

ICS XXXXX
CCS X XXX

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—202X

涡旋通风技术规范

Technical specification for vortex ventilation

（征求意见稿）

（在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

CHECK CRA

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。

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：西安建筑科技大学、中国电子工程设计院有限公司、中色科技股份有限公司、陕西省建筑科学研究院有限公司、河南豫光集团有限公司、中国恩菲工程技术有限公司、东北大学设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：曹智翔、王怡、许远超、卢笛、杨春晖、黄沛增、任兆成、邱峰、肖勇强、曹莹雪、孙建新、邹江、肖子捷。

本文件为首次发布。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到“一种送风可调节的柱状空气涡旋排风装置”（ZL. 201711140458. 7）、“一种多工况可调立式涡旋通风测试装置”（ZL202110733637. 1）、“一种用于高大空间的可适应天车涡旋通风装置”（ZL202110795583. 1）、“一种可开闭的柱状空气涡旋侧吸排风装置”（ZL201710418517. 6）和“一种开敞式空气涡旋侧吸排风装置”（ZL201711394390. 5）相关专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构保证，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下方式获得：

专利持有人姓名：西安建筑科技大学。

地址：陕西省西安市雁塔路中段 13 号。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

涡旋通风技术规范

1 范围

本文件规定了应用于工业建筑的涡旋通风系统的术语及定义、设计、设备、施工安装、调试验收、运行维护的技术要求。

本文件适用于冶金、铸造、焊接、机械加工等存在高污染散发的既有或新建工业厂房中，利用柱状空气涡旋控制污染物扩散的通风工程。

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。

GB 50019 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范

GB 51245 工业建筑节能设计统一标准

GB/T 16803 供暖、通风、空调、净化设备术语

GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素

GBZ 2.2 工作场所有害因素职业接触限值 第2部分：物理因素

GB/T 16758 排风罩的分类及技术条件

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

HJ 2000 大气污染治理工程技术导则

3 术语和定义

3.1 术语

3.1.1

涡旋通风 vortex ventilation

通过布置于污染源周边的角动量送风射流与顶部排风协同作用，在空间内形成稳定的、具有强制旋流特征的柱状空气涡旋，以实现污染物定向捕获与输运的通风方法。

3.1.2

角动量送风 angular momentum supply airflow

为形成柱状空气涡旋而设计的，以一定偏转角度切向送入，具有特定质量流量、送风速度及方向的送风射流。其核心作用是通过向涡流区注入角动量，驱动并维持稳定的旋转气流。

3.1.3

涡流区 vortex zone

由各相邻角动量送风口中心连线所围成，自底部平面向上延伸至排风口附近，且内部气流以旋转上升运动为主的空间区域。

3.1.4

涡流区设计直径 vortex zone design diameter

在涡流区近底部平面处的横截面上，其边界内切圆的直径。

3.1.5

底部平面 bottom plane

作为涡旋气流起始下边界的参考平面，通常为建筑地面、污染源表面或经平整、等效后的设备平台、结构表面。

3.1.6

排风罩 exhaust hood

设置于涡流区上部，用于汇集并排出涡旋输送的污染空气的装置。

3.1.7

送风口当量直径 equivalent diameter of supply airflow

与送风口有效通流面积相等的圆形送风口的直径。

3.1.8

排风口当量直径 equivalent diameter of exhaust airflow

与排风口有效通流面积相等的圆形送风口的直径。

3.1.9

送风水平偏转角 horizontal deflection angle of supply airflow

送风射流轴线在水平面上的投影，与相邻的两送风口中心连线之间的夹角。

3.1.10

送风垂直抬升角 vertical elevation angle of supply airflow

送风射流轴线与其在水平面上投影之间的夹角。

3.2 符号

A_i ——单个送风口有效出风面积， m^2 ；

C_j ——动量强度系数， s^{-2} ；

D_{vz} ——涡流区设计直径， m ；

D_s ——送风口当量直径， m ；

J ——送风总动量流量， N ；

J_{min} ——涡旋生成所需的最小送风总动量流量， N ；

n ——送风口数量；

Q_e ——系统设计排风量， m^3/h ；

v_i ——单个送风口的送风速度， m/s ；

α ——送风水平偏转角， $^\circ$ ；

β ——送风垂直抬升角， $^\circ$ ；

ρ ——空气密度，标准状态取 $1.2\text{ kg}/m^3$ 。

4 基本规定

4.1 设计准备与资料收集

4.1.1 设计前应明确污染源的特性,包括类型、几何尺寸、污染物散发速率、散发初始动量及热释放速率。

4.1.2 应收集建筑空间几何尺寸、工艺设备布局、障碍物分布,以及现有或预期的室内干扰气流(如机械搅拌、物料移动)等资料。

4.1.3 应确定工作区容许浓度、污染物捕集效率及排放浓度等设计目标。

4.2 系统类型与适用性

4.2.1 涡旋通风系统根据环境控制模式分为以下三类:

a) 集中污染移除模式:将角动量送风口围绕局部强污染源布置,配合顶部排风在污染源上方形成柱状涡旋,实现污染物的就地约束与定向排除。

b) 区域污染移除模式:将角动量送风口布置于大范围弥散污染区域内,通过涡流区负压及送风气流的作用,将区域内污染物汇聚至涡核并集中排出。

c) 整体污染移除模式:将角动量送风口布置于厂房侧墙或围护结构上,形成覆盖整个厂房的涡旋气流,实现全室污染物的有组织输运与排除。

4.2.2 当污染源为局部集中、高浓度且具有明确散发点时,宜采用集中污染移除模式。

4.2.3 当污染源呈多点分散、范围广、强度较低时,宜采用区域污染移除模式;当厂房地面空间有限或有组织新风补给需求时,宜采用整体污染移除模式。对于复杂或混合型污染源,可组合使用不同模式,并通过 CFD 模拟或模型试验验证系统效果。

4.3 设计参数与计算流程

4.3.1 系统关键设计参数应采用计算与分析相结合的方法确定。对于环境条件复杂的项目,应通过计算流体动力学(CFD)模拟或模型试验进行验证与优化。

4.3.2 涡流区设计直径(D_{vz})的确定

4.3.2.1 对于集中污染移除模式, D_{vz} 应能完全包围污染源,其边界与污染源最外缘的距离不宜小于 0.5 m,且应能容纳因干扰气流可能产生的涡旋偏摆。

4.3.2.2 对于区域或整体污染移除模式, D_{vz} 应根据需控制的区域面积、送风射流有效作用范围及系统布局综合确定。单套系统的控制直径宜不大于 15 m。

4.3.3 送风参数设计

4.3.3.1 送风设计应以总动量流量为控制参数。总动量流量 J 按下式计算:

$$J = \sum_{i=1}^n \rho A_i v_i^2$$

式中:

ρ ——空气密度 (kg/m^3),标准状态取 $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$;

A_i ——单个送风口的有效出风面积 (m^2);

v_i ——送风速度 (m/s), n ——送风口个数。

4.3.3.2 为形成并维持稳定的柱状涡旋,送风总动量流量 J 不应低于按下式确定的最小值:

$$J_{\min} = C_J \rho D_{vz}^3$$

式中:

D_{vz} ——涡流区设计直径 (m);

C_J ——动量强度系数 (s^{-2})，根据工程条件按表 1 选取。当实际条件与表中基准条件差异较大时，可通过 CFD 模拟或模型试验确定 C_J 值。

表 1 动量强度系数 C_J

工程条件	(C_J) (s^{-2})
无显著热浮力、横向干扰较小、底部平整	0.10 ~ 0.25
有热浮力或较强横向干扰、或排风诱导能力较弱	0.25 ~ 0.40

注 1：涡流区直径较大或排风口高度较大时， C_J 宜取同档上限。

注 2：对于存在特殊情况的项目，应通过模拟或模型试验验证 C_J 取值。

4.3.3.3 送风角度宜在下述范围内选取，最终值应结合排风口高度、污染源几何特征、散发强度及位置，通过模拟或实验确定：

水平偏转角 (α)： $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ；

垂直抬升角 (β)： $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

4.3.3.4 角动量送风口的当量直径宜为涡流区设计直径的 0.1 倍~0.2 倍。

4.3.4 排风参数设计

4.3.4.1 设计排风量 (Q_e) 的确定应遵循以下原则，并取计算结果的最大值：

a) 污染物控制需求：基于污染物质量守恒、设计捕集效率及目标控制浓度计算所得风量；

b) 涡旋维持需求：与送风量相匹配，维持从底部至排风口的宏观旋转流动结构所需的最小风量，该风量宜通过模拟或试验确定；

c) 热平衡与动量平衡需求：为克服热浮力、污染物初始动量及室内干扰气流对涡旋气流影响所需的附加风量。

4.3.4.2 排风口当量直径应根据条文 4.3.4.1 所设计排风量和排风口平均风速确定。

4.3.4.3 排风口中心应位于涡流区设计几何中轴线上。对于集中污染移除模式和区域污染移除模式，排风口下沿与送风口中心平面的垂直高差 (H) 宜满足： $3D_s \leq H \leq 6D_s$ 。当采用整体污染移除模式或排风口高度超出上述范围时，应通过气流组织模拟验证排风效果，必要时增设辅助送风口或调整系统布局。

4.3.4.4 排风口应设置连接法兰或安装排风罩，法兰或排风罩宽度应不小于排风口等效直径的一倍。

4.4 系统布置与气流组织原则

4.4.1 采用集中污染移除模式时，应形成包围污染源的涡流区，污染源宜置于涡流区中心位置。

4.4.2 采用区域污染移除模式或整体污染移除模式时，多套系统宜合理分区布置，各系统的控制区域不应重叠覆盖；邻近系统的涡旋气流应避免相互干扰。

4.4.3 涡旋生成区域的底部平面应保持平整。当条件不满足时，必须通过设置导流板、架空平台等工程措施，在涡流区中心、涡核区域形成等效的平整面。

4.4.4 送风与排风装置及管道，不应影响主要生产操作、物料运输和人员通行。

4.4.5 单个送风口的送风气流应速度均匀、方向一致。当其不均匀度不能满足 5.2.2.1 条要求时，应在送风末端前设置均流措施。

5 设备与材料

5.1 一般要求

5.1.1 系统中所有设备与材料的选用，应符合国家现行相关标准的规定，并应满足设计文件的要求。

5.1.2 设备与材料的额定工作参数应能适应系统所在环境的温湿度、腐蚀性及污染物特性，其运行不应产生二次污染。

5.1.3 设备的性能参数，尤其是送风装置的风量、风压、出口速度及角度调节范围，必须在产品技术文件中明确标识。

5.2 送风装置

5.2.1 功能与类型

5.2.1.1 送风装置应能提供具有稳定动量和明确方向的射流，其核心功能是为形成可控空气涡旋提供所需的角动量。

5.2.1.2 根据送风气流的来源与驱动方式，涡旋通风系统的送风装置可分为以下三类：

a) 自然引风式送风装置：布置于建筑围护结构上的送风风口，利用室内外压差引入室外空气，通过导流装置形成具有设计水平偏转角的角动量送风射流；

b) 室内诱导式送风装置：由轴流风机与出口整流装置组成，仅对室内空气进行加速，形成特定速度、方向和流量的角动量送风射流，不引入室外新风；

c) 机械送风式送风装置：由送风风机、风管和送风风口组成，将室外空气或经处理后的空气以设定的速度、方向和流量送入室内，形成角动量送风射流。

5.2.1.3 对于室内诱导式和机械送风式送风装置，其风机出口或送风末端前应设置均流措施，确保出口气流速度分布满足本文件 5.2.2.1 条的要求。

5.2.1.4 当环境空气含湿量较高或存在可见水雾时，可在送风装置的进风侧设置除雾设备。除雾器宜选用轻质、低阻型，并应配有凝水收集系统。

5.2.1.5 当室内或室外空气中粉尘、烟尘等污染物浓度较高时，可在送风装置的进风侧设置空气净化装置。净化装置宜选用轻质、低阻型，其附加阻力应在风机选型或自然引风量校核时纳入计算。

5.2.2 性能要求

5.2.2.1 送风装置出口的送风气流速度不均匀度应不大于 15%。

5.2.2.2 送风装置必须具备可调节的送风方向机构，应能实现水平偏转角与垂直抬升角的独立、精确调节，并应具备可靠的锁定功能。

5.2.2.3 采用多台送风装置协同工作时，各装置应具备同步调节能力或集中控制接口，以确保送风射流方向的高度一致性。

5.2.2.4 送风装置的壳体应有足够的强度与刚度，在额定风压下，其出口断面的形变不应影响 5.2.2.1 规定的速度均匀性要求。

5.3 排风装置

5.3.1 功能要求

排风装置应能保证在涡流区中轴线上方形形成稳定、均匀的负压场，其布置不应破坏涡旋气流的整体结构。

5.3.2 排风口结构

5.3.2.1 宜在排风口处设置具有汇集作用的喇叭口、法兰板或其它形式排风罩。

5.3.2.2 排风罩的布置应使其气流中心与涡流区设计轴线重合，安装位置的允许偏差不宜大于 0.1 倍涡流区直径 (D_{vz})。

5.4 风机

5.4.1 送、排风机的选型应以其在系统设计工作点（风量、风压）下的运行效率为主要依据，在额定工况下，风机的效率不应低于其对应能效标准规定的节能评价值。

5.4.2 风机的性能曲线应平缓，其稳定工作范围应能覆盖系统预期运行的工况变化。

5.4.3 当多台送风风机并联运行时，宜选用相同型号且性能曲线一致的风机。

5.4.4 应优先选用低噪声型风机。必要时，应在风机进出口设置消声器或采用隔声罩等降噪措施。

5.5 管道与附件

5.5.1 送风管道

5.5.1.1 送风管道系统的设计与施工，应保证送至各送风装置（或送风口）的动压分布均匀。必要时，应在支管设置手动调节阀或定风量阀。

5.5.1.2 连接同一套涡旋通风系统中多台送风装置的送风支管，其阻力差值不应超过系统最小支管阻力的15%。

5.5.2 排风管道内的设计流速、材质、强度及加固要求应符合本规范第6.2条的规定。

5.5.3 所有管道与附件的材质、厚度及连接方式，应根据输送介质的腐蚀性、温度及磨损性确定，并应满足防火要求。

6 施工、安装与调试

6.1 一般规定

6.1.1 施工与安装应符合设计文件、本规范及国家现行有关标准的规定。

6.1.2 安装前，应对所有设备、配件及材料的规格、型号、性能进行核对与检查。

6.2 关键设备安装精度要求

6.2.1 送风装置的安装位置（水平坐标）允许偏差为 $\pm 50\text{ mm}$ ；其送风方向的水平偏转角与垂直抬升角，与设计值的允许偏差为 $\pm 1^\circ$ 。

6.2.2 排风罩(或排风口)中心与涡流区设计轴线的水平位置允许偏差为 $\pm 0.05D_{vz}$ ，且不应大于 100 mm 。

6.2.3 用于同一系统的多台送风装置，其安装高度（底板或出口中心）的相互差值不应大于 10 mm 。

6.3 管道安装

6.3.1 管道安装应牢固，支架间距合理，防止运行中产生共振或过大变形。

6.3.2 管道连接处应严密，在额定工作压力下的漏风率应符合设计及相关标准要求。

6.3.3 排风管道应按设计要求设置清灰孔、检测孔和必要的安全操作平台。

6.4 系统调试

6.4.1 单机调试：所有风机、电机应进行单机试运转，检查其转向、电流、电压、振动及噪声是否正常。

6.4.2 联动调试与初步验证

6.4.2.1 系统联动运行后，应使用烟雾发生器、发烟管或轻质飘带等示踪工具，在涡流区设计位置进行气流可视化测试。

6.4.2.2 通过可视化测试，应能直观观察到稳定、连贯的柱状旋转气流结构，且气流能有效卷吸底部示踪介质并向上输送。

6.4.2.3 应使用风速仪测量各送风装置的出口风速，其值与设计值的偏差不宜超过 $\pm 10\%$ ，且各出口风速的不均匀度应符合5.2.2.1的要求。

7 验收

7.1 一般规定

7.1.1 系统验收应在施工安装质量检查合格、单机及联动调试完成，并已进行初步气流验证后进行。

7.1.2 验收应包括资料验收、现场观感质量检查与性能验收测试。

7.2 性能验收测试

7.2.1 气流组织定性验收

按 6.4.2 条方法进行，验收结论为“通过”或“不通过”。通过的判定标准为：能在设计涡流区范围内形成肉眼可辨的、持续稳定的旋转上升气流。

7.2.2 污染物捕集效率验收

7.2.2.1 应在设计工况下进行。在涡流区下边界（底部平面）模拟污染源释放示踪气体（如 SF₆、CO₂），释放速率应稳定。

7.2.2.2 在系统排风管道直管段检测示踪气体浓度，并同步在模拟污染源附近的上风向检测环境本底浓度。

7.2.2.3 系统的捕集效率（ η ）应按式（1）计算，其实测值不应低于设计值的 90%。

$$\eta = ((C_e - C_b) \times Q_e / G_r) \times 100\%$$

式中：

C_e —— 排风管道内示踪气体平均浓度；

C_b —— 环境本底浓度；

Q_e —— 测试期间系统平均排风量；

G_r —— 示踪气体稳定释放速率。

7.3 验收文件

验收完成后，应形成完整的验收报告，报告应包括性能测试数据、分析结论及是否通过的最终意见。

8 运行与维护

8.1 运行管理

8.1.1 生产单位应制定系统操作规程，指定专人负责运行管理。

8.1.2 通风系统应与污染源生产工艺设备联锁启停。工艺设备启动前，应先启动涡旋通风系统；工艺设备停机后，应延迟关闭通风系统。

8.1.3 运行人员应每日巡视，记录系统主要参数（如风机电流、风压、室内关键点观感），发现异常应及时处理。

8.2 定期检查与维护

8.2.1 应每季度检查并校准各送风装置的出风角度，确保其与设计标定值一致，偏差超过 $\pm 2^\circ$ 时应进行调整。

8.2.2 应每半年检查各送风出口的速度均匀性，必要时清洁或更换均流装置。

8.2.3 应定期检查风机、电机轴承的振动与温度，按规定添加或更换润滑剂。

8.2.4 应定期检查并清理排风管道内的积灰，检查除尘设备的运行阻力及清灰效果。

8.3 特殊性维护要求

8.3.1 应保持涡旋气流生成底部平面的平整与清洁，不得随意堆放杂物或设备。

8.3.2 当生产工艺布局发生重大变更，可能影响涡旋气流组织时，应重新进行系统评估与调试，必要时进行改造。