

配有大量插图的播客配套
书籍



斯文·伦茨勒

误解 通风技术与空气净化中的 误解



咨询 + 规划

© cci Dialog GMBH, 卡尔斯鲁厄 保

留所有权利。

ISBN: 978-3-922420-74-3

本书及其所有内容均受版权保护。未经出版社事先书面许可，不得以任何形式或任何手段（无论是电子的还是机械的，包括但不限于通过复印、录制或利用现有或未来系统）复制本书的全部或部分内容。

出版方和作者不对所提供信息的时效性、准确性、完整性和质量承担任何责任。无法完全排除印刷错误和信息错误的可能性。

2023年第一版

作者: Sven Rentschler, Rentschler REVEN GmbH, Ludwigstr. 16-18, 74372 Sersheim照片、图

片来源: Rentschler REVEN GMBH

版式设计、封面、插图、图表: 加布里埃莱·维德曼, digital-kunst.com 校对: 伊娃·施瓦茨,

technische-uebersetzungen-eva-schwarz.de

印刷: 埃瑟书业解决方案有限公司 (Esser bookSolutions GmbH), 哥廷根

出版社: cci Dialog 有限责任公司, Poststr. 3, 76137 卡尔斯鲁厄

您可在 cci-dialog.de 上查看本公司出版物的完整目录以及精选的专业书籍。

cci Buch是cci Dialog GMBH旗下的品牌。

关于播客的反馈

播客播出期间反响热烈，因此将其整理成书可谓水到渠成。以下反馈足以说明一切：



“.....关于气流主题的播客让我产生了强烈的好奇心，渴望了解更多.....”

“.....我想就您那期关于《通风技术与空气净化中的误区》表示祝贺，并感谢您提供的信息.....”

“.....非常感谢这期真正引人入胜的播客。若能推出 后续 内容， 我将不胜欣喜。我从事通风技术项目管理工作已逾20年，从中汲取了许多实践经验，对今后项目大有裨益。如果能与您合作建造下一个厨房系统.....”

“.....我想对您的播客表示祝贺。即使对于像我这样对该领域不太熟悉的人来说，节目内容也非常通俗易懂.....”

“.....作为贵播客的忠实听众，我想借此机会预订那本预定于2023年出版的专业书籍。期待听到更多关于‘空气’——我们最宝贵的‘食物’——的节目.....”

致谢

我要向加布里埃莱·维德曼（Gabriele Wiedemann）和伊娃·施瓦茨（Eva Schwarz）致以特别的感谢。多年来，我与这两位服务提供商一直保持着成功的合作关系。十多年前，在此次合作框架下，我们为公司REVEN GmbH制作了一本产品目录，其内容与本书探讨的主题相同。此外，我们还与这个团队共同完成了其他项目，例如成功上线了公司官网。我们在这些项目中积累的经验，为本书的成书做出了重要贡献。

维德曼女士设计的图表和施瓦茨女士进行的文稿校对，均基于我们多年的共同经验，构成了对该主题无与伦比的理解基础。本书的合作过程愉快且顺畅，最终取得了我单凭一己之力无法达到的卓越成果。

此外，我要特别感谢SCHAKO集团的各位股东，他们从一开始就支持撰写本书的计划，并敏锐地意识到这正是彰显我们集团口号“Pure competence in air.”的绝佳契机。

同时，我也感谢我的同事霍尔格·罗伊尔（Holger Reul）、萨沙·凯斯（Sascha Kess）和维塔利·赖（Vitali Lai），感谢他们过去几年里就通风技术和空气净化等话题与我进行的所有富有启发性的讨论，这些讨论为本书的创作提供了大量灵感。

如果我们能进一步探讨并深化本书中的主题和观点，我将深感荣幸。您可以通过 LinkedIn 与我联系。期待与您交流。

前言

随着2020年疫情的爆发，正确通风成为德国的热门话题之一。全国各地都在就室内空气健康问题展开讨论。关于如何正确通风教室，人们进行了热烈的辩论。人们常常惊讶地发现，许多办公场所无法通过建筑内的通风系统获得新鲜空气。紧凑型室内空气净化器制造商之间突然掀起了一股“淘金热”。全国各地就如何测量和评估室内空气污染展开了激烈讨论。甚至还发起了宣传活动，将“洁净空气”奉为最重要的“生命之源”。

这种巨大的热情为何会如此突然且如此强烈地涌现？这些论点和问题中的许多，在我整个职业生涯中都如影随形。1995年，我加入了我们的公司——REVEN有限公司。

REVEN是“REntschler VENTilation”的首字母缩写。通风正是REVEN有限公司几代人以来一直致力于的事业，也是我数十年来——先是作为技术总监，如今作为总经理——始终专注的领域。REVEN GMBH的空气净化器和通风产品被广泛应用于商业场所，以确保室内空气的洁净。例如，食品行业的生产车间、机械制造领域的生产设施，以及大型厨房和食堂。这些生产场所都有一个共同点：室内或车间的空气往往受到严重污染。测量和分析此类区域的污染程度，并对空气进行过滤和净化——这些正是REVEN有限公司数十年来一直致力于解决的任务。

自2020年新冠疫情爆发以来，这些与空气净化相关的任务突然不再仅限于工业领域，而是成为整个

德国。在这些讨论中——其中部分讨论甚至异常激烈——我注意到，商用和民用领域的应用场景正变得越来越相似。然而，由于需求突然激增，一些制造商在空气净化器的性能参数上不再那么严谨。各种说法层出不穷，承诺更是不胜枚举。许多解决方案的通风效果、过滤性能和效率——尤其是对于外行而言——几乎难以理解，这在辩论中导致了诸多误解。这些误解——例如关于教室内洁净空气和适当室内空气净化方面的误解——与数十年来在工业领域已固化为“半真半假”的说法性质相似。

本书旨在概述通风领域中存在的哪些误解和半真半假的说法，以及这些误解在民用和工业领域中究竟源自何处。

我将不采用过于学术化的方式来阐述各个主题，而是主要基于自1995年以来我在REVEN GMBH的工作和实践中积累的经验。早在斯图加特大学攻读机械工程专业期间，我就对成功的技术与创新管理的重要任务有了初步了解。由此，我在创新产品开发以及研究与实践之间的知识交流方面获得了宝贵的见解。

我希望借助本书进一步促进这种交流，并将其在通风技术和空气净化领域加以深化，从而消除一些误解。

“在我们污染严重的环境中，空气正逐渐变得可见。”

（诺曼·金斯利·梅勒（1923-2007），美国作家）

目录

致谢	3
前言	4
1. 如何进行抽吸?	9
1.1. 关于空气污染物检测的误解.....	12
1.2. 气泡有助于检测和抽吸!	22
2. 如何进行过滤?	27
2.1. 关于过滤与分离之间区别的误解.....	29
2.2. 龙卷风有助于空气净化!	35
3. 如何消除蒸汽和异味?	47
3.1. 关于蒸汽与气溶胶之间区别的误解.....	50
3.2. FID检测仪可协助分析空气污染!	57
4. 如何中和病毒和异味?	65

4.1. 关于紫外线C (UV-C) 辐射的误解	68
4.2. UV-C辐射能消除气溶胶吗?	77
5. 如何使气流可视化?	87
5.1. 关于气流的彩色图示所导致的误解	90
5.2. CFD模拟让气流“可见”!	95
6. 如何测量空气污染?	105
6.1. 关于室内空气质量的误解。	114
6.2. 颗粒物监测让空气污染无所遁形!	126
结语	132

1. 如何将某物抽走

?



如何轻松实现抽吸？这其实是一个简单的问题，通风技术领域的每一位同事都能立刻给出答案！但有效的抽吸真的像乍看之下那样简单和微不足道吗？

实践案例：吸尘器

这里举一个我们都熟悉的简单例子：吸尘——无论是在心爱的汽车里，还是在家里客厅。当我们吸尘时，目的是要清除地毯上的污垢，比如面包屑。吸尘器吸头离地毯上的面包屑越近，吸走这些碎屑就越容易、越快。如果将吸尘器吸头直接对准污垢，就能达到最佳效果。转眼间，面包屑就消失在吸尘器里了。

这就是“如何将东西吸干净”这个问题的答案！必须百分之百地覆盖住污垢。只有这样，才能彻底吸净。在我们的例子中，为了将地毯上的面包屑彻底吸干净，我们必须将吸尘器吸头直接对准这些面包屑。

正确的吸尘位置

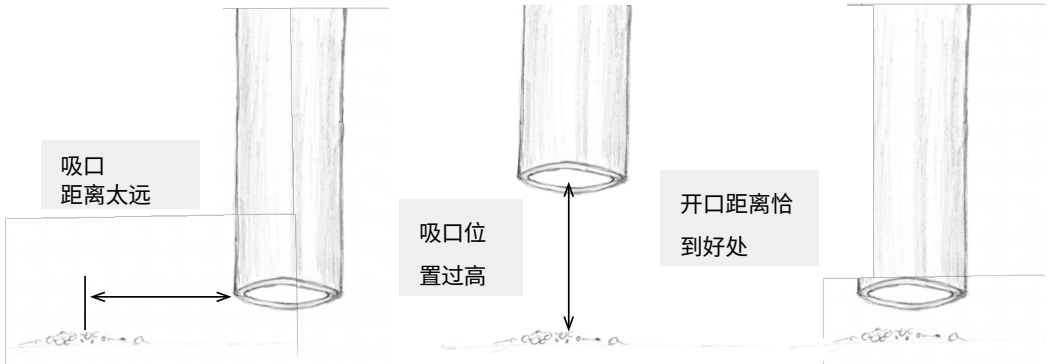


图1

在通风技术中，凡是需要彻底排出污浊空气的地方，都必须应用这一基本原理——例如，需要清除含病毒空气的教室；需要收集焊接烟尘的焊接车间；需要抽走烹饪油烟的厨房；以及在机械制造领域，需要收集现代机床中蒸发的冷却液和润滑剂。在所有这些例子中，都必须以不同形式收集并抽走蒸汽、气体、含有病毒的空气和气溶胶。

在此过程中，应特别注意操作顺序：

先收集，再抽排！

1.1. 关于空气污染物收集的误解

正如我们在开头的例子中所了解的，只有将吸尘器吸头直接对准地毯上的面包屑，才能快速、轻松地将其吸走！厨房通风技术也是如此。在抽吸时保持正确的距离至关重要。无论我们讨论的是工厂食堂的大型通风系统，还是自家厨房，情况都是一样的。我们家中的设计型抽油烟机在收集和抽吸厨房油烟时，也遵循下文所述的相同原理。

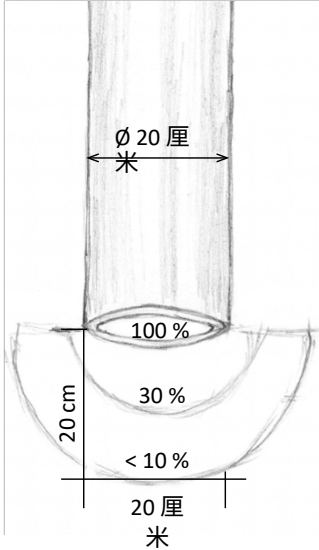
误解

吸力与吸气管距离的关系

抽吸装置开口处的吸力为百分之百。这一点也适用于我们吸尘器的吸嘴！同样，吸嘴开口处也能产生最大的吸力。我们离吸嘴开口越远，吸力就越小。

人们常常低估了吸力下降的程度。以直径为二十厘米的吸管为例，距离吸嘴二十厘米处，吸力仅为原始吸力的10%。

吸力与距离的关系



管道入口处100%吸力

随着与吸管入口距离的增加，吸力会急剧下降。

当吸管距离等于管径（此处为20厘米）时，吸力仅约为10%。

图2

因此，如果吸管与污染物之间的距离恰好等于管径，则吸力仅剩约10%。

这一规律适用于任何类型的吸气装置，无论是在家中的吸尘器或厨房抽油烟机，还是商业焊接车间的通风系统，抑或是工厂食堂的大型通风天花板。如果抽吸装置与需要捕获释放出的有害物质位置之间的距离过大，则抽吸能力将降为零。在绝大多数情况下，即使距离仅为三十至五十厘米，情况也是如此！

误解

通过流场优化喷嘴板提高效率

在效率方面也常存在误解。在许多情况下，人们普遍认为所谓的“流场优化喷嘴板”有助于更高效地利用吸力。在此情况下，会在进气管周围加装一块额外的板。吸气管位于面板开口中央，而面板与吸气管之间的过渡处则被塑造成一个具有一定半径的进气喷嘴。该进气喷嘴旨在优化吸气区域的气流，从而提高抽吸效率。然而，若将配备了流场优化进气喷嘴板的进气管与传统（未配备进气喷嘴）的进气管进行比较，其优势微乎其微。

喷嘴板

喷嘴板有助于“引导”气流，但对抽吸性能的影响微乎其微。



图3

实验——通过吸力熄灭蜡烛火焰

为了说明这一点，我们以蜡烛为例。您是否曾尝试过通过吸入空气来熄灭蜡烛？我只能提醒您：最好不要尝试！在关于该主题的讲座中，我经常当着听众的面演示这个实验，每次都差点把嘴唇烫伤，因为为了对火焰产生任何影响，我必须将吸气点——也就是我的嘴——非常靠近蜡烛。尽管如此，通过吸气来熄灭火焰通常还是行不通的！

通过这个简单的例子，我们可以清楚地看到，当我们想要吸取或抽吸某物时，吸力是多么有限，而靠近吸入口又是多么重要。

误解

与空气净化器进气口的距离并不那么重要

由于这种错误观念，实践中经常出现失误：无论是学校里的空气净化器、焊接设备的通风装置、烹饪设备上方的厨房抽油烟机，还是机床上的气溶胶分离器，其吸气口往往距离排放源过远。

使用吸尘器时，我们只需将吸嘴移向污垢处，就能快速解决这个问题。但对于固定安装的厨房抽油烟机，遗憾的是无法采用这种方法。在此情况下，烹饪产生的油烟必须进入抽油烟机的吸入区域，否则厨房油烟根本无法被捕获，自然也就无法被抽走。

CFD模拟

通过相应的软件解决方案，可以对气流及其所含污染物的捕集和抽吸过程进行详细的模拟、可视化和分析。为此，采用了数值流体模拟，也称为CFD模拟。CFD是“计算流体力学”（Computational Fluid Dynamics）的缩写。借助这种模拟方法，可以可视化各种不同的气流，并评估排风的效率。

我们的内部经验

在本公司，我们曾利用该技术研究了传统厨房抽油烟机的集气和排风效率等课题。早在199d年，我们就在公司内部进行了首批数值流体模拟。当时，对这些相对简单的模拟进行分析并计算结果往往需要数天时间。

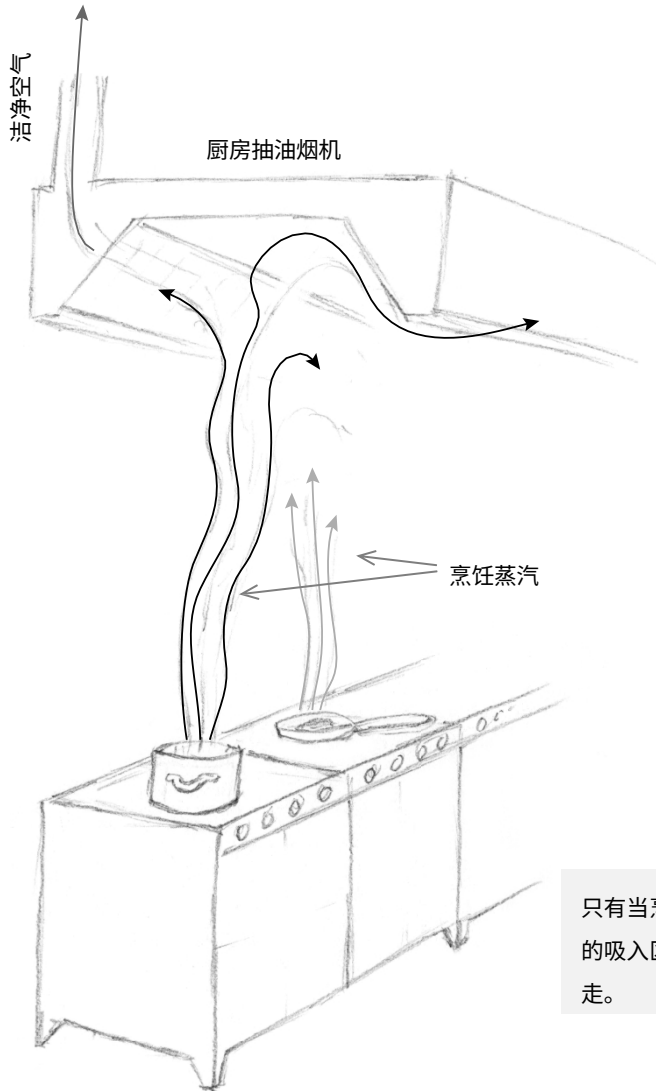
此后，该技术发展迅猛，如今只需极短的时间即可获得结果。即使对于风扇等非常复杂的部件，这些结果如今也更加精确且具有更强的说服力。

得益于这一发展，如今我们不仅能够分析单个部件的气流，还能对整个空间的气流进行分析和可视化展示！

对厨房通风的重要性

这种分析对于远离排放源的排气设备尤为重要，例如安装在远离烹饪台面的厨房抽油烟机。厨房抽油烟机只能捕获直接进入其捕集范围的烹饪油烟。这具体意味着什么？来自烹饪锅具的油烟在上升时，必须直接流向厨房抽油烟机的吸入和过滤区域。

厨房通风



只有当烹饪蒸汽流入抽油烟机的吸入区域时，才能被有效吸走。

图4

对教室空气净化的意义

若要在课堂教学期间持续清除教室内的病毒，空气必须畅通无阻地流向教室内安装的空气净化器，以便被其捕获并净化。通常，仅需一扇半开的窗户，就足以改变气流方向，导致空气无法被充分捕获和净化。

设计不当的新风引入系统对排风的影响，可能与一扇被风吹开的半开窗户同样不利。借助现代CFD系统，可以对这些相互作用进行研究、识别并加以消除。只有这样，才能真正实现完全捕获。

我们对自家空气净化器和厨房抽油烟机进行的CFD研究也证实了上述规律：厨房抽油烟机的吸气口离锅具越远，就越难以完全捕获并抽走烹饪产生的油烟。在学校教室中对空气净化器的研究也得出了类似结论：这些设备安装得离病毒释放区域越远，就越难以捕获并抽走含有病毒的空气。

学校通风

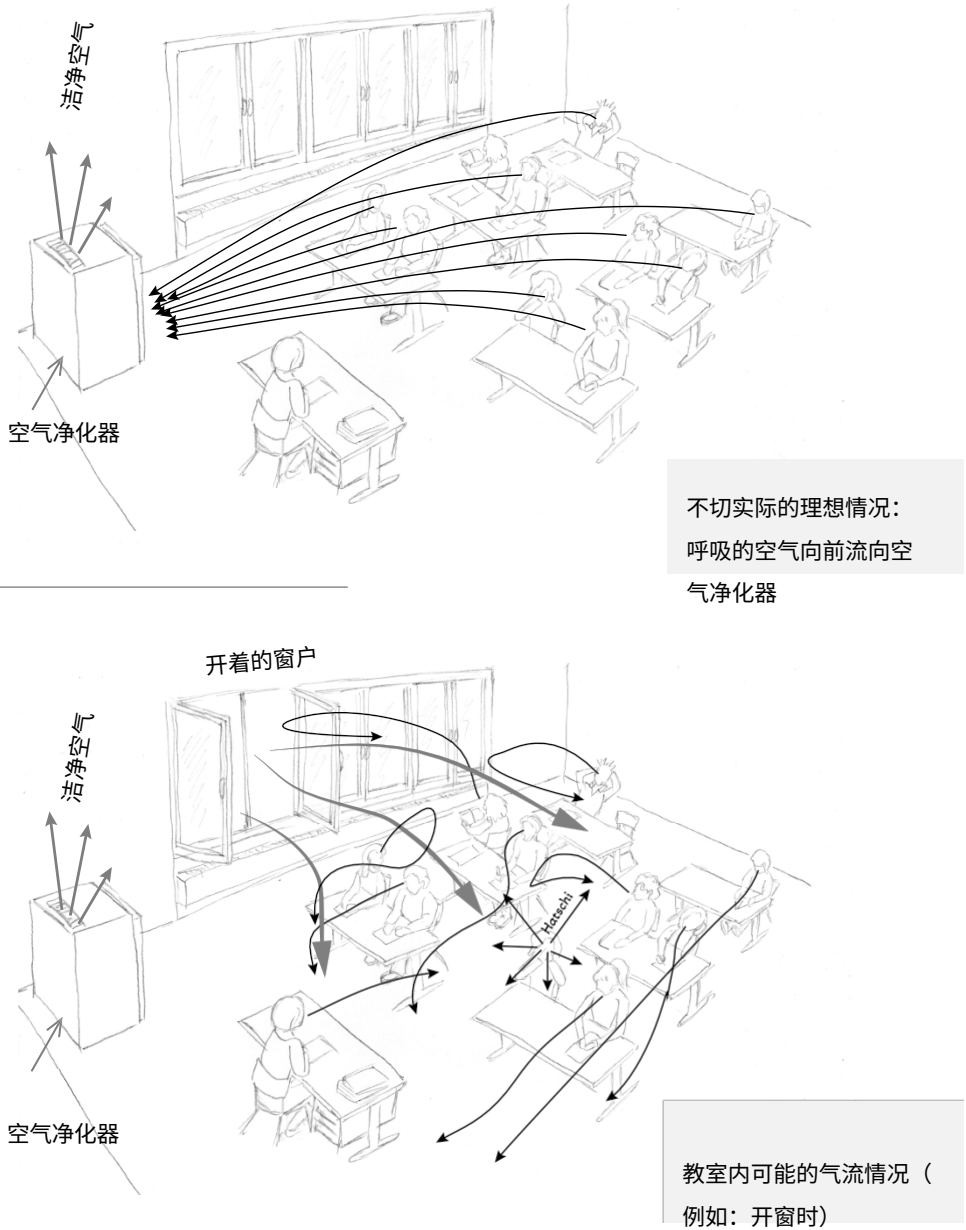


图5

对机械制造中排气系统的重要性

在对现代机床排气系统中的复杂气流状况进行模拟时，我们也观察到了这一点。在这些情况下，含有冷却液和润滑剂气溶胶的空气的排气效率往往极低，因为空气净化器的进气口距离实际产生气溶胶的工件加工区域相距过远。

工业空气净化器

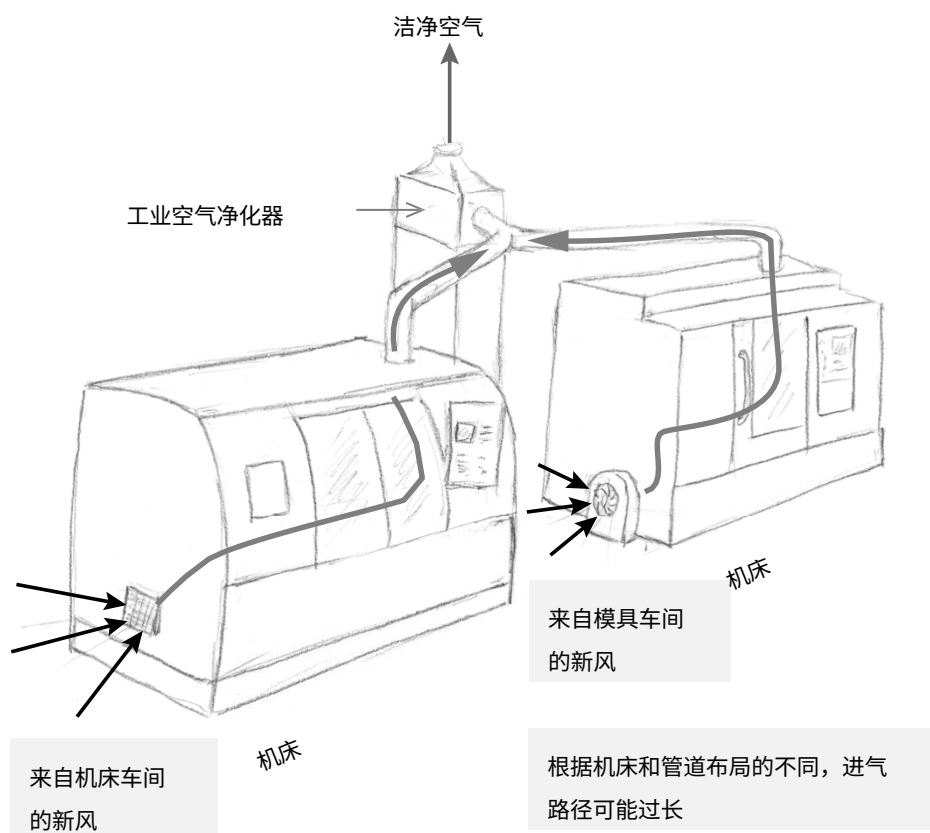


图6

误解

污染物最终会流向排风口。

在通风技术和空气净化领域，我们屡屡遇到一种错误的假设：认为含有污染物、病毒或气溶胶的空气迟早会流向能够被捕获并抽走的区域。但在许多情况下，实际情况并非如此。那些未被捕获的气溶胶和其他污染物，会给周围环境造成严重的空气污染。

1.2. “吹气”法可有助于捕集和 抽吸！

但如果无法将抽吸区域移近污染物的排放源，该怎么办？这种情况下，可以采用与熄灭蜡烛火焰时类似的方法：

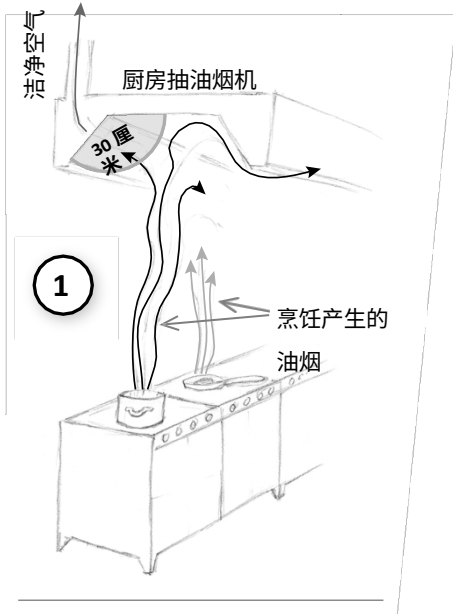
用吹气代替抽吸！

应用到通风技术中，这意味着必须通过辅助吹气，将待处理的空气（连同其中的病毒、气溶胶及其他污染物）尽快输送到空气净化器、厨房抽油烟机或通风设备吸力最大的位置——即直接送入其进气口区域。

餐饮厨房的吹风技术

为实现这一目标，REVEN GmbH 开发了配备集成诱导系统的现代化厨房抽油烟机。诱导气流能可靠地确保从烹饪设备升起的烹饪蒸汽直接且迅速地流入过滤和吸入区域，从而在那里被捕获并抽走。

厨房通风



1. 烹饪蒸汽仅能在分离器前方30厘米范围内被吸入（捕获）。超出该范围的烹饪蒸汽可能会进入室内空气。

2. 感应气流将烹饪蒸汽吹向分离器。通过这种方式，**所有**烹饪蒸汽均被捕获。

3. 温度调节恰当的新风被平稳引入，有助于捕集烹饪蒸汽。

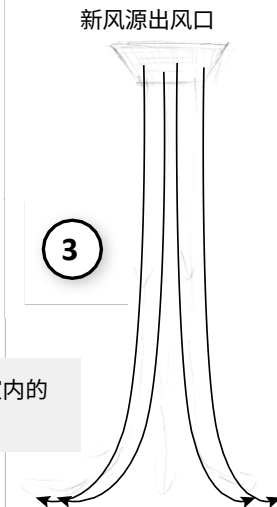
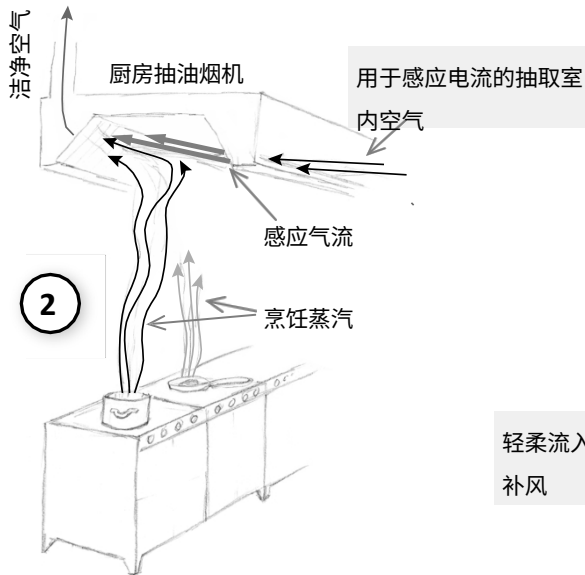


图 7

额外的新鲜空气

此外，通过优化新鲜空气的注入，可以进一步提升此类现代厨房排烟罩的集气效果。

在此过程中，新鲜空气通过置换气流以低脉冲的方式引入室内。这样可以确保新鲜空气在注入时的流速保持在极低水平，且不会干扰室内其他气流。该场景同样可通过CFD系统进行分析 and 可视化。

机床的吹气流

同样的原理也可应用于机床。在此，会在机床机舱内产生一股气流，该气流朝向空气净化器流动，从而确保冷却液和润滑剂气溶胶能够被有效捕获并抽吸。优化机床机舱内的抽吸系统通常始于一个简单的问题：如果我们在机床顶部每小时抽走一千立方米的空气，那么空气从哪里流入机舱？如果无法确保空气的补充流入，机舱内就会产生极高的负压，却无法形成朝向空气净化器捕集区域的定向气流。

实践案例：负压

例如，在密封性极佳的磨床安装空气净化器后，曾多次出现因机舱内负压过高而导致机床操作门无法打开的问题！

2. 如何进行过滤？



如何进行过滤？这其实是一个与前文所述“有效抽吸”同样简单的问题。但您可能已经猜到，这里的答案其实并不那么简单。

通风技术和空气净化领域中许多工艺的有效性，都基于高效的收集和抽吸，包括从空气中清除污染物。例如，如果教室内含有病毒的空气未能被完全收集和抽吸，就无法可靠地清除其中的病毒。从原理上讲，这一点也适用于机械制造企业中大型的焊接车间。释放出的焊接烟尘含有污染物，必须被完全收集并抽走。只有这样，才能有效清除室内空气中的所有污染物。

因此，有效且彻底的空气净化包括三个非常重要的过程：

收集 抽 吸 净化

第三步——空气净化——正是本文要探讨的主题。关于这一点，也存在一些误解，我想在此加以澄清。让我们先从这个问题的开始：

“如何去除空气中的污染物？”

污染物必须从空气中过滤出来，这很合乎逻辑！这是显而易见的答案。然而，分离器在空气净化领域也日益普及。最著名的例子莫过于全球知名企业戴森（Dyson）生产的旋风式吸尘器，它们无需滤网即可工作。

这项技术的原理类似于一个微型龙卷风。空气被置于旋转状态，从而形成气旋，这些气旋凭借其高速将颗粒物从空气中甩出。该工艺同样适用于分离空气中的污染物。不过，这方面经常会出现误解，因为“分离”常被与“过滤”混为一谈。

2.1. 关于过滤与分离之间区别的误解

无纺布

我们也可以通过吸尘器的例子来解释过滤的原理。为了净化吸尘器吸入并抽出的空气，会使用吸尘器集尘袋。这些集尘袋通常由无纺布制成。空气可以流过这种网眼细密的无纺布，但灰尘颗粒会被截留，从而与气流分离。

玻璃纤维悬浮颗粒过滤器

通风技术中各种过滤方式的基本原理都是如此——即使是高品质的悬浮颗粒过滤器也不例外。不过，这里使用的过滤材料有所不同。这些过滤器采用玻璃纤维毡代替了无纺布。这些纤维毡同样透气，但其网眼比吸尘器集尘袋的要细密得多。悬浮颗粒过滤器中的纤维直径约为1至10微米，即0.001至0.01毫米。因此，与无纺布相比，它们能够从气流中过滤出更微小的颗粒。

金属编织滤网

这种过滤原理也常见于许多市售的家用厨房抽油烟机中。此类抽油烟机通常采用金属滤网。它们通常由铝或不锈钢编织物制成，其工作原理与无纺布或玻璃纤维滤网类似，只是结构要粗糙得多。

之所以在此处使用相对粗糙的金属过滤器，是因为它对使用环境的适应性更强。无论是在家用还是商用厨房中，抽油烟机的作用都是将液态气溶胶从气流中分离出来。这里需要过滤的并非像

吸尘器那样过滤干粉尘，而是要从空气中过滤出水滴和油滴等液态颗粒。这是一个重大且极其重要的区别，但往往很少有人注意到这一点。

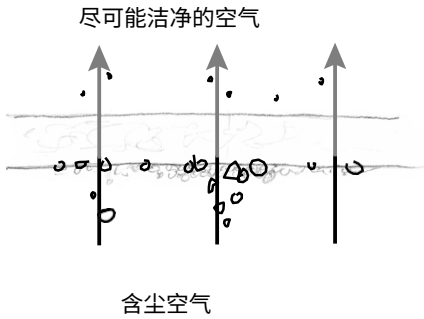
任何类型的过滤器都会收集并储存从气流中分离出来的物质。因此，过滤器中被过滤出的物质会不断增加。对于吸尘器集尘袋而言，干粉尘会被持续收集和储存，直到集尘袋完全装满并需要更换为止。

如果从气流中过滤出的物质是液滴，那么收集这些物质往往要复杂得多。

金属编织滤网会将不同液体中过滤出的微小液滴直接储存在滤材中。这些不同液体的积聚可能会导致严重的问题！

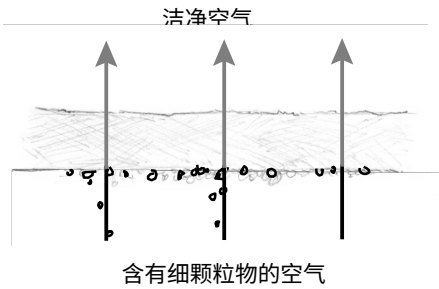
金属编织滤网的储存容量通常非常有限。这意味着，即使储存了少量液体，这些滤网也可能发生堵塞。因此，它们通常采用较粗的网眼设计。虽然这样可以避免堵塞，但随着气流通过，许多较小的颗粒也会穿过滤网，而未能被气流分离出来。

不同类型的过滤器



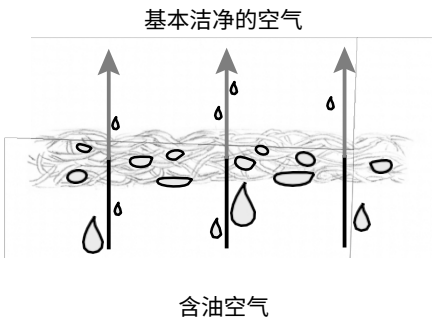
无纺布过滤器

无纺布（例如吸尘器集尘袋）可阻挡流经空气中的灰尘。但极细小的灰尘颗粒仍能穿过无纺布。



玻璃纤维过滤器

玻璃纤维比无纺布更细，能够过滤并拦截纳米级最微小的灰尘颗粒。



金属滤网

在厨房区域，金属编织网的主要功能是过滤油烟颗粒。根据颗粒大小不同，油滴会被滞留在编织网中。但极细小的油滴仍可能穿过编织网。

图8

细菌滋生的风险

在食品加工厂以及制造业中，将液体储存在过滤器中也可能导致卫生问题。当温度在20摄氏度左右且存在湿气时，滤芯中的细菌会迅速繁殖。因此，长期储存和积聚液体通常并不明智，强烈建议定期清洗或更换滤芯。

火灾隐患

如果过滤物质是油或油脂，则过滤器中储存的液体会逐渐成为火灾负荷！这一点往往被人们忽略。

企业历史中的一个例子

我至今仍清楚记得在一家全球性工具制造商那里参加的一次大型会议。员工们带我参观了他们的生产车间，那里有数百台磨床。生产区域的空气净化设备配备了大型悬浮物过滤器，这些过滤器最多可储存100升液体。问题在于：这些储存的液体是一种粘度极低且极易燃的冷却剂和润滑剂。如果使用50个过滤器，储存的液体总量可能高达5,000升！在此次参观中，当我向公司员工询问这50套空气净化设备的消防安全保障措施及相关防护方案时，我看到大家脸上都流露出惊恐的神情。

我对空气净化过滤器提出的问题和思考绝非仅是理论上的推演，而是针对具体的危险；遗憾的是，由于对火灾负荷问题重视不足，已经发生过悲剧性的火灾灾难。

实践案例：机械制造行业的火灾

200d年，德国南部一家机械制造企业发生了一场毁灭性火灾，该企业的排风系统与前文所述的系统类似。火灾造成的损失高达数千万。超过3,000平方米的生产车间和设备被彻底摧毁。据推测，起火原因是一台故障的机床。火势通过通风管道网络迅速蔓延，使情况雪上加霜。

案例分析：酒店综合体火灾

1980年，拉斯维加斯一家拥有2,000间客房的大型酒店也发生了类似的灾难。事故发生时，酒店内约有5,000人。大火始于酒店的一家餐厅，并以惊人的速度蔓延至整个建筑群。此次事故造成85人丧生。这一悲剧事件至今仍被视为美国现代史上最惨烈的酒店火灾之一。

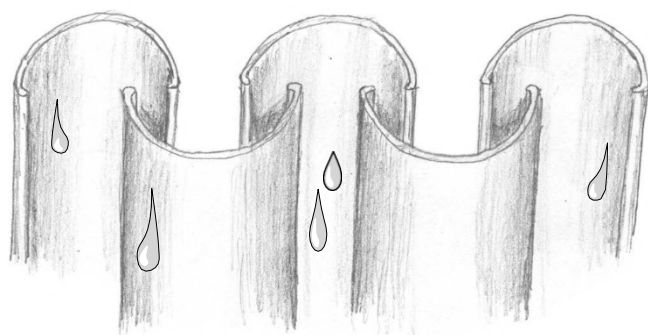
此类火灾灾难最终导致上述金属编织过滤网在许多商业领域被淘汰。在商业厨房通风系统中，许多国家甚至已禁止使用此类过滤网多年。例如，在北美和大多数欧洲国家，由于火灾风险较高，此类蓄热型金属过滤网已被禁止用于新建的商业厨房中。

挡板式分离器的发明

拉斯维加斯酒店发生灾难性火灾后，美国研发出了金属编织滤网的替代品——即所谓的挡板式分离器。这种分离器由不锈钢板制成。当空气流经时，会被至少两次

。与传统的金属编织滤网相比，这种由不锈钢板制成的分离器不会积存液体。

挡板式分离器



油和水等流体会在挡板上被分离，并在理想情况下沿挡板向下流走。

图 9

误解

过滤器与分离器的不同工作原理

正如我们所见，过滤器与分离器的运作方式各不相同。但正是这些差异导致了误解。人们常常将两者的特性、工作原理以及效率数据混为一谈。有时甚至懒得花功夫将这两个概念明确区分开来！

因此，在通风技术和空气净化领域，不仅存在关于过滤与分离之间区别的误解，还存在关于金属板式分离器工作原理和效率的误解。

为了阐明这些区别，我们首先需要了解自然界中的一些气象现象，以及它们如何被应用于空气净化技术中。

2.2. 旋风竟能助力空气净化！

您可能会感到惊讶，但事实确实如此。飓风、台风、龙卷风和热带气旋等旋风，正是现代金属板式分离器开发过程中流体力学方面的原型。

美国发生那场大型酒店火灾后研发的首批分离器，是简单的挡板式分离器。两个半圆形的、弯曲成U形的不锈钢板以错开的方式相对布置。气流在通过分离器的过程中会被两次偏转：第一次是撞击第一个半壳时，第二次是撞击第二个半壳时。

挡板式分离器的原理示意图

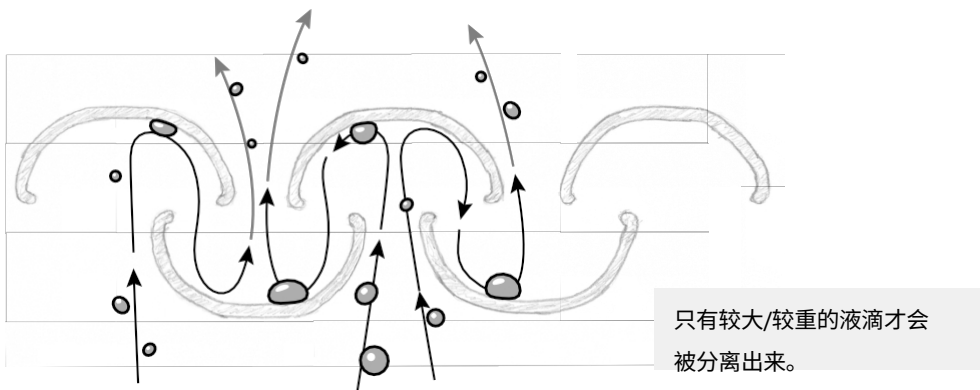


图 10

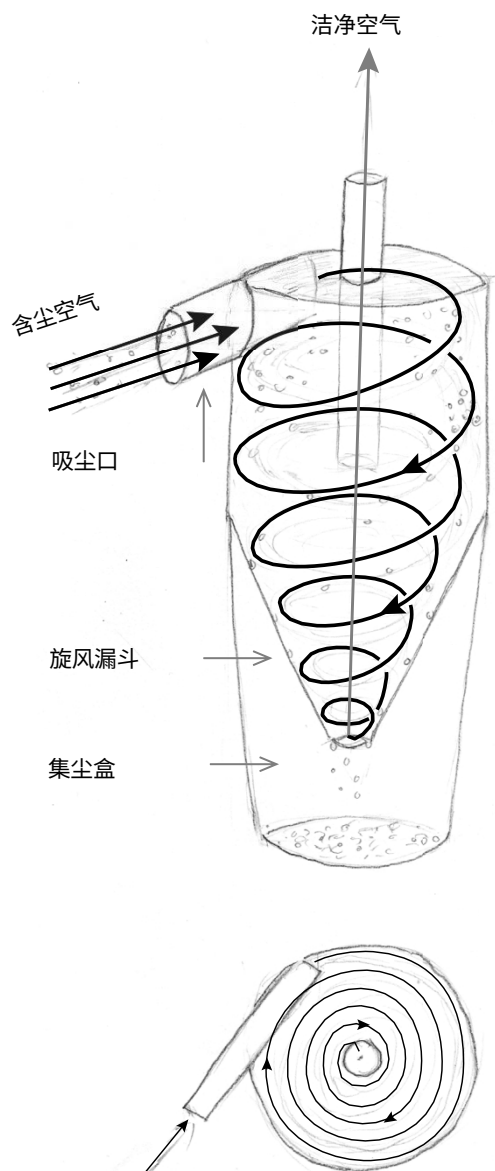
U形半壳可采用弧形设计，也可折弯成90度角。但在两种情况下，分离效率都很低，因为只有较大的气流中悬浮液滴才会被分离出来。气流

在该类简单分离器中非常湍流，只有质量相对较大、惯性较高的巨大液滴，才能在撞击并改变气流方向时被分离出来。而重量较轻的微小气溶胶液滴则会随气流通过这些偏转点，因此无法被分离出来。这种简单的挡板式分离器的唯一优点在于它不积存液体，但其在从气流中分离颗粒方面的效率却非常低。

以热带气旋为范例

直到分离器制造商以大自然为榜样，并从热带气旋中汲取经验后，才成功消除了这一缺陷。最著名的例子便是前文提到的戴森公司及其气旋式吸尘器。这项技术无需滤网，其工作原理类似于一个微型气旋。空气如同在龙卷风中一样，被转化为高速的旋转气流。其原理是：旋转速度越高，气流就能将越小的颗粒甩出并加以分离。

旋风式吸尘器的原理示意图



由于旋风集尘漏斗呈锥形，吸入的空气被引导成螺旋运动。

在离心力的作用下，粉尘颗粒被甩向内壁。

粉尘颗粒被收集在集尘箱中。

从上方俯视的旋风螺旋结构

图11

要掌握如何在吸尘器、厨房抽油烟机和空气净化器中产生此类小规模的人工旋风，自然需要大量的研究与开发工作。仅靠简单的弯曲挡板，肯定无法实现这一目标。在旋风分离技术的开发和优化过程中，同样采用了数值流体动力学模拟（简称CFD模拟）。CFD是Computational Fluid Dynamics（计算流体动力学）的缩写。借助这种模拟，可以直观地呈现各种各样的气流。然而，仅凭这一点还不足以优化分离技术。在通风技术和空气净化领域，这一点也常常引发误解！

误解

仅优化气流就够了！

在许多情况下，通风技术仅关注气流。例如，如何将新鲜空气尽可能舒适地引入大型音乐厅，同时避免让观众感到不适的穿堂风或寒意。此外，新风引入过程还应完全无声。

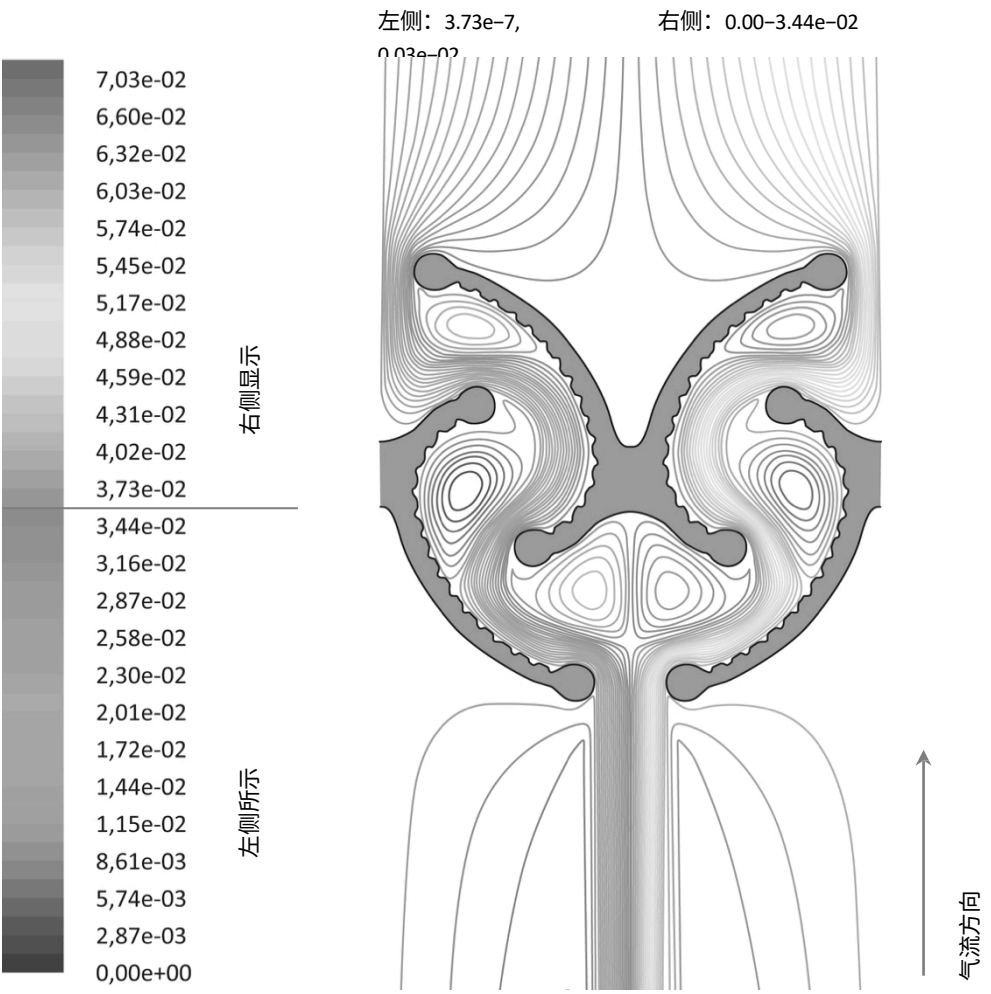
然而，在空气净化领域优化过滤器和分离器时，不仅仅涉及气流及其路径和速度的分析。空气净化的真正任务在于通过过滤或分离，将气流中携带的颗粒物从气流中分离出来。简而言之，过滤器的运作原理类似于筛子，而分离器的运作原则则类似于涡流。若要优化分离器的运行机制，就必须设法在分离器内部形成微型涡流。只有这样，颗粒物才会被从气流中甩出并得以分离。

颗粒轨迹分析

如今，借助CFD系统，还可以对颗粒流进行研究和可视化。因此，我们不再仅仅关注气流，还关注被气流携带的颗粒或气溶胶的行为。

体积较小、因此质量较轻的气溶胶是否会与气流遵循相同的轨迹？一项非常有趣的CFD研究就是对不同气溶胶轨迹的可视化分析。这些轨迹的走向取决于颗粒大小。如今，通过非常精确的CFD分析，甚至可以识别出气溶胶在分离器中的哪个位置与气流分离！在进一步开发我们的分离器过程中，此类分析结果曾不止一次让我们感到惊讶和惊叹。

X-CYCLONE®分离器的CFD分析



不同粒径颗粒的流动行为 (kg/s)
不同粒径的颗粒用不同的灰色调标示。

图 12

企业发展历程中的一个例子

在进一步开发我们的分离器时，我们也曾过于频繁地认为，自己事先就已经知道气流会如何变化，以及所有空气中的颗粒物会发生什么——也就是说，它们会被甩到哪里去。为了验证我们的推测，我们进行了CFD分析。但分析结果往往与我们的预期截然不同。

我还记得一次研究，当时我们所有人都百分之百确信，在我们新开发的分离器中，会迅速形成旋转强烈的微型涡流，并能以极高的效率将空气中的颗粒物甩出。我们满怀自豪地将这款新开发的原型机命名为X-CYCLONE®。

其中“X”代表分离器的几何形状。我们不再使用两块简单弯曲的U形金属板来组装，而是赋予分离器型材一种更为复杂的几何结构。起初，我们只能使用铝挤压型材来制造这些结构。其表面形似微型飞机机翼，我们将其以X形几何结构排列。您可能已经猜到了，我们这项新研发产品名称的后半部分代表热带气旋——英文拼写为CYCLONE。

对新型分离器原型的CFD分析与其说是分析，不如说是验证——尽管耗时耗力，但为了保险起见，我们仍决定进行这项分析。毕竟，我们心里早就清楚结果会如何。至少我们当时是这么认为的.....

事实上，CFD分析确实非常耗时耗力。如前所述，该分析不仅会精确考察气流的行为，还会详细研究空气中的颗粒物。要进行这项分析，首先需要建立一个三维

分离器的三维模型。几年前，我也曾认为这没什么问题，毕竟我们拥有一切所需条件，否则我们根本无法生产该产品。但原来，我当时也陷入了一个误解之中！

误解

对于CFD模拟而言，分离器的三维模型就足够了。

三维空间模型

因为进行研究时，我们不仅需要分离器（即铝型材）的三维模型，还需要空气流经的空间模型。这其实很合乎逻辑！当分析圆形通风管道中的气流时，我们关注的是通风管道内部的圆柱形空间，而不是管道的金属板。然而，这并没有让我们的任务变得更轻松。由于我们新型x-CYCLONE®铝型材的几何形状本身就非常复杂，因此空气流经的空间就变得更加复杂。但进行CFD分析时，恰恰需要对这一空间进行建模。

网格（计算网格）

除了这个本身就相当繁琐的过程外，更棘手的是还必须在气流通过的空间上铺设计算网格。为此，通常使用英语术语“Mesh”。这种计算网格在气流通过的空间中的布置方式，反过来又会对CFD分析的质量产生重大影响。然而，如果能以极大的谨慎态度进行这一步骤，便能获得关于气流和颗粒流的非常详细的流场分析，尽管结果有时可能会令人极其沮丧！

X-CYCLONE® 分离器的 CFD 分析

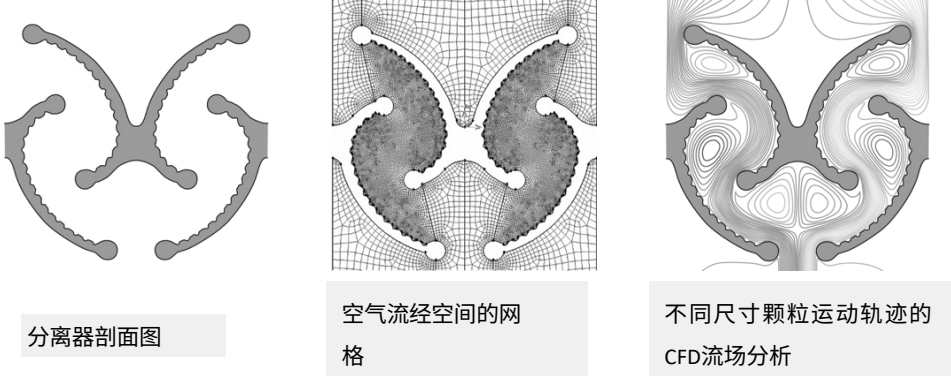


图13

一个令人失望的结果

万事开头难——气流与预期不符！

对于我们的首批 X-CYCLONE® 原型机，CFD 分析得出的结果令人大失所望。在气流通过区域——我们曾坚信那里会形成微型旋风，并以超过 10 米/秒的旋转速度将颗粒物甩出——但实际上什么也没发生！那情景至今仍历历在目，仿佛就在昨天。CFD 分析清晰地显示出一个空洞区域，其形状酷似一颗约一厘米大小的水滴。

原因

由于我们型材的 x 轴几何形状曲率过大，气流无法顺应这种几何形状，从而形成了一个没有气流通过的区域，更不用说在那里形成气旋并实现颗粒分离了！即便是通风领域的专家，也并非总能事先准确评估气流的行为。

优化

对于我们当时旨在优化X-CYCLONE®分离效果的研发项目而言，这意味着要从头开始，重新设计分离器的几何结构。这本质上是一个永无止境的持续发展和改进过程。最终，我们成功开发出了采用与戴森（Dyson）类似技术的产品，并将其应用于符合工业标准通风和空气净化领域。

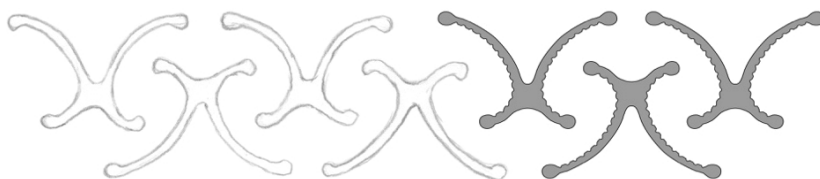
分离器几何结构的开发



采用U型型材的挡板式分离器



X-CYCLONE® 分离器原型
采用飞机机翼形状的X型型材



X-CYCLONE®分离器，采用优化X形几何结构的型材，以实现最佳气流引导（见图15）

我们分离器的成功之路

目前，我们研发的 X-CYCLONE® 分离器已在各行各业中确立了其地位。

无论是钻井平台、纺织后整理厂、奶粉生产厂、汽车行业的喷漆车间、食品工业、大型厨房、机械制造领域，甚至在微电子行业用于生产硅片的设备中，我们X型型材分离器中的“旋风涡流”如今都确保了高效的气体净化。

X-CYCLONE® 分离器的原理示意图



图15

3. 如何去除蒸汽和异味

?



在通风技术和空气净化领域，去除烟雾和异味是一项非常复杂的任务。人们可能会认为，经过捕集、分离和净化后，空气理应已经干净，因此也不应有可察觉的气味。既然所有颗粒物、气溶胶和污染物都被清除——那么还有什么会造成异味污染呢？

误解

在不含气溶胶、颗粒物和污染物的空气中，不存在异味污染。

遗憾的是，这也是通风技术和空气净化领域中的又一个误解，本章将对此进行探讨。让我通过一个简单的实际案例来加以说明。

实践案例：加油

我们中的许多人都有过开车去加油站给油箱加满油的经历。在此过程中，我们大多数人肯定都曾闻到过汽油或柴油的气味。

加油时的汽油味



图16

但为什么我们在加油时会闻到汽油味呢？毕竟通常并没有燃料飞溅或气溶胶在空气中飘散。当你想把油箱加满到边缘，同时又必须小心防止溢出时，这一点就显得尤为明显。当观察油管口处的油位时，鼻子会靠近油管口，即使没有漏油，也能闻到浓烈的燃油气味。

如果在加油口附近进行颗粒物测量，从测量结果来看，加油口周围的空气中根本检测不到任何燃油气溶胶或颗粒物。但既然如此，为什么加油时仍能闻到燃油味呢？下文将对此进行解答。

3.1. 关于蒸汽与气溶胶区别的误解

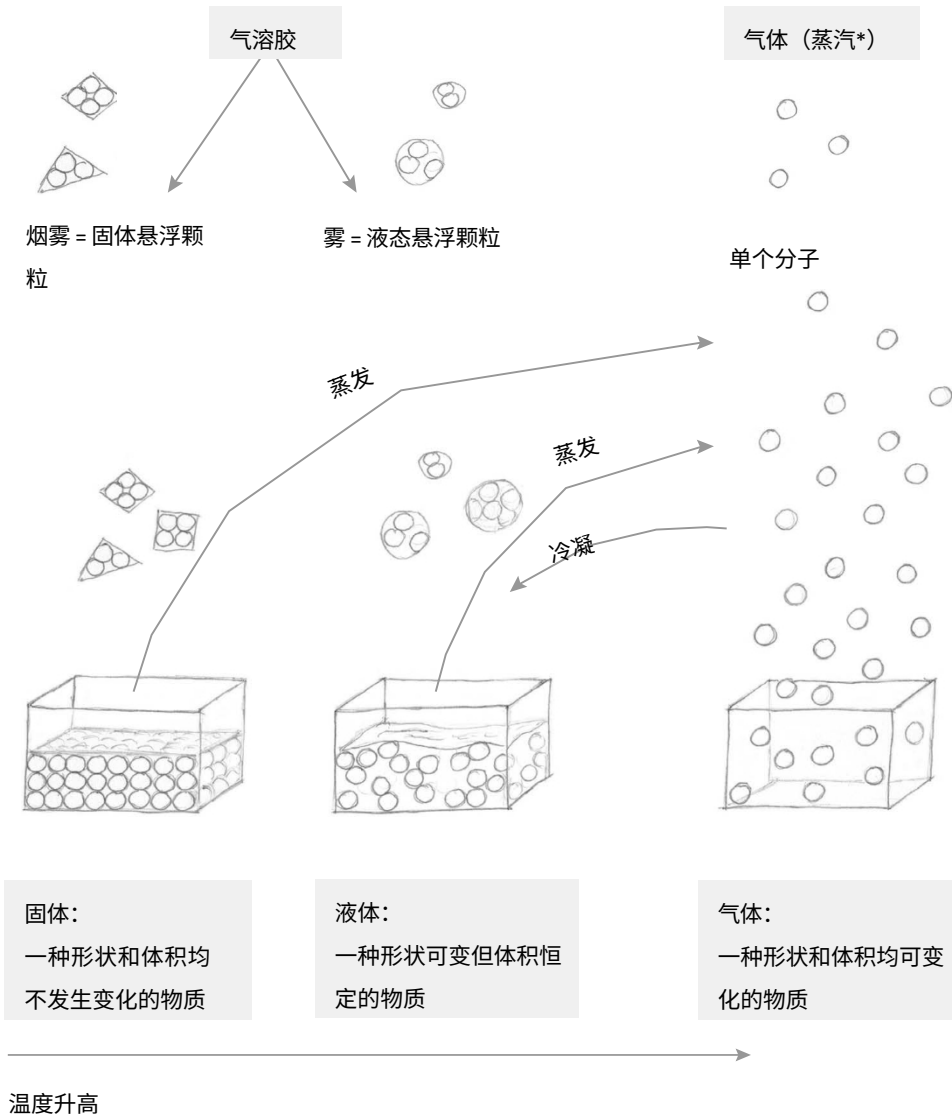
为什么加油时虽然空气中看不见任何东西，却能闻到汽油味？你闻到的正是汽油蒸发产生的蒸汽。尤其是“超级加”汽油，挥发性极强。这意味着它即使在相当低的温度下也会蒸发。这种蒸汽——准确地说，是气体——从加油口逸出，从而产生了这种气味。

误解

不含气溶胶的空气是干净的。

这个简单的例子非常生动地说明，不含气溶胶的空气并不一定就是干净的，它仍然可能对环境造成污染。由液体蒸发引起的空气污染是一个问题，这也让职业安全协会头疼不已。

气溶胶与气体的区别



* 一般而言, 蒸汽是指悬浮在空气中的水滴, 例如烹饪时产生的蒸汽。但从自然科学的角度来看, 蒸汽是指物质的气态 (由蒸发、蒸腾、沸腾或升华形成)。

图17

机械制造领域的实践案例

我还清楚地记得，当时我和来自巴伐利亚州的销售合作伙伴一起拜访了负责巴伐利亚州机械制造行业的职业协会。在那里，他们向我们展示了相关研究及其测量结果，这些研究调查了机床中冷却液和润滑剂对空气造成的污染。结果显示的现象与上述加油站的例子完全一致。对机床周围空气的分析表明，几乎没有因气溶胶造成的空气污染，且所有空气限值均在标准范围内。至少大家当时是这么认为的。

然而，当职业保险协会的专家们进一步检测不同机床中蒸发的冷却液和润滑剂所占比例时，他们发现空气中含有大量此类物质——部分区域每立方米室内空气中的冷却液和润滑剂蒸气浓度甚至高达100毫克。这已经超出了现行限值的十倍！这是怎么发生的？

由于机床内部压力极高，冷却液和润滑剂通过喷嘴被雾化成极细的微粒，从而产生了最初的蒸发效应。此外，由于加工金属的刀具温度极高，大量液体也会因此蒸发。在此背景下，人们往往低估了机床内空气净化器产生的持续气流所起的作用。

机床中的冷却液蒸汽

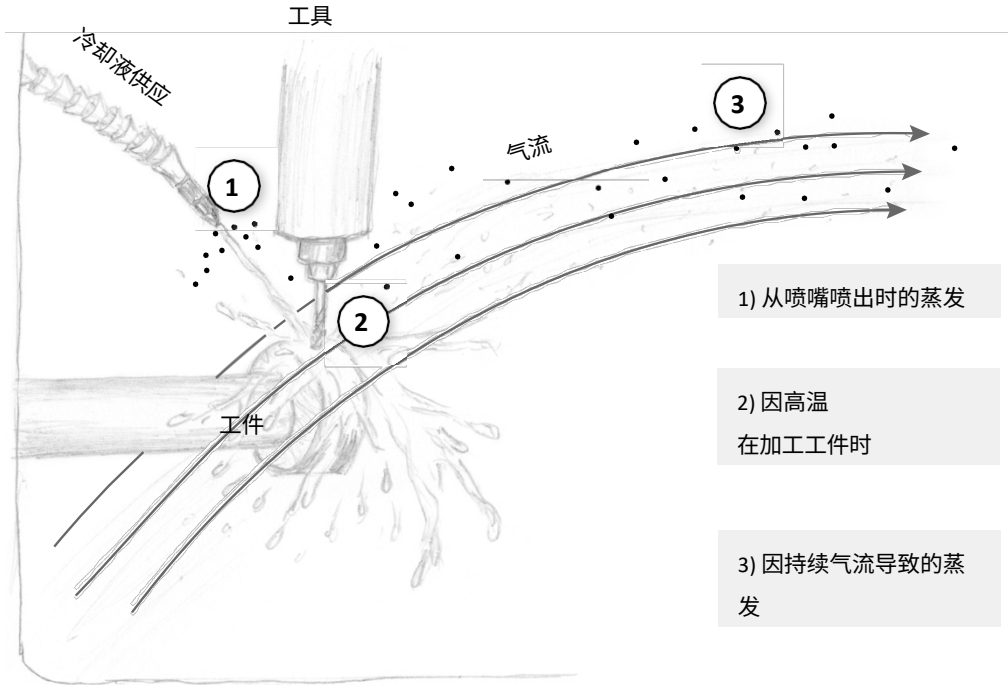


图 18

请回想一下我们在第1章中得出的结论：为了进行收集和抽吸，我们需要大量的排气量以及朝向收集方向的气流。这种气流完全可以比作吹过大湖水面的风。仅凭这种气流，水就会蒸发，以空气湿度的形式被吸收，并随气流被带走。在机床中或加油时，我们也能观察到类似的现象。由此，大量液体以蒸汽形式随空气被输送。这些蒸汽可能会对健康造成严重危害，并产生难闻的气味。

示例：食品工业

在食品工业和商用厨房中也能观察到同样的现象。在所有高温运行的设备和烹饪器具上，液体都会蒸发。典型的烹饪过程包括烘焙、煎炸和油炸。这些过程的温度通常在140至190摄氏度之间。在此过程中，油脂会部分蒸发，并通过通风系统被收集和抽走。

实践案例：油炸设备

在食品工业中，我们曾惊叹于那些用于油炸薯片的设备，其尺寸堪比一个大型浴缸。每天有数十万片薯片在此油炸，并释放出巨大的蒸汽量。这些蒸汽主要由油炸用油脂中蒸发的油脂以及油炸前仍附着在薯片上的水分蒸发而成。在这里，我们也观察到了前面描述的现象：通过颗粒物测量对工艺废气进行分析后，未检测到任何空气污染，空气看起来很干净，几乎没有污染物。然而，仅凭肉眼观察就能看出，该加工过程产生的废气不可能干净，因为它看起来就像老式蒸汽机车喷出的蒸汽云。此外，与加油站的情况类似，也能闻到浓烈的气味。虽然这种气味比加油时更令人愉悦，但它显然表明了空气污染的存在。

示例：家庭厨房

在家中厨房里，您也能观察到类似现象，例如当您用高温煎牛排时。虽然可能会溅出一些油花，这些油花可以被归类为气溶胶，但从炉灶上方升起并被抽油烟机捕获和抽走的主要成分，其实是含有挥发油和水蒸气的空气。其中只有极少量的液滴、气溶胶和飞溅物会进入抽油烟机。

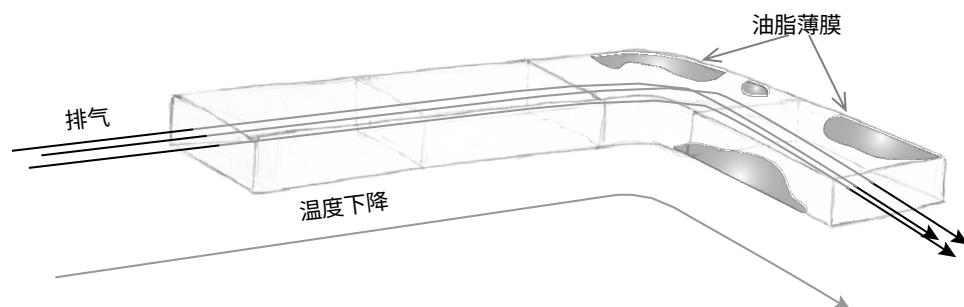
蒸发液体的冷凝

在工业和商用厨房中，这些蒸发后的液体给工艺排气带来了巨大问题。因为这些蒸汽不仅会造成异味困扰，而且当排气温度相应降低时，它们自然也会再次冷凝。此时，蒸发后的液体将从气态重新转变为液态。这种现象在大型工业企业及大型酒店中尤为常见。为什么？因为大型建筑中的排气管道往往非常长。

长排气管道引发的卫生问题和火灾隐患

无论是大型酒店厨房的烹饪过程，还是工业企业的加工过程，直接在工艺现场收集并抽走的空气，随后都必须通过排气管道进行长距离输送，直到最终离开建筑物，并借助大型通风设备被排出。在穿过通风管道（通常由矩形金属板段组成）的漫长路途中，空气会逐渐冷却。由此，蒸发的液体发生冷凝，并在排气管道及通风设备中沉积。这些沉积物不仅构成卫生问题，还会引发火灾隐患。

长排气管道及其隐患



在流向室外的过程中，空气温度不断降低。由此导致蒸汽冷凝，并在排气管道内形成水膜和油脂膜——这不仅是微生物的滋生温床，也是潜在的火灾源。

图19

欧洲标准要求关注蒸汽及其冷凝现象

因此，不含气溶胶和颗粒物的空气，并不一定就是洁净的。人们通常认为的异味，大多是蒸汽。正因如此，包括DIN EN 16282在内的欧洲标准也规定：在商业厨房中，除了通过过滤器和分离器进行空气净化外，还必须关注蒸发液体及其冷凝现象！为此，必须通过测量手段对这些浓度有时非常高的物质进行检测和分析。

3.2. FID 测量仪可协助分析空气污染情况!

借助FID测量仪，可以了解空气中蒸发液体的含量。FID是火焰离子化检测器（Flame Ionization Detector）的缩写。FID测量仪有助于测定空气中挥发性有机化合物的含量。通俗而言，人们常提到的“排气中的总碳（Total-C）”，指的就是空气中以蒸汽形式存在的烃类物质。例如，如果我们要了解加油时有多少挥发性的燃料进入我们的鼻腔，这种测量仪就是理想的设备。在分析制造业或食品生产设备中挥发的冷却剂和润滑剂时，FID测量仪同样非常有用。

测量颗粒物和蒸汽量

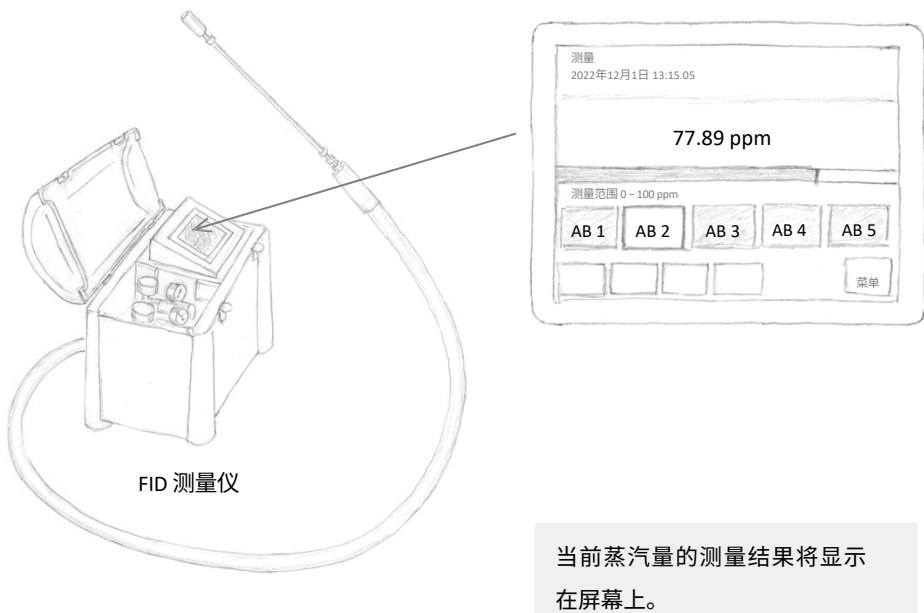


图20

空气污染分析

如果对上述工艺的排气进行分析，实际污染负荷通常由空气中悬浮的雾化颗粒和蒸汽的总和构成。这种综合分析的结果往往显示，每立方米室内空气中含有80毫克蒸汽，而雾化颗粒仅为20毫克。套用这个例子来说，这意味着每立方米室内空气中总共含有100毫克污染物。无论这种污染物是机械制造厂中的冷却剂和润滑剂，还是食品生产或酒店厨房中的炸油，我们在此可以不予考虑，因为问题和任务本质上是相同的：我们必须同时处理这两者。

误解

无需测量已蒸发的液体。

我们既要关注蒸发后的液体，也要关注这些液体产生的空气传播气溶胶。在通风技术和空气净化领域，一个常见的错误就是根本不通过测量手段来记录和分析这些空气污染物。即使进行测量，也最多只是测定气溶胶的颗粒浓度。几乎从未同时对蒸汽和气溶胶进行过分析。这一点也得到了与巴伐利亚州职业协会同事们交谈时的证实。

无论是在中央厨房的油炸锅旁，还是在制造工厂中盛放高温金属切屑的大型收集容器，抑或类似设备周围，运行期间都会升起一缕缕白色烟雾。从外观上看，这些白雾与在家用锅中加热水时升起的蒸汽非常相似。但不同之处在于，从工业容器中升起的蒸汽中含有油脂以及冷却剂或润滑剂。

这些物质往往是强烈异味的来源，但目前对其关注和研究却远远不够。

进行颗粒物和FID测量

必须通过颗粒物和FID测量来检测此类排放。因为根据这些测量结果，可以确定下一步措施，即通过清除这些蒸汽来净化空气。

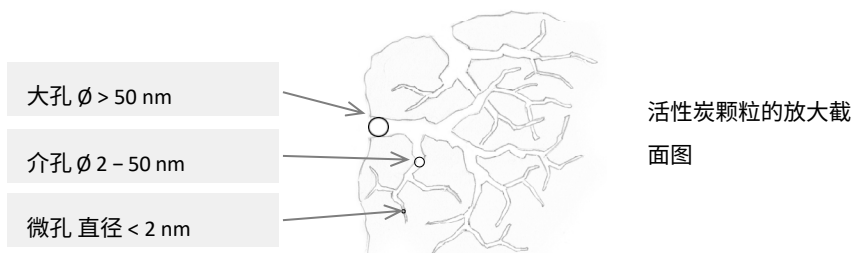
解决方案1：活性炭

一种解决方案例如是使用活性炭过滤器。简而言之，活性炭的作用类似于一种分子过滤器。它具有极高的多孔性，表面布满了无数微小的孔隙，能够通过吸附作用捕获蒸汽。这样，蒸汽就会被吸附在活性炭的表面。但这种方法仅在活性炭未因冷凝产生的气溶胶而过度负荷的情况下才有效。

使用活性炭的缺点

通常，活性炭过滤器仅安装在通风设备中，位于长长的排气管道末端。等到排气到达那里时，温度已经下降了几度，蒸汽开始凝结。这会导致活性炭的众多微小孔隙过快堵塞，从而失去功效。如果凝结的蒸汽是油类物质，那么与活性炭结合后，从字面意义上来说，就会形成一种极易引发火灾的危险组合！

活性炭的应用



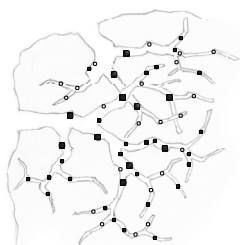
尺寸对比：

一根人类头发的直径约为 $80 \mu\text{m}$ ，细颗粒物的直径为 $5 \mu\text{m}$ ，

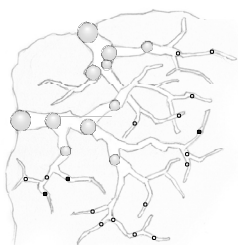
大中孔的直径为 $0.05 \mu\text{m}$ ($= 50 \text{ nm} = 0.00005 \text{ mm}$)



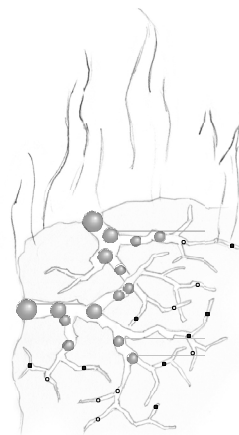
吸附发生在孔隙的表面。4克活性炭的内表面积约相当于一个足球场的面积。



吸附的蒸汽



因蒸汽冷凝而堵塞的孔隙



冷凝油蒸气引发的火灾隐患

图 21

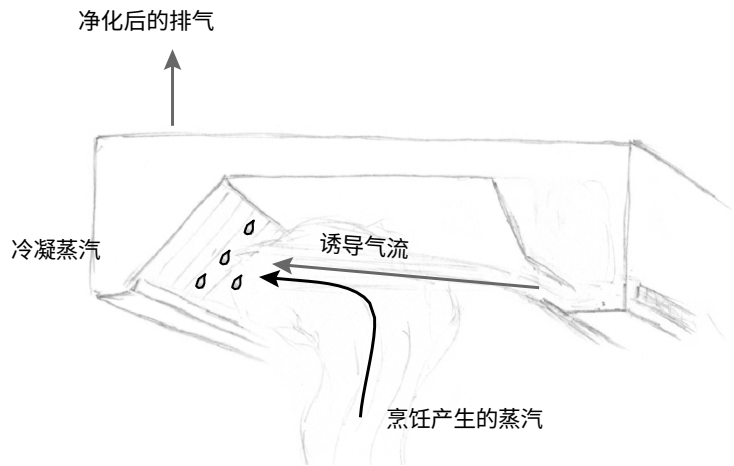
解决方案 2: 强制冷凝

另一种控制蒸发液体并减少其量的方法，是在收集和抽吸过程中直接进行强制冷凝。

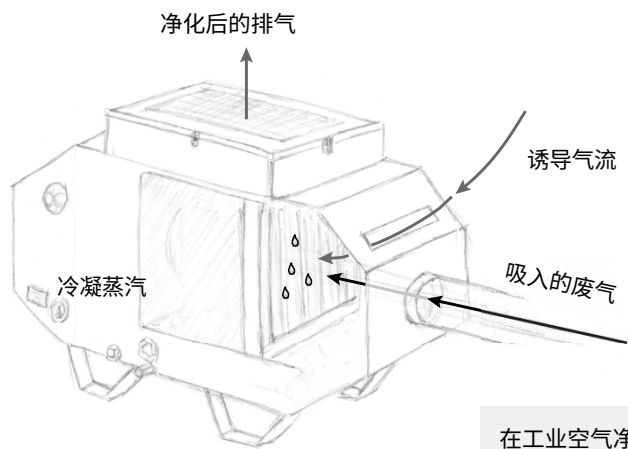
正如第 1 章所述，我们在 REVEN GMBH 开发了不仅能吸气，还能吹气的收集装置。在此过程中，通过辅助吹风，将含有气溶胶、病毒和污染物的待收集空气尽快输送到空气净化器、厨房抽油烟机和通风设备吸力最大的区域——即直接输送到其进气口处。

为此，我们开发了配备辅助吹风装置的现代化厨房抽油烟机和工业空气净化器。以厨房抽油烟机为例，该装置可确保烹饪时产生的蒸汽能从烹饪设备处快速、直接地流向过滤和吸入区域，并在该处被捕获或抽走。此外，我们还借此成功地促使蒸发液体的冷凝过程加速进行。感应气流（即吹入的气流）的温度总是比待收集的空气低几度。这种温差有助于我们在升级版集气罩以及机床用空气净化器中，直接在收集和抽吸过程中触发蒸发液体的冷凝。

强制冷凝



在厨房排气罩内：由于感应气流温度较低，蒸汽会凝结，并在流向排气管道的过程中被分离出来。



在工业空气净化器中：由于感应气流温度较低，蒸汽在进入 X-CYCLONE® 分离器之前便会冷凝并被分离出来。

图22

强制冷凝的优势

一旦工艺废气中的蒸发液体和空气传播的气溶胶被清除，它才算真正得到净化且洁净。在此过程中，异味排放也会降至最低，并可通过后置的除臭过滤器完全中和。用于除臭的技术可以是紫外线、臭氧、活性炭或化学氧化系统。它们都有一个共同点：只有当废气在前期已通过高效净化去除气溶胶和蒸汽后，这些技术才能正常运行并发挥其全部效能。只有到那时，后续安装的用于彻底消除异味的技术才具有实际意义。更多相关内容请参见下一章。

4. 如何中和病毒和异味

?



中和异味以及彻底清除空气中的病毒和细菌是一项需要多步骤完成的任务。首先是高效收集和抽吸，随后需要使用非常有效的气溶胶过滤器或分离器，此外，如前一章所述，还必须对蒸汽进行冷凝处理。只有严格遵循所有这些步骤，才能借助紫外线-C（UV-C）或臭氧系统可靠且彻底地去除异味。

误解

紫外线照射可以解决所有与病毒、细菌和异味相关的问题。

在通风技术和空气净化领域，有一个根深蒂固且广为流传的误解，即认为从收集、抽吸、分离到冷凝的整个过程无需过多关注。只需在空气净化器和排气系统中安装任何能产生紫外线的灯管，一切问题便迎刃而解。许多市场竞争对手的宣传承诺——我屡屡听闻——无非是这种或类似的说法。

关于利用紫外线辐射的空气净化技术的运作原理和效果，存在着许多误解和错误信息。首先，许多制造商并未向用户说明紫外线辐射的实际应用范围。有一个必须引起重视的关键问题是：“使用UV-C系统究竟要达到什么目的？”我们是想清除空气中的病毒和细菌，还是想去除排气中的油脂？我想您会同意，这两者显然是不同的任务，从排气中清除病毒与去除油脂根本不是一回事。

因此，我们首先应该讨论的是，我们究竟希望在通风系统中使用紫外线辐射来实现什么目的。

具体采用哪种uv-c系统，取决于任务要求。此类系统的不同任务可能包括以下内容：

- 物品消毒
- 消除空气中的异味
- 杀灭空气中的病毒和细菌

仅这三项任务就涉及三个截然不同的领域，每个领域都需要使用完全不同的紫外线C（uv-c）系统。目前尚不存在能够同时解决这三项任务的系统。

此外，还有一项被各种传言所笼罩的任务，即所谓的“脂肪燃烧”。关于这一点，我们稍后会详细说明。

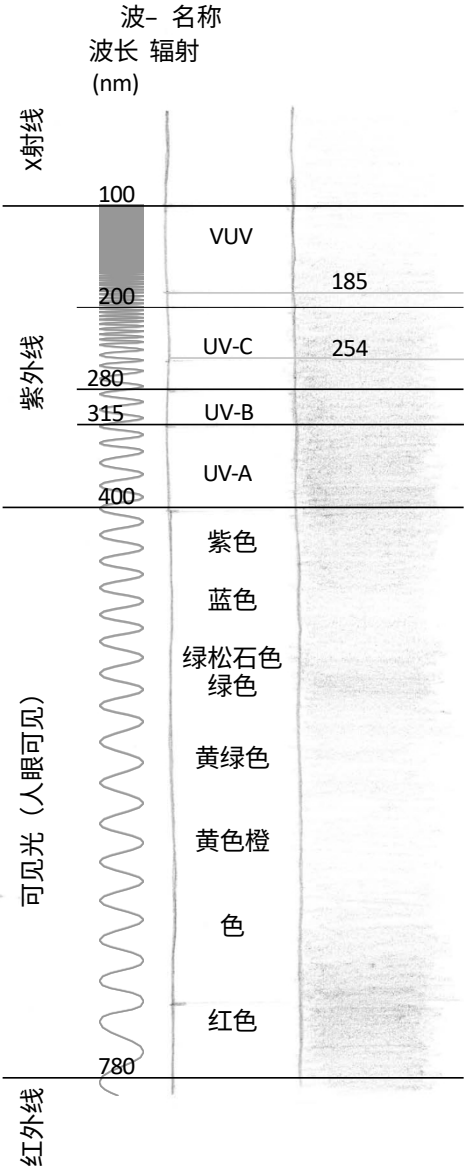
因此，我们需要一种专门针对其中一项任务设计的紫外线-c系统。但即便如此，该系统能否真正令人满意地解决相关任务，仍然值得商榷。

4.1. 关于紫外线-C辐射的误解

家用空气净化器中经常集成有UV-C系统。随着全球大流行的肆虐，从2020年起，此类空气净化器几乎淹没了市场。厂商向用户承诺，这些设备的紫外线辐射能够杀死危险的病毒。但这究竟是如何实现的呢？

从外观上看，此类UV-C系统类似于传统荧光灯管，例如大型办公室照明系统中常见的那些。它们有各种尺寸可供选择。当打开UV-C灯管时，它不会像办公室照明那样发出白色光，而是会发出一种蓝色的微光，就像日光浴床里常见的那样。这种蓝光是一种人工产生的短波UV-C辐射，波长约为250至280纳米。

电磁光谱



UV-A和UV-B

只有这些紫外线能到达地球表面。人体需要它们来合成体内的维生素D。它们会使皮肤变黑。然而，过量的紫外线辐射既会造成短期危害（晒伤风险），也会带来长期危害（皮肤癌风险）。

紫外线C

在灭菌过程中，会使用波长为250至280 nm的人工紫外线C（UV-C）光。其中，254 nm的波长尤其适合破坏微生物的遗传物质。紫外线C（UV-C）对人体同样有害。

V（真空）UV

在紫外光谱范围内，使用波长为185 nm的人工光源来生成臭氧。该方法仅适用于特殊的石英管。

图23

波长因素

对于UV-C系统而言，辐射的波长范围至关重要，因为只有这样才能杀灭细菌和病毒，或者通过破坏其遗传物质使其无法继续繁殖。这一原理在医疗技术领域已被应用很久，例如用于手术器械和医疗工具的消毒。此类消毒设备通常为矩形箱体，外观与市售微波炉相似。这些箱体内嵌有紫外线C（UV-C）灯管，可向箱内空间发射波长范围为250至280纳米的紫外线。将物品放入此类紫外线消毒器中后，便会通过紫外线C辐射进行消毒。

时间因素

这些紫外线-C消毒器的技术数据表中反复强调，仅需约30秒的照射时间，即可实现完全无菌，即达到灭菌效果。

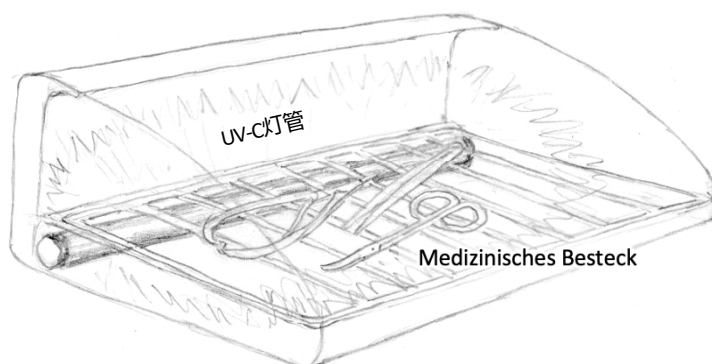
大多数UV-C消毒器都可以将消毒时间设置在30秒到60分钟之间，这与家用微波炉的时间设置非常相似。

波长 + 时间 = 预期效果

由此，我们界定了第一个应用领域，该领域已有许多技术解决方案、产品和实践经验：若要彻底消灭剪刀、刀具、钳子、针具等物品上的病毒和细菌，我们需要波长范围约为250至280纳米的人工紫外线辐射。此外，为了确保这些物品真正达到无菌状态，将其暴露于该辐射下至少30秒也至关重要。因此

——这至少是UV-C灭菌器制造商的建议，这类设备在医疗技术领域已有多年应用历史。

在UV-C灭菌器中进行消毒



这款现代灭菌器采用两步操作流程：

- 首先，利用紫外线C（UV-C）辐射（254 nm）照射至少30秒，以破坏微生物的遗传物质。
- VUV辐射（185 nm），通过臭氧彻底杀灭微生物。

图24

对于通风技术和空气净化，我们应该或必须从中得出什么结论？

其实答案非常简单且显而易见：如果我们要杀灭气流中的细菌和病毒，就需要使用相同的紫外线辐射，并且必须让这种辐射在一定时间内作用于病毒和细菌。

误解

空气的消毒原理与物品的消毒完全相同。

尽管这听起来简单明了，但通风技术方面的问题却由此开始。在通风设备和空气净化器中，我们面对的是流动的空气，而不是在消毒过程中静止半分钟的物体。空气在通风设备和空气净化器中以每秒至少一米的速度流动。处于该气流中的所有物质——包括细菌和病毒——每秒至少会移动一米。在许多设备中，移动距离甚至更大，达到每秒两至五米。

空气在一秒钟内的移动距离

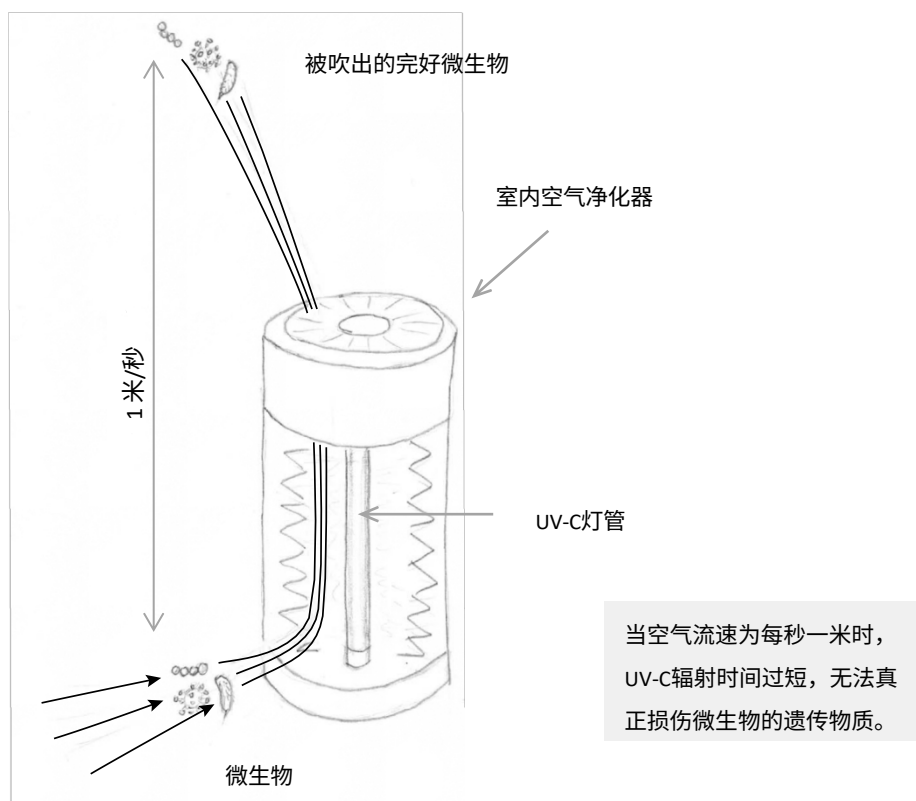


图 25

这一情况本身就构成了第一个问题，也是一个巨大的挑战。正如我们在医疗技术中关于灭菌器的描述中所了解的那样，最好让细菌和病毒暴露在紫外线辐射下至少三十秒。我们如何在通风系统中实现这一点呢？

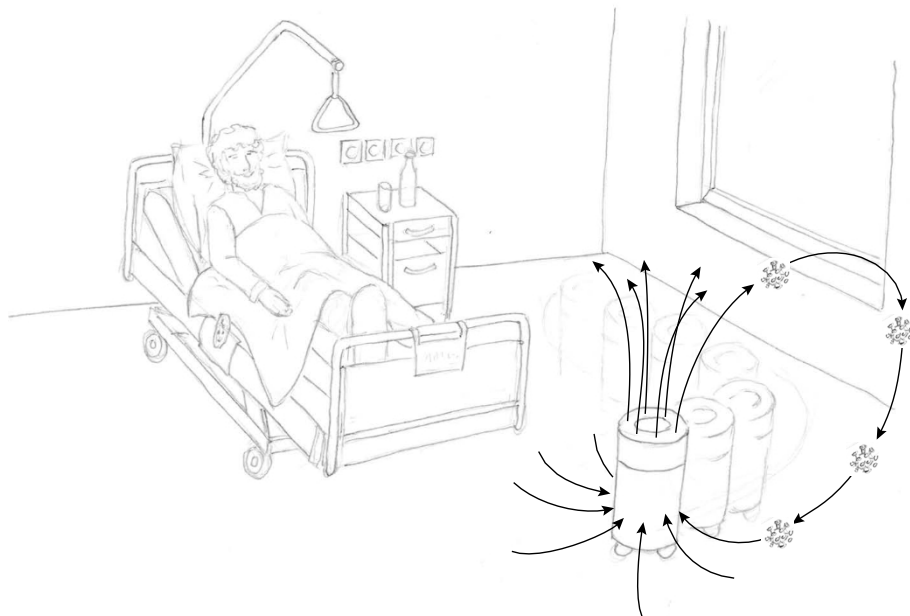
对于气流速度为每秒一米的排风系统，需要一条长达三十米的、装有UV-C灯管的排风管道。然而，您根本找不到这样的系统。配备UV-C灯管的通风设备和空气净化器，其长度通常很少超过一米。因此，可以非常简单地计算出，在这些设备中，随空气传播的细菌和病毒暴露在UV-C辐射下的时间有多长：在这种系统中，辐射只有一秒钟的时间来作用于病毒和细菌。对于消毒而言，这段时间远远不够。

因此，仅仅将UV-C灯管安装到通风设备或空气净化器中是不够的，而且在大多数情况下也没有实际意义。那么该怎么做呢？

一种方法是让空气反复流经紫外线-C灯管区域至少半分钟，以达到足够长的照射时间。

实践案例：消毒机器人

医院中新开发的消毒机器人基本上就是这样运作的。这些设备是在疫情期间研发的，可用于病房。它们会自动驶入病房并净化室内空气。为此，它们先吸入空气，然后将其重新吹出。在此过程中，空气会受到紫外线照射。这一过程会在该房间内持续重复一定时间。您可能已经猜到了，这样就能确保消毒作用时间至少达到三十秒。



只有当同一批空气以“持续循环”的方式流经消毒机器人（简化示意图）时，其中所含的医院病菌才能被紫外线-c（uv-c）辐射消灭。

病房中的消毒机器人

图26

不过，只有在封闭空间内，机器人才能在一定时间内反复吸入同一批空气、进行紫外线照射并将其排出，该过程才能顺利进行。相反，如果是在通风良好的房间内，新鲜空气被送入，而受污染的废气被抽出，情况则完全不同。

时间不够

即使是简单的小型室内空气净化器，吸入、净化并排出空气的过程也仅需一秒左右。因此很明

显，在这种紧凑型

空气净化器中，绝不可能仅通过紫外线-C（UV-C）照射就对空气进行杀菌。时间根本不够用。

使用悬浮颗粒过滤器

通过安装悬浮颗粒过滤器，可以提高紧凑型室内空气净化器的性能。这些是高性能过滤器，能够过滤空气中非常微小的颗粒以及病毒和细菌。结合紫外线-C（UV-C）照射——只要照射时间足够长——就可以杀死附着在过滤器上的病毒和细菌。

辅助设备：悬浮颗粒过滤器

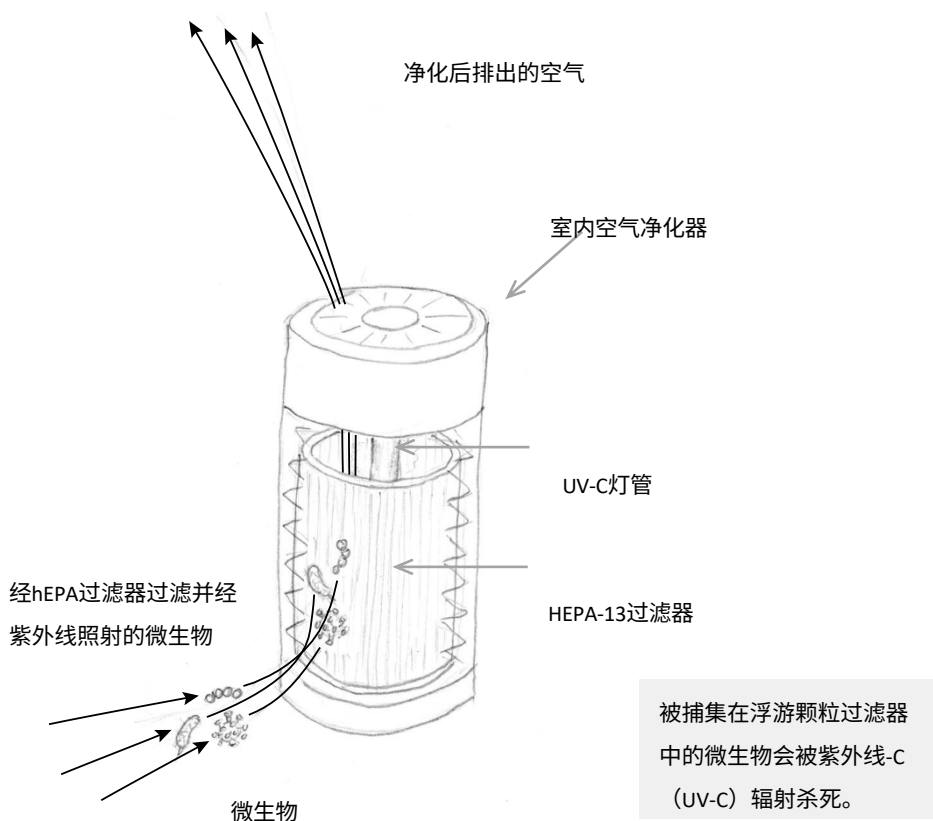


图27

还有许多类似的例子。归根结底，关键始终在于让合适的紫外线辐射作用于病毒和细菌足够长的时间，以充分破坏其遗传物质并阻止其繁殖。只有通过彻底杀灭，才能实现真正的灭菌。从更科学的角度来看，这一事实可以概括如下：

*只要辐射强度足够高且作用时间足够长，就会对
病毒和细菌产生致命作用。*

辐射强度因素

辐射强度取决于灯管，更准确地说，取决于其每平方米照射面积的功率。使用的功率（以瓦特为单位）越大，所需的照射时间就越短。如果使用低功率的紫外线C LED灯，每盏LED灯的功率只有几瓦，则需要相应较长的照射时间。两者的相互作用原理相对简单：辐射功率越高、照射时间越长，消毒效果就越显著——反之亦然。

现在让我们来谈谈如何从排气中去除油污和油脂，以及紫外线-C辐射如何在此过程中发挥作用。仔细考察这个问题时，我们会发现通风技术和空气净化领域中最大的误解之一。不过，这与其说是误解，不如说是一个谜团，可以用以下问题来描述：

4.2. 紫外线c（UV-C）辐射能去除气溶胶吗？

如果相信许多通风技术制造商的说法，情况确实如此。人们常声称，UV-C灯管发出的紫外线能够去除排气流中的油和油脂。这一“谜团”在商用厨房通风系统中尤为盛行。据一些制造商称，能够让厨房通风系统保持无油脂状态的，与其说是第二章中介绍的气溶胶分离器，不如说是UV-C系统。

如前所述，空气中的油脂既可能以气溶胶形式存在，也可能以气化形式存在。

误解

UV-C辐射能清除空气中的油脂。

许多制造商声称，在厨房排风系统中安装合适的紫外线-C系统，能够从气流中分离出所有这些形式的油脂，并使厨房通风系统完全不含油脂。

听起来很棒，对吧？遗憾的是，迄今为止，这些所谓的“突破性”空气净化特性从未在具有一定科学依据的层面上得到过任何一次证实。

我们现在已经知道，利用紫外线-C（UV-C）辐射可靠地消除细菌和病毒是多么复杂的一件事。而利用紫外线辐射从空气中清除由油脂形成的空气悬浮颗粒和微滴，则又是完全不同的另一回事！

这首先体现在这些空气污染物的尺寸和特性上：病毒的体积比油性气溶胶小许多倍。此外，病毒和细菌不会轻易蒸发或被其他方式分解。紫外线会严重损伤它们的遗传物质，使其无法再繁殖并最终死亡。

在净化含油和油脂的废气时，有人声称这些油污会因此完全溶解并消失——至少那些夸夸其谈的承诺是这么说的！这究竟是怎么做到的呢？

误解

脂肪会通过光解完全分解。

关于这一话题，制造商们提出了各种天马行空的说法。例如，据称专用紫外线灯能够通过光解作用分解空气中的油脂污染物。据称，油脂含量可减少95%，且油脂会被转化为最终产物：氧气、二氧化碳、水以及粉尘状残留物。

若追问此类说法是如何通过测量技术进行记录和验证的，总会听到这样的回答：“我们就是这样观察到的！”或者“我们安装这类设备已有多年，一直观察到这种现象，我们不可能看错！”

在大多数情况下，根本没有任何测量技术、测量记录，也从未有过任何研究能哪怕在某种程度上支持这些说法和观察结果。这些承诺和保证仅以数十年的经验和自身的观察为依据，而据称在如此漫长的时间里，这些经验和观察不可能是错误的。

实践案例：尾气排放值

大众集团在柴油发动机研发方面同样拥有数十年的经验，并确信自己绝不会在发动机尾气排放值上出错。

这种过度的热忱从何而来？为什么如此多的商用厨房通风设备制造商都在使用这项技术？

因为这是一项极其有利可图的生意。采购这些管道毫无难度，将其集成到排气系统中对任何稍有经验的电工来说都轻而易举，因此只需付出微乎其微的努力，就能让厨房通风系统的价值提升数千欧元！

误解

无论如何，使用紫外线都能提升厨房通风系统的价值。

然而，这里有一个问题：系统真的得到了升级吗？油脂能否可靠地去除95%？用户通过这项额外投资是否真的获得了可持续的附加值？

要严肃地回答这个问题，就必须审视事实。只有这样，我们才能尝试回答上述问题。为此，我们将列出关于这些误区的所有可靠事实：

1. 紫外线系统必须产生臭氧

只有当使用正确的紫外线-C灯管时，紫外线-C系统才能对商用厨房排气中的油脂产生影响。这些灯管必须能够发射波长小于200纳米的紫外线辐射。只有

。其关键在于，波长在185纳米范围内的紫外线不会被这种玻璃过滤，因此能够顺利释放。这是产生臭氧的基本前提。

2. 臭氧的作用是氧化油脂

因此，只要使用正确的灯管并采用正确波长的辐射，就能在通风系统中产生臭氧。臭氧对于对油脂以及许多其他物质产生作用至关重要。然而，它是一种非常强的氧化剂。正因如此，它对健康有害，甚至被怀疑具有致癌性。不过，在厨房排气中，可以尝试利用它来氧化油脂。但我在此特意强调：这只是“可以尝试”！

来自美国的研究报告

美国最近的研究表明，虽然臭氧对油脂确实具有氧化作用，但效率并不高。油脂仅被部分氧化，而关于“油脂可以被完全清除”的说法并未得到这些研究的证实。恰恰相反！鉴于臭氧具有极高的潜在危险性，这反而引发了一个问题：在该类系统中生产臭氧，对环境的危害是否反而大于其带来的益处！相关研究报告由美国采暖、制冷与空调工程师学会（ASHRAE）于2020年发布，题为《研究项目1d14：确定UVC系统对商业烹饪废液的处理效果》。

3. 前期有效的油脂去除

由于臭氧对油脂的影响微乎其微，因此厨房排风系统应将重点放在通过过滤器和分离器对排风进行收集、抽吸和净化上，从而使排风中的油脂得到最大程度的去除。此外，如果排风气味浓重，那通常是由于蒸发的

油和脂肪的蒸发有关。为此——且仅为为此——可以在有限范围内使用产生臭氧的紫外线C（UV-C）系统。但在此过程中，绝不能忽视此类系统的潜在危险性。

厨房抽油烟机中紫外线辐射的合理应用

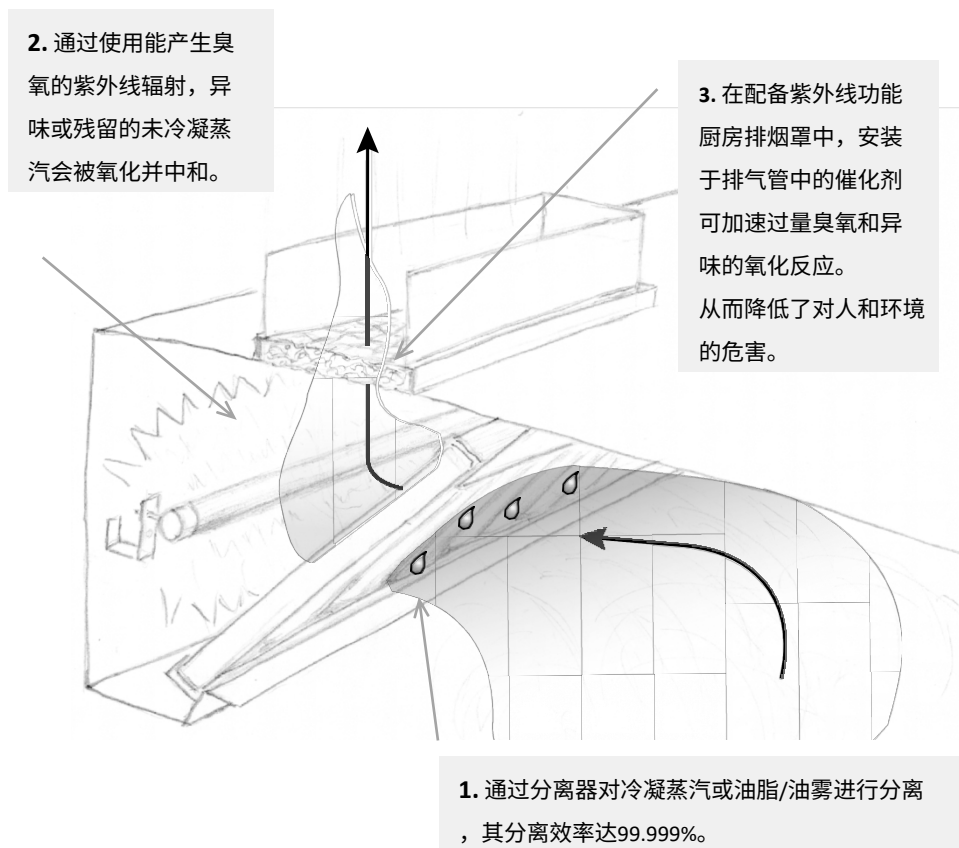


图28

4. 臭氧具有潜在致癌性

通过辐射产生臭氧的紫外线C（UV-C）设备具有很高的潜在危害，但商业厨房的使用者很少被提醒这一点，更不用说接受关于如何避免健康风险的详细指导了。如前所述，这种辐射会损害病毒和细菌的遗传物质。然而，这种遗传毒性作用不仅限于病毒和细菌，也影响暴露于该辐射中的人类。产生的臭氧是一种有害健康的气体，且被怀疑具有致癌性。

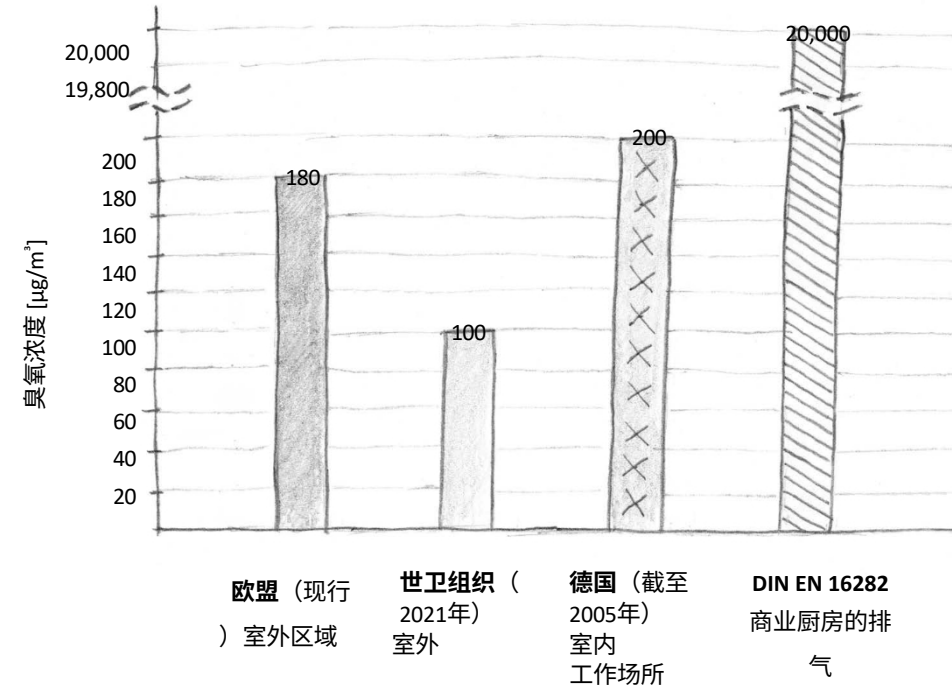
正因如此，德国现已取消了所有室内臭氧浓度限值。在城市中，当室外臭氧浓度过高时，甚至会定期发布臭氧警报。当浓度较高时，会建议民众不要在室外进行体育锻炼，并尽可能待在家中。然而，在通风技术和空气净化领域的许多技术解决方案中，恰恰使用了会产生此类危险气体的辐射。

实践案例：厨房通风

我本人曾多次亲历这样的情况：厨师们向我提起他们厨房抽油烟机滤网后方的荧光灯管，并对此是否仍在正常工作感到不确定。当我告诉他们及其厨房工作人员，这些并非普通荧光灯管，而是会产生危险辐射并释放有害健康气体的紫外线C（UV-C）系统时，我不止一次看到他们脸上流露出极度惊恐的表情。

以上是事实的罗列，这并非详尽无遗，当然还可以补充一些内容。

臭氧限值



欧盟：每日1小时内的最大暴露量（1小时平均值），若超过该值，将向公众发布通知



世卫组织（WHO）：每日8小时内的最大暴露量（8小时平均值）



DE（有效期至2005年）：每日MAK（工作场所最大允许浓度）。自那时起，德国已不再对室内工作场所设定臭氧限值，因为臭氧被怀疑对人体具有致癌性。瑞士仍沿用200 μg的MAK限值。



根据DIN EN 16282标准，厨房排气罩排出的废气中臭氧的最高限值为20,000 μg。这相当于德国工作场所限值的100倍（有效期至2005年）！或者相当于世界卫生组织（WHO）规定的室外环境8小时平均限值的200倍！

图 29

例如，测量技术就是另一个问题。您根本无法想象，有多少制造商在销售产生臭氧的系统，却没有合适的测量技术来测定这种危险臭氧气体的浓度。

误解

油脂之所以被忽略，是因为（采用特定技术）无法对其进行测量。

也有一些制造商利用合适的颗粒物测量技术，声称能够提供可追溯的证据，证明所有油脂已被清除。在这些情况下，通常只需进行一次简单的温度测量即可。为什么？在某些系统中，排气管道或厨房抽油烟机内安装了数十根紫外线-C（UV-C）灯管。这些灯管在运行时会变得非常烫，从而加热整个周围空间。这会导致大量油脂蒸发。

5. 如何使气流可视化?



2020年疫情爆发之初，我们在德国观察到一种“引人入胜”的趋势。不仅紧凑型室内空气净化器的供应量突然激增，德国境内还突然涌现出数百名通风专家和空气动力学专家。成千上万张展示开放式办公室或教室内气流分布的示意图应运而生，并被广泛传播。这些图示有什么共同点？它们色彩鲜艳，且布满了箭头。这些箭头大多指向放置在房间角落的空气净化器，据称该设备能清除室内空气中的病毒和污染物。

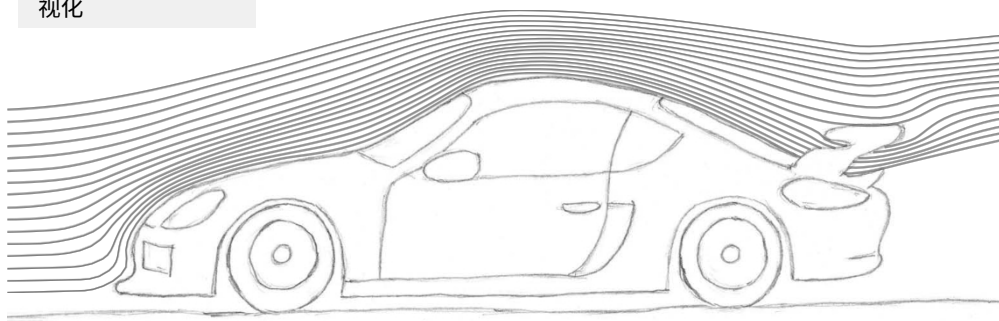
其实从第一章起，我们就知道“吸入”空气是一件极其复杂的事情——仅凭这一点，就应该很清楚：角落里的空气净化器根本无法将教室或开放式办公室内的全部空气吸入。无论有多少色彩斑斓的箭头指向空气净化器，空气都不会流向那里（见图5）！

因此，这些五颜六色的图表中，绝大多数展示的不过是纯属虚构的气流，与现实毫无关系。那么，如何确定并可视化这些气流的实际路径呢？

气流分析的基础研究

柏林工业大学的赫尔曼-里切尔研究所（hermann-Rietschel-Institut）正在就此课题开展广泛的基础研究。关于气流分析及通风措施的有效性，该研究所的代表表示：“为了评估室内空气更新和污染物排出在整个空间以及每个具体位置的运行效果，我们采用所谓的‘通风有效性’指标。该指标可通过数值流场模拟和/或测量技术来确定。在我们所有的项目中，我们都运用这些方法来评估室内气流，并开发新型高效的通风方案。”

赛车空气动力学可 视化



在飞机和赛车制造领域，流场模拟早已广为人知。如今，气流的计算和可视化技术也被应用于室内空气技术的优化中。

气流可视化

图 30

这对我们意味着什么？因此，我们需要进行流场模拟并采用相应的测量技术。这正是我们在前几章中已经提到的内容，例如在气溶胶过滤或UV-C技术方面。这种方法如何应用于气流模拟？

5.1. 关于气流的彩色小图所引发的误解

那些布满箭头的彩色图片既不是数值流场模拟的结果，也不是基于复杂测量系列所得的数据。

在大多数情况下，这些只是对气流的随意臆想，与实际情况毫无关系。因此，它们完全是凭空捏造的，甚至连现实的影子都没有！

误解

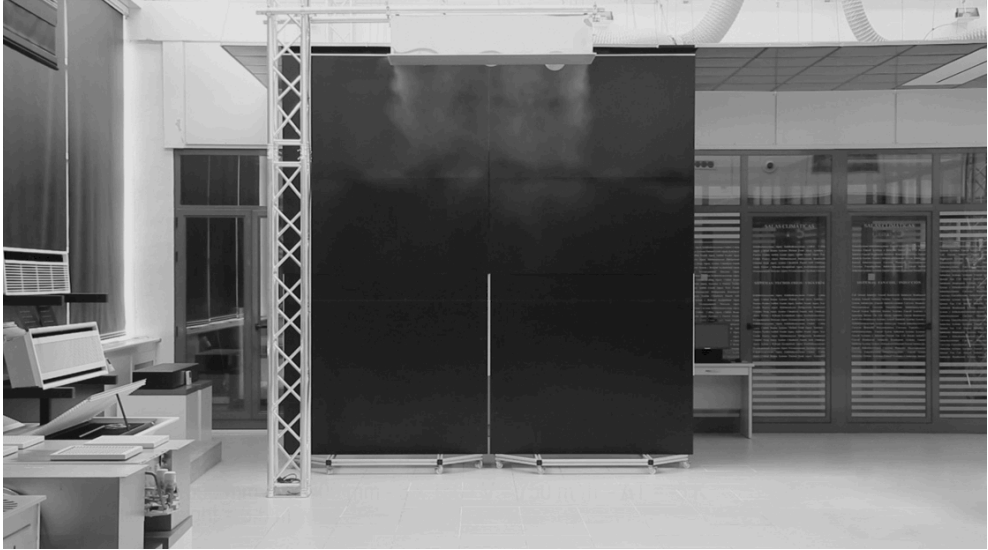
气流的路径是可以预测的。

通风技术领域中的一个普遍存在的误解，就是人们往往过早地认为自己能够预先知道空气将如何流动。在第2章中，我们已经指出了这种误解在产品开发过程中可能导致哪些错误的解读和错误的结论。因为就连我们团队也曾犯过这个错误——那是在开发我们的X-CYCLONE®技术的时候。

SchAKO CFD 技术中心

在我们的SchAKO集团内，甚至专门设立了一支负责流场模拟和测量技术的团队。我们在西班牙的SchAKO IBERIA公司建立了一个CFD技术中心。该团队主要致力于完成柏林工业大学赫尔曼·里切耳研究所所精辟概括的这一任务！在我们的CFD技术中心，我们借助数值流体模拟和合适的测量设备，将气流可视化。

SCHAKO实验室在行动



用于可视化送风流场的测试装置一瞥

图 31

误解

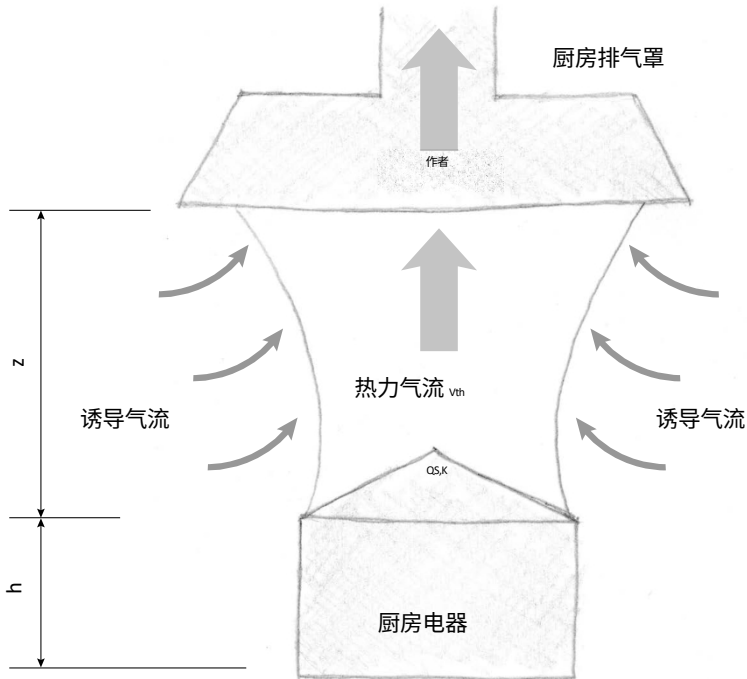
可视化模型与现实相符。

标准和指南也往往基于与“彩色小图”中的示意图相同的错误观念。商业厨房通风指南（如 VDI 2052）以及在欧洲范围内适用的国际标准（如 DIN EN 16282）中，同样包含带有彩色箭头的示意图。这些图示展示了厨房的烹饪设备以及从该设备流向厨房抽油烟机的气流。其他指向室内的箭头则旨在表示新鲜新风流入厨房的气流。这些箭头通常以笔直的垂直或水平箭头绘制，暗示着气流被精准地划分开来。

从烹饪设备垂直向上延伸、直达厨房抽油烟机的箭头，旨在表示被直接从该处抽走的空气——这里不得不让人质疑，这与现实情况究竟有何关联？与实际的气流情况显然几乎毫无关系。这其实是一种旨在展示烹饪设备上方热气流的模型。这种热力学现象会形成一股向上流动的气流。该气流会被烹饪设备上方的厨房抽油烟机捕获并抽走。这就是VDI 2052准则中的模型。毫无疑问，这是一个可以推导出许多结论的模型。例如，用于确定所需排气量的设计和计算方法就是基于该模型的。借助这些模型，可以计算出根据所使用的烹饪设备，一台厨房抽油烟机至少需要多少排气量。

到目前为止，一切尚可。然而，常导致误解和曲解的是，人们往往认为这种流场模型与现实相符。遗憾的是，事实通常并非如此。

厨房排风系统的简化流场模型



根据VDI 2052指南的流场模型所作的示意图：

图示及箭头方向并不反映各气流的实际行为或真实路径

图 32

气流的实际路径及其意义

正如我们之前所了解的，传统的厨房抽油烟机和集气罩只能在非常有限的范围内直接抽走向上流动的烹饪油烟。这些油烟往往会在传统的集气罩内积聚，而无法被立即抽走。因此，最初被

5. 如何使气流可见？

捕获的油烟甚至可能会从抽油烟机中重新逸出。

因此，上述指南中的气流模型仅在非常有限的范围内反映了气流的实际行为。其他指南和标准中的模型也是如此。与所有自然科学模型一样，在此情况下，精确定义模型的框架——即准确界定其适用范围——也至关重要。如果将该模型视为普遍适用的，并将其理解为对实际情况的真实再现，将会导致根本性的误解！这些误解最迟会在进行专业且规范的CFD模拟时显现出来。

。

5.2. CFD模拟使气流可视化！

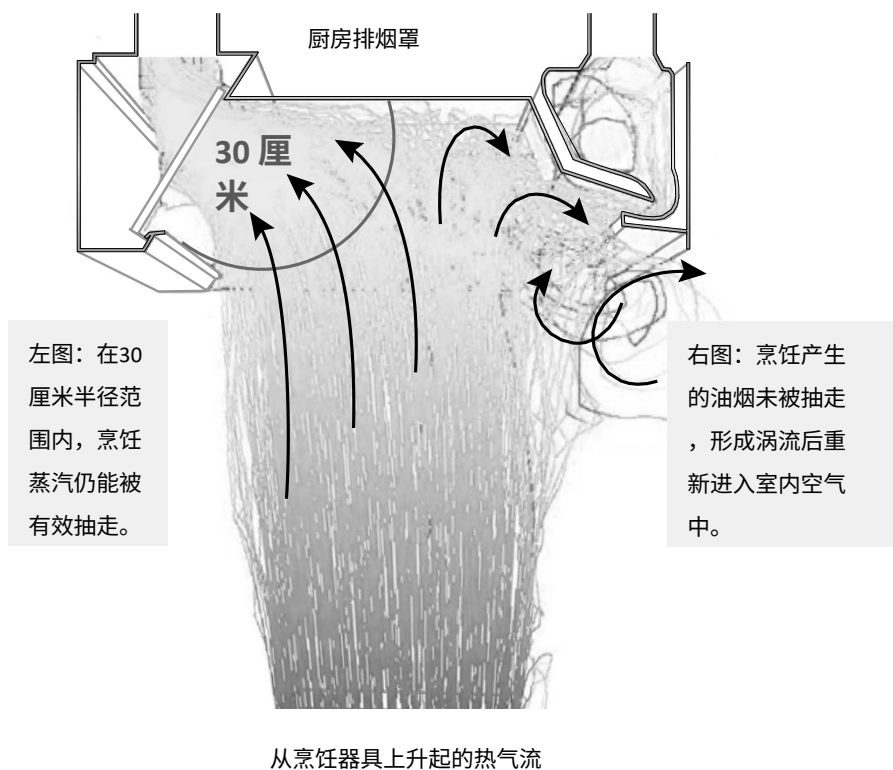
制作精良的CFD模拟能够展示气流在整个区域内的所有物理参数。因此，也可以借此展示并验证通风系统的功能和效率。在第1章中，我们已经详细说明，传统的集气罩只能在吸气口周围一个非常有限的范围内直接抽走向上流动的蒸汽。距离过滤器和吸气口仅50厘米处，我们便无法通过测量检测到任何抽吸效果。在CFD模拟中，这一点非常容易识别，通过分析气流可以发现，蒸汽也会从厨房抽油烟机中逸出。因此，最初被厨房抽油烟机捕获的蒸汽和气流最终还是会逸出，并未被有效抽走！

误解

厨房抽油烟机能将所有上升的油烟抽走。

这一观察结果驳斥了该模型的假设，即所有从烹饪设备向上流入抽油烟机的空气都会在那里被立即抽走。关于如何应对这一问题，以及基于这些发现需要进行哪些产品开发，我们已在前几章中有所了解。

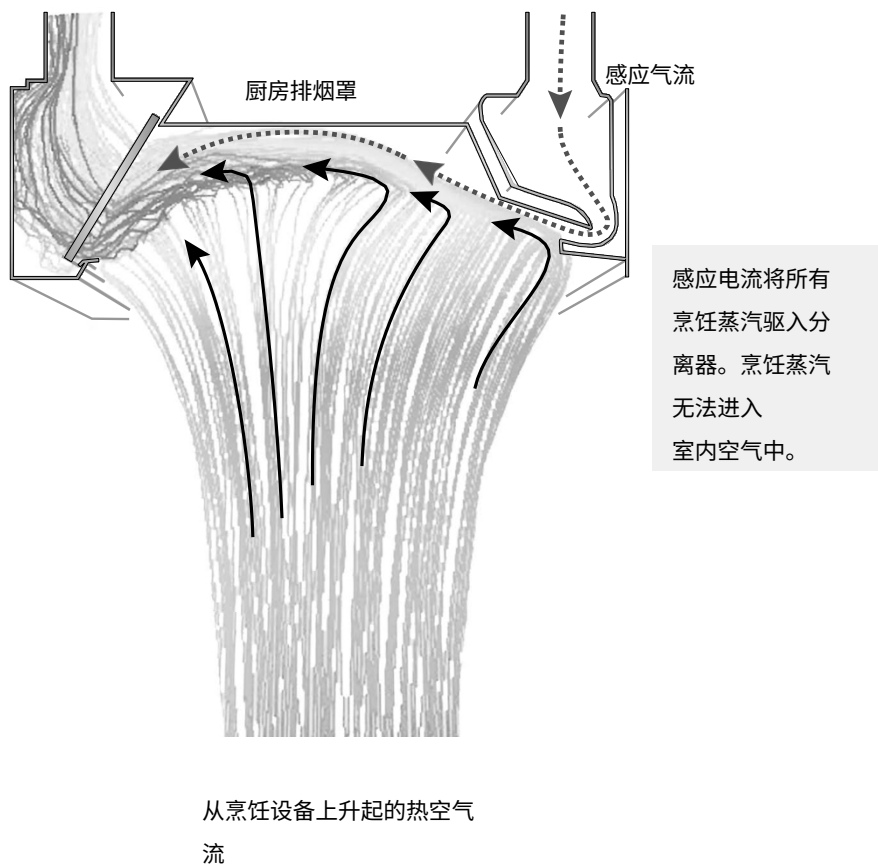
无感应电流的厨房排气罩的CFD流场图



通过这项针对我们某款厨房抽油烟机气流的CFD模拟，可以清楚地看到，当烹饪强度较高时，抽油烟半径范围外的烹饪蒸汽会形成涡流，并重新进入室内空气中。

图33

厨房排烟罩的CFD流场图 (带感应电流)



CFD模拟展示了感应气流的效率。

图34

因此，在本章中，我们同样可以看到，当前在通风技术和空气净化领域存在着多少误解。关于REVEN有限公司过去也曾存在此类误解，我此前已作过说明。作为本系列文章的结尾，这里再

举一个例子：5. 如何使气流可见？

在工业领域，采用所谓的“源式送风技术”向室内输送新鲜空气并不罕见。这是一种低强度的新鲜空气引入方式。也就是说，新鲜空气通常以较低的流速从细密的穿孔金属板上流入室内。此类源流式送风系统非常适合对舒适度要求极高的场所，因为较低的流速能确保新鲜空气以平稳且无气流感的方式进入室内。理想情况下，还会形成所谓的“分层气流”。在此过程中，新鲜空气不会与室内空气发生剧烈混合，而是得益于这种巧妙的引入方式，室内空气会形成由新鲜未消耗空气以及已消耗或污染空气组成的不同气层。在理想情况下，这些不同的空气层之间的相互影响和干扰应尽可能小。如何在实践中实现这一点？许多制造商通过类似于VDI指南模型中那些带有大量箭头的漂亮“彩色图示”来解决这个问题。

大约20年前，我们REVEN也曾陷入该模型带来的谬误之中。当时，我们设计了新型送风产品，其中集成了多层金属板。这些是穿孔板，即带有数以万计小孔的金属板。它们的作用是使气流趋于均匀。

我们认为，这样可以使新鲜气流呈扇形扩散，从而均匀而缓慢地“涓涓流淌”进入室内。这可以类比为淋浴喷头：来自水管的强劲、集中的水流被均匀分散，随后以较低的压力从淋浴喷头流出。

实践案例：源空气系统——我们的假设

基于这一原理，我们大约在20年前开发了REVEN®源空气系统，因为我们的团队百分之百确信，此类系统只会将非常细微的新鲜空气“涓涓流淌”进入室内，在室内形成与污浊排气明确分隔的层流，且这两股气流绝不会相互影响。正如前文提到的许多

模型中描绘的那样：漂亮的蓝色箭头显示了新风如何沿直线流入室内，并在那里形成一层新鲜空气，同时不会干扰红色箭头所示的排气，从而使排气能够不受干扰地流入集气罩，并在那里被直接收集和抽走。

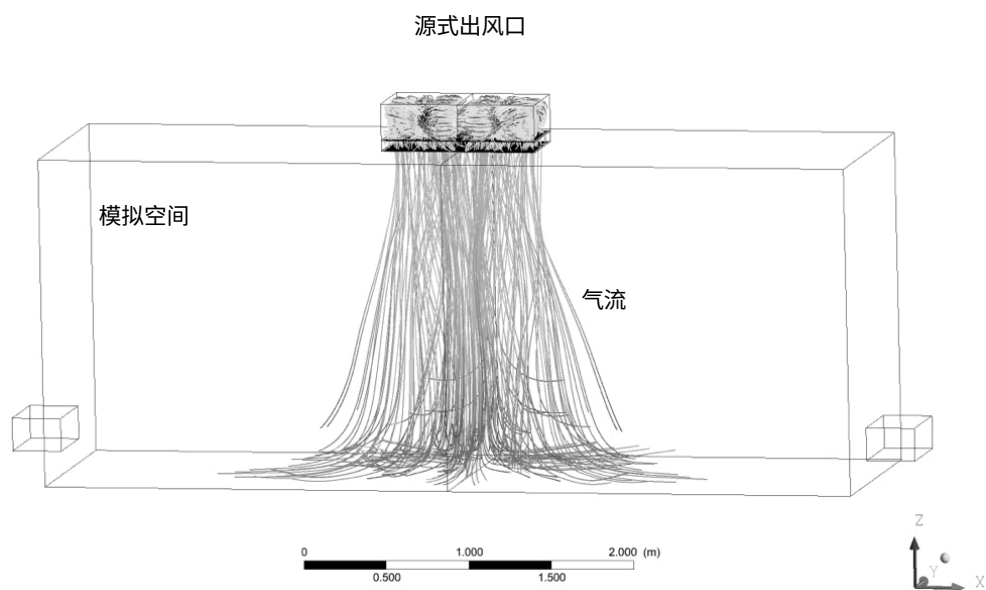
实践案例：源风系统——疑虑

我还记得2017年向西班牙SCHAKO CFD团队的一位专家介绍我们的源风产品时的情景。我借助许多配有箭头的精彩彩色小图，向他详细讲解了我们的送风产品具备哪些功能。当他仔细查看我们的设计并分析相关设计图纸后，心中产生了疑虑，这很快浇灭了我的乐观情绪。“斯文，我们必须进行模拟和测量，我对此有些怀疑，不确定情况是否真的像你刚才向我解释的那样。”我还能说什么呢？他果然是对的！

实践案例：源风系统——现实情况

当那位技术人员向我展示他的首批CFD分析结果时，我简直惊得目瞪口呆。空气刚流过最后一块穿孔板不久，涌入的新鲜空气就呈扇形扩散开来，形成的流场与那种从天花板直冲地面、边界分明的气流层恰恰相反。我简直不敢相信CFD分析中呈现的景象。随后，这位技术人员还在流体实验室对我们的旧送风喷口进行了测量分析，并借助烟雾机使气流可视化。这项实验得出的结果与CFD分析完全一致。至此，我也终于意识到，我们在REVEN公司犯了一个巨大的错误！

我们喷口风口的CFD分析



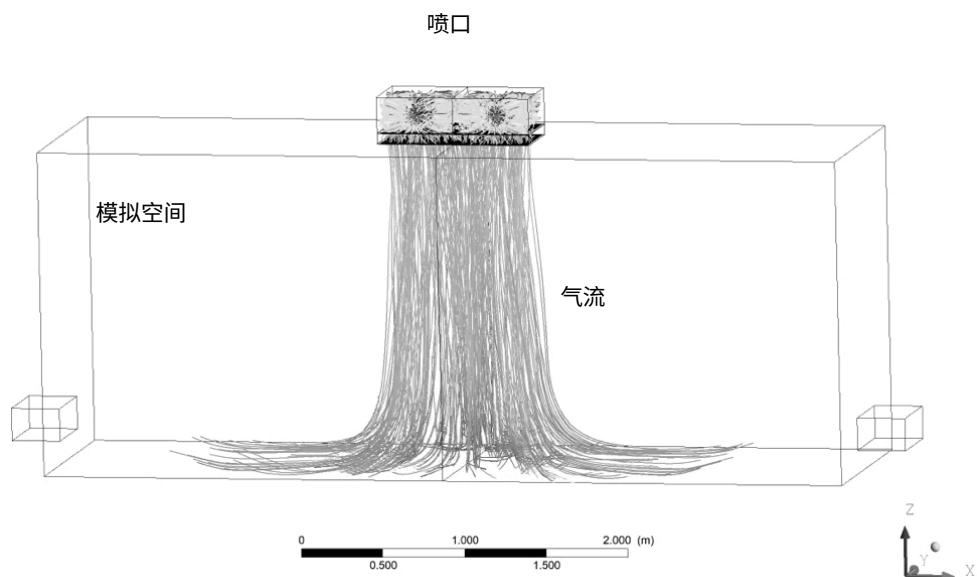
该CFD模拟展示了从天花板流入的新风的扇形扩散过程。

图35

实践案例：源风系统——借助CFD实现优化

秉承“知危则避”的理念，我们于2017年开始着手做那些从一开始就该做的事情。我们借助CFD模拟和测量技术优化了新风产品的效率，最终达到的效率水平确实非常接近那张彩色示意图中——蓝色箭头从天花板向下指向地板的示意图。

源头出风口的优化

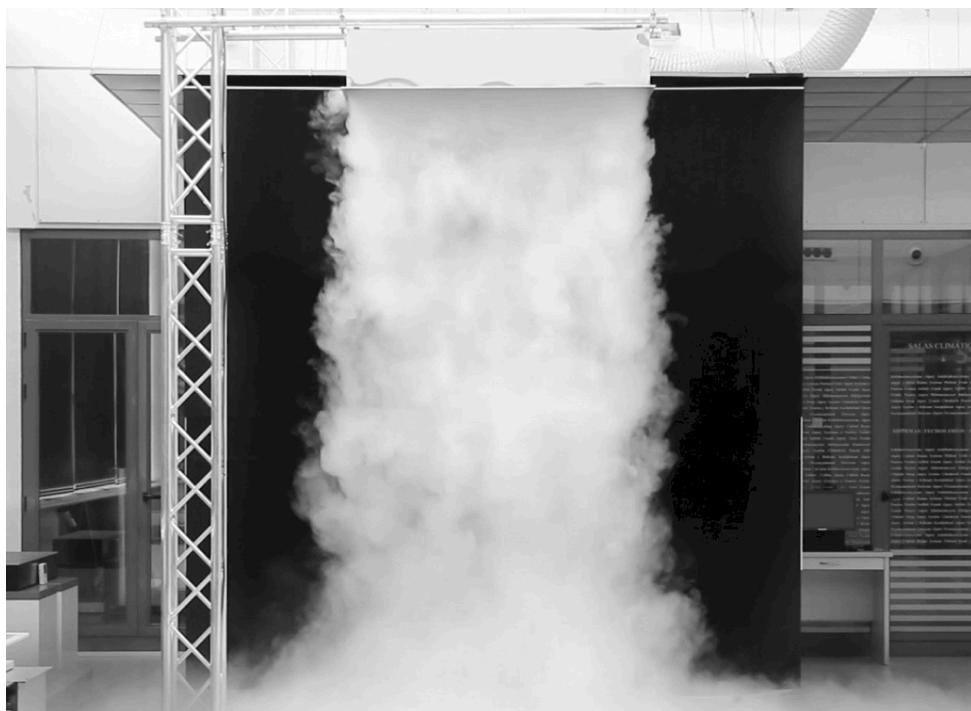


CFD模拟显示了送风如何从天花板直线流向地面。

图 36

但为了实现这种气流分布，我们进行了约12个月的工作，期间进行了大量CFD分析和气流模拟。最终，我们成功打造了一个真正高效的送风系统，完全消除了各种误解。非常感谢SCHAKO CFD团队！

高效送风系统气流可视化展示



在SCHAKO实验室中，通过烟雾机使送风可视化。可以看到，送入的空气正轻柔地向下流动。

借助CFD分析对源式风口进行的优化取得了显著成效。

图37

6. 如何测量空气污染

?



多年来，人们普遍认为污染的空气对健康有害。在疫情期间，我们了解到携带病毒的空气对健康有多么危险。因此，我想在此列举一下可能导致空气受到污染的物质。空气污染物包括但不限于：

1. 病毒和细菌

2. 细颗粒物、真菌孢子和花粉

3. 气体和蒸汽

颗粒物和气溶胶

根据世界卫生组织（WHO）的信息，空气污染对人类健康造成的负面影响在全球范围内最为严重。因此，美国于1987年制定了所谓的PM标准。PM代表颗粒物（Particulate Matter），指空气中固体或液体颗粒所占的比例。这些固体或液体颗粒通常是气溶胶的组成部分。因此，气溶胶是空气与颗粒物的混合物。在这方面也常存在误解，且这些术语常被混淆。

误解

气溶胶是“颗粒”的另一个说法。

仅悬浮在空气中的颗粒物本身并不构成气溶胶，只有与周围空气结合后才会形成气溶胶。因此，PM10这一术语指的是空气中直径为10微米（0.01毫米）及以下的微小颗粒。相比之下，人类头发的直径约为50至80微米（0.05至0.08毫米）。需要注意的是，这些悬浮的PM10颗粒既可能由固体粉尘颗粒组成，也可能由微小的液态油滴组成。简而言之，气溶胶总是由气体（通常是空气）和悬浮在空气中的固体或液态颗粒组成。

气溶胶的大小与组成

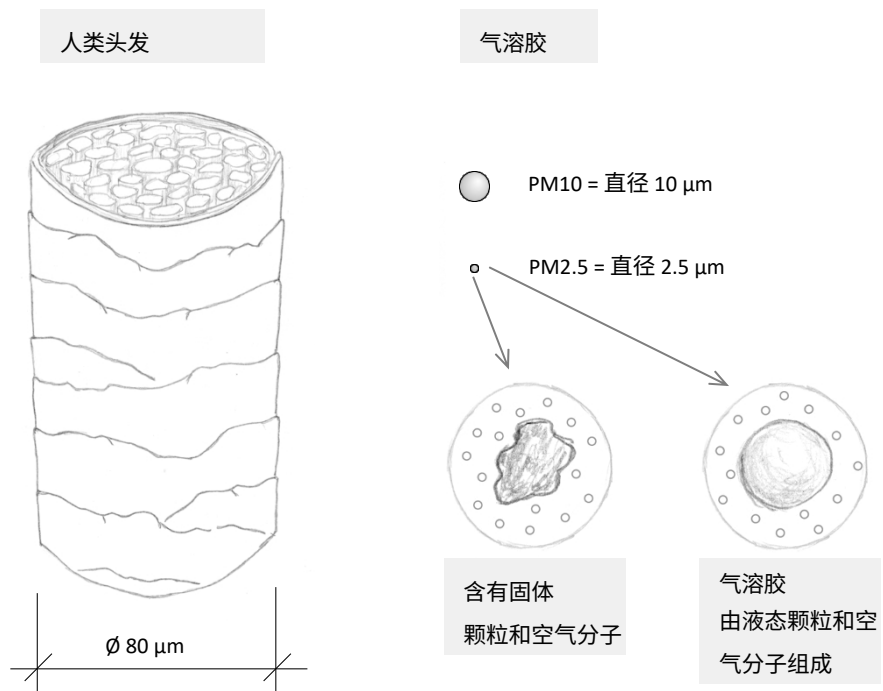


图38

此处的PM10或PM2.5指的是颗粒的大小。该数值表示颗粒的直径（单位为微米）。在此也要再次提醒，请注意避免产生误解！

误解

根据PM数值可以推断出颗粒物的实际形状和大小。

直径的标注实际上默认颗粒呈球形。但这怎么可能呢？灰尘颗粒、沙粒、病毒以及所有其他空气污染物难道总是呈球形的吗？当然不是！这些颗粒往往具有截然不同的形状！

PM值与各颗粒物的对应关系

那么，所有这些颗粒物又是如何通过PM10、PM2.5或PM1的直径来定义的呢？这要借助一个技巧：只需将具有任意几何形状的实际颗粒，与具有球形几何形状且在空气中表现与实际颗粒相同行为的颗粒进行比较。在此过程中，不仅会考虑颗粒的流动行为，还会考虑其扩散行为和密度。研究人员会寻找在这些方面与实际颗粒物表现出相同行为的球形颗粒。因此，具有相同流动和扩散行为的球形颗粒即可被定义为PM10、PM2.5或PM1。通过这种方式测定的直径在科学界也被称为空气动力学直径。

颗粒物的种类、形状和大小

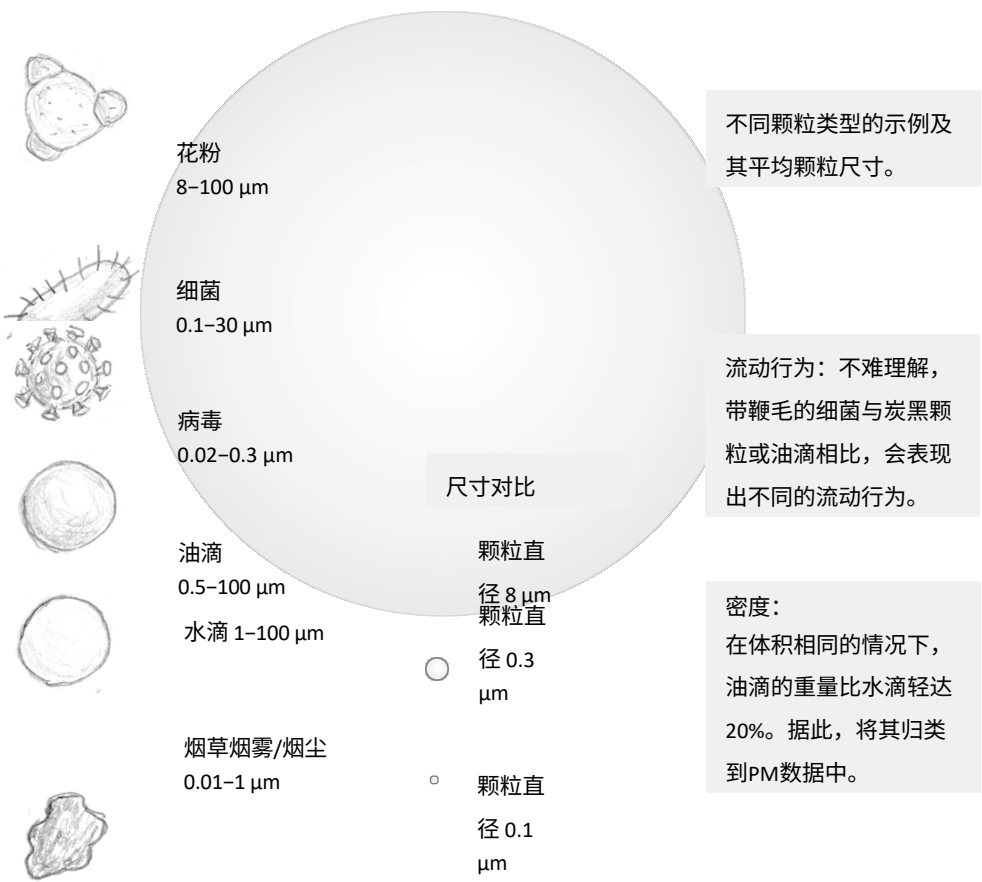


图39

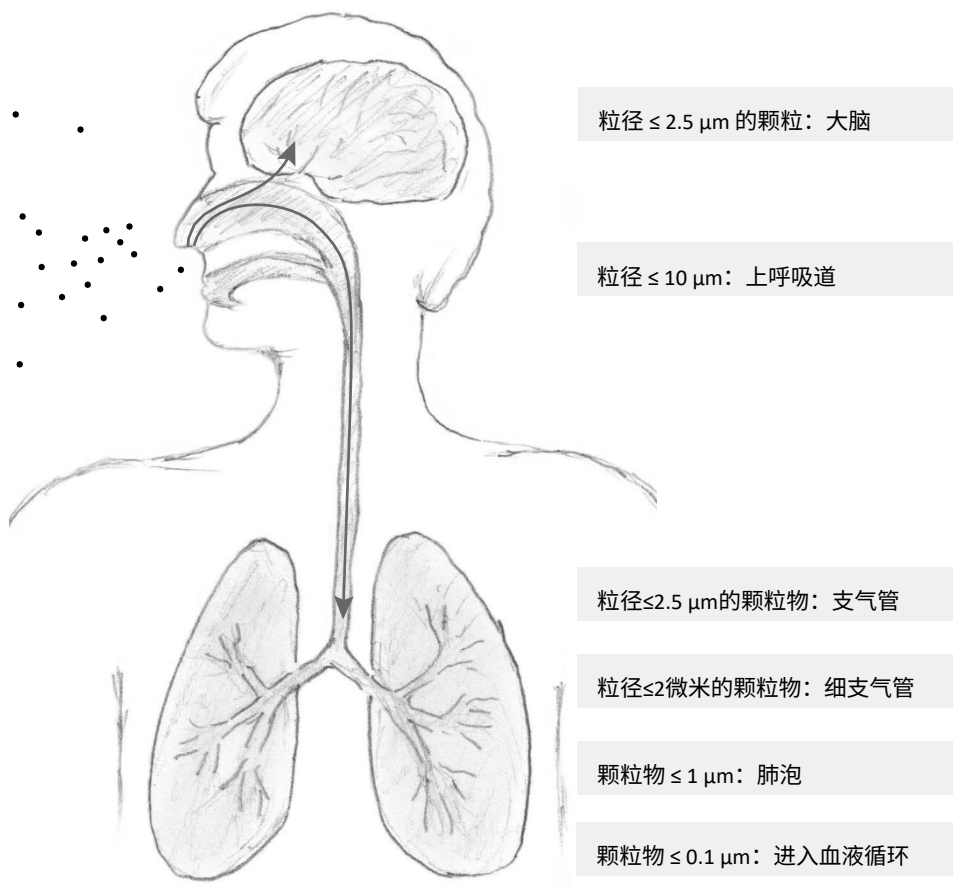
PM10颗粒物可被吸入

1987年美国制定空气污染标准时，最初开始研究PM10范围内的空气污染，即直径为10微米及以下的颗粒物。为什么选择这个尺寸范围？因为吸入时，该尺寸的颗粒物无法被口腔和鼻腔过滤和阻隔，从而进入肺部。

PM2.5颗粒物可进入肺泡

如今，这一范围已进一步缩小至PM2.5。在此，健康保护同样起到了决定性作用：直径小于2.5微米的颗粒物甚至能渗透到我们的肺泡中。如果空气污染物能侵入我们身体的最深处，那么不难想象它们会对我们的健康造成何种负面影响。

通过吸入摄入颗粒物



目前已有充分证据表明, PM₁₀颗粒物会损害上呼吸道, 而PM_{2.5}颗粒物会损害下呼吸道。最新研究表明, 小于 2.5 μm 的颗粒物, 可直接通过嗅神经或血液循环进入大脑, 从而影响大脑功能。

图40

最近，在我新推出的播客《空中邮报》中，一位受访者对此一语中的：

“我们在室内生产环境中吸入的，往往是那些不属于我们身体、也不应该进入我们体内的物质！”

但在通风技术和空气净化领域，对此也存在着巨大的误解！

6.1. 关于室内空气质量的误解

在该行业从业二十余年后，我仍然不解：为何人们对室内空气质量存在如此严重的误解。出于难以解释的原因，人们总是理所当然地认为，室内空气质量尚可，且不存在显著污染。

误解

室内空气质量通常是安全的。

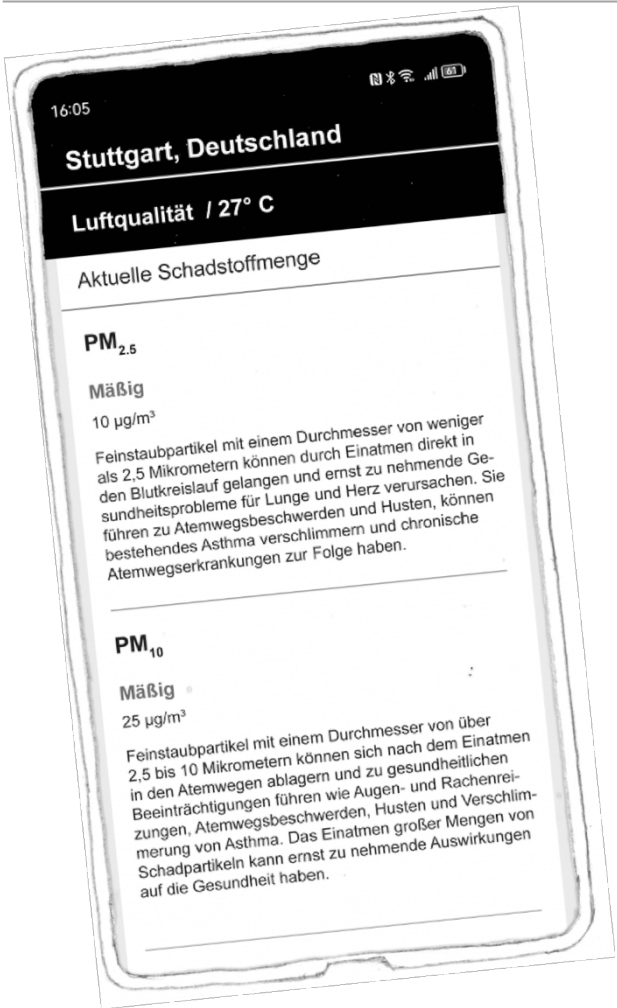
十多年来，我们一直致力于普及这一主题的知识，却鲜有人倾听。我们常常看到人们脸上流露出的惊讶神情，这表明他们并不太愿意相信我们的论述！为什么会这样？我们究竟想阐明什么？归根结底，这其实是一个相当简单的问题，即对比德国大城市处理空气污染的方式与处理室内空气污染的方式。

大城市中的细颗粒物监测

在德国的大城市里，当PM10细颗粒物的浓度在较长时间内超过50的限值时，人们就会谈论空气污染，并考虑实施限行措施。为了确定具体数值，会在城市中的某个监测点测量每立方米空气中含有多少PM10细颗粒物。

再简单说明一下：取一立方米的城市空气样本，借助合适的测量技术，可以测定该立方米城市空气中直径为10微米或更小的细颗粒物数量。根据颗粒物的直径可以计算出其体积，结合密度可以确定其重量，再根据测得的数量，即可计算出一立方米城市空气中污染物的总重量。该总重量以微克为单位表示。

室外空气质量的重要性



从当今天气应用中对污染物的详细列举中，可以看出空气质量的重要性日益凸显。这些应用会显示所选城市的实时数值，并附有关于污染物可能造成的影响的说明。

以2023年7月14日的斯图加特为例

16:05 **PM10: 25**

µg/m³ PM2.5: 10

µg/m³

图41

当前室外空气污染限值

例如，如果总重量为20微克，根据世界卫生组织（WHO）的标准，这属于轻度空气污染，因此空气质量尚可。例如，欧盟的细颗粒物指令规定，PM10细颗粒物的日均值应为每立方米城市空气50微克，且每年超过该限值的天数不得超过35天。

全球范围内降低限值的努力

目前，全球范围内正在就进一步降低这些限值（例如将细颗粒物浓度降至每立方米40微克）展开讨论并付诸行动。此外，全球范围内也越来越关注PM2.5颗粒物，而非PM10颗粒物。以上是关于大城市的现状。

室内空气污染

那么，相比之下，室内情况又是怎样的呢？也就是那些例如用于烹饪，或者现代机床加工金属工件的房间。

实践案例：室内测量

我们REVEN GmbH公司定期对室内空气污染进行监测。我们是如何做到的？正是采用之前在城市中心监测中描述过的相同测量技术和方法。我们会测量每立方米室内空气中的污染物颗粒数量，例如在生产车间或大型酒店厨房中。

通过这种方式得出的结果会显示一个空气质量指数，例如10,000、50,000或100,000。这些数值与城市中的情况完全不在同一数量级！我们甚至曾向客户展示过高达500,000的测量结果！这意味着，一立方米的室内空气中含有多达500,000微克的污染物颗粒！而在生产车间中，这种情况确实并不罕见！

机械制造领域的官方限值建议

即使查阅相关准则和标准，也能清楚地看到如此高的污染物浓度并不罕见。因此，官方准则对机械制造行业提出了以下建议：

对于金属加工以及玻璃和陶瓷加工中使用的水溶性冷却润滑剂，每立方米室内空气中此类物质的限值为10毫克；对于闪点低于100摄氏度的非水溶性冷却润滑剂，限值同样为10毫克。

这10毫克相当于大城市空气质量指数（AQI）的10,000！如果斯图加特市中心连续一周测得如此高的数值，那么白天那里恐怕连一辆汽车都不能行驶，而且全国各地的媒体都会对此大肆报道。

污染物颗粒物（PM10）限值对比

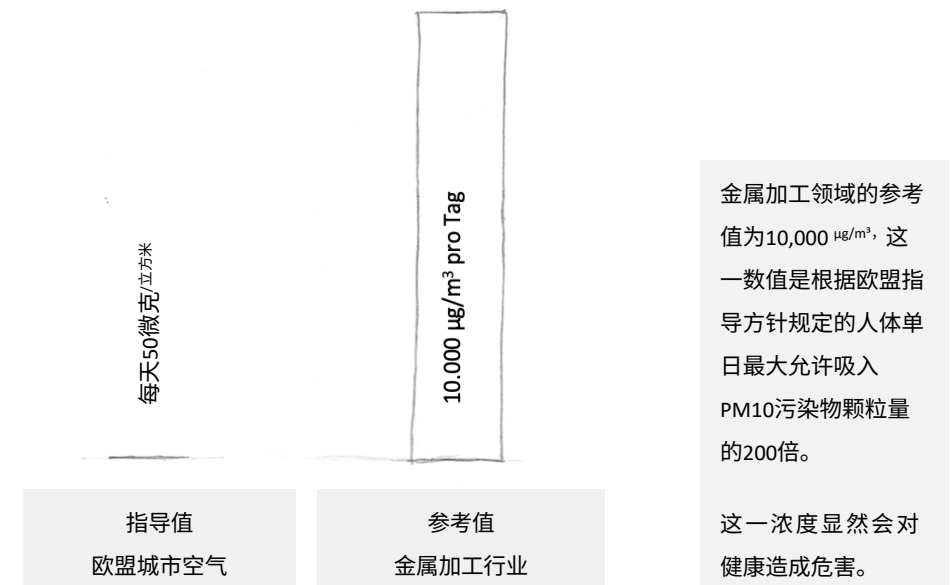


图42

相比之下，如果在一家机械制造厂或酒店厨房中测得此类空气污染，几乎没人会在意。就连这些行业的利益代表也并未对此给予太多关注。恰恰相反——尽管心知肚明，这些状况却被刻意掩盖，因为解决这些问题需要花费资金。

测量结果对员工的重要性

再次提醒：欧盟《细颗粒物指令》规定，城市空气中PM10细颗粒物的日均浓度应为每立方米50微克，且每年超过该限值的天数不得超过35天。

如果在一家机械制造企业中测得上述10毫克的数值，这意味着该企业的员工每年约有200个工作日必须在污染物浓度最高达10,000微克的环境中工作。

实践总结

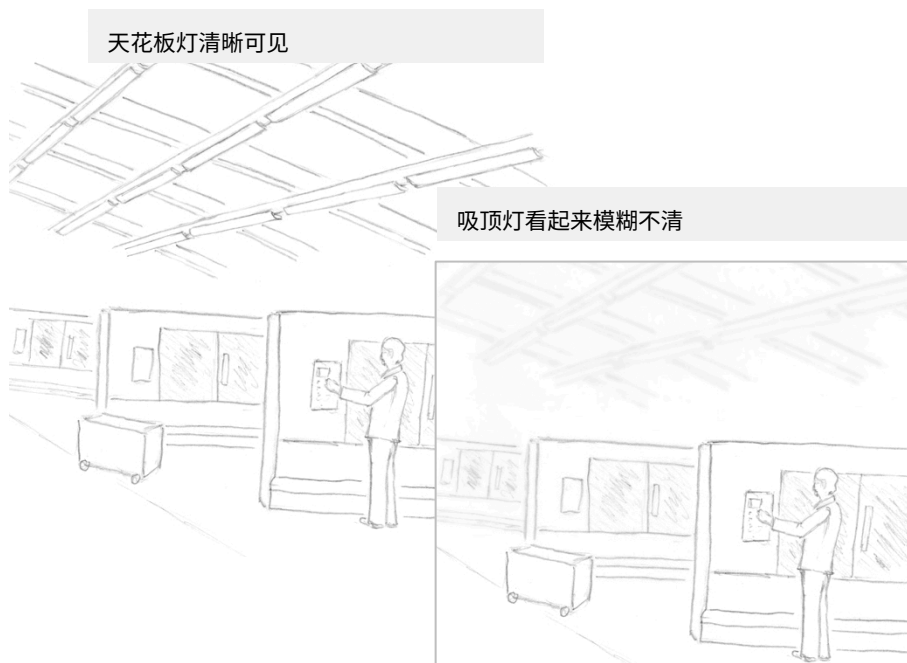
在过去的20年里，我们在全球范围内进行了数以万计的室内空气污染测量。测量地点涵盖各类生产场所，这些场所生产的产品种类繁多，所用原材料也各不相同。然而，在所有测量中，我们反复观察到以下现象：

只要空气是肉眼可见的，我们测得的一立方米室内空气中的污染物浓度就超过了10,000微克。

一种评估空气质量的简便方法

今后，您或许可以自己评估空气质量！当您身处生产车间时——无论是在酒店厨房，还是食品工业或机械制造领域的生产车间——如果您发现该空间内的空气不再清澈，而是让人联想到秋日的晨雾，那么该空间的空气污染物浓度至少达到每立方米10,000微克。最简单的判断方法是朝房间的照明灯看！如果您能清晰地看到灯具的轮廓，且灯具周围的空气是透明的，那么一切正常。但一旦您无法再清晰辨认灯具，因为灯具周围形成了一层弥漫的雾气，那么您可以确信，该房间的空气质量指数已达到10,000左右！

空气质量的简易评估



如果房间内的吸顶灯无法清晰辨认，则空气污染程度非常高，约为 $10,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

图43

室外与室内空气质量评估之间的差异

这一与德国市中心备受热议的空气污染情况的对比，凸显了室内空气质量评估中的差异——当话题涉及室内环境时，这种差异往往会引发人们的惊讶和困惑。我们经常被问到：这种差异究竟该如何解释？

我们认为，这种差异根本无法解释。尽管相关负责人试图做出各种解释，但这些都只是为了规避迫在眉睫的投资需求而编造的牵强借口。

根本没有人“意识到”这会给所有相关方带来哪些风险。那些在室外被视为严重危害健康的微小颗粒物浓度，在室内达到室外浓度的200倍时，竟然仍被视为可接受的？未来，谁将对这种危害负责？

通风设备制造商亟需转变思维

作为通风系统和空气净化器的制造商，我们也必须正视这一问题！为什么？因为即使在我们这个行业，也有数百家面向商用厨房或机械制造企业的通风系统制造商，他们甚至不具备最基本的测量技术，无法对这类空气污染进行哪怕最初步的测量和分析。

然而，与此同时，他们却在销售号称能为室内通风并清除室内空气中有害物质的空气净化产品。

厨房通风标准 DIN EN 16282

目前，针对商用厨房通风系统已有一项“厨房通风标准”——DIN EN 16282，该标准在欧洲几乎普遍适用。正如我们在前几章所学到的，该标准要求在大厨房中，必须对所有污染物进行捕集、抽吸，并随后将其从排气流中分离出来。

如果这两项工作——即有害物质的捕集与抽吸，以及将其与排气流分离——都能顺利完成，那么就拥有了

- a) 便拥有了一套真正优质、现代化且高效的通风系统，
- b) 室内空气质量优良，污染物浓度极低。

实施情况缺乏核查

现在我想问您：您认为在新安装的商用厨房中，有多少会在投入使用时接受符合标准的检查？

频率是否与新车标称油耗的检测频率相当？还是与新热泵的耗电量检测频率相当？

在1,000套新安装的商用厨房通风系统中，接受此类检查的不到十套！

实践案例

我曾多次遇到这样的情况：当业主坚持要求进行此类检查时，竞争对手会联系我们，请求我们代为进行测量，因为他们自己并不具备必要的测量设备！

臭氧——气体污染的一个例子

在气体导致的空气污染方面，我们面临着非常相似的情况，并观察到了同样的现象。我将以臭氧为例来阐明这一点。关于臭氧的潜在危害，我们在第4章中已经有所论述。在许多欧洲国家，室内臭氧的限值仍被设定为每立方米室内空气最多200微克。这曾是德国迄今为止的限值，但现已废除。而在瑞士，该限值仍然有效。根据德国研究协会（DFG）对致癌物质的分级标准，臭氧被归类为研究尚不充分的物质，但被怀疑可能导致人类患癌。

显示室外臭氧浓度较高的天气应用



在天气应用中，污染物浓度最高的数值会排在首位。
其中，臭氧以104 µg/m³的数值位居榜首。该浓度超过了世界卫生组织（WHO）建议的8小时平均值（见图29）。

以2023年8月20日霍耶斯韦尔达为例
上午9:55

o₃: 104 µg/m³

图44

臭氧——室外限值

关于室外限值及健康风险，联邦环境署提供了相关信息。该机构警告称，空气中的臭氧可能导致肺功能下降、呼吸道炎症反应以及呼吸道不适。现行

城市空气中臭氧浓度限值为每立方米180微克。该数值被称为“信息阈值”。若浓度超过此值，将通过媒体向公众发布行为建议和预警。当城市空气中每立方米臭氧浓度达到240微克时，即超过警报阈值并触发警报。此外还需注意，室外臭氧浓度在日历年内最多不得有25天超过每立方米城市空气120微克的8小时平均值。

厨房通风领域的臭氧限值

然而，目前厨房通风领域的专家仍将每立方米空气中20,000微克的臭氧浓度列为允许限值。这一信息同样源自欧洲标准DIN EN 16282——该标准由包括许多国家行业协会在内的各方共同制定。若有人对此存有恶意揣测，那可真是太刻薄了！

该标准明确规定，商用厨房排气中的臭氧浓度不得超过10 ppm。在气压为1013百帕、温度为20摄氏度的条件下，该标准中规定的10 ppm臭氧浓度几乎正好相当于每立方米空气中20,000微克臭氧的限值（见图29）。

臭氧——不言自明的差异

我认为，本例中展示的室内与室外空气质量评估之间的差异本身就说明了一切，无需进一步赘述。实际上，在此情况下，每个人都应该清楚该怎么做，即无论是在室内还是室外，都要彻底避免臭氧的形成！

然而，为了实现这一目标，必须通过测量技术对空气污染进行监测和分析。关于如何实现这一点，稍后将详细说明。

6.2. 颗粒物测量让空气污染“可见”!

使用哪种测量技术可以检测空气中的污染物? 又该采用哪种测量技术来验证通风系统的效率?

其实这并不复杂, 第3章中已经进行了说明。为了精确测定空气中的污染物浓度, 建议采用

- a) 颗粒物和气溶胶测量技术, 以及
- b) 火焰离子化检测器 (FID)

关于FID测量仪, 我们在第3章中已进行了详细介绍。颗粒物和气溶胶测量仪早已成为洁净室领域的标准技术。几十年来, 无论是在医院的手术室, 还是微处理器生产车间, 在通风系统投入运行时, 都会使用颗粒计数器来验证其功能。归根结底, 这只是为了简单而直接地证明: 此类洁净室的室内空气确实纯净, 且不含任何微小颗粒。颗粒计数器正是为此而设计的。

颗粒物的测量原理

颗粒计数器通过复杂的光学系统和激光束, 能够分析室内空气中是否存在微小颗粒。在此过程中, 不仅会统计颗粒的数量, 还会同时检测颗粒的大小, 即测定其空气动力学直径。

便携式颗粒计数器

便携式、电池供电的颗粒计数器，
配备散射光测量和数据记录功能，
用于实时测量气溶胶质量

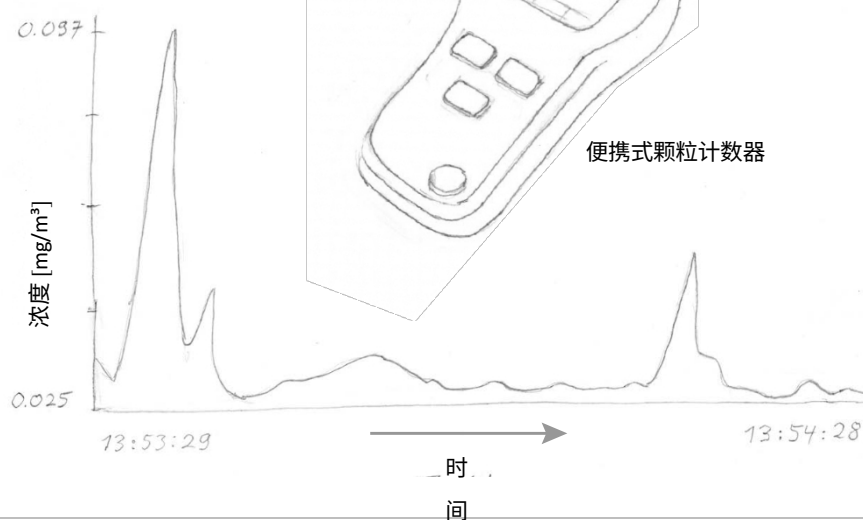


图 45

颗粒物测量技术必须根据具体情况进行调整

与洁净室一样，在生产车间、商用厨房或机械制造厂中，也可以对室内空气进行分析并测定颗粒物的存在情况。原则上，这采用的是完全相同的操作方法，但有一个重大且关键的区别：

与洁净室相比，颗粒物的数量存在巨大差异！在洁净室中，主要检测的是室内空气中是否存在 PM10 颗粒物；而在厨房或生产车间，则需要测量每立方米室内空气中颗粒物的数量。此时，颗粒物的数量往往是

比洁净室高出数万倍甚至更多！颗粒物计数器必须适应这些条件，或者必须选择正确的测量技术。

实践案例：通过空气稀释法进行颗粒物测量

25年前，当我们在这种颗粒物浓度极高的环境中首次进行颗粒物测量时，曾尝试使用传统的颗粒物测量仪，因为当时几乎没有更合适的测量技术。可以想象，由于颗粒计数器完全无法应对如此高的颗粒浓度，这些最初的测量结果往往无法验证、无法追溯，且质量极差。最初的改进方案是待测空气进行定量稀释。也就是说，通过适当的稀释步骤，将待测空气与纯净的无颗粒空气按1,000:1的比例进行稀释。随后使用传统的颗粒计数器对稀释后的空气进行测量，并将结果按1,000倍进行换算。与此同时，颗粒计数器的持续改进使得设备后来对极高的颗粒物浓度不再那么敏感，测量结果也变得越来越精确。

现代设备确保了精确的测量

如今的颗粒计数器甚至能够以数十年来洁净室中惯用的同等精度，分析颗粒物浓度极高的室内空气。该行业只需真正重视这种精确测量，并愿意投资于现代测量技术即可。

测量次数严重不足

截至目前，在德语区的厨房通风市场中，几乎只有寥寥数家制造商在新通风系统投入运行时采用此类测量技术。

遗憾的是，这绝非误解！

人们往往理所当然地认为通风系统能达到最佳运行状态，却未提供任何测量依据

。

通风系统的正常运行、对空气中污染物的采集和抽吸效率，以及从气流中分离和过滤污染物——所有这些都默认并视为理所当然。人们往往抱着“总会有办法，应该没问题”的心态。大多数人并不真正想知道实际情况是否如此，更不愿通过分析和记录来确保透明度。

要实现最佳空气质量，测量技术必不可少

在之前的章节中，我们已经详细阐述了通风技术中诸如集气与抽排、过滤与分离以及新鲜空气补风等任务的实际复杂性。正因如此，为了证明室内空气确实不含污染物，测量技术是必不可少的。没有理由不定期使用这种测量技术。

臭氧空气净化器缺乏测量证明

同样，借助合适的测量设备，也可以对臭氧等危险气体进行测量。但即使在这种情况下，也表现出了与上述颗粒物测量技术相同的态度：在成千上万的臭氧空气净化器供应商中，您几乎找不到一家能够借助合适的测量技术向您提供证明，表明其产品产生的臭氧带来的危害不会超过其益处。

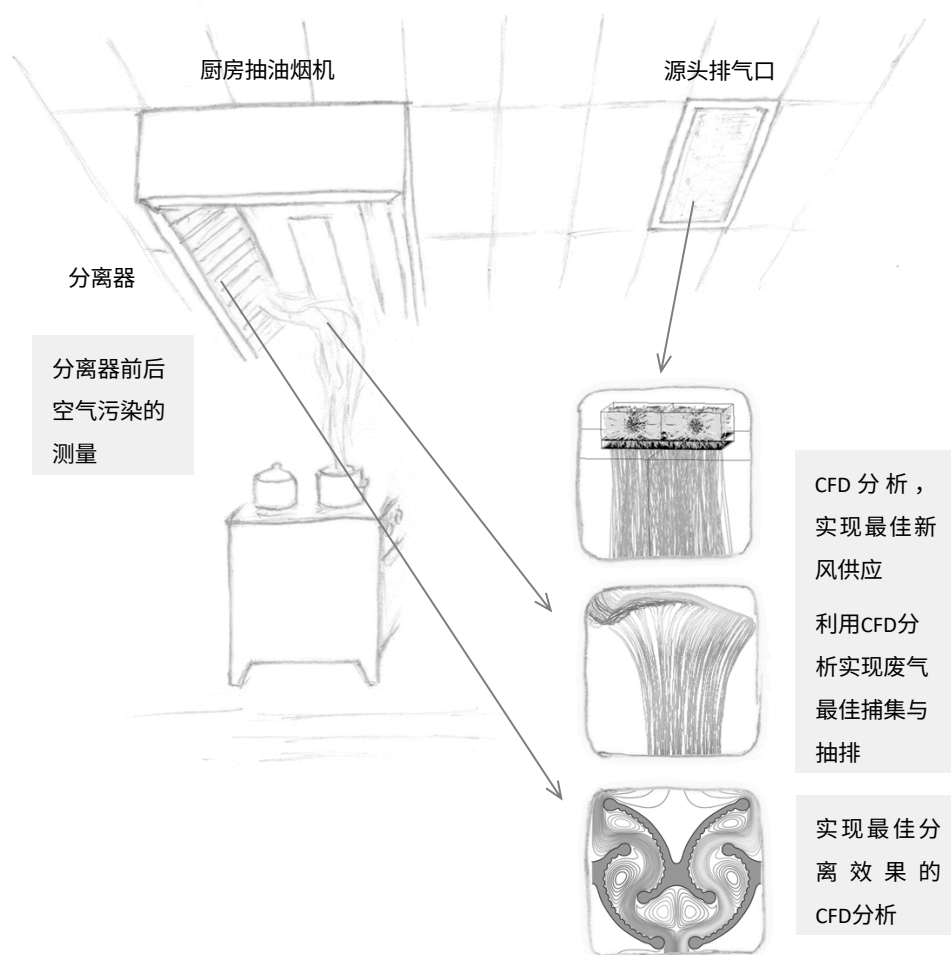
可靠的通风技术必须以科学为依据

正如前几章所述，这再次表明，通风技术和空气净化领域的可靠产品开发必须基于科学依据。

设计精美的宣传册中那些夸夸其谈的承诺，在我们行业中往往会让人产生误解。请务必保持警惕，并对这类承诺进行质疑。

结论

希望我的这些提示能让您对这一主题提高认识，并为您提供一些有价值的信息。至此，我们完成了整个系列的探讨——从第1章中关于高效收集和抽排的内容，到第6章中用于测定通风技术与空气净化效率的合适测量技术，我们已全面探讨了所有相关内容。



Rentschler REVEN 采用科学方法对厨房通风系统的功能进行检测和优化。

具有科学依据的通风技术

结语

您现在已经阅读了本书的所有章节，这些内容最初源自我们的播客

《通风技术与空气净化中的误解》中摘录的。希望这些内容能为您带来一些启发。最近，一位同行对播客的内容提出了批评。他认为内容过于肤浅，原本对我抱有更高期待。正如前文所述，我的初衷是让通风技术与空气净化相关的话题通俗易懂，并尽可能保持趣味性。我无意撰写一篇学术论文。通风行业的话题属于小众领域，大众对此并不感兴趣。因此，对我来说，向行业外人士简单易懂地解释这些误解至关重要。希望我做到了这一点。

本书正是基于该播客内容撰写的。书中还补充了大量有趣的插图，以直观的方式佐证各项信息。

我非常重视让我们的行业对年轻一代产生吸引力，因为空气质量控制是一个重要议题，未来也将如此。因此，我们应当以审慎的态度和强烈的责任感来对待这一议题。

今后，我们的销售同事将随身携带这本书；当您与他们讨论新项目、新流程和新规划时，他们很乐意为您提供一本，以便更清晰地阐释各项主题。因为我们希望大家能够真正理解我们的技术和产品！

为了感谢我们播客的听众，我们将免费赠送这本新出版的书。

与我们的图书项目同步，我们还推出了一档新播客节目，名为《空中邮报》。



这一新播客系列聚焦于健康空气。我将介绍那些致力于空气净化和通风技术领域的人士和企业。在此过程中，我将采访来自各行各业的从业者，并探讨相关技术。我之所以选择这个标题，是因为这个词所唤起的联想。过去，新闻和通知常常通过航空邮件发送。我希望在我的播客《航空邮件》中传递关于洁净空气和健康环境的最新资讯。

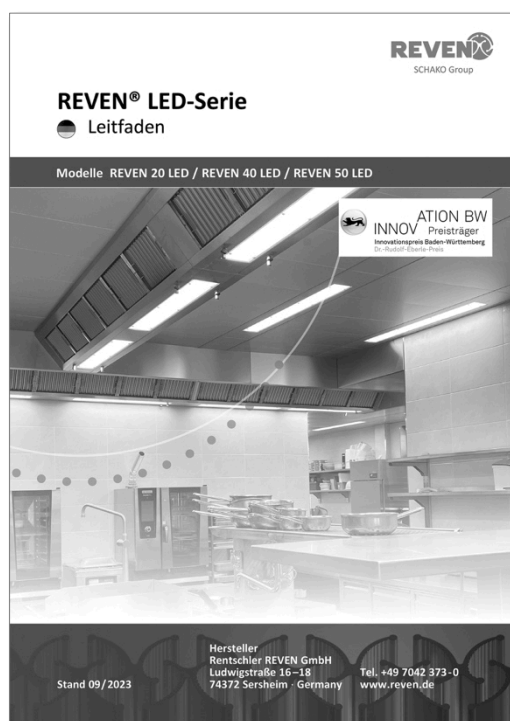
。

您可通过链接 reven.news/luftpost 收听，前几集已上线。

如果您本人是通风或空气净化行业的从业者，我们很乐意与您共同制作一期播客节目。为此，我也非常乐意亲自前往贵处。请通过marketing@reven.de 与我联系。

REVEN 带来的精彩内容

LED 灯具指南



人们往往低估了良好的照明对空间使用的重要性。

特别是在商用厨房中，正确的照明至关重要。因此，在规划时应充分考虑亮度、对比度和色彩等要素。在这方面，我们的照明管理系统具有显著优势。

在这份LED指南中，我们将阐述实现优质照明的关键因素，以及REVEN® LED灯具如何满足这些要求。

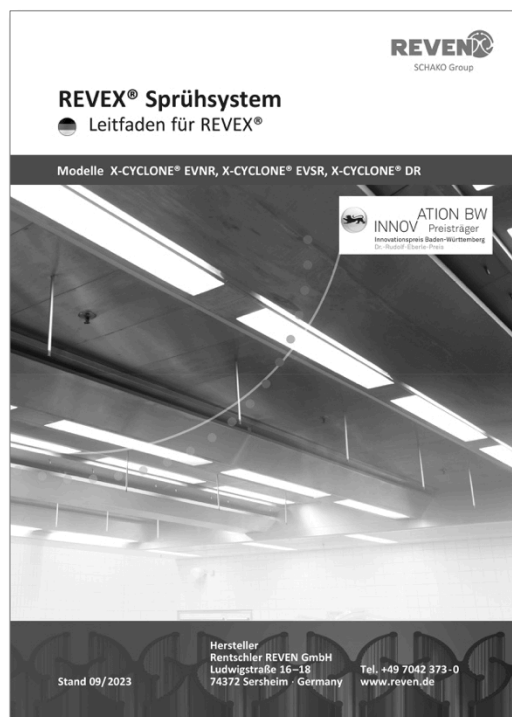
《RSc控制系统》手册



为了提高大型厨房通风系统的经济性，Rentschler REVEN 推出了智能自动控制系统 RSc。该系统能够根据烹饪活动的情况，无级调节新风和排风量，完全符合创新的“工业 4.0”标准。

在我们的宣传册中，您将了解安装 RSc 控制系统时需要注意的技术细节。

REVEX® 喷淋系统指南



过去，“厨房通风系统的清洁”这一话题往往未得到足够重视。

对商用厨房通风系统进行定期、专业且规范的清洁，不仅能确保系统正常运行，还能降低火灾风险，并防止系统内部微生物滋生。此外，这也有助于保护厨房工作人员的健康。

通风技术与空气净化中的误区

本书

版本

播客播出期间反响热烈，以至于将内容整理成书几乎是水到渠成之事。以下反馈足以说明一切：

“.....关于气流主题的播客让我对更多内容产生了浓厚兴趣.....”

“.....我想就这期有趣的播客《通风技术与空气净化中的误区》表示祝贺，并感谢您提供的信息.....”

“.....非常感谢这期真正引人入胜的播客。如果能推出后续内容，我将不胜欣喜。我从事通风技术项目管理的工作已有20多年，从中汲取了许多实践经验，对今后项目大有裨益。如果能与您合作建造下一套厨房通风系统，我将倍感荣幸.....”

“.....我想对您的播客表示祝贺。即使像我这样对该领域不太熟悉的人，也能非常容易地理解其中的内容.....”

“.....作为贵播客的忠实听众，我想借此机会预订那本宣布将于2023年出版的专业书籍。希望未来能推出更多围绕‘空气’这一主题的节目——空气是我们最宝贵的‘食物’.....”

● 通风

● 空调

● 制冷

