

# 电子雷管的电磁兼容分析报告

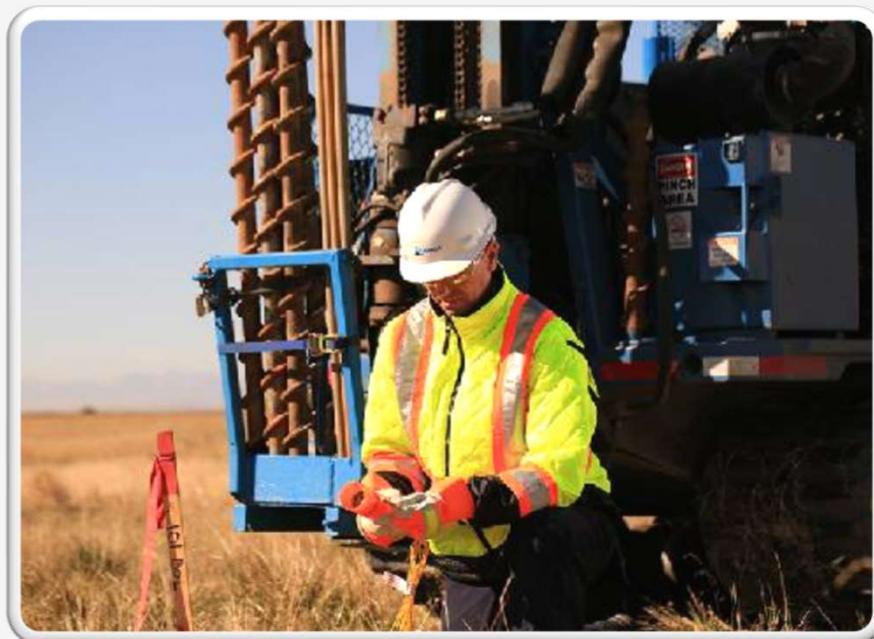
音 特 电 子

2022-OCT 上海



# 一 政策和标准要求

- ◆ 《“十四五”民用爆炸物品行业安全发展规划》
- ◆ WJ 9085 工业数码电子雷管
- ◆ GA 1531-2018 工业电子雷管信息管理通则
- ◆ 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 28263 民用爆炸物品生产、销售企业安全管理规程
- ◆ GB 7958-2014 煤矿用电容式发爆标准



## 1.1 电子雷管电子控制模块准入安全技术要求

---

### 最核心的要求

- 1 以人为本，安全第一
- 2 便捷性，经济性



## 1.2 WJ 9085-2015工业数码电子雷管

它是一份由中华人民共和国工业和信息化部发布的**行业标准**

规范内容:

材质

外观

脚线

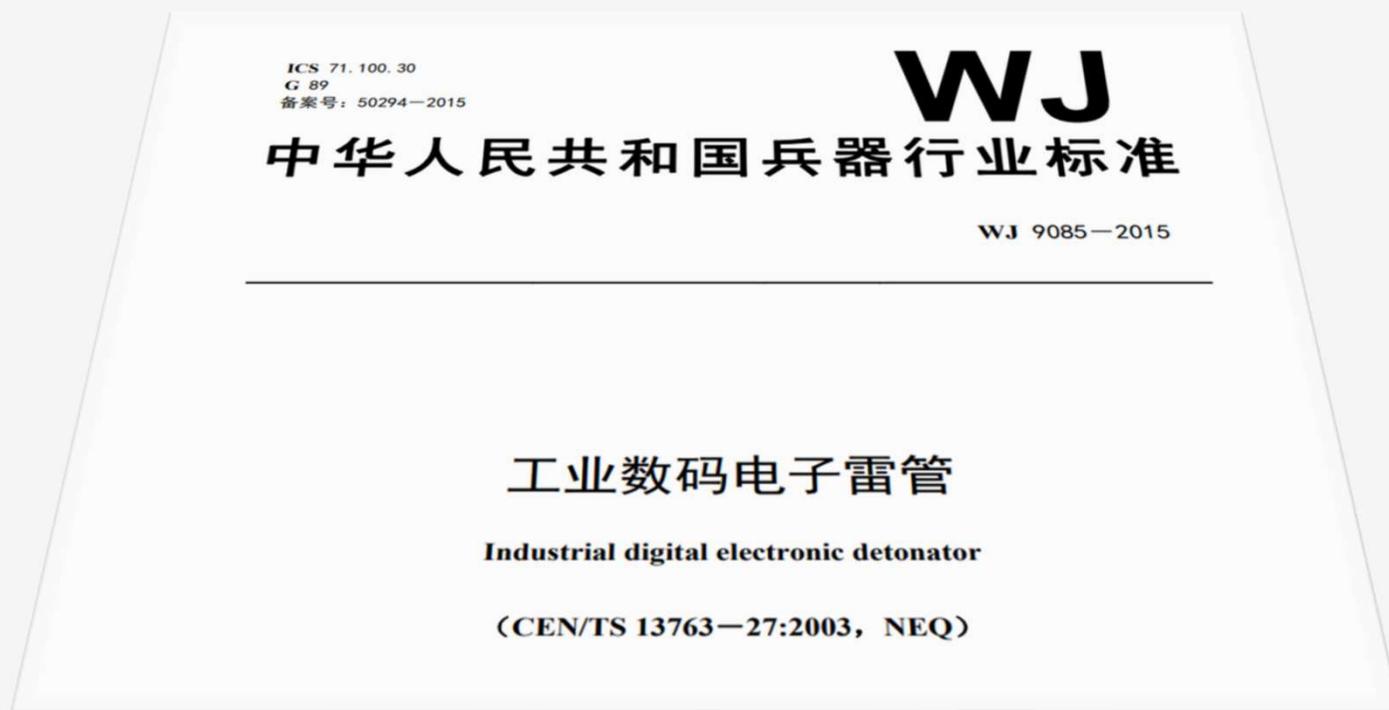
性能

试验方法和试验规则

标识

包装

运输要求



## 1.3 电子雷管电子控制模块准入安全技术要求

### 工业和信息化部安全生产司

工安全函〔2022〕28号



2022年3月10日

工业和信息化部安全生产司

## 1.3 电子雷管电子控制模块准入安全技术要求

---

### 要求5.16 电磁兼容性

- 1** 静电放电抗扰度性能 GB/T 17626.2  
IEC61000-4-2
- 2** 射频电磁场辐射抗扰度性能 GB/T 17626.3 \$  
IEC61000-4-3
- 3** 射频场感应的传导骚扰抗扰度性能 GB/T 17626.6  
\$ IEC61000-4-6
- 4** 工频磁场抗扰度性能GB/T 17626.4 IEC61000-4-4



## 1.3.1 电子雷管电子控制模块准入安全技术要求

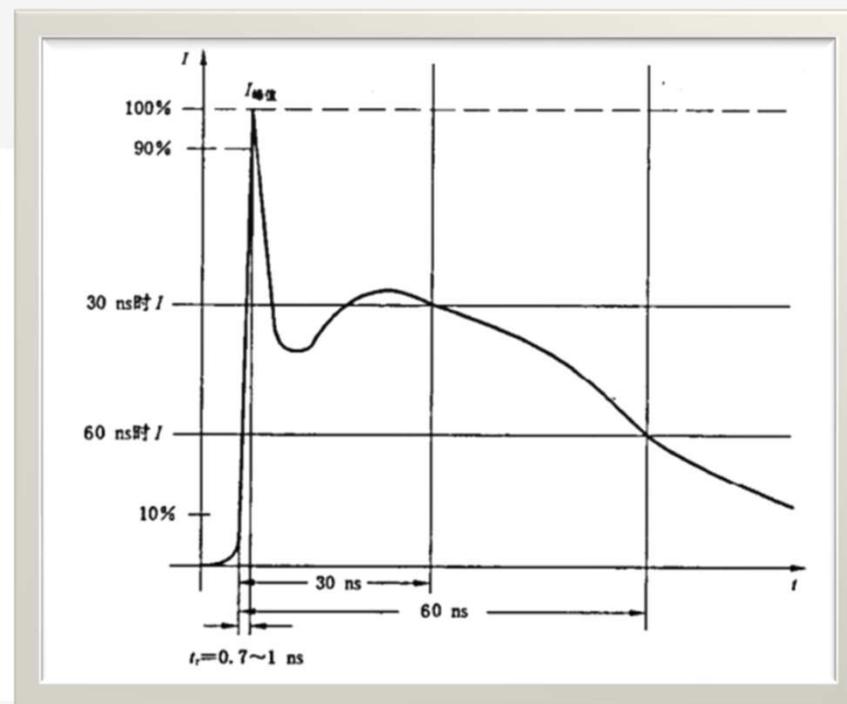
### 要求5.16 电磁兼容性

#### 1 静电放电抗扰度性能 GB/T 17626.2 等级要求

表 1 试验等级

1a 接触放电		1b 空气放电	
等级	试验电压/kV	等级	试验电压/kV
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
X <sup>1)</sup>	特殊	X <sup>1)</sup>	特殊

1) “X”是开放等级,该等级必须在专用设备的规范中加以规定,如果规定了高于表格中的电压,则可能需要专用的试验设备。



## 1.3.2 电子雷管电子控制模块准入安全技术要求

### 要求5.16 电磁兼容性

#### 2 射频电磁场辐射抗扰度性能 GB/T 17626.3

表 1 与常规用途装置、数字无线电话和其他射频发射装置有关的试验等级

等级	试验场强/(V/m)
1	1
2	3
3	10
4	30
×	特定

×是一开放的等级,其场强可为任意值。该等级可在产品标准中规定。

本部分不建议在整个频率范围内应用单一的试验等级。有关专业标准化技术委员会应为每段需要试验的频率范围选择适合的试验等级。附录 E 给出了有关专业标准化技术委员会选择试验等级的指导意见。

### 1.3.3 电子雷管电子控制模块准入安全技术要求

#### 要求5.16 电磁兼容性

##### 3 射频场感应的传导骚扰抗扰度性能 GB/T 17626.6

频率范围 150 kHz~80 MHz		
等级	电压(e.m.f.)	
	$U_0/V$	$U_0/dB(\mu V)$
2	3	129.5
3	10	< 140
X	指定	

注：X 是一开放的等级，此等级应在专门的设备规范中规定。

试验时，在耦合装置的 EUT 端口上设置骚扰信号的试验电平（见 6.4），该信号使用 1 kHz 正弦波调幅（80%调制度）来模拟实际骚扰影响。实际的幅度调制如图 2 所示。附录 C 中给出选择试验等级的指南。

注 1：TEC 61000-4-3<sup>[2]</sup> 也规定了用于确定电气和电子设备对辐射电磁能的抗扰度测量方法，覆盖了 80 MHz 以上的频率范围。产品委员会可决定选择比 80 MHz 低的或高的上限频率（见附录 B）。

注 2：产品委员会可选择替代的调制方式。

## 1.3.4 电子雷管电子控制模块准入安全技术要求

### 要求5.16 电磁兼容性

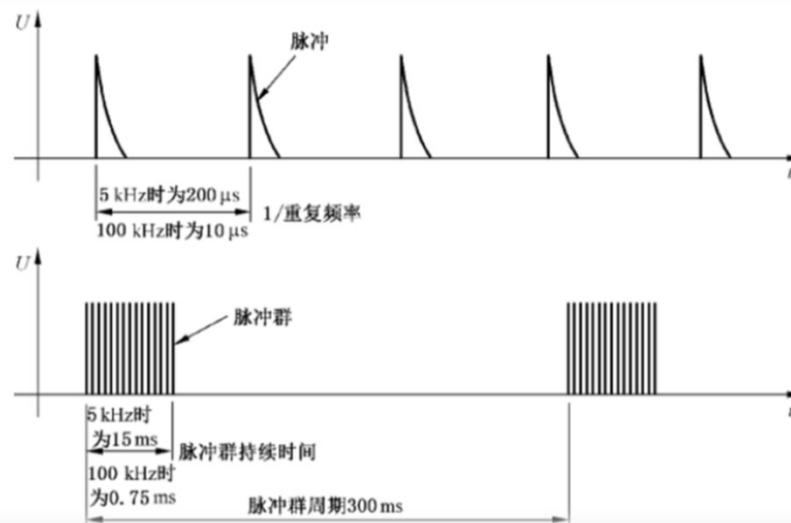
#### 4 工频磁场抗扰度性能GB/T 17626.4 EFT

开路输出试验电压和脉冲的重复频率				
等级	电源端口和接地端口(PE)		信号端口和控制端口	
	电压峰值 kV	重复频率 kHz	电压峰值 kV	重复频率 kHz
1	0.5	5 或 100	0.25	5 或 100
2	1	5 或 100	0.5	5 或 100
3	2	5 或 100	1	5 或 100
4	4	5 或 100	2	5 或 100
X <sup>a</sup>	特定	特定	特定	特定

传统上用 5 kHz 的重复频率;然而,100 kHz 更接近实际情况。产品标准化技术委员会宜决定与特定的产品或者产品类型相关的那些频率。

对于某些产品,电源端口和信号端口之间没有清晰的区分,在这种情况下,应由产品标准化技术委员会根据试验目的来确定如何进行。

<sup>a</sup> “X”可以是任意等级,在专用设备技术规范中应对这个级别加以规定。



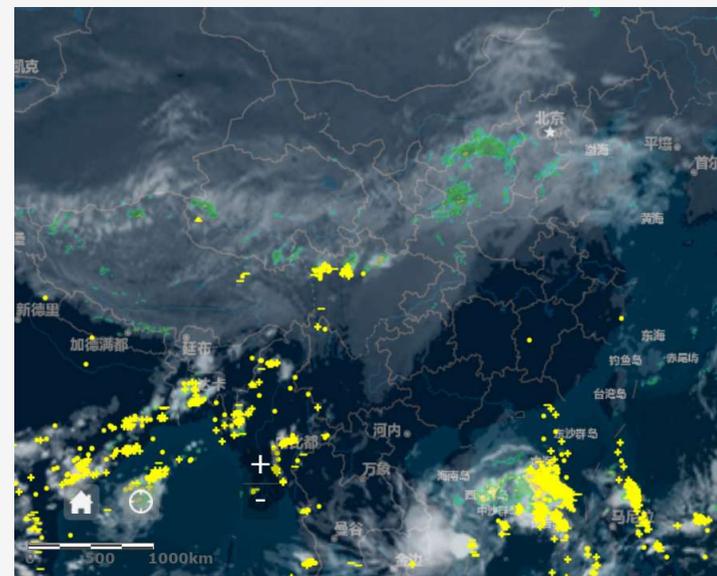
## 1.3.5 电子雷管电子控制模块准入安全技术要求(增加)

5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验 GB/T 17626.5

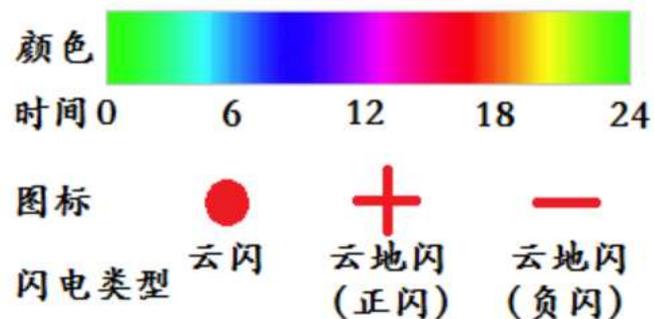
爆破现场，空旷，山区等各种应用场景复杂？

感应雷击应该考虑：定义为10/700us，10/320us，

还是8/20us 1.25/50us



闪电数据图例



### 1.3.5 电子雷管电子控制模块准入安全技术要求(增加)

#### 6 电磁兼容评估之安全性检测要求

- ① 通过换能元件的电流不应大于 1mA
- ② 且通电时间不应大于 200ms



对于通流换能元件（桥丝、电阻、离子点、真空电极），这个限流电阻的选择很关键，不然就是评估主控IC。

对于EMS测试隔离不当的检测设备，感应电流比较容易超过1mA

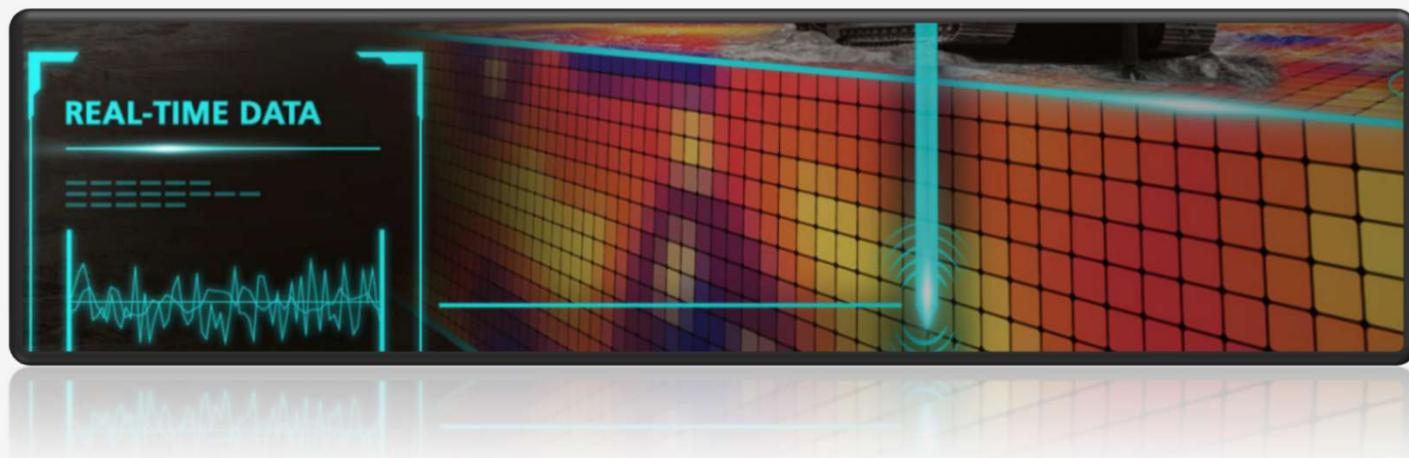
## 二 电子雷管EMC电磁兼容现状

---

1 脚线/管壳 物理防护

2 PCBA板级半导体防护

3 PCBA板级电阻/刷齿线防护



## 2.1 电子雷管EMC电磁兼容现状

### 1 绞线/管壳 物理防护

脚线绝缘性能 应按照GB/T 18014 - 2008中6.2.2.1的规定试验

#### 6.2 电性能试验

##### 6.2.1 导体直流电阻测量

铜芯导体和镀锌钢芯导体的直流电阻应按 GB/T 3048.4—2007 和本标准附录 A 规定测量。  
试样的有效长度应不少于 1 m。

##### 6.2.2 绝缘浸水耐压试验

###### 6.2.2.1 500 V 交流电压试验

6.2.2.1.1 500 V 交流电压试验应按照 GB/T 3048.8—2007 的规定试验。

- 试样：全部成圈或成盘的成品引爆线；
- 水的组分：普通自来水；
- 浸水温度：室温；
- 浸水时间：1 h。

6.2.2.1.2 绝缘火花试验应按照 GB/T 3048.9—2007 的规定试验。

###### 6.2.2.2 1 000 V 交流电压试验

- 1 000 V 交流电压试验应按照 GB/T 3048.8—2007 的规定试验。
- 试样：长度为 5 m 的一根成品引爆线；
  - 水的组分：含 3%（质量分数）NaCl 的水溶液；
  - 浸水温度：(20±5)℃；
  - 浸水时间：1 h。



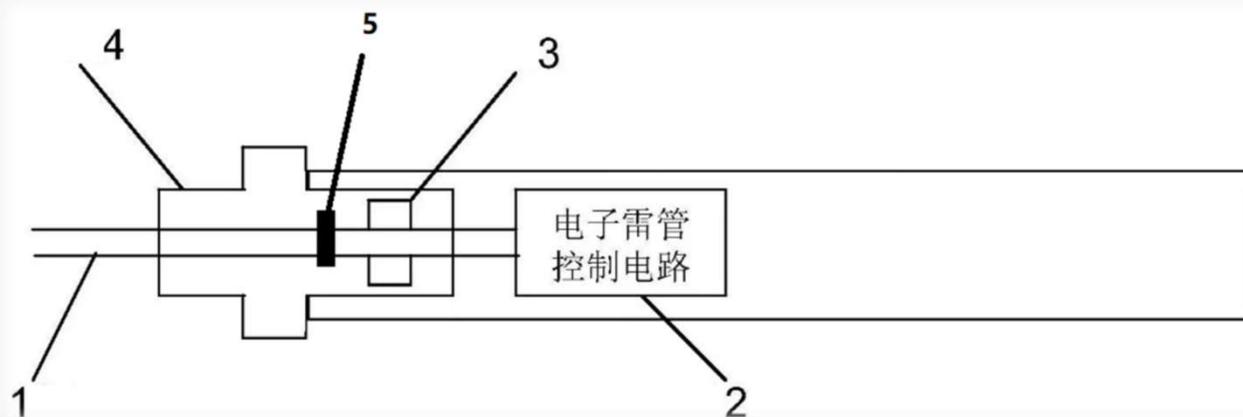
## 2.2 电子雷管EMC电磁兼容现状

### 2.2.1 PCBA板级半导体防护

1.信号脚线 2.控制电路IC芯片 3. 线线共模保护 4. 管壳 5.初级TSS或TVS保护

**5. 为第一级保护，差模保护**

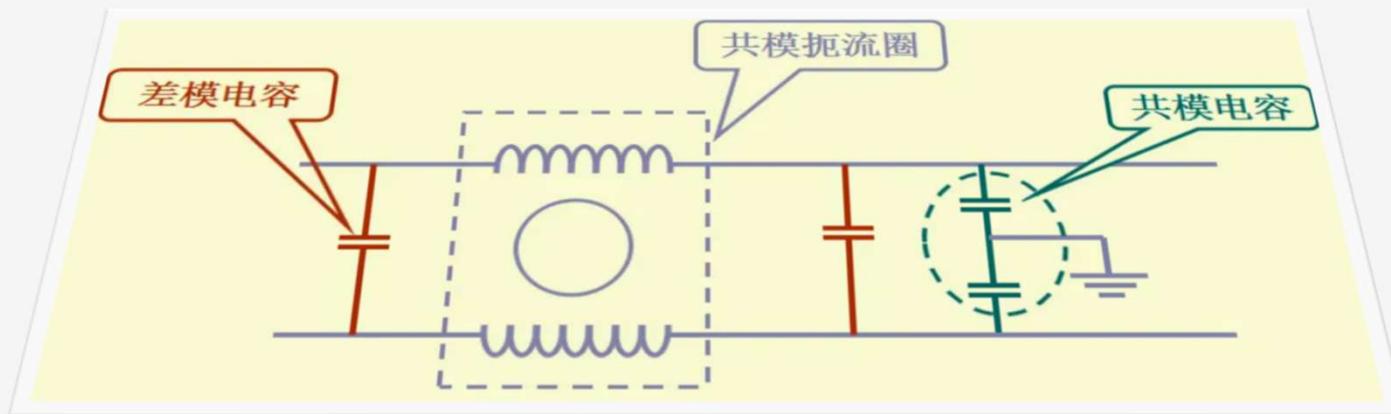
**3. 为共模保护**



## 2.2 电子雷管EMC电磁兼容现状

---

### 2.2.2 共模与差模

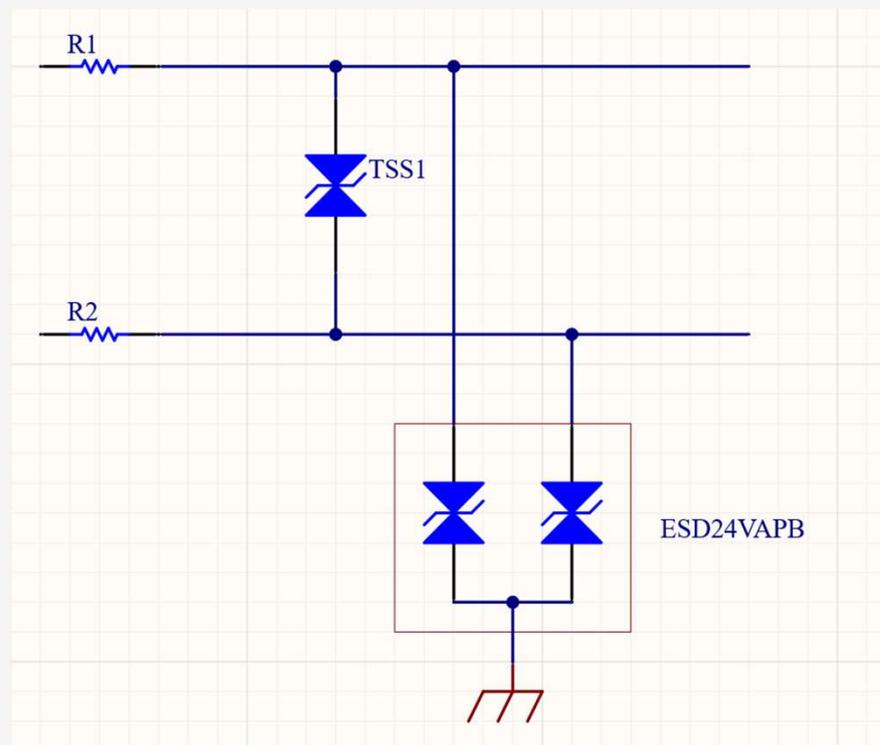


## 2.2 电子雷管EMC电磁兼容现状

### 2.2.3 PCBA板级半导体防护

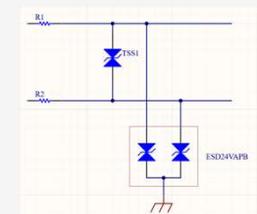
C/N	TSS/TVS	ESD	GND
方案1	P0300DA	X	
方案2	X	ESD24VAPB	弹片
方案3	P0300DA	ESD24VAPB	弹片
方案4	SMF24CA	X	
方案5	SMF24CA	SMF24CA <b>x2</b>	弹片
方案6	X	ESD24VAPB	弹片
方案7	R1/R2	X	
方案8	R1/R2	TVS	

注：随总线充电电压不同，也可以对电压调整，主控IC的最高承受电压也是十分重要



## 2.2 电子雷管EMC电磁兼容现状

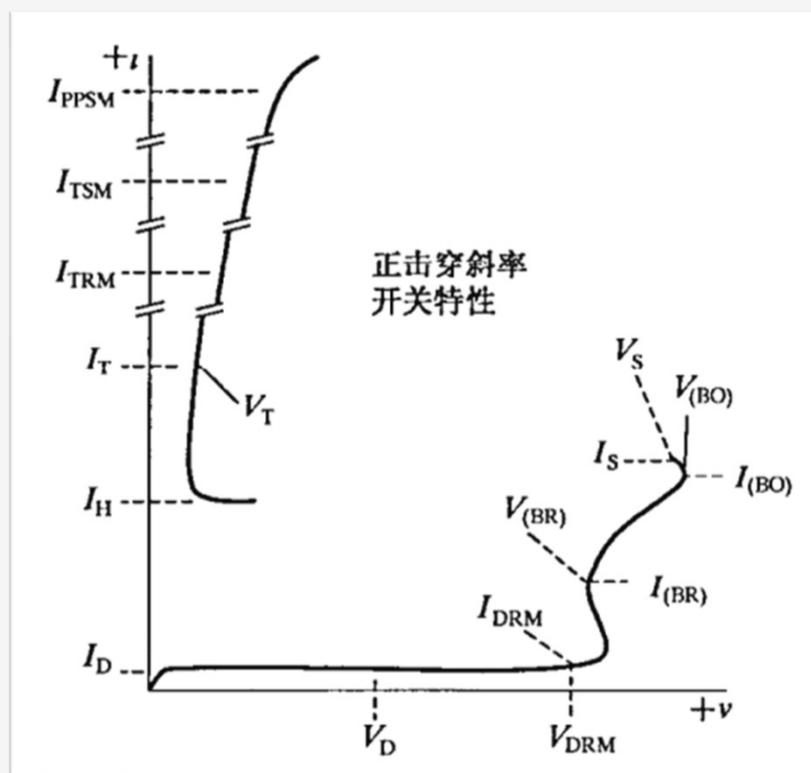
### 2.2.4 讨论TVS与TSS的优缺点



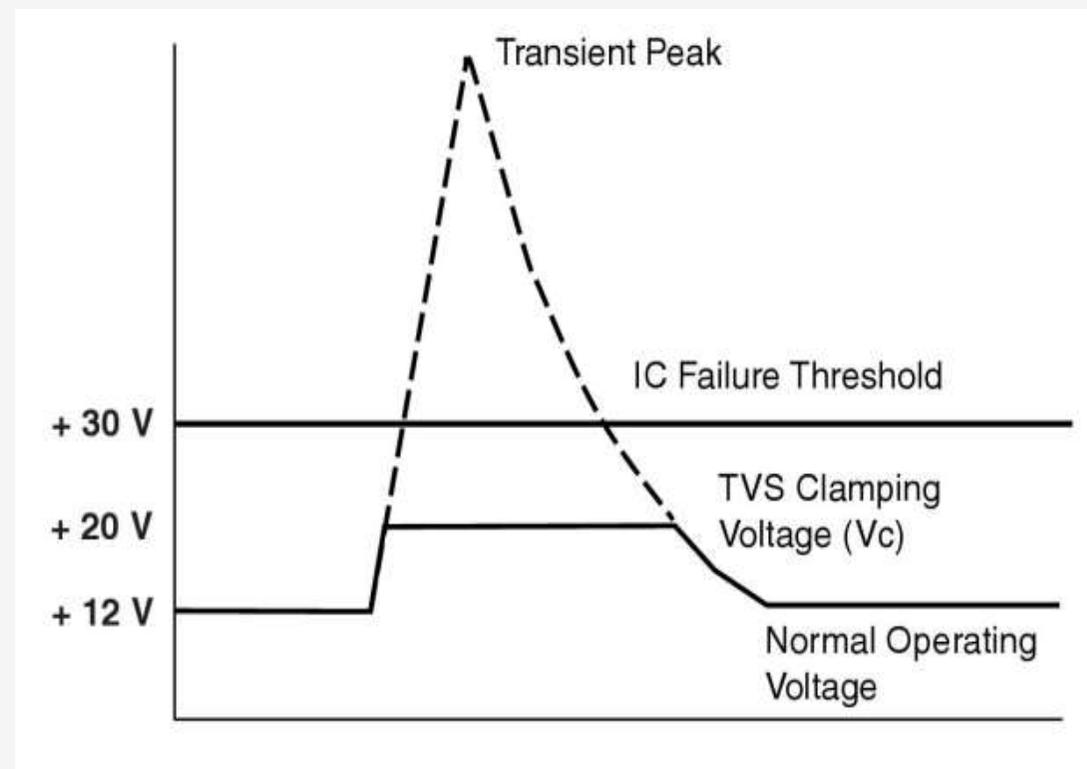
参数	TVS	TSS
通流量	小	大
电容量	100PF左右	50PF左右
保护方式	钳位	开关型
半导体工作方式	势垒, 雪崩	晶闸管, 触发
极性	分单/双向	双向
响应时间	Ps级	Ps级
引发点火风险	有残压, 工作电压1.6倍	小于4V
失效显现方式	短路/开路, 小量开路	短路/开路
电子雷管的适合性	一般	优

## 2.2 电子雷管EMC电磁兼容现状

### 2.2.5 TSS的工作曲线

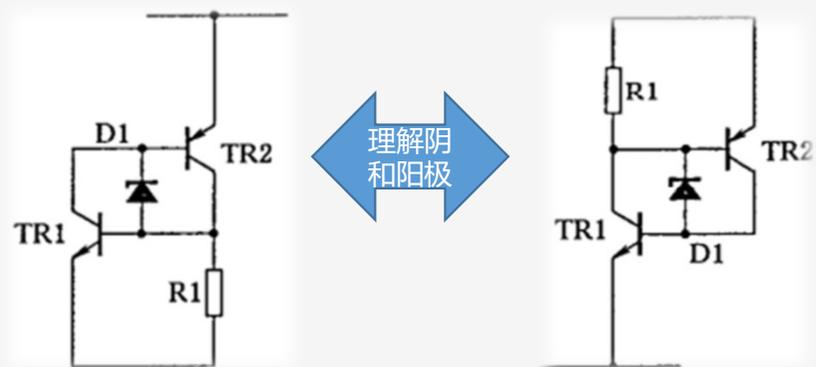
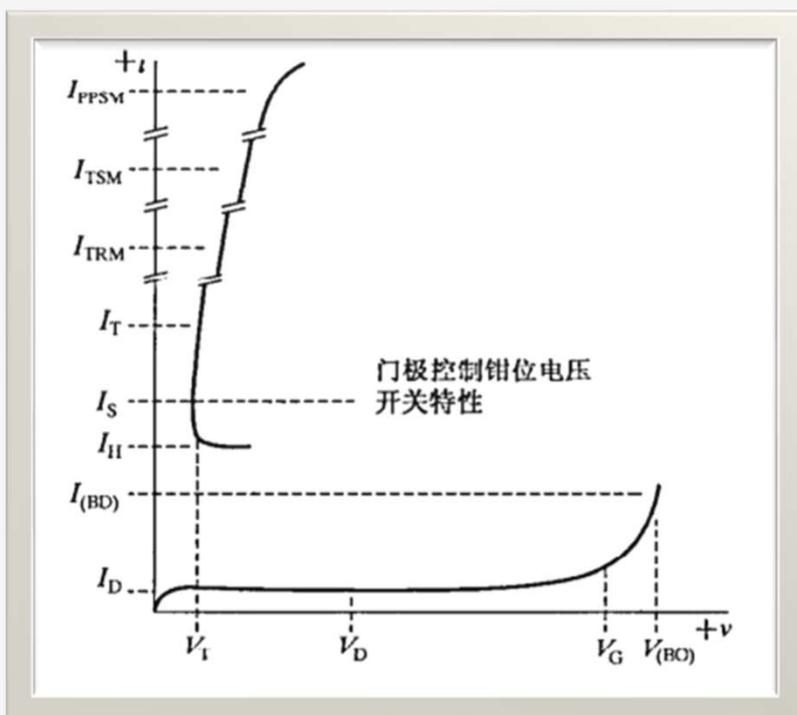


### TVS的工作曲线



## 2.2 电子雷管EMC电磁兼容现状

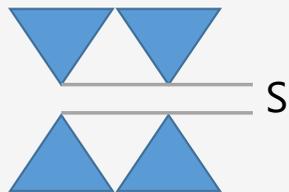
### 2.2.5 双向和开关特性



## 2.3 电子雷管EMC电磁兼容现状

### 2.3.1 PCBA板级电阻/刷齿线防护

温度	湿度	常数或系数
23℃	30%	RH<30%为干燥, 击穿电场强度 $E=3 \times 10^6$ V/m



$$\text{放电距离} S = \frac{\text{静电电压 } U}{\text{电场强度 } E} \quad \longrightarrow \quad \text{静电} 4000\text{V, 干燥环境 RH} < 30\%$$

$$\text{放电距离} S = 4000\text{V} / 3,000,000 = 0.00133\text{m} = 1.33\text{mm}$$

## 2.3 电子雷管EMC电磁兼容现状

---

### 2.3.2 PCBA板级电阻/刷齿线防护

优点	缺点
<ol style="list-style-type: none"><li>1. 成本低, 器件成本/SMT贴装成本</li><li>2. 节约PCB Layout空间</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. PCB企业的工艺差异, 设计难度大</li><li>2. 场景不一样, 环境不一样非常难控制</li><li>3. 电火花放电, 存在消防火灾风险</li><li>4. 时间长, 积累灰尘; 容易漏电</li><li>5. 带频率成份的电路不适合</li></ol>

## 三 关于 电子雷管电磁兼容的问题？

选择“**测试评估标准**”



问题，应该以宽范围/严格场景为设计要求

### 3.1 关于小断面的拒爆问题



电磁兼容原因：

1. 因为雷管检测电流偏少，组网检测电路回路，假如环境条件潮湿引起PCBA板线路之间漏电，很容易引起分析不到网络虚焊、假焊问题；而实际工作充电电流较大
2. 在不同爆破物质场景，遇到物质成镜面状和成面包夹层状，很容易引起界面电荷积累；当电荷积累到一定库仑量；随着震动波的产生，会产生正电压或负电压两种情况；出现正电荷积累，容易引起静电损坏。出现负电压时，引起MCU芯片电压不够，导致芯片门电路闩锁问题。
3. 爆破孔间的震动波，呈现波的衍射问题；容易引起时钟频率紊乱。

解释为何小断面拒爆，拿出来雷管性能正常问题！！！！

# 关于电子雷管电磁兼容的问题？

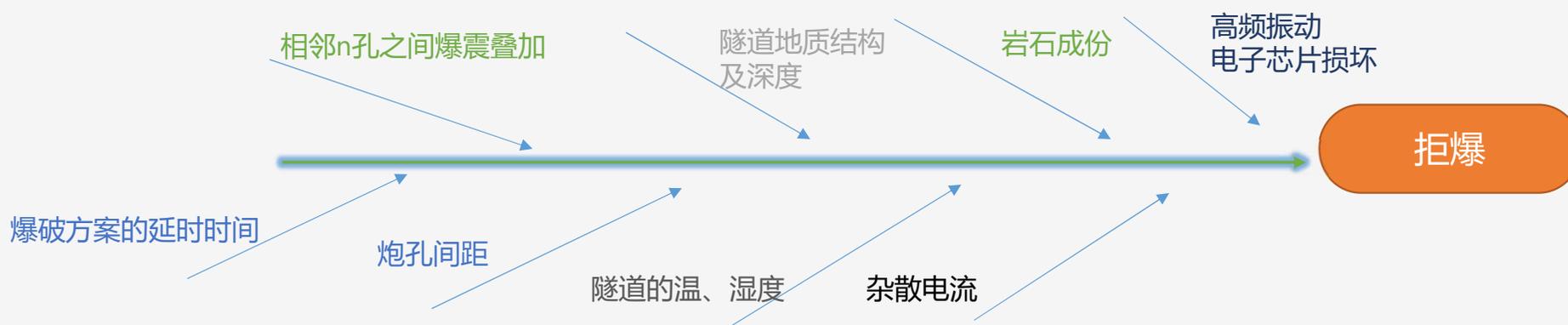
选择“**测试评估标准**”



问题，应该以宽范围/严格场景为设计要求

## 3.2 关于隧道的拒爆问题

电磁兼容的定义：是指设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力



# 关于电子雷管电磁兼容的问题？

## 3.3 杂散电流形成的电磁兼容问题

活跃金属电荷形成：



阳极

天然土壤负极形成：

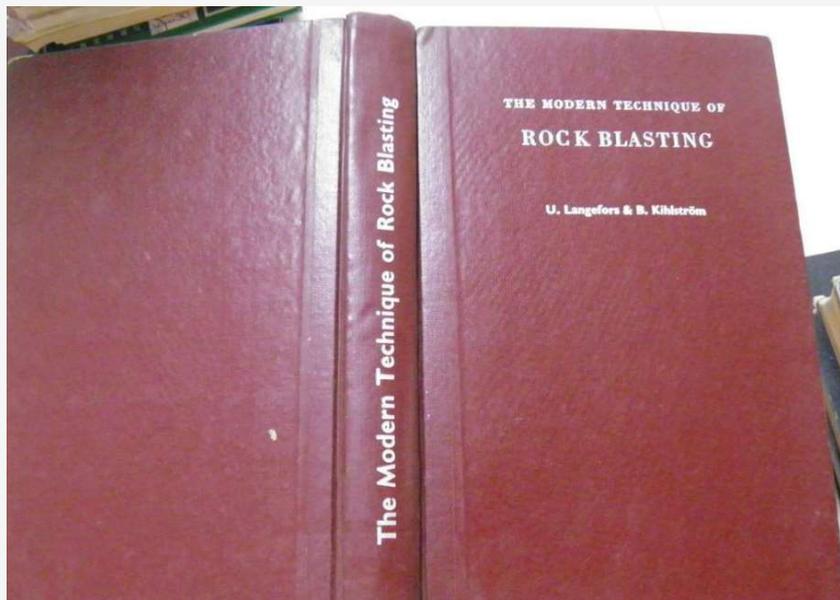


阴极



爆破介质干燥条件，金属积累的电荷经过震动，高速不定向移动，形成电势差V，即：**电位梯度**

# 关于电子雷管电磁兼容分析的参考文献？



《THE MODERN TECHNIQUE OF ROCK BLASTING》  
U.Langefors and B.Kihlstr

## 分析工具及方法

1. 小波包分析法 wavelet packet decomposition
2. 希尔伯特黄变换(Hilbert-Huang)原理
3. 香农采样定理 《Shannon sample theorem》

# 关于电子雷管电磁兼容国际标准

产品： European Standards EN 13763-1 to 25, and with  
Explosive Directive 2014/28/EU  
EN3763.13/27

运输： Transport Certification and Packaging UN 0360 - 1.1B /  
UN 0500

## 四 解决方案

---

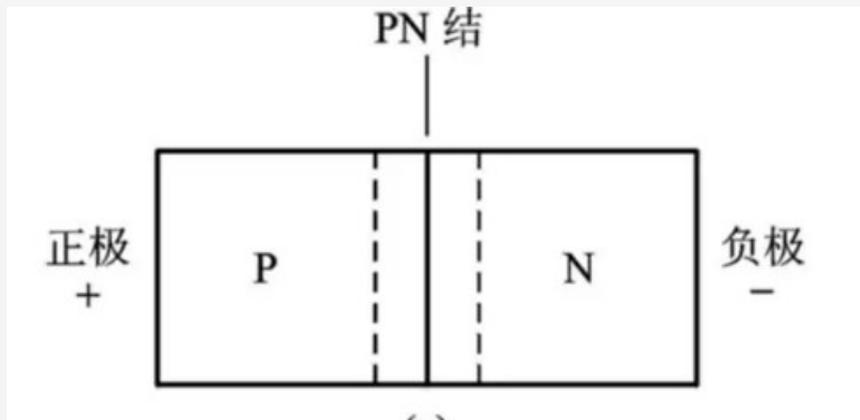


基于本安要求，爆破产品特性  
对带储能方案和电感特性

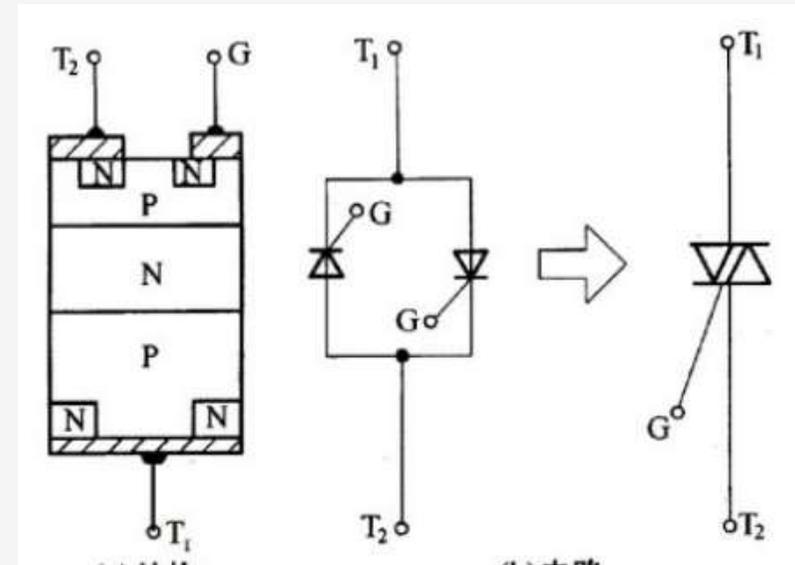


# 解决方案

## 4.1 瞬态抑制二极管 VS TSS半导体放电管



**VS**



# 解决方案

## 4.2 瞬态抑制二极管 VS TSS半导体放电管

产品/内容	TVS 瞬态抑制二极管	TSS 半导体放电管
基于杂散电流的e 影响	优	
基于震动产生的复杂干扰		优
相邻n孔之间爆震叠加		优
感应雷击		优
响应时间	pS	pS略快, 够用
极性	双极性, 单极优于双极性	双极性
残压值	高于工作电压的残压	远远低于工作电压 4V左右
工作方式	雪崩钳位	雪崩开关switch
器件工厂管控难度	优	

# 解决方案

---

## 4.3 电磁兼容的总体建议

第一 对于EMS的设计是电子雷管厂务必要考虑的重要项目

第二 关于选共模、差模保护方式或者共差模齐作用，取决于应用场景；但差模的保护是非常必要

第三 共模对地放电的弹片是很必要的，泄放一些共模或PCBA的电荷积累，电位与大地等电位接地

第四 电子雷管的芯片高度集成化，无论是COMS、BCD、SOI工艺，对于ESD / EFT / SIT都是脆弱的



## 致谢与交流指正

---



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