

DOI: 10. 12138/j. issn. 1671-9638. 20206213

· 综述 ·

医用压缩空气净化及监测研究进展

纪学悦¹, 张楠楠², 费春楠¹ 审校

(1. 天津市疾病预防控制中心传染病预防控制室消毒科, 天津 300011; 2. 天津市天津医院感染管理科, 天津 300211)

[摘要] 压缩空气广泛应用于医疗机构内, 被称为是生命支持系统。然而压缩空气质量, 尤其是微生物含量并没有引起人们的广泛关注。此文就压缩空气的制备, 现执行的国内外标准及存在的问题, 净化措施和微生物监测技术的相关文献等内容进行归纳总结, 旨在明晰压缩空气污染的来源、控制策略和监测方法, 为今后开展相关监测研究, 制定标准、规范提供参考。

[关键词] 压缩空气; 污染; 净化; 监测; 采样

[中图分类号] R187

Advances in purification and monitoring of medical compressed air

Ji Xue-yue¹, ZHANG Nan-nan², FEI Chun-nan¹ (1. Department of Disinfection, Institute of Infectious Disease Control and Prevention, Tianjin Centers for Disease Control and Prevention, Tianjin 300011, China; 2. Department of Infection Management, Tianjin Hospital, Tianjin 300211, China)

[Abstract] Compressed air is widely used in medical institutions and is known as life support system. However, the quality of compressed air, especially the microbial content, has not been attracted extensive attention. In this paper, preparation, current domestic and foreign implementation standards and existing problems, purification measures, as well as literatures relevant to microbial monitoring technology of compressed air were summarized, aiming at clarifying the contamination sources, control strategies and monitoring methods of compressed air, so as to provide reference for performing future monitoring research as well as formulating standards and specifications.

[Key words] compressed air; contamination; purification; monitoring; sampling

医用气体包括医疗空气、器械空气、医用合成空气、牙科空气等, 用于患者诊疗或驱动外科手术工具的单一或混合成分气体, 在应用中也包括医用负压真空吸引系统^[1]。除医用合成空气和真空吸引系统外, 大多属于正压压缩空气。医用压缩空气系统主要用于呼吸麻醉支持系统、喷雾疗法的介质、婴儿暖箱人工呼吸器氧气浓度调整的介质、外科设备驱动、牙科设备器械动力、口腔吹屑、医疗设备测试、医用设备干燥、管路吹扫等, 被称为生命支持系统^[2-3]。除需要正常保证气体不间断的供应外, 其空气质量,

尤其是微生物水平, 也应引起感染控制人员的关注。本文就压缩空气的制备, 现执行的标准及存在的问题, 净化措施和微生物监测技术等内容进行简要综述。

1 压缩空气的制备

一套完整的空气压缩系统一般由空气压缩机、后冷器、储气装置、干燥机、过滤器、压力控制、管道及终端构成^[3]。见图 1。

[收稿日期] 2020-03-06

[作者简介] 纪学悦(1982-), 男(汉族), 天津市人, 副主任医师, 主要从事消毒与医院感染控制研究。

[通信作者] 纪学悦 E-mail: jixueyue@163.com

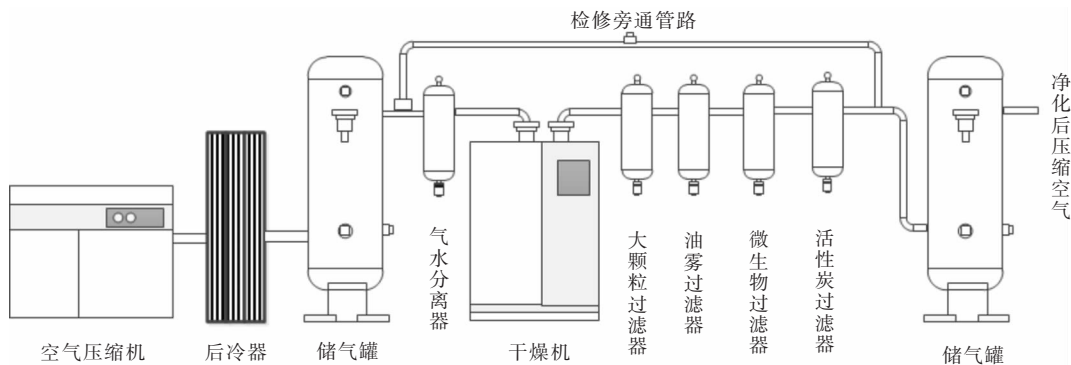


图 1 压缩空气制备系统

空气压缩机是压缩空气的气压发生装置,将机械能转换成气体压力能,将吸入一定体积和压力的空气压缩为体积更小、压力更高的空气后输出。空气压缩机按润滑方式可分为有油、无油和全无油润滑。无油润滑空气压缩机的气体不与润滑油接触,避免了油的污染和积碳,防止患者长期吸入含油碳氢化合物引起的肺炎^[4]。后冷器可以有效降低压缩后空气的温度,从而使水汽凝结并被排走。干燥机属净化装置,常有冷干式,可以将空气压缩机输出的气体降温,使气体中的水份、油雾凝结成液滴排出,或吸附式吸收压缩空气中水分,使干燥后保留的压缩空气的压力露点达到所规定的温度后输出。过滤器是进一步使压缩空气中的颗粒物更少,成为无尘、无锈、无油、无水滴的干净和干燥的压缩空气^[5]。

2 医用压缩空气执行的标准及存在的问题

国内外压缩空气有相关标准,但在实际执行过程中仍然存在很多的问题。与通过液罐或气瓶输送气体到终端设备不同,压缩空气是唯一需要在现场制备的气体(有些医院使用制氧机除外)。目前,压缩空气除少部分大型医疗机构采用集中气站供气外,多采用小型空气压缩机分散供气的方式。由于受价格、人员意识落后、无标准规范等因素的影响,医院常选择含油普通活塞式压缩机^[6],这种空气压缩机如不进行除油、过滤等处理,会影响其他医疗器械消毒灭菌的效果,直接或间接导致患者发生医院感染^[7]。

在很多感染控制标准中,压缩空气用于消毒后物品的干燥。《医院消毒供应中心 第 1 部分:管理规范》WS 310.1—2016^[8]规定,在检查、包装设备中应配有压力气枪。其目的是在检查、包装时,可就地

使用压力气枪进行干燥处理,以提高工作效率。《医院消毒供应中心 第 2 部分:清洗消毒及灭菌技术操作规范》WS 310.2—2016 要求不耐热器械、器具和物品可使用压力气枪进行干燥处理,管腔器械内的残留水迹可用压力气枪干燥处理^[9]。《软式内镜清洗消毒技术规范》WS 507—2016 规定清洗消毒室应配备清洁压缩空气用于内镜外表面和内腔的干燥^[10]。上述标准均未对压缩空气的微生物指标进行限制,可能使污染的压缩空气吹向消毒、灭菌后的器械、器具,造成二次污染。尽管《软式内镜清洗消毒技术规范》要求清洗消毒室配备清洁压缩空气,但“清洁”是否应无菌或细菌含量不超过一定限值并未明确。

压缩空气还可作为手术室外科、骨科、整形手术等器械的驱动力。《医院洁净手术部建筑技术规范》GB 50333—2012 规定医院洁净手术部配置的医用气体应包括氧气、压缩空气^[11]。此处压缩空气主要为口腔手术器械、骨科器械、呼吸机等传递动力,是作为动力气源。以上压缩空气不会直接接触患者或灭菌物品,所以对其除油、除水和除菌等方面的关注有限,靠其驱动的器械产生的废气就会带菌,污染手术室空气、飘散到伤口上。据 Sagi 等^[12]报道,骨科手术使用未经净化的压缩空气驱动的电钻废气带菌率为 82%,可分离出表皮葡萄球菌、科氏葡萄球菌、其他凝固酶阴性葡萄球菌、类白喉杆菌和微球菌等,而净化后的压缩空气所驱动的电钻废气微生物培养均为阴性。

压缩空气还可作为口腔诊疗中三用枪的吹屑气、牙钻的驱动气。吹屑气和驱动牙钻产生的废气会直接与口腔黏膜接触。《牙科学 牙科治疗机 第 2 部分:供水与供气》YY/T 0630—2008 规定在牙科治疗机的输入气连接处应安装一个孔径不超过

25 μm 的微粒过滤器,同时安装抗菌气体过滤器^[13]。然而,口腔诊所有其特殊性,分散供气多、小诊所多,口腔综合治疗台水路污染如此严重尚未得到很好地治理^[14],压缩空气的污染更是鲜有人关注。有报道口腔综合治疗台三用枪气路采样,发现 24% 的样品培养阳性^[15]。牙科手机中的气路细菌浓度为 22 CFU/ m^3 ,且分离出金黄色葡萄球菌、芽孢杆菌、奥斯陆莫拉菌等^[16]。

医院内很多部门在配备压缩空气的同时,会配置真空泵,如口腔科和重症监护病房。真空泵会将污染的液体、气体带入泵体,排出废气。《医用气体工程技术规范》GB 50751—2012^[1]规定,空气压缩机进气口设于室内时,不得与真空泵以及麻醉废气排放系统置于同一房间。医用真空泵宜设置细菌过滤器或采取其他灭菌消毒措施。如未按要求执行,则会造成压缩空气污染。有报道显示,真空泵连接管道内表面污染严重,细菌含量高达 5.1×10^5 CFU/ cm^2 ,真空泵所在房间室内空气细菌浓度范围为 1 092~3 137 CFU/ m^3 ,是室外空气细菌浓度的 19~57 倍^[16]。Bjerring 等^[17]在重症监护病房(ICU)的真空系统中引入氩-133 作为示踪剂,发现 17% 的示踪剂进入了压缩空气系统,证实真空泵和空气压缩机位于同一机房成为接受空气-氧混合辅助通气患者 ICU 感染的原因。

3 压缩空气的净化

空气在空气压缩机内不可避免地要与机器部件接触,导致输出的压缩空气中含有杂质,主要包括固体微粒、水分、油分和微生物。微生物主要来自被吸入空气压缩机中的未经过净化的室外空气,也可能来自空气压缩机的润滑油^[18]。虽然压缩空气系统是相对恶劣的环境,如果有可用的营养物质(包括水和油滴),以及适合的温度,尤其较高的温度,就会有微生物生存,而营养物质取决于被吸取气体的纯度^[19]。除普通细菌,细菌芽孢能在更恶劣的环境下生存,其对压缩气体管道内的温度范围和湿度等极具抵抗力,同时管道壁可形成生物膜具有持续污染的风险。

除了尽可能使用更加清洁的气源以减少进入空气压缩机的微生物,选择使用无油空气压缩机尽可能减少空气中油分以外,还需要配置储气罐、干燥机、过滤器等设备控制水分,降低温度和过滤细菌。

有报道,空气压缩机产生的高温高压的压缩空

气,经过后冷器后温度降低至 46 $^{\circ}\text{C}$ 左右,除掉约 56% 的水分,再进入储气罐可平稳气体压力,罐中气体流速降低,冷却,再去掉 13% 左右水分,至此约 70% 的水分在上述两个环节被去除,可以减轻干燥机负担^[20]。压缩空气中的水分不仅有利于细菌的生存和繁殖,污染管道,给患者带来感染隐患,还可以直接穿过过滤器进入麻醉机、呼吸机等终端设备,导致麻醉机、呼吸机故障或损害气动工具中的精密零部件,影响患者的治疗,因此应用干燥机对压缩空气进行干燥^[21]。冷冻式干燥机与吸附式干燥机各有优缺点,应视情况而定,借助含水量是否符合标准及时发现并进行预防性维修^[22]。

除去油、水分外,颗粒物和微生物还需要使用过滤器。《医用气体工程技术规范》GB 50571—2012 规定医用压缩空气所使用的细菌过滤器过滤效率应达 99.995%,同时应设置备用细菌过滤器,精度应为 0.01~0.2 μm ^[1]。过滤器应保持干燥,因为过滤器中的冷凝物极有可能引起堵塞或导致微生物污染,过滤器也应该定期更换。作为持续质量控制的一部分,过滤器必须在安装和使用结束时进行完整性测试^[23]。

一种对小型空气压缩机产出的污染空气进行净化的设备,将流入压缩空气的颗粒加热到 250 $^{\circ}\text{C}$,然后迫使其通过细孔陶瓷过滤器,可以有效净化压缩空气。与该设备在实验室杀灭冻干芽孢杆菌、嗜热脂肪芽孢杆菌以及黑青霉等具有同等的功效^[24]。

4 压缩空气的监测

国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)已经发布关于压缩空气质量的 9 项国家标准(ISO 8573-1~ISO 8573-9),内容涉及压缩空气污染物和清洁度等级,油气溶胶含量测试方法,湿度测量测试方法,固体粒子含量测试方法,油蒸汽和有机溶剂含量的限定,气态污染物含量的限定,微生物污染物含量测试方法,污染物和清洁度等级,液态水含量的测试方法。但由于有机微生物的复杂性和多样性,Compressed air-Part 1: Contaminants and purity classes ISO 8573-1 及我国《压缩空气第 1 部分:污染物净化等级》GB/T 13277.1—2008 对其等级定义只简单的以有或无来区分。如果将有机微生物按固体污染物考虑,测量方法按照 Compressed air-Part 4: Test methods for solid particle content ISO 8573-4;如果是细菌、真

菌或酵母菌,测量按照 Compressed air-Part 7: Test method for viable microbiological contaminant content ISO 8573 - 7 进行。法国^[25]、英国^[26]和日本^[27]均在国际标准 ISO 8573. 7 - 2003 的基础上制定了本国的国家标准。目前我国尚没有发布关于压缩空气微生物监测的国家标准或行业标准。

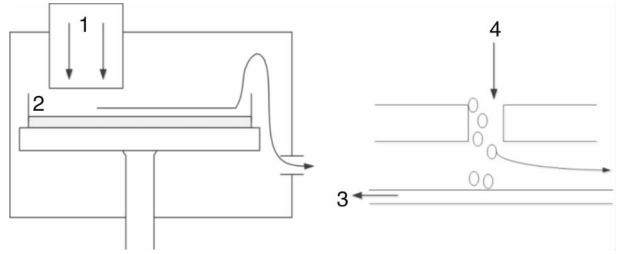
理论上,污染的压缩空气不仅会造成消毒或灭菌后器械在干燥过程中的二次污染,还会与患者直接接触成为医院感染的隐患。但压缩空气污染的报道很少,一方面是医院重视度不够,管理不严,导致医用压缩空气存在安全隐患,另一方面是压缩空气监测的国家标准或行业标准缺失,再者是采样方法不统一,不易实施^[2]。

压缩空气监测难点在标本的采集,要控制好压缩空气的减压和流量。微生物在压力下运输,突然释放到大气条件下,可能会被立即膨胀的气体和由此产生的剪切力破坏。流速过大,冲击力会影响琼脂上微生物的回收率,应使流速保持等速并在采样仪器范围内^[23]。

ISO 8537 - 7 提及的压缩空气微生物采集方法主要是应用狭缝取样器采样。见图 2。压缩空气通过导管连接采样设备,经减压后狭窄的狭缝加速使空气中微生物碰撞到琼脂培养基表面,空气分子被转向^[25-27]。Bjerring 等^[18]利用狭缝取样器搭载 14 cm 含 10% 血的培养皿,以 65 L/min 采集压缩空气 10 min,81% 的标本微生物培养阳性。

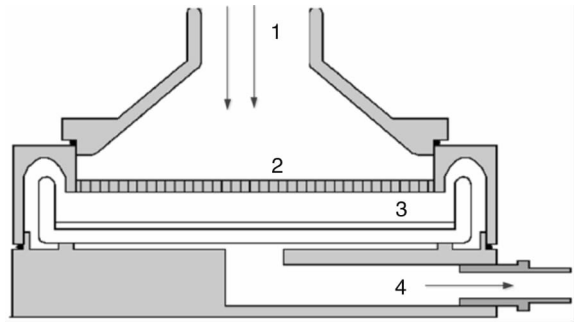
狭缝取样器是一种撞击式空气采样器,也可以使用其他标准的撞击式采样器替代^[23],如筛孔式采样器。见图 3。

Conte 等^[16]自制 10 加仑带有可与安德森采样器相连结构的不锈钢容器,用于采集牙科手机中的压缩空气,结果显示压缩空气细菌浓度为 22 CFU/m³,



1 为进气流,2 为在旋转台上的培养皿,3 为空气出口,4 为空气,按 ISO 8537 - 7 绘制。

图 2 狭缝采样器空气采集示意图



1 为进气流,2 为筛孔板,3 为平皿,4 为出气口。

图 3 筛孔式采样器空气采集示意图

且分离出金黄色葡萄球菌、芽孢杆菌、奥斯陆莫拉菌等。由于在医疗领域压缩空气监测尚未被广泛认知,但在制药行业,压缩空气的监测应用较广,一些监测仪器如美国 VAI 公司开发的 SMA[®]压缩空气采样器^[28],德国默克密理博公司开发的 MAS 100 CG Ex[®]压缩空气采样器^[29],美国国际生物科学公司开发的 SAS Pinocchio Super II 采样器^[30],上海倍默科技开发的 GMT-50 压缩空气采样器^[31],大多是基于筛孔式采样器原理,通过减压、流量控制等方式进行压缩空气采集。见图 4。



图 4 各式筛孔式压缩空气监测设备

除了使用仪器采样,还有报道使用其他方法收集压缩空气。如 Walker 等^[32]将三用枪或牙科手机的气路软管通入 30 mL 磷酸盐缓冲液中,采集压缩空气 2 min,以 CFU/mL·min 计算细菌含量。Hubar 等^[15]采用灭菌的改装后不锈钢过滤架,搭载 0.45 μm 孔径的滤膜对口腔综合治疗台三用枪气路进行采样,发现 24% 的滤膜培养阳性。还有“袋装琼脂接触”采样法,将采样平皿放置在无菌采样塑料袋中,采样袋留有与压缩空气的接口,一部分压缩空气直接喷向平板,一部分压缩空气在采样袋释压后沉降到平板,还有大部分扩散到采样袋内表面。“直接喷平皿法”即使用压缩空气直接喷向培养皿的方法。上述几种方法存在无法全量收集压缩空气内微生物、平板琼脂易被高速气流损坏、被外围空气影响等问题,导致无法准确定量获得 1L 压缩空气的细菌含量^[33]。

5 提高压缩空气质量的建议

(1)合理选择气源的位置,使进气尽可能洁净。远离真空系统排气口、进气口设置在室外时应朝下且加保护网,防止虫鸟、碎片或水进入。(2)应选择无油压缩机组。如现有设备非无油压缩机,有被油污的可能,需要安装碳氢化合物监测设备。同时配备后冷机、干燥器、过滤器等净化设备。(3)加速推进相关国标或规范的发布,科学合理地指导卫生系统、设计单位、施工单位和监理单位前期设计、施工和验收。(4)开展压缩空气微生物监测。通过感控标准的发布,提高感控人员的意识,学习压缩空气相关知识,推动压缩空气后期维护保养的管理和微生物监测。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 医用气体工程技术规范: GB 50751—2012[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.

[2] 徐力, 裴飞霸. 医院医用压缩空气供应质量控制现状分析[J]. 生物医学工程与临床, 2019, 23(5): 604—606.

[3] 蒋丹, 单明. 浅谈医用压缩空气系统及应用[J]. 医疗装备, 2012, 25(12): 32—33.

[4] 马琪伟. 医院生命支持系统概述[J]. 中国医院建筑与装备, 2011, 12(9): 75—81.

[5] 张洪雁. 压缩空气站空气净化系统的优选[J]. 洁净与空调技术, 2003(2): 42—47, 59.

[6] Mills SE. The dental unit waterline controversy: defusing the

myths, defining the solutions[J]. J Am Dent Assoc, 2000, 131(10): 1427—1441.

[7] 陶刚, 朱泽杰, 张成行. 医院消毒供应中心压缩空气系统设计[J]. 医用气体工程, 2018, 3(3): 24—26.

[8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 医院消毒供应中心第 1 部分: 管理规范: WS 310.1—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[9] 任伍爱, 巩玉秀, 钱黎明, 等. 医院消毒供应中心第 2 部分: 清洗消毒及灭菌技术操作规范 WS 310.2—2016[J]. 中国感染控制杂志, 2017, 16(10): 986—992.

[10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 软式内镜清洗消毒技术规范: WS 507—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[11] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 医院洁净手术部建筑技术规范: GB 50333—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

[12] Sagi HC, Dipasquale T, Sanders R, et al. Compressed-air power tools in orthopaedic surgery: exhaust air is a potential source of contamination[J]. J Orthop Trauma, 2002, 16(10): 696—700.

[13] 国家食品药品监督管理局. 牙科学 牙科治疗机第二部分: 供水与供氧: YY/T 0630—2008/ISO 7494—2:2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[14] Ji XY, Fei CN, Zhang Y, et al. Evaluation of bacterial contamination of dental unit waterlines and use of a newly designed measurement device to assess retraction of a dental chair unit[J]. Int Dent J, 2016, 66(4): 208—214.

[15] Hubar JS, Pelon W, Gardiner DM. Evaluation of compressed air used in the dental operatory[J]. J Am Dent Assoc, 2002, 133(7): 837—841.

[16] Conte M, Lynch RM, Robson MG. Microbiological contamination of compressed air used in dentistry: an investigation [J]. J Environ Health, 2001, 64(4): 15—20.

[17] Bjerring P, Oberg B. Possible role of vacuum systems and compressed air generators in cross-infection in the ICU. A radioactive tracer study [J]. Br J Anaesth, 1987, 59(5): 648—650.

[18] Bjerring P, Oberg B. Bacterial contamination of compressed air for medical use[J]. Anaesthesia, 1986, 41(2): 148—150.

[19] Stewart SL, Grinshpun SA, Willeke K, et al. Effect of impact stress on microbial recovery on an agar surface[J]. Appl Environ Microbiol, 1995, 61(4): 1232—1239.

[20] 董亚存, 蒋鹏. 论麦尔兹窑前增加压缩空气罐的作用[J]. 化工管理, 2014(32): 15.

[21] 章青山. 医用压缩空气系统供气安全分析[J]. 设备管理与维修, 2018(Z1): 64—66.

[22] 孙全江, 李平方, 石建国. 冷干机和吸干机组合的压缩空气净化系统优化方案[J]. 科技创新与应用, 2012(26): 37—38.

[23] Sandle T. Microbiological assessment of compressed gases in pharmaceutical facilities[J]. J Valid Technol, 2015, 21(2): 1—8.

[24] De Ciccio A, Chan EC. Elimination of microorganisms from

dental operatory compressed air[J]. J Can Dent Assoc, 1998, 64(1): 42-47.

- [25] Association Française de Normalisation. Compressed air-part 7: test method for viable microbiological contaminant content; NF E51-307-2003[S]. Paris: AFNOR, 2003.
- [26] ISO. Compressed air-part 7: test method for viable microbiological contaminant content; ISO 8573-7[S]. Switzerland: ISO, 2003.
- [27] Japanese Standards Association. Compressed air-part 7: test method for viable microbiological contaminant content; JIS B 8392-7[S]. Tokyo: JIS, 2008.
- [28] Veltek Associates, Inc. SMA compressed air sampler details [EB/OL]. [2019-11-01]. <https://sterile.com/product-category/environmental-monitoring/sma-compressed-air-sampler/sma-compressed-air-sampler-details>.
- [29] Merck Millipore. The MAS-100 CG Ex[®] is suitable for microbial monitoring of compressed gasses, such as air, nitrogen and argon[EB/OL]. [2019-11-01]. http://www.merckmillipore.com/CN/en/product/MAS-100-CG-Ex,MDA_CHEM-109327.
- [30] AdelaB. SAS pinocchio super II air sampler[EB/OL]. [2019-11-01]. <http://adelab.com.au/air-samplers/sas-pinocchio-super-ii-air-sampler>.

- [31] 上海倍默生物科技有限公司. 产品中心: 仪器[EB/OL]. [2019-11-01]. http://www.bioon.com.cn/show/product_271997.html.
- [32] Walker RJ, Burke FJ, Miller CH, et al. An investigation of the microbial contamination of dental unit air and water lines [J]. Int Dent J, 2004, 54(6): 438-444.
- [33] Sandoval M. Compressed air: Choosing the correct microbial sampling method[EB/OL]. [2019-11-01]. https://www.ifsqn.com/articles.html/_/articles/compressed-air-choosing-the-correct-microbial-sampling-method-r60.

(本文编辑:左双燕)

本文引用格式:纪学悦,张楠楠,费春楠. 医用压缩空气净化及监测研究进展[J]. 中国感染控制杂志, 2020, 19(9): 851-856. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20206213.

Cite this article as: JI Xue-yue, ZHANG Nan-nan, FEI Chun-nan. Advances in purification and monitoring of medical compressed air[J]. Chin J Infect Control, 2020, 19(9): 851-856. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20206213.