

殷启元, 武宁. 2017. 不同材料建筑物的雷电电磁脉冲屏蔽效能对比试验[J]. 气象与减灾研究, 40(4):325-330.
Yin Qiyuan, Wu Ning. 2017. Contrast experiment of lightning electromagnetic pulse shielding effectiveness in different building materials[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 40(4):325-330.

不同材料建筑物的雷电电磁脉冲屏蔽效能对比试验

殷启元¹, 武宁²

1. 广东省气象公共安全技术支持中心, 广东 广州 510080
2. 阳江市气象局, 广东 阳江 529500

摘要: 为验证不同材料建(构)筑物对雷电电磁脉冲的屏蔽效能, 分别架设栅格、全金属、钢混和砖混 4 种不同材料屏蔽体进行野外雷电试验。基于 2014 年 8 月 29 日 17:44 具有 10 次地闪过程的试验数据, 对比分析了其中第 9 次地闪回击过程中 4 种不同屏蔽体内的磁场信号。结果表明: 全金属材料屏蔽体内部磁场为高频振荡波形, 砖混材料体内磁场波形特征与经典磁场类似, 而栅格和钢筋混凝土材料体内的磁场波形介于两者之间; 全金属材料屏蔽体的屏蔽效能最好, 栅格和钢筋混凝土材料的屏蔽效能次之, 砖混材料的屏蔽效能最差。

关键词: 雷电, 电磁脉冲, 屏蔽效能, 建筑材料, 磁场信号

中图分类号: P427.3

文献标识码: B

文章编号: 1007-9033(2017)04-0325-06

doi: 10.12013/qxyjzj2017-047

Contrast Experiment of Lightning Electromagnetic Pulse Shielding Effectiveness in Different Building Materials

Yin Qiyuan¹, Wu Ning²

1. Guangdong Technical Support Center of Meteorological Public Security, Guangzhou 510080, China
2. Yangjiang Meteorological Bureau, Yangjiang 529500, China

Abstract: In order to verify the lightning electromagnetic pulse shielding effects of different building materials, four kinds of different material shields were selected for field tests, which included grid material, metal material, ferroconcrete and brick concrete. Based on the experiment data of 10 return strokes happened at 17:44 BT 29 August 2014, the magnetic field signals of the four different material shields in 9th return stroke were contrastive analyzed. The results showed that the internal magnetic field of metal materials shield presented high frequency oscillating wave, the characteristic of magnetic field in the brick concrete was similar to the classical magnetic field, and the magnetic field waveform of the grid material and ferroconcrete was in between. The shielding effect of metal material was the best, the grid material and ferroconcrete came second, and the brick concrete was the poorest.

Key words: lightning; electromagnetic pulse; shielding effects; building material; magnetic field signal

0 引言

雷电是发生在自然界中的一种常见的天气现象, 它带有强大的电流和电磁辐射, 在为地球制造了

大量有机物同时, 又给人类造成巨大的危害。现代电子科学技术飞速发展, 电子信息化给人类带来了快捷、方便的生活。但是, 现代电子设备的灵敏度高、耐压低、抗电磁干扰性较差, 当干扰的电磁场强

收稿日期: 2017-06-20; 修订日期: 2017-07-19.

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41775007).

作者简介: 殷启元, 硕士, 工程师, 主要从事雷电防护和雷电物理研究, E-mail: 76806604@qq.com.

度达到一定阈值时,可能会引起设备的误动作、信息丢失,甚至使设备中的器件发生功能性的损坏。电子设备受雷电损坏最主要的途径是雷电电磁脉冲对电子设备的感应破坏,屏蔽是减少和防止任何形式电磁干扰的基本手段(Wilson and Ma, 1988a, 1988b)。建(构)筑物屏蔽的主要目的是使其内部的通信设备、电子计算机、精密仪器以及自动化控制系统免受雷电电磁脉冲的危害,以及加强对电力线缆和各种信号线缆等对象的屏蔽防护(支树林等, 2012;张龙等,2013;余建华等,2016)。

利用建(构)筑物内钢筋混凝土内的钢筋构成的六面体的网笼(即笼式避雷网),以及重要雷电防护场所的屏蔽室,其基本原理都来自法拉第笼设计。建(构)筑物屏蔽技术是利用导电性能良好的金属网或金属板构成6个面的屏蔽室或屏蔽笼,将产生电磁辐射的电气设备包围起来并与大地连接,从而抑制和阻挡电磁波在空气中传播。电磁屏蔽是利用屏蔽体对电磁能流进行反射、吸收和引导,这些作用与屏蔽体内感应的电荷、电流和极化现象密切相关,屏蔽材料的导电性和导磁性越好,屏蔽效能越高(林政等,2009)。李婵虢等(2014)实验研究了不同材料屏蔽体的屏蔽效能,指出金属材料屏蔽体的屏蔽效能较好,金属网格尺寸10 cm的屏蔽体可获得20 dB的屏蔽性能,操作波和雷电波作用下的屏蔽效能基本相同,前者略大于后者,减小接地电阻可有效提高金属屏蔽体的屏蔽效能。

开展基于人工引雷条件下不同材料屏蔽体屏蔽效能观测与分析试验,是研究不同材料屏蔽体对雷电电磁脉冲的屏蔽效能(刘欣生等,1997)。文中基于2014年8月29日17:44具有10次地闪回击过程的试验数据,分析不同建(构)筑物外墙材料对于雷电电磁脉冲的屏蔽效能,以期雷电电磁脉冲的防护提供科学依据。

1 试验布置

广州野外雷电试验基地位于从化市光联村附近,场地较为平坦,其南部多为平地和田野,北部多为山丘。雷电屏蔽试验现场布置如图1所示,即在距离引雷点正北方100 m处布置了4个不同材料的屏蔽体,屏蔽体为长、宽、高均为1 m的立方体。屏蔽体分为4种不同的材料,分别为栅格、全金属、钢混和砖混材料。砖混材料是用砖和水泥砌成,底部开口;全金属体材料为3 mm厚的钢板;栅格和钢混材料体内的金属材料为镀锌扁钢,网格为20 cm ×

20 cm,钢混材料体外部为水泥筑成的墙体。钢混、全金属和栅格材料的屏蔽体都良好接地,其底部的4个角端通过镀锌扁钢带与人工接地体连接。

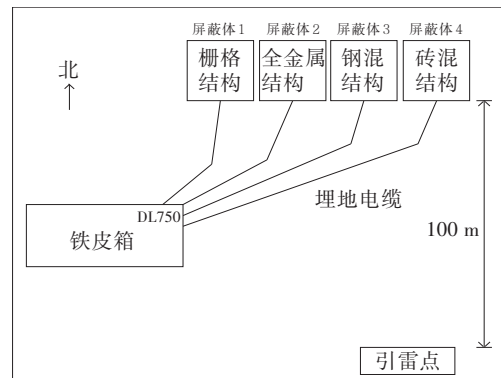


图1 屏蔽体雷电实验现场布置

Fig. 1 Site layout of lightning experiments for shielding

2 数据测量

使用横河 DL750 示波器采集4种不同屏蔽体的4路信号。文中以2014年8月29日17:44:24—17:44:25发生的一次多回击自然闪电为例进行分析。此次地闪过程共有10次回击,其快电场变化如图2所示。分析发现,在首次回击和最后一次回击后还有明显的M分量变化过程,除首次回击强度最大外,第2、6次回击强度也较大。

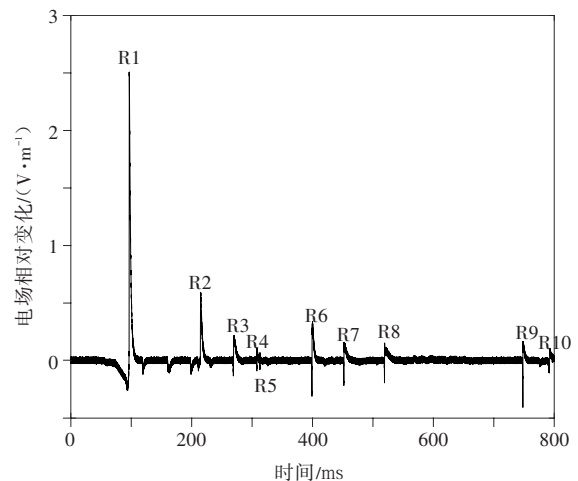


图2 地闪回击过程的快电场变化曲线(R1—R10分别表示10次地闪回击)

Fig. 2 Electric field waveform of N1744 (R1—R10: return stroke 1—10)

3 试验结果分析

3.1 磁场波形特征

比较10次地闪回击过程中4种不同材料屏蔽

体内磁场波形的初始峰值(表 1)发现,全金属材料屏蔽体内初始峰值最小,砖混最大,栅格和钢混的大小基本一致。4 种不同材料屏蔽体初始峰值取平均值显示,全金属材料屏蔽体对磁场峰值的屏蔽效能

表 1 10 次地闪回击过程中不同材料屏蔽体内的磁场波形初始峰值(单位:A/m)

Table 1 The initial peak value of magnetic field waveform in 4 materials shielding body (unit:A/m)

回击序号	屏蔽体材料			
	栅格	全金属	钢混	砖混
R1	1.653	0.963	1.375	1.831
R2	0.279	0.133	0.297	0.349
R3	0.213	0.123	0.194	0.284
R4	0.279	0.158	0.296	0.218
R5	0.199	0.125	0.157	0.175
R6	0.440	0.349	0.492	0.814
R7	0.479	0.275	0.513	0.521
R8	0.552	0.253	0.597	0.535
R9	0.766	0.371	0.727	0.857
R10	0.211	0.120	0.214	0.216
平均值	0.507	0.287	0.486	0.580

最好,其次为钢混材料,最差为砖混材料。以砖混材料屏蔽体内部磁场的初始峰值为基准,栅格、钢混及全金属材料屏蔽体内磁场的初始峰值则分别为砖混材料的 87.4%、83.8%和 49.5%。因此,栅格和钢混材料的屏蔽效能相近,全金属材料的屏蔽效能约为砖混的 2 倍。

分析表 1 还发现,此次整个地闪过程中第 9 次回击的磁场波形最具代表性。图 3 为第 9 次过程对应的 4 种材料屏蔽体内的磁场波形。分析发现,砖混材料屏蔽体内部的磁场波形存在与快电场变化有较好的对应关系;在其他 3 种屏蔽体内磁场波上,第 9 次回击过程可见但不明显。对比砖混材料屏蔽体内磁场波形和相应快电场变化(图 3d)发现,电场的初始峰值始终超前于磁场的初始峰值。

3.2 磁场波形幅频特性

分析第 9 次地闪回击过程对应的 4 种材料屏蔽体内磁场的幅频曲线(图 4)发现,屏蔽体内的磁场信号仍然分布于全频段,主要集中在低频 10kHz 附

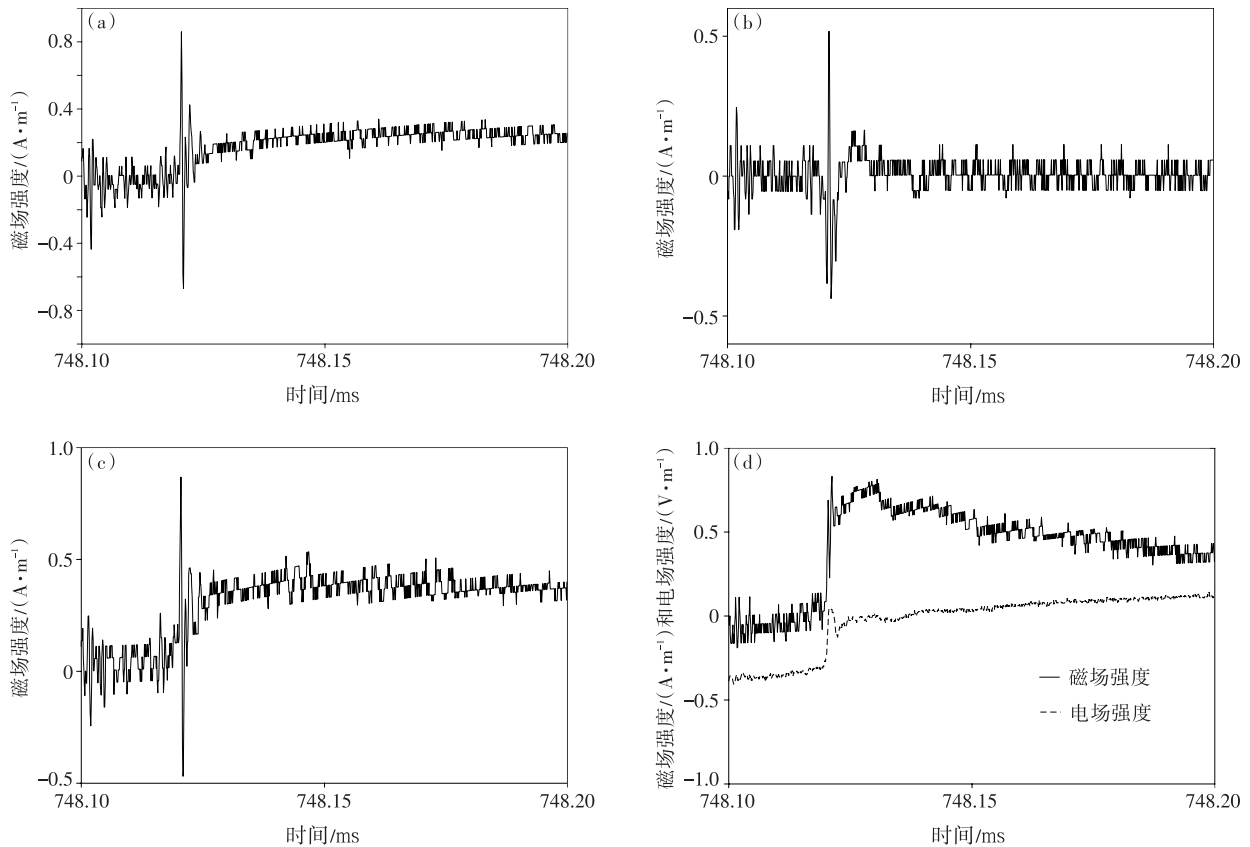


图 3 第 9 次地闪回击过程对应的栅格(a)、全金属(b)、钢混(c)和砖混(d)材料屏蔽体磁场波形

Fig. 3 The 9th return-stroke's magnetic field waveform for the 4 materials shielding of grid materials (a), metal materials (b), ferroconcrete (c) and brick concrete (d)

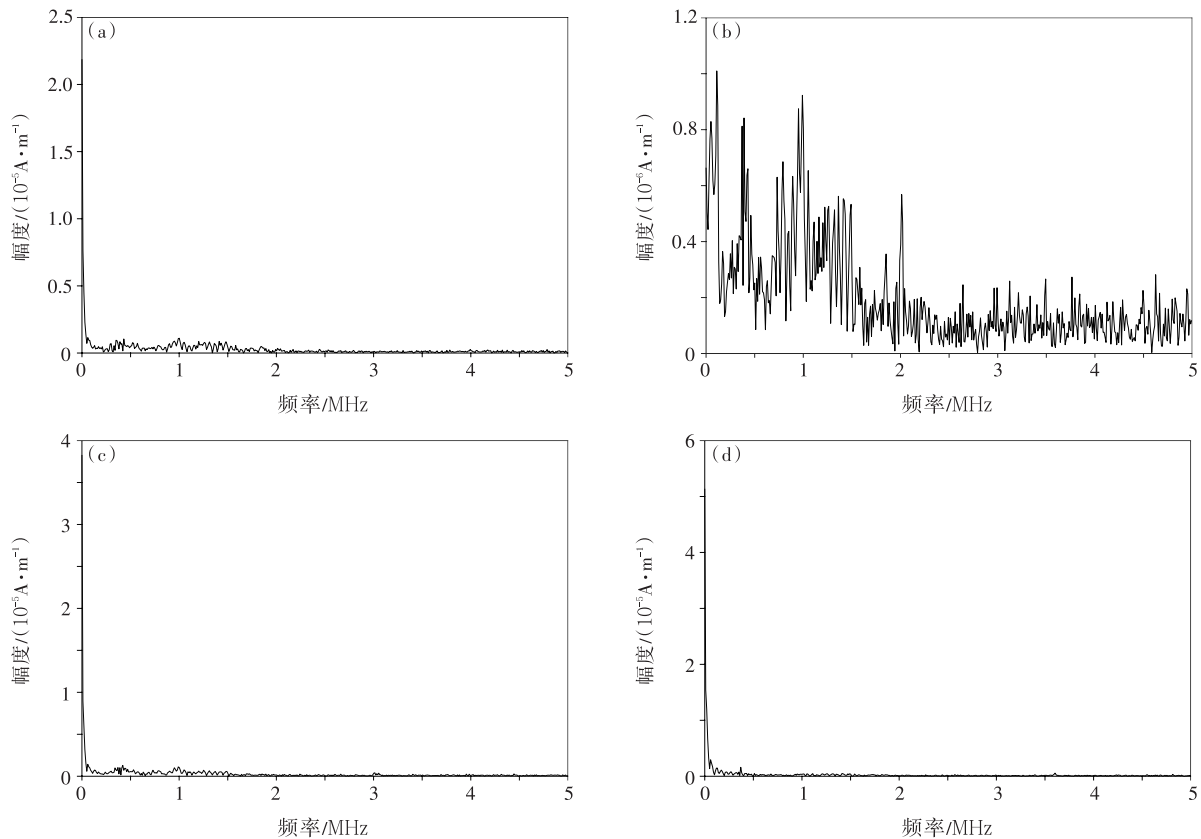


图4 第9次地闪回击过程对应的栅格(a)、全金属(b)、钢混(c)和砖混(d)材料磁场波形的幅频曲线

Fig. 4 The 9th return-stroke's amplitude frequency characteristic for the 4 materials shielding of grid materials (a), metal materials(b), ferroconcrete (c) and brick concrete (d)

近。栅格、钢混和砖混屏蔽体内磁场信号幅频特性相似,4种屏蔽材料屏蔽体内的磁场低频分量有明显区别:砖混材料内部低频分量最大,磁场波形与前人观测到的经典磁场波形(王道洪等,2000)相似,即存在明显的初始峰值,达到初始峰值后缓慢回落,恢复到零值的持续时间长;钢混材料次之,高频振荡分量有所增大;全金属材料屏蔽体内的磁场基本上为高频振荡波形,信号的幅度比其他3种屏蔽体内小2个量级。

3.3 磁场波形频谱特征

分析第9次地闪回击过程对应的4种材料屏蔽体内磁场的能量谱(图5)发现,栅格屏蔽体、钢混屏蔽体和砖混屏蔽体内磁场信号能量谱图相似,频段分布和幅频特性图相似,主要集中在10 kHz以下。砖混屏蔽体内低频能量峰值(2.37×10^{-12} V/m)最大;钢混屏蔽体内低频能量峰值(8.04×10^{-13} V/m)和栅格屏蔽体低频能量峰值(5.8×10^{-13} V/m)较为相近;全金属材料屏蔽体内的磁场信号能量主要集中在高频频段,并且能量大大降低,主要在 $1.02 \times$

10^{-14} V/m以下。由此可见,全金属屏蔽体内的能量峰值远远小于其他3种屏蔽体内的能量峰值。

4 小结与讨论

文中基于人工引雷条件下栅格、全金属、钢混和砖混材料屏蔽体的屏蔽效能对比试验,获取了4种屏蔽体内部磁场变化情况。基于2014年8月29日17:44:24—17:44:25具有10次地闪过程试验数据,详细对比分析了其中第9次地闪回击过程中4种不同屏蔽体内的磁场信号,得到:

1) 全金属材料屏蔽体内磁场为高频振荡波形,砖混材料屏蔽体内磁场与经典磁场类似,全金属材料屏蔽体内磁场初始峰值最小,砖混材料的最大,栅格和钢筋混泥土材料的大小基本一致。

2) 屏蔽体内的磁场信号仍然分布于全频段,主要集中于低频10 kHz附近。栅格、钢混和砖混材料屏蔽体内磁场信号幅频特性相似,其中砖混材料屏蔽体内磁场信号的幅度最大,钢混和栅格材料屏蔽体内的幅度较为相近,全金属材料屏蔽体内磁

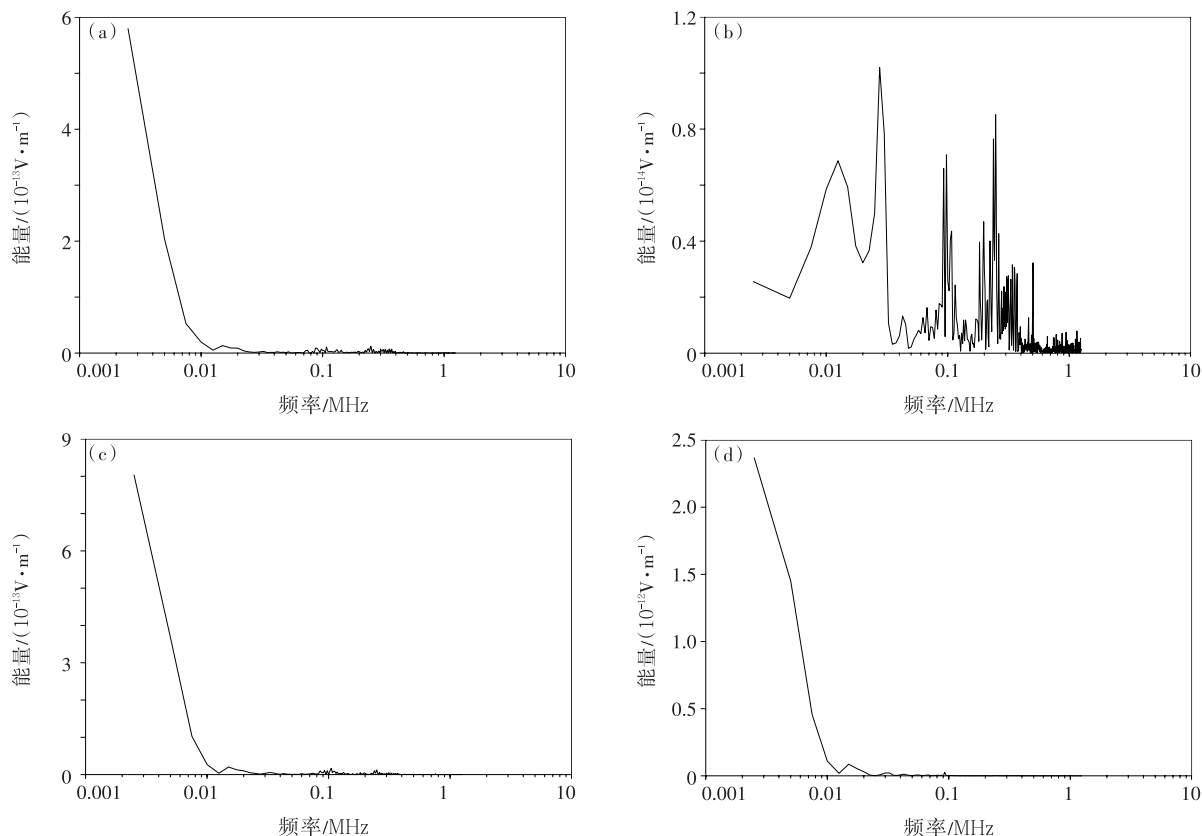


图5 第9次地闪回击过程对应的栅格(a)、全金属(b)、钢混(c)和砖混(d)材料屏蔽体磁场能量谱

Fig. 5 The 9th return-stroke's energy spectrum for the 4 materials shielding of grid materials (a), metal materials(b), ferroconcrete (c) and brick concrete (d)

场信号的幅度比其他3种材料屏蔽体内的幅度小2个量级。

3) 栅格、钢混和砖混材料屏蔽体内的磁场能量谱较为相似,主要集中在10 kHz以下,全金属材料屏蔽体内的能量远远小于其他3种材料屏蔽体内的能量。

综上所述,全金属材料的屏蔽效能最好,砖混材料的最差,钢混和栅格材料的屏蔽效能介于两者之间。在实际应用中,除了考虑雷电防护区位置还要考虑被保护对象抗电磁干扰能力。通常情况下,不建议使用砖混材料的屏蔽体,即使是普通建筑物,对于大型计算机房、中控室等对强电磁干扰敏感的场所,建议使用全金属材料屏蔽体,同时可选用较好的屏蔽材料。

参考文献 (References)

林政,黎梓华,唐雷. 2009. 浅谈如何利用法拉第笼原理防护雷电电磁脉冲[J]. 气象应用与研究, 30(1): 83-84, 87. Ling Z, Li Z H, Tang L. 2009. Protection of Lightning electromagnetic pulse based faraday cages principle[J]. J Meteor Res Appl, 30(1): 83-

84, 87. (in Chinese)
 李婵斌,余占清,曾嵘,等. 2014. 冲击电场作用下屏蔽体屏蔽效能实验研究[J]. 高电压技术, 40(9): 2849-2854. Li C X, Yu Z Q, Zeng R, et al. 2014. Experimental research of shielding effectiveness against impulse electric field for shielding enclosure[J]. High Voltage Eng, 40(9): 2849-2854. (in Chinese)
 刘欣生,张义军,鄢秀书. 1997. 人工引雷及其在雷电防护中的应用[J]. 电网技术, 21(5): 31-35. Liu X C, Zhang Y J, Qie X S. 1997. Artificially triggered lightning and ITS application in protection of lightning[J]. Power Syst Technol, 21(5): 31-35. (in Chinese)
 Wilson P F, Ma M T. 1988a. Techniques for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of materials. I. Far-field source simulation[J]. IEEE Transon Electromagnet Comp, 30(3): 239-250.
 Wilson PF, Ma M T. 1988b. Techniques for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of materials. II. Near-field source simulation[J]. IEEE Transon Electromagnet Comp, 30(3): 251-259.
 王道洪,鄢秀书,郭昌明. 2000. 雷电与人工引雷[M]. 上海:上海交大出版社:115. Wang D H, Qie X S, Guo C M. 2000. Lightning and artificially triggered lightning[M]. Shanghai: Shanghai Jiaoda Press:115. (in Chinese)

- 余建华,李玉塔,吕振东. 2016. 新建高层建筑物对周边雷电环境的影响[J]. 气象与减灾研究,39(2):139-144. Yu J H, Li Y T, Lv Z D. 2016. The influence of the New High-rise Building on the surrounding lightning environment[J]. Meteor Disaster Reduction Res,39(2):139-144.(in Chinese)
- 支树林,许爱华,李俊,等. 2012.江西省地闪气候特征及其活动强弱评价方法探讨[J]. 气象与减灾研究,35(2):37-44. Zhi S L, Xu A H, Li J, et al.2012.Climatic feature of cloud-to-ground lightning in Jiangxi and the preliminary of evaluation methods of its activity[J]. Meteor Disaster Reduction Res,35(2):37-44.(in Chinese)
- 张龙,魏光辉,胡小锋,等. 2013. 强电磁脉冲对材料屏蔽效能的影响[J]. 高电压技术,39(12):2899-2905. Zhang L, Wei G H, Hu X F, et al.2013.Effect of high electromagnetic pulse on material shielding effectiveness[J]. High Voltage Eng, 39 (12): 2899-2905.(in Chinese)