

# 电子雷管的隧道应用电磁兼容探讨

音 特 电 子

2023-Mar 上海

# 隧道爆破失效四大原因

操作不当

产品问题

电磁兼容问题

系统设计



# 1 电子雷管模块准入安全技术要求

## 电磁兼容问题

WJ/T 9042-2004 工业电雷管静电感度试验方法

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 27602-2011 工业电雷管射频感度测定

GB/T 17626.2 / IEC/EN 61000-4-2: **TEST STANDARD FOR ELECTROSTATIC DISCHARGE (ESD) IMMUNITY**

GB/T 17626.3 / IEC/EN 61000-4-3: **Electromagnetic compatibility**

GB/T 17626.6 / IEC/EN 61000-4-6: **IEC 61000-4-6: Immunity to Conducte... Standa**

## 1.1 工业电雷管静电感度试验方法

WJ/T 9042-2004 工业电雷管静电感度试验方法

[国防科学技术工业委员会](#)

1. 静电电压最高输出值不小于30kV；
2. 静电电压最小分度值不大于0.2kV；
3. 仪器储能电容的相对误差不大于5%；
4. 仪器串联电阻的相对误差不大于5%。

### 3 原理

对工业电雷管静电放电作用可以等效地看成充电至一定电压的电容在雷管的脚线与壳体之间进行的放电作用。以电容放电作用引爆电雷管发火概率为50%时所需的充电电压值或固定电压条件下的发火数来表示雷管的静电感度。

## 1.3 IEC国际电工委员家族标准

### IEC/EN 61000-4

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验



## 1.3 工业电雷管射频感度测定

### GB/T 27602-2011 工业电雷管射频感度测定

本标准适用于测定工业电雷管对 300M Hz ~ 18 GHz频率(连续波)的感度

使用6个频率点实验, 标准建议接近等差频点

脚对脚 类似差模方式

脚对壳 类似共模方式



## 2 隧道EMC电磁辐射干扰源 (I)

### ➤ 电磁辐射干扰

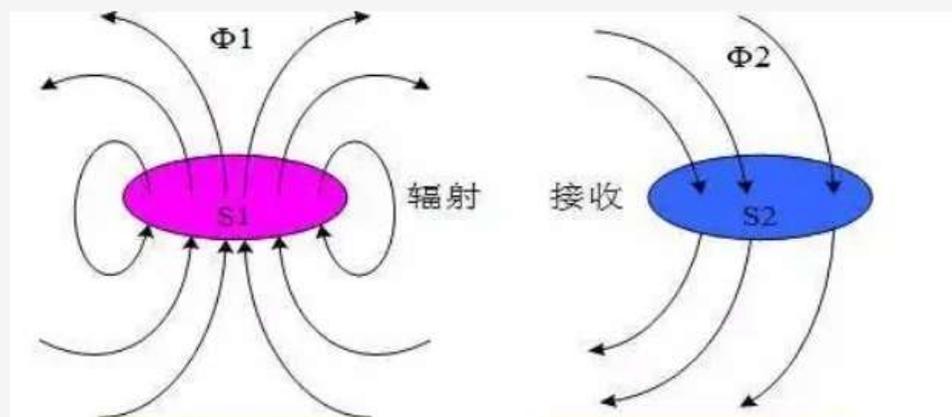
通过电磁辐射的方式干扰隧道内的电子设备，例如无线电和微波信号等

### ➤ 电源干扰

系统电子设备在使用时产生的电源干扰可能对隧道的电子设备造成干扰，例如电机、电磁阀等设备。

### ➤ 磁场干扰

靠近隧道的高功率设备或磁场强的设备（如强磁铁）会产生磁场干扰。



## 2 隧道EMC电磁辐射干扰源 (II)

### ➤ 电路干扰

由于电路间的交互作用，隧道内的电子设备可能受到电路干扰，例如总线竞争、耦合和干扰等。

### ➤ 地质干扰

地下岩石、矿物和流体的特性可能导致信号衰减、散射和衍射等问题从而干扰隧道内的电子设备。

### ➤ 人工电磁干扰

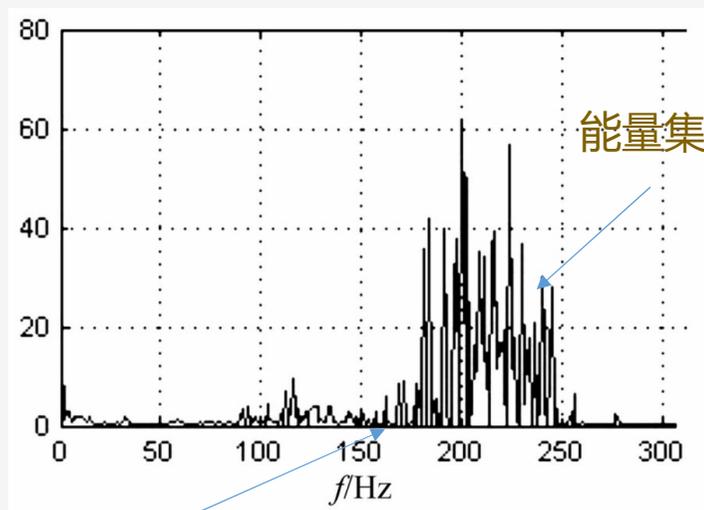
雷电通过线或空间的感应、静电场等可能对隧道内的电子设备造成干扰

## 2.1 掘进面爆破信号分解

对爆破信号分解有多种方法，国际上比较通用的HHT方法，HHT变换就是Hilbert-Huang, 希尔伯特—黄变换

伯特—黄变换

掘进面爆破振动



能量集中在160~260Hz

能量集中在100Hz~250 Hz

## 2.2 隧道的爆破频率成份

隧道埋深较大时，爆破主频较低，信号内小于 20 Hz 的低频能量比例较大  
爆破主频的分布范围在 20 ~ 50 Hz 之间

合理的孔间延期时间能有效地改善岩石破碎效果，并减小爆破振动强度

应力波在传播过程中绝大部分高频波被岩土介质吸收，高频能量衰减较快，信号内主要为低频成分，  
并且地表波形主要为瑞利波，主频率的变化很小

## 2.3 小断面巷道掘进爆破特征

在小断面巷道掘进爆破特征：

- ◆ 小断面掘进爆破中孔距相对较近，受先爆炮孔所产生的高频振动影响
- ◆ 先爆炮孔炸药爆炸后产生的电子脉冲的影响
- ◆ 前桩井及小断面掘进爆破中孔距一般为 40 cm 左右，所设置的延期时间一般为 100 ms 以上
- ◆ 其断面面积较小，电磁脉冲所产生存在的时间以及经断面的反射、折射等作用，造成电磁脉冲在小断面爆破中所持续时间增长



## 2.4 小断面巷道掘进爆破电磁兼容问题

### (1) 地应力感应兼容性

爆破振动会引起地应力的变异，影响到周边建筑物，尤其是具有易倒塌特性的老旧建筑，因此应该对掘进爆破振动采取措施，使它符合国家地应力兼容性标准。

### (2) 爆炸物振动兼容性

在掘进爆破的过程中，由爆炸物引起的振动会造成巷道管理构件及设备的损坏，因此要保证爆破振动不会对本次施工以及其它地下设施造成损害，应对振动采取适当的措施，最大限度满足兼容性要求。

### (3) 振动聚众效应兼容性

掘进并不是一次性施工，多次施工可能会成堆积有可能会引起聚集效应，从而造成掘进振动的强度上升，因此应该控制施工间隔时间，保证振动聚集效应的兼容性要求。

### (4) 杂散电流和断面镜面聚集电流 电荷的积累形成的电势差和能量聚积效应

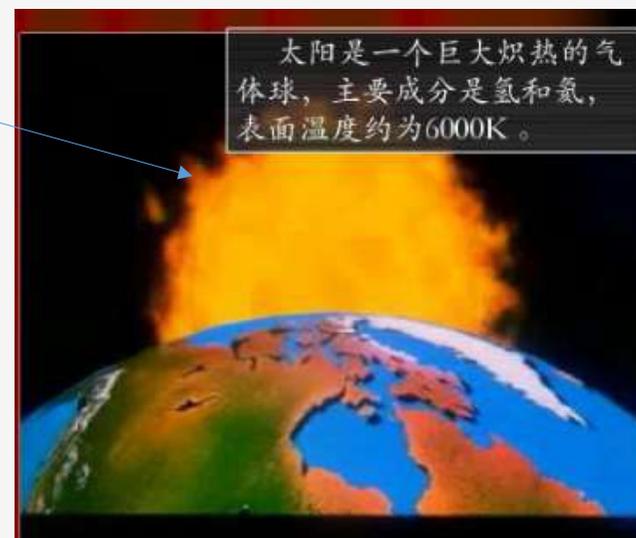
## 2.5 电磁脉冲产生能量特征

- a) 炸药爆炸瞬间产生的巨大能量，使气体温度迅速升高，温度约 3500 K，导致气体电离形成等离子体，电磁脉冲的根源可能就是**等离子体的辐射**
- b) 等离子体中的自由电子经过正离子附近，受其它电场的作用而失掉能量（来自：TNT 炸药科技资料）



太阳表面温度约  
6000 K

温度约 3500 K



## 2.5.1 电磁脉冲产生能量(等离子体)

### 等离子体的辐射理论定义:

主要指从等离子体中发射的电磁辐射, 由转变到其他自由态或原子和离子的束缚态的自由电子发射, 也有转变到其他束缚态的束缚电子发射,

#### 线辐射

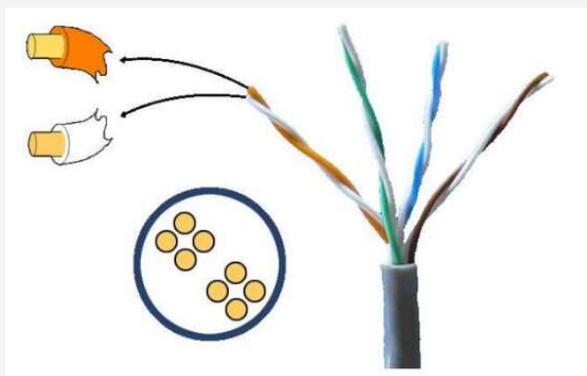
复合辐射

韧致辐射

回旋辐射

双电子辐射

## 2.5.2 电磁脉冲产生能量(等离子体)



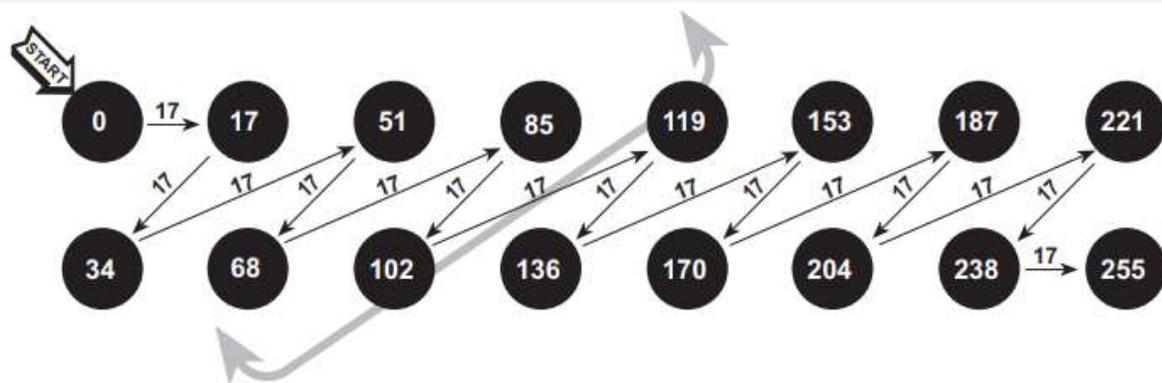
雷管线辐射,

是指第一发雷管启爆形成等离子体辐射

第一发的绞线开叉, 由于电场的变化,

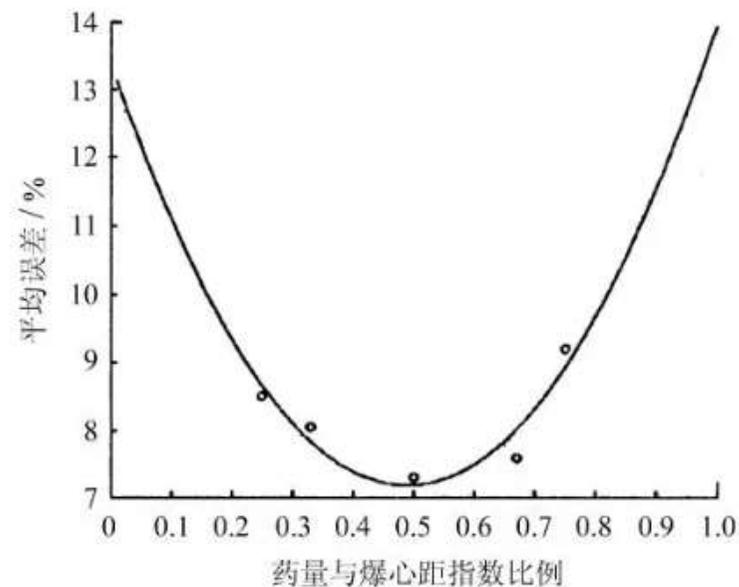
延时第二发或第n发, 线线之间形成差分电势差

从而引起雷管失效的一种现象



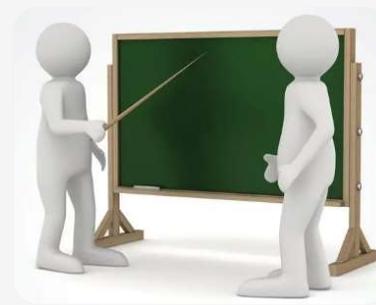
## 2.6 电磁脉冲产生能量特征

- a) 电磁脉冲的强度与药量的当量呈线性关系
- b) 在小断面或桩井掘进爆破中，一般均为浅孔爆破，孔距一般为 20 ~ 50 cm 左右，距离较近
- c) 药量越大时，电磁脉冲强度越大;
- d) 电磁脉冲与爆心距成反比，爆心距越远，强度越小



工程爆破研究所资料

## 2.7 小断面巷道掘进爆破其它问题(纯探讨)

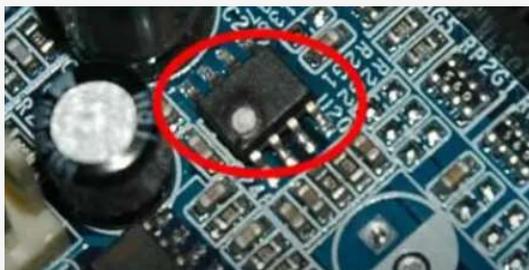


- a. 电子雷管无法检测到雷管信息，无法注册
- b. 脚线与电子雷管芯片在手工焊接时漏焊或者焊接不牢靠
- c. 加工脚线时注塑环节未剥皮、扭花，造成脚线电极塞径向拉力减弱，在装药时由于混装炸药的射流冲击力导致基础雷管脱落
- d. 电子雷管装药前检测正常，填塞后无法检测到雷管信息，起爆器页面无显示，脚线与电子雷管芯片在手工焊接时对焊不牢靠，导致接触不良
- e. 电子雷管线卡子处脚线断开，无法检测到雷管信息，脚线压入线卡子的过程中将脚线压入到了线卡子刀口底部造成线芯损伤，导致脚线易断开

## 3.1 电磁脉冲对电子数码雷管组件的影响

### 1 引发误触发

电子数码雷管内部带有微电路和芯片，当受到电磁脉冲的干扰时，可能会导致数字信号的误触发，从而引起电子数码雷管的误爆炸



### 2

#### 硬件损坏

强磁场的电磁脉冲会对电子数码雷管内部的芯片和电路产生影响，可能会导致硬件的损坏。

## 3.2 电磁脉冲对电子数码雷管组件的影响



### 3 传递延迟

当电磁脉冲进入电子数码雷管内部时，会改变信号的传播速度和传递路径，可能会引起传递延迟或者信号失真，从而影响雷管的工作效果。

### 4 降低可靠性

电磁脉冲会对电子数码雷管的稳定性和可靠性产生不利影响，可能会在实际工作中出现故障和失效的情况。

### 3.3 电磁脉冲对电子数码雷管组件的影响

#### 5 干扰作用 (行话)

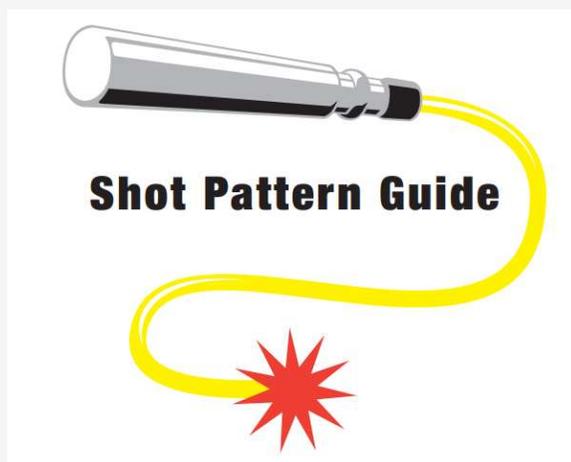
电磁脉冲直接对电子芯片进行干扰作用。当目标处在能量密度的微波中时，相应频段上的雷达、通信设备和导航系统，使得电子芯片无法正常工作；因此爆后挖出的拒爆雷管再次检测时仍正常，并可正常被起爆

#### 6 “软杀伤”作用 (施工技术员分析)

电磁脉冲其辐射形成的电磁场，可以在金属目标的表面产生感应电流，是顺着起爆连接线路及雷管壳体进入电子芯片中。如果感应电流一般，则会使芯片中电路功能产生紊乱，出现误码、复位等，甚至抹掉相关信息等；如果感应电流很大时，则会烧毁电路中的元器件，使电子芯片失效。因此爆后挖出的拒爆雷管再次检测时可出现延期时间已经复位或者显示检测异常等情况

## 3.4 电磁脉冲设计的重要性

在设计和使用电子数码雷管时，需要考虑电磁脉冲的干扰问题，并采取有效措施来保护电子数码雷管的稳定性和可靠性



## 4.1 雷管国外标准情况

德国	DIN 20165-2010	约30份标准
美国	ARMY MIL-PRF-32294系列	约287份标准
法国	NF T70-763	约25份标准
英国	BS EN 13763	约31份标准
欧洲	EN 13763-26	约28份标准

数码电子雷管标准，美国的交叉标准较完备，主要集中在军事和航天航空

## 4.2 我国隧道电子数码雷管EMC电磁兼容现状

### ✓ 数码雷管电路的电磁场分析

通过电磁场仿真分析软件，对雷管电路的电磁场进行分析，找出雷管电路中容易受到电磁干扰的部分，为电磁兼容性设计提供技术依据。

### ✓ 雷管元器件的选择和布局设计

在雷管电路的设计和组装过程中，通过选择合适的元器件、合理安排电路布局等方式，降低电路受到电磁干扰的可能性，提高雷管电路的电磁兼容性。

### ✓ 地线的布置

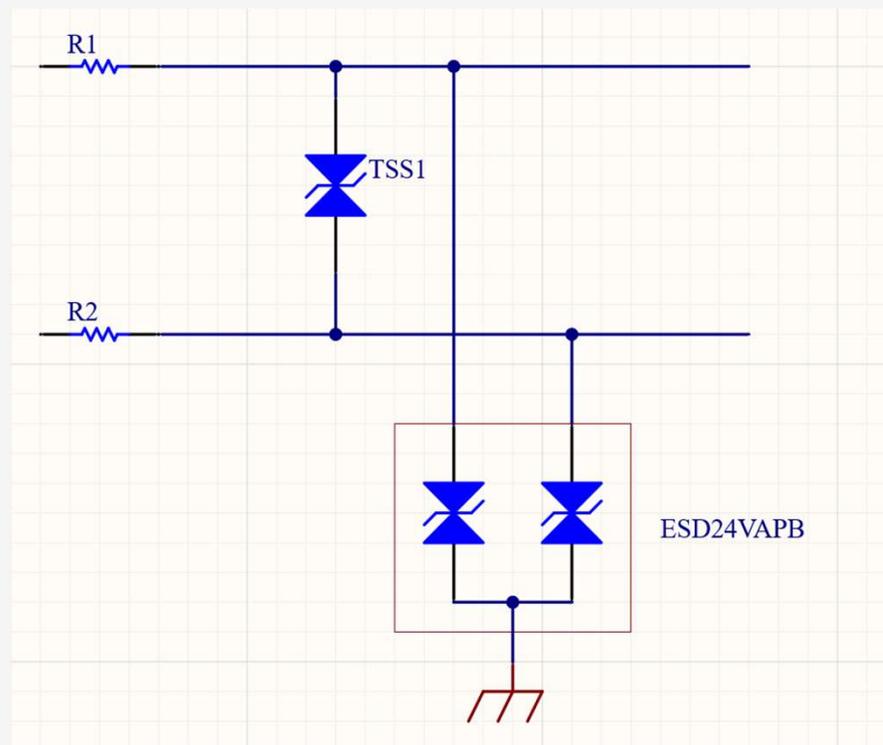
通过合理布置地线，建立良好的接地电位，将电路中的电磁干扰引入地线，进而减少电磁干扰对雷管电路的影响。

## 4.3 隧道电子雷管EMC电磁兼容现状

### PCBA板级半导体防护

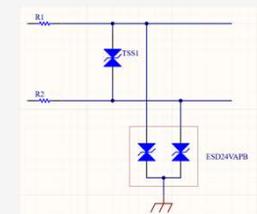
C/N	TSS/TVS	ESD	GND
方案1	P0300DA	X	
方案2	X	ESD24VAPB	弹片
方案3	P0300DA	ESD24VAPB	弹片
方案4	SMF24CA	X	
方案5	SMF24CA	SMF24CA x2	弹片
方案6	X	ESD24VAPB	弹片
方案7	R1/R2	X	
方案8	R1/R2	TVS	

方案4、5、6、7、8 基于目前技术和相关理论数据，隧道产品仍需要验证



## 4.4 电子雷管EMC电磁兼容现状

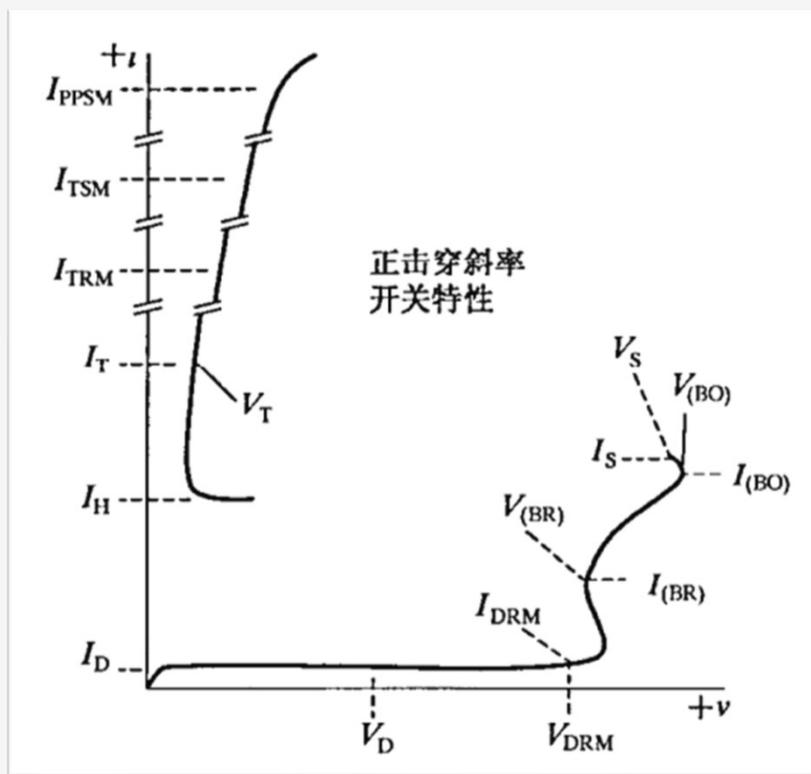
### 2.2.4 讨论TVS与TSS的优缺点



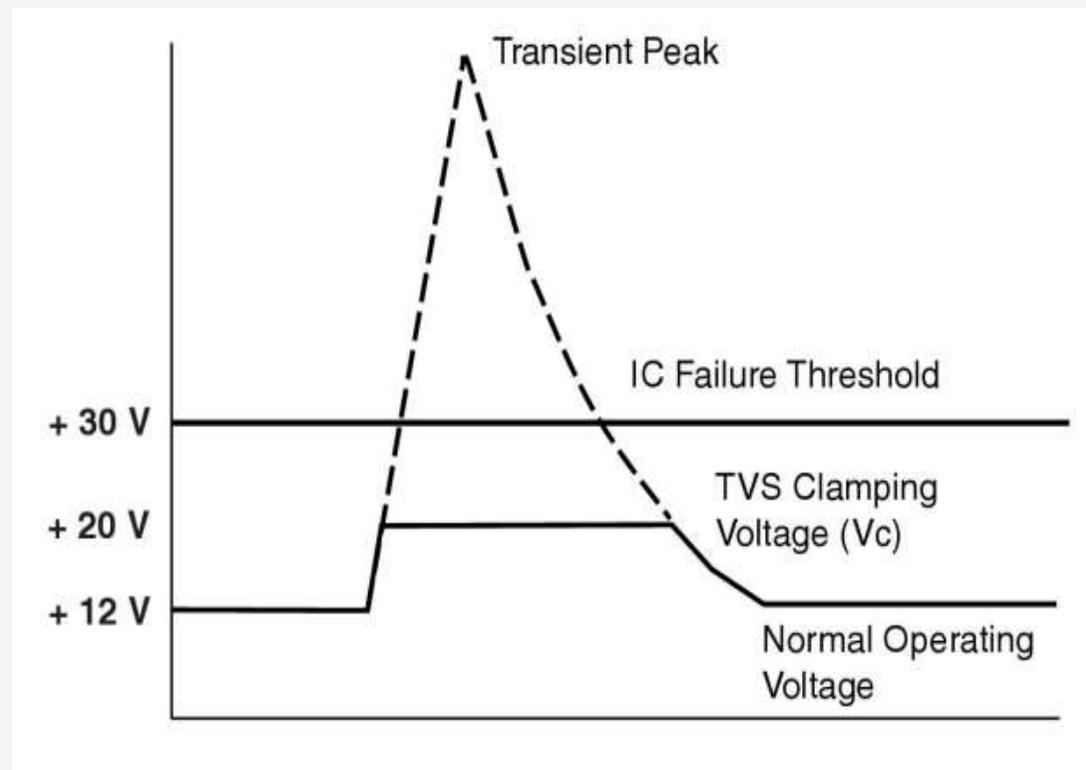
参数	TVS	TSS
通流量	小	大
电容量	100PF左右	50PF左右
保护方式	钳位	开关型
半导体工作方式	势垒, 雪崩	晶闸管, 触发
极性	分单/双向	双向
响应时间	Ps级	Ps级
引发点火风险	有残压, 工作电压1.6倍	小于4V
失效显现方式	短路/开路, 小量开路	短路/开路
电子雷管的适合性	一般	优

## 4.5 电子雷管EMC电磁兼容现状

### 2.2.5 TSS的工作曲线

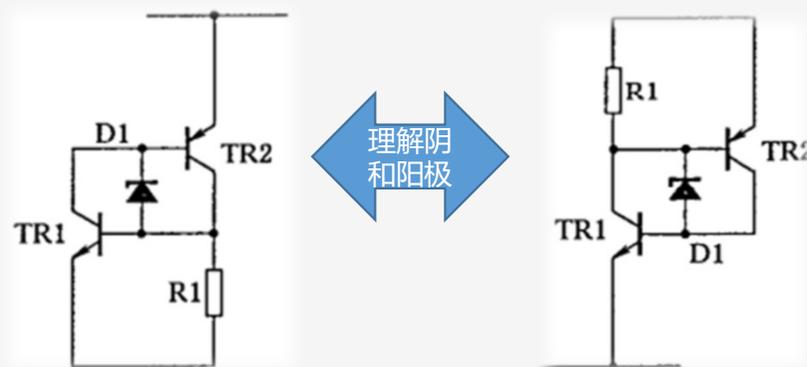
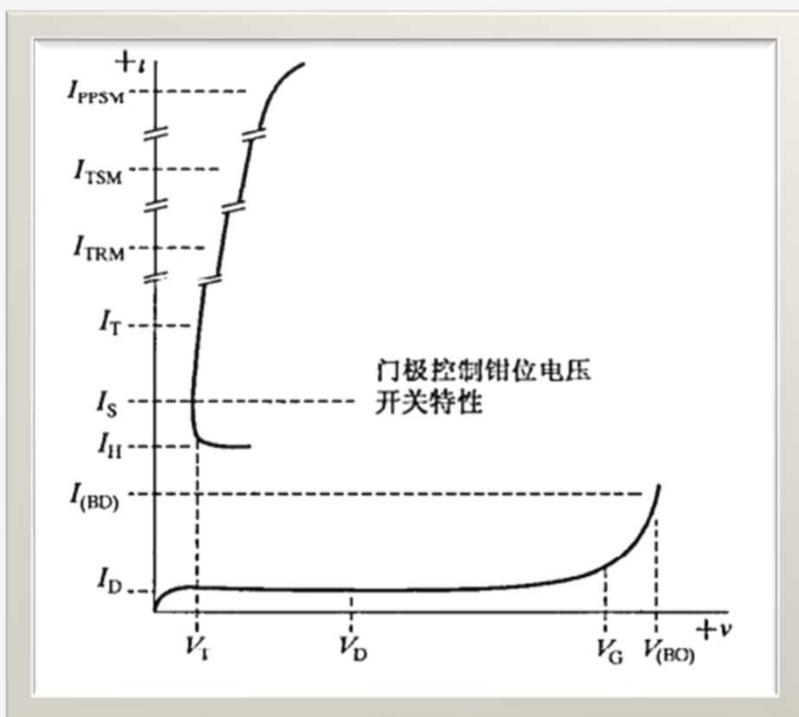


### TVS的工作曲线



## 4.6 电子雷管EMC电磁兼容现状

### 2.2.5 双向和开关特性



## 致谢与交流指正

---



<https://www.yint.com.cn/>