”发展理念，助力构建以新能源为主体的**新型电力系统**，实验室将进一步实现**雷电灾害精准监测、雷击风险动态预警、雷击故障主动防御**，为**新型电力系统的安全稳定运行保驾护航**。



第十七届防雷减灾论坛@泉州

汇报完毕，谢谢大家！

第十七届防雷减灾论坛@泉州

第十七届防雷减灾论坛@泉州