



01

极端性能

A200-H - 单级涡轮增压的新标杆

为填补 ABB A100-H 单级涡轮增压器和 Power2® 双级涡轮增压器之间的空白，ABB 开发了 A200-H。压力比高达 6.5 且峰值效率超过 69% 的 A200-H 可在制动平均有效压力为 24 bar 的高速燃气发动机上实现单级涡轮增压。



—
01 A200-H 系列以其全新功能涵盖了更广泛的应用范围（如海底发电），填补了单级涡轮增压器之间的空白。

—
02 稀薄燃烧、高速燃气发动机的压力比要求。

在去中心化、灵活、经济高效和环保发电需求的驱动下，稀薄燃烧高速燃气发动机已成为现代发电领域的主流选择。在过去 20 年，此类发动机的制动平均有效压力 (bmeP) 以每三年 1 bar 左右的速度不断增加，且同期的电效率也有了大幅增长。这一变化继而推动了对涡轮增压器压力比和效率的改进的需求。

基于当前单级涡轮增压器 A100-H，ABB 确定了最高压力比为 5.8 和最高涡轮增压器效率为 66% 的单级涡轮增压最高水准限值 [1]。A100-H 可适配 bmeP 最高达 22 bar 的稀薄燃烧燃气发动机。为了实现更高

的 bmeP，大约在 10 年前就已成功推出面向燃气发动机发电市场的高级双级涡轮增压技术，并迄今一直表现良好。例如，ABB 的 Power2® 双级系统可提供额外压力比储备和超过 73% 的效率，但相比单级解决方案而言过于复杂，而且重量和成本更高。

对于在 22 到 24 bar bmeP 之间运行的燃气发动机而言，双级涡轮增压解决方案可能过于复杂，且充分利用 Power2 的潜力通常需要 24 bar 以上的 bmeP。

ABB 开发的全新 A200-H 填补了单级涡轮增压之间的空白。

为填补单级与双级涡轮增压之间的空白，让高速燃气发动机制造商可以继续以提高功率密度或支持高海拔应用为目标的研发工作，ABB 开发出全新 A200-H，其压力比高达 6.5 且峰值效率超过 69% → 01-02。A200-H 以接近 24 bar 的 bmeP 实现了高速燃气发动机的单级增压，同时将发动机效率提高至堪比 A100-H。

涡轮增压器效率

→ 03 显示，更高的压力比要求更高的涡轮增压效率，以保证发动机压降（接收器内压力减去涡轮机前端的压力）稳定。正是这些发动机要求催生了 A200-H 开发目标：提高压力比，同时获得比当前 A100-H 涡轮增压器系列更高的涡轮增压效率。

压缩机级设计理念

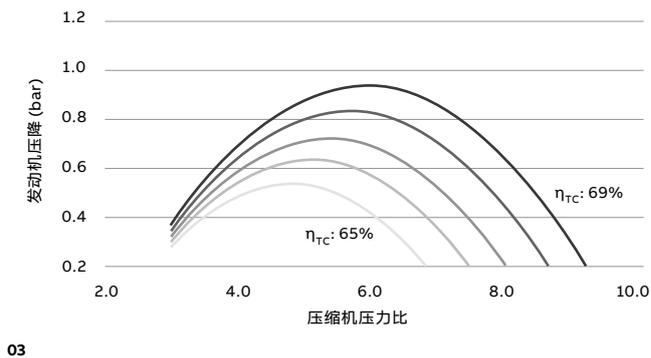
必须根据高压比和高效率等级要求优化涡轮增压器的具体流速。尽管对尺寸没有限制，一些尺寸大于 A100-H 型号的尺寸，但单级配置相比双级涡轮增压解决方案更简单且更紧凑。压缩机级采用铝合金叶轮，

—
Gerald Müller
Antje Hertel
Franco Domenig
Martin Seiler
Florian Maurer
ABB 涡轮系统
瑞士巴登

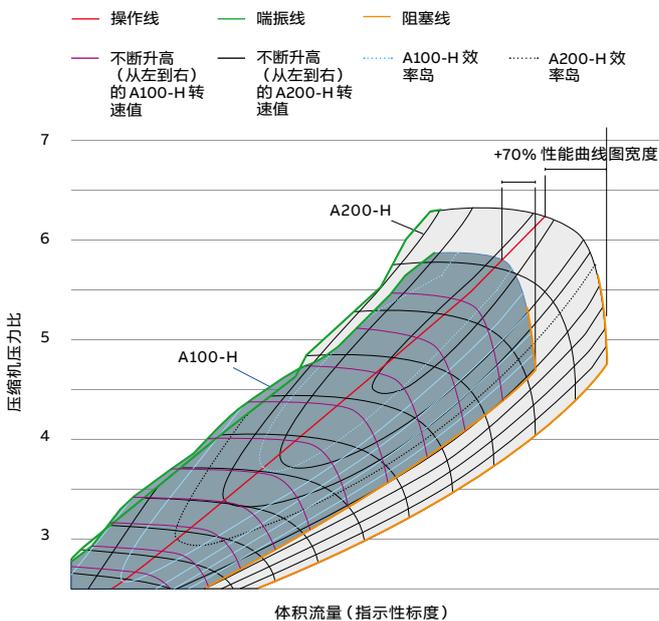
gerald.mueller@ch.abb.com
antje.hertel@ch.abb.com
franco.domenig@ch.abb.com
martin.a.seiler@ch.abb.com
florian.maurer@ch.abb.com



*基本涡轮增压器匹配: 500 m / 30°C (根据规定海拔额外预留)



03



04

充分利用达到高质量标准的高效生产流程。在热力学目标方面，铝合金叶轮更换周期应该可达到 40,000 运行小时（可采用数字化解决方案进一步延长，见下文）。

缩机性能曲线图优化

→04 显示，在标称发动机运行条件下，A200-H 可实现远高于 6 的压力比。为了确保发动机稳定运行，要求压缩机操作线相对喘振线具有充足裕度。因此，不仅优化了压缩机性能曲线图，从而满足效率要求，而且还优化了压缩机性能曲线图宽度。工作范围也受到特别关注，通过应用最新性能曲线拓宽技术，压力比最高达 6.5 [2]。与 A100-H 参考级相比，性能曲线图宽度可提高 70%。

通过多种压缩机叶轮罩实现所需体积流量的调整，这一点与 ABB 涡轮增压器久经认证的理念保持一致。

压缩机机械性能鉴定

压缩机级在机械设计上能够承受其工作范围内的固有励磁。ABB 结合有限元 (FE) 分析和其对叶片振动特性的深刻了解，采取了针对性设计措施，以降低潜在临界共振振幅，或消除励磁现象。这促成了可承受高周疲劳且仅需最少量性能鉴定工作的稳健设计。FE 分析还允许在性能鉴定过程中针对性设置应变仪 →05。

与双级涡轮增压解决方案相比，单级配置更简单且更紧凑。

涡轮级

ABB 开发的新涡轮级可适应最高达 6.5 的高压缩机压力比，且涡轮机效率同样出色。该涡轮机已与压缩机适配，在获得最高可能涡轮增压效率的同时满足各项机械性能要求。所有涡轮机部件，包括进气口、喷嘴环、涡轮机叶轮和扩散器，均根据必要的流量范围和压力比而设计。3D 计算流体力学 (CFD) 被广泛用于确保涡轮机的高性能，而 FE 分析则用于确保与高速运行相关的机械完整性。即使在高速运行时，也能满足对燃气发动机应用的必要部件使用寿命和推荐更换周期要求。

在与高压压缩机组合使用时，在技术验证机可实现超过 69% 的涡轮增压效率 →06。

外壳设计

为了专注于达到高性能要求，空气和燃气接头弃用了普适型设计。在此新设计自由度的基础上，重新布置并扩展了空气和燃气接头。这种重新配置的一个优点是让涡轮增压器接头更易接近，从而极大简化组装和维修操作。

— 03 各缸之间的压差随涡轮增压效率和压力比而变化。

— 04 在假定满载运行条件下的 A200-H 压缩机拓宽性能曲线图。在效率岛中，发动机表现最佳。

— 05 使用应变仪测量的高周疲劳测试。

考虑到未来调峰应用，必须在初期设计阶段就将外壳应力优化考虑在内。例如，采用高级 FE 工具进行改良版涡轮机外壳建模，以应对发动机启动时迅速导致燃气入口温度升高的情况，同时确保可以应付多次启停循环。

— **考虑到未来调峰应用，必须在初期设计阶段就将外壳应力优化考虑在内。**

此外，根据 A100-H 型号的经验，在发动机托架上安装体积较大的涡轮增压器时，更方便安装液压紧固或夹紧螺母。为此，全新 A200-H 涡轮增压器同时提供两种选择 → 07。

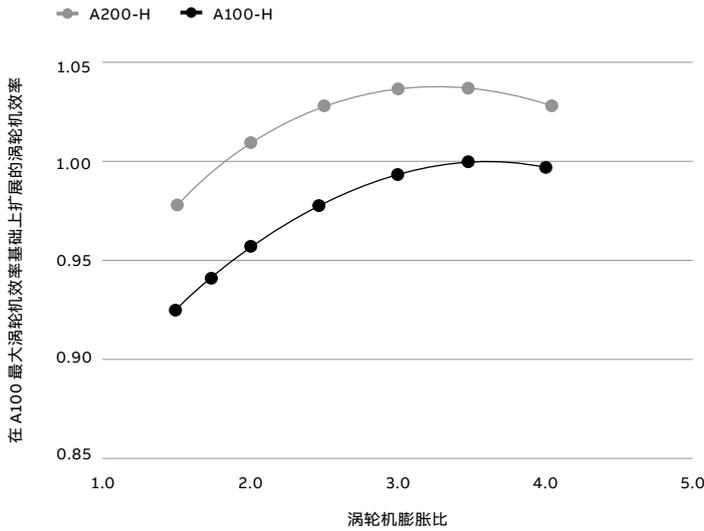
轴与轴承系统

就如今的径流式涡轮增压器而言，对于全新 A200-H 涡轮增压器，使用轴承法兰中带有挤压油膜阻尼器的平面轴承是最合理的选择，因为其兼顾成本和运行可靠性。为确保以尽可能少的部件实现简单装配，主副推力轴承均位于压缩机侧。

A200-H 系列让客户首次可以为同一种涡轮增压器选择轴承。A200-H 包含获得专利的轴承模块设计，既支持 ABB 平面轴承，也支持新开发的高效滚珠轴承 → 08。在部分负载状态下，滚珠轴承的功率损耗约为平面轴承的 15%，使其成为采用高瞬态操作模式的客户的理想之选。瞬态热动力模拟基于常见的 2 MW 燃气发动机和不同推进理念，仅靠将轴承系统换为滚珠轴承即将达到满载的时间缩短 15% 左右（不管是热启动还是冷启动）。

05





06

A200-H 的数字化功能提高了涡轮增压器维护需求评估的灵活性。

两种轴承都设计为直接与标准发动机油路相连。滚珠轴承选项无需采取任何额外措施，但油耗与散发到机油中的热量与平面轴承相比都减少了一半。单模块滚珠轴承设计更易实现平面轴承升级。

凭借数字化功能降低生命周期成本

转子使用寿命取决于涡轮增压器的转速、温度以及负载循环次数。在过去，往往假设特定环境条件（带有规定偏差）和运行剖面，并根据允许的运行参数值采取保守方法估算转子使用寿命。但是，如今循环操作（如调峰）不断增加。这一变化导致发动机和涡轮增压器执行的启停循环次数大大增加。不仅是机械负载循环，而且严重的温度波动也带来重大磨损影响。

现在，全新 A200-H 系列的数字化功能带来更高的灵活性，不仅可评估涡轮增压器的维护需求，而且在当前推荐值的基础上进一步拓宽了运行限值。另外，通过采用与涡轮增压器集成的传感器或访问发电机组系统数据来监控涡轮增压器速度和温度、启停循环、环境条件以及其他参数。通过访问特定设施运行数据，可评估外露部件寿命，即根据运行记录查看转子部件寿命消耗情况，以及检查高温固定件。

而对收集数据的在线分析则让我们可以根据每次检查评估轴和转子部件的状态，例如在天然气应用情况下，每完成 20,000 运行小时执行一次检查。如果运行数据分析结果显示一切正常，客户可以在下次检查周期之前继续“放心”使用。在 40,000 小时检查时，客户可以根据严格的常规方法所示，选择将建议的更换周期延长至 40,000 小时以上，但此方法不提供持续数字支持。假设一台发动机的完整使用寿命为 120,000 小时，在此期间经过一次大修，延长转子更换周期的潜力将允许操作员在该发动机使用寿命内仅用两台转子运行涡轮增压器，也就是说，只需更换一次转子，从而节约成本。

对于循环热机械疲劳 (TMF) 负载下的高温固定件，通过采集运行数据以及与零件磨损特性之间的关系，可以提供新洞察，并极大扩充现有经验库。设计流程中的新分析算法和最新优化工具将允许进一步优化易面临严重热机械负载的外壳和其他零件的 TMF 设计。新数字化功能有利于未来调峰应用，可以进一步拓宽应用限值，并大幅减少生命周期成本。





08

—
06 涡轮增压器效率: A200-H 与 A100-H。

—
07 带夹紧螺母的 A240-H 涡轮增压器。

—
08 在 ABB 测试台上通过早期原型机测试轴承模块设计。

—
高速发动机客户期盼挖掘新系列的全部潜能，为响应这一需求，首批 A240-H 原型机将很快投入测试。

而且，A200-H 集成的数字化解决方案带来更多机会，能为 A200-H 涡轮增压器运营商增值。新功能包括维护规划、性能趋势监控、机群管理以及及时升级提醒，这些功能将随着新系列逐步引入。

时间线和应用范围

ABB 的新一代 A200-H 涡轮增压器系列设定了单级高压涡轮增压的新标杆。它可以满足高速发动机制造商和运营商关于增加功率密度、提高系统效率和降低具体生命周期成本的要求。A200-H 涡轮增压器的压缩机压力比高达 6.5，涡轮增压效率超过 69%。

即使在要求严苛的满载运行条件下，所开发的新压缩机和涡轮级也能确保出色性能、机械可靠性以及适当部件寿命。该涡轮增压器设计满足严苛应用要求，例如关于循环操作、效率损失最小化、密闭容器安全性以及转子动力学的要求。

A200-H 的数字化功能可提高涡轮增压器维护需求评估与部件寿命评估的灵活性。具体安装与操作数据有助于执行暴露评估，还可以显著减少生命周期成本。高速发动机客户期盼挖掘新系列的全部潜能，为响应这一需求，首批 A240-H 原型机已于 2019 年年底投入测试。之后将陆续推出三种小型涡轮增压器，即 A238-H、A234-H 和 A231-H，构成新一代涡轮增压器系列。这几种涡轮增压器预计于 2021/2022 年投产。●

— 参考文献

[1] D. Wunderwald, et al., "The New A100-H Single-Stage Turbocharger Series for High-Speed Engines," MTZ worldwide, issue 07-08, volume 69, pp. 9-14, 2008.

[2] L. Galloway, et al., "An Investigation of the Stability Enhancement of a Centrifugal Compressor Stage Using Porous Throat Diffuser," Journal of Turbomachinery, 140(1), 2017.