

第1章 前言

近年来，随着高敏感性电子技术在医用电气设备中的广泛应用和新通讯技术，如个人通讯系统、移动电话等，在社会生活各领域的迅速发展；医用电气设备步进自身会发射电磁能，影响无线电广播通讯业务和周围其他设备的工作，而且在它的使用环境内还可能收到周围如通讯设备等电磁能发射的干扰造成对患者的伤害。医用电气设备的电磁兼容性因它涉及公众的健康和安全，而日益受到社会的广泛关注。因此产品电磁兼容标准的执行在各国的认证中越来越受到重视。

我们公司很早以前就开始关注产品的 EMC（电磁兼容）性能，建立了一套完整的 EMC 测试体系和流程。而随着公司的不断发展，我们的产品逐渐向多元化方向发展，开始涉足一些大型设备的领域，如 MRI、DR 产品等。由于安装和使用环境等要求，这些大型设备往往无法在实验室内完成 EMC 相关测试，而需要在现场测量。本文主要讨论 EMC 现场测试的方法。

第2章 EMC 要求概述

对于 DR、MRI 等大型医用电气设备来说，它们使用的 EMC 产品类标准是 IEC 60601-1-2: 2007。同时还有一些产品专标的要求，例如 MRI 的 IEC 60601-2-33: 2006 Clause 36 等。EMC 测试共有 11 项，分别是：传导发射（CE）、辐射发射（RE）、谐波电流（Harmonic）、电压波动和闪烁（Flicker）、静电放电（ESD）、辐射抗扰（RS）、电快速瞬变脉冲群（EFT）、浪涌（SURGE）、电压跌落短时中断和电压变化（Dips）、工频磁场（PFMS）。按照 IEC60601-1-2、CISPR11 和 IEC61000 系列等 EMC 标准中的要求，对于一些大型的设备，由于安装和使用的要求，无法在实验室进行测试的，可以在现场进行测试。

第3章 发射类测试

本章首先讨论的是 EMI（电磁骚扰）的四项测试。其中，辐射发射的现场测试与实验室内的测试差异较大，因此将重点介绍 RE 的测试方法。其他项与实验室测试基本类似，因此仅就测试限值和现场布置做相关说明。

3.1.1 辐射发射（RE）

辐射发射(RE) 测试主要是测量受试设备对环境的电磁骚扰能量。由于现在的电子设备日益发展，周围的电子设备越来越多，电磁环境也越来越拥挤。RE 测试的目的就是为了控制受试设备的电磁辐射，使其不对周围的电子设备造成干扰。

医疗设备按照使用环境可以分为 A 类和 B 类设备：A 类设备是指非家用设备或不直接连接到住宅低压供电网设施中使用的设备；B 类设备是指家用设备和直接连接到住宅低压供电网设施中使用的设备。

对于 A 类设备，CISPR11 中规定其辐射发射的测试，既可以在试验场也可以在现场进行。CISPR11 中对此进行了解释：“由于受试设备本身的大小、结构复杂程度和操作条件等因素，某些工科医设备只能通过现场测试来判定它是否符合本标准规定的辐射发射限值。”MRI 和 DR 产品基本都属于 A 类设备，因此其辐射发射的测试可以采取现场测试的形式来进行。

3.1.1.1 测试限值

工科医设备除了 A、B 类的划分外，按其射频能量的用途又可以分为 1 组和 2 组设备，标准中对 1 组和 2 组设备的定义如下：

1 组工科医设备：为发挥自身功能的需要而有意产生和（或）使用传导耦合射频能量的所有工科医设备。

2 组工科医设备：包括放电加工（EDM）和弧焊设备，以及为材料处理而有意产生和（或）使用电磁辐射射频能量的所有工科医设备。

大多数类型的设备和系统仅为其内部功能需要而产生或使用 RF 能量，因此属于 1 组。如心电图和心磁图设备和系统，脑电图和脑磁图设备和系统等等。另外一些预期以非 RF 电磁形式传递能量给患者的设备和系统也属于 1 组设备，如医疗成像设备和系统——X 射线诊断系统、CT 系统、核医学系统、超声诊断系统等；治疗设备和系统——X 射线治疗系统、超声治疗系统、输液泵、呼吸机等；监视设备和系统——阻抗体积描记监视器、脉冲血氧计等。

只有少数设备和系统是施加 RF 能量给材料的（医疗设备是给患者），属于 2 组设备。2 组设备常见的有：磁共振成像系统、透热疗法设备（短波、超短波、微波治疗设备）、热疗设备和高频手术系统等。

1 组 A 类和 2 组 A 类设备的发射限值如表 1 和表 2 所示，两组的限值有一定差异。

表 1 1 组设备的辐射发射限值

Frequency band MHz	Measured on a test site		Measured <i>in situ</i>
	Group 1, class A 10 m measurement distance dB(μ V/m)	Group 1, class B 10 m measurement distance dB(μ V/m)	Group 1, class A Limits with measuring distance 30 m from exterior wall outside the building in which the equipment is situated dB(μ V/m)
0,15 – 30	Under consideration	Under consideration	Under consideration
30 – 230	40	30	30
230 – 1 000	47	37	37

表 2 2 组 A 类设备的辐射发射限值

Frequency band MHz	Limits with measuring distance <i>D</i> m	
	Distance <i>D</i> from exterior wall of the building dB(μ V/m)	On a test site <i>D</i> = 10 m from the equipment dB(μ V/m)
0,15 – 0,49	75	95
0,49 – 1,705	65	85
1,705 – 2,194	70	90
2,194 – 3,95	65	85
3,95 – 20	50	70
20 – 30	40	60
30 – 47	48	68
47 – 53,91	30	50
53,91 – 54,56	30(40) ^a	50(60) ^a
54,56 – 68	30	50
68 – 80,872	43	63
80,872 – 81,848	58	78
81,848 – 87	43	63
87 – 134,786	40	60
134,786 – 136,414	50	70
136,414 – 156	40	60
156 – 174	54	74
174 – 188,7	30	50
188,7 – 190,979	40	60
190,979 – 230	30	50
230 – 400	40	60
400 – 470	43	63
470 – 1 000	40	60

^a The limits in the frequency band of 53,91 MHz to 54,56 MHz can be relaxed by 10 dB on a national basis.

对于 1 组 A 类设备，其现场测试限值与表 1 内限值相同。如果是准备永久安装在 X 射线屏蔽场所的 1 组 A 类和 B 类设备，在试验场进行测量时，其电磁辐射发射限值允许增加 12dB。

对于现场测量的 2 组 A 类受试设备，只要表 2 中的测试距离 *D* 在辖区周界以内，测试距离从

安装受试设备的建筑外墙算起， $D = (30+x/a)$ （单位为米，m）或 $D=100m$ ，两者取小者。当计算的距离 D 超过辖区周界时，则 $D=x$ 或者 $30m$ ，两者取大者。

x 是安装受试设备的建筑物外墙和用户辖区周界之间在每一个测量方向上的最近距离；

$a=2.5$ （频率低于 1MHz）

$a=4.5$ （频率大于等于 1MHz）

为了保护特定区域内的专用航空业务，国家有关部门可能要求满足 30m 距离是确定的限值。

3.1.1.2 环境要求

在现场测试时，由于不是专门的屏蔽试验场，因此会接收到各种各样的环境干扰，比如手机通讯信号、广播信号等等，这些环境噪声的影响都应该在测试中予以考虑。试验场地应能保证将受试设备的发射从环境噪声中区别出来。

为了区别环境噪声与受试设备发射的影响，在测试之前应该先测量环境的噪声电平。在测试之前，先按照正常测试布置摆放好天线和接收机，关掉受试设备，然后测量环境的噪声的电平。测试结果要尽量保证环境电平比 EUT 的规定限值至少低 6dB，以便于测量。因此在测试时，应尽量关闭周围的电子设备，及其他可能影响到辐射特性的设备，以保证提供较为纯净的测试环境。

由于现场测试的场地限制，有时干扰并不能人为的消除掉，不能满足 6dB 余量的要求。对于这种情况，CISPR11 中给出如下解决方案：

1、当环境电平加上受试设备的发射后，仍不超过规定的限值，就没有必要使环境电平减小到规定限值的 6dB 以下，在这种情况下可以认为受试设备已满足规定的限值。

2、若因为环境噪声电平或其他原因而不能在规定的距离上进行场强测量，则可在跟进的距离上测量。这时应在试验报告中记录该距离及测试情况。为了确定合格与否，应采用每 10 倍距离按 20dB 的反比因子将测量数据归一化到规定的距离上。在 3m 距离测量大试验品时要注意频率接近 30MHz 时近场效应的影响。

3.1.1.3 测试布置

3.1.1.3.1 天线布置

按照 cispr11 clause9 的要求：“不在辐射试验场测量的设备，可将设备在用户辖区内安装后进行测量，应在安装设备的建筑物的外墙外，以第 5 节规定的测试距离进行测量。”以 DR 产品为例，将 DR 产品安放在 X 射线屏蔽室内，天线在外墙外进行测试。

在现场测量使用的天线与试验场使用的天线相同，在测量结果与平衡偶极子天线测量结果之间的差值在 2dB 以内的情况下，也可以使用其他型式天线。采用 3m 法测试，但现场测量的天线不再在 1~4m 范围内升降，而是将天线中心固定在地面以上 $2.0m \pm 2.0m$ 的高度。

天线的位置至少选择在屏蔽室正交的四个方向上进行测量，如图 1 所示。除了这四个点外，在实际条件允许的情况下，以屏蔽室为中心尽可能多的选取测试点，另外还应在任何可能对无线电系统产生的有害影响的方向上进行测量。

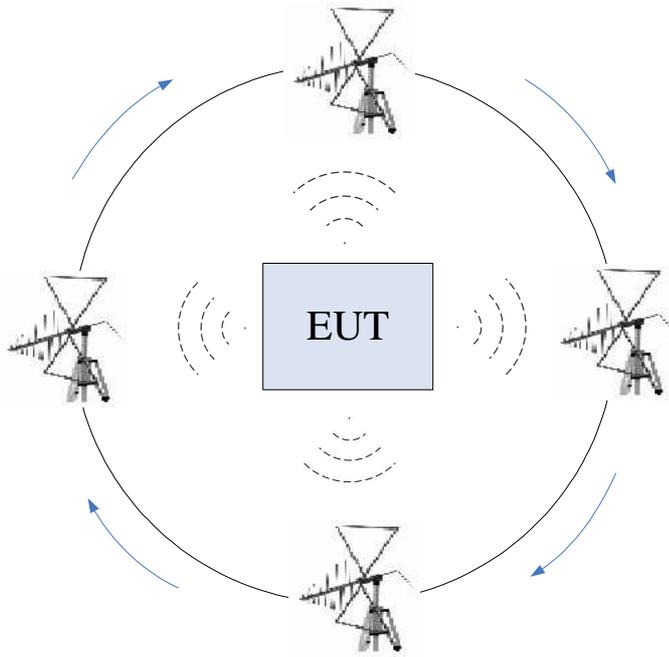


图 1 天线位置示意图

3.1.1.3.2 设备布置

在测量辐射发射时，应该尽可能的调整设备的设置以获得骚扰电平的最大值，具体布置视每一特定设备固有的机动性而定。现场测试时，就特定的设备而言，要考虑到电缆位置的改变和在该设备内不同不见得独立运行，以及该设备在现场的房屋内可以移动的程度，受试设备的布置状况应准确地记录在试验报告中。

测试时设备间的互联电缆的长度和型号应该和单个设备技术要求中的规定一致。如果电缆长度可以改变，则在进行场强测量时应选择能产生最大。

如果试验中要采用屏蔽电缆或特种电缆，则应在使用说明书中明确规定。

在有多个同类型接口的地方，如果增加电缆数量并不会明显影响测量结果，则只要用一根电缆接到该类接口之一即可。

任何一组测量结果都应富有电缆和设备位置的完整说明，以使这种测量结果能够重现。如果有使用条件，则应做出规定，编入使用说明书中以作备用。

假如某一设备能分别执行若干个功能，则该设备在执行每一功能时，都应进行试验。对于有若干不同类型设备组成的系统，每类设备中至少有一个应包括在评价中。

系统如包含若干个相同的设备，则只要评价其中一个设备。若最初评价符合要求，就不需要再做进一步的评价。

在评价与其他设备相连构成系统的设备时，可以用别的设备或模拟器来代表整个系统进行评价。对受试设备的这两种评价方法都应保证系统的其他部分或模拟器影响要满足标准对与环境噪声电平的规定。任何用以替代实际设备的模拟器应该能完全代表接口界面的电气和某些情况下的机械特性，特别是射频信号和射频阻抗，电缆布置及其型号。

以 DR 产品为例，在现场测试时，设备在安装后基本都固定，不会再移动，因此设备本身不需要移动。DR 互联线缆比较多较长，在保证其线缆完整装配的前提下，测试时应通过不同的摆放方式，达到最大骚扰的要求。DR 产品部分组件具有机械运动、曝光等功能，在测试时应应在不同功能的条件下予以测试，取辐射发射的最大值作为最终的测试结果。

3.1.1.4 测试步骤

根据上述分析，在进行现场测试时，已按照下面的流程进行测量：

- 1、按照在客户端的典型安装要求对受试设备进行布置，线材要遵从规格书规定的长度和型号；
- 2、在距 EUT（受试设备）外墙 3m 处放置天线和接收机，将天线中心调至离地面 2m 高度；
- 3、先关闭受试设备，测试环境噪声电平；
- 4、开启受试设备，调整布线方式，执行不同功能，寻找最大辐射模式；
- 5、旋转天线，分别测试水平和垂直方向辐射骚扰；
- 6、以受试设备为中心移动天线，尽可能多的选取测试点进行测量；
- 7、选取最高辐射电平作为测量结果。
- 8、关闭设备



图 2 DR 现场测试图片

3.1.2 传导发射（CE）

传导发射（CE）主要是测量受试设备通过电缆传导对环境电网的电磁骚扰能量。和辐射发射（RE）类似，CE 的方法标准也是采用 CISPR11 标准。

3.1.2.1 测试限值

按照 CISPR11 的要求，连续传导发射的限值如表 3 所示。对于诊断用 X 射线发生装置，因为其以间歇方式工作，其喀喇声（不连续传导发射）限值为表 3 中的骚扰峰值加 20dB。

表 3 传导发射测试限值

Frequency band MHz	Class A equipment limits dB(μV)					
	Group 1		Group 2		Group 2 ^a	
	Quasi-peak	Average	Quasi-peak	Average	Quasi-peak	Average
0,15 – 0,50	79	66	100	90	130	120
0,50 – 5	73	60	86	76	125	115
5 – 30	73	60	90 Decreasing linearly with logarithm of frequency to 70	80 60	115	105
NOTE Care should be taken to comply with leakage current requirements.						
a Mains supply currents in excess of 100 A per phase when using the CISPR voltage probe or a suitable V-network (LISN or AMN).						

3.1.2.2 环境要求

在测量电源端子骚扰电压时，当地的无线电发射可能使某些频率上的环境噪声电平增加，此时可在人工电源网络和电源之间插入一个适当的射频滤波器，或者在屏蔽室内测量。构成射频滤波器的元件应封闭在一个金属屏蔽盒内，其外壳直接与测量系统的参考地连接，介入射频滤波器后，在测量频率上，人工网络的阻抗仍应满足规定的要求。

3.1.2.3 测试布置

在现场测试时，应使用标准规定的人工网络，且其与受试设备的表面边界距离应不小于 0.8m，场地应提供额定电压电源。

测量时电源线长度应为 1m 超长的部分来回折叠成不超过 0.4m 长的线束。受试设备为了安全目的需要接地时，接地线也应接在人工网络的参考接地点上。同样接地线长度也为 1m，与电源线平行铺设，其间距不大于 0.1m。如果有其他安全接地线也连接在统一端子上，则这些地线也应该接到人工网络的参考接地点。

大型设备通常会由几个单元组成，而这些单元往往具有自身电源，在这种情况下，人工网络的连接点应按下列规则确定：

- a) 端接标准电源插头的每根电源电缆应分别测试；
- b) 需连接到系统中另一单元取得供电电源且制造厂未作规定的电源电缆或端子都应分别测量；
- c) 由制造厂规定须从系统中某一单元取得供电电源的电源电缆或端子都应接至该单元，而该单元的电源电缆或端子要接至人工网络。
- d) 规定特殊连接的场合，在评价受试设备时应使用实现连接所必需的硬件。

测试布局可以参考图 3 中的布置。

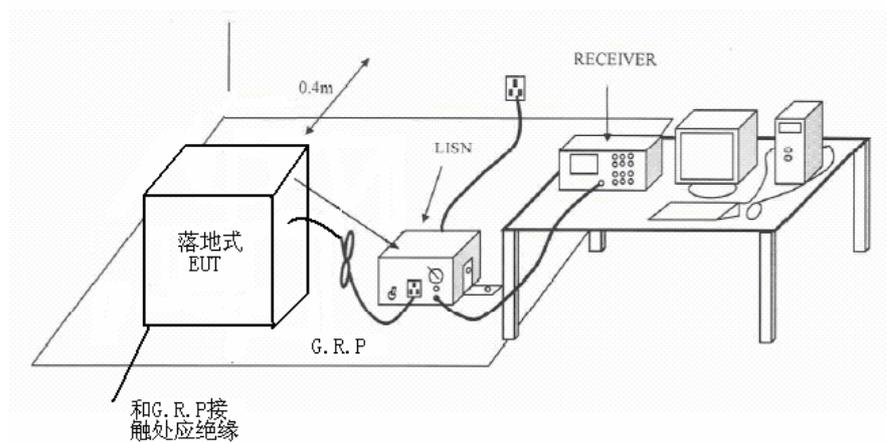


图 3 传导发射测试布局

3.1.3 谐波电流 (Harmonic)

电子设备产生的谐波分量，既可能会干扰其他设备的正常工作，也会造成电能的浪费，甚至引起电线过热导致起火，谐波电流测试目的就是为了对谐波分量加以控制。但 IEC60101-1-2 和 IEC61000-3-2 中的要求主要针对接入公用低压供电系统中每相输入电流 $\leq 16A$ 的电气和电子设备进行规定。对于每相大于 16A 或者标称电压低于 220V 的系统限值暂未考虑。因此 MRI 和 DR 产品都可以免于谐波电流的测试。

3.1.4 电压波动和闪烁 (Flicker)

电压波动和闪烁的标准为 IEC61000-3-3，其适用于每相电流不大于 16A，并打算连接到相电压为 220V~250V、频率为 50Hz 的公用低压配电系统的电气和电子设备。同样，对于 MRI 和 DR 产品来说基本可以免于测试。

第4章 EMS 测试

除了设备本身对周边环境的电磁骚扰外，设备也同样会收到来自周围环境的干扰，对于一些可能会影响到设备安全、性能的干扰。可以通过相应的测试来评估相关风险，以保证设备能够在这些干扰条件下正常工作。本章主要讨论的就是 EMS（电磁抗扰）的七项测试。

抗扰度试验不同于骚扰测试，没有固定的限值，因此如何判断是否通过测试需要视具体的产品而定。通常情况下，判收准则由专业标准化技术委员会制订的通用标准或产品标准或产品类标准中进行规定。以工科医设备为例，IEC60601-1-2 中对工科医的设备做出了规定。设备需要提供基本的性能并保持安全性，不允许出现下列和基本性能和安全性有关的性能降低：

1. 器件故障；
2. 可编程参数的改变；
3. 工厂默认值的改变；
4. 运行模式的改变；
5. 虚假报警；
6. 任何预期运行的终止或中断，即使有报警；
7. 任何非预期运行的产生，包括非预期或非受控的动作，即使伴有报警；
8. 显示数值的误差足以影响诊断或治疗；
9. 波形上的噪声，难以从生理产生的信号中区分或者这些噪声会影响到对生理产生的信号判断；
10. 图像上的伪影或失真，此伪影难以从生理产生的信号中区分或者失真会影响到对生理信号判断；
11. 自动诊断或治疗设备和系统在进行诊断或治疗时失效，即使伴随着报警。

医疗设备的电磁抗扰度测试一般就是按照上述 11 条原则进行验收，如果专标中对接收准则有特殊说明（如超声专标），则应根据专标要求对通标进行增补或替换。在测试中如果出现性能降级，通过在测试报告中分析是否和安全和基本性能相关的方式进行评估。

与 EMI 试验类似，EMS 试验中只有 RS 测试与试验室测试差别很大，其他试验测试设备和测试方法与实验室测试相同，仅现场布置等略有差异。因此本章重点介绍对 RS 试验方法，对其他试验仅就测试限值和现场布置做相关说明

4.1.1 辐射抗扰（RS）

随着科技的发展，越来越多的高敏感元件应用于医疗设备中，而日益复杂的电磁环境对于设备的干扰成为了一个隐患。辐射抗扰度的测试的目的就是为了测试医疗设备在一定强度和频率范围内的工作状态，以保证正常医疗、诊断工作的进行。

辐射抗扰试验时会产生的较高场强，所以电子设备的辐射抗扰测试一般是在标准的安装有吸波材料的屏蔽房内进行，以便遵守有关禁止对无线通信干扰的规定。对于大型的固定式安装设备，

如果其子系统能够模拟运行，且可拆卸安装至屏蔽室内，则应尽量在屏蔽室内测试。

而对于结构上不可实现子系统模拟运行的大型永久性安装设备和系统，则可以免于 IEC61000-4-3 所规定的 RS 试验要求。在这种情况下，这类大型永久型安装设备和系统应当在安装现场或开阔试验场，利用出现在典型健康监护环境中的 RF 源（如无线（蜂窝或无绳）电话、对讲机和其他合法发射机）进行型式试验。另外，试验使用的频率应是 80MHz~2.5GHz 频率范围中 ITU 支配的工科医设备（ISM）的使用频率。除了可以使用实际的调制[例如无线（蜂窝或无绳）电话、对讲机等]，还应调整源的功率和距离以提供 IEC6100-4-3 中规定的合适的试验电平。

开阔试验场测试，要求在人烟稀少的开阔场地进行，对于 MRI 和 DR 这类产品来讲显然是不现实的。因此对于大型固定式安装设备，主要以常用的 RF 源在安装现场施加干扰。

4.1.1.1 测试规格

表 4 辐射抗扰测试规格

Application standard	IEC 61000-4-3:2006
Frequency Range:	80 MHz - 2500 MHz
Field Strength:	3 V/m
Modulation:	1kHz Sine Wave, 80% AM Modulation
Dwell time	1s

4.1.1.2 测试布置

4.1.1.2.1 设备布置

所有受试设备应尽可能在实际工作状态下运行，布线应按生产厂推荐的规格进行。除非另有说明，设备应放置在其壳体内并盖上所有盖板。

若设备被设计安装在支架或柜中，则应按照设计情况进行试验。

当需要某种装置支撑 EUT 时，应该选用不导电的非金属材料制作。但设备的机箱或外壳的接地应符合生产厂的安装条件。

当 EUT 由台式和落地式部件组成时，要保持正确的相对位置。

4.1.1.2.2 线缆要求

如果对受试设备的进、出线没有规定，则使用非屏蔽平行导线。从受试设备引出的连线暴露在电磁场中的距离为 1m，设备间的连线使用生产厂规定的导线类型和连接器。

对于在试验场中的测试，标准要求设备间的连线捆扎成 1m 长的线束或者对长于 1m 的部分去耦（套上射频损耗铁氧体管）。对于大型设备而言，往往系统间连线都比较大，而且由于摆放等要求，无法按照标准规定的布线方式布置。而现场测试，更多的是模拟现实环境中受到的干扰，因此在测试中线材可以按照客户端典型安装的情况来布置。测试时所有试验结果均应附有连线、设备位置及方向的完整描述，使结果能够被重复。

4.1.1.2.3 测试设备

由于现场测试主要以常用射频源为主，在 80MHz~2.5GHz 频段内，可以选用如下干扰源中的几种进行测试：

- 1) 无线对讲机，民用频率范围为 409MHz~410MHz；
- 2) GSM 手机，频率范围为 880MHz~915MHz；
- 3) TD-SCDMA 手机，频率范围为 2010~2025MHz；
- 4) 无线路由器，频率约为 2.4GHz；

4.1.1.3 测试步骤

现场测试时应在其预定的运行和气候条件下进行试验，在试验报告中记录温度、相对湿度。然后测试应按照下述流程开展：

- 1、将受试设备按照典型安装要求进行现场布置，线缆按照生产厂规定规格和型号安装；
- 2、开机并确认机器工作正常，使机器处于正常运行状态；
- 3、令选型 RF 源工作，使其对受试设备施加干扰。利用场强探头对 RF 源的场强测量，调整源的功率和距离以保证其能够符合标准要求电平，对于工科医设备辐射抗扰要求的干扰电平为 3v/m；
- 4、RF 源的干扰时间视受试设备的运行模式时间而定，应保证设备的敏感运行模式中都可以收到 RF 源干扰；
- 5、RF 源应在 EUT 的四个侧面逐一进行试验，以保证受试设备各部件都可能受扰；
- 6、在试验过程中应尽可能使受试设备充分运行，并在所有选定的敏感运行模式下进行抗扰度试验。

4.1.2 静电放电 (ESD)

静电是日常生活中最为常见的干扰现象之一，操作者或临近物体释放的静电都有可能对设备造成影响。静电放电适用的标准为 IEC61000-4-2。

4.1.2.1 测试规格

工科医设备对静电要求的等级如表 7 所示。接触放电为 ±6kv（包括直接接触和金属耦合板放电），空气放电为 ±8kv。

表 5 静电放电测试规格

Application standard	IEC 61000-4-2:2001	
Discharge Voltage:	Contact Discharge	±6kv (Direct/Indirect)
	Air Discharge	±8 kV (Direct)

4.1.2.2 测试布局

测试时受试设备应按照典型安装要求安装完毕后进行试验，现场的相对湿度应该保持在 30%-60%。

为了便于放电回路电缆的连接，应将接地参考平面铺设在地面上并保持与受试设备约 0.1m 的距离，该平面应当是厚度不小于 0.25mm 的铜或铝板，也可使用其他的金属材料，但其最小厚度为 0.65mm，条件允许时接地参考平面应是宽约 0.3m 和长约 2m。应将这个接地参考平面连接到保护接地系统上，如不能连接，而受试设备有接地端能接的话，应连接在此。

静电放电发生器的放电回路电缆应接到靠近受试设备的接地参考平面某个点上。当受试设备安装在金属桌上时，应将桌子通过每端接有 470kΩ 的电缆连接到参考平面上，以防止电荷的累计。测试布置图如图 4 所示

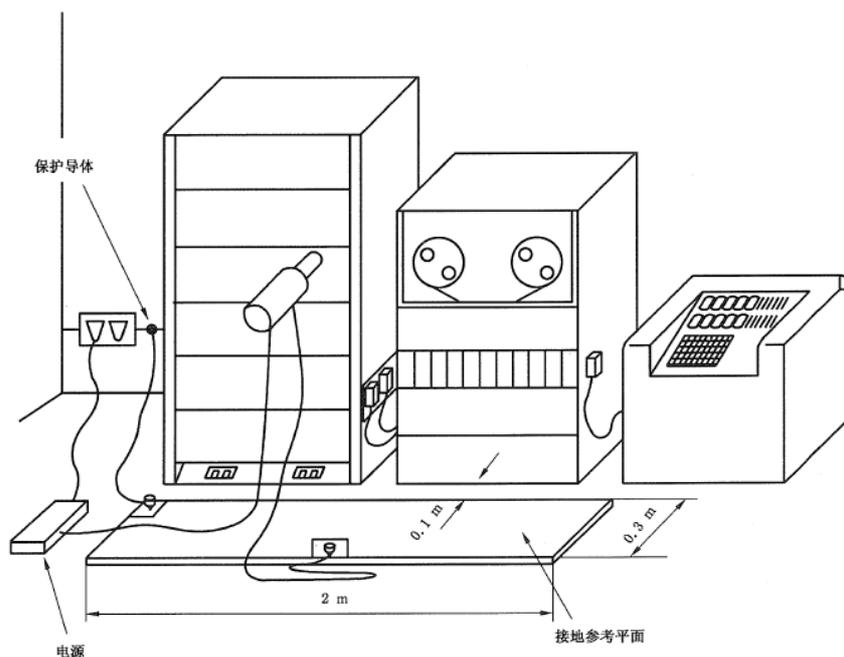


图 4 静电放电现场测试配置

4.1.3 电快速瞬变脉冲群 (EFT)

EFT 测试是为了验证电气和电子设备对诸如来自切换瞬态过程（切断感性负载、继电器触电弹跳等）的各种类型瞬变骚扰的抗扰度，测试主要围绕供电电源端口、信号和控制端口在收到重复性快速瞬变脉冲群干扰时受试设备的性能来进行。EFT 测试适用的标准为 IEC61000-4-4。

4.1.3.1 测试规格

工科医设备的测试等级如表 8 所示：电源端子每相及相间 EFT 等级为 ±2 kV，I/O 端口和系统间互联电缆 EFT 等级为 ±1kV。

表 6 电快速瞬变脉冲群测试规格

Application standard	IEC 61000-4-4:2004
Test Voltage:	Power Line ±2 kV, 5kHz I/O cable, interconnecting line ±1kV, 5kHz

4.1.3.2 测试布局

对于已安装的设备在现场测试，标准要求应该按照设备或系统的最终安装状态进行试验。为了尽可能地逼真模拟实际的电磁环境，在进行安装后试验不应该再使用耦合去耦网络。

在试验过程中，除了受试设备以外，如果有其他装置受到不适当的影响，经用户和制造商双方同意可以使用去耦网络。

大型设备的系统间连线较多且较长，对于长于 3m 的线缆可采用电容耦合夹方式施加干扰。在测试时，耦合夹应放置于参考接地面上，且与其他导电性结构之间的最小距离保持在 0.5m 以上。耦合夹与受试设备间的线缆长度不应大于 1m。如果互联线缆两端都是受试设备，则应在两端分别进行测试。

测试布局参考图 5 所示布局：

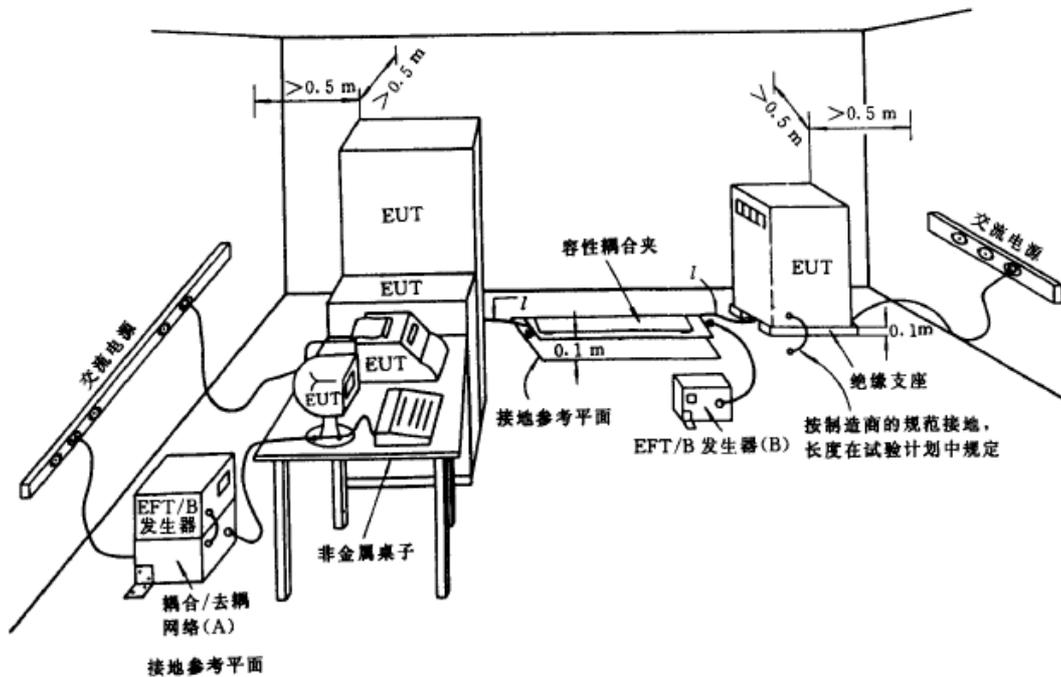


图 5 电快速瞬变脉冲群测试布局

4.1.4 浪涌 (SURGE)

开关和雷电瞬变过电击会引起单极性冲击，浪涌测试就是验证设备在遭受来自电力线和互连线上高能量骚扰时的性能。浪涌测试适用的标准是 IEC61000-4-5。

4.1.4.1 测试规格

工科医设备的浪涌测试等级如表 6 所示：差模测试电压为 ± 1 kV，共模测试电压为 ± 2 kV。

表 7 浪涌测试规格

Application standard	IEC 61000-4-5:2005
Test Voltage	± 1 kV differential mode

4.1.4.2 测试布局

工科医设备仅对交流电源线有浪涌要求，对于其他线缆不直接测试。因此测试时仅将受试设备电源连接至浪涌发生器即可。

测试布局如图 6 所示：

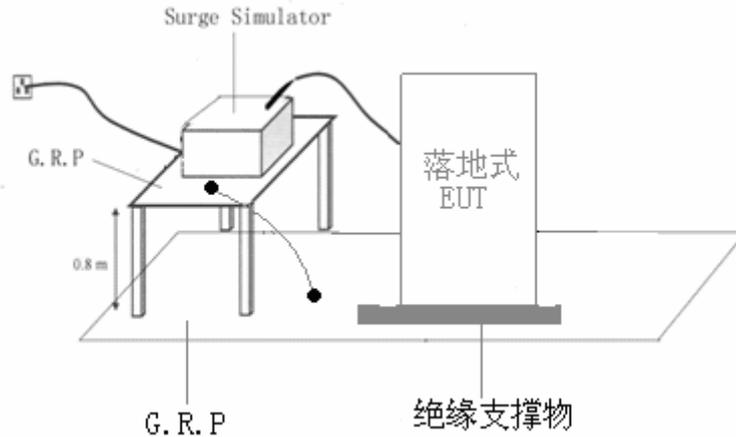


图 6 浪涌测试布局

4.1.5 传导抗扰 (CS)

传导抗扰测试是模拟电网和周边环境中的射频发射机对受试设备在 150kHz~80MHz 频段内的骚扰，CS 的适用标准为 IEC61000-4-6。

4.1.5.1 测试规格

工科医设备的测试等级如表 10 中所示：

表 8 传导抗扰测试规格

Application standard	IEC 61000-4-6:2006
Frequency Range:	0.15 MHz - 80 MHz
Field Strength:	3V
Modulation:	1kHz Sine Wave, 80% AM Modulation
Coupled Cable:	Power Mains, I/O lines
Dwell time	1s

4.1.5.2 测试布局

测试时受试设备应按照典型安装要求安装完毕后进行试验。测试点的选择应保证每种类型的线缆都至少有一根被测试。通常线缆采用电磁钳耦合方式注入干扰，即将线缆夹入电磁耦合钳内，将射频干扰通过电磁钳耦合到线缆上。测试布置如图 8 所示。

大型的受试设备通常会有多个单元互联。对于多个单元互联的受试设备，标准建议采取下述方法测量。

a) 优先法：每个分单元应作为一个受试设备分别测量，其他所有单元视为辅助设备。耦合和去耦装置应置于被认为是受试设备的分单元的电缆上，应一次测量全部分单元。

b) 代替法：总是由短电缆（即 $\leq 1\text{m}$ ）连在一起的并作为受试设备的一部分的分单元，可认为是一个设备，对于这些互联的电缆不进行传导抗扰度测量量，而作为系统内部电缆考虑。

由于现场测试状态一般为最终安装后，受试设备不再移动，受安装和场地限制，代替法很难实施，所以通常采用优先法进行测试。

对于落地式设备，测试时应放置于 0.1m 高的绝缘支架上，单元间的互联电缆也应放在绝缘支架上。但是由于 EUT 重量或尺寸的原因，很难放置到 0.1m 支撑物上时，如果 EUT 的底盘高度超过 0.1m ，也可以直接进行测试

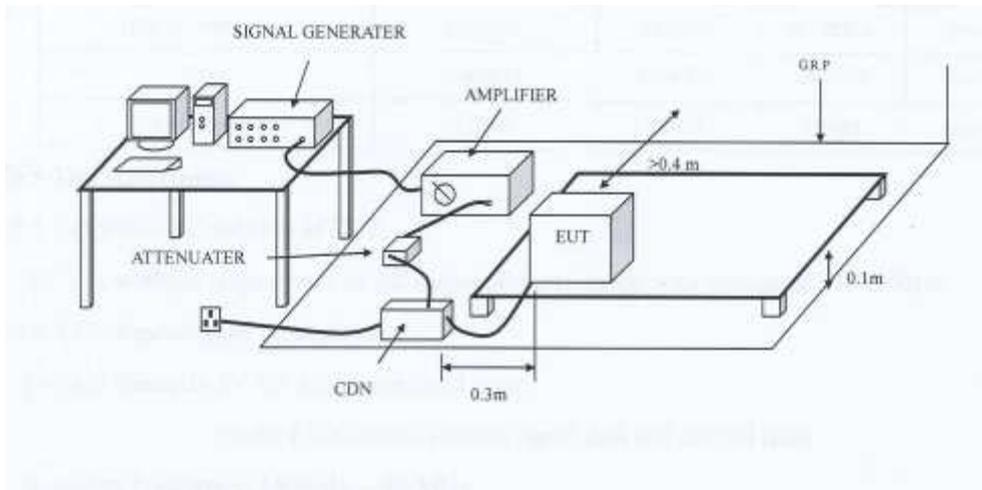


图 7 传导抗扰测试布局

4.1.6 电压跌落、短时中断和电压变化 (DIP)

本项测试是为了评估电压跌落、短时中断和电压变化对受试设备性能造成的影响。电压跌落、短时中断是由电网、电力设施的故障或负荷突然出现打的变化引起的，在某些情况下会出现两次或更多次连续的暂降或中断。电压变化是有连接到电网的负荷连续变化引起的。电压跌落、短时中断和电压变化抗扰度适用的标准为 IEC61000-4-11。

4.1.6.1 测试规格

工科医设备的电压跌落和短时中断要求如表 9 和表 10 所示。对于额定输入功率大于 1kVA 和额定输入电流小于等于每相 16A 的非生命支持设备和系统，只要设备或系统保持安全，不发生组件损坏并通过操作者干预可恢复到试验前状态，则允许在表 11 测试条件下偏离抗扰接收准则的要求。

表 9 电压暂降测试规格

Application standard	IEC 61000-4-11:2004	
Voltage test level % U_T	Voltage dip % U_T	Duration Periods
<5	95	0.5
40	60	5
70	30	25

表 10 电压中断测试规格

Application standard	IEC 61000-4-11:2004	
Voltage test level % U_T	Voltage dip % U_T	Duration S
<5	95	5

4.1.6.2 测试布局

测试时直接将受试设备电源连接至电压跌落测试仪器即可。对于电压中断测试，也可以采用手动断电 5s 后恢复供电的方式进行。

测试布局如图 8 所示：

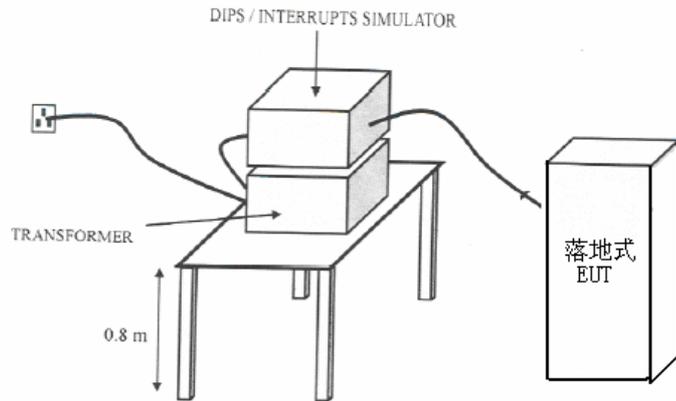


图 8 落地式设备 电压跌落测试布局

4.1.7 工频磁场 (PFMS)

工频磁场测试是为了测试周围设备或导体的工频电流或漏磁通产生的磁场对受试设备的影响。工频磁场测试适用的标准为 IEC61000-4-8。

4.1.7.1 测试规格

表 11 工频磁场测试规格

Frequency Range:	50Hz
Field Strength:	3 A/m

4.1.7.2 测试布局

测试时，线圈应能包围受试设备，其大小应使得线圈的一边到受试设备外壳的最小距离等于所考虑受试设备尺寸的 1/3。对于大型设备，本身体积比较庞大，感应线圈可由“C”形截面或“T”形截面的导体制成，以便有足够的机械稳定性。试验体积由线圈的试验面积(每条边的 60%×60%)乘以高度(对应于线圈较短一边的 50%)来决定。

测试布局如图 9 所示：

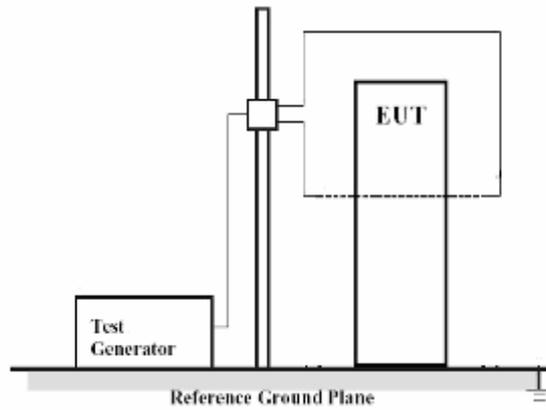


图 9 工频磁场测试布局

第5章 结论

本文通过对标准的分解，结合大型设备的特点，对 EMC 现场测试的方式方法进行了讨论，其中重点讨论了实验室测试和现场测试差异较大的 RE 和 RS 试验，对其他测试中与实验室测试的差异也进行相关的分析说明。公司现有产品中，X 射线诊断系统产品已进行了 EMC 现场测试，通过了 TUV 审核。随着公司产品的不断发展，将会出现越来越多的大型设备，现场测试也将会成为常规的测试方法。

【参考资料】

- [1] IEC60601-1-2:2007
- [2] CISPR11:2003+A1:2004
- [3] IEC61000-3-2:2005
- [4] IEC61000-3-3:1999+A1:2001+A2:2005
- [5] IEC61000-4-2:2001
- [6] IEC61000-4-3:2006
- [7] IEC61000-4-4:2004
- [8] IEC61000-4-5:2005
- [9] IEC61000-4-6:2003+A1:2004+A2:2006
- [10] IEC61000-4-8:2001
- [11] IEC61000-4-11:2004