

## 城市空气甲醛监测案例分析——美国休斯顿甲醛空气污染报告



最新监测数据显示，休斯顿船航道附近的社区空气中含有大量甲醛

### 概要

休斯顿卫生部在 2019 年和 2020 年进行的空气污染监测记录了休斯顿航道沿线甲醛的水平。分析发现从 2019 年 9 月 27 日至 2020 年 9 月 26 日，三个监测站点给出的年度甲醛浓度超出了美国环境保护署（EPA）的慢性健康筛查的风险水平（甲醛浓度每增加 0.17ppb，百万人中会增加一个癌症病例），长期暴露在这个浓度以上会增加当地居民患癌症的风险。最高的年平均浓度出现在 Cloverleaf 社区(平均为 2.28ppb)，超过环保署慢性健康筛查水平的 13 倍。根据休斯顿卫生部对环保署癌症风险公式的评估，从长远来看，这将意味着每 7.7 万人中会增加 1 例癌症病例。但该浓度从未超过德克萨斯州环境质量委员会设定的阈值。最危险的人群主要是低收入的拉丁裔和黑人居民，他们居住在曼彻斯特、哈里斯堡、梅多布鲁克、艾伦代尔、北岸和格莱纳公园，就在炼油厂、塑料厂和其他工业设施的围栏对面。

专家们几十年前就认为，工业和交通造成的多种有毒空气污染物会造成休斯敦航道沿线的社区面临着越来越大的癌症风险。根据 2014 年国家空气毒性评估（NATA）的数据，在哈里斯县近 89% 的人口普查区，**甲醛**是致癌风险最高的化学物质，甲醛在休斯敦很难控制，因为绝大多数甲醛是由其他污染物和多种来源形成的。甲醛除了会增加癌症风险外，还会对地面臭氧产生次级反应，这是一种呼吸刺激物，会增加心脏骤停和哮喘的发生率。休斯顿卫生部门的研究有助于理解这些关键的空气污染物，帮助得克萨斯州环境质量委员会和 EPA 改进建模和管理工作。最近的数据显示，了解甲醛浓度对监管机构制定控制措施以更好地保护健康很有价值。休斯顿航道上的绝大多数环境甲醛来源于涉及甲醛前体的化学反应，这些前体主要是石化工业排放的。



虽然甲醛在建筑和家用产品中的使用受到高度管制，但城市环境中的环境甲醛仍然是一个主要的公共卫生问题，基本上没有受到管制。

## 甲醛气体背景介绍

甲醛是由一个碳分子、两个氢分子和一个氧分子(HCHO)组成的天然有机化合物。甲醛最早在 19 世纪末被发现，到 20 世纪初，甲醛被广泛用作防腐剂、食品和医疗防腐剂以及消毒剂。1907 年，比利时化学家利奥·贝克兰博士使用甲醛树脂发明了酚醛塑料，这是第一个由合成成分制成的塑料。

一百年后，甲醛无处不在，从餐桌到织物柔顺剂。它通常用于制造木材产品，如橱柜、家具、胶合板、刨花板和强化地板。它也可以在家庭产品中发现，如胶水，油漆，填充物，杀虫剂，化妆品和洗涤剂。来自建筑材料和其他产品的气体会导致室内甲醛浓度远远超过室外水平。甲醛(作为脲醛泡沫)被广泛用作绝缘材料，直到 1982 年被美国消费者产品安全委员会禁止。甲醛也是烟草烟雾的一种成分，对吸烟者和被动吸烟的人都有影响。

甲醛的二次形成是通过自然和人造挥发性有机化合物在大气中发生的化学反应(氧化)，参与二次生成的甲醛前体包括乙烯、异戊二烯、丙烯和其他挥发性有机化合物。乙烯和丙烯是工业排放的挥发性有机化合物，通常由石化工业生产。异戊二烯是一种有机化合物，主要来自自然环境，但也来自工业来源。在汽车(包括飞机)尾气也是室外空气中甲醛的主要来源。在汽车中，甲醛可直接在内燃机中形成，也可通过与废气中的挥发性有机化合物(VOCs)发生二次反应而形成。在许多工业场所，包括发电厂、制造厂和焚化炉，甲醛也直接排放到空气中。

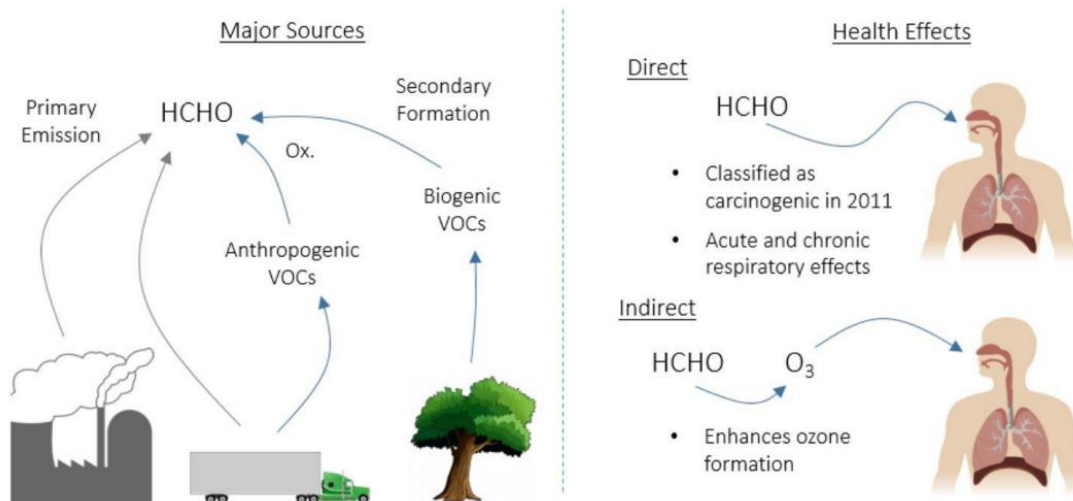


休斯顿东部的 *Shell Chemical Deer Park* 工厂释放出大量的丙烯和异戊二烯，这是一种空气污染物，它们在大气中与其他化学物质结合形成甲醛

## 健康影响

根据美国环保署 2014 年的国家空气毒性评估 (NATA)，甲醛是户外空气中最强致癌物，导致美国一半以上的癌症风险增加。长期接触甲醛会导致鼻腔和喉部癌症、白血病和其他呼吸道癌症。接触甲醛的短期影响包括眼睛、鼻子、喉咙和皮肤刺激、恶心和头痛。儿童、老年人以及患有哮喘和其他呼吸问题的人更有可能出现这些症状。

环境甲醛还能与其他化学物质迅速反应，包括氮氧化物( $\text{NO}_x$ )和其他挥发性有机化合物，并促使空气中产生地面臭氧( $\text{O}_3$ )。呼吸地面臭氧会引发各种健康问题，包括胸痛、咳嗽、喉咙刺激和气道炎症。还会降低肺功能，损伤肺组织。臭氧可加重支气管炎、肺气肿和哮喘。



甲醛的来源和健康影响

## 相关法规

美国在 1990 年的《清洁空气法修正案》中，国会将甲醛定义为受 EPA 监管的有毒空气污染物。现在，甲醛根据《清洁空气法》第 112 条被指定为有害空气污染物。2010 年，奥巴马政府签署了一项名为《复合木制品甲醛标准法案》的法案，要求美国环保署对复合木制品中的甲醛进行监管。这些规定影响到复合木材产品(包括纤维板、刨花板和各种层压产品)的制造商、进口商、分销商和零售商，他们必须遵守更严格的记录和标签要求。

作为美国《清洁空气法》的一部分，甲醛在国家有害空气污染物排放标准管理的类别包括:

- 胶合板和复合木材产品
- 汽车尾气排放
- 湿成型玻璃纤维毡生产
- 矿棉生产
- 羊毛玻璃纤维制造
- 氨基/酚醛树脂的制
- 木制家具制造业务
- 橡胶轮胎制造
- 天然气输送和储存设施
- 合成有机化工制造业
- 有机液体分销业务
- 塔石铁矿加工
- 聚氯乙烯和共聚物生产的排放

## •石油和天然气生产设施

虽然联邦《清洁空气法》规定甲醛是一种有害的空气污染物，但需要新的法规和机制——比如更严格的许可证——来处理休斯顿工业污染源排放的化学物质，这些化学物质会导致二次甲醛的形成，包括乙烯、异戊二烯、丙烯等高反应性挥发性有机化合物。

## 研究方法

环保署授予休斯顿卫生署环境司一项社区空气毒素监测拨款。该基金资助了一个项目，在休斯顿航道正北的社区进行 18 个月的环境甲醛监测，这些社区是休斯顿空气污染致癌风险最高的地区之一。自 2020 年 1 月 1 日起，卫生部门开始在这片区域的三个地点连续测量甲醛浓度：Clinton Dr（位于格莱纳公园附近），HRM3（位于立体式街区内），以及 Lynchburg Ferry（海峡景社区的东边）。使用两种不同的监测工具：Aero-Laser 和 Picarro；为了使读数具有可比性，进行了专门的校准和统计分析。

连续测量甲醛的时间平均为 5 分钟，然后每小时平均浓度。这些小时浓度是根据一年期间的覆盖率来评估的，并计算出年平均浓度。与年度和长期水平的比较以及表 3 中列出了这些测量的简要统计数据。

Monitor Location	Percent Complete (Hours Per Year)	Study Annual Mean (Parts Per Billion)	Result
Clinton Dr. census tract (Galena Park)	82%	1.22	Exceeds EPA Chronic Health Screening Level ( $1 \times 10^{-6}$ ) [1 in one million increased cancer risk]
HRM3 census tract (Cloverleaf)*	65%	2.28	Exceeds EPA Chronic Health Screening Level ( $1 \times 10^{-6}$ ) [1 in one million increased cancer risk] and EPA Chronic Health Screening Level ( $1 \times 10^{-5}$ ) [10 in one million increased cancer risk]
Lynchburg Ferry census tract (east of Channelview)	82%	0.79	Exceeds EPA Chronic Health Screening Level ( $1 \times 10^{-6}$ ) [1 in one million increased cancer risk]

与环保署健康筛查甲醛水平比较的年度甲醛监测读数

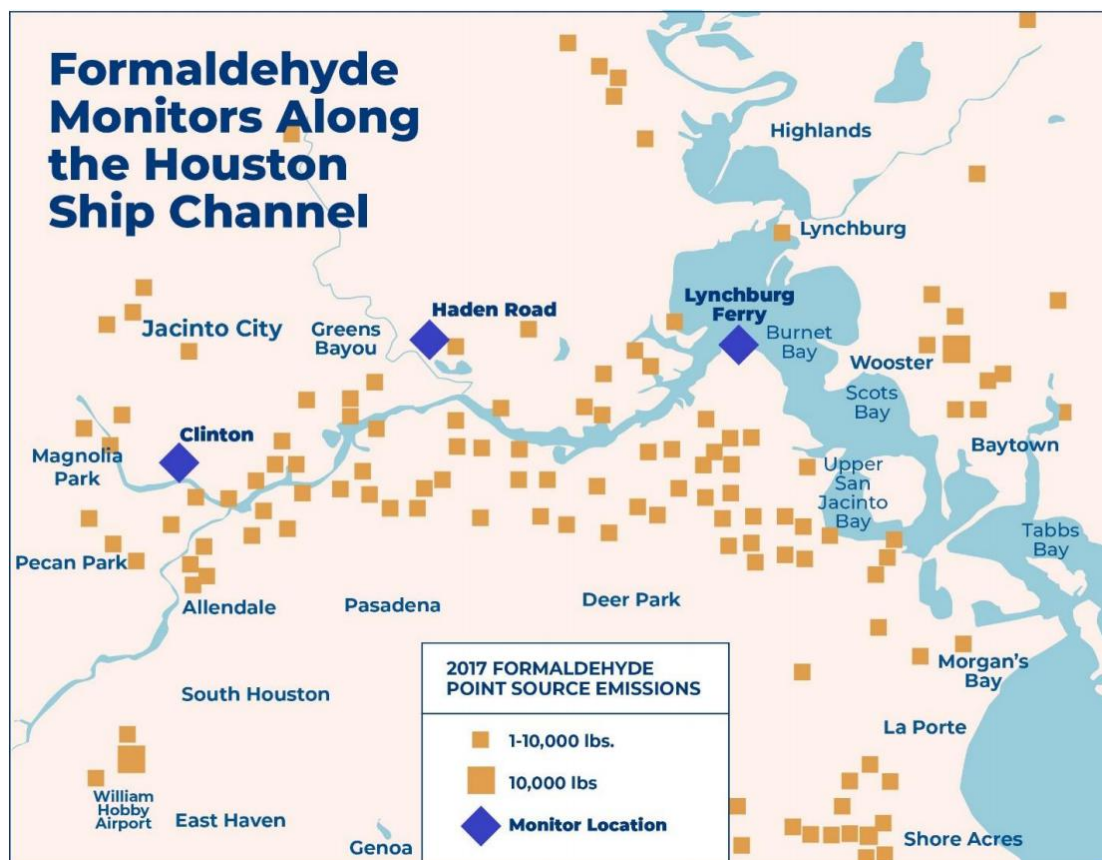
## 分析：休斯顿甲醛的来源

根据 2012 年发表在《大气化学与物理》(Atmospheric Chemistry and Physics)杂志上的《城市大气中甲醛的主要和次要来源:休斯顿德克萨斯地区》(Houston Texas region)，休斯顿大约 96%的环境甲醛来自工业，4%来自汽车尾气(不包括飞机尾气)。在工业生产的 96%中，92%(±4%)是乙烯、异戊二烯、丙烯等石化设施排放的挥发性有机化合物二次形成的。这些设施和其他设施(包括机场)的主要排放占休斯顿环境甲醛的 2%至 6%。

## 慢性健康筛查的风险水平分析



休斯顿航道的甲醛浓度是由于甲醛的主要排放和二次形成。然而，休斯顿空气中只有不到 5%的甲醛是直接由工业点源排放的。使用 2017 年国家排放清单(NEI)确定了释放甲醛的点源，并绘制了休斯顿各地的分布图。在休斯顿所有已确认的甲醛点源中，密度最高的是休斯顿船香奈儿地区。下图概述了包含每个监测地点和这些设施密度的人口普查区。每个方块的大小代表每年从固定地点释放的甲醛的量，以磅计。



甲醛点源跨越休斯顿船航道

## 主要的结果：

该研究、数据增加了对休斯顿甲醛及其前体物的了解。美国环保署的《国家空气毒性评估》(NATA)中报告的甲醛浓度表明，在休斯顿，甲醛是增加癌症风险的最大因素。在一些与甲醛有关的最高癌症风险普查区域，周围主要是贫困率高的有色人种社区。

休斯顿卫生部的分析发现，在 2020 年，所有三个监测点的甲醛浓度都超过了美国环保署的慢性健康筛查水平，即每百万人中增加一个癌症病例的风险为 0.17 ppb。测量结果还显示，位于 Cloverleaf 社区的一个监测点的浓度超过了环保局的健康检查标准 13 倍。此外，甲醛还有助于臭氧的二次形成，臭氧是一种与休斯敦的呼吸和心脏健康问题有关的污染物。

德克萨斯州环境质量委员会的甲醛固定环境空气监测点的数据显示，休斯顿的甲醛浓度在统计上略有上升，而该机构的固定空气监测点的采样频率在下降。

测量数据与 NATA 模型估计一致，表明在休斯顿的研究区域甲醛有潜在的癌症风险。

## 建议：

对甲醛及其前体，包括乙烯、丙烯和异戊二烯的调查表明，有必要加强对这些化学品的允许和控制，以限制二次甲醛和臭氧污染。

德克萨斯州环境质量委员会可以考虑修改其“高活性 VOC”规则，以解决甲醛空气污染问题，该问题与乙烯、异戊二烯和丙烯等气体的二次生成有关。

联邦和州当局可能希望考虑增加甲醛监测，并广泛提供任何后续分析，以便更好地了解和控制公共健康风险。加强监测可以让监管者和立法者更好地了解这些大气污染物的影响。



“二次甲醛”——几乎占休斯顿船舶航道社区检测到的所有环境甲醛的 95%。为了减少这种环境甲醛，TCEQ 应该加强监管，限制石化工厂的甲醛前体，如乙烯和丙烯的排放。

#### 备注:

这份报告由“*One Breath Partnership*”制作，由环境完整性项目(*Environmental Integrity Project*)的 Ari Phillips 撰写，由休斯敦卫生部的 Loren Hopkins 和 John Pederson 进行研究、分析和评论。

“*One Breath Partnership*”是一个非营利性、无党派的联盟，旨在促进休斯顿、哈里斯县和周边地区的清洁空气工作。创始成员包括休斯顿空中联盟、德克萨斯环境、环境保护基金、环境诚信项目、公众公民和赖斯大学。