风机研究

# 堵塞对轴流风机性能有什么影响

SUNXFAN Engineering Team · 2026-10-19 · https://cn.sunxfan.com/guides/axial-fan-blockage-installation-clearance-selection-guide/

样本风机曲线是在「自由进风、自由出风」条件下测得的，而真实安装几乎总会在两侧形成阻挡——防护网罩、导风圈、盘管、静压箱、百叶墙与机柜壁板。带阻挡的轴流风机，恰恰在额定风量区间损失最多风量。本文给出作用机理、三行计算法、实测间距规则，并以 AS910A-E150A3-01 为例给出可直接引用的算例，帮助系统工程师把样本曲线修正到真实安装工况，而不是等到调试阶段才发现风量不足。

**核心要点**

- 样本风机曲线以自由进风、自由出风为前提（AMCA 210 / ISO 5801 A 类安装）。任一侧被阻挡都会带来两种彼此独立的后果：一是增加系统阻力，二是使风机曲线本身退化。前者可以从手册算出，后者不能。
- 阻挡对曲线中高风量段的打击最重。在已发表的台架数据中，把阻挡板放在 150 mm 轴流风机后方 65–125 mm 处，性能退化最严重的区间正是风机的额定风量段。
- 进口旋流始终要付出效率代价。与叶轮同向的旋流会把静压、风量与功率一起拉低；反向旋流则把三者一起推高。两种情况下效率都会下降。
- 一体化导风圈是性能部件，不是装饰件。作为喇叭口，它把进口损失维持在进口迎面动压的约 1/20（K ≈ 0.05），而直角内伸进口的 K ≈ 0.9。对 AS910A-E150A3-01 在 25,000 m³/h 下，二者相差约 3 Pa 与 62 Pa —— 约为 300 Pa 静压预算的 20%。
- 用 $\Delta p_{se} = K_{se} \times \tfrac{1}{2}\rho V'^2$ 量化阻挡，其中 $V' = Q / A_{free}$。已发表算例：150 mm 风机、20% 有效面积、50 CFM（0.0235 m³/s）→ $V' = 6.65$ m/s、$K_{se} = 2.1$、$\Delta p_{se} \approx 56$ Pa。
- 网罩有效面积是一级选型变量，而非附件细节。AS910A-E150A3-01 在导风圈平面处的迎面风速为 10.7 m/s；有效面积 70% 的网罩会把该处风速抬到 15.3 m/s，而损失随风速的平方增长。

风机样本是一份带前提条件的承诺，而其中最常被打破、又最不易察觉的一条，就是**自由进风、自由出风**。只要在叶轮直径范围内、风机的前方或后方出现防护网罩、冷却盘管、静压箱壁或机柜壁板，样本上那条 P-Q 曲线就不再描述你实际装上去的那台机器。风量并不是按一个固定百分比下降、可以从额定值里简单扣掉——曲线的**形状**变了，而且变得最厉害的，正是你当初选这台风机时最看重的那个风量段。

这一点对轴流风机的影响远大于离心风机，因为轴流叶轮对来流「已经在做什么」极为敏感。板状阻挡与进口旋流攻击的是同一个机理：叶片遇到一个它并未被设计去适配的攻角，单位空气所获得的功下降，风机把输入功率转化为有效静压的比例随之降低。以下就是这套工程版本的叙述——机理、计算、间距规则，以及针对 AS 系列 EC 轴流风机可直接引用的数据，算例平台选用 **AS910A-E150A3-01**（25,000 m³/h、300 Pa、380–480 V AC 三相 EC）。

## 快速回答：堵塞对风机曲线做了什么

堵塞会带来**两种彼此独立的损失**，把二者混为一谈，正是安装后风量如此难以预测的根源：

1. **系统阻力**——障碍物缩小了通流面积，气流必须从剩下的缝隙中以更高速度通过，于是系统阻力曲线被抬高。这一项可以计算，任何一本手册都会讲到。
2. **风机曲线退化**——被改变的进、出口流场（旋流、来流不均、轮毂处倒流）使风机在给定风量下能够产生的压力下降。这一项**样本里没有**、**手册里也没有**，却是图纸校核通过、现场却风量不足的原因。

由此得到一个实用结论：如果你只针对堵塞修正了系统阻力曲线，就会**高估**实际送出的风量——因为你把风机已经无法产生的压头仍然记在了它头上。针对车用轴流风机的已发表台架测量显示，这种退化集中在**中高风量段**——而这恰恰是 25,000 m³/h 量级风机发挥作用的地方。

## 两种损失，而非一种

| 损失 | 物理成因 | 能否从样本推算 | 最严重的区间 |
|---|---|---|---|
| 系统阻力 | 通流面积减小 → 局部风速升高 → 摩擦与动压损失增大 | 能。标准风管与格栅损失计算 | 全风量段；随风速平方增长 |
| 风机曲线退化 | 进/出口流场畸变：旋流、缩流、轮毂回流、来流不对称 | 不能。必须针对具体几何实测或仿真 | 中高风量段——即额定风量所在区段 |

设计实务正由上表推出：通过几何设计削减第一项损失，把第二项当作一笔**必须有实测依据的安全余量**来对待。

## 机理 1 — 进口几何：喇叭口与直角边缘

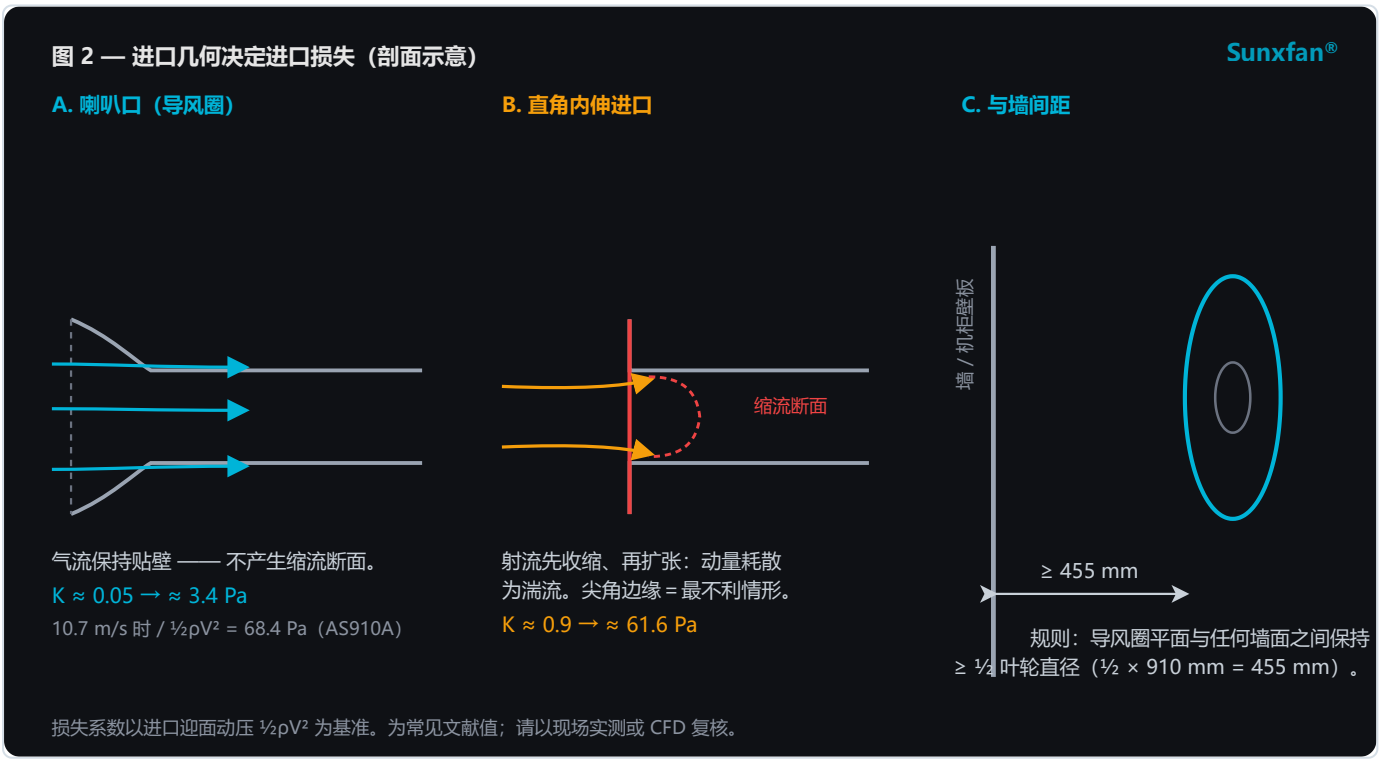



*图 2 — 进口唇口的形状决定了迎面气流能否保持贴壁。喇叭口把损失维持在迎面动压的约 1/20；尖角内伸唇口则把约 0.9 的迎面动压直接抛入湍流。*

进口若没有圆滑的导流唇口，气流就被迫在边缘处脱离壁面、收缩到一个比开口更小的**缩流断面**，随后再重新扩张——一路把动量耗散成湍流。以下为常见文献值，均以进口迎面动压 ½ρV² 为基准：

| 进口型式 | 损失系数 K | 10.7 m/s 时的损失（½ρV² = 68.4 Pa） |
|---|---|---|
| 喇叭口（AS 系列导风圈） | ≈ 0.05 | ≈ 3.4 Pa |
| 直角内伸进口 | ≈ 0.9 | ≈ 61.6 Pa |

在 **AS910A-E150A3-01** 的额定工况下，导风圈平面处风速为 10.7 m/s，取 ρ = 1.2 kg/m³ 时进口动压为 68.4 Pa。于是两种几何选择之间的差距约为 **58 Pa——大致相当于整台风机 300 Pa 静压预算的 19%**，而这笔损失花掉的只是进口唇口的形状而已。这就是「应当选用一体化导风圈，而不是往开口上随便拧一块平板」的量化理由。

与墙的距离是进口几何的另一半。导风圈平面与任何墙面、地面、吊顶或壁板之间，至少应保持**半个叶轮直径**——对 910 mm 的 **AS910A 即 455 mm**。比这更近时，开口下缘的迎面风速会高于上缘，由此形成的速度梯度会卷起成旋流。

## 机理 2 — 进口旋流：方向决定增减，效率两个方向都降

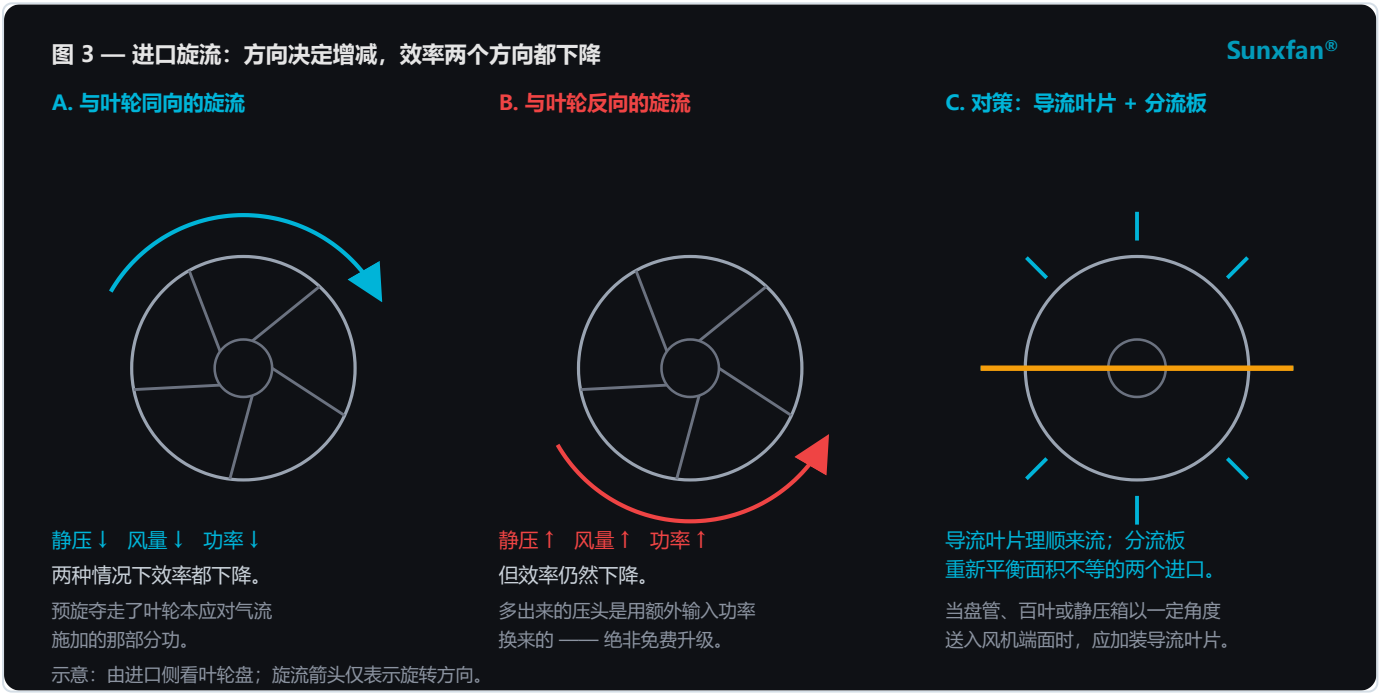



*图 3 — 旋流的方向决定了静压、风量与功率变化的符号，但效率下降是两种情况共有的结果。*

到达轴流叶轮的旋流，对「台面上的数字」未必全是坏消息：

| 进口状态 | 静压 | 风量 | 功率 | 效率 |
|---|---|---|---|---|
| 与叶轮同向的旋流 | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| 与叶轮反向的旋流 | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ |
| 均匀、轴向的来流 | 基准 | 基准 | 基准 | 基准 |

**反向旋流是那个陷阱。** 静压、风量与功率一起上升，看上去像是白捡的升级，但效率的分母涨得比有效输出更快——风机为每单位输入付出了更多的「对空气做功」。**同向旋流**才是工程中更常见的情形：上游盘管组的预

旋、斜置百叶、或不对称静压箱，都会夺走叶轮本应给气流施加的那部分功。

两种与导风圈同族的治理措施：

- **导流叶片**：在进口风道内把气流理顺后再送往叶片。凡是盘管、百叶或静压箱以一定角度送入风机端面时，都应加装。
- **分流板**：打散「两个面积不等的进口同时供给同一风机端面」所形成的旋流。不等的开口造成压力失衡，压力失衡又造成旋转。

## 机理 3 — 下游阻挡：防护网罩、盘管与静压箱壁

出口侧阻挡的表现与进口侧不同，而台架证据十分明确。在一台车用轴流风机上的受控测量中——采用热线风速仪加激光多普勒测速，阻挡板在叶轮后缘后方 65 mm 至 125 mm 之间移动，测量面位于后缘后方 3 mm、径向间距 15 mm——有三项结论对任何轴流风机选型都成立：

1. **曲线退化，而且是选择性退化。** 把带阻挡曲线与自由风机曲线对比，低风量段损失很小，进入中高风量段后急剧增大。带阻挡的风机在低风量下仍能保住压力；却在高风量下保不住风量。
2. **轮毂处出现倒流。** 一旦被阻挡，轮毂附近的轴向速度转为负值——环形的内侧开始回流，而不是送气。
3. **气流向外偏转。** 径向速度上升、轴向速度下降，换个说法就是：叶轮转速不变，体积流量却已经掉了。

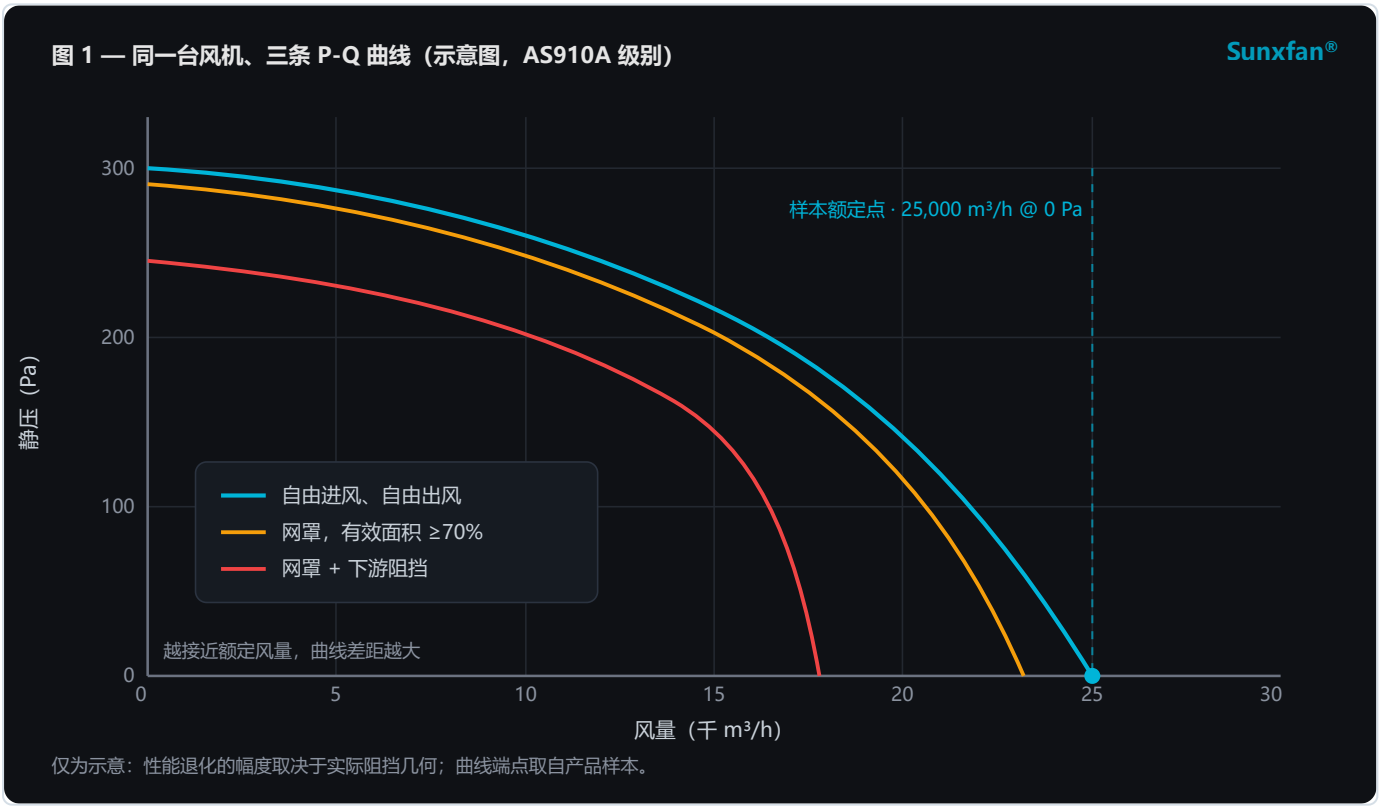



*图 1 — 同一台风机、三条曲线：样本曲线（自由进风、自由出风），有效面积较大的网罩，以及网罩背后还有下游阻挡。越靠近额定风量，曲线差距越大——而系统正是按这个区间选型的。*

由此得到一条零成本的设计规则：**轮毂是阻挡最先咬合的位置。** 不要把盘管集管、结构梁、静压箱台阶或检修盖板正对叶轮轮毂布置。若几何上无法调整，这台风机就必须带着明确的余量来选型，而不能照抄样本上的数字。

对 AS 系列而言，这正是网罩被**一体化做进导风圈**、而不是与导风圈留出间距的原因——位置尽可能贴近，甚至就在导风圈平面内。当退让距离几乎为零时，起决定作用的变量就不再是距离，而是**有效面积**，所以网罩是按开

口面积而不是按支撑间距来规定的。

## 阻挡损失的量化：三行计算法

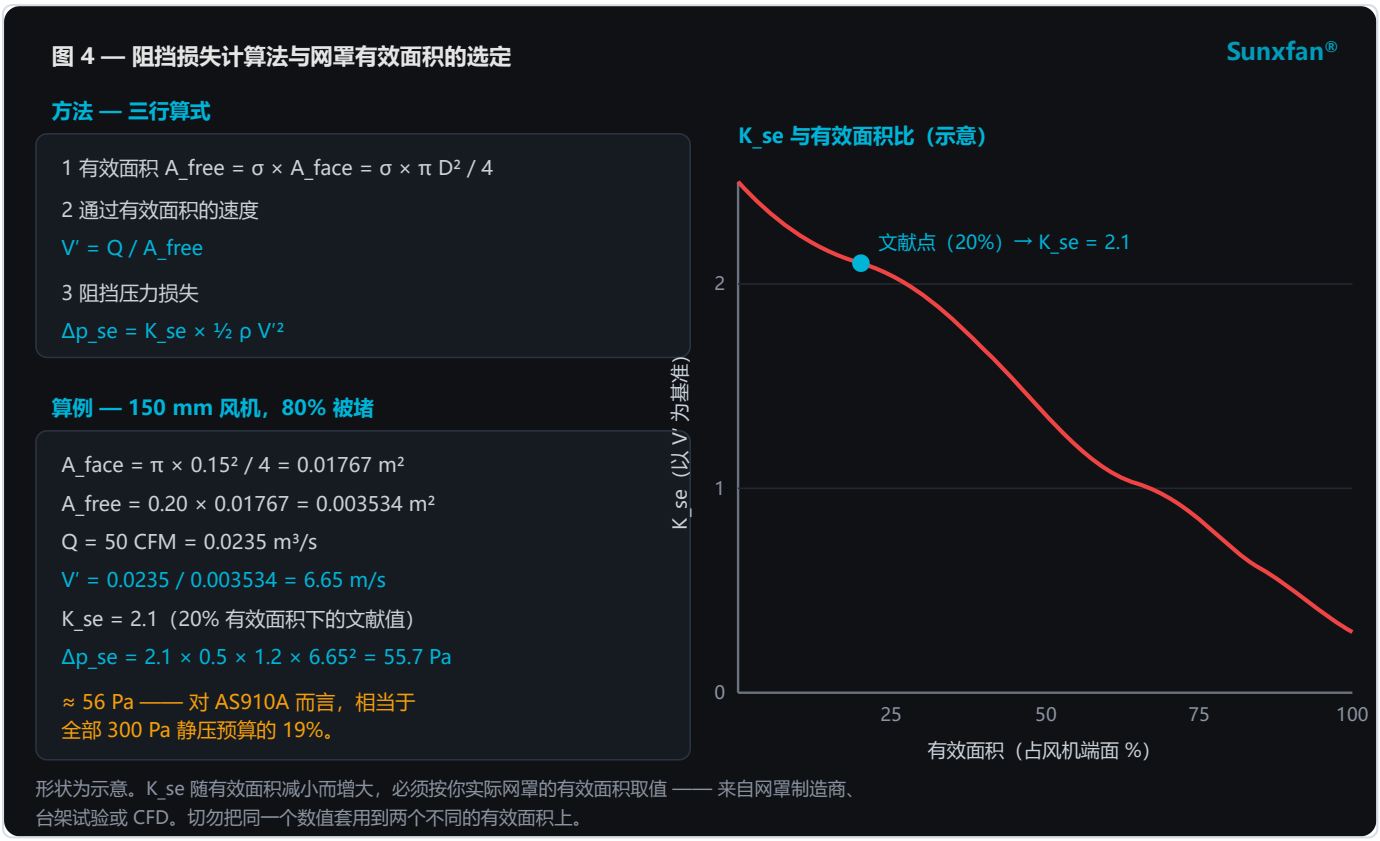



*图 4 — 整个方法只有三行，含标准算例，并提醒：K_se 是有效面积的函数，而不是一个常数。*

阻挡损失可以用一个系数来量化，其基准是**通过有效面积的速度**，而不是风机端面风速：

**第 1 步 — 有效面积** $A_{free} = \sigma \times A_{face} = \sigma \times \pi D^2 / 4$，其中 σ 为网罩或格栅的有效面积比。

**第 2 步 — 通过有效面积的速度** $V' = Q / A_{free}$

**第 3 步 — 阻挡压力损失** $\Delta p_{se} = K_{se} \times \frac{1}{2} \rho V'^2$

**算例（已发表数据）。** 一台 150 mm 风机，开口被堵掉 80%，即 σ = 0.20，风量 50 CFM：

| 量 | 数值 |
|---|---|
| 端面面积 | $A_{face} = \pi \times 0.15^2 / 4 = 0.01767\ m^2$ |
| 有效面积 | $A_{free} = 0.20 \times 0.01767 = 0.003534\ m^2$ |
| 风量 | $Q = 50\ CFM = 0.0235\ m^3/s$ |
| 通过有效面积的速度 | $V' = 0.0235 / 0.003534 =$ **6.65 m/s** |
| 20% 有效面积下的损失系数 | $K_{se} =$ **2.1** |
| ρ = 1.2 kg/m³ 时的阻挡损失 | $\Delta p_{se} = 2.1 \times 0.5 \times 1.2 \times 6.65^2 =$ **55.7 ≈ 56 Pa** |

**把这个数字放到风机上看。** 56 Pa 是实打实的压力，必须先从风机的压力预算里扣掉，之后才轮到风管、盘管或过滤器。对于静压 300 Pa 的 **AS910A-E150A3-01**，56 Pa 的阻挡损失就消耗了**整个预算的 19%**：

| 阻挡损失 | 占 AS910A 300 Pa 静压预算的比例 |
| --- | --- |
| 10 Pa | 3.3% |
| 30 Pa | 10% |
| 56 Pa | 18.7% |
| 62 Pa（直角内伸进口） | 20.7% |

有一个前提决定了这套方法是否可靠：**K_se 不是一个常数。** 它随有效面积减小而增大（完全堵死时损失为无穷大），因此在 20% 有效面积下读到的值，绝不能搬到有效面积 70% 的格栅上。请向格栅制造商索取、或通过台架试验、CFD 取得与实际有效面积对应的 K_se；再用上面的方法把它换算成一个可以直接叠加到系统阻力曲线上的压力值，单位与其它各项损失保持一致。

## 无量纲视角：曲线为什么会「塌陷」

只有在双方都用无量纲系数而不是 m³/h 与 Pa 表示时，带阻挡的测量结果才能与样本曲线作比较。以 n 表示转速（转/秒）、D 表示叶轮直径（m）：

- 流量系数：**$\varphi = Q / (n \cdot D^3)$**
- 压力系数：**$\psi = 2\,\Delta p_s / (\rho \cdot n^2 \cdot D^2)$**

不同教材对常数因子（π²、2）的取法不一，因此绝对值会偏移——但曲线形状不会变。对 **AS910A-E150A3-01**，取样本转速 930 r/min（15.5 转/秒）与 D = 0.91 m 为基准，样本曲线的两个端点对应为：

| 样本端点 | φ | ψ |
| --- | --- | --- |
| 关断点（300 Pa 时 0 m³/h） | 0 | ≈ 2.51 |
| 自由送风（0 Pa 时 25,000 m³/h） | ≈ 0.59 | 0 |

把任何带阻挡的测量结果画在同一组坐标上，堵塞就表现为数据点落到样本曲线**下方**——而且正如台架数据所示，在高 φ 区落得最深。用这幅对比，就能判断你面对的是风机问题还是系统问题。

## 为真实安装工况选型 AS 系列




*AS 系列——高风量 EC 轴流风机，导风圈与网罩一体化设计，380–480 V AC 三相，IP55，−40 ℃ 至 +65 ℃。*

四款型号共用同一压力上限与同一控制接口（0-10V/PWM 与 RS-485 上的 Modbus RTU），因此选型步骤主要围绕**安装适配、噪声与迎面风速**，而不是压力：

| 型号 | 叶轮规格 | 额定风量 | 转速 | 功率 | 噪声 | 导风圈平面迎面风速 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AS760A-E137A3-01 | 760 mm | 16,500 m³/h | 950 r/min | 1,100 W | 69 dB(A) | 10.1 m/s |
| AS860A-E150A3-01 | 860 mm | 24,000 m³/h | 920 r/min | 1,800 W | 72 dB(A) | 11.5 m/s |
| AS910A-E150A3-01 | 910 mm | 25,000 m³/h | 930 r/min | 1,800 W | 73 dB(A) | **10.7 m/s** |
| AS960A-E150B3-01 | 960 mm | 29,000 m³/h | 915 r/min | 3,200 W | 75 dB(A) | 11.1 m/s |

由于整个系列在导风圈平面处的风速都落在 **10–11.5 m/s** 这一狭窄区间，同一套阻挡计算对整个系列都适用。应当带入网罩计算的数字是迎面风速，因为**网罩本身就是那个阻挡**：你让出的每一个百分点有效面积，都会把格栅处的局部风速抬高同样的百分比。

| 网罩有效面积 σ | AS910A 在 25,000 m³/h 下通过网罩的 V′ | 后果 |
|---|---|---|
| 100%（无网罩） | 10.7 m/s | 基准迎面风速 |
| 90% | 11.9 m/s | 对成型良好的格栅可忽略 |
| 80% | 13.4 m/s | 仍然温和——舒适的设计区间 |
| 70% | 15.3 m/s | 可用格栅的实际下限 |
| 50% | 21.4 m/s | 会泄漏明显压力；需重新校核整个系统 |
| 20% | 53.4 m/s | 已发表算例的参照点——对这个尺寸的风机而言远超其能力 |

**80% 至 70% 有效面积**，正是防护网罩应处的区间：开口足够大，使损失只占 300 Pa 的一小部分；又足够密，能履行它被装上去的那项安全职责。低于 70% 之后，格栅就不再是附件——它已经成为一个系统部件，必须从风机的压力预算里支付，并在选型文件中申报。

## 安装间距规则

以下规则可以直接落到图纸上。右列数值均针对 **AS910A-E150A3-01**（D = 910 mm）。

| 项目 | 规则 | 910 mm 风机的取值 |
|---|---|---|
| 进口至任何墙面、地面、吊顶或壁板 | ≥ ½ 叶轮直径 | **≥ 455 mm** |
| 进口在风机端面接风道 | 必须用喇叭口（导风圈）；避免直角内伸进口 | K ≈ 0.05 对 0.9 |
| 下游第一处阻挡 | 风道允许时约 1 个叶轮直径；低于 ½ Ø 属于设计缺陷 | **目标约 910 mm，底线 455 mm** |
| 防护网罩有效面积 | ≥ 导风圈面积的 70% | 25,000 m³/h 时 V′ ≤ 15.3 m/s |
| 由两个面积不等的开口供风 | 加装分流板 | 防止不等开口造成的旋流 |
| 任何正对轮毂的阻挡 | 避免。阻挡会先在轮毂处诱发倒流 | 盘管集管、结构梁与检修盖板要避开 |
| 两台风机并排或上下叠放 | 两台机组都要满足对共用墙面的间距 | 规则按单台风机计，不是按机组计 |

## 调试：把工况点测出来，而不是假设它

间距图纸只能保证纸面上的安装正确，调试才能在装置上证明它。三项检查即可闭环：

1. **测量风机前后的静压**，以及通过网罩有效面积的风速。把风机处的压差读数与修正后的样本曲线对照，可以立刻判断安装是否达到了额定性能。
2. **如果风量不足，先套用风机定律，再考虑提速。** 风量随风速一次方、静压随二次方、轴功率随三次方变化：

| 转速 | 风量 | 静压 | 轴功率 |
|---|---|---|---|
| 100% | 100% | 100% | 100% |
| 105% | 105% | 110% | 116% |
| 110% | 110% | 121% | 133% |
| 120% | 120% | 144% | 173% |

对 1,800 W 的 **AS910A-E150A3-01**，转速提高 10% 意味着约 **2,396 W** 的轴功率。如果风量缺口来自阻挡而不是选型偏小，靠拉高转速是在用不成比例的功率与噪声代价去对付症状——最终会先撞上电机热保护，而不是把风量补回来。

3. **通过 Modbus RTU 回读驱动数据。** 同一组驱动装置的 RS-485 两线总线，既向下发送设定值，也回传转速、电流与状态。把电流与转速指令记录下来，就能在「被冷却设备出现热事件」之前发现阻挡或积灰：在相同设定值下，一台比调试时更需要电流的风机，要么是把有效面积丢给了积尘，要么是多了一处下游阻挡。这同时也把维护从「按日历」变成「按状态」。

## 选型清单

1. 先确定工况：按**实际系统阻力**（而不是 0 Pa）下的风量来定。
2. 测量可用的进口空间。若任一方向不足半个叶轮直径，就改几何，或改为选更小的风机。

3. 确认进口具备喇叭口（导风圈）。若没有，在本尺寸级别上要给损失预算增加约 58 Pa，或者装上导风圈。
4. 确认来流为轴向且均匀。盘管组、百叶与面积不等双进口，都需要导流叶片或分流板。
5. 网罩有效面积要取自真实格栅，而不是图纸符号。按 ≥ 70% 设计。
6. 计算 $V' = Q / A_{free}$，把 $\Delta p_{se} = K_{se} \times \frac{1}{2}\rho V'^2$ 与过滤器、盘管、百叶一并叠加到系统阻力曲线上。
7. 校核下游第一处阻挡是否满足一个叶轮直径；不足半个直径的，都应在布置阶段修正。
8. 在得到的系统阻力下重新读取修正后的 P-Q 曲线。若工况点比额定值偏移超过项目容差，应在 AS 系列内升档选型，而不是提高转速。
9. 按**寿命末期**预期的阻挡（积灰的过滤器、结垢的盘管）选型，而不是按安装当天的状态。
0. 确定控制策略：固定设定值、经 Modbus 的温度驱动，或按排程运行。当风机能自己上报电流时，被阻挡的系统要好管理得多。

## 结论

轴流风机的样本曲线，是一条自由进风、自由出风的曲线，而真实安装从来都不是。于是两件事同时发生：系统阻力上升，同时风机在高风量下产生的压力下降。第二件事在任何手册里都看不到，而安装后的风量正是从这里消失的。

对 AS 系列而言，四个数字就能平息大多数争论：**至任何进口墙面半个叶轮直径（455 mm）、至下游第一处阻挡约一个叶轮直径（910 mm）、网罩有效面积 ≥ 70%（25,000 m³/h 时 $V' \le 15.3$ m/s），以及进口唇口 3.4 Pa 对直角边缘 61.6 Pa 的差距。** 把这点小钱花在导风圈与网罩上，用 $\Delta p_{se} = K_{se} \times \frac{1}{2}\rho V'^2$ 把这笔损失放到系统曲线上，然后在调试时用压差读数代替假设。

如需在本系列内逐型号对比，请见 AS 轴流风机一体化导风圈系列 或 AS910A-E150A3-01 产品页。若你的工况以静压而非大风量为主，请在选定轴流风机之前，先对比 离心风机选型指南。

## 常见问题

### 厂家会在风机前方加障碍物来测试吗？

不会。标准风机测试规范是围绕若干明确定义的安装型式建立的，其中用于管道式轴流风机的常见型式就是自由进风配自由出风（AMCA 210 / ISO 5801，A 类安装）。因此这条曲线描述的是「上游与下游约一个叶轮直径范围内没有任何东西」的风机状态。在这个范围内出现的任何网罩、盘管、百叶、静压箱壁或机柜壁板，都会使样本曲线的一部分失效。

### 轴流风机与墙面之间的安全间距是多少？

把**半个叶轮直径**作为导风圈平面到任何墙面、地面、吊顶或壁板的最小值。对 910 mm 的风机，这就是 455 mm。低于该值，迎面气流会变得不对称：开口下缘的风速高于上缘，并发展出旋流，把静压和风量一起拉低。若风道条件允许，以一个完整叶轮直径为目标更好。

### 如何计算防护网罩造成的压力损失？

取网罩有效面积占风机端面面积的比例 σ，计算通过该有效面积的风速 $V' = Q / A_{free}$，再套用 $\Delta p_{se} = K_{se} \times \frac{1}{2}\rho V'^2$。$K_{se}$ 不是常数——它随有效面积减小而上升——所以要按实际有效面积，向格栅制造商索取、或通过台架试验、CFD 取值。在 20% 有效面积下，已发表值为 $K_{se} = 2.1$。

### 用一台大轴流风机好，还是用几台小风机好?

在同样工况下，一台风机通常在安装成本、布线、维护与噪声上更占优：几个等强度声源会叠加约 10·log(N) dB，因此五台风机分担同一工况，会比一台总输出相同的大风机噪声高约 7 dB(A)。几台小风机真正有价值的场合是：需要冗余（N+1，单台故障只损失一部分风量），或者开口尺寸装不下一个大的圆形风机——例如低矮而狭长的机柜壁面。

---

© 2026佛山市顺炫风机电有限公司. (Sunxfan®) · https://cn.sunxfan.com/guides/axial-fan-blockage-installation-clearance-selection-guide/