



## 土壤污染与电子顺磁共振（EPR）

土壤污染是工业、农业和社会发展的直接结果。很多常见污染物可使用 EPR 检测，从而采取措施控制其分布并协助实施清理策略。

常见土壤污染物的来源如下：

- 工业废料：有毒气体、细胞毒性化学物质、放射性物质、致癌物质。
- 工业重金属副产物：镉、铬、铅、汞。
- 农业负担：农药、杀虫剂、除草剂、化肥。

这些污染物本身均有毒，并且经常参与导致表面稳定型环境持久性自由基（EPFRs）形成的过程。EPFRs 可在毒性化合物的进一步生成中发挥作用，并且还会参与影响腐殖质形成以及碳封存的自由基过程。此外还发现，含有 EPFRs 的颗粒可生成能够诱导氧化应激的活性氧物质（ROS）。

电子顺磁共振（EPR）波谱法是唯一能够直接、无创地检测过渡金属和自由基的技术。通过分析 EPR 信号，可鉴定、量化并监测土壤有机质中的长寿命 EPFRs、短寿命 ROS 以及顺磁性重金属。

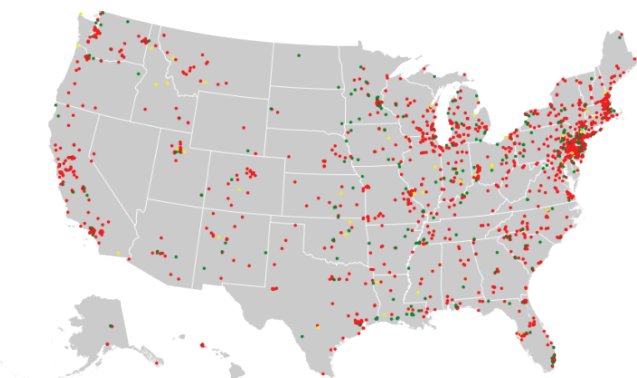
**挑战：**需要开展详细研究，了解来自工业和农业的污染对土壤环境的影响。了解土壤中无机、有机和生物组分的机理及作用，从而制定中和有毒化合物的有效策略。

**解决方案：**Magnettech ESR5000 台式电子顺磁共振波谱仪套装

- 检测、鉴定、量化受污染土壤系统中的 EPFRs、ROS 和过渡金属
- 评估土壤与沉积物中的 EPFRs 对健康和环境的影响
- 监测自由基反应，以更好地了解氧化机理并确定对人体健康的影响
- 采用集成内部标记物以高精度测定 g 因子，用于鉴定自由基种类。

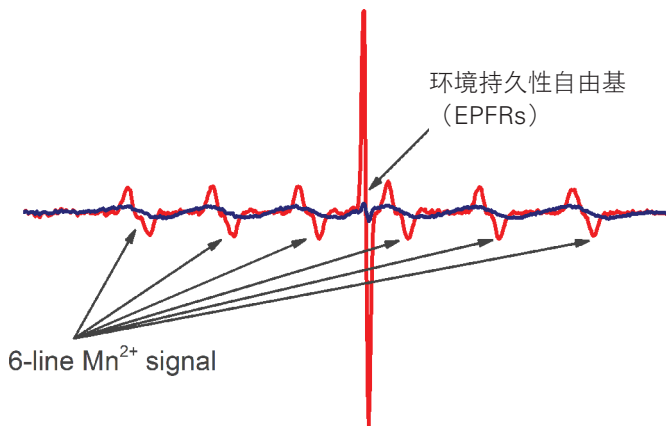
## Magnettech ESR5000 主要特性:

- 无需拥有 EPR 相关经验
- 使用指南及启动视频套件
- 精确的结果
- 出色的灵敏度
- 易于使用
- 完整的自由基和过渡金属检测、分析和定量工作流程
- 占地面积小
- 拥有成本低



采用偏 t 分布 (个人成果) CC BY-SA 3.0, 借助 Wikimedia Commons (维基共享资源)

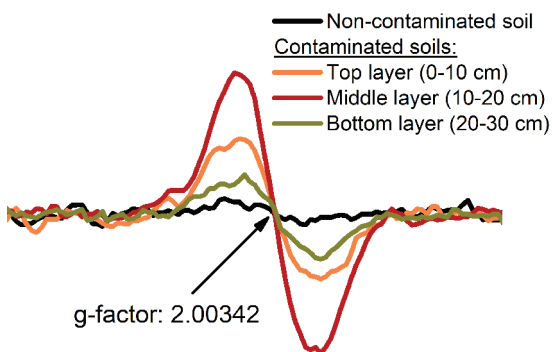
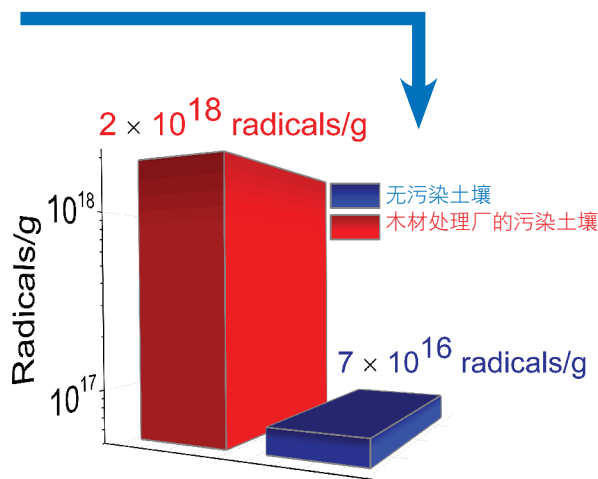
- 无污染土壤
- 木材处理厂的污染土壤



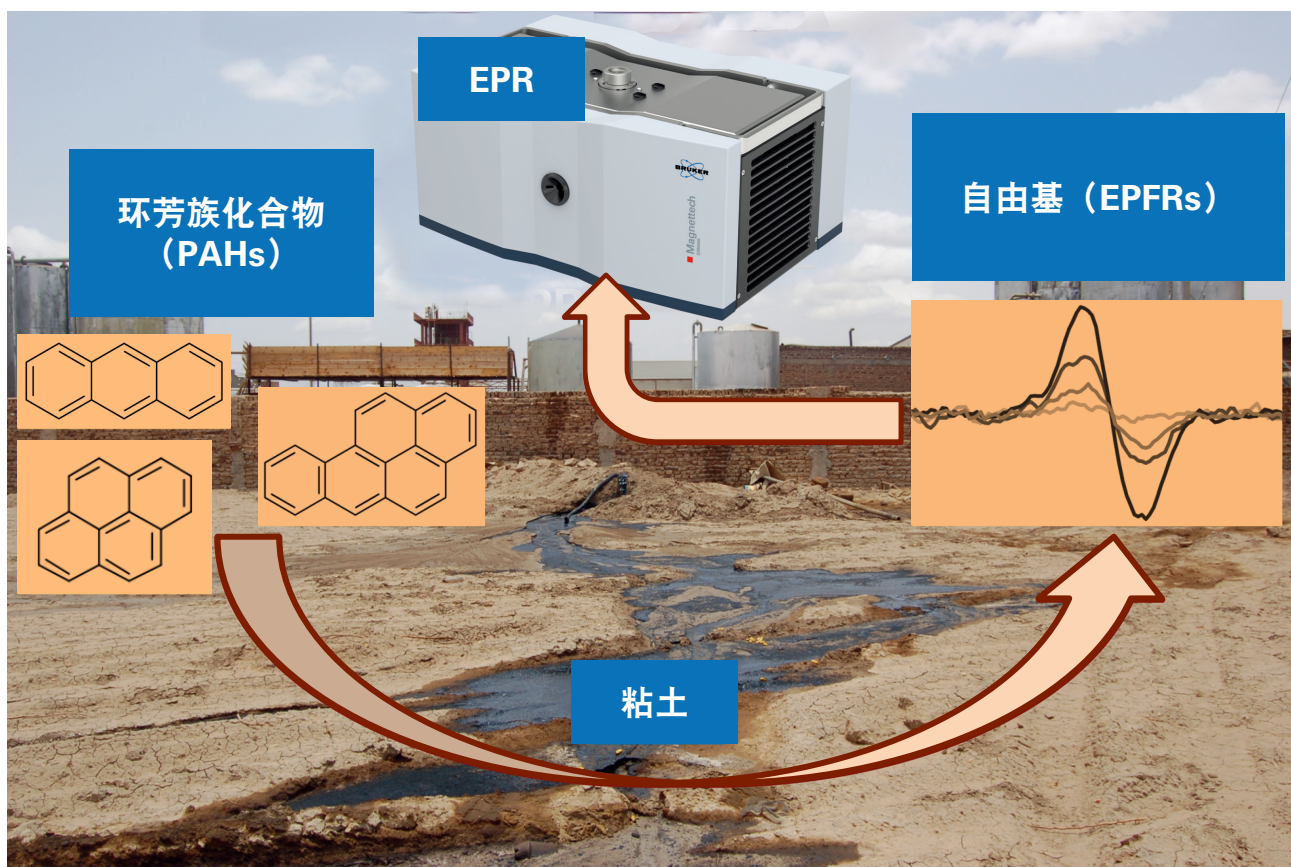
## 利用 EPR 研究美国 Superfund 场址的土壤

- Superfund 场址是需要采取长期应对措施以清理有害物质污染的受污染地点
- 红色表示当前已列入“国家优先事项清单”的场址，黄色为建议清理场址，绿色通常为已清理场址。

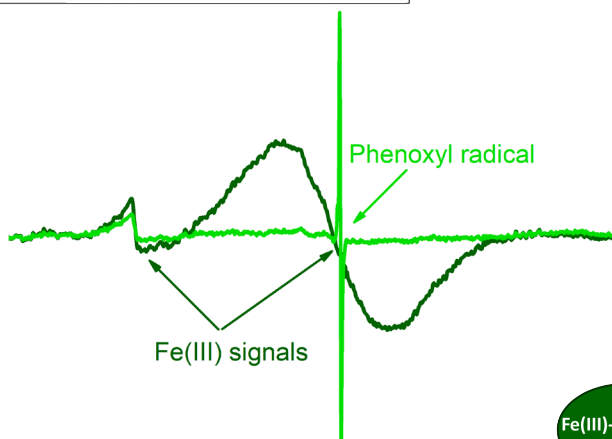
## 定量 EPR



- EPR 可检测并定量来自 Superfund (超级基金) 场址的污染土壤中环境持久性自由基 (EPFRs) 的形成。
- 采用自由基信号的 g 因子将该 EPFRs 鉴定为苯氧基自由基。
- EPR 监测自由基浓度随土壤深度的变化。在其中一个场址的中深度土壤层 (10-20 cm) 中发现了最高自由基浓度，并且该浓度与污染物浓度相关。
- 该场址 10 多年前就已被污染，通过对该场址的定量 EPR 分析确定的自由基产率，表明存在污染物不断产生 EPFRs 的机理。

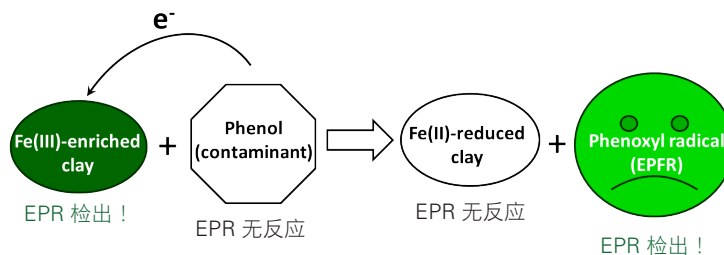


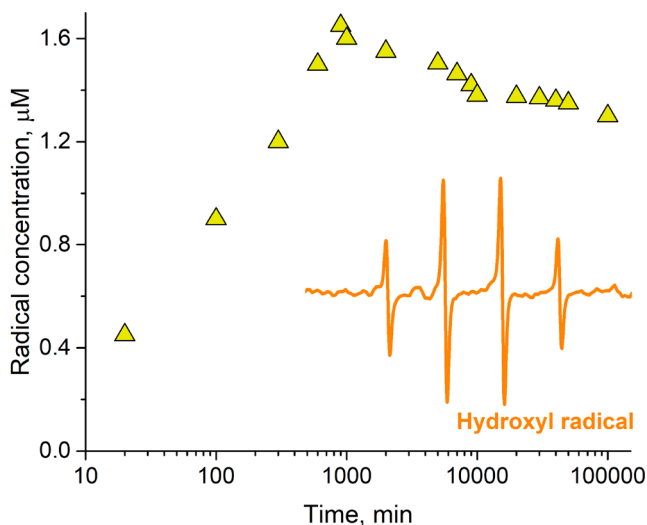
— Fe (III) 粘土  
 — 含有苯酚的 Fe (III) 粘土



### 富 Fe (III) 粘土中的自由基

- 粘土矿物质充当了过渡金属和有毒有机污染物的潜在储层。
- EPR 表明受苯酚污染的粘土矿物质中的过渡金属中心 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 对 EPFRs 的形成起到了催化作用。
- EPR 可以监测和量化经由氧化还原机制产生的 EPFRs:





### 生物炭（加入土壤以提高肥力的添加剂）中的 ROS

- 在生物炭中诱导产生稳定的氧中心及碳中心有机自由基，并在生产（炭化）过程中通过 EPR 检出。
- 定量 EPR 显示在炭化过程中生物炭诱导产生的自由基浓度呈现增加趋势。
- EPR 检测到有害羟基自由基 ( $\cdot\text{OH}$ ) 的形成。
- ROS 形成的时间进程显示羟基自由基产生的刺激长达 1000 分钟。

### 总结：

长期以来，人们一直认为将有机污染物吸附到土壤基质中是减轻其环境影响的一种方法，但潜在有毒 EPFRs 的存在对此提出了质疑。因此，了解 EPFRs 在受到污染的土壤和沉积物中如何形成极其重要。此外，过渡金属可作为产生 EPFRs 的催化剂，并且自身往往有毒。Magnetech ESR5000 为调查、研究这一类重要自由基化学成分并检测过渡金属提供了解决方案。借助 EPR，可深入了解土壤中生成大量严重影响人体健康的 EPFRs 的机理。

### 延伸阅读

1. dela Cruz A. et al., Detection of environmentally persistent free radicals at a superfund wood treating site (dela Cruz A. 等，在超级基金木材处理场检测环境持久性自由基)，*Env.Sci.Technol.* (2011) 45 6356
2. Liao S. et al., Detecting free radicals in biochars and determining their ability to inhibit the germination and growth of corn, wheat and rice seedlings (Liao S. 等，检测生物炭中的自由基并确定其抑制玉米、小麦和水稻幼苗萌发及生长的能力) *Env.Sci.Technol.* (2014) 48 8581
3. dela Cruz A. et al., Assessment of environmentally persistent free radicals in soils and sediments from three superfund sites (dela Cruz A. 等，对三个超级基金场址的土壤和沉积物中环境持久性自由基的评估)，*Environ. Sci.Process Impacts* (2014) 16 44
4. Nwosu U. et al., Formation of environmentally persistent free radical (EPFR) in iron (III) cation-exchanged smectite clay (Nwosu U. 等，铁 (III) 阳离子交换型蒙皂石粘土中环境持久性自由基 (EPFR) 的形成)，*Environ.Sci.Process Impacts* (2016) 18 42
5. Jia H. et al., Formation and stabilization of environmentally persistent free radicals induced by the interaction of anthracene with Fe (III) -modified clays (Jia H. 等，蒽与 Fe (III) 改性粘土的相互作用诱导产生的环境持久性自由基的形成和稳定)，*Env.Sci.Technol.* (2016) 50 6310

