



国家重点出版物出版规划项目



国之重器出版工程

国防现代化建设

空间科学与技术研究丛书

Simulation Method of Multipactor and Its Application in Satellite Microwave Components

航天器微波部件微放电 分析及其应用

崔万照 李韵 张洪太 等著



中国工信出版集团



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

国家出版基金项目

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

国之重器出版工程

空间科学与技术研究丛书

航天器微波部件微放电 分析及其应用

崔万照 李 韵 张洪太 等 著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书结合中国空间技术研究院西安分院数十年来在大功率微放电效应研究领域工程实践的经验和成果,重点介绍了微放电数值模拟相关概念、理论、方法和最新技术等内容,具备理论性和工程性;较为全面地介绍了我国微放电数值模拟研究技术方面取得的突出进展;同时针对航天器大功率典型微波部件介绍了微放电三维数值模拟方法,具备指导性和启发性,并具有相应的技术深度。

本书主要面对大功率微波技术领域工程人员,亦可作为相关领域研究人员参考资料,或者高等院校航天相关专业研究生的教学参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

航天器微波部件微放电分析及其应用 / 崔万照等著. —北京:北京理工大学出版社, 2019.3

(空间科学与技术研究丛书)

国家出版基金项目 “十三五”国家重点出版物出版规划项目 国之重器出版工程

ISBN 978-7-5682-6764-9

I. ①航… II. ①崔… III. ①航天器—微波元件—放电—研究 IV. ①V441

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 035324 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 固安县铭成印刷有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 14

彩 插 / 8

字 数 / 253 千字

版 次 / 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷

定 价 / 49.00 元

责任编辑 / 王佳蕾

文案编辑 / 王佳蕾

责任校对 / 杜 枝

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

《国之重器出版工程》

编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉	梁志峰	高东升	姜子琨	许科敏
陈 因	郑立新	马向晖	高云虎	金 鑫
李 巍	李 东	高延敏	何 琼	刁石京
谢少锋	闻 库	韩 夏	赵志国	谢远生
赵永红	韩占武	刘 多	尹丽波	赵 波
卢 山	徐惠彬	赵长禄	周 玉	姚 郁
张 炜	聂 宏	付梦印	季仲华	



专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：

- 于 全 中国工程院院士
- 王少萍 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 王建民 清华大学软件学院院长
- 王哲荣 中国工程院院士
- 王 越 中国科学院院士、中国工程院院士
- 尤肖虎 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 邓宗全 中国工程院院士
- 甘晓华 中国工程院院士
- 叶培建 中国科学院院士
- 朱英富 中国工程院院士
- 朵英贤 中国工程院院士
- 邬贺铨 中国工程院院士
- 刘大响 中国工程院院士
- 刘怡昕 中国工程院院士
- 刘韵洁 中国工程院院士
- 孙逢春 中国工程院院士
- 苏彦庆 “长江学者奖励计划”特聘教授



- 苏哲子 中国工程院院士
- 李伯虎 中国工程院院士
- 李应红 中国科学院院士
- 李新亚 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、
中国机械工业联合会副会长
- 杨德森 中国工程院院士
- 张宏科 北京交通大学下一代互联网互联设备国家
工程实验室主任
- 陆建勋 中国工程院院士
- 陆燕荪 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、原
机械工业部副部长
- 陈一坚 中国工程院院士
- 陈懋章 中国工程院院士
- 金东寒 中国工程院院士
- 周立伟 中国工程院院士
- 郑纬民 中国计算机学会原理事长
- 郑建华 中国科学院院士



屈贤明 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任

项昌乐 “长江学者奖励计划”特聘教授，中国科协书记处书记，北京理工大学党委副书记、副校长

柳百成 中国工程院院士

闻雪友 中国工程院院士

徐德民 中国工程院院士

唐长红 中国工程院院士

黄卫东 “长江学者奖励计划”特聘教授

黄先祥 中国工程院院士

黄 维 中国科学院院士、西北工业大学常务副校长

董景辰 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员

焦宗夏 “长江学者奖励计划”特聘教授

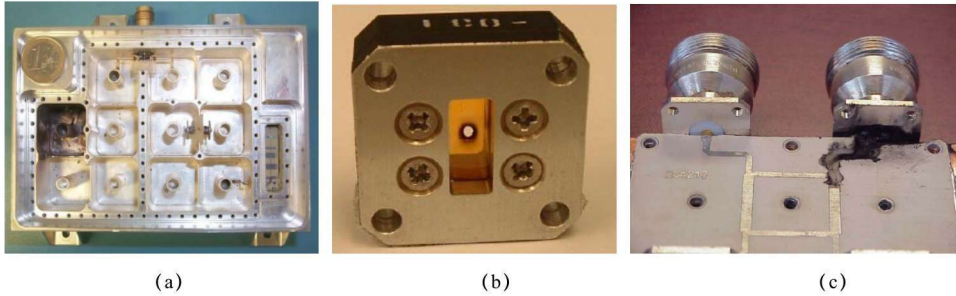


图 1-4 微放电效应及其引发的其他放电效应对微波部件的损坏
(a) 同轴滤波器内腔被损坏；(b) 波导膜片被损坏；(c) 微带电路被损坏

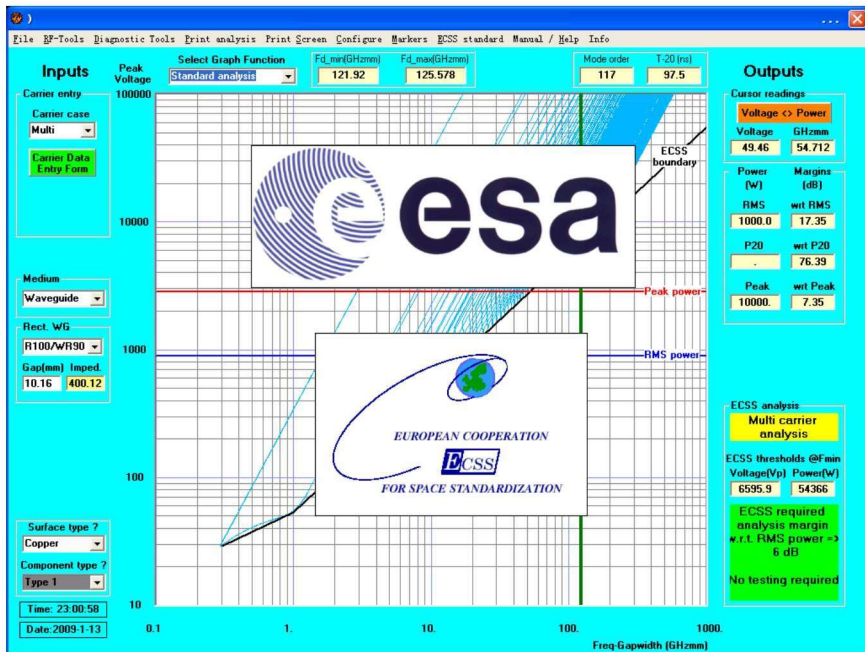


图 1-8 欧空局开发的微放电仿真软件 Multipactor Calculator 软件界面

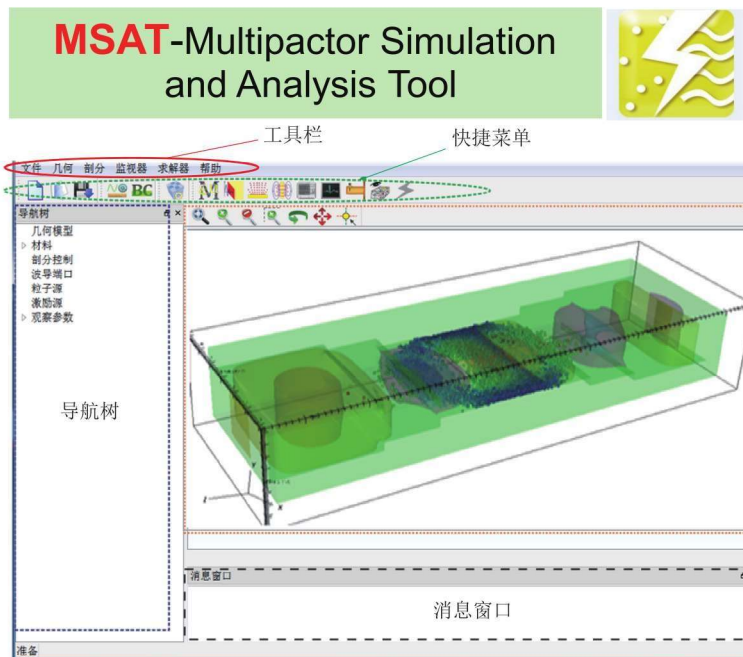


图 1-9 微放电仿真与分析平台 MSAT 软件界面

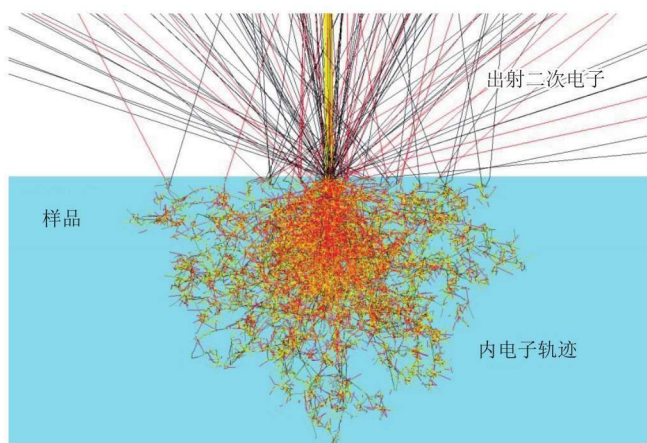


图 2-3 入射电子与材料作用过程示意图

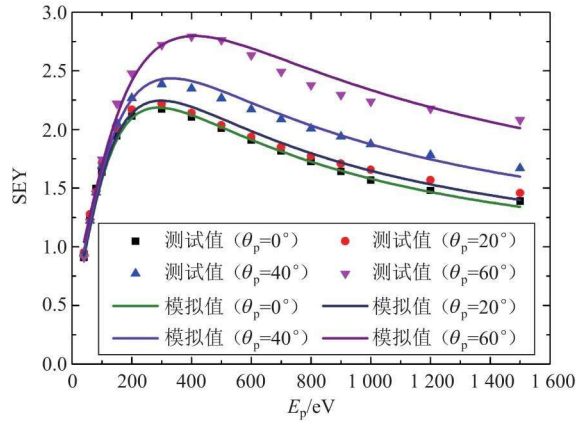


图 2-7 平滑镀银表面的唯象概率计算结果

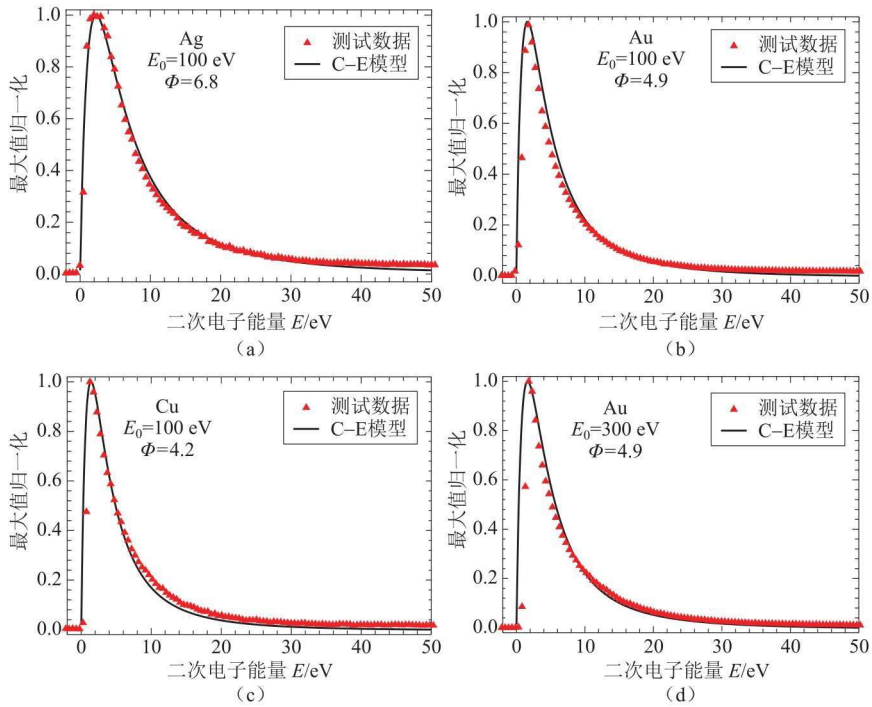


图 2-8 C-E 模型与实验测试数据对比

(a) Ag, 入射电子能量为 100 eV; (b) Au, 入射电子能量为 100 eV;
(c) Cu, 入射电子能量为 100 eV; (d) Au, 入射电子能量为 300 eV

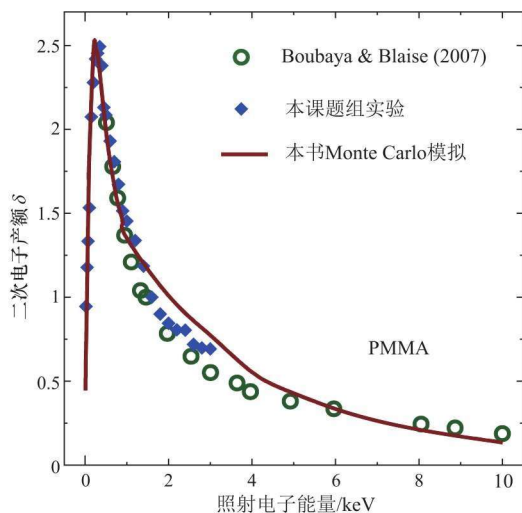


图 2-14 PMMA 材料的二次电子产额曲线
模拟与实验的对比

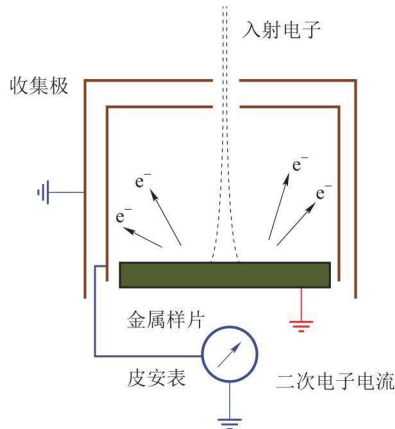


图 2-16 收集极法测量原理

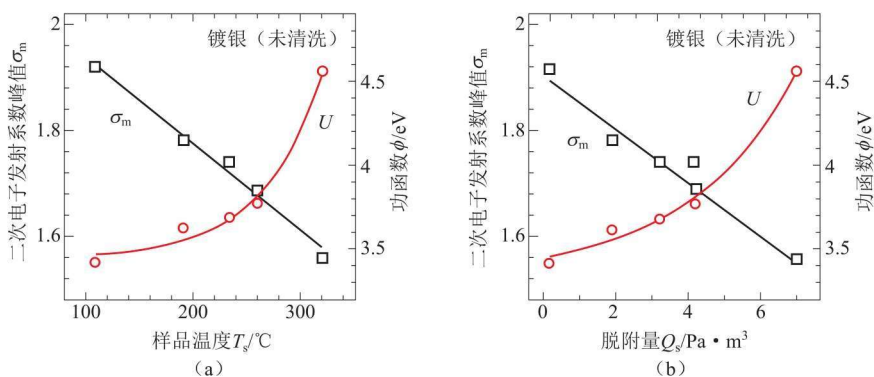


图 2-26 二次电子发射系数峰值 σ_m 和功函数 ϕ 随 (a) 样品温度 T_s 及
(b) 脱附量 Q_s 的变化规律

- (a) 二次电子发射系数峰值和功函数随样品温度变化规律；
(b) 二次电子发射系数峰值和功函数随脱附量变化规律

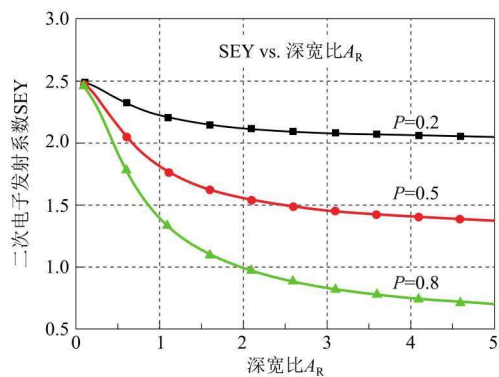


图 2-29 多孔表面的二次电子发射系数与深宽比和孔隙率的关系 ($\sigma_{\text{flat}} = \sigma_{\text{bottom}} = 2.5$)

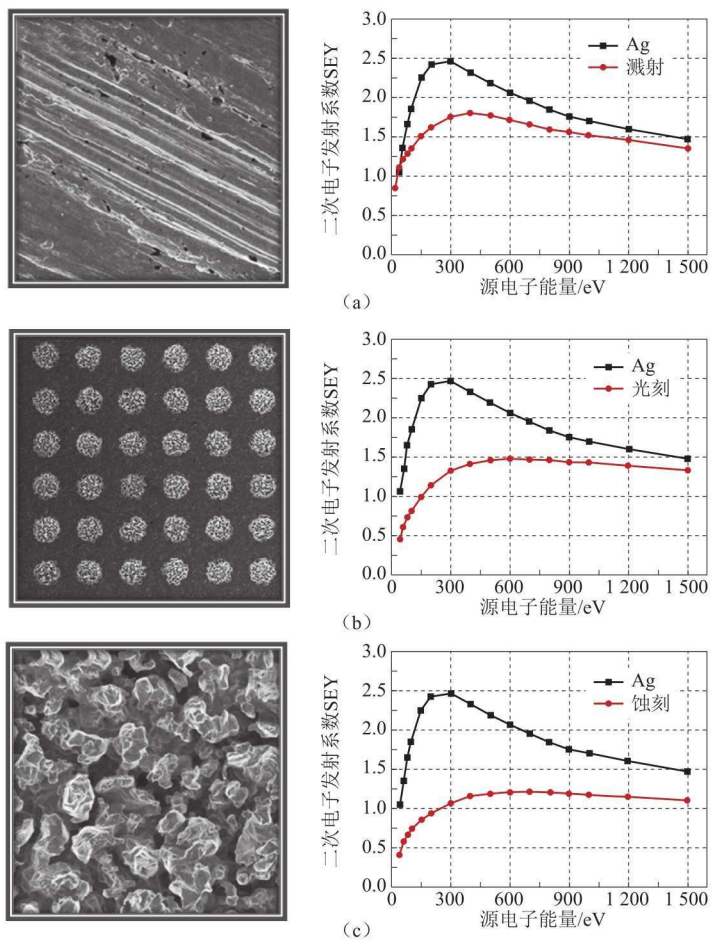


图 2-30 镀银多孔结构及其表面的二次电子发射系数

(a) 镀银材料；(b) 具有规则多孔表面的镀银材料；(c) 具有不规则多孔表面的镀银材料

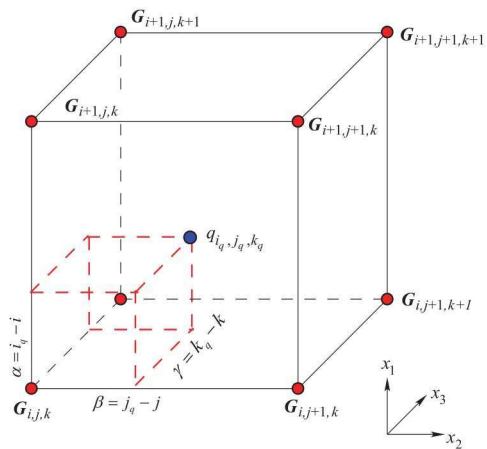


图 5-3 网格坐标转换为实际坐标

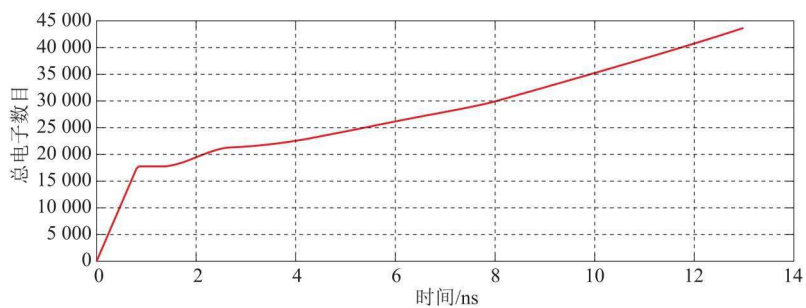


图 5-5 微放电形成初始阶段总电子数目随时间的变化

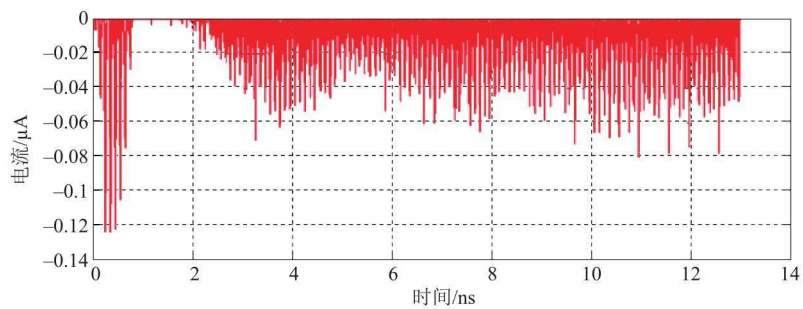


图 5-6 微放电形成初始阶段下壁的二次电子发射的电流波形

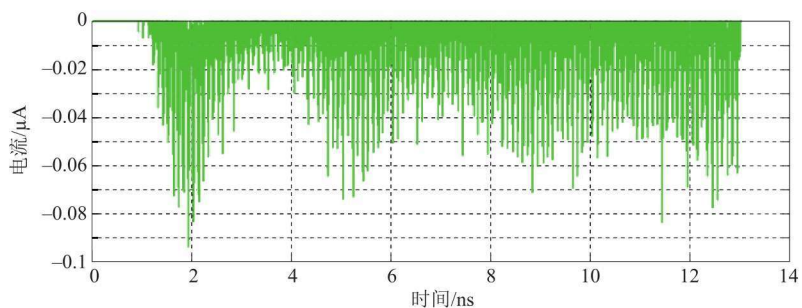


图 5-7 微放电形成初始阶段上壁的二次电子发射的电流波形

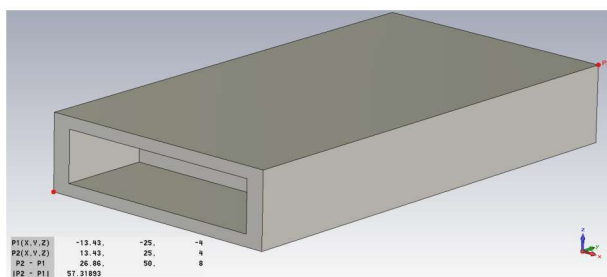


图 5-9 阻抗变换段金属外壁的物理尺寸

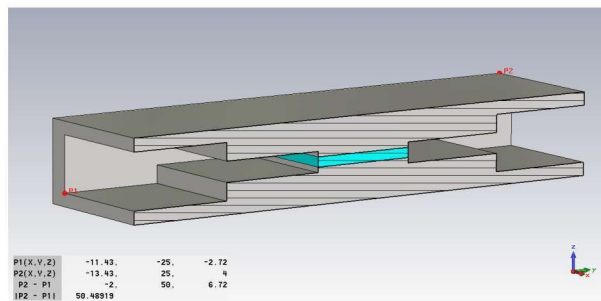


图 5-10 阻抗变换段金属内壁的物理尺寸

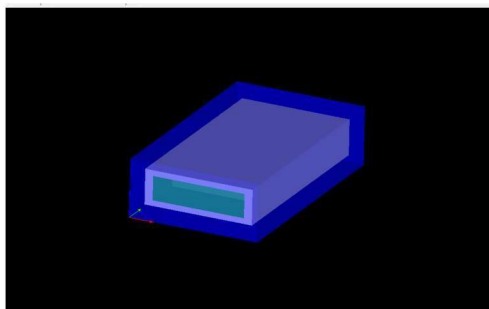


图 5-11 阻抗变换段网格剖分

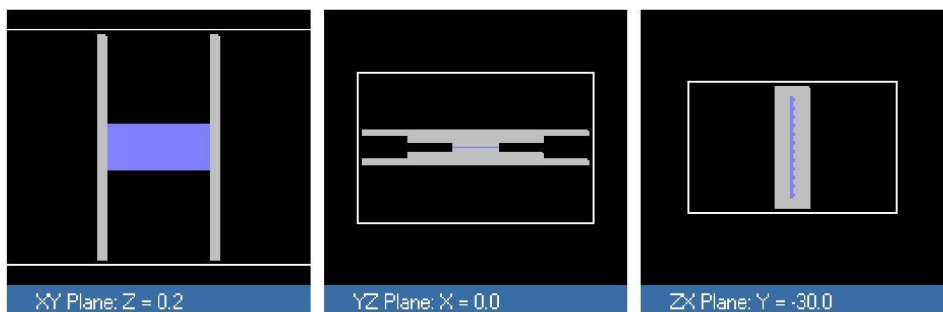


图 5-12 各坐标平面截面图

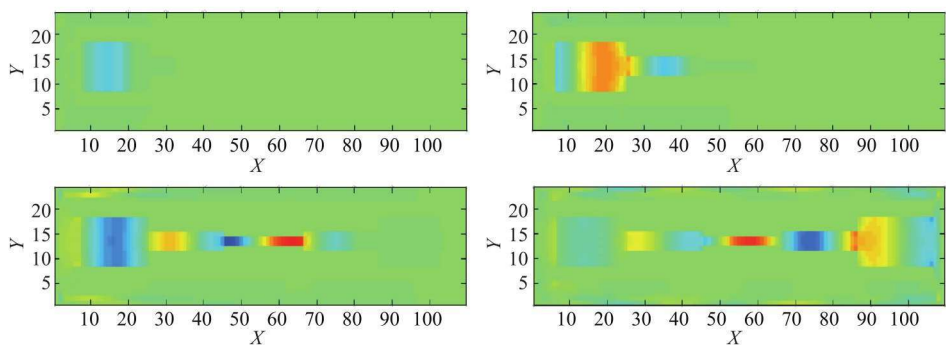


图 5-13 电磁场在阻抗变换段 XOY 平面内的电磁场分布

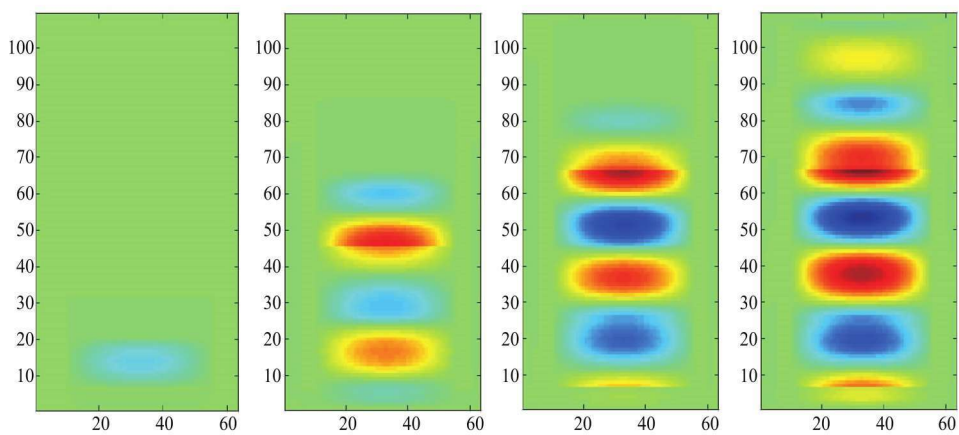


图 5-14 电磁场在阻抗变换段 XOZ 平面内的电磁场分布

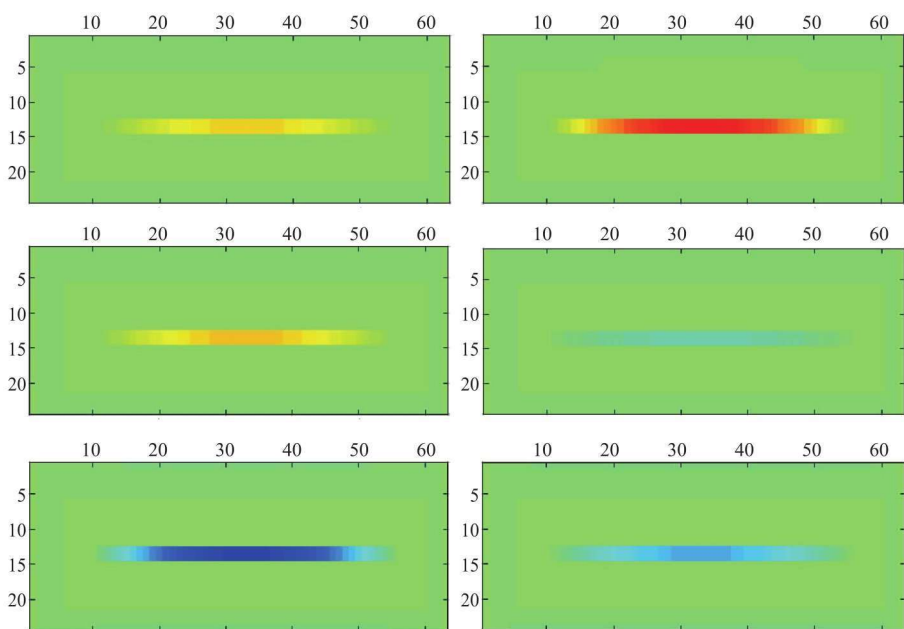


图 5-15 电磁场在阻抗变换段 YOZ 平面内的电磁场分布

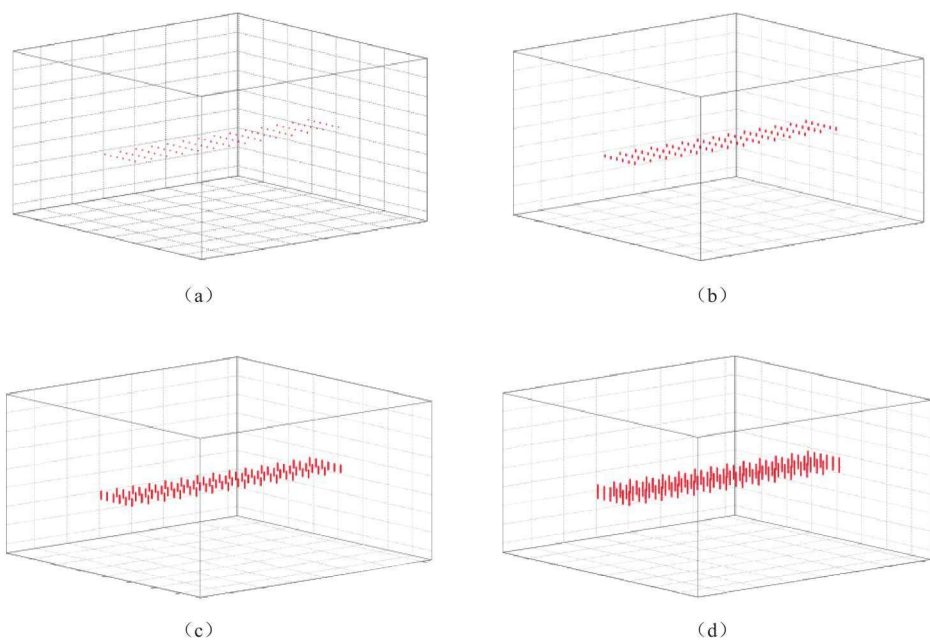
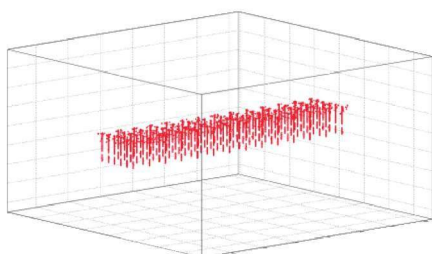
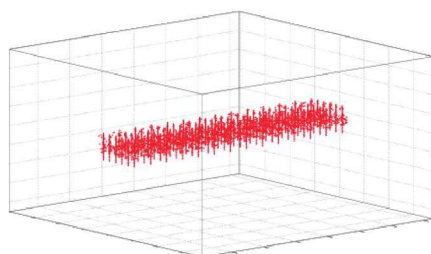


图 5-16 粒子在阻抗变换段内的三维分布

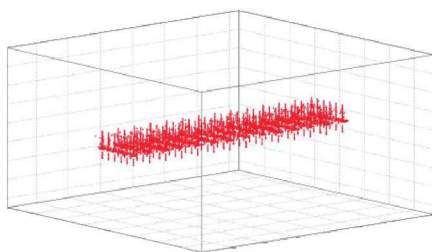
(a) 迭代时间步为 20 时的粒子分布；(b) 迭代时间步为 80 时的粒子分布；
(c) 迭代时间步为 160 时的粒子分布；(d) 迭代时间步为 240 时的粒子分布；



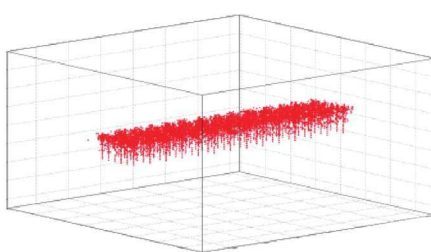
(e)



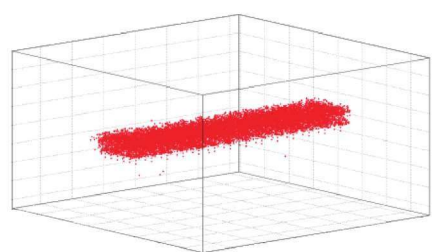
(f)



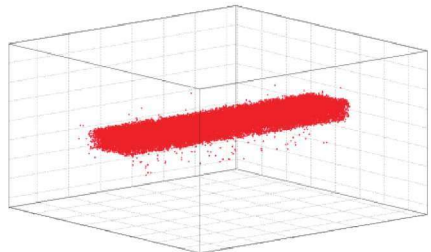
(g)



(h)



(i)



(j)

图 5-16 粒子在阻抗变换段内的三维分布 (续)

(e) 迭代时间步为 500 时的粒子分布；(f) 迭代时间步为 740 时的粒子分布；
 (g) 迭代时间步为 800 时的粒子分布；(h) 迭代时间步为 1 100 时的粒子分布；
 (i) 迭代时间步为 1 800 时的粒子分布；(j) 迭代时间步为 2 800 时的粒子分布