理性认识空调，尽快实现复工复产的安全生产环境

同济大学 沈晋明 刘燕敏

1. 引言

目前防控新冠肺炎疫情开始进入一个全新的阶段，全国各地开始陆续复工。由于此次疫情不同于 SARS，它波及的范围、持续的时间上来看，远超 SARS 期间，几乎涵盖了我国所有经济活跃和发达的省市，对经济的负面冲击会比 SARS 期间大很多。在进一步防控传染的同时，尽快地有序恢复生产，保证经济的正常运转是摆在我们目前紧迫任务。

就像重视疫情一样，必须高度重视保护产业生态、保护产业链和供应链、特别要保护我国的制造业，确保企业在安全卫生的前提下进行复工复产。

对此，我国在经济层面上出台了许多相关政策与法规，大力推动企业分类有序复工复产。本文只是重点探讨复工复产的企业如何运行与管理生产环境所配备的空调系统，助力企业尽快有效复工复产。

2. 新冠肺炎流行期间空调通风系统运行管理指南

对于空调通风系统的运行管理，上有国务院联防联控机制颁布的《新冠肺炎流行期间办公场所和公共场所空调通风系统运行管理指南》，下有各个学会与协会、各地政府的相关指南。这些指南基本原则是一致的，不外乎以下几点：

（1）停止使用不带新风的集中式空调系统；

（2）有新风的集中式空调系统应采用全新风运行，关闭系统所有的回风口，同时开启相应的排风系统，并适当开启外窗以确保通风有效性；

（3）有新风供给的风机盘管机组/多联机空调/分体式空调: 新风空调系统应全部投入正常运行，同时应开启相应的机械排风系统。对有可开启外窗的房间在使用过程中应使外窗保持一定的开度，尽可能地引入室外新风；

（4）无新风供给的风机盘管机组/多联机空调/分体式空调: 对可开启外窗的房间在使用过程中保持外窗一定的开度，尽可能地引入室外新风。

上述这些原则，无论开窗通风、全新风运行、关闭回风，还是甚至不惜停开空调，无非是最大程度防止空调引起的交叉感染，尽可能引入新风去稀释室内可能出现的病毒。

这次举国上下抗击新冠肺炎疫情的强大决心和执行力，大大胜过 SARS 期间。这些指南的本意也许不错，在疫情初期可能是合适的，但不分是否疫区、不分地理位置、不分时段，不分场合统统要求开窗通风、全新风运行、不符合的强制关闭空调等等“一刀切”的做法，也出现了一些负面效应。

如今，面临大批企业复工复产，尤其是制造业的生产车间，主要是集中式全空气空调系统，如果还是坚持全新风运行、开窗通风、不符合的强制关闭空调，可能使得大多数生产车间环境难以保证，甚至无法运行。要使企业尽快有序地恢复生产，如何使空调合理有效地运行确保生产环境，而不是认为不符要求的一律强制关闭，为此，有必要建立与疫情相适应的生产环境的控制系统。

3. 协助企业建立起与疫情相适应的生产环境的控制系统

在目前大批企业正处于复工、复产潮，以下两点值得关注。

经过前一阶段以举国之力抗击疫情，小区封闭管理与民众居家隔离。目前疫情呈现逐步稳定的趋势，除了疫区外，复工人员基本可排除新冠病毒风险。在复工潮的流动过程中也采

取了非常严格的检测措施和隔离措施，加上各地纷纷采取用专列或专车“点对点”接回外地务工人员，不太容易出现互相传染或聚集性感染。企业的复工人员应该是可控的、可信的。

国家卫生健康委颁布了《新型冠状病毒肺炎诊疗方案（试行第六版）》将“经呼吸道飞沫和接触传播是主要的传播途径”改为“经呼吸道飞沫和密切接触传播是主要的传播途径”。“接触”前增加“密切”二字，并增加“在相对封闭的环境中长时间暴露于高浓度气溶胶情况下存在经气溶胶传播的可能”。显然对企业复工复产的生产环境控制提出新的课题。

各位大咖对“新冠病毒通过气溶胶途径传播”做了详尽的解释，也有不同看法。如果仅从经典的传染病传播途径来看，只有接触传染、飞沫传染、空气传染、媒介物传染和带菌生物传播等传播方式。气溶胶不是一种传播方式，只是微粒（液态或固态）存在的一种状态。新冠肺炎患者咳嗽、打喷嚏、说话产生含有病毒的飞沫，在空气悬浮过程中逐渐失去水分，剩下的蛋白质和病原体形成飞沫核，飘到更远的地方造成远距离的传播。经典理论是将 5μm 粒径作为分界，当飞沫粒子＞5μm 时是处于飞沫传播阶段，飞沫粒子＜5μm（已为飞沫核）则处于空气传播。在室内状态，空间毕竟有限，新冠肺炎患者产生的飞沫难以很快变为飞沫核。只有在医院隔离病房里医护人员与病人直接近距离接触，尤其是切气管、插管、强制给氧、接呼吸机，喷出病菌才会有直接经空气传播的可能。这样是否得出一个初浅的共识，在室内空间，只要空气流动，主要传播途径是飞沫，不存在经气溶胶传播的可能。

基于这两点，我们先就以下几点统一看法，协助企业在疫情下以合适的方式尽快建立安全的生产环境，助力企业复工复产。

3.1 保证安全生产环境的关键因素是降低生物负荷，而不是全新风运行或开窗通风

空调技术尽管可以实现上天入海的任何空间内的环境控制，但是空调又是一项十分耗能的技术。在疫情期间，也许可以不惜一切代价和能耗去实现，但是空调通风技术对病毒控制并非人们想象的那么强大。空调系统可以有效地稀释整个空间的病毒浓度，但是室内只要有一位新冠肺炎患者，任何空调不可能阻止新冠肺炎患者传染给近距离相遇的人。新冠肺炎患者的瞬时咳嗽、打喷嚏产生的飞沫，任何空调气流也不可能有效抑制。如果能够有效阻止新冠肺炎患者进入，或者即使进入室内，新冠肺炎患者戴口罩、手消毒，而且室内所有人员都戴口罩、勤洗手，这种简单的防护的办法就远远胜过任何强大的空调。这就是空调的首要任务：降低负荷！

对空调系统来说，首要任务是降低建筑或生产过程的热负荷。对疫情期间空调系统而言，最关键因素是降低“生物负荷”。生物负荷定义为达到所要求的安全室内环境时系统应除去的生物性污染物量。我们的重点是有效阻止新冠肺炎患者进入，所有入室人员均带口罩，控制室内人员密度等有效手段去降低生物负荷，而不是极力推广全新风、开窗通风。如果连生产环境都不能保证，何以谈得上复工复产？我们更应帮助企业尽可能降低“生物负荷”，尽快将生产车间的通风空调系统运行起来，尽早实现复工复产。

3.2 全新风与有效过滤的回风空调系统稀释室内污染物效应无太大差别

生产车间不同于住宅，生产车间面积大、进深大，开窗通风不可能进行有效通风。生产车间也不同于隔离病房，室内是健康人群，新风量是满足室内卫生要求，没有必要全新风运行。增大室内总的换气次数是可以稀释污染物浓度，但是在同样换气次数下新风对病毒稀释能力与经高效率空气过滤器过滤的循环风是相同的。开窗通风是护理先驱南丁格尔在 19 世纪 50 年代克什米亚战争中采用的手段，稀释了室内细菌浓度降低了伤员的死亡率成为了经典。如今，有了低阻高效率的空气过滤器，有了高效低噪声的通风系统，甚至空调系统。机械通风早就替代了开窗通风。具有有效过滤的回风也早已被证实对污染物稀释的有效性。即使在医院诊疗科室，除了空气传染隔离病房（AII）外，都采用有回风的空调系统。100 多年来没有出现过问题。新风量是满足室内卫生要求，是必须的，应该说全新风和有效过滤的

回风空调系统对室内污染物稀释效应无差别。因此具有有效过滤的回风的空调系统应尽快运行起来，所谓有效过滤是针对室内目标污染物而言，我们不妨参照 GB 51039－2014《综合医院建筑设计规范》相应规定。

我们认为只要生产车间现有的空调系统符合相应的建筑设计标准或规范就可以运行，有条件可将新风增大到最大，回风口更换为低阻中效过滤层。不必一定要达到空调全新风工况才容许开启。

3.3 某种意义控制无组织渗漏气流比室内稀释更重要

各种指南强调的是尽可能引入新风去稀释室内可能出现的病毒，最大程度防止因空调引起的交叉感染，没有一个指南明确要求控制渗漏气流。所谓渗漏气流就是当我们要控制的空间与周围空间之间有压差（正压或负压）而产生的气流流动。为了使这渗漏气流流动按照人们的要求从清洁区流向污染区，这需要控制每个空间的不同压差，使这无组织的渗漏气流变为定向气流。以医院为例，循证交叉污染，由逆向的渗漏气流产生的污染的事件很多，却很难找到一篇由空调系统引起的交叉污染的文献。国外的医院标准或指南，总是特别强调功能区域内的有序梯度压差控制，而不是室内的洁净度级别。因为渗漏气流自身直接污染而引发，不同于空调是通过系统间接引发。如果只提倡全新风、提倡开窗通风，而不注意由此引起各空间的压差变化，造成无组织渗漏引发污染，不是本末倒置吗？因此，在指导企业加大空调系统新风量的同时，更要关注控制渗漏气流的有组织流向。

3.4 强调室内气流分布与流向对控制以飞沫传播的新冠病毒的意义

目前我们还是认为新冠病毒经呼吸道飞沫和接触传播是主要的传播途径。控制室内气流分布与流向，空调专业称为气流组织，对于病毒飞沫传播途径有着重要意义。但各种指南却没有提及。由病人通过咳嗽、打喷嚏或说话而产生飞沫，粒径较大，如果送风气流由上而下可以加速飞沫的沉降、缩短传播距离。这里可以借用编制 GB 51039－2014《综合医院建筑设计规范》时考虑的控制飞沫传播的二条措施: 一是保证上送下回的气流组织；二是管理好空调系统的回风口。为了增强室内换气量以稀释污染，有些指南要求增设室内空气净化器，本意是好的，但如果空气净化器的送风干扰了通风空调系统的送风气流，扰乱了原来室内设定的气流组织，不利于加速飞沫的沉降和缩短传播距离，况且大多室内空气净化器的末端配置号称是 H13 的高效过滤器，其实这些过滤器使用的是驻极熔喷滤材，增强了静电效率而阻力很低，以弥补净化器内置风机压头偏低。如根据 ISO 16890-4 的测试标准，要求空气过滤器在测试前需用 IPA (ISO-Propyl-Alcohole)试液对过滤器或过滤单元进行消除静电处理。从下表可以看出 H13 空气过滤器在消除静电前后其穿透率（Penetration）差异非常大。

IPA消除静电前后数据对比

	Before IPA			After IPA discharge		
	Resistance (mmH2O)	Penetration	Gamma	Resistance (mmH2O)	Penetration	Gamma
PR13015AP2 H11	1.0	2.8	155	1.1	81	8.3
PR13023AP2 H12	1.85	0.19	147	1.85	71	8
PR13030AP2 H13	2.8	0.025	129	2.7	65	6.9
PR13040AP2 H14	4.3	0.006	98	4.6	50	6.5
Toray H11	1.4	2.99	109	1.4	83	5.8
Toray H12	2.3	0.67	95	2.1	75	5.9
Toray H13	4.7	0.034	74	4.3	57	5.7
3M MERV14 on backer	0.96	4.11	144	1.0	84	7.6
3M MERV18 (MB only)	3.13	0.04	109	2.8	67	6.2
3M 40C (MB only)	4.75	0.004	93	4.4	56	5.7

当然，这些空气过滤器用于室内空气净化器解决室内空气质量没有太大问题，但是不推荐用于生产车间的环境控制。我们建议在生产车间应采用广泛用于电子厂房，药厂等场所的 FFU（风机过滤器装置），由于 FFU 作为大生产的产品，配置风机与高效过滤器的质量高、

噪声低、规格多，相比室内高档空气净化器价格也不贵，目前各大过滤器厂商的库存也多，利用它作室内循环净化装置很合适，也可设置原空调系统回风口前面，既可解决回风的有效过滤，也可维持空调系统原有设定的气流组织。

必须牢记：合适的气流组织是控制飞沫传播的有力措施之一。

3.5 与其强行停开空调不如想办法将空调运行起来

指南规定无新风的空调一律停开，固然无新风是不好，即便如此，对室内环境控制来说，有良好过滤的全回风空调系统也可开起来，总比不开空调好。疫情期间不通风的封闭环境更可怕！

《新型冠状病毒肺炎诊疗方案（试行第六版）》明确表明在相对封闭的环境中长时间暴露于高浓度气溶胶情况下存在经气溶胶传播的可能。一旦空间内出现气溶胶传播，加大了室内环境控制难度！仅仅靠开窗通风来保证生产环境与稀释污染的作用是有限的、被动的、无组织流动，其通风量、进风流向以及进风质量完全取决于室外气候。

我们不赞成无新风的空调系统，但更不认同武断停开空调！应该帮助企业整改空调系统，按现有技术水平，增设新风与空气过滤毫不困难。通常分以下五种情况：

（1）增设一套独立新风处理系统送入新风，冬季工况较为简单，在新风系统中加入陶瓷加热器控制送风温度，并做好相应的排风。

（2）如果原有空调系统有较大容量，在南方地区可增设一套独立新风送风系统，不经处理直接送入室内，注意新风送风与原空调送风混合，避免影响室内温度场。并做好相应的排风。

（3）果原有空调系统容量有限，可以增设一套独立带热回收的新排风系统。

（4）如果时间紧迫，可在相关受控空间的墙上或窗户上直接安装几台单元式带热回收的新排风机组。

3.6 以较低的能耗与费用建立起与疫情相适应的生产环境

建立与疫情相适应的生产环境的控制系统，完全可以获得更好的效果，而不是采用一些偏激的控制措施。曾经为了节能，连医疗环境提高新风量指标、提高病房最低温度、在回风口设置中效过滤器，甚至在手术室送风口采用高效率过滤器（尚不是 HEPA 过滤器）都被批为不考虑运行能耗、不考虑改造费用，不要说其他的公共建筑了。如今为了防控疫情，甚至可以不顾一切费用与能耗采用一些偏激措施。通过科学的、理性的、合适的措施，帮助企业以合适的能耗与费用建立起与疫情相适应的生产环境的控制系统，对企业降低运行成本，度过难关，意义非凡！

当疫情趋向稳定、到完全控制时，生产环境控制转向常态管理，如何从这次抗击新冠病毒疫情吸取教训？或者说企业在疫情或自然灾害面前有序地维持生产这对我国是个新课题。国际上已经有很成熟的 BCP。我们可以参考当时在编写《综合医院建筑设计规范》时讨论过 SARS 期间对今后医院设计与建设的经验教训，认为流感等呼吸道疾病出现传染的主要阶段是在飞沫传播。对于飞沫的液滴粒径，中效过滤器完全可以胜任，只要在空调系统的回风口设置中效过滤器能够有效避免通过空调系统交叉感染；其次在医疗科室尽可能采用上送下回的送风气流。为此，《综合医院建筑设计规范》中 7.1.11 规定“集中空调系统和风机盘管机组的回风口必须设初阻力小于 50Pa、微生物一次通过率不大于 10%和颗粒物一次计重通过率不大于 5%的过滤设备”。该空气过滤器价格不高，阻力不大，以后可以推广到人员密集的公共场所或生产车间，兼顾常态与疫情。

4. 结语

在进一步防控传染的同时，尽快地有序恢复生产，保证经济的正常运转是摆在我们目前的紧迫任务。我们不要为了防控疫情而限制空调系统的开启，强制关闭不符要求的空调，而是应该依据不同地点、不同场合，针对性帮助企业整改空调，创造条件尽快地将空调运行起来，创建安全的生产环境，使企业尽快地有序恢复生产。只要采用一些科学的、理性的、合适的措施，完全能以较低能耗与费用建立起与疫情相适应的生产环境的控制系统，取得双赢，为保证我国经济的正常运转出一份力量。