

# 采用复合微生物制剂 “Oppenheimer Formula™” 的 油类污染土壤与地下水净化技术

以多样微生物的团队协作，应对作为“复合污染”的油类的生物强化技术

BioRangers

## “油”——复合性的污染物质

所谓“油类造成的土壤与地下水污染”，主要是指由石油烃（矿物油）构成的石油产品所造成的污染。石油是一种烃类的“复合物（混合物）”，碳数从 C1 到 C50 以上，沸点从常温到 700℃ 以上，分布范围极广；由于在精炼工序中经过复杂的分馏与混合，汽油、煤油、柴油、重油、润滑油等各类产品的成分各不相同，其化学式被认为是“无法特定的”。要实现有效净化，首先必须了解“油”。

|                                     |                                                 |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <div>对象</div> <div>油类污染土壤与地下水</div> | <div>所用制剂</div> <div>Oppenheimer Formula™</div> |
| <div>手法</div> <div>生物强化</div>       | <div>最终分解产物</div> <div>水与二氧化碳</div>             |

## 以“复合微生物”实现的“复合污染”对策

油类的净化（处理）方法多种多样，包括热处理、化学处理、移动回收、挖掘清除、固化封存等，但除生物修复之外的绝大多数方法都需要进行二次废弃物处理，或在装置的建设与运行中消耗大量能源，又或将土壤与地下水变为强酸性、强碱性，因而在成本和环境方面负荷较高。而生物修复则直接利用微生物自身的活动，投入能源少，并能将油类最终分解为水与二氧化碳，不产生二次废弃物，是一种低负荷的手法。

| 油类污染的主要净化（处理）方法      |
|----------------------|
| 热处理（加热、焚烧 ...）       |
| 化学处理（过氧化氢 ...）       |
| 石灰、紫外线、臭氧 ...        |
| 移动回收（清洗、气体抽吸、抽水 ...） |
| 挖掘清除（置换）             |
| 固化封存                 |
| 生物修复                 |

传统的生物刺激（活化土著微生物）存在诸多不确定因素，例如是否存在相应的微生物、数量多少、有效性如何等，而单一微生物难以应对“复合污染”。本技术是一种生物强化，将高浓度含有多样油类分解微生物的“Oppenheimer Formula”施用于现场，借助从世界各地自然环境中采集的复合微生物系（菌群）之间的相互作用（团队协作），实现对作为复合物的油类的分解，以及对多样污染物质与环境的应对。其理念正是：对“复合污染”，用“复合微生物”。

## 制剂的实绩与公共采用

“Oppenheimer Formula” 是由海洋微生物学权威 Dr. Carl H. Oppenheimer（德克萨斯大学名誉教授）开发的油类分解复合微生物制剂。1990 年墨西哥湾油轮（Mega Borg 号）爆炸事故导致原油泄漏时，它作为海洋油类污染对策在世界上首次投入使用，并作为微生物制剂登录于美国环境保护局（EPA）的国家应急计划产品目录（NCP Product Schedule）。

在日本，其使用始于 1997 年纳霍德卡号重油泄漏事故，当时在兵库县的支援下进行了实验性使用；此后被众多公共研究开发资助所采用，包括环境省“地下水净化通用装置开发普及调查”（2001 年）、经济产业省的即效型地区新生联合体研究开发事业（2002 年）、环境省环境技术实证示范事业（实证编号 020-0305 / 2003 年）等。2006 年，它还以“采用复合微生物制剂的油类净化技术”（登录编号 KT-060059）登录于国土交通省 NETIS。

|                                                |                                          |
|------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <div>海外使用实绩</div> <div>25 年以上</div>            | <div>国内净化实绩</div> <div>20 年逾 500 件</div> |
| <div>主要对象</div> <div>石油相关设施的 BTEX 系燃料油污染</div> | <div>EPA 登录</div> <div>NCP 产品目录</div>    |

## 净化案例——A重油与机械油

案例①（A重油）：某普通工厂燃料管道发生

A重油泄漏事故，因在相邻公园的池塘中发现油膜而被察觉。污染土壤量约 20,000m<sup>3</sup>，且施工条件要求不得砍伐公园内的树木。大部分采用原位净化法处理（注入复合微生物制剂、营养剂与必需元素水溶液的混合液，并配合生物通风以促进气体交换），可挖掘的部分则采用土耕法（landfarming，将混合液掺入土壤并搅拌、养护）处理。

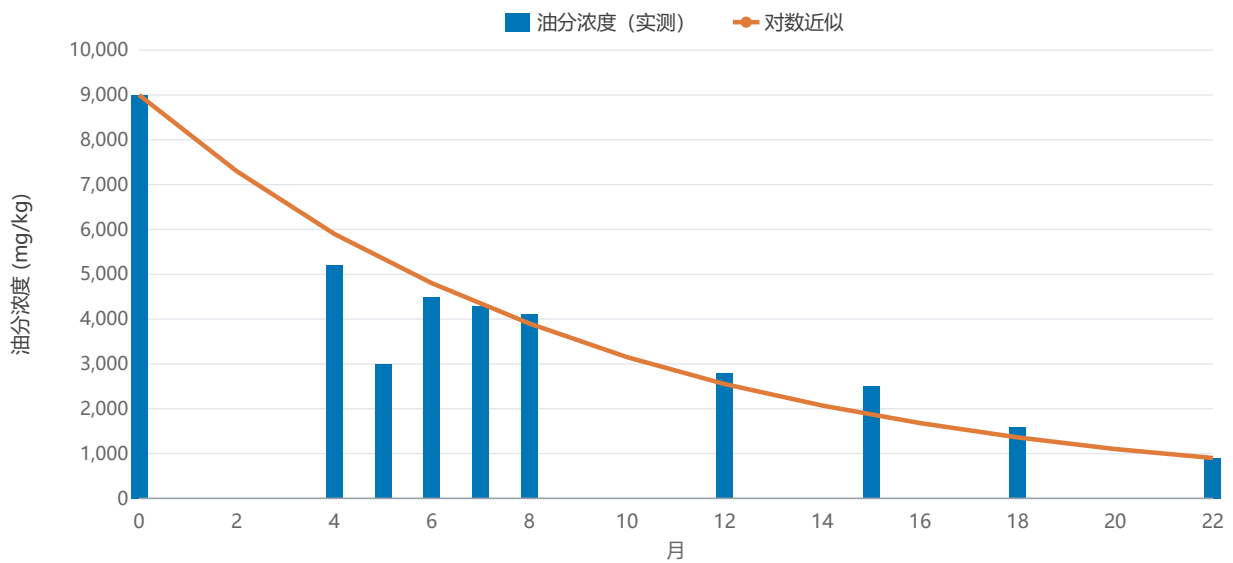


图1：油分浓度的变化（原位净化法）。柱状为实测值，曲线为对数近似。

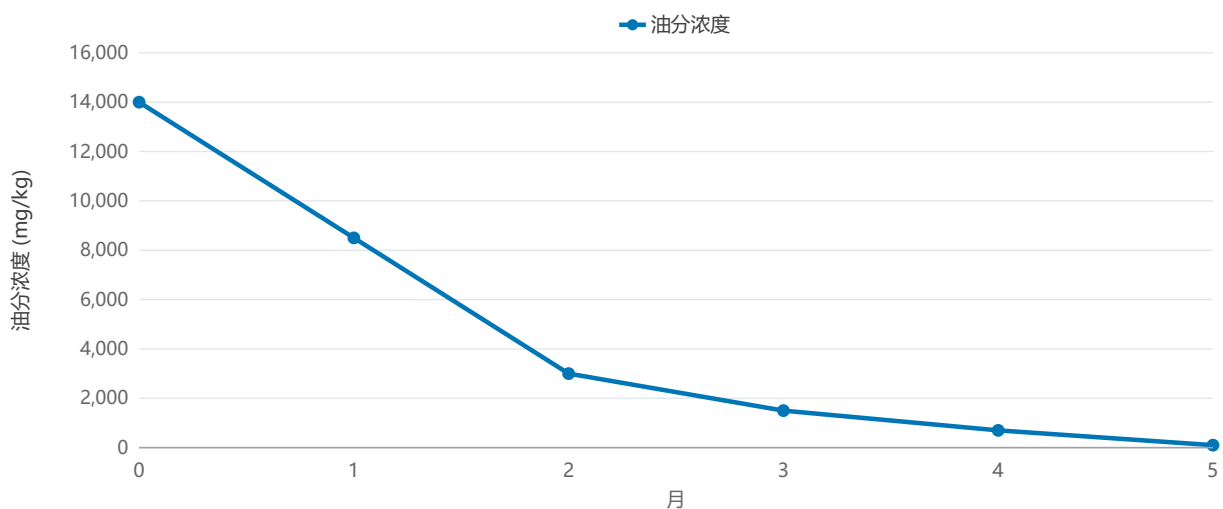


图2：油分浓度的变化（土耕法·A重油）

案例②（机械油）：某普通工厂旧址的机械油污染，初期油分浓度平均约 20,000mg/kg。采用土耕法，虽然冬季因积雪无法搅拌，但净化进展顺利，约 8 个月（12 月至次年 8 月）即达到目标值 1,000mg/kg。

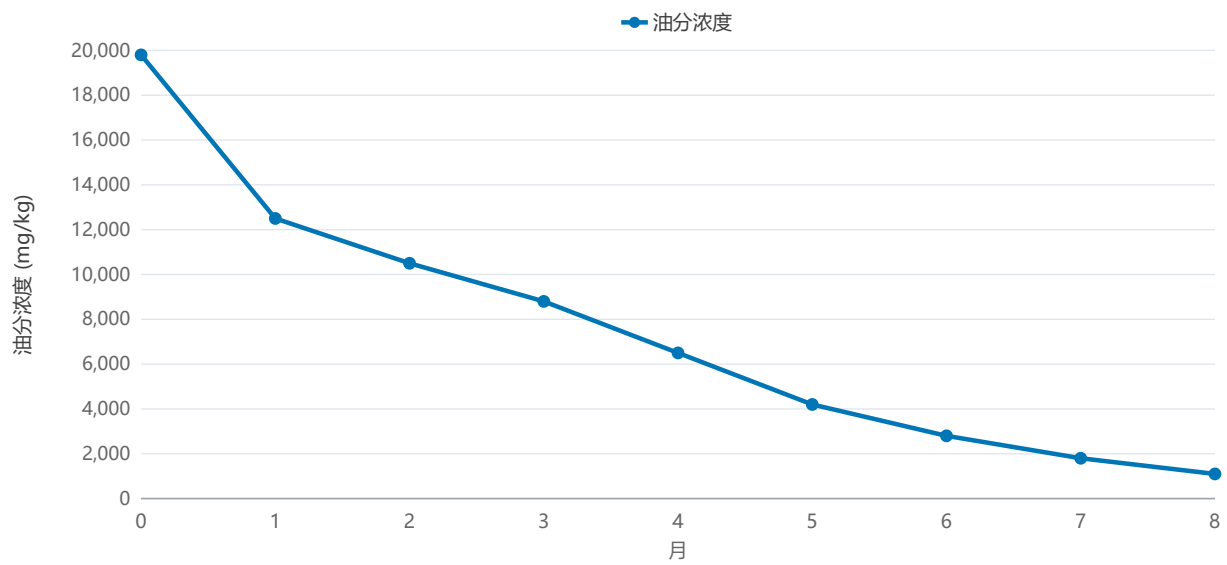


图3：油分浓度的变化（土耕法·机械油）

难分解性物质的分解与安全性

对于一般被视为难分解性的重质油（含树脂、沥青质等）、润滑油、多环芳烃（PAHs）等的分解，我们已从实验室层面到现场层面进行了实证。在各种微生物制剂的 PAHs 分解比较（图4）中，Oppenheimer Formula I / TCE Formula™ 相比其他公司的制剂表现出更高的分解性能。

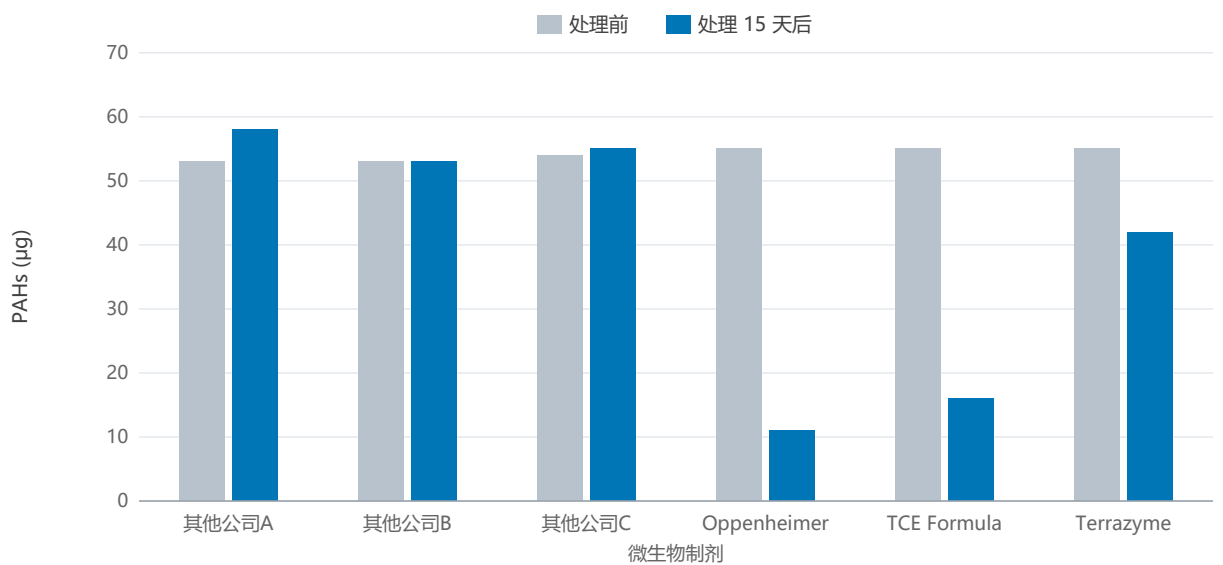


图4：各种微生物制剂的多环芳烃（PAHs）分解比较

本制剂为从世界各地自然环境中采集的复合微生物系，不含转基因微生物。在质量管理过程中已确认其不含病原性微生物，并在国内外实施了水生生物毒性试验、致突变性试验等生态系统安全性试验，结果均确认安全。除油类污染净化外，本制剂还广泛用于工厂、厨房的废水处理以及农业、养殖等多种用途。

| 安全性试验项目          | 结果 | 试验机构（节选）                                |
|------------------|----|-----------------------------------------|
| 病原性细菌的有无（微阵列分析）  | 无  | 岐阜大学研究生院医学研究科                           |
| 病原性细菌的有无（脂肪酸分析等） | 无  | 德克萨斯州卫生局 / Accu Lab, USA                |
| 大肠杆菌的有无          | 无  | 野外科学株式会社                                |
| 毒素产生试验           | 无  | MICROTOX TEST™ (Grace Dearborn, Canada) |
| 淡水・海水鱼影响试验（银汉鱼等） | 无  | 美国环境保护局 环境调查研究所 等                       |

| 安全性试验项目                         | 结果 | 试验机构（节选）              |
|---------------------------------|----|-----------------------|
| 无脊椎动物影响试验（糠虾・水蚤・海胆等）            | 无  | 美国 EPA / 德克萨斯大学海洋研究所等 |
| 藻类影响试验（硅藻 Skeletonema costatum） | 无  | 环境厅 油类生物修复研讨调查        |
| 致突变性试验                          | 阴性 | 佐贺大学 / 化学物质评价机构       |
| umu 试验                          | 阴性 | 产业技术综合研究所 / 化学物质评价机构  |
| 青鳉生育试验                          | 阴性 | 熊本县立大学                |