



中华人民共和国国家标准

GB/T 25915.16—2024/ISO 14644-16:2019

洁净室及相关受控环境 第16部分： 提升洁净室和空气净化装置的能效

Cleanrooms and associated controlled environments—Part 16:
Energy efficiency in cleanrooms and separative devices

(ISO 14644-16:2019, IDT)

2024-03-15 发布

2024-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 节能评估和实施流程	4
5 用户技术要求对能耗的影响	9
6 风量与补偿系数	10
7 能源管理:低速运行、关机和复原	12
8 自适应控制	13
9 热负荷和冷负荷	13
10 风机和过滤器的选择	13
11 照明水平	14
12 培训	14
13 运行	14
14 维护	15
15 停用	15
附录 A (资料性) 源强:风量和示例	16
附录 B (资料性) 节能机会	20
附录 C (资料性) 影响评估	24
附录 D (资料性) 基准比对:洁净室能源绩效参数	25
附录 E (资料性) 降低供暖与冷却损耗的措施	28
附录 F (资料性) 减少关键区示例	29
参考文献	30

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 25915《洁净室及相关受控环境》的第16部分。GB/T 25915 已经发布了以下部分：

- 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级；
- 第2部分：洁净室空气粒子浓度的监测；
- 第3部分：检测方法；
- 第4部分：设计、建造、启动；
- 第5部分：运行；
- 第6部分：词汇；
- 第7部分：隔离装置（洁净风罩、手套箱、隔离器、微环境）；
- 第8部分：按化学物浓度划分空气洁净度（ACC）等级；
- 第9部分：按粒子浓度划分表面洁净度等级；
- 第10部分：按化学物浓度划分表面洁净度等级；
- 第12部分：监测空气中纳米粒子浓度的技术要求；
- 第13部分：达到粒子和化学洁净度要求的表面清洁；
- 第14部分：按粒子浓度评估设备适用性；
- 第15部分：按气态化学物浓度评定设备及材料的适用性；
- 第16部分：提升洁净室和空气净化装置的能效。

本文件等同采用 ISO 14644-16:2019《洁净室及相关受控环境 第16部分：提升洁净室和空气净化装置的能效》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国洁净室及相关受控环境标准化技术委员会(SAC/TC 319)提出并归口。

本文件起草单位：中国电子工程设计院有限公司、深圳天溯计量检测股份有限公司、苏州市计量测试院、吴江市华宇净化设备有限公司、中国电子系统工程第四建设有限公司、北京市医疗器械检验研究院（北京市医用生物防护装备检验研究中心）、中国建筑科学研究院有限公司、奥星制药设备（石家庄）有限公司、苏州英德尔室内空气技术有限公司、中国标准化协会、烟台宝源净化有限公司、湖南一特医疗股份有限公司、浙江朝晖过滤技术股份有限公司、江苏苏净工程建设有限公司、江苏永信医疗科技有限公司、苏州鸿基洁净科技股份有限公司、派欧尼尔环境净化工程（北京）有限公司、江苏环亚医用科技集团股份有限公司、合肥丰蓝电器有限公司、深圳市中建南方环境股份有限公司、仲恺农业工程学院、南京工业大学、中山市奥创通风设备有限公司、江西希尔康泰制药有限公司、深圳市德尼环境技术有限公司、广州泛美实验室系统科技股份有限公司、深圳市金麒麟环境科技有限公司、深圳市美好创亿医疗科技股份有限公司、南京博森科技有限公司、厦门美时美克空气净化有限公司、江西盛嘉技术服务有限公司。

本文件主要起草人：王大千、王立、丁力行、白冰、郝胤博、谢彤阳、史苏娟、杨子强、谷建国、陈中权、王霖、石霞、高正、曾世清、王坤、杨云涛、孟晗、冯昕、徐宝平、曹海罡、侯璐璐、周斌、吕玉庆、张意龙、周一如、陆建南、丁希曙、熊小川、严斌、李勿南、余杰华、王友伦、汪汇、林阳新、盛伟。

引 言

GB/T 25915 采用 ISO 14644 系列国际标准,各部分设置与国际标准保持一致,拟由 16 个部分构成。

- 第 1 部分:按粒子浓度划分空气洁净度等级。目的是区分粒子污染程度。
- 第 2 部分:洁净室空气粒子浓度的监测。目的是指导监测粒子污染,以避免可能产生的污染风险。
- 第 3 部分:检测方法。目的是指导对洁净室内各种污染和相关环境要素的检测。
- 第 4 部分:设计、建造、启动。目的是指导洁净室的设计、建造、启动。
- 第 5 部分:运行。目的是指导洁净室的运行。
- 第 6 部分:词汇。目的是统一规范技术术语。
- 第 7 部分:隔离装置(洁净风罩、手套箱、隔离器、微环境)。目的是提出洁净室用隔离装置的基本要求。
- 第 8 部分:按化学物浓度划分空气洁净度(ACC)等级。目的是区分空气化学污染程度。
- 第 9 部分:按粒子浓度划分表面洁净度等级。目的是区分表面粒子污染程度。
- 第 10 部分:按化学物浓度划分表面洁净度等级。目的是区分表面化学污染程度。
- 第 12 部分:监测空气中纳米粒子浓度的技术要求。目的是提出纳米级别的粒子污染的检测要求。
- 第 13 部分:达到粒子和化学洁净度要求的表面清洁。目的是提出洁净室内表面的清洁要求以避免可能产生的粒子和化学污染的风险。
- 第 14 部分:按粒子浓度评估设备适用性。目的是通过对相关设备可能在洁净室产生粒子污染的测试,确定设备的适用性。
- 第 15 部分:按气态化学物浓度评定设备及材料的适用性。目的是通过对相关设备及材料可能在洁净室产生气态化学污染的测试,确定设备及材料的适用性。
- 第 16 部分:提升洁净室和空气净化装置的能效。目的是减少洁净室能耗和带来的全球影响。
- 第 17 部分:粒子沉积降速率应用。目的是提供评价产品敏感表面颗粒洁净度的方法,同时给出表面大颗粒沉降污染相关的分级标准。

洁净室及相关受控环境广泛地应用于很多工业领域中,如生命科学(包括制药、医疗器械、医院)、微电子、航空航天、核工业。洁净室运行面积从几十到几万平方厘米,依据其功能的不同而具有不同的设计和特点。洁净室已有几十年的快速发展和进步,其不断增加的能源需求也反映了其发展之迅速。本文件包含了洁净室设计、运行、维护所积累的经验 and 实践,旨在减少洁净室能耗和带来的全球影响。

读者还可参照 ISO 14644-4 所详述的设计工作。

尽管洁净室的功能和规模千差万别,但其能耗总体而言比相似大小的办公室可能高出 10 倍以上。为达到规定的洁净度水平,过滤和调节大量空气,耗费了相当多的能源,其中风机能耗可占到 35% 至 50%。这是洁净室系统中高压差下工作的高效过滤器及其他空气循环环节所需的能耗。产生这类高质量空气所消耗的能量,可占到一般生产制造设施总能耗的 80%。

为使洁净室内保持工艺要求、人员舒适所需的温湿度以及达到洁净室空间所需压力,还有另外的能耗。因此,不论是新洁净室的严谨设计,还是对既有设施的更新改造,都有巨大的节能潜力。本文件列出并介绍了这些可应用于从洁净室到净化空气装置的全部洁净室技术措施,其中包括 GB/T 25915.7 中所描述的隔离器、手套箱、微环境。本文件依据的是实际的经验、实践、测试,并辅以理论计算,为的是

对节能效果做出清楚、科学的阐述。

需注意的是,本文件所采用的节能方法和技术都是通用的,适合于不同的环境和情况。它们并非是对特定工艺的,且不包含相关的生产工艺,如水处理、炉子、高压釜、应力循环运行等。供需双方和安装工程师们所商定的洁净室运行的实际条件,决定这些节能方法的具体应用。

在洁净室生命周期的每个阶段,都存在优化系统性能和节能的机会。设计阶段采用节能措施对新建洁净室是最有效的,但在运行的洁净室也可实现相似的节能效果。根据现场的实际条件,洁净室既可单个使用,也可成组使用。

在设计阶段,当建成后建筑及工艺的信息较少时,设计保守可造成各个系统过大、技术要求过严。在此阶段质疑这些技术要求和设计要点,对能源效率而言,是很有价值的。

当设置系统使其工作及进行性能测试时,仍有机会调整系统适应空态的实际情况,以便优化系统性能、最小化能源使用。

在洁净室设施的工作寿命期间,能够并宜对监测数据进行分析,以对系统进一步优化,实现最小化能源使用。

洁净室及相关受控环境 第 16 部分： 提升洁净室和空气净化装置的能效

1 范围

本文件给出了新建和既有的洁净室、洁净区和隔离装置用于优化能源使用和维持良好能效的指导和建议。为洁净室的设计、建造、调试和运行提供指导。

本文件涵盖了所有的洁净室特性特点,适用于包括电子、航空航天、核工业、制药、医院、医疗器械、食品工业及其他洁净空气应用场合的各领域优化能源使用。

本文件也介绍了绩效评估的基准比对和洁净室能源效率对比的概念,同时保持 ISO 14644 要求的性能水平^{[2][3]}。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 50001 能源管理体系 要求及使用指南(Energy management systems—Requirements with guidance for use)

注: GB/T 23331—2020 能源管理体系 要求及使用指南(ISO 50001:2018, IDT)

3 术语和定义

ISO 50001 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 维持用于标准的术语数据库,见下列网址:

——ISO 在线浏览平台:<https://www.iso.org/obp>;

——IEC 电子百科:<https://www.electropedia.org/>。

3.1 通用术语

3.1.1

空气处理机组 air-handling unit; AHU

由风机、过滤、供暖、冷却、新回风混合等功能段组成,向洁净室或洁净设施输送经过调节的空气的机组或设备。

3.1.2

分级 classification

按技术要求评定洁净室、洁净区或特定区域洁净度水平的方法。

注: 洁净度水平宜以 ISO 等级浓度来描述,它代表单位容积空气内最大允许粒子数。

[来源:GB/T 25915.1—2021, 3.1.4, 有修改——在定义中添加了“洁净区”后的内容]

3.1.3

空气净化装置 clean air device

对空气进行净化处理及分配,使环境达到规定条件的独立设备。

注:空气净化装置包括 ISO 14644-7^[1]中定义的某些隔离装置,例如洁净工作台、隔离箱、手套箱、隔离器、微环境。

[来源:GB/T 25915.4—2010,3.2,有修改——添加了注的内容]

3.1.4

洁净室 cleanroom

空气悬浮粒子浓度受控并分级的房间,其设计、建造到运行均使进入、产生、滞留于房间的粒子受控。

注1:规定了按空气悬浮粒子浓度划分的级别。

注2:也对影响洁净度等级的其他因素,如空气中化学物、微生物或纳米尺度粒子浓度等,以及影响表面洁净度等级的其他因素,如粒子、纳米粒子、化学物或微生物浓度等,作出规定并进行控制。

注3:温度、湿度、压力、振动和静电等相关的物理参数,并按要求受控。

[来源:GB/T 25915.1—2021,3.1.1]

3.1.5

洁净区 clean zone

空气悬浮粒子浓度受控并分级的限定空间,其建造和运行使进入、产生和滞留于空间的粒子受控。

注1:空气悬浮粒子浓度的级别已确定。

注2:也可对影响洁净度等级的其他因素,如空气中化学物、微生物或纳米尺度粒子的浓度等,以及影响表面洁净度等级的其他因素,如粒子、纳米粒子、化学物或微生物浓度等,作出规定并进行控制。

注3:洁净区是限定于洁净室内的空间,也能用隔离装置实现。隔离装置既能设在洁净室内也能在洁净室外。

注4:温度、湿度、压力、振动和静电等相关的物理参数,并按要求受控。

[来源:GB/T 25915.1—2021,3.1.2]

3.1.6

预过滤器 pre-filter

为减轻某过滤器的污染负荷,在其上游安装的空气过滤器。

[来源:GB/T 25915.4—2010,3.8]

3.1.7

隔离装置 separative device

采用构造和动力学方法在确定空间内外创建可靠隔离水平的设备。

注1:此设备能作为洁净区使用。

注2:各种行业用的隔离装置有:洁净工作台、隔离箱、手套箱、隔离器、微环境。

[来源:GB/T 25915.7—2010,3.17]

3.2 与设施相关的术语

3.2.1

自适应控制 adaptive control

在全年运行模式中,通过自动调整运行参数,充分实现系统最优可能性能的能力。

3.2.2

换气次数 air change rate

单位时间的换气值,以单位时间送入洁净室或洁净区的风量除以该空间的体积计算。

[来源:GB/T 25915.3—2010,3.4.1,有修改——在定义中,“洁净室或洁净区”替换了“空间”]

3.2.3

散流器 **diffuser**

位于送风末端,改进送风与室内空气混合的装置。

注:格栅或孔板不属于散流器。

3.2.4

非单向流 **non-unidirectional airflow; non-UDAF**

送入洁净室或洁净区的空气与室或区内部空气混合的一种气流组织。

[来源:GB/T 25915.4—2010,3.6,有修改——定义修订]

3.2.5

污染物去除效果指数 **contaminant removal effectiveness; CRE**

排风、回风中测得的粒子浓度与室内平均粒子浓度之比(送风中所含粒子忽略不计)。

3.2.6

总送风量 **total air volume flow rate**

单位时间内通过洁净室或洁净区的风量。

[来源:GB/T 25915.3—2010,3.4.6,有修改]

3.2.7

换气效果指数 **air change effectiveness; ACE**

洁净室发生污染事件后,洁净室内某个或多个位置的自净率与总自净率之比。

注:自净率按 ISO 14644-3^[9]予以定义和测量。

3.2.8

低速运行 **turn-down**

为节约洁净室非工作期间的运行能耗,降低单向流洁净室及空气净化装置的风速或非单向流洁净室的风量。

3.2.9

单向流 **unidirectional airflow; UDAF**

通过洁净室或洁净区整个断面、风速稳定、大致平行的受控气流。

注:这种气流定向清除洁净区的粒子和其他污染物。

[来源:GB/T 25915.4—2010,3.11,有修改——添加了注释]

3.2.10

散发 **emission**

污染物从各种对象释放到洁净室空气中。

3.2.11

源强 **source strength**

单位时间内从某物体散发出来的粒子或微生物的数量。

注:人、设备、物体均为源。

3.2.12

带微生物粒子 **microbe-carrying particle**

携有微生物的粒子,一般是带有皮肤微生物的皮肤细胞、皮肤细胞碎片,并由人员散发到室内空气中。

3.3 与能源效率相关的术语

3.3.1

基准比对 benchmarking

与相似运行情况的对比评估和(或)分析。

3.3.2

能源成本 energy cost

受关注区域所消耗能量的财务总成本。

3.3.3

功率 power

单位时间内的做功或能源转换。

注：功率的 SI 单位是瓦特(W)或焦耳每秒(J/s)。

3.4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CFD: 计算流体力学(Computational Fluid Dynamics)

EMS: 环境管理体系(Environmental Management System)

FFU: 风机过滤器机组(Fan Filter Unit)

HSE: 健康、安全和环境(Health, Safety and Environment)

HVAC: 暖通空调(Heating, Ventilation and Air Conditioning)

RH: 相对湿度(Relative Humidity)

SFP: 单位风量风机功率(Specific Fan Power)

URS: 用户技术要求(User Requirement Specification)

VE: 通风效果(Ventilation Effectiveness)

4 节能评估和实施流程

4.1 通则

降低洁净室、洁净区、隔离装置的能耗应遵循图 1 的流程,按 4.2 至 4.13 实施。

图 1 总结的洁净室节能流程,可用于图 2 所示典型洁净室气流组织,适用于运行中的洁净室、改造中的洁净室以及处于设计阶段的新建洁净室。

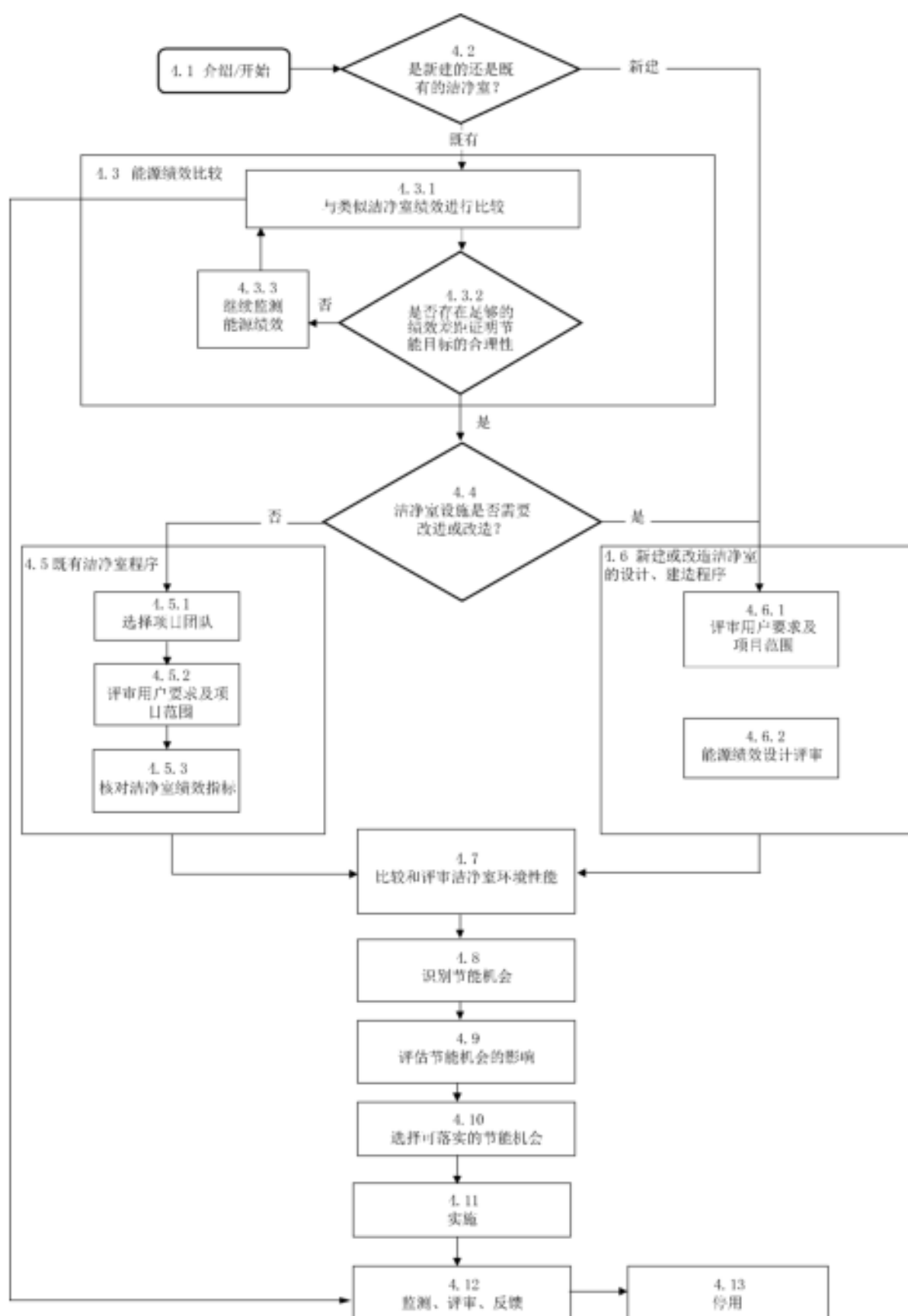


图 1 系统性节能方式——项目流程图

4.2 新建或既有洁净室

因为起点以及现有数据不同,新建和既有洁净室节能的流程各异。对既有洁净室和新设计的洁净室进行节能评估宜遵循 4.5 和 4.6 的建议。计划改造的洁净室宜关注其他的节能机会。

4.3 能源绩效比较

4.3.1 概述

洁净室的节能改造需时间和其他多方面的投入。因此,重要的是建立洁净室的高能耗(SEU)清单来验证节能措施(见 ISO 50001)。

4.3.2 比较能源绩效

评估当前洁净室的能源绩效并与适当的对照物比较。对照物或基准可为其他相似的洁净室、经过节能优化的运行数据、依据经验计算出的优化结果等。能源绩效比较指南见附录 D。

4.3.3 确定可行性

确定当前洁净室的能耗和成本与对照物或基准的差异是否显著,以证明对时间和资源的进一步投入是合理的。

4.3.4 监测与评审

如现阶段无法证明节能目标的合理性,则继续对能源绩效进行定期监测,并与基准对比重新评定能源绩效。未来下列情况可能会改变评定结果:

- 洁净室能源绩效和效率下降;
- 能源价格与项目实施成本的变化,可改变项目的经济性;
- 新技术或更可行技术的产生。

4.4 既有洁净室设施改进或改造

宜对被改造的洁净室的设计进行评审,确保在设计中考虑了能源效率的问题。图 2 是典型洁净室空气处理及分配示意图。

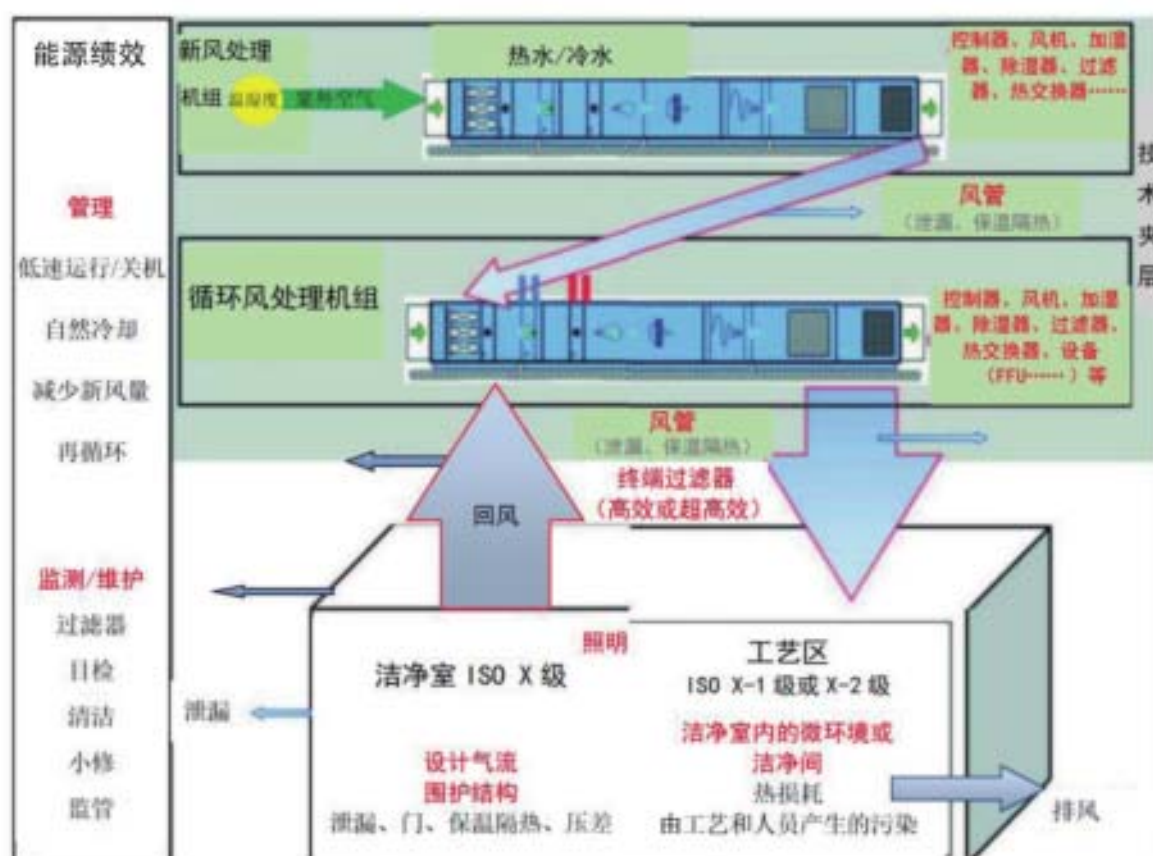


图2 典型洁净室空气处理及分配示意图

设计中宜考虑未来对洁净室能源绩效的调整和优化,如:采用变速风机。

4.5 既有洁净室适用程序

4.5.1 选择项目团队

团队宜具备专业能力并提供下列专业知识:洁净室设施设备的设计和维护、能耗、产品质量、设备和工艺验证、生产运行、健康与安全。团队成员的数量不限。

4.5.2 评审用户要求及项目范围

项目团队宜了解洁净室的运行,并将节能项目涉及的范围记入文件,可包括:

- 洁净室的整体目标;
- 洁净室内需保障的关键工艺参数。

示例:温湿度范围、洁净度要求、自净时间、毗邻的不同洁净度房间之间的压差等。

4.5.3 核对洁净室绩效指标

宜对各类文件(包括图纸、技术要求以及规定洁净室性能指标)进行收集整理,以用于下述方面。

- a) 识别影响绩效的指标,考虑节能措施可能带来的直接和间接影响。
- b) 识别满足工艺、产品、人员安全和舒适性要求的洁净室绩效指标。
- c) 建立能耗资料,应包括照明、空气处理、舒适供暖和供冷及其他显著的能源用量。若资料不

足,则采用专业的估算量。

- d) 明确当前的洁净状况,包括来自分级和监测的粒子、空气中的化学物质、微生物。
- e) 核定风量、风速、压差。
- f) 识别与现场运行有关的事项,如可靠性和控制要求、平面布局、年限、条件、功能、维护。
- g) 确定现有设计与实际最佳能耗和成本的比对结果。
- h) 可能时,进行生命周期成本分析和优化的研究。

4.6 新建或改造洁净室的设计、建造程序

4.6.1 评审用户要求及项目范围

确定满足工艺、产品、人员舒适性要求的洁净室性能指标。见第5章。

4.6.2 能源绩效设计评审

评审洁净室设计,确保包括下列能源绩效内容。

- a) 设计性能,包括粒子浓度及其他洁净性能指标。
- b) 比对结果,宜确认新设计在能耗和成本上与实际最佳能耗和成本相符。

设计评审宜专门针对洁净室的能源绩效以及预测能耗,其中宜包括照明、空气处理、供暖和供冷及其他显著的能源用量,特别是微环境能源用量。

4.7 洁净室环境性能对比评审

宜进行对比评审,将新建或改建洁净室的环境性能与工艺、产品、人员舒适性等环境要求指标进行比较,避免过度设计,如洁净度等级过严、洁净空间过大等。

4.8 识别节能机会

项目团队宜分析对比评审的结果,确定潜在的节能机会,并进行预选。可参考附录B预选后,记录选择或放弃的理由。对所选的节能机会进行评定,并记录决策过程。

宜对节能机会的生命周期成本进行评估和分析。

4.9 评估节能机会的影响

已确定的节能机会,宜进行初选。宜结合附录C的内容,编写一份详细的评估报告,宜包含确定的所有可能的节能机会,并考虑附录B中给出的不利影响因素及以下要点:

- 可行性;
- 工艺相容性和产品质量要求;
- 安全和法规;
- 成本;
- 投资回报;
- 激励(如政府推动);
- 实施时间表或实施计划;
- 实施资源;
- 业务连续性。

4.10 选择可落实的节能机会

4.9中的评估报告要辨别出可行性较低或较难实施的节能机会,并列在实施简单且有效的节能机

会之后。确定最终的优先顺序和落实计划。

对采纳的节能机会,宜规定技术要求和工作范围。宜识别建议中某个特定节能措施与相关标准或规定的性能要求相冲突的所有情况。

注:此类性能要求包括空气质量(粒子浓度及其他洁净性能指标)、过滤器效率、单向流风速、风量、自净时间、温湿度、毗邻不同洁净度房间的压差。

识别出这些情况后,准备详细报告,证明所建议的措施不会影响产品质量,并在实施前获得批准。

4.11 实施

宜准备一个包含相应工作内容的详细实施计划,其中宜包括对所选择节能机会的预期结果。

4.12 监测、评审、反馈

项目完成后,宜定期对所选的实施计划中规定的每个节能机会结果是否符合预期进行监测和评审,以确保在改造后节能措施有效。对相关的节能效果宜进行监测、记录、分析。所收集的信息宜作为反馈,用于继续改进提高。

4.13 停用

洁净室达到其使用寿命不再需要时,宜在拆除前将其置于闲置状态或关机,以尽量减少能耗。洁净室置于闲置状态前,宜进行影响评估,不用的房间关闭前,先确定其对毗邻或相关房间的影响。

5 用户技术要求对能耗的影响

5.1 原则

用户技术要求是洁净室项目文件的关键部分,在最初阶段就设定了新建或改建设施的基本要求。宜认真考虑纳入文件中的信息。

对某特定洁净室而言,技术要求不止换气次数单一技术指标。

用户技术要求宜说明洁净室内人员的常规数量及预期最大数量,并宜说明工艺设备的预期热负荷。宜指明与预期的外部环境条件相关联的该区域内部温湿度的允许范围,特别是一年中特定时间段,这将对设施整体能耗有显著影响。宜考虑人员需求和舒适性。有条件时,宜对包括未来气候变化在内的该区域外部温湿度预期范围进行研究。

宜考虑设施整体占地面积。如选址或平面布局未定,在保证标准空间要求的前提下,宜尽量减少设施整体占地面积,适当时采用隔离技术。

还可增加其他要求,其中包括预期的源强、保温隔热要求、最低风机效率或其他特定的节能设备或方法。

设计宜保留灵活性,为将来进一步提高能效或提高产品质量留有改造余地。本文件附录 A 至附录 F 中包含更多的节能机会信息,可列入用户技术要求中。

5.2 服装水平

洁净服水平在控制粒子污染方面起到关键作用,用户宜指明所需洁净服的水平。不同类型的服装阻挡人员散发粒子的水平有很大差异,这取决于皮肤被服装覆盖的面积,口罩的使用,鞋套和手套的类型等。在考虑降低风量时,这些服装的水平连同其特性、质量、清洗频度等,都要给予严格评审。优化的服装也有助于降低送风量(见附录 A),在实际应用中,要为房间内的工作人员建立舒适的温湿度平衡

条件。

6 风量与补偿系数

6.1 新风供给

新风的处理宜考虑实际情况。新风通常比回风更密集。宜考虑外部条件的污染程度。

6.2 风量

风量是洁净室能耗的重要因素,降低风量对整体能耗具有显著影响。非单向流(稀释)的风量和单向流(置换)的风速较高可使空气污染水平降低[见下文 a) 和 b)]。单向流洁净室的风量显著高于相同尺寸的非单向流洁净室。法规和规范规定的两种类型洁净室风量在某些情况下过大。更好地理解洁净室设计及室内污染产生的方式,在保持可接受粒子浓度的同时,提供降低风量的机会。

a) 粒子置换

ISO 5 级及更优洁净度的洁净区采用单向流,将粒子吹离关键区(减少关键区示例见附录 F),且与风速有关。天花板上满布送风的高效或超高效过滤器,室内空气从高架地板孔板或侧下回风口排出。

气流方向可垂直向下或水平。

b) 粒子稀释

ISO 6 级及洁净度更差的洁净区所用的紊流送风,用过滤空气稀释粒子,并将其从关键区移除。通常采用侧下回风提高换气效果。这些洁净室的送风量或相应的换气次数,仅需有效地将源强稀释到可接受的浓度即可。

对于置换和稀释的洁净室设计,动态和静态的送风要求均宜考虑。洁净室非工作期间低速运行可显著节能(见第 7 章)。

6.3 非单向流洁净室源强与风量计算

6.3.1 确定风量

根据人员的数量、所用的洁净服及工艺设备情况,可使用参考文献[7][8][9]中给出的散发量数据估算污染源强度 D 。可用公式(A.1)估算所需的最小风量。计算仅作为指导,并宜包括补偿系数。设计者宜根据既有洁净室当前空气污染水平,估算新建洁净室可能危及工艺的所有潜在排放量。设计中宜融入充分的可调节性,如图 3 所示对风量进行渐进调节。

生成的数据不宜取代洁净室客户要求的或商定的合约风量或换气次数。

注:如有合同要求,公式(A.2)用于计算换气次数。在 ISO 14644-1^[2]中,换气次数(ACR)与空间分级没有直接关联。特定房间所需的风量不是由房间容积决定,而是由房间内的工作特点及气流组织决定。换气次数是重要因素之一。

不宜将换气次数作为洁净室首要且唯一的验收指标,因为它不说明粒子产生量及其他控制因素。例如,两间洁净室有同样的作业和相同数量的人员,但其中一间的层高是另一间的 2 倍,两间洁净室的粒子释放量相近。因此,两间洁净室的风量相近,与容积无关。

6.3.2 通风有效性指标

风量的计算宜包括合适的污染物去除效果指数(CRE)或换气效果指数(ACE),以确保洁净室在大多数预期的源强变化过程中,仍维持所需要的洁净度条件。通风有效性系数解释说明见附录 A[如公式(A.1)中所示的 ϵ 系数],应用示例见图 3。

计算流体力学(CFD)是采用不同 CRE 或 ACE 参数预测不同洁净室设计效果的合适工具。使用时,宜作为标准计算的补充,并宜考虑所用计算模型的适用性。

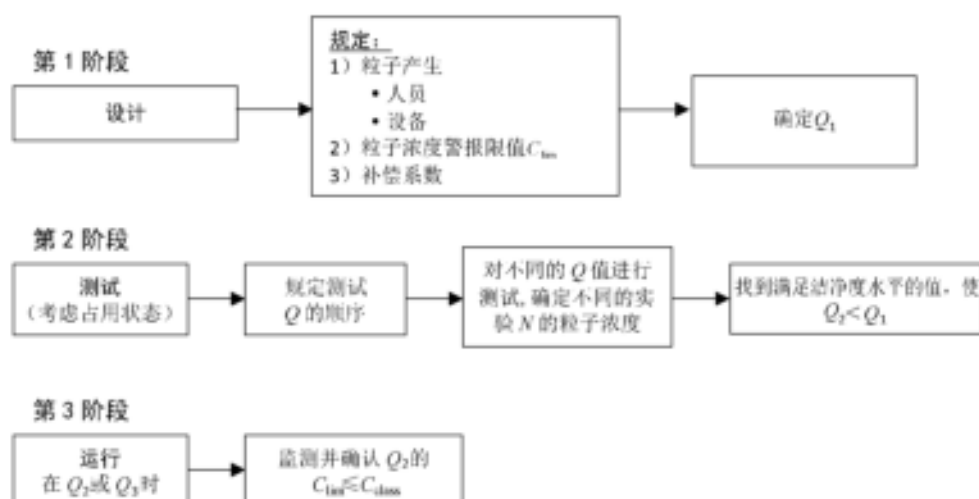
6.3.3 补偿系数(C_T)

补偿系数允许在设计阶段将可变冗余要素包含在风量的计算结果中,仅用作计算的辅助工具,具有不确定性,宜由专业的洁净室工程师对每种应用场合进行估算。

补偿系数通常可用以下方式表示,以补偿数据的不确定性。

- 作为粒子浓度限值警报级别的余量。例如,ISO 7 级中大于或等于 $0.5\ \mu\text{m}$ 粒子的限值 C_{class} 是 $352\ 000\ \text{个}/\text{m}^3$,但因工艺要求,其警报限值 C_{lim} 可选为 $100\ 000\ \text{个}/\text{m}^3$ 甚至 $50\ 000\ \text{个}/\text{m}^3$ 。
- 作为粒子去除效果的余量,如果认为气流组织不够好,则将预测的污染物去除效果指数或换气效率的值降低到小于 1.0。

设计—测试—运行



注: Q ——风量,单位为 m^3/s 。

图3 粒子浓度受控时确定风量的步骤

6.4 非单向流洁净室风量灵活的估算方法

6.4.1 通则

宜遵循 6.4.2 至 6.4.4 中规定的程序(原则请参照参考文献[10])。

由于在设计阶段只有粒子产生的近似数据,因此 6.4 中建议的风量估算程序具有灵活性。该程序通过图 3 所示的流程图逐步提高估算的准确性。随着每个阶段的完成,即可获得更多可用数据。

6.4.2 设计阶段

为洁净室规定低于洁净室等级限值 C_{class} 的粒子浓度警报限值 C_{lim} 。使用用户技术要求初始数据中的下列数据:

- 所需洁净度等级;
- 洁净室容积(用户要求的换气量);
- 人员数量、设备类型、洁净服类型。

估算洁净室内粒子产生情况 D , 单位为个/s(见 6.3.1)。

选取设计研究中预测的污染物去除效果指数(CRE)或换气效果指数(ACE)有效性, ε (见 6.3.2)。

按 6.3.3, 选取合适的补偿系数 C_t 。

用公式(A.1)计算风量 Q_1 , 单位为 m^3/s 。

按 6.4.3 测试设计中的预估风量。

6.4.3 测试阶段

节能测试的目的是确定 Q_1 的适合性, 并找到更准确的风量(AFR 值), 其中 $Q_2 < Q_1$ 。

这是 ISO 14644-1^[3]、ISO 14644-2^[4]、ISO 14644-3^[5] 的额外测试, 以确认在洁净度要求下较低的警报限值, 洁净室使用较低风量 Q_2 ($C_{lm} < C_{cha}$) 运行的能力。

可按规定在静态和(或)动态进行不同风量的测试。测试须不止 1 次。

风量的降低不应影响洁净室性能要求, 如粒子浓度、压力、温湿度或其他控制指标等。

6.4.4 运行阶段

Q_2 宜在运行阶段引入, 同时引入在减少风量的情况下操作的要求, 包括第 12 章和第 14 章中所述的培训、操作和维护。

为说明如何将公式和数据用于计算和评估风量优化的有效性, 附录 A.4 给出了该程序的典型工作示例。另参阅参考文献[10]。

污染控制的统计方法(如工艺能力分析)也可确认风量。

6.5 单向流系统的风速降低

单向流系统不适用 6.4 所述的计算方法。宜考虑 A.5 中所述的参数以及速度和相关项目来降低能耗。已证明在法规允许范围内, 低至 0.35 m/s 的风速能使单向流洁净室在正常占用状态和工作水平时, 实现低浓度空气污染。

7 能源管理: 低速运行、关机和复原

7.1 低速运行

当洁净室或空气净化装置处于静态或未占用状态时, 降低风量, 相应扩大温度和相对湿度的范围, 是基本的节能方法。宜尽可能使用变速风机来控制风速并降低能耗。

注 1: 风量与风机功率的立方成正比, 风管尺寸不变时, 风量减半可将风机功率降至 1/8。

所有新建单向流和非单向流洁净室, 均应具备在非运行期间降低风速或风量的能力。风管的主要分路上宜安装电动调节阀与风机变频器相连, 便于在非运行时间低速运行, 或在洁净室未占用期间降低压差。

注 2: 在低速运行, 即无人且非运行时, 受控空间的源强及热增益显著低于运行状态。对于这些情况, 在设计阶段评估运行条件, 并在调试或认证期间进行确认。

当降低性能参数时, 物理屏障或洁净室正压等隔离措施宜予维持, 以防污染物从周围区域进入洁净室或洁净区。处于低速运行状态的区域宜有显著标识, 包括维护人员和警卫在内的所有人员宜接受低速运行期间的工作和活动培训。

低速运行期间通道与入口宜关闭, 以防未经许可进入该区域而造成的污染。

当该区域重新全速运转时, 过滤器机组不宜开到最大, 而宜逐渐加大。当从低速运行状态重新启动

时,宜使用受控程序逐步提升空气处理系统。

在该区域开始或重新开始正常运行前,宜重新确定规定的运行条件。所有低速运行调节参数都宜在低速运行持续期间,按照之前调试期间商定和验证的参数进行测量和控制。除包括粒子计数的所有标准测试,气流可视化在验证过程中也很重要。

7.2 关机

作为商定的能源管理计划的组成部分,关机时,宜按照组织的标准操作流程的详细要求,详细记录工艺影响评价。

注:洁净室的配置对可关闭的系统有重要影响,例如:关闭洁净度较低的洁净室内的单向流空气净化装置,或关闭使用多个模块的大型洁净室内的某些风机过滤单元。这也包括保持正常或低速风量的供暖和冷却系统。

为评估关机是否影响产品质量,宜考虑下列风险:

- a) 由于分级空间压力损失而导致空气污染物侵入;
- b) 终端高效过滤器清洁侧振动造成的污染物沉降;
- c) 重启系统后在确定的自净时间内恢复所需洁净度条件的能力,这与排放风险和关机时间有关。在这些流程中通道和入口宜予封闭。

8 自适应控制

依据洁净室空间内传感器或分析仪器实时的反馈信息,对洁净室内气流和(或)新风实施主动控制。该方法根据洁净室内实时感知或测量的粒子浓度,按比例进行调整洁净室内的风量,是最有效的能效控制方法之一。可能需要对粒子计数信号进行滤波和均值,以便为洁净室的控制提供可接受的稳定信号。其所能达到的节能效果,受室内粒子源变化的影响。这种方法对短期内有大量粒子产生的房间最有益。

典型的自适应控制方法利用洁净室内具有代表性位置的粒子浓度作为对控制系统的反馈。也可采用针对温湿度、气态污染物或其他受控参数等其他方法。

在生命科学和医疗领域,为满足监管要求,需要控制空气中的微生物和粒子总数,这可能会影响该控制方法的适用性。充分验证自适应控制方法对空气中的微生物可靠和可重现的控制,是实施该方法的关键。

9 热负荷和冷负荷

洁净室内的温湿度需保障工作人员的舒适度、控制静电积聚并满足工艺要求。它们对能耗有很大影响,如无必要,控制范围要求不宜过小。

在温湿度没有严格要求的情况下,温度宜根据人员舒适度调整,相对湿度宜根据环境条件在30%~70%的范围内浮动。

附录 E 列出了限制过多冷热损耗或增益的措施。

10 风机和过滤器的选择

10.1 风机

风机选择宜实现能源和空气输送的最佳平衡,同时考虑风机效率、传动效率、风机特性,以应对过滤器风阻的增加。宜选择高效设备作为降低能耗的主要手段。

带有一体式电机的直驱风机能效最高,最新一代的直驱风机的效率可达80%以上。宜考虑此类风

机的成本回收周期。

由于电机和风机之间的皮带传输能量在到达风机之前已消耗 10% 至 15%，现有的电机与风机在分离的情况下，风机系统宜考虑升级皮带，或用具有高效电机的直驱风机代替。在必须使用皮带的场合，使用低摩擦皮带和齿形皮带可最大限度地降低能耗。所有新设备都宜考虑采用直驱风机。

通常电机宜配有可变速驱动(VSD)的逆变器，以提供高效控制并具有灵活性。宜咨询风机厂商，选择在运行点上有所需静压值、能耗最低的低噪声风机。

10.2 空气过滤器的选择

末端过滤器的粒子去除效率不应超过洁净室达到规定清洁度所需的效率。为使风机能源需求最低，过滤设计宜最小化过滤系统的阻力。末端过滤器宜按所需的粒子过滤效率选择阻力最低的。滤材量较大的过滤器比滤材量较小的压降更低。例如，将高效过滤器厚度从 66 mm 增加到 110 mm，压降可降低约 40%，寿命增加 2.5 倍。

宜使用充足的预过滤器，以免末端过滤器更换过于频繁。对回风与循环风中安装的预过滤器，宜实施良好的清洁或更换计划，以确保预过滤器不会负荷过大，造成系统过大阻力，产生粒子释放到洁净室的风险。宜借助能耗分级方法，例如 Eurovent 4/11^[11]或其他图表。选择能效高的预过滤器。在过滤器设计阶段宜使用生命周期成本(LCC)模式，获得相应的选择性信息，如过滤器的选择、购买、能源使用、安装成本、维护和处置等信息。例：Eurovent 4/11^[11]。

11 照明水平

洁净室内的照明宜便于工作人员的控制，或由需求控制装置管理，以便在未用时关闭。对复杂的工作宜使用局部的 LED 照明，以减少背景照明。工作站照明的设计宜便于工作的同时降低疲劳。

12 培训

必要时，宜对工作人员进行寻求节能机会的培训。

为了推进这项工作，宜认同并理解公司的操作限制。

这项培训宜对工作人员介绍以下事项：

- a) 现行标准、规范、指南及组织的洁净室操作规程；
- b) 能源密集型的特定设备与工艺；
- c) 作为洁净室特定能耗的供暖和通风；
- d) 洁净室粒子产生的来源；
- e) 送风量及其对洁净室能耗的影响。

寻求节能机会时宜强调不得损害卫生、行为、健康、安全的总体目标。

如组织实施了节能计划，宜提供具体培训，说明如何在不同 HVAC 模式下运行、如何在不同状态下对洁净室进行监控、在发生不符合事件时所采取的措施。

一般洁净室培训宜包括洁净室节能课程。

13 运行

13.1 在规定正确的人员数量下执行工艺过程，宜实时确认降低风量的可行性。宜穿戴正确类型的服装，并审查和改进清洁制度(见 ISO 14644-5^[12])。

13.2 节能方法的重点是发现风量或回风比、洁净室自净时间和可靠运行的实际参数。宜完成下列三项任务：

- 保持风量的设计冗余；
- 遵守人员、清洁、维护的操作要求；
- 如有关联，选择额外的节能机会。

13.3 宜核准下列说明：

- HVAC 的正确运行；
- 房间测试、监测；
- 数据记录。

13.4 当特定的粒子浓度和其他参数，如温湿度等超过规定限值时，宜采取的措施包括：

- 明确洁净室类型；
- 洁净室空气处理机组(AHU)的数量；
- 有强制性要求时，通过测试和运行验收确认设计风量；
- 粒子浓度的定期或连续控制；
- 检查所有参数的警报限值；
- 用表格或图表记录粒子浓度、风量和风速；
- 当粒子浓度的增长超过警报或限值时，上报情况。

13.5 粒子增加时宜确定下列情况：

- 必要时向谁报告；
- 理解偏差和实施责任而采取的行动；
- 改善清洁、增加风量或持续观察的决定。

14 维护

洁净室宜根据 ISO 14644-5^[13] 进行一般维护，检查频率取决于设施年限。

为节能降低风量时，可选择下列预防措施，以防粒子浓度增加：

- 根据 ISO 14644-2^[8] 调整监控程序；
- 根据制造商的说明进行额外的维护工作，以保证暖通空调系统的可靠运行。

可由设施维护说明规定更严格的要求，其中宜包括定期检查皮带打滑和预过滤器堵塞。

宜使用更频繁的控制或检查，来补偿风量降低可能带来的影响。

如洁净室长时间运行，可简化维护要求，例如可延长测试间隔。当使用交互式建筑管理系统(BMS)时，可降低人工检查频率。

季节性(冬/夏)或外部粒子生成因素的影响，如春季花粉的产生，宜考虑在内。

15 停用

当洁净室计划很长时间不再使用时，或洁净室已陈旧过时或效率低时，宜考虑停机。宜评估其对毗邻洁净室房间可能产生的不利影响。如难以维持所需环境参数时，宜制定降低风险的预案。

附录 A

(资料性)

源强、风量和示例

A.1 非单向流洁净室送风量计算

非单向流洁净室对粒子浓度影响最大的是送风量、人员和机器的粒子散发量。虽然空气过滤器也影响很大,但使用通常安装在洁净室的类型,可保证其影响不大。所以,可用公式(A.1)较好地预估空气悬浮粒子浓度:

$$Q = \frac{D}{\epsilon \cdot C} \quad \text{..... (A.1)}$$

式中:

C ——在关注的位置上所需的空气粒子浓度,单位为个每立方米(个/ m^3);

D ——人员和机器散发出的粒子总量,单位为个每秒(个/ s);

Q ——送风量,单位为立方米每秒(m^3/s);

ϵ ——通风效果指数(无量纲)。

注:公式(A.1)的前提条件是粒子与室内空气的“完美混合”,这在现实洁净室中是极少见的。所以,使用通风有效性 ϵ 来涵盖“实际混合”情况的因素以及各种气流模式的效果。通风有效性可通过换气效果指数(ACE)或污染物去除效果指数(CRE)获得,其选择取决于应用情况以及现有数据或可获得的数据。另见参考文献[7][8][9][13]和[14]。

C 与 D 的占用状态相同,并以关注粒径为准。对既有洁净室,很多参数可以测量,并可确定污染源的散发量。获得的数据可用来优化所需的送风量。

如需换气次数,可使用洁净室的物理容积按公式(A.2)计算:

$$\text{ACR} = \frac{3\,600 \cdot D}{\epsilon \cdot C \cdot V} \quad \text{..... (A.2)}$$

式中:

ACR ——每小时换气次数;

V ——洁净室容积,单位为立方米(m^3)。

注:洁净室空气粒子浓度是由送风量决定的,不是由换气次数决定的。

A.2 通风效果

A.2.1 通风效果指数

公式(A.1)可使用两种通风效果指数(ϵ),即换气效果指数(ACE)和污染物去除效果指数(CRE^[4])。一般而言,通风效果指数的测量是由示踪气体完成的。但在洁净室中,示踪气体浓度受再入洁净室气体的影响,而空气取样器可随时测量粒子浓度,所以可以使用粒子进行测量通风效果指数。参见 Whyte 和他同事的文章^[38]。

A.2.2 换气效果指数(ACE)

换气效果指数(ACE)[参见 ANSI/ASHRAE Standard 129—1997(RA 2002)^[15]]是某位置在恒定标定时间和空气年龄之间的关系。Whyte 和他同事的文章^[38]表明在开始时,当污染物和空气完全混合在一个恢复测试的洁净室时,该洁净室的总体恢复率与空气更换率相同。因此,可以使用公式(A.3)计

算洁净室中的 ACE,该公式确定了与洁净室中的平均情况相比,某位置可以获得多少洁净空气。

$$ACE = \frac{ACR_m}{ACR_{avg}} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

ACR_m ——测量位置的每小时换气次数;

ACR_{avg} ——洁净室房间内的每小时换气次数。

房间中某个位置上换气次数的测量,是按 ISO 14644-3 中类似于自净时间的测试方法,测量该位置测试污染物的衰减。房间的整个换气次数可用送风量与房间容积获得,如公式(A.2)所示。

如若房间中空气混合达到最佳状态,ACE 为 1。如果测量处洁净空气的送达量少于平均数,ACE 则小于 1。如果洁净室送风量高于平均数,则 ACE 大于 1。公式(A.1)可使用较低值的 ACE,来补偿较差的通风。

既有洁净室中 ACE 受进风与排风的影响。如果散流器能将送风与室内空气充分混合,且设计的换气次数正确,并采用的是低位排风,则 ACE 可能处于 0.7 至 1.3 之间(参见 Lenegan^[16])。

需要注意的是,ACE 的测量可在一个或更多位置进行。如果空气污染主要发生在一个位置上,在该位置测量即可。如果污染发生在多个位置,就可能需要测出其中最低的 ACE。

大多数洁净室的主要污染问题是由室内自由移动的人员造成的。这种情况下,目标应有充足的无污染空气到达该关键位置,来保证污染浓度处于安全水平。

A.2.3 污染物去除效果指数(CRE)

另一个通风有效性指数是污染物去除效果指数(CRE)。该指数测量的是去除粒子污染的效果,其计算方法见公式(A.4):

$$CRE = \frac{C_m}{C_{avg}} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$C_m^{1)}$ ——洁净室排风管处测得的每立方米大于或等于 $0.5 \mu m$ 的粒子总数,单位为个每立方米 (个/ m^3);

C_{avg} ——洁净室中测得的每立方米大于或等于 $0.5 \mu m$ 的粒子平均数,单位为个每立方米 (个/ m^3)。

污染物去除效果指数(CRE)是洁净室送风稀释室内污染物的效果,可用来计算洁净送风较差房间所需的额外补充风量(见参考文献[4])。根据实际情况,它处于 0.3 至 1 之间。

A.3 洁净室内粒子散发量

A.3.1 概述

为计算洁净室所需的送风量,需要知道洁净室内粒子的散发量。洁净室粒子一般是从人员、机器/设备散发出来的,来自这两种来源的散发量应相加。

A.3.2 洁净室内人员粒子散发量

洁净室内人员的粒子散发一般是洁净室内最重要的粒子来源。但准确确定粒子散发值并非易事,因为决定粒子释放量的有每位人员、洁净服的设计、生产洁净服所用面料的紧实情况,还有人员的活动程度。应将洁净服看作是人员皮肤和服装所散发的污染物的过滤器。最好的洁净服能将人员全部罩

1) 原文字母使用重复,鉴于解释中含有总计(total),因此加了角标。

住且所用的面料散发的粒子最少,并能阻挡粒子通过面料(例如密织的涤纶)。人员散发的粒子能从衣摆下部散发出来,因此连体服效果更好。人员活动量大时散发的粒子量大大高于活动量小的时候。

典型的散发量情况见参考文献[7]和[8],但实际散发量的值可与其值不同。所以如有可能,宜使用 A.4 给出的方法在洁净室中测出实际散发量。

A.3.3 洁净室内人员粒子散发量

机器和设备的粒子散发量依其类型不同而有所不同,最好是从机器设备的生产商处获得其粒子散发量的信息。另外,可用 ISO 14644-14^[17]中所述的方法,从实验中获得总散发量。

使用公式(A.5)计算散发量:

$$E = C_s \times Q \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

E ——散发量,单位为个每秒(个/s);

C_s ——房间的平均粒子数,单位为个每立方米(个/m³);

Q ——送风量,单位为立方米每秒(m³/s)。

这个方法还可用于涵盖设备操作人员以及室内所获得的所有来源的总散发量。

A.4 非单向流洁净室送风量计算示例

设计了一间长 10 m、宽 10 m、高 3 m(容积 300 m³)的 ISO 7 级(占用状态;动态)非单向流洁净室。此设施中,大于 0.5 μm 和大于 5.0 μm 粒子浓度具有重要性。

该设施有 3.3 m³/s(换气次数 40 h⁻¹)的高送风量,该房间一般优于其分级,因此运行成本很高。室内工作人员最多 4 人,室内有工艺设备运行。

进行了 CFD 模拟与评审后,一名有经验的洁净室工程师建议改动如下:

- 在送风过滤器上安装漩涡散流器来取代孔板;
- 改进洁净服,人员穿连体服,戴帽子、口罩、手套;
- 改进清洁方法。

落实了这些改进之后,洁净室测试结果有了显著提高。根据 CFD 数据,实施了一个 14 d 的监测计划。(洁净室,受控环境,封闭区域^[5])

对监测数据进行了分析以估算洁净室内人员和设备的源强。

估算的数据如下:

- 大于或等于 0.5 μm 粒子;150 000 个/s;
- 大于或等于 5 μm 粒子;3 000 个/s。

这些数据是正常运行期间最大的散发量。但可如 6.2.3,由一个合适的补偿因数来增加,可进行随后的测试调整。

依据设施的改进以及 CFD 的预测,在公式(A.1)中使用的换气效果指数(ACE)为 0.7,并同意补偿系数为 1.5。

将每个粒径的源强代入公式,对大于 0.5 μm 粒子 C 为 352 000 个/m³,对大于 5.0 μm 粒子 C 为 2 930 个/m³,则:

对 0.5 μm 粒子, $Q=0.61$ m³/s;对大于 5.0 μm 粒子, $Q=1.46$ m³/s。用这些数字乘以补偿系数 1.5,说明下述内容可用于渐进测试:

- 对大于 0.5 μm 粒子,房间可采用 0.93 m³/s(换气次数 11 h⁻¹);
- 对大于 5.0 μm 粒子,房间可采用 2.2 m³/s(换气次数 26 h⁻¹)。

采用较高的风量,实际应用的风量可从 $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 减至 $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$,风量降低了 $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 。对补偿系数进行渐进式调整,以确保最佳结果。最终验收前要进行影响评估。

A.5 单向流洁净室风量计算

单向流洁净室的洁净度不是由送风量或换气次数决定的,而是由风速决定。但是,为降低风量从而减少能耗,需确定单向流洁净室获得的低浓度污染是否需要,或者说非单向流系统是否满足要求。如需要单向流,最小化单向流面积,使其仅覆盖关键区域(核心工艺)。使用空气净化装置也能实现这点。应降低风速,同时维持规定的粒子浓度和微生物指标。总之,风速越高,空气粒子浓度越低。

宜考虑下列因素:

- a) 人员散发的污染物量;
- b) 设备产生量;
- c) 其他空气污染源。

为降低风速,人员管理方面宜考虑下述内容:

- a) 尽量减少现场人员数量;
- b) 尽量减少身体暴露在单向流区域下的比例;
- c) 尽量缩短身体暴露在单向流区域下的时间;
- d) 增加人员与暴露的产品的距离,并在产品移动期间提供保护。

人员和设备造成的气流扰动会增加关键区的污染程度,宜对其进行评估。宜考虑人员的活动,并考虑设备的运转、热量散发,及对气流的阻碍等。

在工作量少或非工作期间,风速可降至 $0.2 \text{ m/s} \sim 0.3 \text{ m/s}$,但对此风速的降低需事先征得产品质量部门的确认。对进入洁净室粒子的控制及去除,需由运行过程中的粒子计数及气流可视化予以验证(参见 ISO 14644-3^[4])。

附录 B
(资料性)
节能机会

节能机会目录见表 B.1。

表 B.1 节能机会目录

实施阶段	项目	机会	重要事项	可能的不利影响	降低风险策略/工具	参考号
源强评估 用户技术要求/技术条件	污染源	避免过度设计	识别全部相关污染源并评估其强度,优化气流	评估的污染源和(或)其强度有误差	加强对工艺研究,参考相关文献,开展实验	附录 A
	性能要求	避免技术要求过高	为工艺规定正确的运行参数(即洁净度等级、自净时间、压力、湿度、照度、占用状态等)	工艺变化的灵活性受限	设定小的、合理的余量,为不同的临界值设定不同参数	5.1 6 9
	设施尺寸要求	避免尺寸过大	规定正确的工艺区域大小,正确的占用状态等	工艺变化的灵活性受到影响	设定小的、合理的余量,实现区域和 HVAC 系统的模块化扩展	5.2 6 附录 F
	占用状态	优化占用状态	优化人员数量,以节约空间并减少粒子和微生物污染	作业会更为复杂	加强过程控制	5.2 13
	服装要求	对人员释放的污染物进行最大限度的隔离	依据工艺要求,规定正确的服装类型	提高了成本和人员不适度		5.2
	工艺设备负荷	减少工艺设备热负荷、湿负荷	在选择工艺设备时,考虑降低热负荷与湿负荷	无	—	5.1 9
	工艺设备适用性	减少来自工艺设备的污染	根据洁净室用途,详细说明工艺设备适用性(参见 ISO 14644-14 ^[1])	无	—	
	采用屏障技术	减少洁净度要求高的区域	在提技术要求时,考虑采用屏障技术的可能性,使洁净度要求高的区域尽可能小	灵活性受影响,工艺可能更复杂了	—	5.1 附录 F

表 B.1 节能机会目录 (续)

实施阶段	项目	机会	重要事项	可能的不利影响	降低风险策略/工具	参考号
设计、再设计、建造	气流, 单向流	降低风速	考虑在受单向流保护的区域, 降低风速的同时保持置换有效性	进入的粒子会增加, 去除的粒子会减少	设计中采用 CFD; 保留小的、合理余量; 用烟示踪验证, 随后对污染水平和环境数据进行监测	6 7 8 附录 A
	气流, 非单向流	降低风量	通过评估污染源/强度、通风有效性、热负荷, 考虑降低风量的可能性	粒子稀释不足, 有死区, 房间漏控不良, 自净时间延长	设计中采用 CFD; 保留小的、合理余量; 用烟示踪验证, 随后对污染水平和环境数据进行监测	6 7.1
	新风	降低新风量	通过认真评估 HSE 需求、工艺需求(排风补偿)、房间漏风量, 考虑优化新风的可能性	HSE 条件差, 压力控制差	保留小的、合理的余量, 验证房间压力和 HSE 数据的验证, 随后进行监测	6 10
	排风量	减少从工艺设备的排风量	通过合适的设计, 考虑优化排风量的可能性, 以降低所需补风量	HSE 条件差	—	6 10
	照明系统	选择高效照明系统	设计高效照明系统(LED、HF 荧光灯), 基于占用状态传感器、日光补偿、调光器的控制系统	无	—	11
	中央 AHU 与 FFU	通风效率最大化	根据实际应用情况, 选择正确的空气循环系统, 以降低通风的能耗	最大化风机能耗和(或) AHU 与 FFU 消耗的最小化	—	6 附录 A 附录 F
	低速运行能力	非工作时间减少风量	考虑在 HVAC 设计中融入低速运行的可能性, 以便在非工艺期间降低风量	HVAC 和控制系统的复杂性会增加, 增加故障风险	设计中采用 CFD, 保留小的、合理的余量, 验证污染程度和环境数据的验证, 随后进行监测	6 7.1
	空气处理机和 HVAC 部件	使用高效能部件, 优化性能	优化 AHU 和 HVAC 部件的性能, 降低能耗; 选择高效风机、电机、变速驱动器; 规定盘管、过滤器、AHU 部分的压降值为低值。规定 SFP 的目标值	建造成本增加, AHU 尺寸增加, 改变冷冻机性能	按既有 SFP 参照表优化风机参数	10

表 B.1 节能机会目录 (续)

实施阶段	项目	机会	重要事项	可能的不利影响	降低风险策略/工具	参考号
设计、再设计、建造	空气过滤器	降低初始阻力	按“空气过滤器生命周期成本模式”选择预过滤器和末端过滤器,以优化过滤器性能	无	选择质量适当的过滤器,按生产商的指南进行安装	10
	HVAC 配送系统	通过设计优化阻力	为降低通风能耗(目录中全部分项),设计低风阻、自均衡风阻系统	无	确保仪器经过校准	10 14
	建筑管理系统 (BMS)	优化并改进能源管理	规定正确的 BMS 顺序,防止加热/冷却、加湿/去湿之间的重复能耗	无	确保仪器经过校准,确认回路经过调整	14
	环境管理系统 (EMS、PMS、MMS)	监测环境参数,支持节能措施	为支持节能措施,采用湿度、温度、压差 (EMS)、悬浮粒子浓度 (PMS)、空气中微生物粒子浓度 (MMS) 的环境监测系统	建造成本	通过风险分析和 CFD 研究优化传感器位置和数量	13 14
测试	自适应控制	根据污染程度的需要,降低风量	考虑采用自适应控制系统的可行性,以落实符合需求的节能措施	污染水平和环境参数的局部控制失效	通过风险分析选择传感器数量/位置	8
	调试、验证	通过测试和(或)验证来确认节能措施	使用测试/验证的结果,确认节能措施的有效性	无	—	12 6
	定期测试	定期进行测试,验证节能措施	使用长期的定期测试结果,验证节能措施的有效性并查找可能的残余量	无	—	12 4.12
运行和维护	工作人员能力 (培训)	提高人员培训,减少污染强度	工作人员的能力提高有助于减少洁净室内的悬浮粒子污染	无	—	12
	监测	监测环境数据,验证节能措施	明确环境监测系统监测的湿度、温度、压差、粒子监测系统监测悬浮粒子浓度,微生物监测系统监测悬浮微生物粒子浓度,有助于持续或高频率验证节能措施有效性	无	—	13 14

表 B.1 节能机会目录 (续)

实施阶段	项目	机会	重要事项	可能的不利影响	降低风险策略/工具	参考号
运行 和维护	低速运行计划	非工作时间 HVAC 以低速率运行	在无人静态条件下, HVAC 以较低风量运行	未经许可进入房间	加强人员培训,特别是维护和清洁团队。执行有效的出入口控制和警报系统	7.1
	关机	做好洁净室不工作时 HVAC 关闭记录	不工作时或长时间无人时可关闭 HVAC	未经许可进入房间,全面污染的风险,再启动时来自过滤器粒子的置换和露点升高的风险	加强人员培训,特别是维护和清洁团队。执行有效的出入口控制和警报系统。重启时要格外小心,需要进行影响评估	7.2
	洁净室空气泄漏	确保洁净室密闭性,长时间保持压力	确保洁净室长时间密闭性,防止新风量增加	在漏风量最小时,压力可能不稳	配备如弹簧式或重锤式释放风门使其达到最小的受控的漏风量	14
	维护计划	订立适当的维护计划以维持 HVAC 系统的能源效率	适当的维护计划有助于使过滤器压降最小,使 HVAC 部件效率最高	无	—	14
	清洁与保洁	订立合适的清洁和保洁计划以降低洁净室的污染负荷	适当的清洁和保洁计划有助于降低洁净室的污染负荷,有助于节能策略的落实	无	—	14
洁净室处置 (停用)	停用	停止过时和(或)低效洁净室的运行	根据洁净室停用时间的长短,评估对毗邻和(或)相关房间的影响	毗邻房间维持所要求的参数有难度(温度、湿度、压差)	确保设计是合适的,或做相应修改	15

附录 C

(资料性)

影响评估

附录 B 给出的是能源优化机会列表,该表同时给出了优化可能带来的不利影响以及尽量降低影响的方法。

优化带来的变化可以是 HVAC 设施的修改,生产平面图和工艺流程的改动,运行模式、清洁、维护等的变化。需以文件形式记录这些变化,确保预期的技术要求得到满足。

在“建设阶段”与“验证阶段”的基本原则中,需评估并说明能源优化建议可能造成的影响和结果。

评估包括以下内容。

- 1) 污染物。
- 2) 人员的变化性及不确定性;
 - 人员是高度变动的源强;
 - 人员密度、更衣、清洁是考虑的重要因素。
- 3) 工艺变动性。

识别洁净室环境中污染控制的关键点工具见参考文献[19][20][28]。

改动建议需与客户明确沟通并事先取得一致。

附录 D

(资料性)

基准比对: 洁净室能源绩效参数

D.1 测能体系介绍

洁净室因其风量高、过滤要求高、使用通风增压等,而成为能耗最大的设施。各行业洁净室设施的能效范围宽泛。在低效率工厂的设施经理有可能不具备其洁净室去除污染物的能源效率评测手段,或不能更专业地判定其洁净室利用空气处理系统去除污染的能源成本。这里需要的是随时间过程比较洁净室设施本身性能或与有同样洁净度要求的类似设施进行比较的体系。

本附录给出的是要求相近的洁净环境中空气处理系统之间能耗的比较尺度。确定的能源绩效参数(EnPI),为设施间比较提供了有效手段,并随时间推移对给定设施的能效水平进行判定、跟踪、管理,或是为新建设项目设定目标。本附录仅涉及洁净室独有的去除污染的能效,一般的机械供暖、冷却、加湿和去湿参照 HVAC 标准及其能源绩效参数。

洁净室能源绩效参数参照 Metrics and Benchmarking(出版于 ASHRAE 杂志,第 53 卷,第 10 期)^[21],VDI 2083-4.2^[22],BS 8568^[23]和 ISO 50006^[24]。

D.2 测能体系范畴

本测能体系适用于 ISO 14644 标准涉及的所有洁净生产空间。

可按此体系评估的空间包括 ISO 等级的房间、区域及设备屏障装置(如隔离器、有限介入式隔离装置、洁净工作台、上送风净化区、“单向流”净化区及工作台)。

不适用于分级洁净区内外的办公室、卫生间、生活便利设施、仓库、工作间、公共走廊及其他非洁净生产或研发空间。

D.3 测能体系性能指标与基准

该系统分为三个主要范畴或能源绩效参数(EnPI)。

- 1) 去除污染风机密度(PICR):空气处理系统去除污染瞬间耗能的功率与污染地面面积的比值。这是动态时(附带电气部件的损失)风机系统的功率除以洁净室地面面积。这个指标是两个分指标之积:单位风量风机功率与归一化风量(计算方法见 D.4)。整个 PICR 是全部系统的 PICR 之和,或关注的服务区域系统的 PICR 之和。
- 2) 去除污染能耗密度(EICR):空气处理系统去除污染每年消耗的能源与污染地面面积的比值,该指标包括了停机、低速运行及先进控制方法等因素(计算方法见 D.4)。
- 3) 设施能耗密度(EI):包括供暖、冷却、加湿、去湿、照明等设施每年所用能源与污染地面面积的比值。该指标包括发电系统效率、能源回收的影响、建筑物构造的影响、平面布置的影响及室外空气预处理的影响。该指标如 ISO 50006^[24]所述,包括所有类型的设施。但这里的指标按洁净室等级进行分类,只包括洁净室耗用的能源。

为对设施进行监测,设定一个能源基准(EnB),这就是设施过去一个具体时间点的 EnPI 值。以这个 EnB 为准,可进行定期检查,找出变化量,并为节能设定新指标。

D.4 去除污染风机密度(PICR)

向洁净室、洁净区、洁净围护结构等送风的所有空气处理机的 PICR,都确定下来。这包括但不限于新风机组、循环风机组、排风机组。

为确定这个指标,至少需要风机功率和洁净室面积。用总风机功率除以面积就得到去除污染的功率密度,见公式(D.1)。

$$\text{PICR} = \frac{\sum P_i}{A} \quad \text{.....(D.1)}$$

式中:

A —— 洁净室面积,单位为平方米(m^2);

PICR —— 洁净室每平方米用于污染物去除的风机功率,单位为千瓦每平方米(kW/m^2);

$\sum P_i$ —— 风机的总功率,单位为千瓦(kW)。

也可从两个分指标确定此指标的值:单位风量风机功率(SFP)和归一化风量(Q_N)。这些分指标的优点是它们可分别显示出效率和绩效。效率即 1 m^3 空气通过空气处理系统所需的能源,绩效是从每平方米洁净室去除污染物所需的风量。两个指标的值越低,说明能耗越低。

a) 单位风量风机功率(SFP)

为洁净室、洁净区、洁净围护结构系统等送风的所有空气处理机组确定其 SFP。其中包括但不限于新风机组、循环风机组、排风机组。测量每个机组的风量和功率输入(动态时),就可确定其 SFP。

使用前后一致且经过证明的方法测量气流,以保证结果的可比性。例如,采用皮托管、压差仪、温度计(热线法)等在风机处进行测量,参考风机曲线图(每个风机有自己的值)选择 K 值。

可用电流计和电压计直接测量输入功率来确定功耗。考虑有效功率和无功功率(及功率因数或 $\cos\varphi$)的比例。当马达负荷低于额定功率的 70%~80% 时,专门测量 $\cos\varphi$ 。风机配备变速驱动(VSD)的,VSD 上的显示器可直接读出功率值,该读数也可记录在建筑能源管理系统上。

确定了风量和功率后,用公式(D.2)可算出 SFP:

$$\text{SFP} = \frac{P_i}{Q} \quad \text{.....(D.2)}$$

式中:

P_i —— 风机功率,单位为千瓦(kW);

Q —— 风量,单位为立方米每秒(m^3/s);

SFP —— 单位风量风机功率,单位为千焦每立方米(kJ/m^3)。

注:此 SFP 指标说明了风机系统控制压差消耗的所有能源。虽然该分指标可用帕斯卡(压力)表示,但仅凭测量风机压降无法确定 SFP。仅测量风机压差就无法包括驱动系统(如轴承、皮带驱动、VSD 等)的损耗。

b) 归一化风量

如上所述,SFP 说明空气移动的效率如何,但未说明洁净室内稀释和置换污染物所用的风量。因此,洁净室所耗风量需要一个归一化的量纲。为使指标前后一致,风量归一化就是风量除以地面面积。为此,可首先测量各个洁净室(动态时)送风点的送风量,再按洁净室 ISO 等级细分,然后用每个等级洁净室的总风量除以该风量送达的地面面积。还有一种方法是使用测试获得的空气均衡数据,得出归一化风量 Q_N ,见公式(D.3):

$$Q_N = \frac{Q}{A} \quad \text{.....(D.3)}$$

式中:

A —— 洁净室地面面积,单位为平方米(m^2);

Q —— 风量,单位为立方米每秒(m^3/s);

Q_N —— 归一化风量,单位为立方米每秒(m^3/s)。

D.5 去除污染能耗密度(EICR)

PICR 推动高效空气处理系统的设计,使正常运行实现低能耗。PICR 有助于对比各运行状态下的洁净

室。然而, PICR 并未考虑洁净室随时间或按污染的产生情况自适应控制时的节能可能性。不需要稀释污染物时降低风量, 可显著降低能耗。洁净室静态时可采用这一原则, 这是自适应控制的中心原则。

确定 EICR 可用 PICR 所用的类似方法, 计算出该指标就是将一年中洁净室、洁净区及净化装置所有风机系统的能耗求和, 然后除以该洁净室、洁净区及净化装置占用的面积。

风机能耗的测量可用不同的方法。配备 VSD 的风机可给出总能耗, 该值可人工或从能源监测系统读取。如若没有 VSD, 且风机连续运行时, 其能耗将是 SFP 乘以 8 760 (h/a)。如若风机不是连续运行, 则可监测其运行时间 (h), 或为风机配备能量计。若风机运行是可调的, 不同条件有不同的风量送出, 则可测量能耗并求和, 来确定 EICR。一年测一次就能大致确定这个指标, 但为了更高的准确度, 建议有较高的测量频率。

不论用何种方法, 计算这个指标是将每年用于去除污染的风机总能耗除以洁净度等级区域的占地面积。

用 D.4 b) 中相同的归一化风量 (Q_N), 可确定 EICR。但不用单位风量风机功率, 而是用单位风量风机功耗, 见公式 (D.4):

$$SFE = \frac{E_c}{Q} \quad \text{..... (D.4)}$$

式中:

E_c —— 风机年用电量; 单位为千瓦时 (kWh);

Q —— 运行风量, 单位为立方米每秒 (m^3/s);

SFE —— 单位风量风机功耗, 单位为千瓦时秒每立方米 [$kWhs/m^3$]。

在 PICR 式中用 SPEC 代替 SFP 就得到 EICR 式, 见公式 (D.5):

$$EICR = SFE \times Q_N \quad \text{..... (D.5)}$$

式中:

EICR —— 污染物去除所需的风机用电量; 单位为千瓦时每平方米 (kWh/m^2);

Q_N —— 归一化风量, 单位为米每秒 (m/s);

SFE —— 单位风量风机功耗, 单位为千瓦时秒每立方米 [$kWhs/m^3$]。

该指标可确定某具体面积上不同空气处理系统的 EICR, 如新风系统的 EICR, 循环风系统的 EICR, 排风系统的 EICR。这里所说的 EICR 是所有分系统全部 EICR 之和。

当系统以恒定功率每周 7 d、每天 24 h 连续运行, 用 8 760 h/a 乘以 PICR 就得出了 EICR。

同 PICR, 需列明所关注的 ISO 等级及关注的工艺特性以便于对比。例如, ISO 6 级的半导体洁净室可标示为 $EICR_{semicon@ISO6}$ 。共用空气系统的非洁净空间, 例如办公室、仓库和其他房间有特殊的备注。

D.6 能源密度 (EI)

将目标洁净室、洁净区或洁净装置的年总能耗, 除以它们的地面面积, 就算出了基本设计指标。再将这些数据按 ISO 等级分类, 并注明设施类型。这是为了促进不同行业间 ISO 3 级至 9 级洁净室设施 (动态) 节能观点的交流。

如果洁净室的年能源消耗数字无法得到, 可从普通的能耗付费信息查明这些能耗, 并容易估算出能耗情况。

本指标包含所有的因素, 不区分所用能源的来源。旨在使工程师和设施经理找到对能源影响最大的区域, 并确保这些区域的能源效率 (这是工程师的基本职责)。所有的分析都是对 8 760 h/a 而言。

为与能源基准 (EnB) 作对比, 考虑了气候的影响。可用气候数据将能源数据作归一化处理, 因气候数据对新风系统、风量有较大影响。

若没有其他数据, 可使用上一年的 EnPI 作为 EnB 进行参照。

附录 E

(资料性)

降低供暖与冷却损耗的措施

E.1 供暖

降低供暖包括下述措施。

- a) 在洁净室 HVAC 系统中,采用高能效的空气再循环设计。
- b) 在 HVAC 设计中,尽量降低工艺设备的冷却负荷。
- c) 控制室内人员的数量。
- d) 减少洁净室中来自下列来源的热增益:
 - 通过洁净室围护结构的结构热增益(地面、隔断、顶棚);
 - 直接或间接处在外部建筑上的窗户射入的日光带来的热增益;
 - 位于洁净室内任何设施设备的热增益;
 - 洁净室内照明带来的热增益;
 - 洁净室内工作人员发出的显热和潜热;
 - 新风负荷。
- e) 在适当处可将洁净室构造作隔热处理。
- f) 使用玻璃日光反射膜或外遮阳措施。
- g) 将热的或冷的工艺设备全部或部分置于洁净室外。
- h) 对房间内剩余设备进行充分通风。
- i) 根据外部条件和房间所需压力降低新风量。

E.2 冷却

冷却损耗包括下述措施。

- a) 在低谷负荷期间,降低冷冻水流量。
- b) 选择高效冷冻水系统或直膨系统(DX)。注意依靠冷媒的直膨系统对较小洁净室和医院洁净室有显著节能效果(见参考文献[27])。
- c) 使用可变速螺杆压缩机并对其进行精确控制,以在低热负荷期间实现低能耗的良好控制。
- d) 在使用风冷的冷水机组时,配以双换热器来实现自然冷却。当环境温度足够低时,就可通过旁通而不用冷媒冷却系统。
- e) 在控制大洁净室中的湿度水平时,考虑将显冷(去除热增益)与潜冷分开。

注 1: 显冷却冷冻水回路比潜冷却冷冻水回路流量更高、回水温度更高。潜冷却除湿一般用于新风系统。冷却盘管达到露点才能从空气中凝结出湿气。为此冷冻水温要低,例如进水温度为 6℃,出水温度 12℃。显冷却一般用于循环风,因为循环风已经过调节,无需除湿。所以冷却盘管的温度可以高些,例如进水温度为 12℃,出水温度为 16℃。冷却盘管的温度越高,冷媒凝结和蒸发的温度越高,制冷效率就越高。所以,尽量减少潜冷却,尽量提高显冷却,就优化制冷设备总的性能系数(COP)。

注 2: 来自冷凝器水系统的热回收用于空调、再热、空间供暖或生活用水的预热。

注 3: DX 系统中有四个基本部分:蒸发器、压缩机、冷凝器、热膨胀控制器。蒸发器位于送风管中,流经蒸发器内的冷媒因蒸发而使蒸发器吸热。冷媒然后流至压缩机被压缩并在冷凝器中冷凝,于是将送风中吸收的热量又释放出来。其后,凝结出来的液体冷媒流经热膨胀控制器。该控制器对返回到蒸发器的冷媒的流量和压力进行控制。

附录 F
(资料性)
减少关键区示例

减少洁净度要求极高的关键区域的大小,就能使尺寸过大的洁净室带来的能耗负担尽可能小。这样,可大大降低所需的过多洁净风量。这既包括新工厂的设计工作,也包括对既有设施的调研。本例说明的是药厂中减少这类区域的情况。

在一个普通的洁净厂房中,要求最里面的生产部分为制药洁净度 A 级,不同的制药等级 A、B、C、D 用气闸室分开。气闸室可将人员和材料隔离,所以每个气闸室需要较大的面积。

如若减小未分级区域运送到 B 级区材料的尺寸,则可采用更有效的解决办法,如推荐图 F.1 所示,将 C 级/B 级气闸与 C 级通风工作台组合在一起。

为进行比较,图 F.2 是一般洁净厂房的布局。

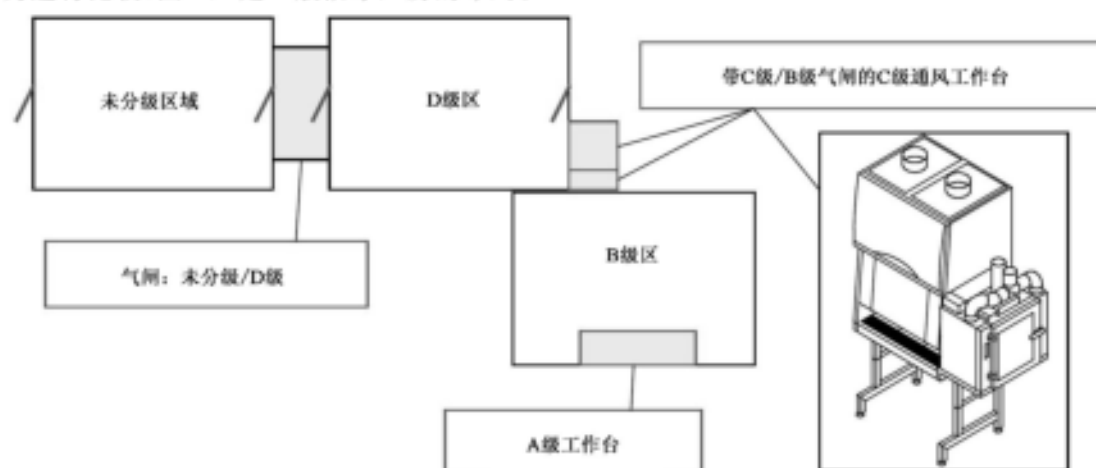


图 F.1 带气闸的 C 级通风工作台

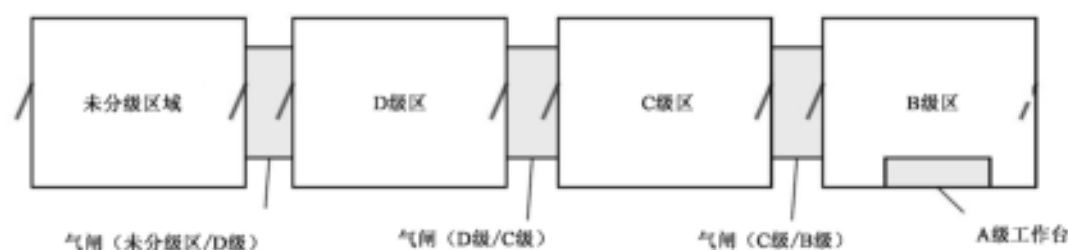


图 F.2 一般洁净厂房布局

注：附录中列出的措施是基本建议，在做出变更之前，有必要对整个项目结果进行评估。参见 ASHRAE 期刊 2008^[20] 和 EN 13053-A1^[20]。

参 考 文 献

- [1] ISO 14644-7:2004 Cleanrooms and associated controlled environments—Part 7: Separative devices (clean air hoods, gloveboxes, isolators and mini-environments)
- [2] ISO 14644-1:2015 Cleanrooms and associated controlled environments—Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration
- [3] ISO 14644-2 Cleanrooms and associated controlled environments—Part 2: Monitoring to provide evidence of cleanroom performance related to air cleanliness by particle concentration
- [4] Mundt E., Mathisen H. M., Nielsen P. V., Moser A., REHVA Guidebook No. 2: Ventilation Effectiveness, Brussels: Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations (REHVA), 2004
- [5] ASPEC-ADEME-EDF Guide, Energy performance in clean zones (cleanrooms, controlled environments, contained areas), France: ASPEC- ADEME-EDF, December 2016
- [6] ISO 14644-3 Cleanrooms and associated controlled environments—Part 3: Test methods
- [7] Ljungqvist B., Reinmuller B., People as Contamination Source, Dispersal Chamber Evaluations of Clothing Systems for Cleanrooms & Ultraclean Operating rooms, Gothenberg Sweden: Department of Energy and Environment Chalmers University of Technology, 2014 ref D2014:01
- [8] Romano F., Ljungqvist B., Reinmuller B., Gusten J., Joppolo C. M., Performance test of technical cleanroom clothing systems, Milan: Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano, and Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2016
- [9] CAMFIL FARR, Clean Room Design Standards and Energy Optimization, Stockholm, Sweden: Camfil Farr, 2012
- [10] Fedotov A., (2016). Air change rates for cleanrooms with non-unidirectional airflow. Clean Air and Containment Review, April issue 26, and 34, pp.12-20
- [11] EUROVENT, Eurovent 4/11: Energy Efficiency Classification of Air Filters for General Ventilation Purposes, Brussels: Eurovent, 2014
- [12] ISO 14644-5 Cleanrooms and associated controlled environments—Part 5: Operations
- [13] Sun W., ed. Development of Cleanroom Required Airflow Rate Model Based on Establishment of Theoretical Basis and Lab Validation, ASHRAE Transactions, Atlanta, GA, ASHRAE, 2010
- [14] Whyte W., Eaton T., Whyte W.M., Lenegan N., Ward S., Agricola K., (2017). Calculation of air supply rates and concentrations of airborne contamination in non-UDAF cleanrooms. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 22(4), pp.126-138, <http://eprints.gla.ac.uk/157532/1/157532.pdf>
- [15] ANSI/ASHRAE Standard 129—1997 (RA 2002). Measuring air-change effectiveness, American National Standards Institute, USA
- [16] Lenegan N., (2014). Diffuser performance in cleanrooms. Clean Air and Containment Review, Issue 18, pp. 8-14
- [17] ISO 14644-14 Cleanrooms and associated controlled environments—Part 14: Assessment of suitability for use of equipment by airborne particle concentration
- [18] Whyte W., Ward S., Whyte W. M., Eaton T., (2014). Decay of airborne contamination and ventilation effectiveness of cleanrooms. International Journal of Ventilation, 13 (3), pp. 1-10. Available at <http://eprints.gla.ac.uk/100819/1/100819i.pdf>

- [19] INTERNATIONAL CONFERENCE OF HARMONISATION OF TECHNICAL REQUIREMENTS FOR REGISTRATION OF PHARMACEUTICALS FOR HUMAN USE (ICH), Quality Guidelines, Q9 Quality Risk Management, ICH, 2010
 - [20] ISO 31000:2018 Risk management—Guidelines
 - [21] Matthew, P., Tschudi W., Sartor D., Beasley J., Cleanroom Energy Efficiency, Metrics and Benchmarking, Published in ASHRAE Journal, v. 53, issue 10, 2010
 - [22] DIN, VDI 2083-4-2—2011 Cleanroom Technology—Energy Efficiency
 - [23] BS 8568:2013 Cleanroom energy—Code of practice for improving energy efficiency in cleanrooms and clean air devices
 - [24] ISO 50006 Energy management systems—Evaluating energy performance using energy performance indicators and energy baselines
 - [25] Sun W., Conserving Fan Energy in Cleanrooms, ASHRAE Journal, Atlanta, GA, ASHRAE, 2008
 - [26] EN 13053-A1:2011 Ventilation for buildings—Air handling units—Ratings and performance for units, components and sections
 - [27] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS INC. (ASHRAE), ASHRAE Handbook—HVAC Applications, Chapter 18, Clean Spaces, Atlanta, Georgia, USA, 2015
 - [28] INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (IEST), RPCC012.3: Considerations in Cleanroom Design, Schaumburg, Illinois, USA, IEST, 2015
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

洁净室及相关受控环境 第16部分：
提升洁净室和空气净化装置的能效

GB/T 25915.16—2024/ISO 14644-16:2019

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.net.cn

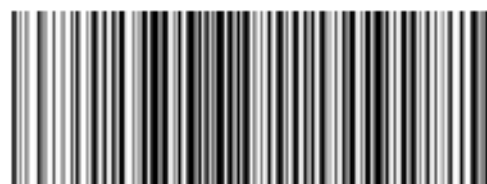
服务热线: 400-168-0010

2024年3月第一版

*

书号: 155066 · 1-75321

版权专有 侵权必究



GB/T 25915.16-2024