

V 国防装备电气化

- V-1 强脉冲电源
- V-2 电磁发射
- V-3 磁流体船舶推进

V-1 强脉冲电源

- 电容储能
- 电感储能
- 机械储能
- 爆炸压缩磁通
- 爆炸与脉冲磁流体发电

电容储能

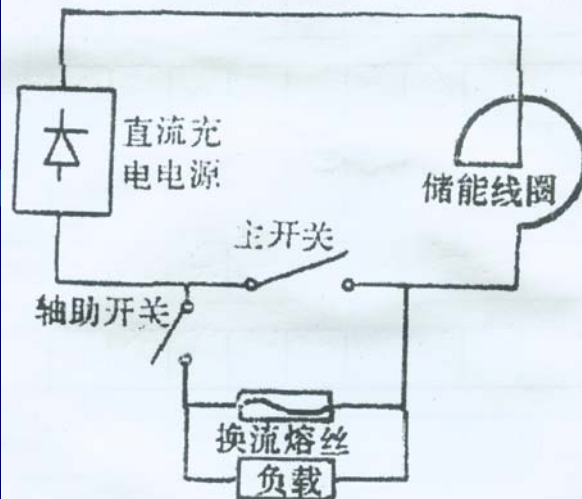
- 是最常用与方便的us及ms放电电源，具有充电功率小，技术成熟，操作方便的优点。缺点是储能密度低（约 $0.25\text{j}/\text{cm}^3$ ）与价格与规模的关系不大。从而研究发展主要在于提高储能密度和降低价格。
- 向着毫微秒块脉冲放电电源系统发展。



- 目前国内和国外都已建立了不同参数的毫微秒块脉冲放电电源装置，最大能量为零点几到几兆电子伏，最大电流为 10^4 - 10^6 安，脉冲宽度为几十到100毫微秒数量级，脉冲重复频率为每秒几次到50-100次数量级。

电感储能

● 特点：约 $10\text{j}/\text{cm}^2$ (5T) 随着规模扩大，经济性能迅速改善

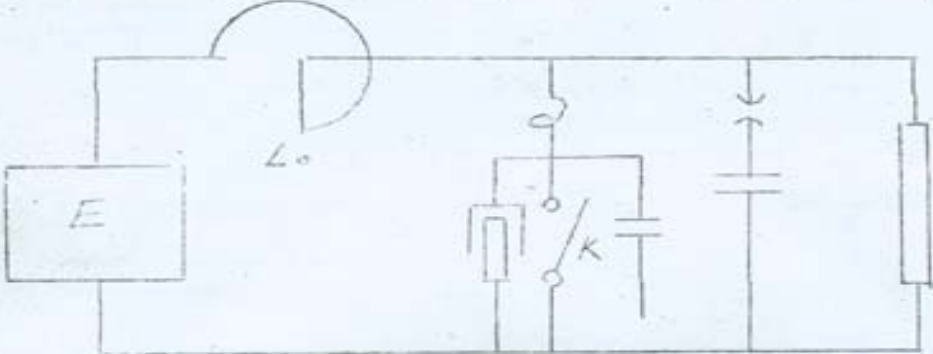


电感储能装置原理图 (熔丝换流)

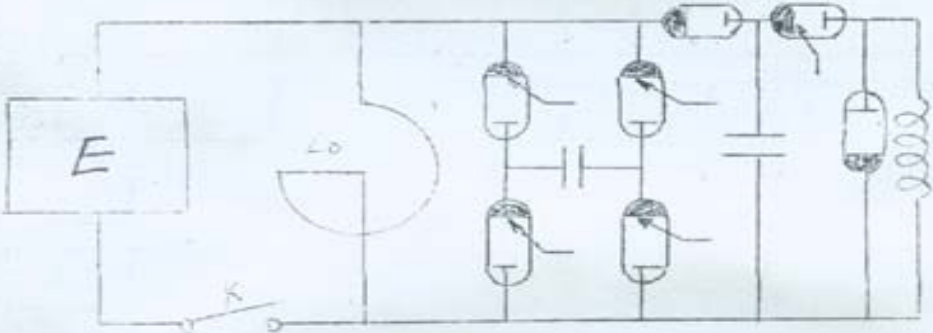
几个大型电感储能装置概况

单 位	美国空军阿诺德工程发展中心	中国合肥 等离子体物理所	意大利弗拉斯卡蒂 电离气体实验室	苏联电物理 装备研究所	
装置名称	Hot Shot-I 风洞	F 风洞	7 [#] 装置	FT 托卡马克	
总储能 (兆焦)	13	100	60	29	
放电时间 (毫秒)	25-35	10	~30	~40	
建成时间	1960	1963	1969	1975	
电 源	电动单极 直流发电机组	两组电动单极直 流发电机组, 每 组两台电机串联	500台QT-103 舰艇蓄电池组	电动交流发电 机组, 硅整流	电网, 两组整 流器并联
I (千安)	300	2×550	70	31	100
U (伏)		2×45	250	700	850
P (兆瓦)	10	90	17.5	21	85
W _动 (兆焦)	50		—	154	—
线 圈	铜 螺 管	铜电缆, 螺管	铝电缆, 螺管	液氮冷却铜螺管	环 形
L (毫亨)	0.35	200	26.3	60	
T (秒)	~0.26	~4	~9	~6.5	
主 开 关	压缩空气开关	压缩空气开关	压缩空气开关	压缩空气开关	气动机械开关
换流方式	熔丝换流	熔丝换流	熔丝换流	人工过零	串连充电, 并联放电

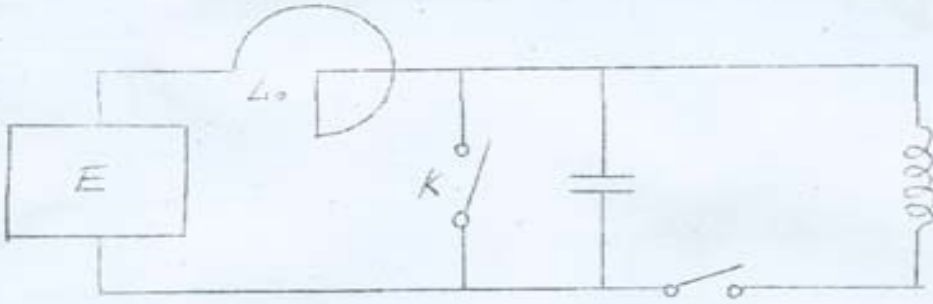
电感储能的发展



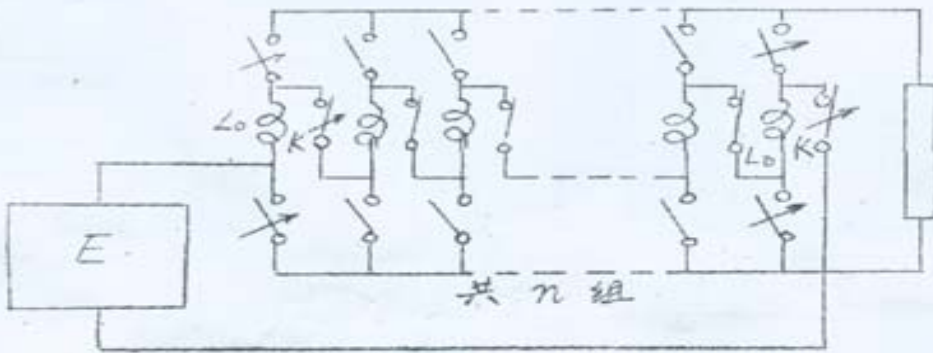
a. 人工过零
 E—充电电源
 R_L L_0 —储能线圈
 K—主开关
 R_L, L_L —负载



b. 引燃管换流



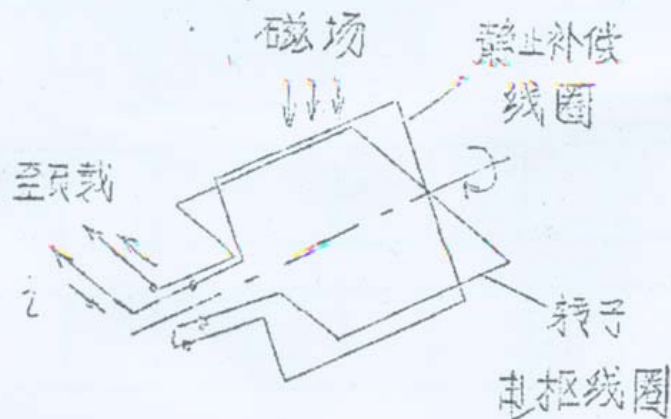
c. 电容换流



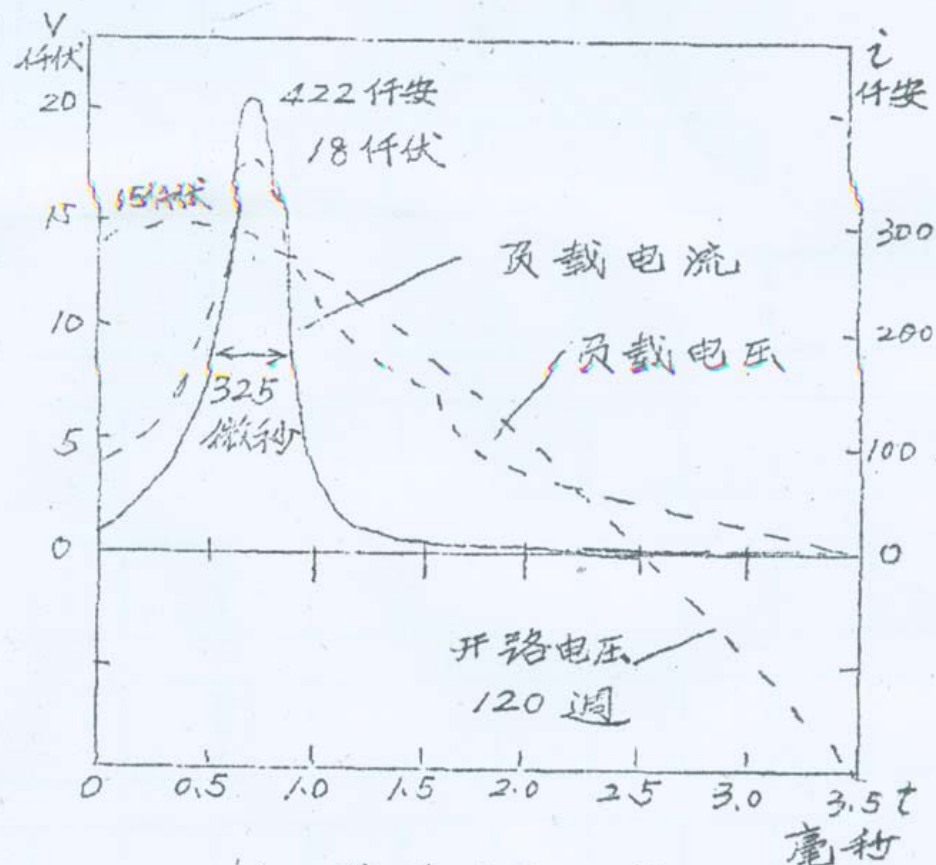
d. 串联充电，
 并联发电。

机械储能

- 作为秒级放电电源，已有几十台成功运行几十年，动能 10^8-10^9j (5j/g , 100m/s)，每脉冲释放40-50%，功率几万-几十千瓦。
- 由于磁悬浮与碳纤维发展有可能达 1000m/s , 500j/g ，正在积极研发中。
- 采用补偿电机技术，向毫秒放电前进



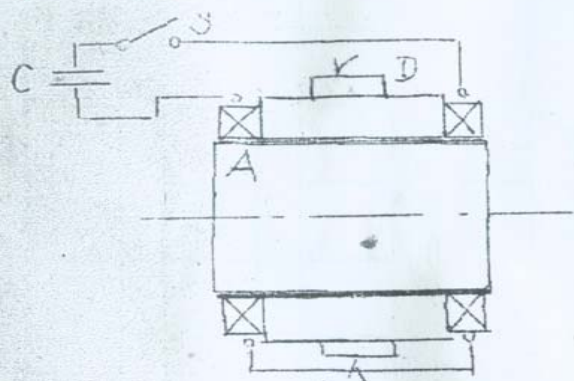
a) 原理图



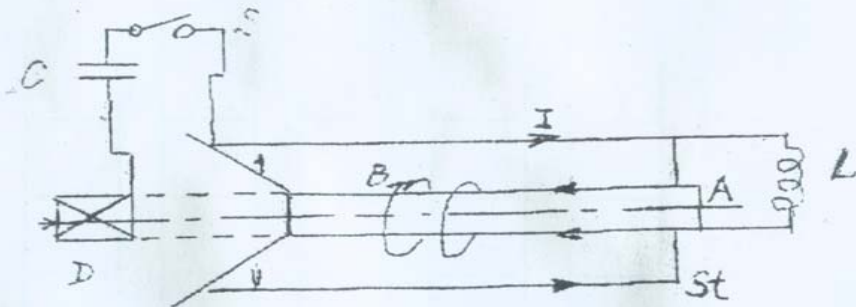
b) 试验电机性能

爆炸压缩磁通

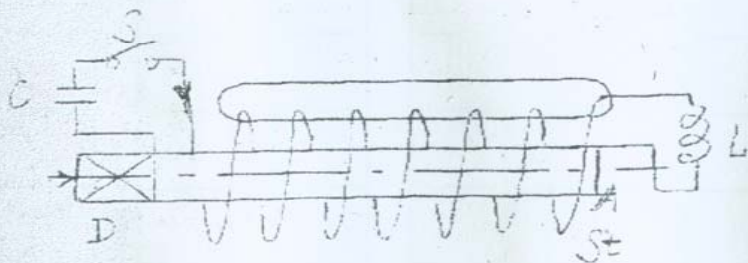
由爆炸能直接转化为微秒放电电磁脉冲



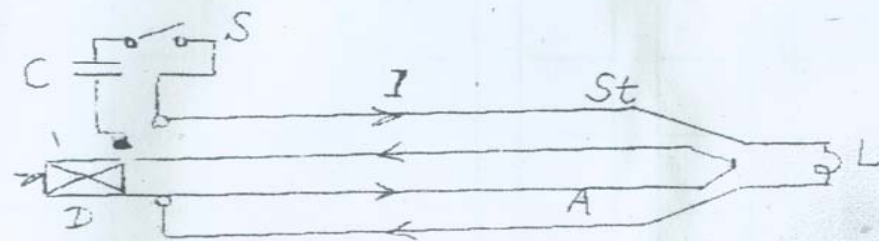
a) 圆柱收缩型




b) 同轴型



c) 螺旋型



d) 平板型

 外磁电枢示意图

C—激磁电容四组， S—开关， D—起炸装置， L—负载，
A—包框， St—定子， B—磁场， I—电流。

(2) 一些外研电机的主要参数

研制单位		美 LLL	美 SL	苏联	美 LLL	意 FL
型号		18	612	MT-2		121
型式		螺旋型	螺旋型	螺旋及同轴型	同轴型	平板型
包 柜	截面(厘米 ²)	$\phi 12.7$	$\phi 30.5$ (定子直径)	$\phi 30$		$\sim 2 \times 20$
	长(厘米)	106.4	73.7			~ 90
	药重(公斤)	21.6	16.7	15		6.0
初 始 条 件	L_0 (微亨)	72.5	2.5			0.435
	I_0 (安培)	7				550
	H_0 (千高斯)					31
	W_0 (千焦耳)	17.8				66
终 条 件	L_f (毫微亨)	110 ³	83	10	1.0	12
	I_f (兆安)	10.0	12.0	50	250	12.5
	H_f (兆高斯)	2.0		~ 1.0	2.0	0.7
	W_f (兆焦耳)	5.5	6.0	12.5	31.7	0.94
电 机 性 能	$K_w = W_f/W_0$	310				14.2
	$\lambda = \frac{I_f L_f}{I_0 L_0}$	0.22				0.64
	脉冲时间(秒)		~ 55			~ 70
	η %	5.09	6.0	15.7		3.1
	总重(公斤)		48.8	150		

注：LLL——劳伦斯利勿莫尔实验室，SL——圣地亚实验室，

• FL——弗拉斯卡蒂电离气体实验室。

爆炸磁流体发电

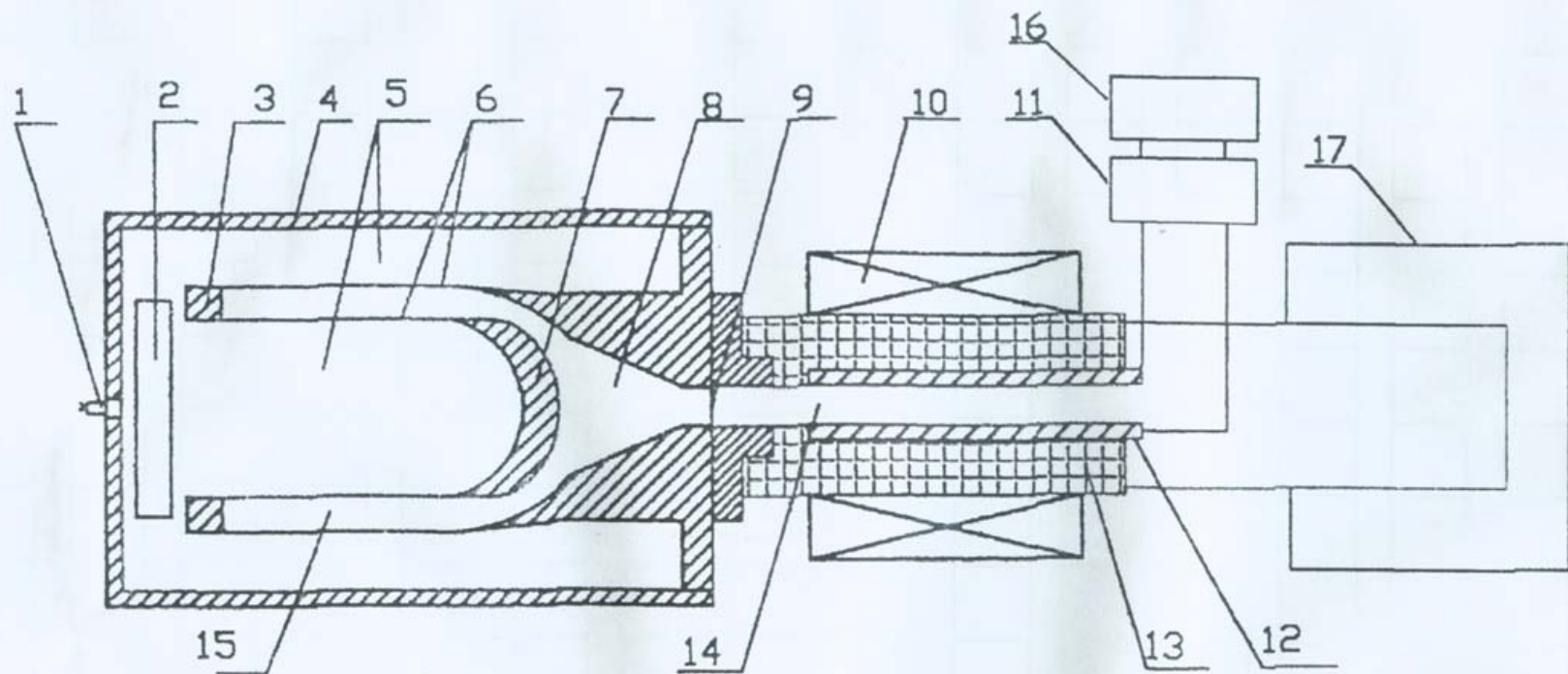


图1 超导爆炸磁流体发电强脉冲电源原理图

1—雷管；2—波整形器；3—钢凸缘；4—外钢管；5—炸药；6—钢套管；
7—铝活塞；8—端腔；9—钢薄隔膜；10—超导磁体；11—脉冲调制器；12—电极；13—
绝缘体；14—发电通道；15—工作气体；16—微波发生器；17—真空室；1-9 组成爆炸室

主要进展

- 1)六十年代初，美国MHD Research Inc。15g黑索金，输出23MW，60us， $\eta=1\%$
- 2)六十年代，美国Artec Associates Inc。1kg炸药，输出6Gw，140kj， $\eta=2.8\%$
- 3)六十年代，俄罗斯科学院化学物理所，用超导磁体，达0.6Gw， $\eta=5\%$
- 4)1994年，美国Sandia National Lab，达18GW输出，完成23GW设计。

- 优点

- 封闭爆炸，对外部无破坏，可重复使用
 - 可能达到很高能量与功率（100-1000KG炸药室）

- 问题

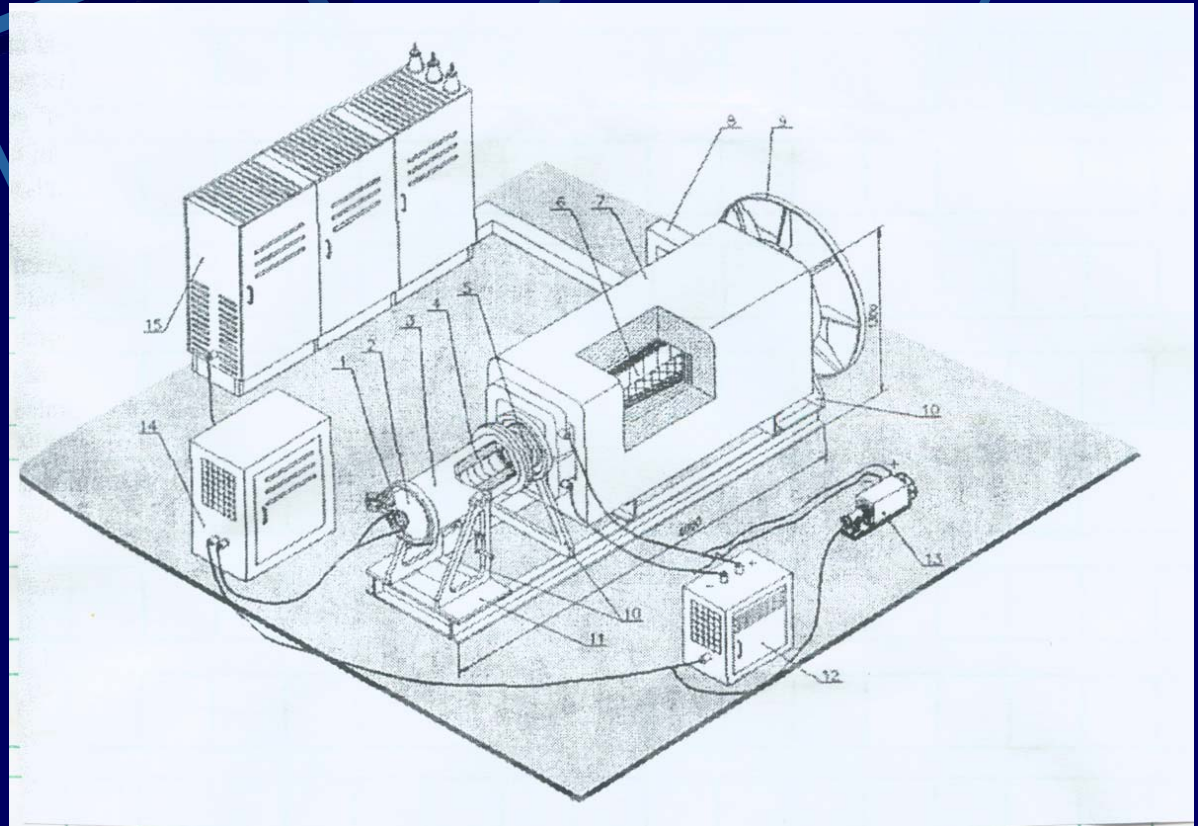
- 需用超导磁体
 - 效率有待提高
 - 大能量时爆炸室困难大

脉冲磁流体发电

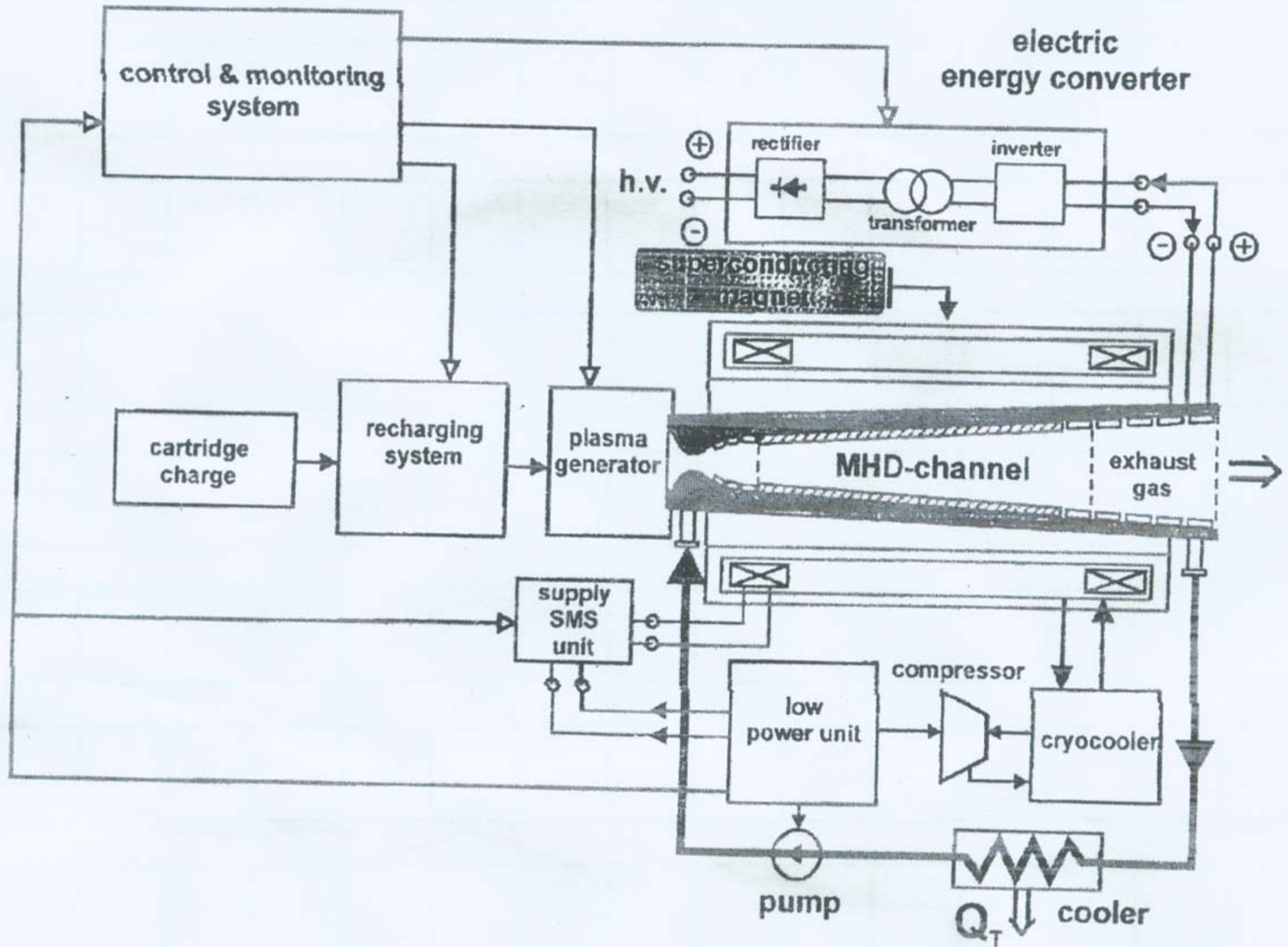
- 用固体火箭燃料或油氧作燃料，发出几万至几十万千瓦，秒级大功率，可达每分钟数发，重复使用， η 约为**100%**
- 俄罗斯进行了长期火箭燃料发电机的研制，制成了五代，最大输出**50**万千瓦，并在地震预警中得到使用。
- 近年，俄又提出了作为秒级强脉冲电源的两个设计，用无液氦超导磁体，用铁磁体自激。

自激脉冲磁流体发电机方案

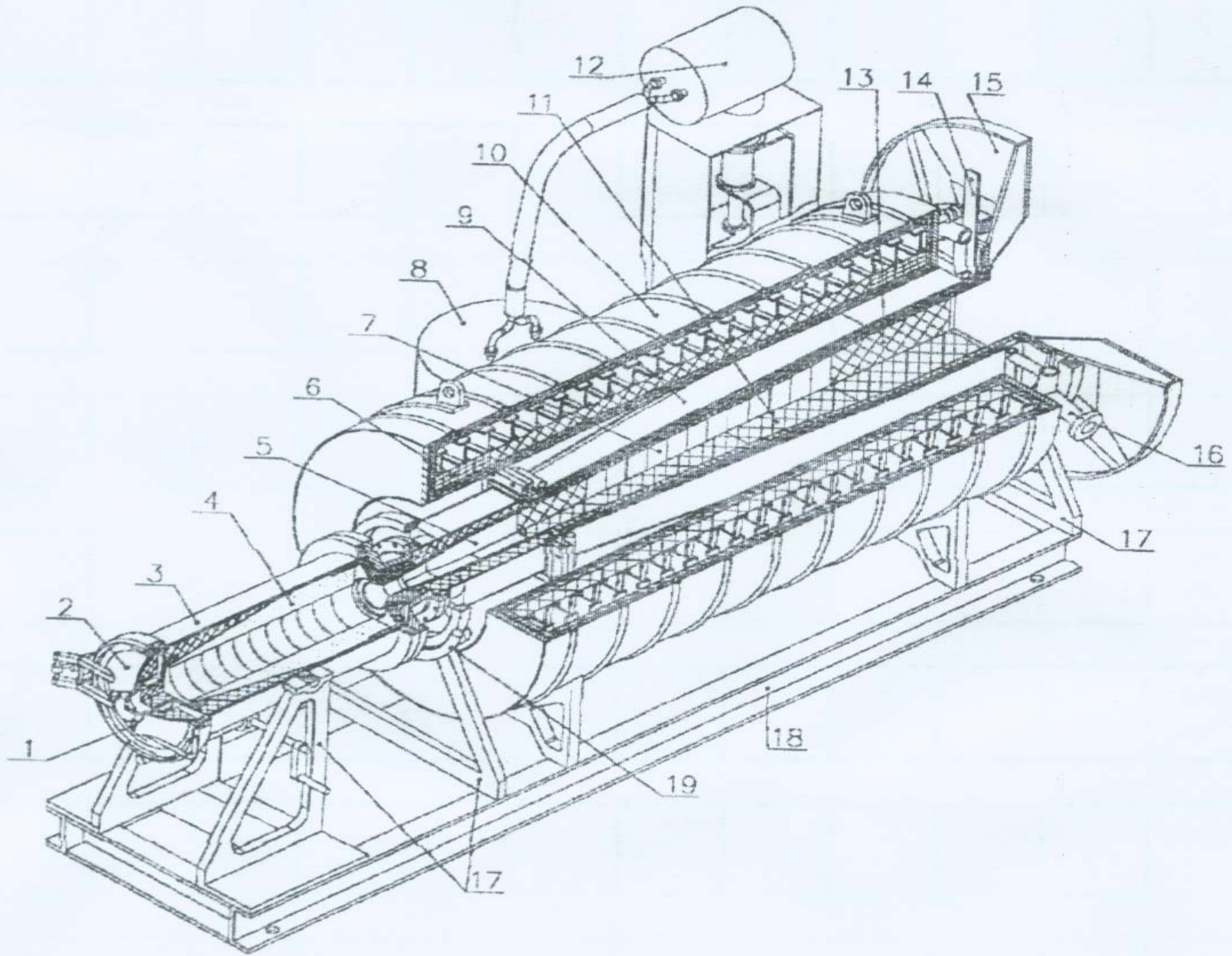
- 主要参数
- 净输出功率 **7.6兆瓦**
- 电脉冲长度 **10秒**
- 脉冲重复率 **3次/分**
- 至负载能量 **63兆焦**
- 达运行条件的响应时间 **约1.5秒**
- 磁流体发电机重 **约10吨**
- 总体尺寸 **4x1.3x1.3 米**
- 比重量 **1.3吨/兆瓦**



具有超导磁体的脉冲磁流体发电机（系统图）



具有超导磁体的脉冲磁流体发电机（发电机图）



主要参数

等离子体发生器	燃料重 燃料流量 压力 长 总尺寸 总重	54公斤 10.2公斤/秒 7.0 Mpa 1.3米 0.5米 120公斤
发电机（包括喷嘴 通道与扩散段）	输出功率 电流 马赫数 电极区长 焓取出率 总长 总截面 入口尺寸 出口尺寸 总重	10.8兆瓦 19.0千安 2.8 0.95米 14.3% 2.3米 0.48米² 0.116x0.132米 0.224x0.224米 410公斤
冷却系统	驱动功率	12瓦

电磁发射

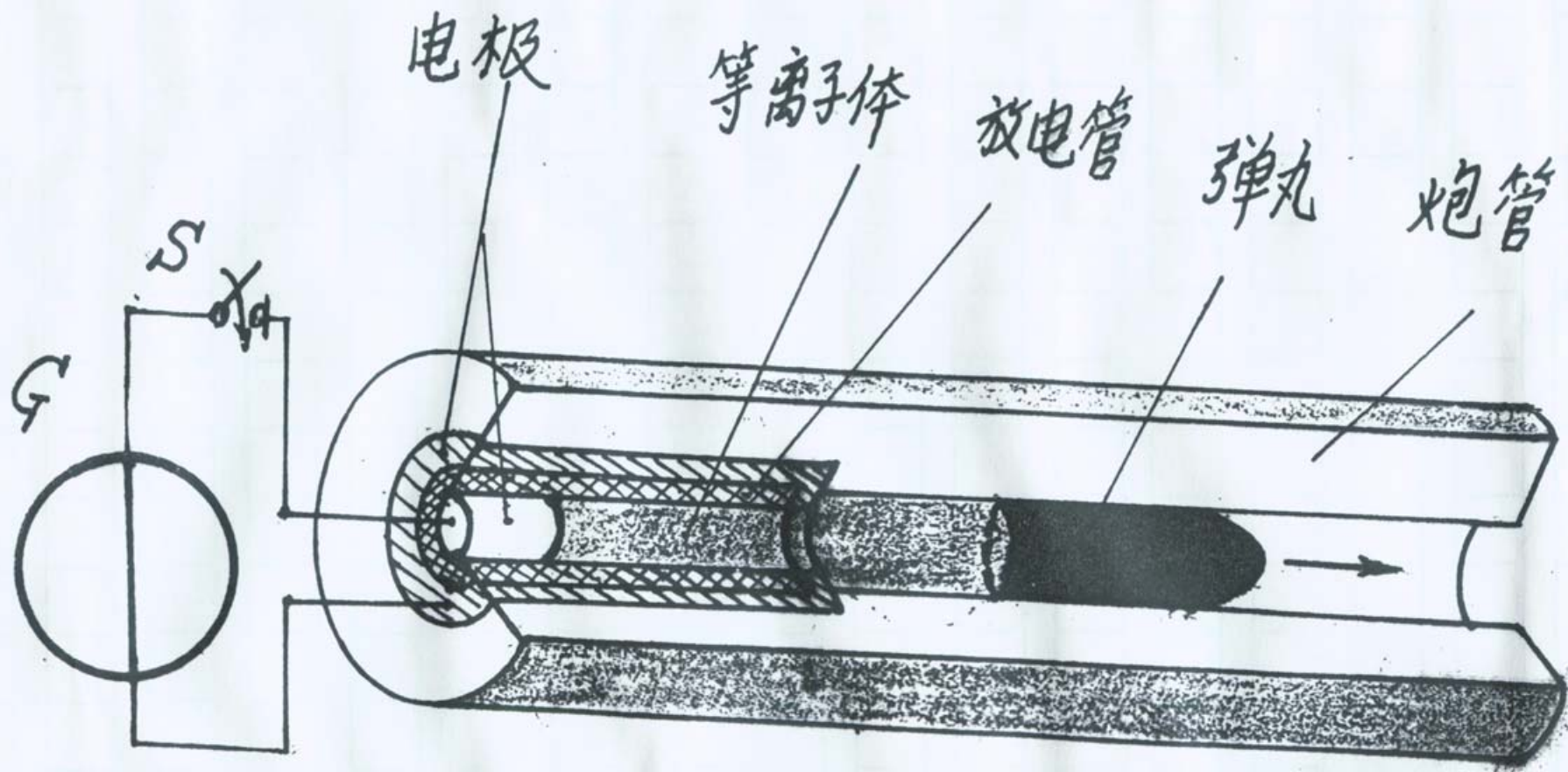
1) 电炮 轨道炮, 电热炮, 线圈炮

四种主要电炮概貌

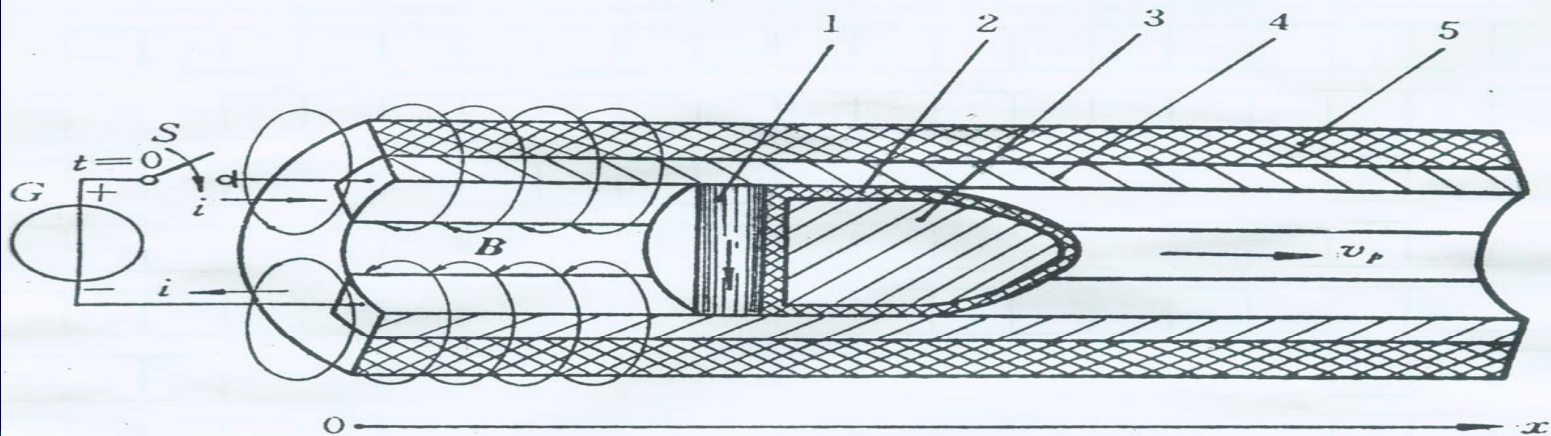
炮 称	原 理	炮 管 形 式	电 枢	弹丸质量 (kg)	速度 (km/s)	电(能)源 ^①	现 状
导轨炮	洛伦兹力	金属导轨 (有接触)	固体或等离子体	$10^{-3} \sim 10^3$	$10^2 \sim 1$	C, B, A, HPG, MFCG, MHDG, CAP.	即将投入使用
线圈炮	载流导体间的磁力 (或安培力)	驱动线圈 (可无接触)	金属环; 绕组线圈	$10^{-1} \sim 10^3$	$10 \sim 10^{-1}$	RFG, DA, CAP, C, A.	工程发展研究
重接炮	磁场重接	无炮管 (无接触)	经典炮无电枢	$1 \sim 10^3$	$10 \sim 10^{-1}$	RFG, DA, C, CAP, MFCG, MHDG.	应用研究
电热炮	等离子体加热和箍缩; 电加热轻质燃料膨胀; 电爆炸导体	密闭炮管 (金属和绝缘体兼有)	无电枢。弹丸接触或不接触	$10^{-3} \sim 10^2$	$10^2 \sim 1$	C, CAP, A, DA, MHDG, MFCG, B.	即将应用

①C—电容器, B—蓄电池, A—普通交流发电机, HPG—单极发电机, CAP—补偿脉冲交流发电机, MFCG—磁通压缩发生器, MHDG—磁流体脉冲发电机, RFG—增频发电机; DA—圆盘交流发电机。

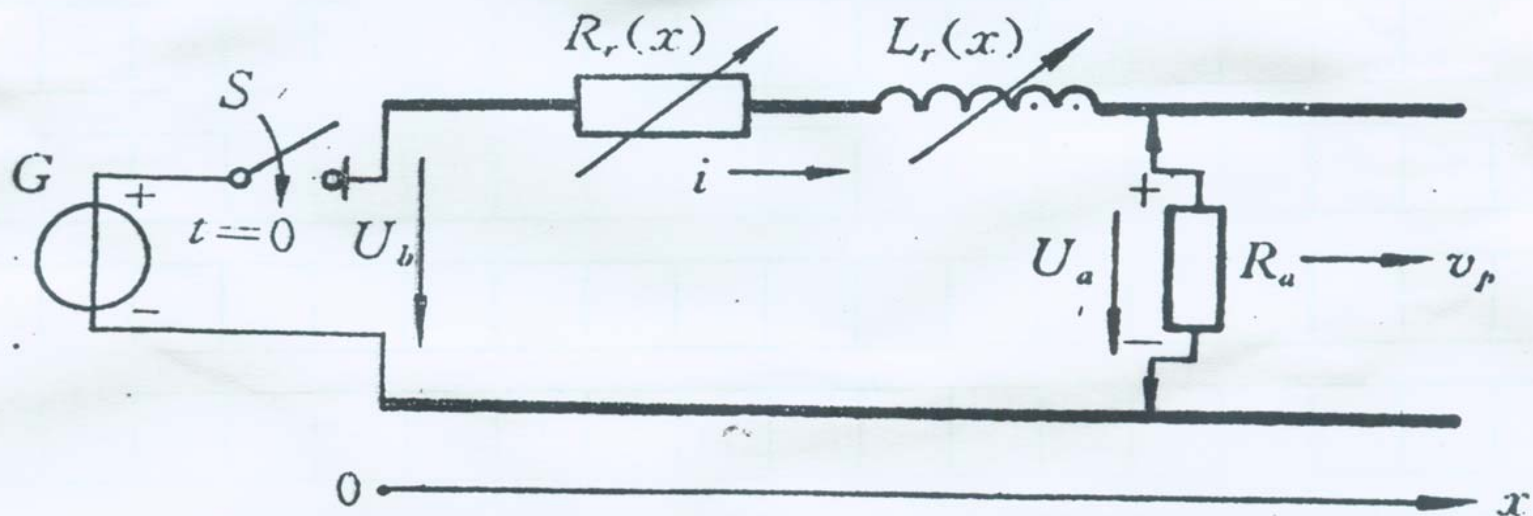
2) 电磁弹射系统



等离子体电极轨道炮



1—电枢；2—弹丸绝缘壳；3—弹丸；
 4—导轨；5—绝缘加固管；G—电源；
 S—开关；B—磁场(磁感应强度)。

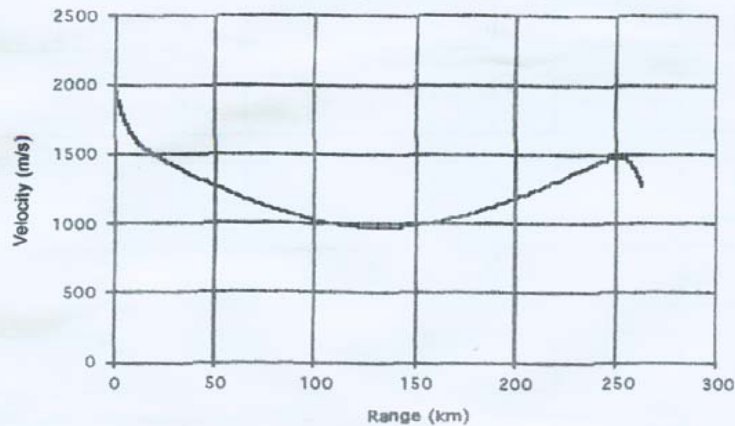


固体电枢轨道炮

NOMINAL EM GUN, LAUNCH CYCLE, AND PROJECTILE PARAMETERS

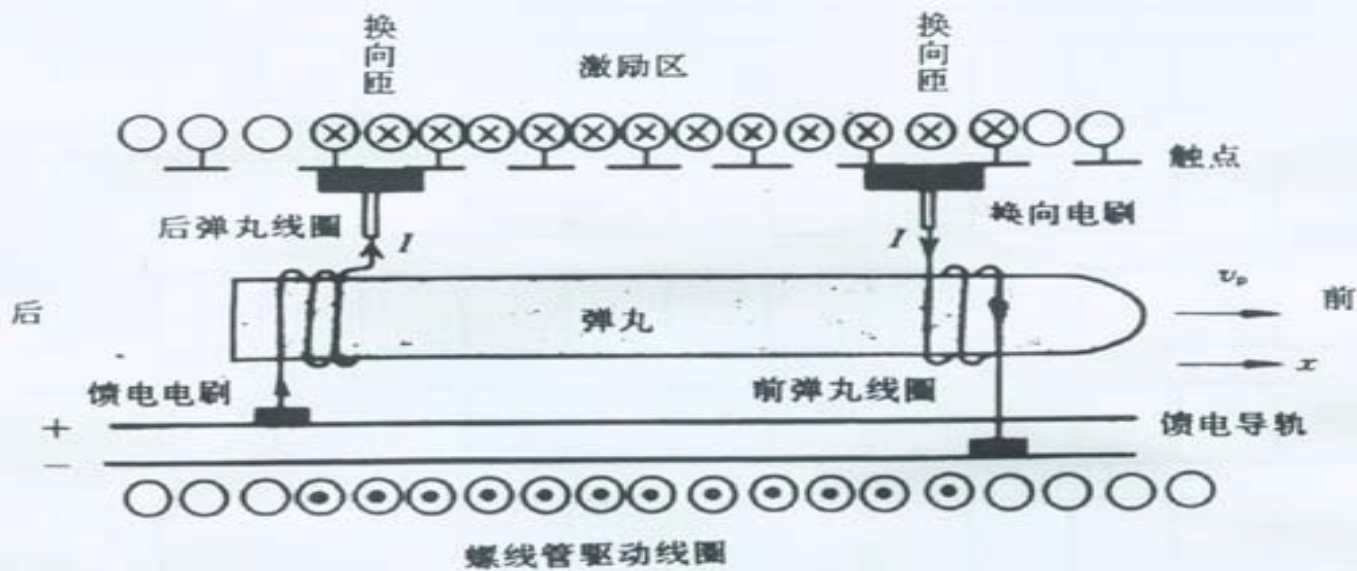
Parameter	Value
Flight mass (kg)	16.0
Launch mass (kg)	21.0
Peak acceleration (gees)	30,000
Muzzle velocity, V_m (m/s)	2,000
Rail height and separation (mm)	127.0
Muzzle energy, E_m (MJ)	42.0
Total gun length, L_{gun} (m)	12.0
Acceleration time, t_e (ms)	11.5
Maximum current, I_{max} (MA)	5.0
Recoil momentum (N-s)	42,000

Velocity vs. Range

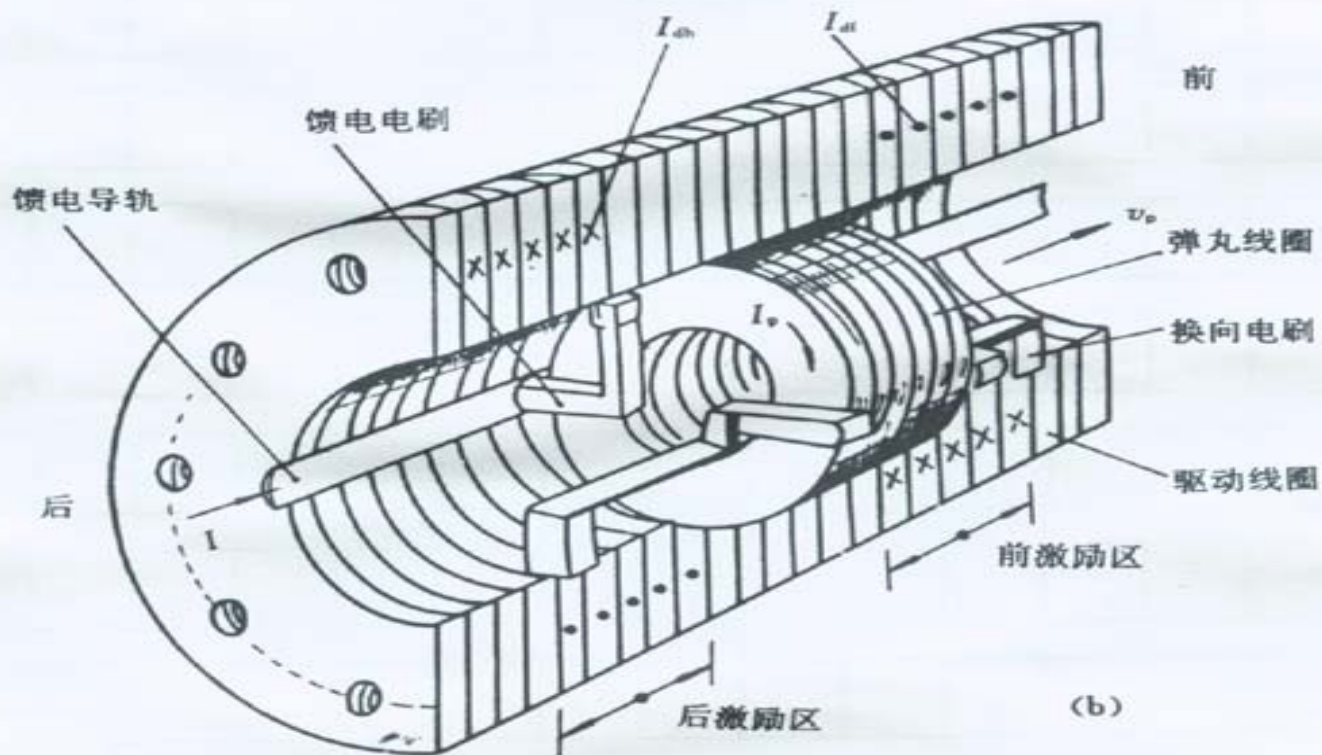


Impact velocity versus range for a hypersonic projectile launched at 2000 m/s at 52° elevation.

美国近期轨道炮的研制目标

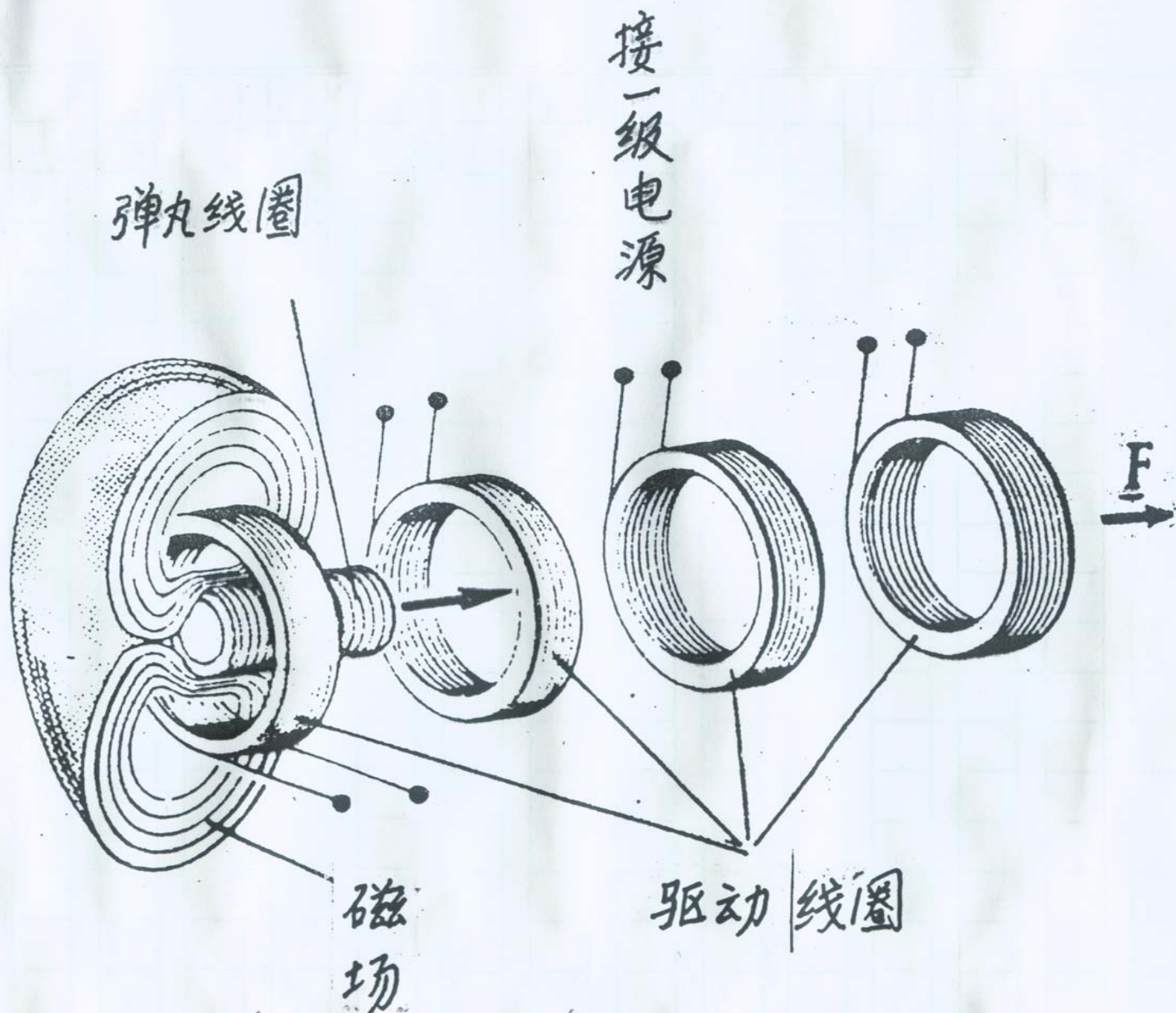


(a)



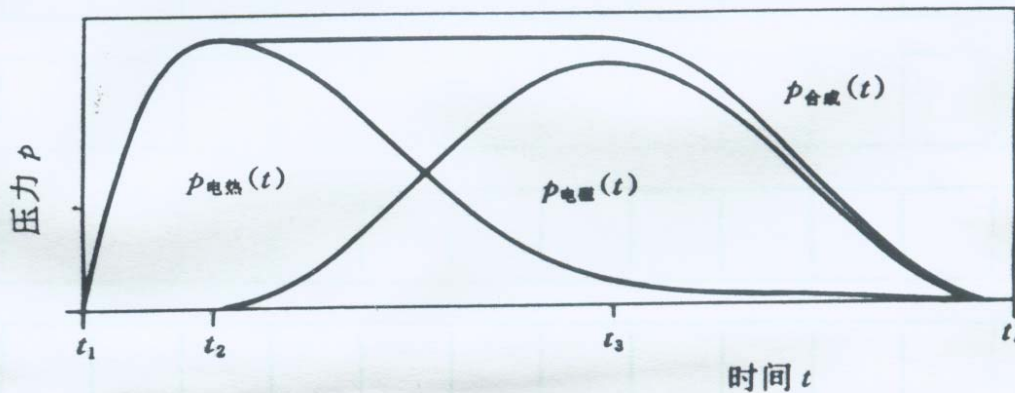
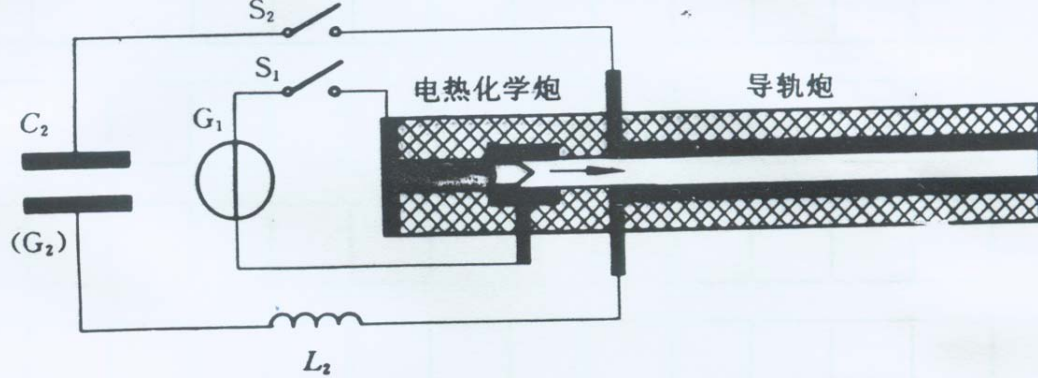
(b)

线圈炮

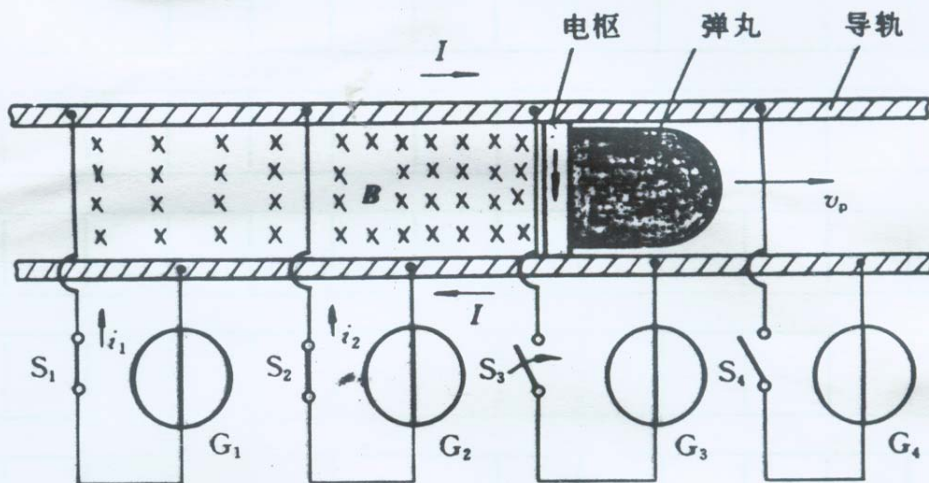


多级线圈炮

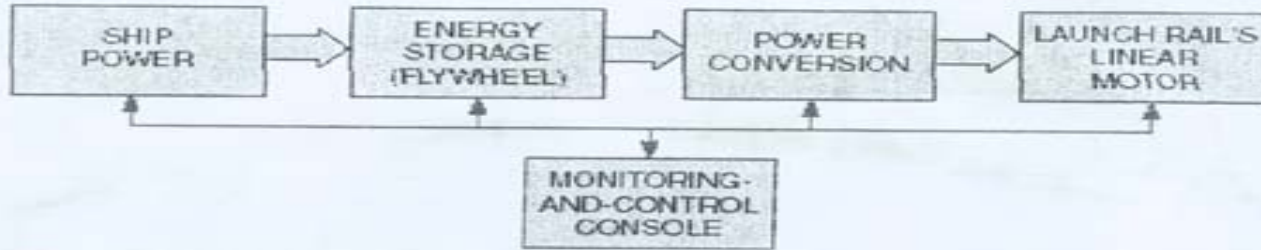
电热炮



(b)

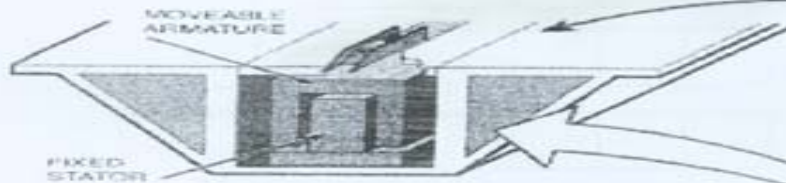


目标：取代传统的蒸汽弹射系统（航母）
100m/s 约100米长，重约225吨



EMALS ATTRIBUTES

- ROBUST, FAULT-TOLERANT DESIGN
- MODULAR ARCHITECTURE
- ACHIEVES CRITICAL LAUNCH RELIABILITY



LAUNCH MOTOR

- LINEAR INDUCTION MOTOR
- ROBUST, FAULT-TOLERANT
- SIMPLE THERMAL MANAGEMENT

POWER CONVERSION

- MODULAR, FAULT-TOLERANT
- PROVEN LOW-RISK TECHNOLOGY
- SOLID-STATE COMPONENTS
- NEAR ZERO MAINTENANCE



CONTROL AND HEALTH MONITORING

CONTROL CONSOLES



ENERGY STORAGE

- BASED ON COTS
- COMPACT CUSTOM DESIGN
- INTEGRAL MOTOR FLYWHEEL GENERATOR

