

NUIST >>>

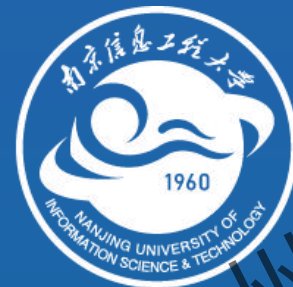
三维高分辨率多上行先导 地闪连接模型的建立与应用

>> 南京信息工程大学

>> 报告人：谭涌波

郭秀峰、陈之禄、张冬冬、张鑫、王艺儒、余骏皓、
雷艺楠、林雨荷、樊佳乐、王雪雯、吴萌

明德格物 立己达人



南京信息工程大学
Nanjing University of Information Science & Technology



南京信息工程大学
Nanjing University of Information Science & Technology

研究背景

明德格物 立己达人



地闪连接过程

- 地闪具有大电流、高温、强电磁辐射等特征，易对人类的生产生活产生威胁；
- 城市中高建筑物越来越多，形成高建筑物群，改变了下垫面条件，成为雷电的高发区；
- 开展对城市建筑物群的地闪连接过程研究有助于加深对雷电物理过程的认识，为城市高建筑物群的雷电防护提供理论基础与思路；
- 国内外对于建筑物群地闪连接过程的观测资料较为丰富，观测工作无法进行敏感性试验，难以定量地判断各种因素的具体影响，可建立仿真模型相互补充。



物理模式

优点：侧重于上行先导初始以及传播微物理过程的描述。

缺点：几乎不考虑下行先导的分叉情况，难以探讨闪电空间形态对地闪连接过程的影响。



随机模式

优点：计算量小，能够较好的体现闪电通道的空间结构以及落雷点分布的随机性。

缺点：在与先导起始、传播等相关的物理过程模拟上存在不足。



南京信息工程大学
Nanjing University of Information Science & Technology

第十七届防雷减灾论坛@泉州

模式发展

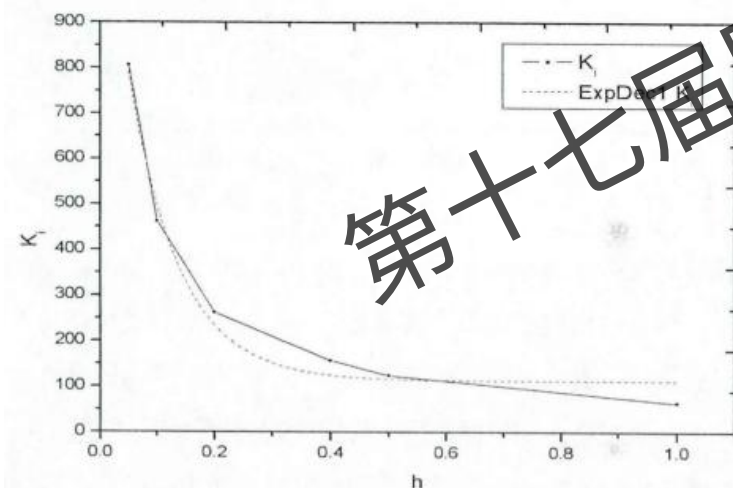
第十七届防雷减灾论坛@泉州

第十七届防雷减灾论坛@泉州

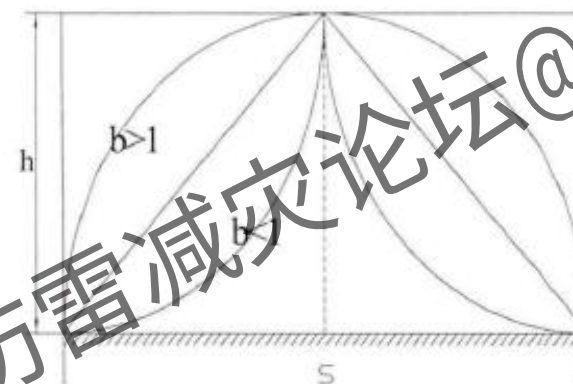
明德格物 立己达人

使用二维五点有限差分法，研究模拟域分辨率对建筑物及其尖端处大气电场畸变系数的影响，并解释了导致此影响的原因。

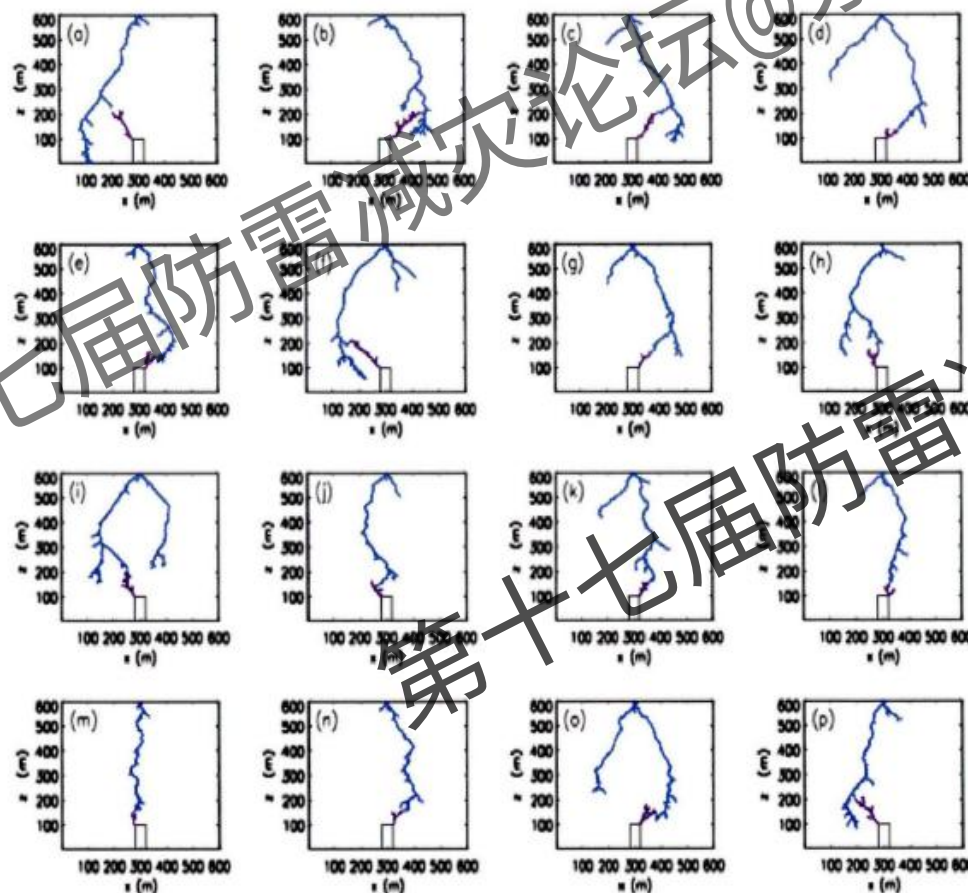
利用有限元法，模拟不同形状建筑物对大气电场畸变的影响，揭示了建筑物的形状与大气电场畸变之间的关系。



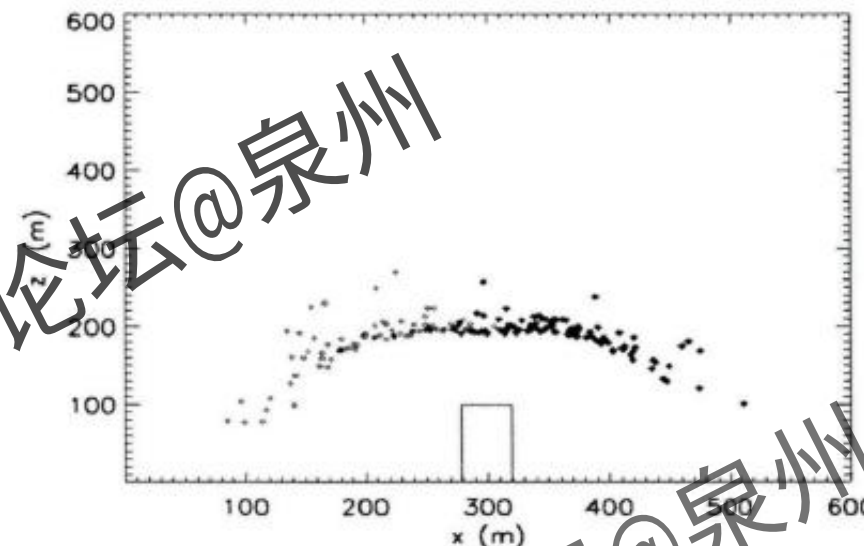
畸变系数与分辨率的关系



建筑物顶部形状示意图



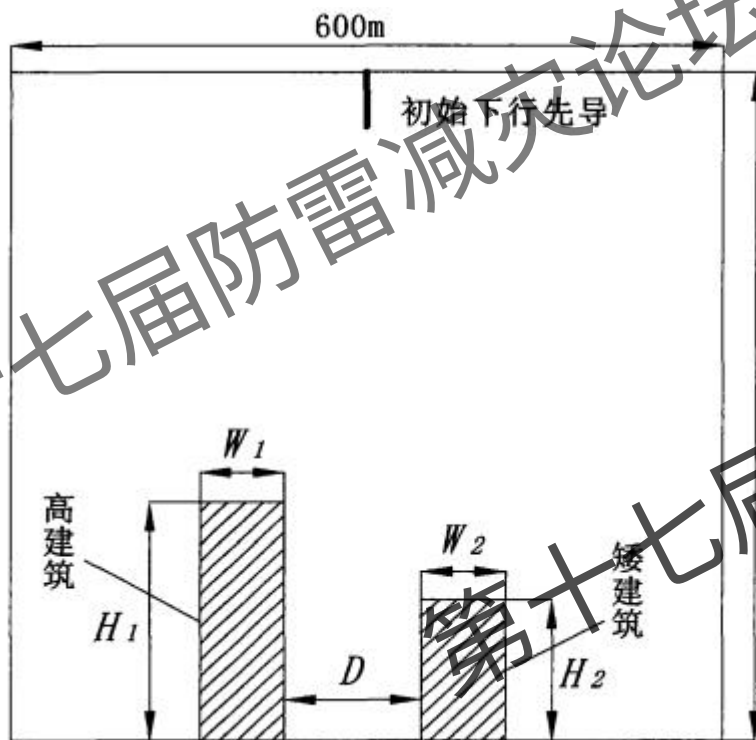
闪电发展的空间形态



上行先导触发时下行先导的尖端位置统计

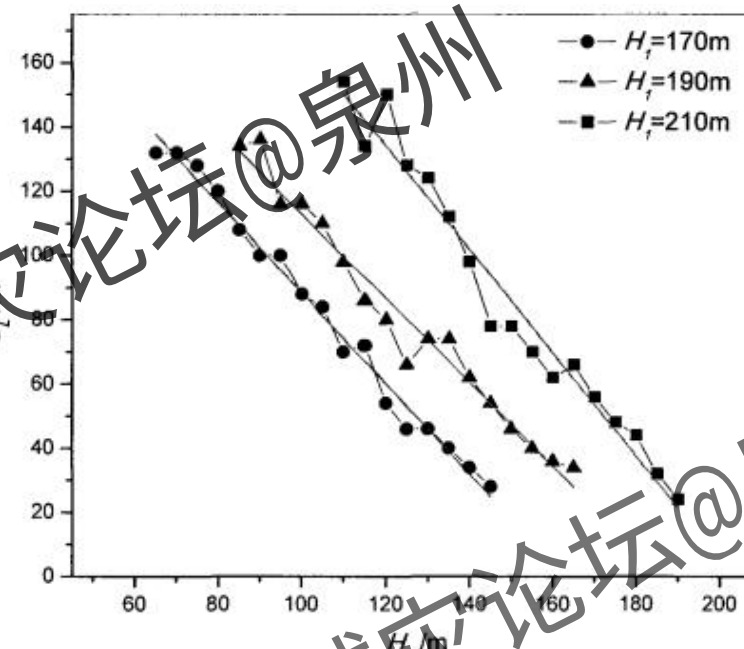
当下行先导发展到离建筑物一定范围内时，会在建筑物上产生上行先导，这一范围主要分布在建筑物上方200m内的一个椭球形空间内，该范围受到建筑物特性及闪电强度等特性的影响。

高建筑物对周围建筑物雷击保护距离的研究



模拟结构图

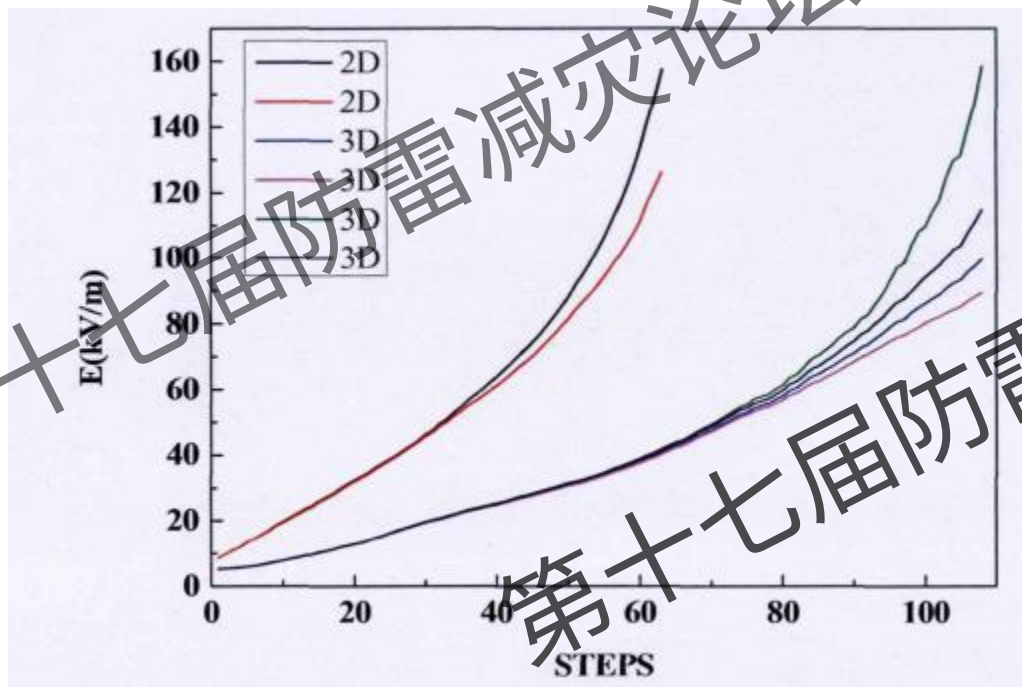
明德格物 立己达人



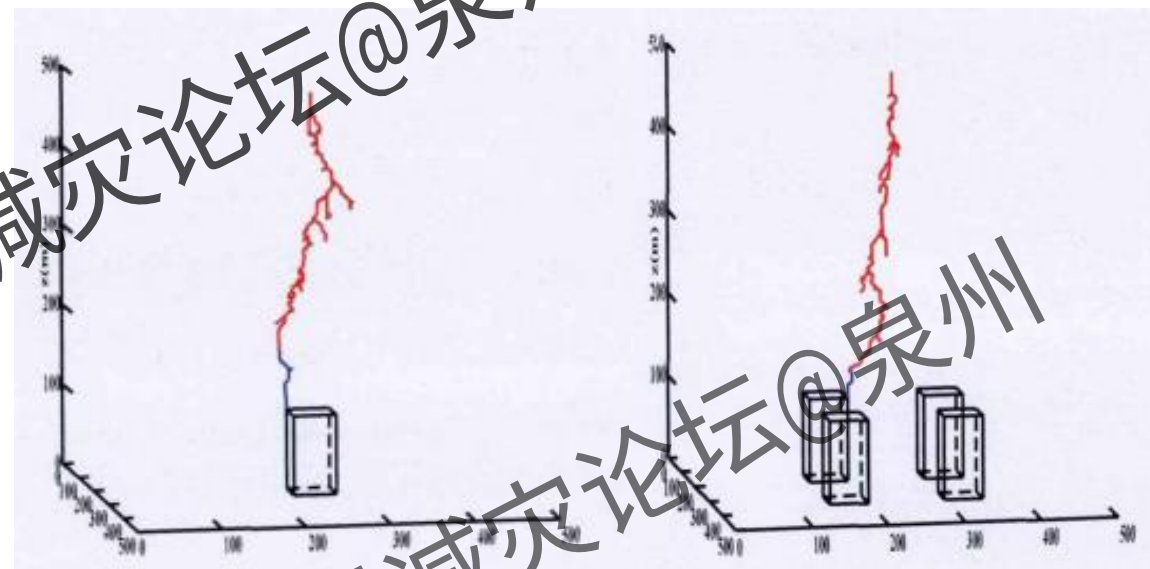
不同高度的高建筑物条件下临界保护距离 S_L 随矮建筑物高度 H_2 变化的关系曲线

临界保护距离：高建筑物能够完全保护矮建筑物时建筑物之间的距离 D + 矮建筑物宽度 W_2

建立三维模式的必要性

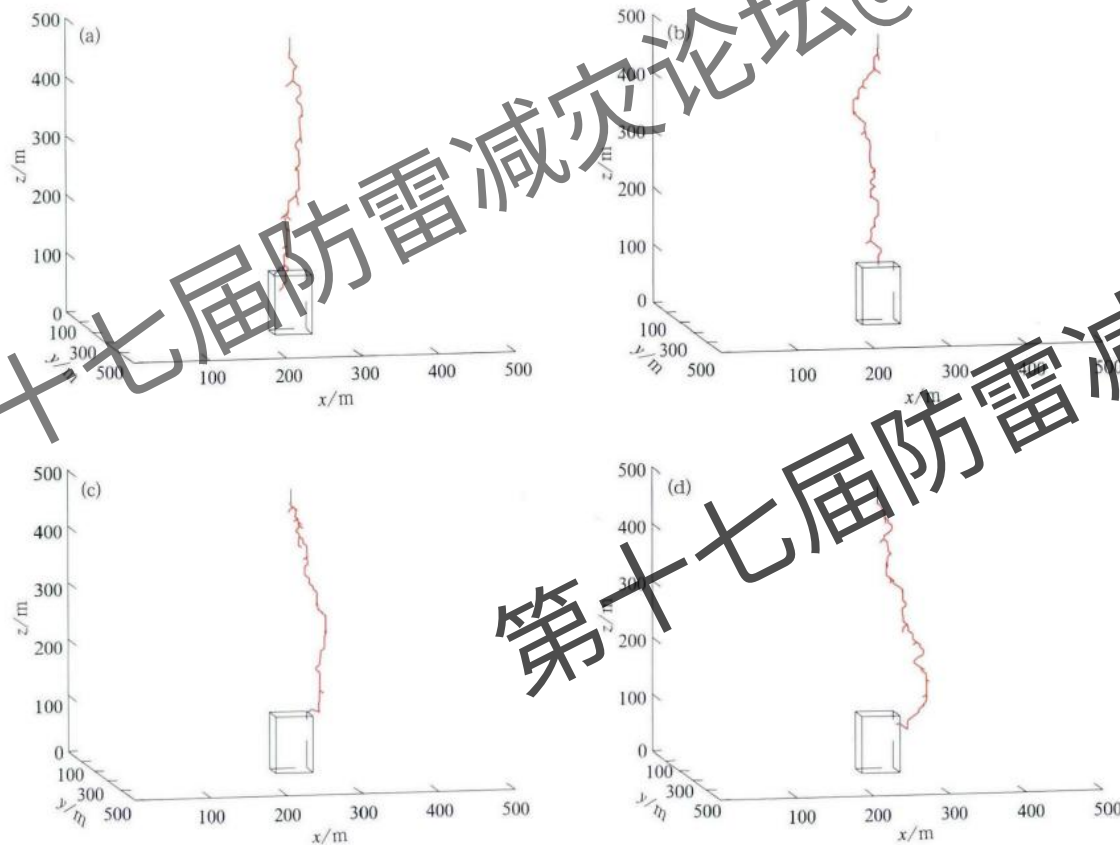


二维和三维模型中尖端电场值的差异



实现区域化建筑物群的模拟

对建筑物上侧击雷电现象进行模拟并分析



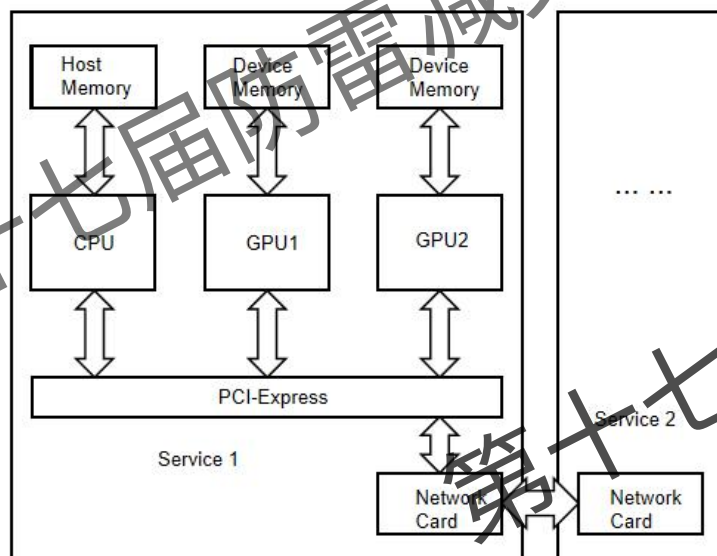
- 击中建筑物侧面的情况占总模拟次数的 7 %;
- 建筑物尖端电场强度的大小是侧击雷电产生的重要条件;
- 下行先导初始电位及位置是影响侧击雷电发生的主要因素;
- 建筑物特性是影响侧击雷电产生的重要因素。

三维近地面随机模式 (谭涌波等, 2017)

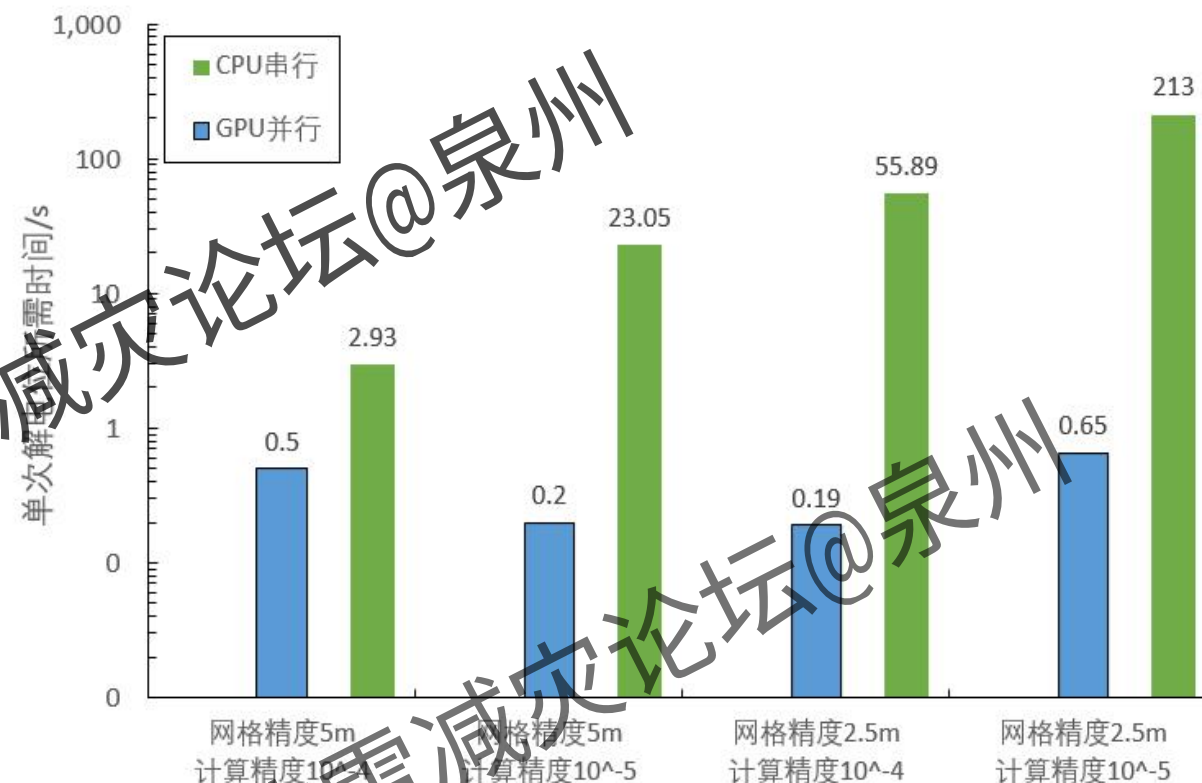
明德格物 立己达人

计算速度的进一步提高

闪电数值模式程序的主体部分放于CPU执行，
电场计算部分由GPU完成



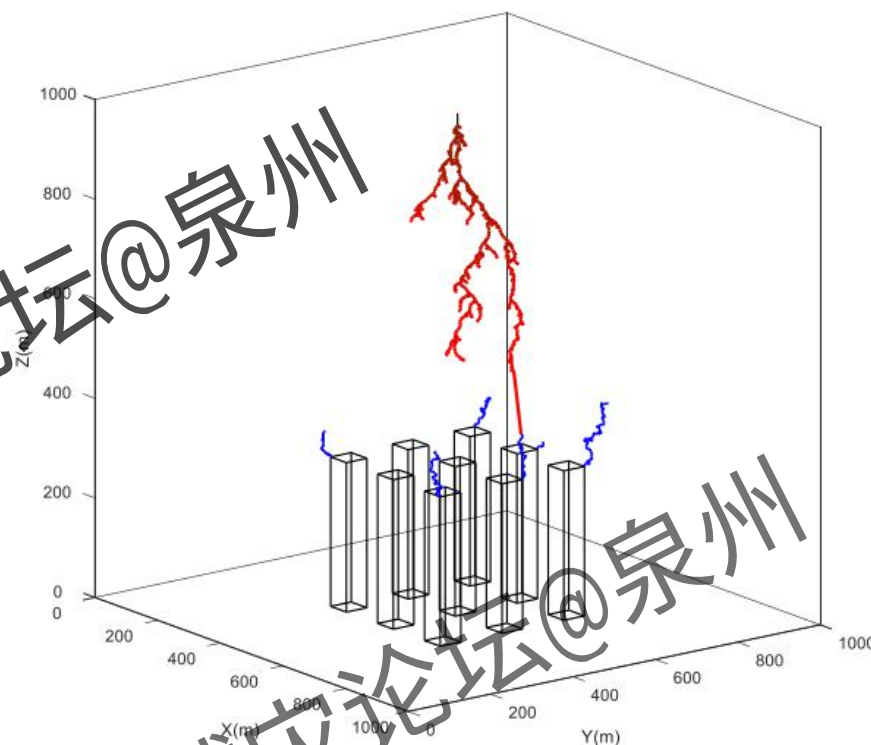
CPU与GPU内存分布架构示意图



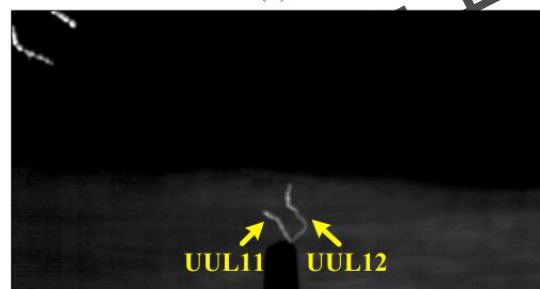
不同计算精度不同网格精度下计算时间对比图



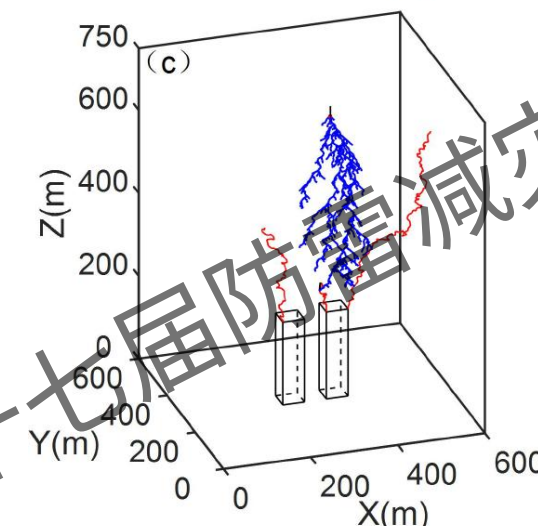
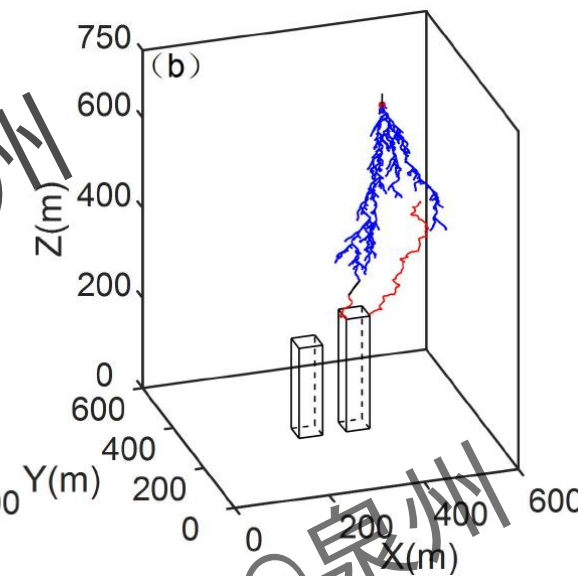
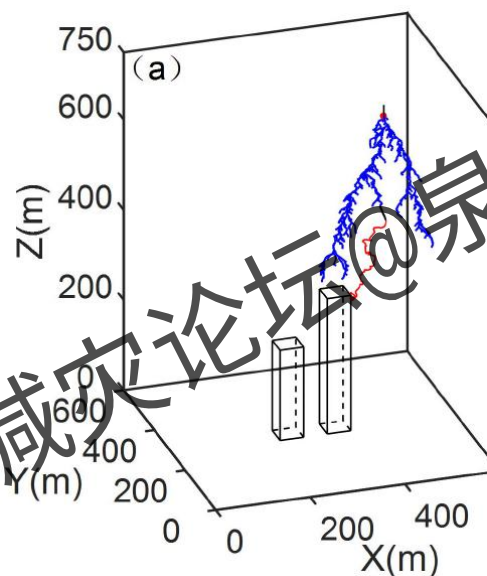
高建筑物群始发多个上行先导



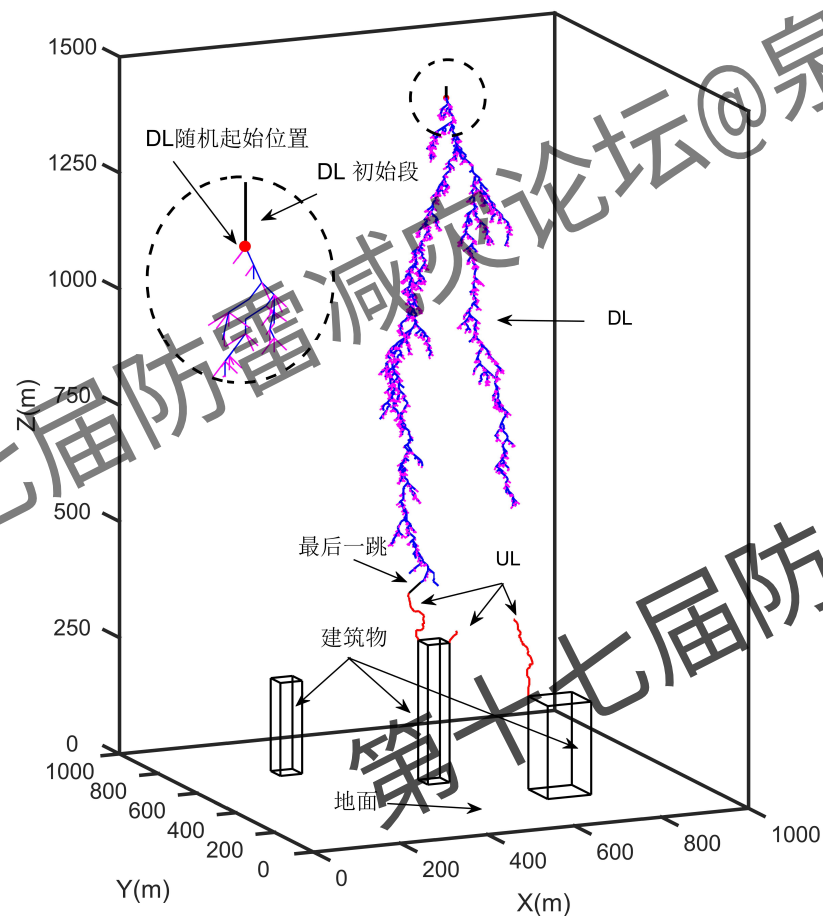
三维高分辨率多上行先导地闪连接模型
(Lightning Attachment Model with
MULs, LAMM)



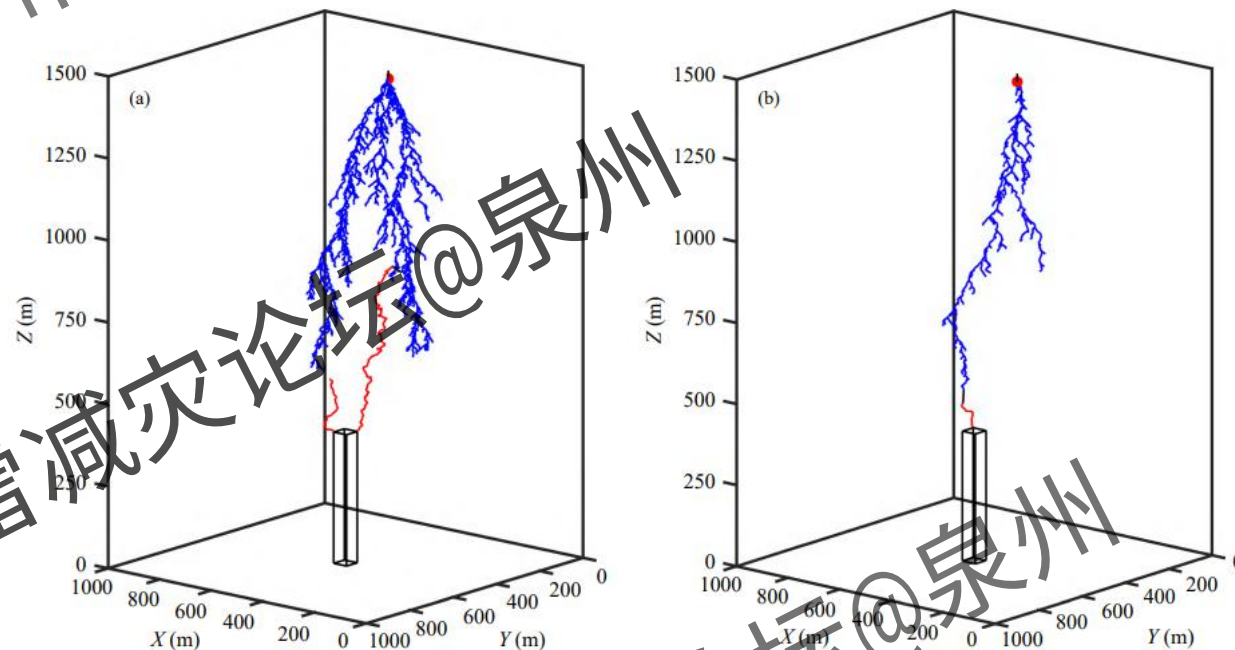
地闪连接过程中单建筑物上起始多个上行先导



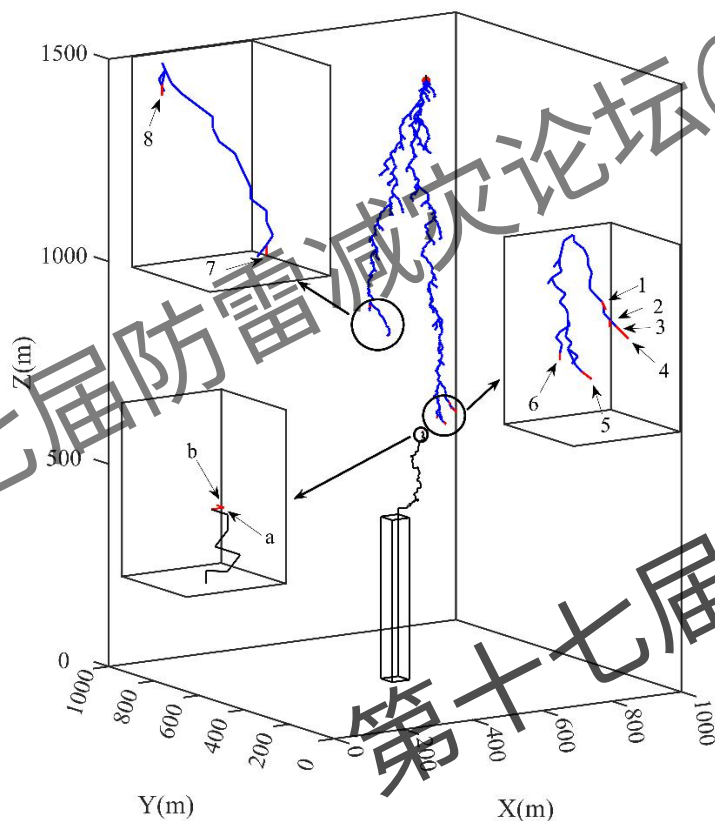
- (a) 单先导连接过程;
- (b) 单建筑多先导连接过程;
- (c) 多建筑多先导连接过程。



LAMM中考虑闪电退电离过程



LAMM修改前 (a)、后 (b) 模拟结果对比



上、下行先导相对发展示意图



南京信息工程大学
Nanjing University of Information Science & Technology

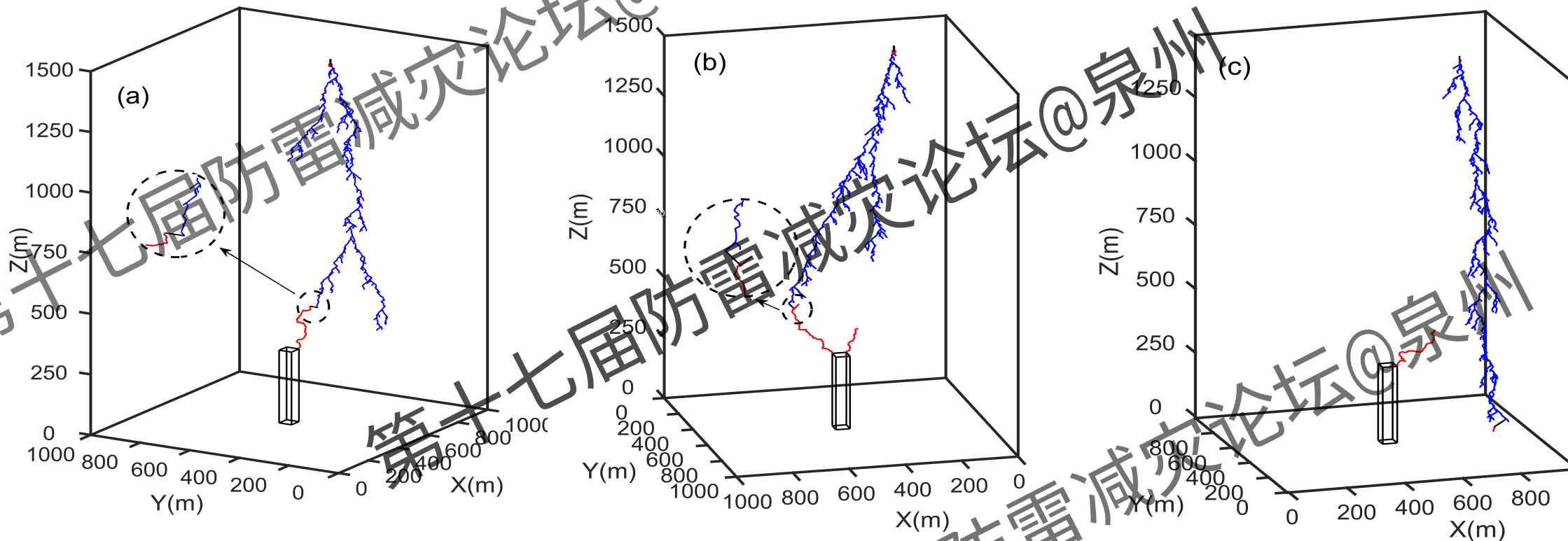
第十七届防雷减灾论坛@泉州

研究成果

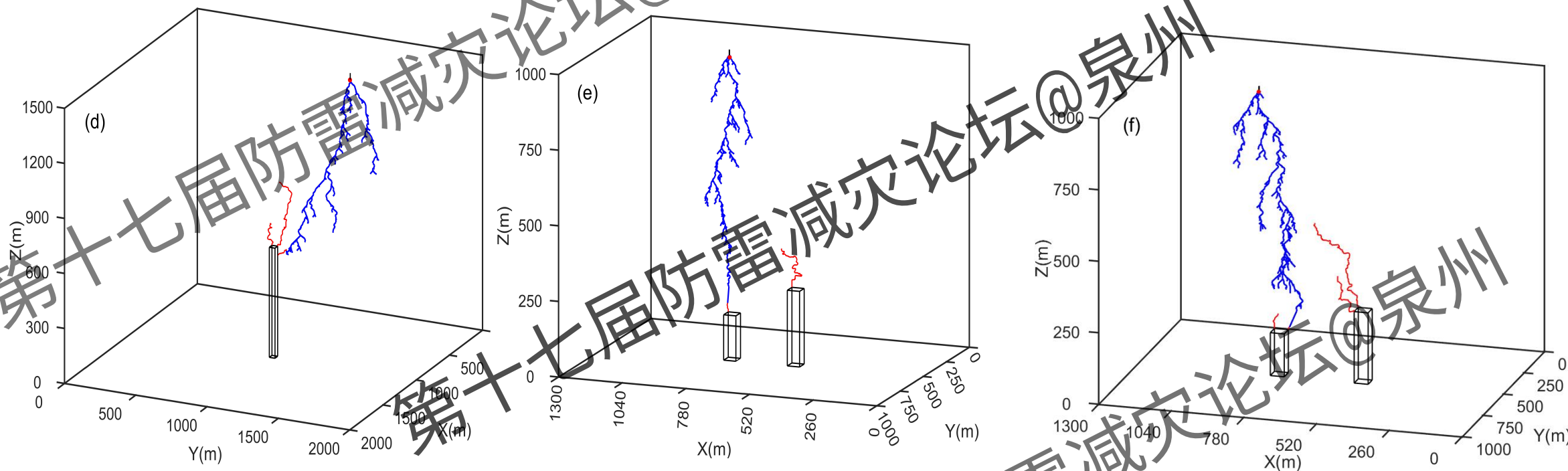
第十七届防雷减灾论坛@泉州

第十七届防雷减灾论坛@泉州

明德格物 立己达人



模拟结果展示

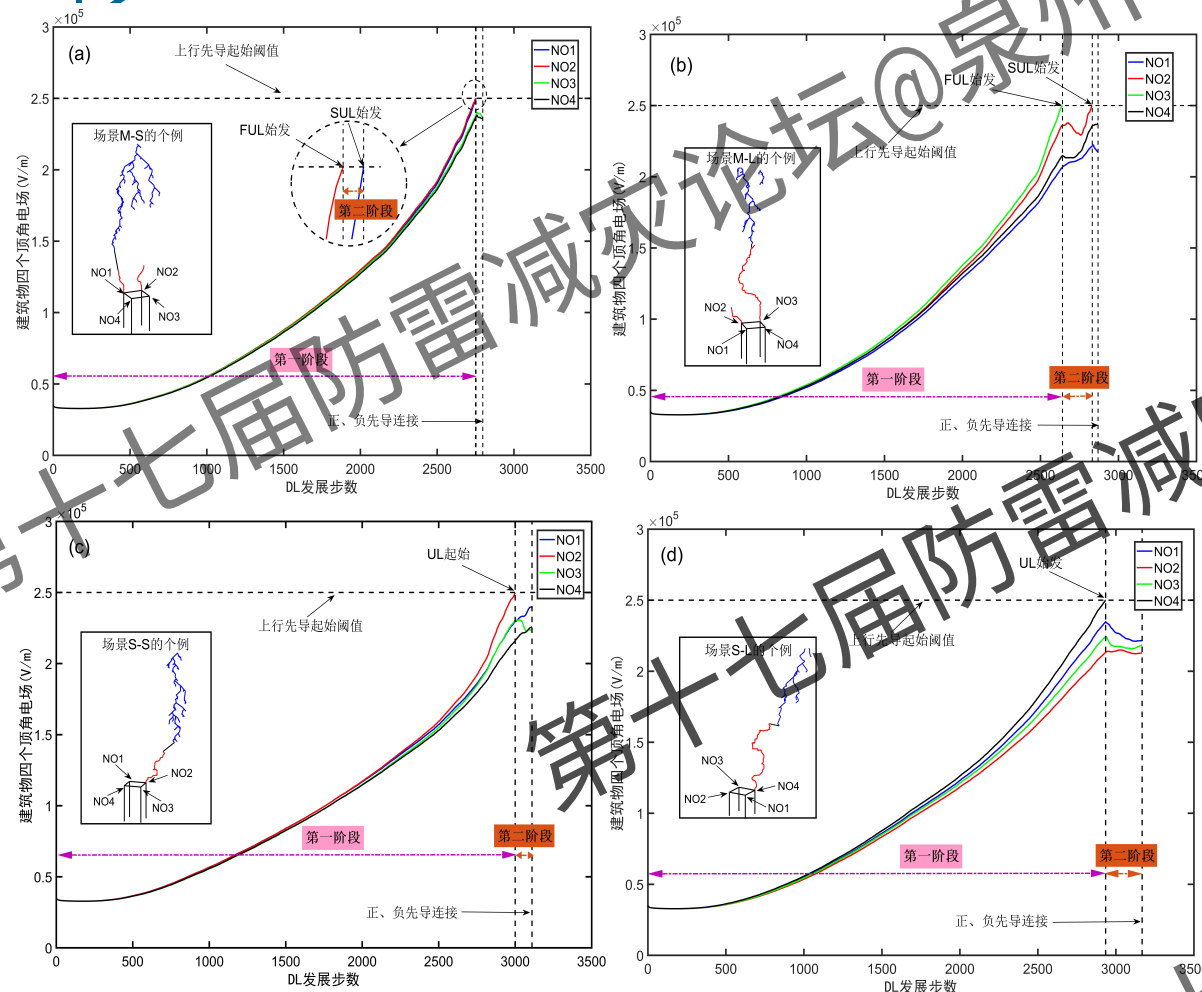


模拟结果展示

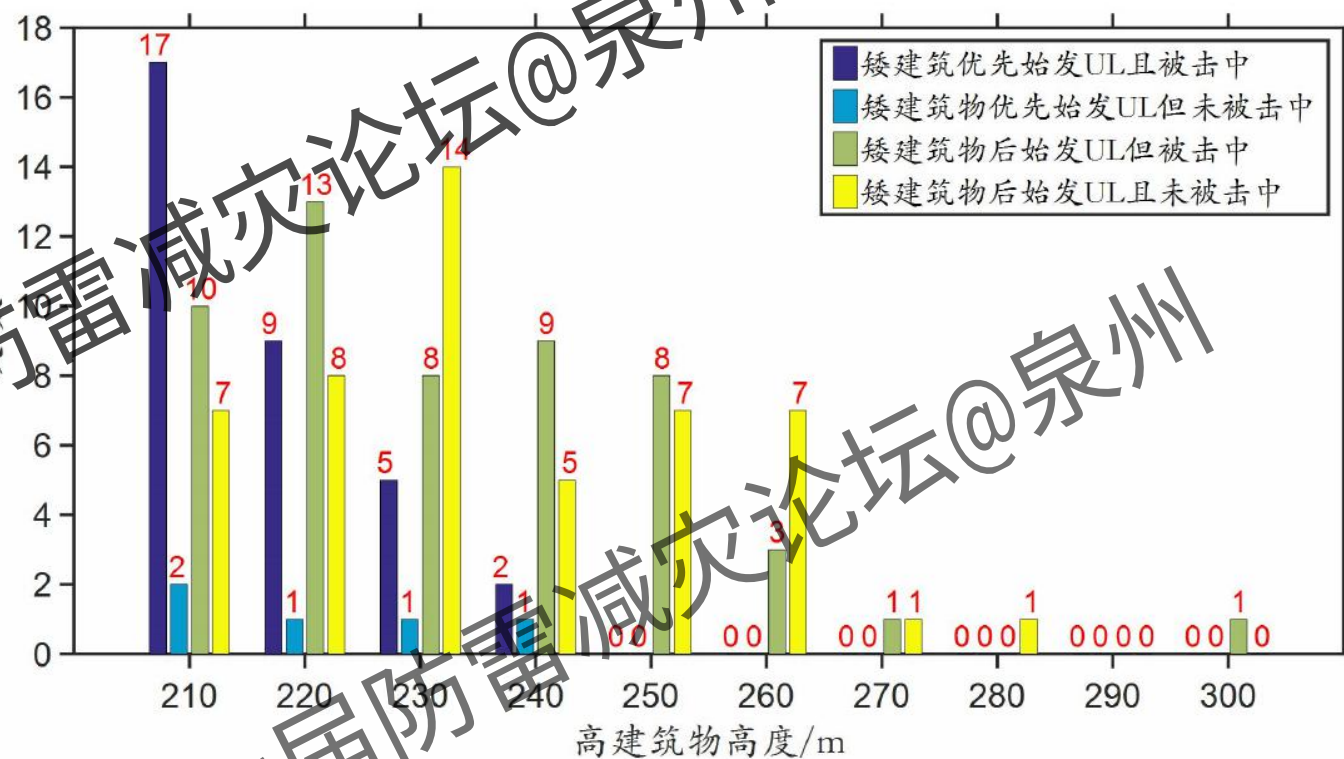
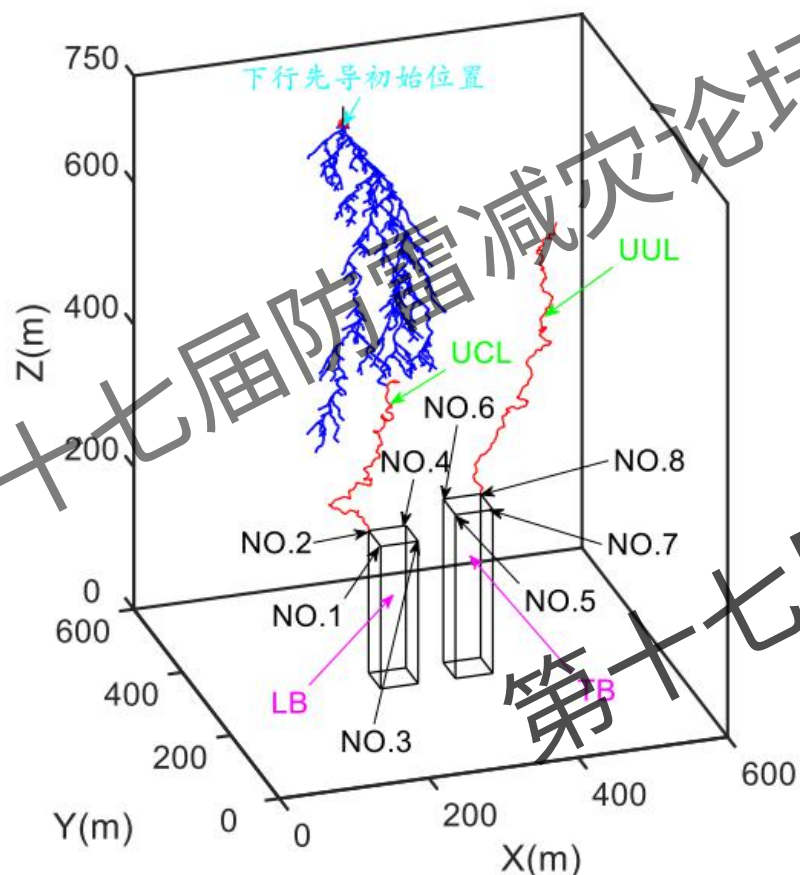
雷电物理理论研究：影响孤立建筑物多上行先导起始的相关因素分析

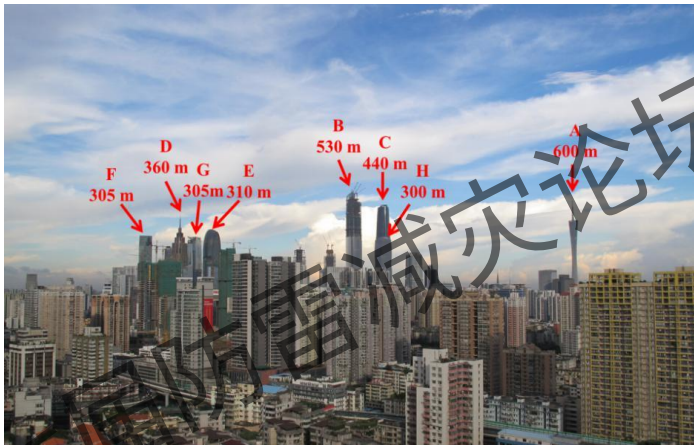
建筑物空间结构完全相同时，单建筑物上有时始发单先导有时始发多先导，这是由DL和首个始发的上行先导（First Upward Leader, FUL）随机的空间发展行为导致的。

- 正、负先导博弈过程亦会影响多上行先导的产生。



四种上行先导始发情况的个例及其建筑物尖端的电场变化图

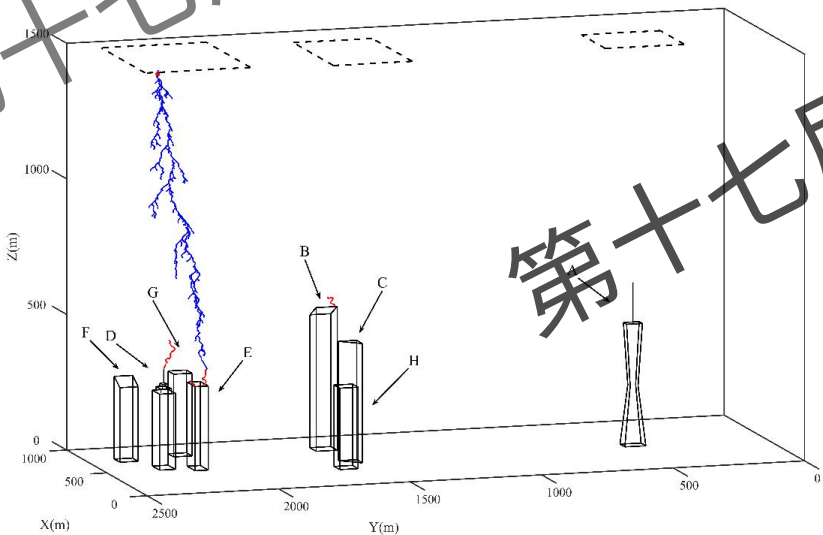
雷电物理理论研究：
高矮建筑物高度差对闪电连接过程的影响



雷电物理理论研究：
复杂建筑物群地闪连接活动分析

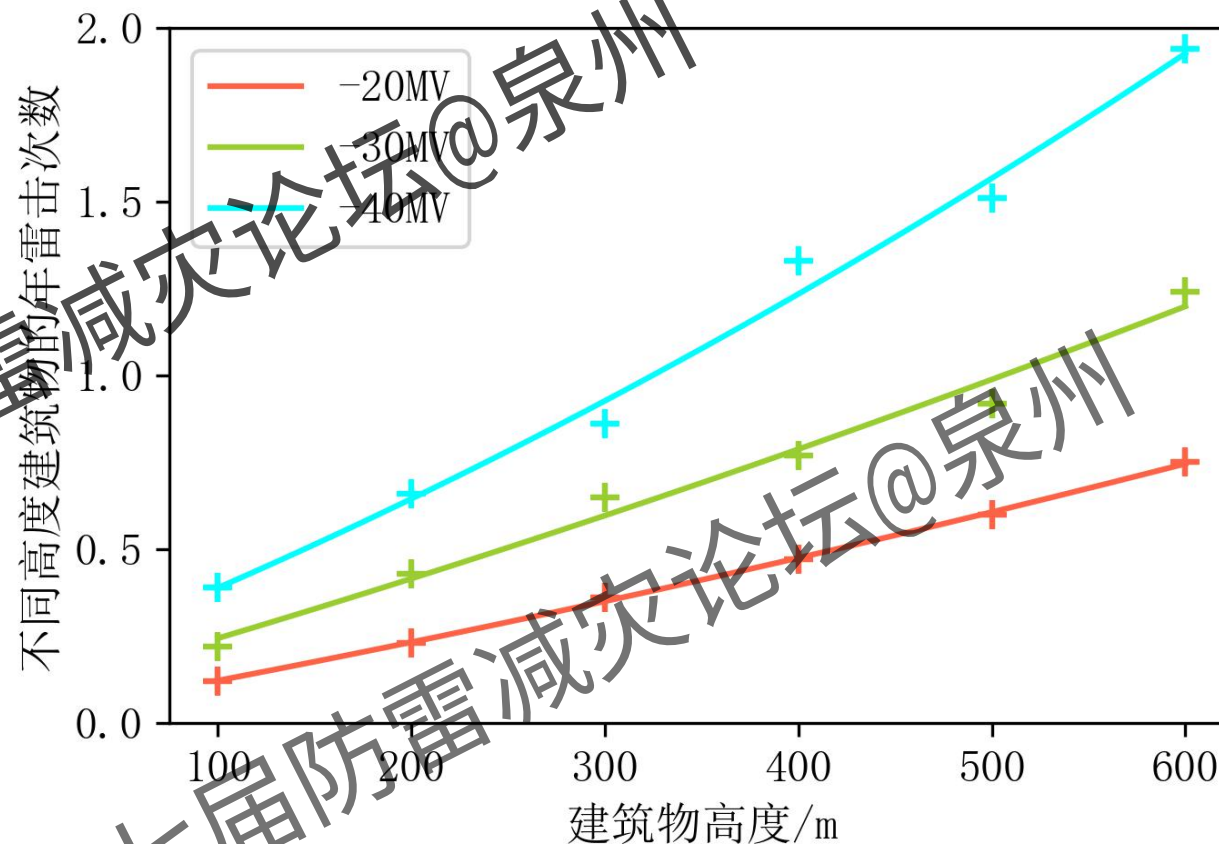
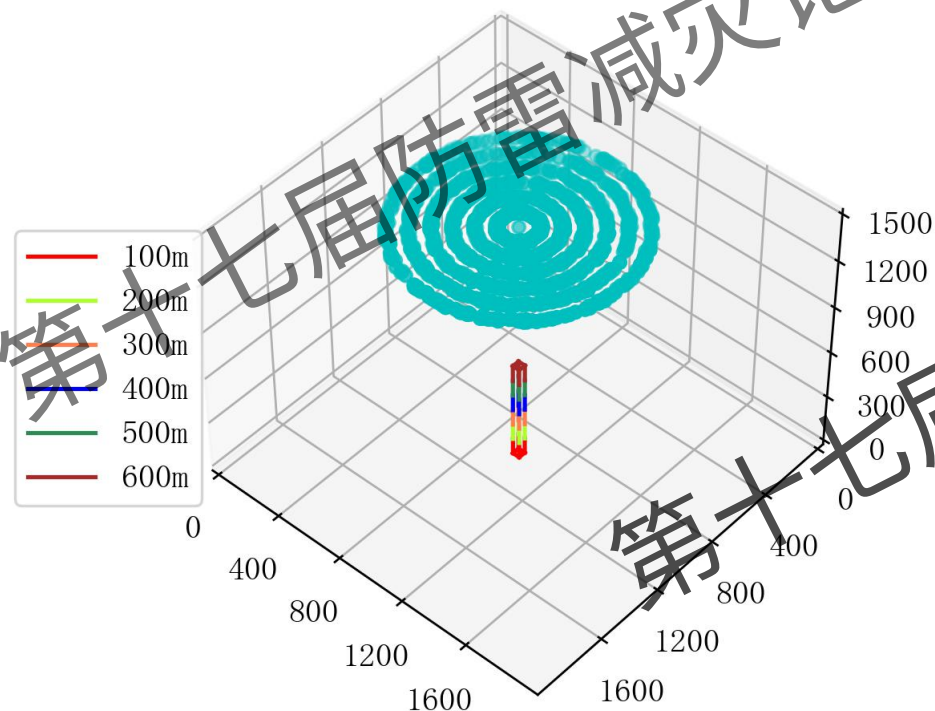
观测数据与模拟结果对比

建筑物	高度 (m)	观测		模拟			
		2D闪击距离 (m)	平均 2D闪 击距离 (m)	只观测到 一个UCL 的闪电数 目(百分 比)	3D闪击距离 (m)	平均3D闪 击距离 (m)	只模拟到 一个UCL 的闪电数 目(百分 比)
A	600	107~2000	920	82%	222.3~715. 0	679.8	73%
B	530	74~481	280	36%	117~475.7	344.3	14%
C	440	506~875	590	89%	73.5~274	205	58%
D	360	340~793	530	91%	102.5~354. 3	307.9	84%
E	310	/	/	/	171.2~312. 2	244.8	20%
F	310	/	/	/	236.2~245. 7	241.0	0%
G	310	/	/	/	25.5~219.3	175.5	0%

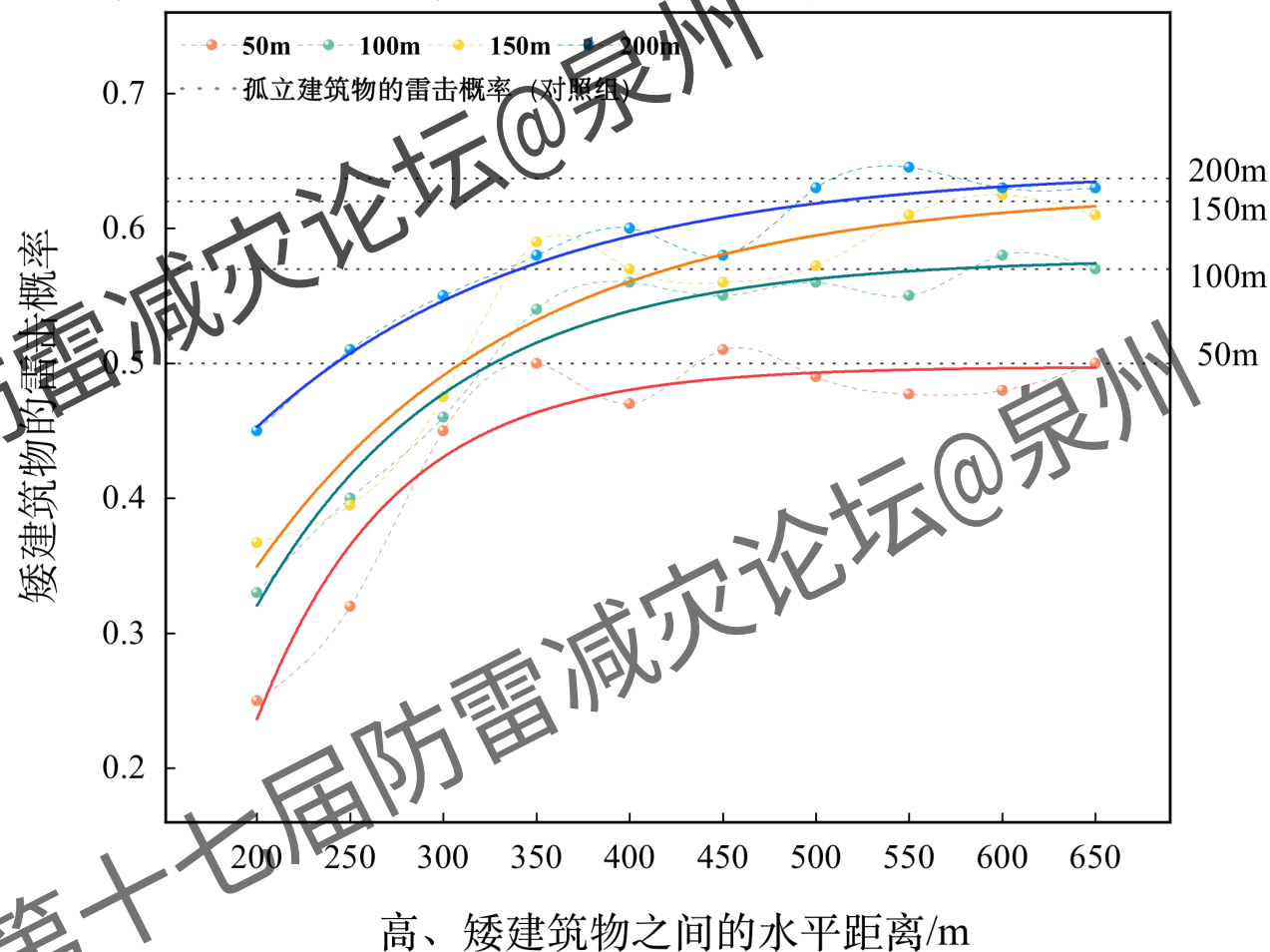
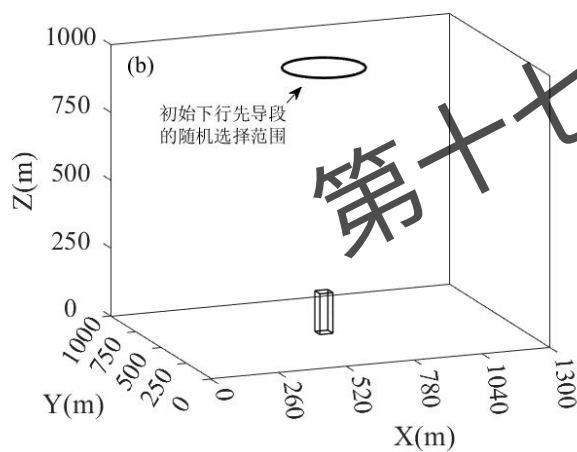
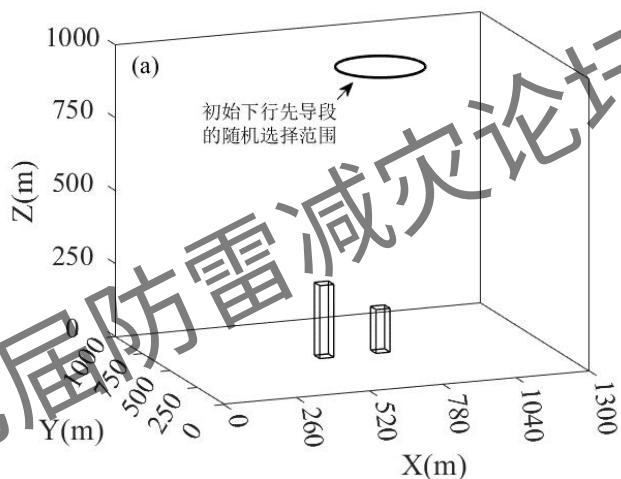


明德格物 立己达人

防雷工程研究应用：
单建筑物年雷击次数



防雷工程研究应用： 高建筑物对矮建筑物的保护作用





南京信息工程大学
Nanjing University of Information Science & Technology

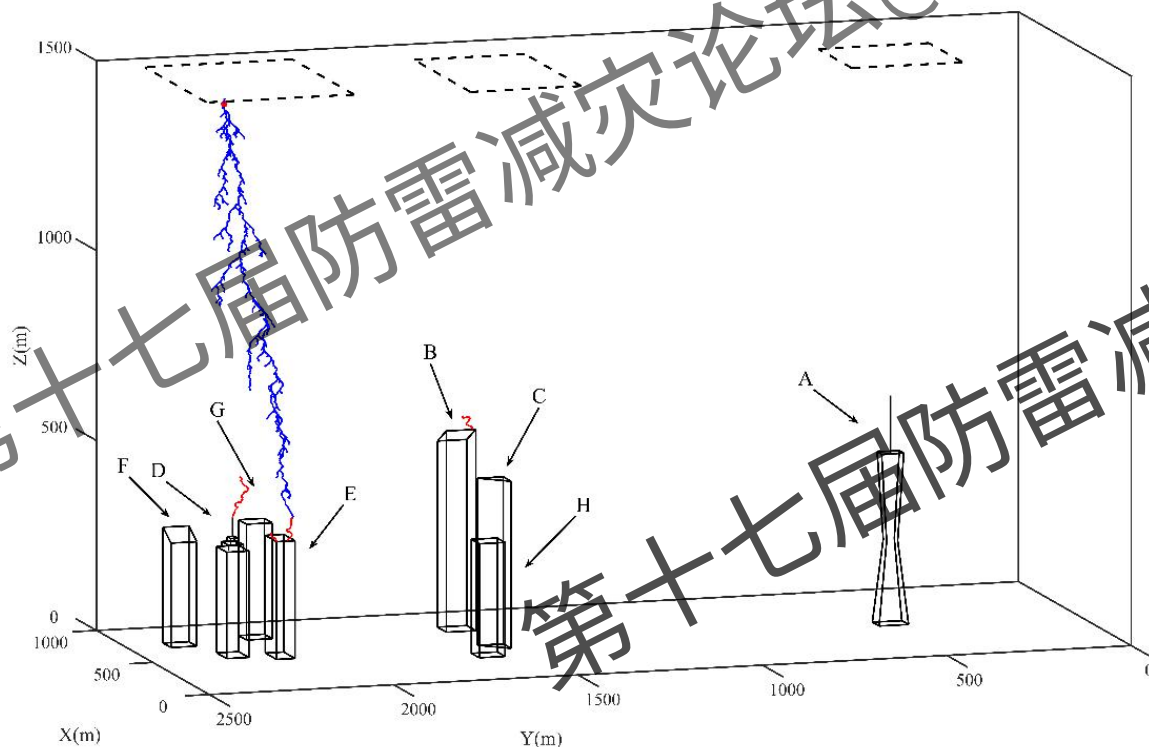
第十七届防雷减灾论坛@泉州

讨论

第十七届防雷减灾论坛@泉州

第十七届防雷减灾论坛@泉州

明德格物 立己达人



- 模拟域、分辨率大小的影响；
- 建筑群中各建筑物雷击概率的计算；
- 建筑物之间相互作用对地闪连接过程的影响。

NUIST >>>



南京信息工程大学

Nanjing University of Information Science & Technology

感谢您的指导

Thank you for your support and guidance

明德格物 立己达人