

# 电磁能武器

于歆杰

2021

# 内容提要

- 武器发展历程
- 电磁能武器概述
- 电磁能武器的代表：电磁轨道炮
- 电磁能武器的通用核心技术：脉冲电源

# 武器的本质是什么

- 武器就是“能量变换器”，是一类转换能量的装备-----王莹

# 从能量角度来看武器

- 原始机械能武器时代
- 化学能武器时代
- 核能武器时代
- 电磁能武器时代

# 原始机械能武器时代

- 使用由动能和势能构成的简单的机械能
- 工具和武器简单，杀伤力低下



图 1-1 机械能武器代表(标枪、弓箭)

# 化学能武器时代

- 到封建社会中期，中国宋朝发明了火药
- 由于火炸药储能密度较高，作为武器用，杀伤力较大，被广泛地用于军事，常见的化学能武器有枪炮和火箭等



图 1-2 化学能武器代表(火炮、火箭)

# 核能武器时代

- 人类进入核时代，由于核反应将释放出更多的能量，它首先被用于武器，制造出众所周知的原子弹和氢弹，并于1945年第一次在广岛和长崎使用
- 它具有的冲击波、光辐射、核辐射和电磁脉冲四种杀伤效应，构成了名副其实的“大规模杀伤性武器”



图 1-3· 核武器代表(投向广岛的原子弹以及核爆炸试验)。

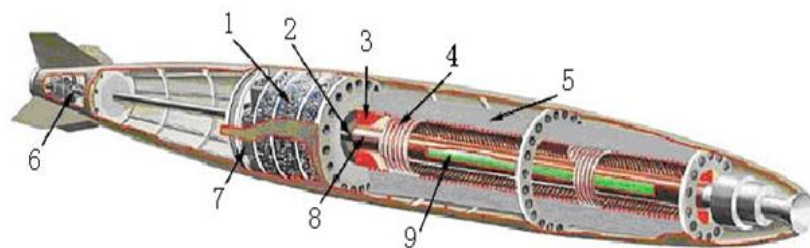


# 电磁能武器时代

- 电磁能武器，是基于它使用的能量是可控、得来容易、工作方便、清洁环保的二次能源——电磁能
- 电磁能武器家族具有软杀伤或非致命的功能，成为杜绝大规模杀伤武器和进行“人道主义”战争的有效手段



(a) 电磁炮在靶场试验



1-同轴电容器组；2-点火雷管；3-绝缘体；4-定子绕组；  
5-绝缘层；6-GPS 导航系统；7-电源；8-电极。9-炸药。

(b) 美海军使用的微波弹

图 1-4 电磁武器代表



# 电磁能武器

- 电磁动能武器
- 电磁-化学动能武器
- 电磁脉冲武器
- 智能武器
- 信息武器
- 失能电磁武器及其它

# 电磁动能武器

- 用电磁力（或电磁能）驱动大小“射弹”以获得动能，用以毁伤敌人及其装备的武器
- 各种电磁轨道炮、各种电磁线圈炮、各种电磁混合炮、电磁弹射器、各种电磁装甲、以及各种离子束武器等

# 电磁-化学动能武器

- 利用电磁能和化学能混合发射射弹的武器装备
- 各种电热化学炮、各种电磁化学炮、各种电磁火箭炮、各种电磁火箭武器等

[电热化学炮视频](#)

# 电磁脉冲武器

- 用高功率脉冲电源产生强脉冲电磁场和强激光，对目标进行非致命的软杀伤或致命的硬杀伤
- 主要包括微波“炮”、微波弹、各种宽频带电磁炸弹、电磁“导弹”、利用核电磁脉冲、利用雷电电磁脉冲和各种电子对抗干扰机；以及电泵浦CO<sub>2</sub>激光器武器、准分子激光武器、自由电子激光武器和X或 $\gamma$ 射线激光武器等

[激光武器视频](#)

[主动拒止武器视频](#)

# 智能武器

- 在其内部装有电工电子器件系统和能被其控制运动行为或有人工智能攻击目标的机电一体化的武器装备
- 主要包括各种导弹（含动能拦截弹）、各种制导炮弹、各种无人战机、各种军用机器人（含战斗机器人）、智能地雷和各种智能弹药等。

# 信息武器

- 用以获得敌人通讯信息或其它电磁信息以破坏敌人网络信息的一类电磁武器
- 主要有网络战用的各种有线网络武器（俗称“黑客”的计算机病毒武器）、无线（或离线）网络武器、各种无人侦察机、各种雷达（含新概念冲击雷达）、和军用卫星等

# 失能电磁武器及其它

- 用电气工程技术使目标暂时和永久失去战斗功能的一类电磁武器
- 主要有短路用的金属或碳纤维弹、变频电磁射线武器、光电枪、电光枪、各种电驱动的声武器、雷电武器和电控“金属风暴”等



# 电磁炮

轨道炮Rail gun

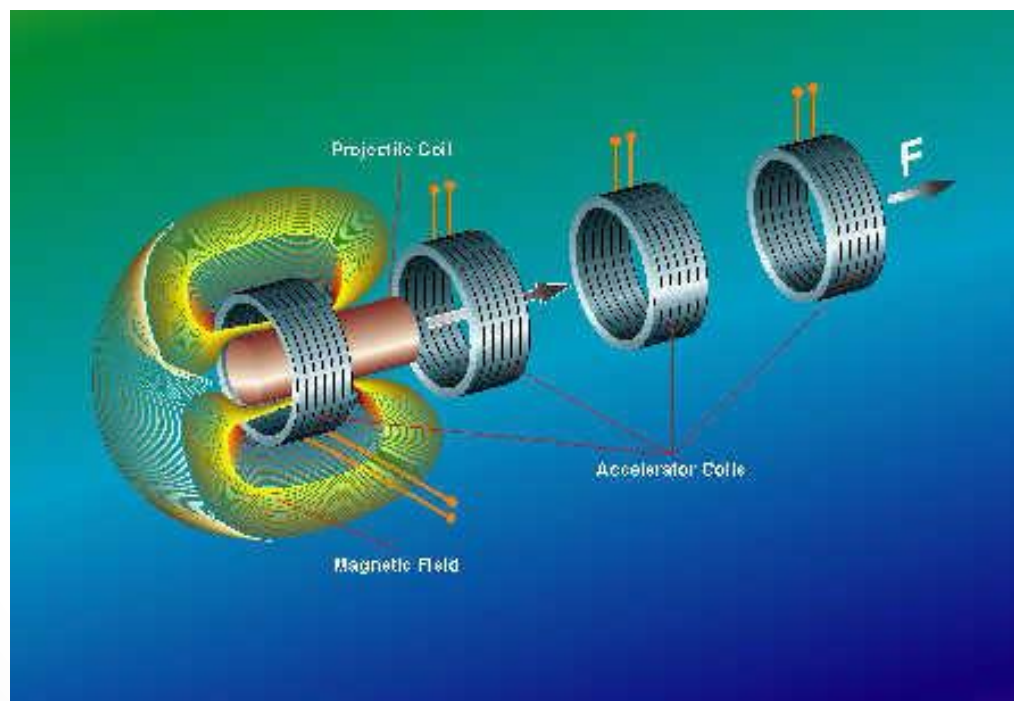
线圈炮Coil gun

Key

脉冲大电流High current → Pulse power supply

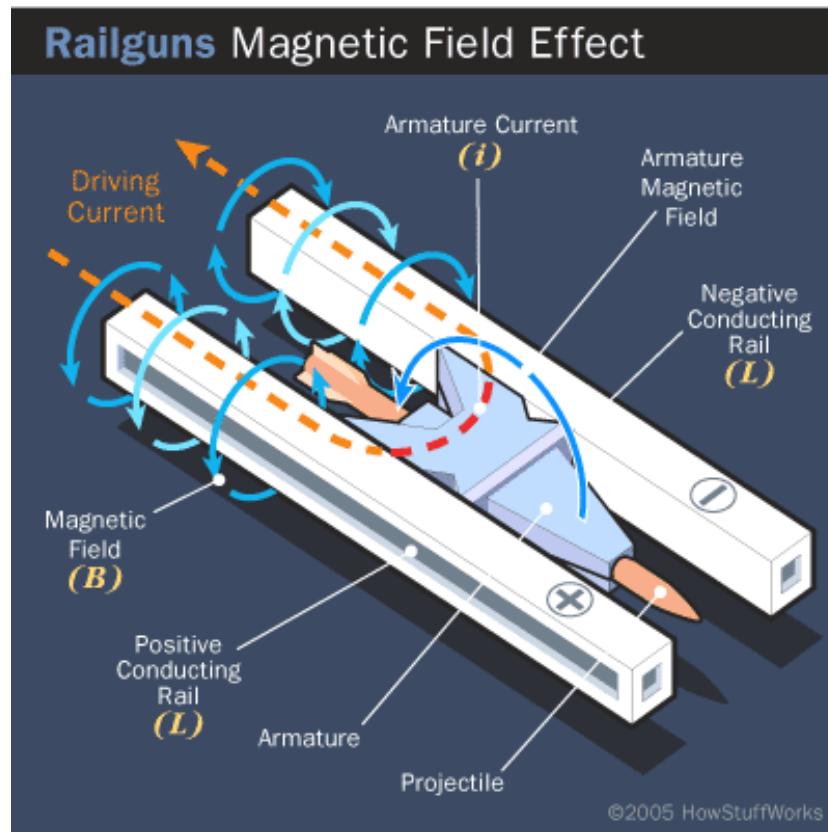
# 线圈炮

- 原理是什么？



# 轨道炮

- 原理是什么？弹幕



# 轨道炮媒体报道(2012央视)



# 轨道炮媒体报道(2014年CBS)



# 轨道炮美国国防部报道（2016年）

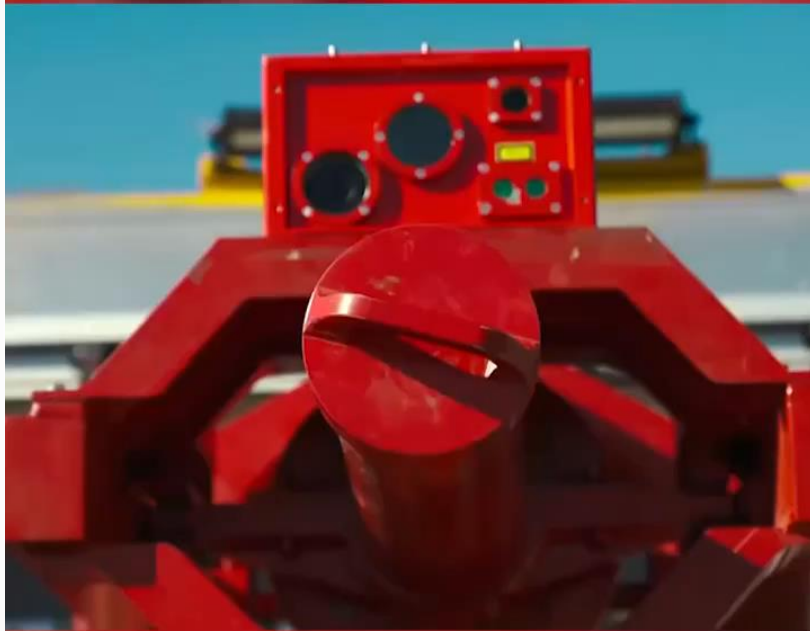


# 轨道炮美国国防部报道（2017年）



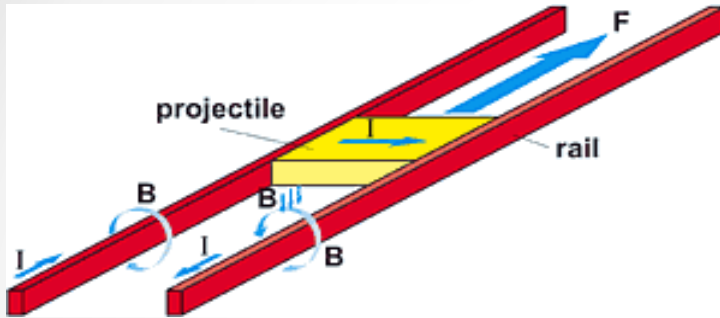


# 中国电磁炮试验 发射现场曝光！

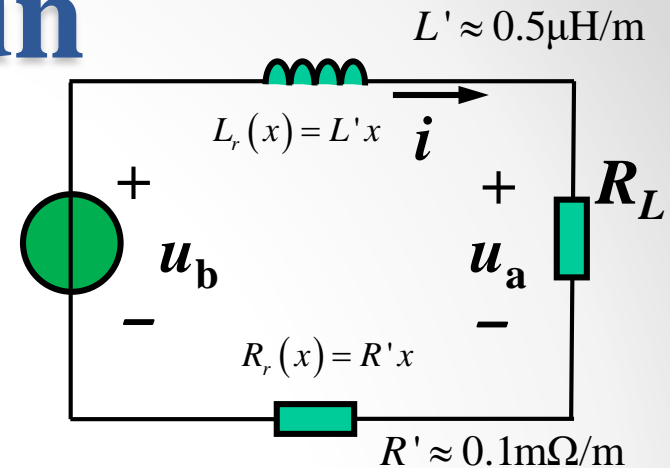


中国报道2021

# Equations for Rail Gun



Neglect energy loss



$$E = \frac{1}{2} L_r i^2 + \frac{1}{2} m v^2$$

$$u_b = \frac{d(L_r i)}{dt} + \underbrace{R_r i + u_a}_{\text{negligible}}$$

$$= i \frac{dL_r}{dt} + L_r \frac{di}{dt}$$

Power consumed by the rail

$$P = \frac{dE}{dt} = L_r i \frac{di}{dt} + \frac{1}{2} i^2 \frac{dL_r}{dt} + m v \underbrace{\frac{dv}{dt}}_a$$

Power supplied by the source

$$= u_b i = \left( L_r \frac{di}{dt} + i \frac{dL_r}{dt} \right) i$$

$$\frac{dL_r}{dt} = \frac{dL_r}{dx} \frac{dx}{dt} = L' v$$

$$F = ma = \frac{1}{2} L' i^2$$

# 电磁轨道炮最大的优点

- 加速度可控

$$F = ma = \frac{1}{2} L' i^2$$

- 总体成本低
  - 制造成本高
  - 运行成本低
- 运行风险小
  - 存储运输
- 发射水平高

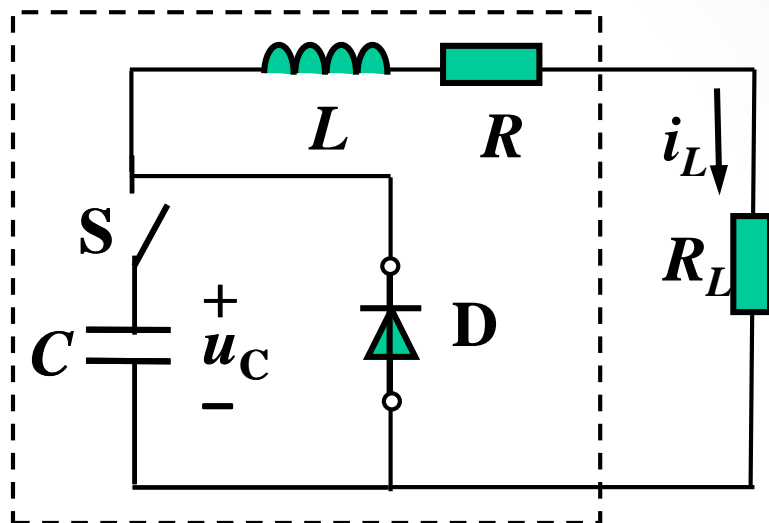
# 电磁轨道炮实用化最大的挑战

- 电源
  - 高功率( $\sim$ GW)、大能量( $\sim 10$ +MJ)、大电流( $\sim$ MA)
  - 能量密度( $\sim$ MJ/m<sup>3</sup>)
- 身管
  - 材料
  - 烧蚀
  - 寿命

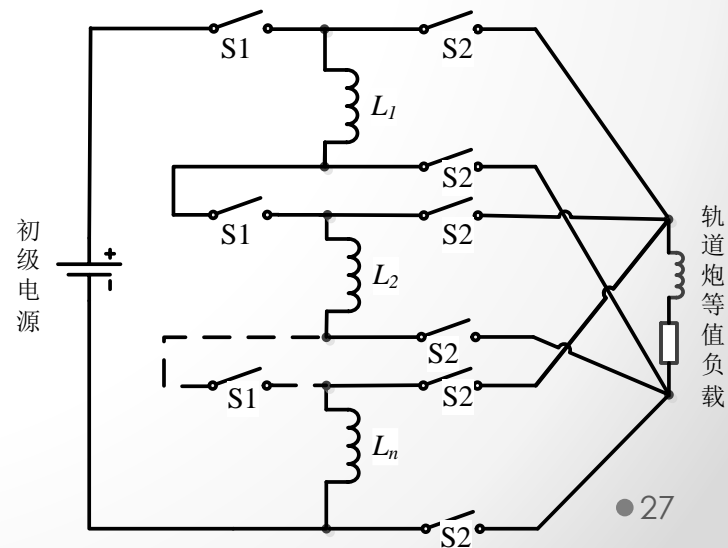
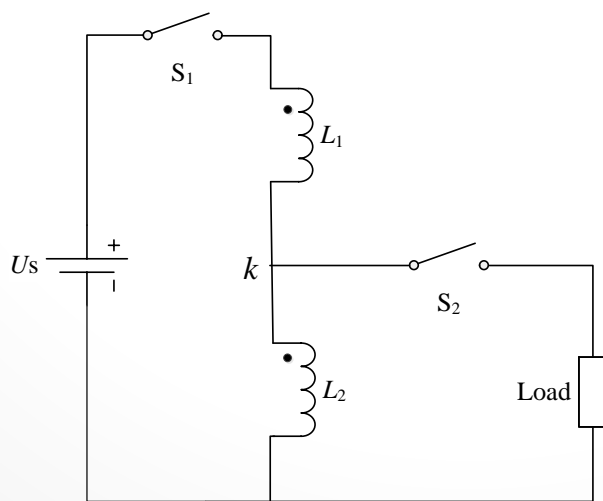


# 电磁轨道炮的电源

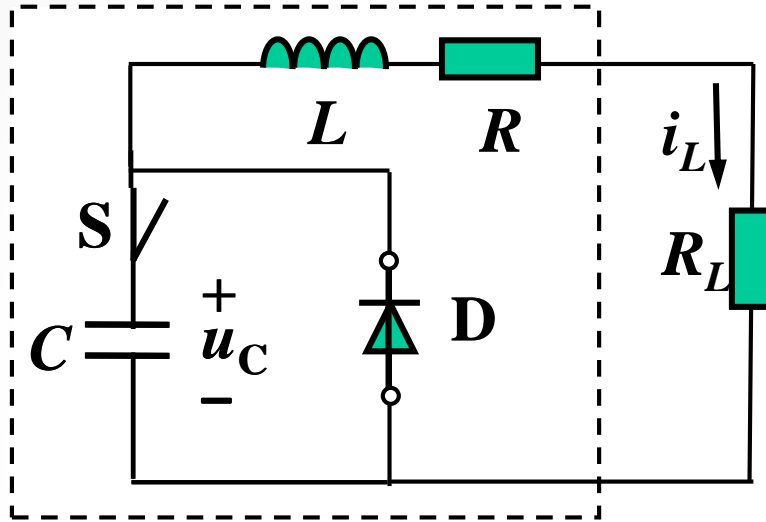
- 基于电容Capacitive



- 基于电感Inductive



# 电容型脉冲电源

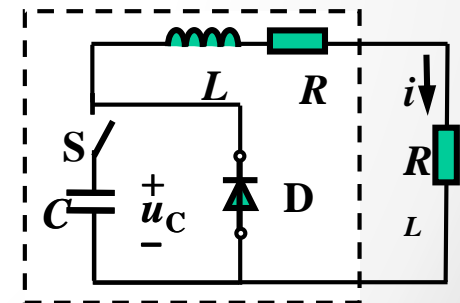
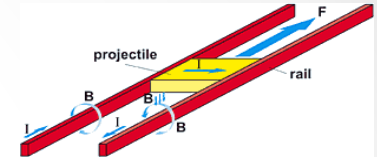


**Pulse forming unit**

**simulation**

# Researches on Capacitive Pulse Power Supply

- Precise model of rail gun system
- For a given energy level, how many units?
- In each unit, what's the value of  $C$  and  $u_C$ ?
- **For multiple units,**
  - What's the initial voltage?
  - How to group them?
  - What's the triggering delays?
  - How to obtain the designated speed?





# 优化Optimization

Given:

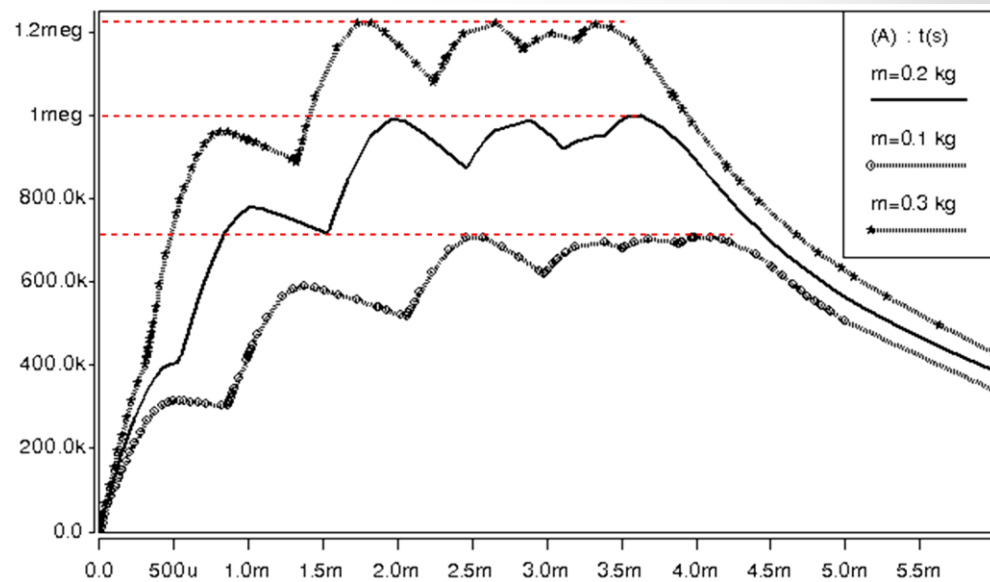
Capacitance, inductance, length, mass

Objectives	velocity(m/s)	max
	efficiency	max
Constraint	acceleration (m/s <sup>2</sup> )	<10 <sup>6</sup>
Variable	Capacitor voltage $U_0$ (V)	$2000 < U_0 < 10000$
	Triggering time (ms)	$0 < dt_i < 1.2$ $i=1, 2, \dots, 5$

# 单目标Single objective

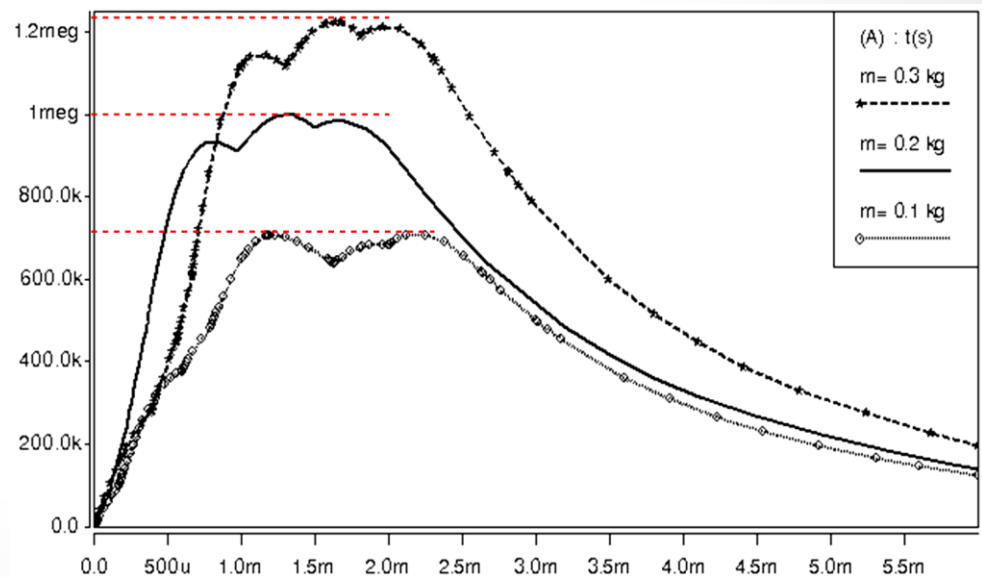
Max velocity速度

$m(\text{kg})$	$v(\text{m/s})$	$\eta(100\%)$	$U_0(\text{V})$
0.10	3216.7	29.37%	5418.1
0.20	3122.0	33.26%	6988.8
0.30	3139.3	34.27%	8478.7

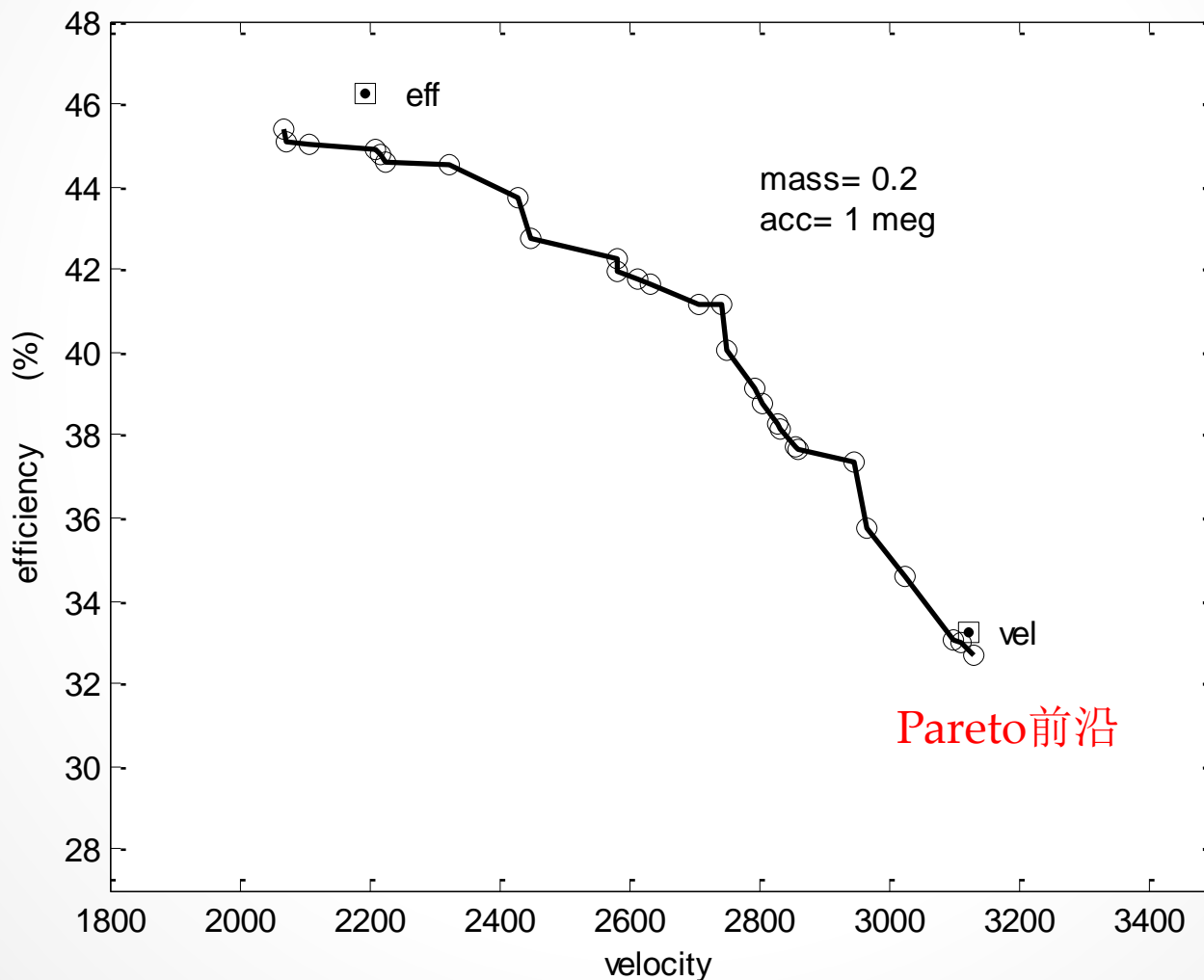


Max efficiency效率

$m(\text{kg})$	$v(\text{m/s})$	$\eta(100\%)$	$U_0(\text{V})$
0.10	2431.7	44.52%	3326.8
0.20	2200.0	46.53%	4163.9
0.30	2226.2	46.21%	5178.3



# 双目标Two-objective



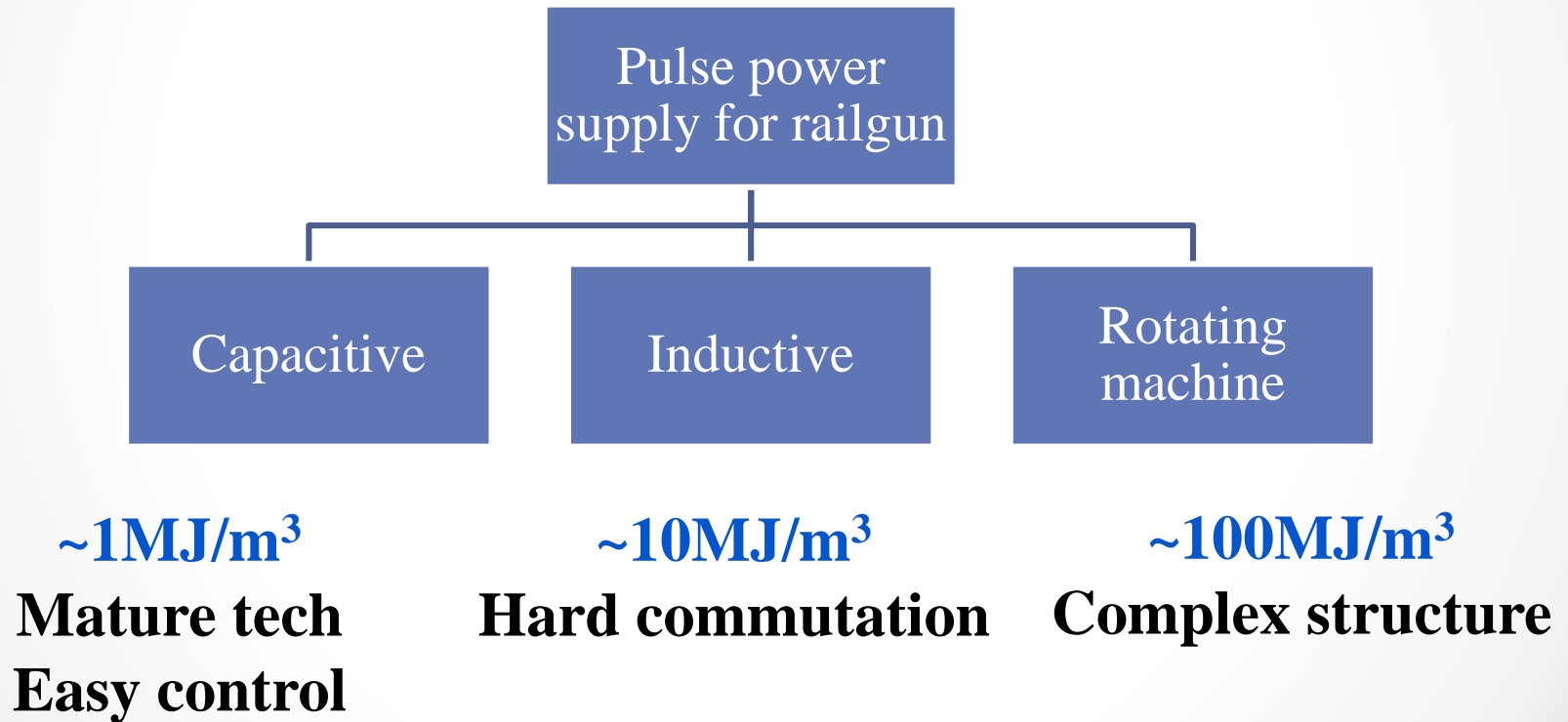
# Problems of the capacitive pulse power supply



**The Naval Surface Warfare Center (NSWC) Dahlgren 2012**

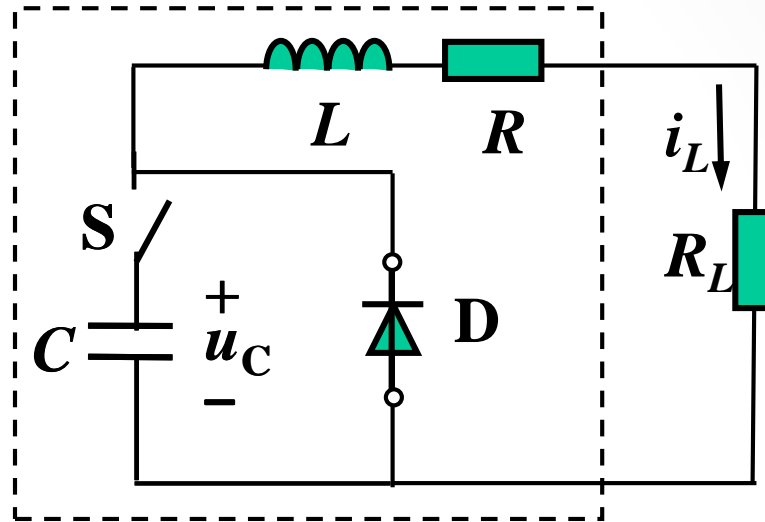
**The capacitive pulse power supply is TOO LARGE!**

# Why inductive pulse power supply?

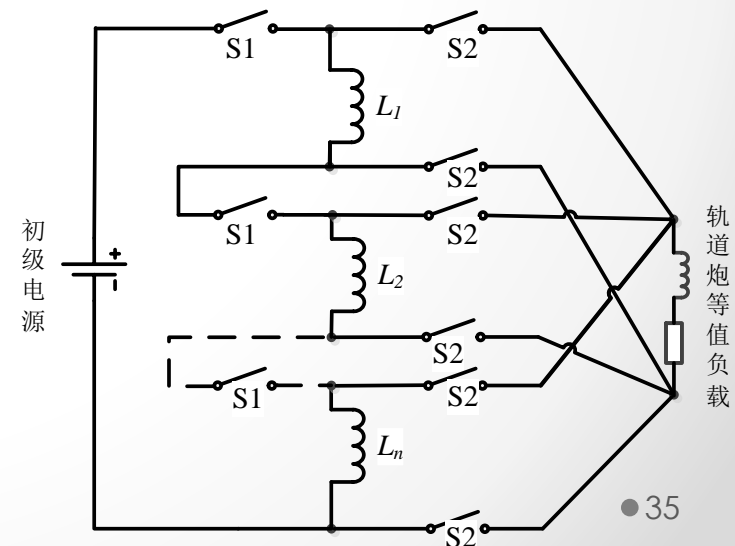
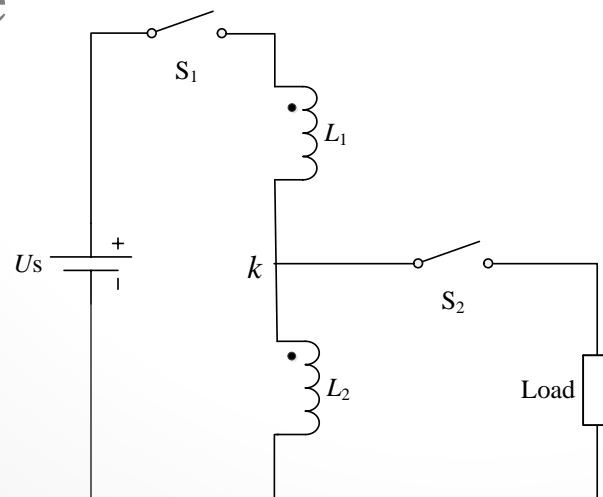


# Pulse Power Supply for Rail Gun

- Capacitive



- Inductive



# Lab Launch Experiment

## 10kA Railgun launch Experiment

Tsinghua University  
CAS Group



# Possible Researches on Inductive PPS

- New topology 新电路
- Multiple unit 多模块协同工作
  - Optimization
- System energy density 系统能量密度
- System efficiency 系统效率

# 总结

- 武器系统
  - 机械、化学、核、电磁
- 电磁能武器
  - 电磁动能、电磁化学动能、脉冲、智能、信息、失能
- 电磁动能武器
  - 轨道炮、线圈炮
- 电磁动能武器的脉冲电源
  - 电容型、电感型、旋转型