

-MODES OF APPLICATION – Tri-Phase Nano Catalytic Remediation System

ENGLISH (Doctoral-Level) ♦

Operational Modalities

The tri-phase nanocatalytic remediation system has been meticulously designed for adaptive deployment in three primary operational modes. Each configuration is optimized for unique environmental matrices—gas, liquid, and semi-solid—and tailored to interact efficiently with site-specific contaminant classes.

:Nano-Mist Dispersion (Quasi-Gas Phase)

.1

An ultra-fine aerosol composed of nanobubbles and catalytic nanoparticles, dispersed in a pressurized gas carrier. This mode excels in treating airborne and surface-bound volatile organic compounds (VOCs) and gaseous pollutants such as hydrogen sulfide (H₂S) and methane. Enhanced interface kinetics between gas and contaminant surfaces enables swift oxidative neutralization.

:Injectable Nanofluid (Quasi-Liquid Phase)

.2

A stabilized colloidal formulation of nanobubbles, dispersed catalysts, and a tailored carrier liquid for subsurface injection. Designed to infiltrate both vadose and saturated zones, it facilitates deep in situ breakdown of hydrocarbon contaminants while stimulating indigenous microbial communities through oxygen enrichment and catalytic activation. Rheological tuning enables adaptation to diverse soil structures.

:Catalytic Nanogel (Quasi-Solid Phase)

.3

A viscoelastic gel matrix embedded with immobilized catalysts and slow-release nanobubbles, ideal for targeted and sustained remediation. This mode provides long residence time, gradual radical delivery, and persistent oxidative action. Recommended for passive remediation zones, including wetland methane control, livestock effluents, and isolated pollution hotspots.

Each modality is selected based on dynamic site diagnostics—pollutant chemistry, geochemistry, temperature, and moisture—ensuring high degradation efficiency with minimal ecological disruption.

♦ فارسی (سطح دکتری، علمی و فنی)

حالت‌های اجرایی سامانه سه‌فازی

سامانه پیشرفته پالایش نانوکاتالیزوری سه‌فازی با هدف انعطاف‌پذیری عملیاتی در سه حالت عملکردی طراحی شده است. این پیکربندی‌ها با توجه به ماهیت آلاینده، شرایط زمین‌شناسی، و ساختار محیط، بهینه‌سازی شده‌اند.

1. افشانه نانومه (شبه‌گاز):

ترکیبی پرفشار از نانوحباب‌ها و ذرات کاتالیزوری فوق‌ریز در بستر گازی منتشر می‌شود. مناسب برای گازهای سمی نظیر H_2S و VOC ها در سطوح یا فضاهای محصور. با افزایش سطح تماس گاز-آلودگی، واکنش اکسایش به‌صورت مؤثر و سریع انجام می‌گیرد.

2. سیال نانویی تزریقی (شبه‌مایع):

محلولی کلونیدی پایدار متشکل از نانوحباب‌ها، نانوکاتالیزورها، و سیال پایه، برای تزریق به لایه‌های زیرسطحی طراحی شده است. با نفوذ در نواحی اشباع و غیراشباع خاک، تجزیه عمقی هیدروکربن‌ها و تحریک زیستی میکروارگانیسم‌های بومی از طریق اکسیژن‌رسانی و کاتالیز انجام می‌شود. ویسکوزیته قابل تنظیم مطابق با بافت خاک است.

3. ژل نانوراکتیو (شبه‌جامد):

ژلی ویسکوالاستیک با ساختار تثبیت‌شده کاتالیزورها و نانوحباب‌های آهسته‌رهش، برای تماس طولانی‌مدت در نقاط آلوده طراحی شده است. با آزادسازی تدریجی رادیکال‌ها و پایداری واکنش، در کاربردهای غیرفعال مانند مهار متان تالاب‌ها، تصفیه فضولات دامی، یا نقاط بحرانی آلودگی بسیار مؤثر است.

انتخاب هریک از این حالات با توجه به داده‌های دقیق میدانی انجام می‌شود تا ضمن حداکثرسازی بازده، آسیب‌های زیست‌محیطی به حداقل برسد.

♦ العربية (دراسي وتقني ومتخصص)

أنماط التشغيل للنظام ثلاثي الأطوار

تم تطوير نظام المعالجة النانوية ثلاثي الأطوار لتشغيله عبر ثلاث حالات تشغيلية متميزة، كل منها مُصمَّم لتحقيق أعلى كفاءة في أنواع بيئات محددة: الغازية والسائلة وشبه الصلبة.

1. الرذاذ النانوي (شبه غازي):

ضباب نانوي عالي الضغط يحتوي على فقاعات نانوية ومحفزات دقيقة موزعة في وسط غازي. مناسب لإزالة المركبات العضوية المتطايرة والغازات السامة مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S) والميثان. يُعزز التفاعل بين الغاز والسطح، مما يُسهم في أكسدة سريعة وفعالة.

2. السائل النانوي القابل للحقن (شبه سائل):

معلق كولويدي مستقر يحتوي على فقاعات نانوية ومحفزات موزعة ضمن سائل ناقل. مصمم للحقن تحت سطح التربة في المناطق المشبعة وغير المشبعة لمعالجة ملوثات الهيدروكربون وتنشيط الأحياء الدقيقة الطبيعية من خلال تحفيز أكسجيني وكيميائي. يمكن تعديل اللزوجة حسب نسيج التربة.

الهلام النانوي المحقّز (شبه صلب):

مصفوفة هلامية مرنة تحتوي على فقاعات نانوية بطيئة الإطلاق ومحفزات مثبتة، تُستخدم للمعالجة المستهدفة والمستمرة. يوفر وقت تفاعل طويل وثباتًا عاليًا، وهو مثالي للمناطق البيئية الحرجة مثل مستنقعات الميثان، أو برك المخلفات الحيوانية، أو مواقع التلوث الموضعية.

يتم تحديد نمط التطبيق المناسب استنادًا إلى تحليلات الموقع، مثل نوع الملوث، الرطوبة، الحرارة، والخصائص الجيوكيميائية لضمان معالجة فعالة بأقل تأثير بيئي ممكن.