

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—2026

重型燃气轮机控制与运维技术规范

Technical Specification for Control and Operation & Maintenance of
Heavy-Duty Gas Turbines

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	3
5 控制	4
5.1 软硬件要求	4
5.2 控制功能要求	4
5.3 保护功能要求	4
5.4 网络安全要求	5
6 运行	5
6.1 启动与停机	5
6.2 稳态运行与变负荷	6
6.3 状态监测	6
6.4 燃烧调整与排放监测	6
6.5 异常工况分类与处置	7
7 维护	7
7.1 维护策略	7
7.2 检修等级划分	7
7.3 燃机本体关键部件检修	8
7.4 辅助系统检修	8
7.5 热通道部件寿命评估	9
7.6 转子寿命评估	9
附录 A	10
附录 B	13
附录 C	15
附录 D	20

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这些专利的责任。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件主要起草单位：南京国电南自维美德自动化有限公司、中国华电集团有限公司、江苏华电戚墅堰发电有限公司、杭州华电半山发电有限公司。

本文件主要起草人：吴科、汤诚、蒋敏杰、郭晓旻、潘文良、江峰、黄康、王广、吴胜华、陈子静、熊超、王兆舜、黄蕾、田海波、谷伟、王鹏、王深、丁敏刚、李泽铭、戴苏洲、王绪昌、郎庆、张旭然。

本文件首次发布。

重型燃气轮机控制与运维技术规范

1 范围

本文件规定了总则、重型燃气轮机控制、运行和维护等技术规范。

本文件适用于新建工程和技术改造的发电和工业驱动用重型燃气轮机的控制与运行维护。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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/T 6075.4 机械振动 在非旋转部件上测量评价机器的振动 第4部分：功率大于3 MW、转速在3000 r/min至30000 r/min之间的燃气轮机

GB/T 11348.4 机械振动 在旋转轴上测量评价机器的振动 第4部分：功率大于3 MW、转速在3000 r/min至30000 r/min之间的燃气轮机

GB/T 13399 汽轮机安全监视装置技术条件

GB/T 14411 轻型燃气轮机控制和保护系统

GB/T 18345 燃气轮机 烟气排放

GB/T 26863 火电站监控系统术语

GB/T 29626 汽轮发电机状态在线监测系统应用导则

GB/T 36293 火力发电厂分散控制系统技术条件

GB/T 40739 燃气轮机 燃气轮机设备的数据采集和趋势监测系统要求

DL/T 384 9FA 燃气-蒸汽联合循环机组运行规程

DL/T 774 火力发电厂热工自动化系统检修运行维护规程

DL/T 838 燃煤火力发电企业设备检修导则

DL/T 996 火力发电厂汽轮机控制系统技术条件

DL/T 1056 发电厂热工仪表及控制系统技术监督导则

DL/T 1083 火力发电厂分散控制系统技术条件

DL/T 1214 9FA 燃气-蒸汽联合循环机组维修规程

DL/T 2718 M701F型燃气轮机检修导则

DL/T 5175 火力发电厂热工控制系统设计技术规定

JB/T 5884 燃气轮机控制与保护系统

JB/T 5886 燃气轮机气体燃料的使用导则

3 术语和定义

3.1

重型燃气轮机 heavy-duty gas turbine

专为连续带负荷发电或机械驱动设计，具有重型结构、较长检修间隔和较长使用寿命的燃气轮机。通常按透平进气温度等级划分为B级、E级、F级、G级、H级等。

3.2

燃气轮机控制系统 gas turbine control system (TCS)

实现燃气轮机各种运行工况自动控制，即自动维持燃气轮机转速、负荷、温度等在指定值的自动控制功能。

[来源：GB/T 26863—2022, 7.29.6, 有修改]

3.3

燃气轮机负荷控制 gas turbine load control

控制燃气轮机负荷的自动控制功能。

[来源：GB/T 26863—2022, 7.29.6.1, 有修改]

3.4

燃气轮机转速控制 gas turbine speed control

用于燃气轮机从空载到最大负荷之间进行转速控制的功能。

[来源：GB/T 26863—2022, 7.29.6.2, 有修改]

3.5

燃气轮机温度控制 gas turbine temperature control

控制燃气轮机排气温度在规定值范围内的自动控制功能。

[来源：GB/T 26863—2022, 7.29.6.3, 有修改]

3.6

压气机入口导叶控制系统 compressor inlet guide vane control (IGV)

通过改变压气机入口导叶转角，从而控制进入压气机空气量的自动控制功能。

[来源：GB/T 26863—2022, 7.29.6.4, 有修改]

3.7

燃气轮机机组保护系统 gas turbine unit protection system (TPS)

燃气轮机在启动和运行过程中，能采取断然措施停止燃气轮机运行，为防止燃气轮机本身及其系统或电网的故障危及机组安全的保护系统。

[来源：GB/T 26863—2022, 8.8, 有修改]

3.8

透平进气温度 turbine inlet temperature (TIT)

燃气轮机首级透平喷嘴入口截面的燃气平均总温。是表征热通道部件工作环境和决定寿命消耗的核心参数。

[来源：GB/T 14099—2005, 3.2.19, 有修改]

3.9

燃烧动态压力 combustion dynamic pressure

燃烧室内由燃烧放热与声学模态耦合产生的压力脉动。通常以频域峰值幅值或某一频带内均方根值表征，是评判燃烧稳定性的重要指标。

[本文件自定义，参考GB/T 32821—2016, 第4章]

3.10

等效运行小时 equivalent operating hours (EOH)

计入启停、各类负荷工况及影响因子后折算的运行小时数，用于统一衡量燃机主要部件的寿命消耗和维护需求。

[来源：DL/T 2718—2023, 3.18]

3.11

等效启动次数 equivalent starts number (ESN)

计入每次启停过程及启动热态条件对寿命影响后折算的启动次数，与等效运行小时配合使用，确定检修间隔。

[来源：DL/T 2718—2023, 3.20, 有修改]

3.12

自动燃烧调整 automatic combustion adjustment (ACC)

控制系统根据燃烧动态压力、排放水平、火焰稳定性等反馈信号，自动优化值班与主燃料流量分配、调整燃烧状态的策略。

3.13**热通道部件 hot gas path parts (HGP)**

长期承受高温燃气冲刷的部件，包括但不限于燃烧室火焰筒、导流套、透平喷嘴、动叶片和护环等。

[来源：DL/T 2718—2023，4.1，有修改]

3.14**自动启停系统 automatic plant start-up / shut-down system (APS)**

按预定步序和条件自动完成燃气轮机及其辅助系统从盘车到并网（或从解列到盘车）全过程控制的系统功能。

[来源：GB/T 26863—2022，7.18.6，有修改]

3.15**一次调频 primary frequency regulation**

电网频率偏离额定值时，发电机组调速系统自动调整负荷以快速稳定频率的功能。

[来源：GB/T 26863—2022，3.1.223]

3.16**状态监测 condition monitoring**

在线或离线采集振动、温度、压力、油液分析等数据，用于判断机组运行状态的持续过程。

[来源：GB/T 19873.1—2013，3.1]

3.17**以可靠性为中心的维护 reliability centered maintenance (RCM)**

系统性评估设备功能及故障模式，依据后果严重程度选择最合适的维护策略（预防性、预测性等）的方法。

[来源：GB/T 32821—2016，3.1.5，有修改]

3.18**燃烧模式 combustion mode**

根据负荷和环境条件，控制系统选定的燃料分配及燃烧组织方式，如扩散模式、预混模式、低排放模式等。

4 总则

4.1 应坚持安全第一、预防为主、全生命周期优化的原则，主要功能是对主辅机设备在正常和异常运行工况下进行控制、保护和监测，及时发现、消除设备缺陷并持续优化，保障机组安全、稳定、经济和环保运行，杜绝人身和设备事故。

4.2 控制系统架构应具备必要的冗余、容错和自诊断能力，软硬件选型应兼顾先进性、开放性与运维可持续性。

4.3 应建立以可靠性为中心（RCM）的运维策略体系，综合等效运行小时（EOH）、启动次数（ESN）与主要部件实际状态制定检修计划，宜采用数字化运维和远程诊断手段，提高异常预知与全生命周期成本管控能力。

4.4 燃气轮机控制系统的安全功能设计、运行维护活动及排放控制应满足适用的安全、消防、职业健康和环保法规标准的要求，保护联锁逻辑应遵循故障安全原则，燃烧调节与排放监测应协同联动，确保机组在全工况范围内的安全运行与污染排放受控。

4.5 重型燃气轮机控制和运维人员应掌握本岗位运行和维护技术，遵守安全操作规程，并经岗位培训方能上岗。

4.6 重型燃气轮机控制逻辑、保护定值、调试记录、检修报告、部件寿命评估等关键数据和资料应规范归档，保证可追溯性。

5 控制

5.1 软硬件要求

5.1.1 燃气轮机控制系统（TCS）应至少包括冗余控制器、冗余电源、冗余通信网络、输入/输出模件、人机接口等关键组件。单一组件故障不应导致控制系统全部功能丧失或机组非计划停机。

5.1.2 系统应具备故障自诊断功能，能够检测控制器、通信、电源及I/O模件等关键部件的故障状态，并发出报警。系统电源故障应设置最高级别的报警。

5.1.3 系统控制器应冗余配置，CPU负荷率不应超过60%，主控制回路扫描周期不宜大于50ms，保护联锁回路响应时间不宜大于20ms。

5.1.4 系统应能接受两路冗余电源（两路UPS或一路UPS一路保安电源）。两路电源可根据需要设置自动切换装置，切换时间应满足系统安全运行的需要。

5.1.5 系统网络应配置冗余，采用以太网情况下通讯速率不低于100Mbps，任一网络上的单个节点故障不应影响系统正常通讯。

5.1.6 系统输入/输出模件应支持在线热插拔功能，更换时不应影响其他回路正常工作。

5.1.7 系统人机接口应至少包含工程师站、操作员站、历史站等，配置和性能应满足GB/T 36293的要求。

5.1.8 系统人机接口应提供友好的人机界面，具备数据显示、控制操作、报警、记录、历史数据存储和查询等功能，满足对机组的监视、控制和保护等必要功能需要。

5.1.9 系统人机接口应具备控制逻辑组态、修改、下载、调试、在线强置等功能，控制逻辑修改应具备权限管理和操作记录功能。

5.2 控制功能要求

5.2.1 系统应具备转速控制功能，转速调节范围应为 2r/min 至额定保护定值并连续可调；当燃气轮机定速时，转速波动范围应不大于额定转速的 0.1%；在甩负荷过程中，满负荷的最大转速不应超过额定转速的110%，50%的负荷最大转速不应超过额定转速的105%。

5.2.2 系统应具备负荷控制功能，并网后应具备转速/负荷无扰动切换能力，负荷控制范围应在0%~排气温度允许的基本负荷内，连续可调。负荷波动范围应不大于额定功率的0.5%。

5.2.3 系统应具备一次调频控制功能，在负荷给定值不变的情况下，机组所带实际负荷应随电网的频率改变而改变，一次调频应设置死区，限幅上限不宜大于6% 额定负荷。

5.2.4 系统应具备排气温度控制或透平进气温度（TIT）间接控制功能，排气温度控制基准应根据压气机出口压力或进口导叶角度进行修正，以防止燃烧超温；排气温度控制曲线应在机组启动和正常运行阶段应有不同的设定规则。

5.2.5 系统应具备燃料量控制功能，值班燃料与主燃料流量比值的调节范围应覆盖各负荷段燃烧稳定性要求，并保证燃机在任何停机条件发生时，都能快速切断燃料供应。

5.2.6 系统应具备燃烧调整功能，应能够根据燃烧动态压力、NO_x/CO排放水平、火焰强度等反馈信号自动优化燃料分配；应支持多燃烧模式切换，包括扩散燃烧模式、预混燃烧模式及低排放燃烧模式；模式切换应在确保燃烧稳定性的前提下实现无扰动切换。

5.3 保护功能要求

5.3.1 跳闸保护逻辑控制器应单独冗余设置，跳闸命令不应通过通信总线传送，触发保护动作的信号应为硬接线。

5.3.2 保护系统应具有事故追忆功能，在跳闸前后5min应以不大于40ms间隔时间快速记录。跳闸保护系统应具有时间顺序记录，记录精度至少应满足1ms。画面应具有跳闸首出功能。

5.3.3 应设计自动停机保护功能，故障条件满足触发自动停机功能，在自动停机过程中如果故障消失，运行人员可以中断自动停机。

5.3.4 应设计至少一套独立于控制器的硬跳闸回路和一套依托于控制器的软跳闸回路。发出跳闸指令时，应能迅速关闭燃料阀、快速打开压气机入口导叶使机组安全停机。

5.3.5 硬跳闸回路至少应包括手动停机保护、超速保护、火灾或气体保护、控制器故障保护、控制器断电保护。

5.3.6 软跳闸应包括硬跳闸回路的保护，分为点火前跳闸条件和点火后跳闸条件。

5.4 网络安全要求

5.4.1 系统应当选用经电力监控系统专用安全产品管理委员会组织检测认证合格的电力监控系统专用安全产品，不得选用经管理委员会通报存在供应链安全风险的产品。

5.4.2 系统物理连接与网络拓扑图应一致，不应存在不受控的网络及端口接入、非法外联。

5.4.3 设备多余USB口、网卡等端口应进行堵塞，系统、设备及软件多余的服务与端口应关闭，不应存在默认账户、默认口令、弱口令等问题。

6 运行

6.1 启动与停机

6.1.1 系统应有一套完整的启动程序来保证可靠点火，且按要求供给燃料，使燃气轮机快速、安全地到达目标转速。

6.1.2 启动前应完成附录C规定的启动前专项检查，确认所有辅助系统已正常投运，控制系统无影响启动的异常报警，保护联锁处于正常投入状态。

6.1.3 系统应具备燃料泄漏试验功能。若燃料泄漏试验失败，应禁止燃气轮机启动。

6.1.4 系统应具备正常停机和紧急停机的功能，停机时应切断燃料供给。

6.1.5 正常停机是按照一定程序进行停机。可用手动或自动的方式执行。正常停机的步骤：

- a) 在同步转速下，有控制地卸负荷到零输出；
- b) 断开发电机出口断路器；
- c) 降低转速或适当的冷却过程；
- d) 切断燃料供给；
- e) 停止盘车不需要的辅机；如需要则进行盘车；
- f) 停止其余辅机，如滑油泵；
- g) 恢复到启动状态。

6.1.6 紧急停机的要求为：

- a) 紧急停机应有手动操作，也应能由保护装置自动停机。
- b) 应迅速关闭燃料截止阀，切断燃料供给；
- c) 应进行正常的盘车和停机程序。对装有自动再启动装置的机组，应采取措施防止不经手动复位就自动启动。

6.1.7 系统宜具备一键启停（APS）功能，包含机组启动、并网、升负荷、正常运行、停机及紧急停机等全过程的自动顺序控制功能，可在点火、冲转、机组并网等关键启动流程设置断点。

6.1.8 APS应支持全自动、半自动和手动控制方式，并应在不同控制方式之间实现安全、可靠的切换。

6.1.9 APS 自动运行过程中，当关键条件不满足或设备异常时，应中止当前顺序操作，并发出报警信号。

6.1.10 APS 应具备启动条件、运行条件和停机条件的自动判别功能，未满足条件时应禁止相应顺序操作。

6.2 稳态运行与变负荷

6.2.1 机组运行过程中主要参数应保持在允许范围内，包括但不限于：

- a) 排气分散度；
- b) 转速；
- c) 负荷；
- d) 轴承振动及轴振动；
- e) 润滑油、控制油压力及温度；
- f) 燃料压力及温度；
- g) 燃烧动态压力。

6.2.2 变负荷运行应满足以下要求：

- a) 升负荷速率不应超过制造商规定的最大允许值；
- b) 变负荷过程中应监测燃烧模式切换点，切换应在设定负荷窗口内完成；
- c) 变负荷期间振动、排烟温度、胀差等参数的变化应保持平滑，无突变；
- d) 应关注燃烧稳定性和排放水平，避免在燃烧不稳定负荷区间长期运行。

6.3 状态监测

6.3.1 状态监测系统应至少包含以下参数：

- a) 振动：包括轴承振动、轴振动，宜同步监测振动频谱及轴心轨迹；
- b) 热力参数：包括排烟温度、排气各热电偶温差、压气机进出口压力与温度、透平各级温度；
- c) 燃烧参数：包括燃烧动态压力、火焰强度、NO_x/CO 排放浓度等；
- d) 油液参数：包括润滑油及控制油的温度、压力、颗粒污染度、含水量及酸值等；
- e) 气路性能：包括压气机效率、透平效率及整机热耗率等性能指标。

6.3.2 振动监测应满足以下要求：

- a) 振动测点布置应符合 GB/T 6075.4 和 GB/T 11348.4 的规定，每个轴承处至少配置一个轴振和一个瓦振测点；
- b) 配备在线振动频谱分析功能或提供离线分析数据接口；
- c) 振动报警值宜按制造商推荐值设置，遮断值按制造商规定整定。

6.3.3 状态监测数据采集与存储应满足以下要求：

- a) 测量参数及其采样频率满足 GB/T 40739 和 GB/T 29626 的要求；
- b) 波形数据和特征值应同步记录并定期备份；
- c) 历史数据保存期限不少于 6 个月。

6.4 燃烧调整与排放监测

6.4.1 燃烧稳定性监测应满足以下要求：

- a) 监测燃烧动态压力在各频段的幅值，包括低频、中频和高频范围；
- b) 燃烧不稳定判断应以在线燃烧动态压力实时监测数据为主要依据，辅以火焰强度或离子电流信号；
- c) 燃烧动态压力超过报警阈值时应自动记录波形数据和时间信息；
- d) 报警阈值和遮断阈值应根据制造商技术文件规定设置；
- e) 燃烧动态压力监测频带与报警阈值设置可参考制造商技术文件。

6.4.2 排放监测应满足以下要求：

- a) 应配备连续排放监测系统，实时监测 NO_x、CO 及 O₂ 排放浓度；
- b) 排放浓度应在规定时间周期内计算平均值，并与环保限值进行比对；
- c) 变负荷、燃烧模式切换等工况变化期间的排放波动应记录分析；
- d) 排放监测设备应按规定周期进行标定和比对校验。

6.4.3 燃烧调节与排放控制应协同联动：

- a) 当 NO_x 或 CO 排放浓度偏差持续增大时，ACC 应在允许调节范围内进行调整；
- b) 排放浓度超过环保限值且 ACC 无法有效纠偏时，应发出报警，并由运行人员根据预案进行干预，必要时调整负荷或切换燃烧模式。

6.5 异常工况分类与处置

6.5.1 异常工况应按以下类别分级管理：

- a) 第一类异常：参数偏离正常范围但未达报警值，可在线调整恢复，无需限负荷。包括但不限于：部分测点参数小幅波动、辅助设备切换、轻微参数漂移等。处置原则：在线调整、加强监视，纳入缺陷跟踪；
- b) 第二类异常：参数达到报警值或偏离正常范围较大，需限负荷或调整运行方式恢复控制。包括但不限于：振动报警、排烟温差报警、燃烧脉动报警、润滑油温度异常等。处置原则：降负荷运行、调整运行参数、切换备用设备，安排停机消缺窗口；
- c) 第三类异常：参数达到遮断值或出现危及设备和人身安全的情况，应立即停机处理。包括但不限于：振动遮断、超速、熄火、润滑油压力低遮断、火灾等。处置原则：触发保护遮断或手动紧急停机，查明原因并消除故障后方可重新启动。

6.5.2 常见异常工况的处理流程参见附录B。现场应根据制造商技术文件和运行规程制定详细的处置措施，明确每个异常工况的具体表现、可能原因、处置步骤和恢复条件。

6.5.3 异常工况处置完成后，应按制造商规定程序和运行操作规程进行恢复操作，确保各项参数稳定正常后方可重新带负荷运行。

7 维护

7.1 维护策略

7.1.1 应以可靠性为中心（RCM），以设备功能分析、故障模式及影响分析（FMEA）为基础，综合采用预防性维护及预测性维护和纠正性维护策略。

7.1.2 预防性维护应根据制造商技术文件制定定期维护计划，明确维护项目、周期和标准；定期维护应包括但不限于：滤网更换、油品取样分析、点火系统检查、仪表校验、保护联锁试验、阀门行程测试等；定期维护的周期可参考制造商推荐值，并结合机组运行小时数、启停次数及实际状态进行动态调整。

7.1.3 预测性维护应基于状态监测数据和劣化趋势分析，对设备剩余寿命和故障风险进行预判；涵盖但不限于：振动趋势分析、油液分析、气路性能退化趋势、热通道部件寿命消耗评估；当状态监测数据或寿命消耗评估表明部件达到预设的维护门槛值时，应及时安排检修。

7.2 检修等级划分

7.2.1 燃气轮机检修应划分为以下等级：

- a) 燃烧室检查（CI）：以燃烧室部件为主的小范围检查，包括火焰筒、燃料喷嘴、点火器、联焰管等的检查和必要更换；
- b) 高温部件检查（HGPI）：在 CI 基础上增加对透平喷嘴、动叶片、护环等热通道部件的检查和必要更换；
- c) 大修（MI）：对燃气轮机本体进行全面的解体检修，包括转子吊出、全部热通道部件检查或更换、压气机叶片检查、轴承检查或更换等。

7.2.2 各检修等级的执行时机应根据制造商要求，依据等效运行小时（EOH）和等效启动次数（ESN）综合确定。

7.2.3 EOH的换算应按照附录D给出的模型和系数执行，ESN的统计应包括正常启动、紧急停机启动和跳机启动，各启动类型的权重系数可参照附录D执行。

7.2.4 检修前应制定详细的检修方案，明确检修范围、技术标准、验收准则、安全措施和备件需求。检修完工后应形成完整的检修报告。

7.3 燃机本体关键部件检修

7.3.1 燃烧室部件检修应包括以下内容：

- a) 火焰筒及导流套检查：检查有无裂纹、烧蚀、涂层剥落、变形或过热变色。表面涂层剥落面积超过规定比例时应进行修复或更换；
- b) 燃料喷嘴检查：检查喷嘴头部的积碳、烧蚀和裂纹，检查喷口有无堵塞或变形。喷嘴流量特性偏差超过规定值时应进行清洗或更换；
- c) 联焰管检查：检查联焰管的固定状态和管壁完整性，有无裂纹或烧穿；
- d) 点火器与火焰检测器检查：检查点火器电极间隙和绝缘，检查火焰检测器探头污染程度，视情清洁或更换。

7.3.2 透平热通道部件检修应包括以下内容：

- a) 透平喷嘴检查：检查各级喷嘴表面的裂纹、烧蚀、涂层剥落及变形。喷嘴叶片裂纹超过制造商规定的容限时应更换；
- b) 透平动叶片检查：检查叶身表面、进出气边、叶根区域的裂纹、剥落和腐蚀。叶片裂纹长度或深度超过规定容限时应更换；
- c) 护环与密封段检查：检查表面有无碰摩痕迹、开裂或变形。密封段间隙超差时应更换；
- d) 冷却空气通道检查：检查冷却空气孔及内部通道有无堵塞、扩大或翻边异常。

7.3.3 热通道部件的涂层修复应满足以下要求：

- a) 涂层修复工艺应经制造商或专业修复服务商认证；
- b) 修复后的部件应通过外观检查、涂层厚度测量和无损检测，各项指标应符合修复技术规范的要求；
- c) 修复后的部件应建立修复档案，记录修复工艺参数、检测结果和预期使用寿命。

7.3.4 压气机部件检修应包括以下内容：

- a) 检查转子叶片和静叶片的叶身表面有无外来物损伤、腐蚀、裂纹和积垢；
- b) 检查压气机进口导叶（IGV）的可调机构动作灵活性和同一性；
- c) 压气机各级静叶的涂层及密封应有完整记录，必要时恢复涂层性能。

7.4 辅助系统检修

7.4.1 进气系统检修应满足以下要求：

- a) 进气滤网应根据差压和制造商推荐周期更换或清洗。差压超过规定值时应及时更换；
- b) 反吹系统（如有）应检查脉冲阀、管路及控制逻辑的工作状态；
- c) 进气消音器、进气管道及膨胀节应检查有无破损、泄漏或腐蚀；
- d) 进气加热及防冰系统（如有）应在寒冷季节到来前进行功能检查和试验。

7.4.2 润滑油系统检修应满足以下要求：

- a) 润滑油清洁度应符合 NAS 1638 规定的等级要求。新油和冲洗后油质的清洁度等级根据制造商推荐值确定；
- b) 油过滤器滤芯应按压差和规定周期更换；
- c) 油冷却器应按需清洗，换热效率明显下降时安排清洗或内漏检测；
- d) 油箱应定期检查清理，底部积水及杂质沉积应及时清除；
- e) 油泵、油雾分离器、呼吸器等应按制造商要求进行功能检查。

7.4.3 燃料系统检修应满足以下要求：

- a) 燃料调节阀和速断阀应定期进行行程测试和关闭时间测试，确保动作灵活、关闭严密，关闭时间

不超过制造商规定值；

- b) 燃料过滤器应按差压和规定周期更换或清洗；
- c) 燃料管路、阀门和法兰应进行泄漏检查，采用可燃气体检测仪或皂液法；
- d) 燃料加热器（如有）应检查换热效果和温控功能。

7.4.4 冷却与密封空气系统检修应检查冷却空气管路的阀门、孔板、滤网等有无堵塞或异常开度，确保冷却空气分配满足设计要求。

7.5 热通道部件寿命评估

7.5.1 热通道部件寿命评估应在制造商规定的寿命监测模型基础上开展，综合蠕变、热机械疲劳、氧化和腐蚀四种损伤机理进行分析。

7.5.2 寿命评估所需的基础数据应包括：

- a) 等效运行小时（EOH）和等效启动次数（ESN）累计值；
- b) 关键运行参数的历史数据，包括透平进气温度、排气温度、负荷变化历程及燃料品质等；
- c) 历次内窥镜检查记录和缺陷测量数据；
- d) 历次检修的涂层修复和部件更换记录。

7.5.3 在制造商寿命管理模型基础上，建议定期对热通道部件的实际状态评估进行校验，当以下情况出现时，应重新评估剩余寿命：

- a) 实际运行参数与设计假定发生显著偏差（如燃用燃料品种变更、基本负荷年运行小时数超过或低于设计工况）；
- b) 历次检查发现部件劣化速率高于预期；
- c) 同类机型、同类部件出现普遍性的提前失效通报；
- d) 任何影响燃烧、热通道冷却空气或热力参数的改造完成后。

7.6 转子寿命评估

7.6.1 应以制造商提供的启动次数寿命曲线作为转子疲劳寿命的评估基准，并重点关注启动及变负荷过程中热应力对转子寿命的消耗。

7.6.2 转子疲劳寿命评估应统计以下数据：

- a) 各类启动次数（冷态、温态、热态启动、跳机后重新启动）及其对应的关键部位温度变化幅度；
- b) 变负荷循环的幅度和速率；
- c) 超速试验次数；
- d) 盘车故障次数及事故工况记录。

7.6.3 当累计启动次数接近寿命限值时，应安排转子无损检测，检测部位包括轴颈、叶根槽、中心孔等应力集中区域。

7.6.4 转子在累计运行一个大修周期后，或运行中出现异常振动、较大胀差和碰摩等事故后，宜对转子进行几何精度、材料状态检查。

7.7 远程诊断与数据传输

7.7.1 宜设置远程诊断中心，实时获取机组关键运行参数、状态监测数据和报警信息，由远程专家进行分析、故障诊断和检修决策；

7.7.2 数据传输应采用加密通信协议，防止数据泄露或篡改，远程连接仅在需要时启用，操作完成后即时断开。

附录 A
(资料性)
重型燃气轮机典型启动曲线示例

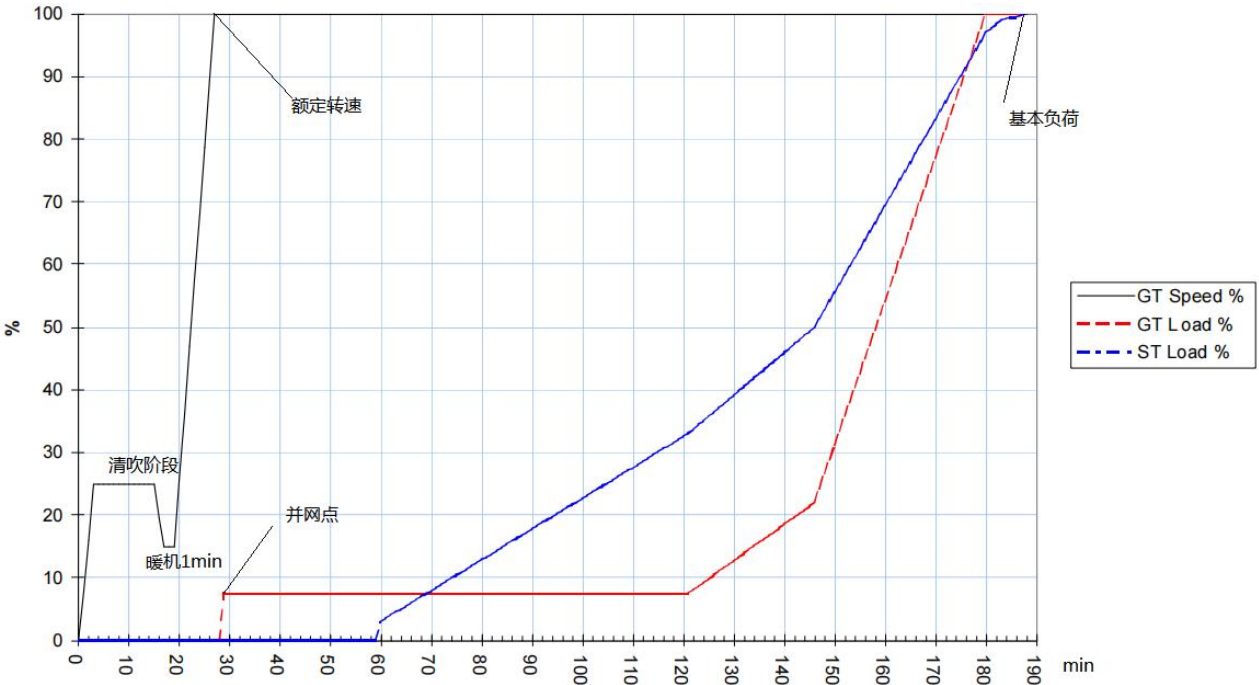
A.1 概述

本附录给出了典型F级重型燃气轮机冷态、温态、热态启动过程中转速、负荷与时间关系的参考曲线，用于指导运行人员判断机组启动过程是否在预期范围内，并在启动异常时提供比对依据。其他等级（B级、E级等）燃气轮机可参照使用，具体温升率、暖机时间及升负荷速率应以制造商技术文件为准。

A.2 典型启动曲线

A.2.1 冷态启动曲线

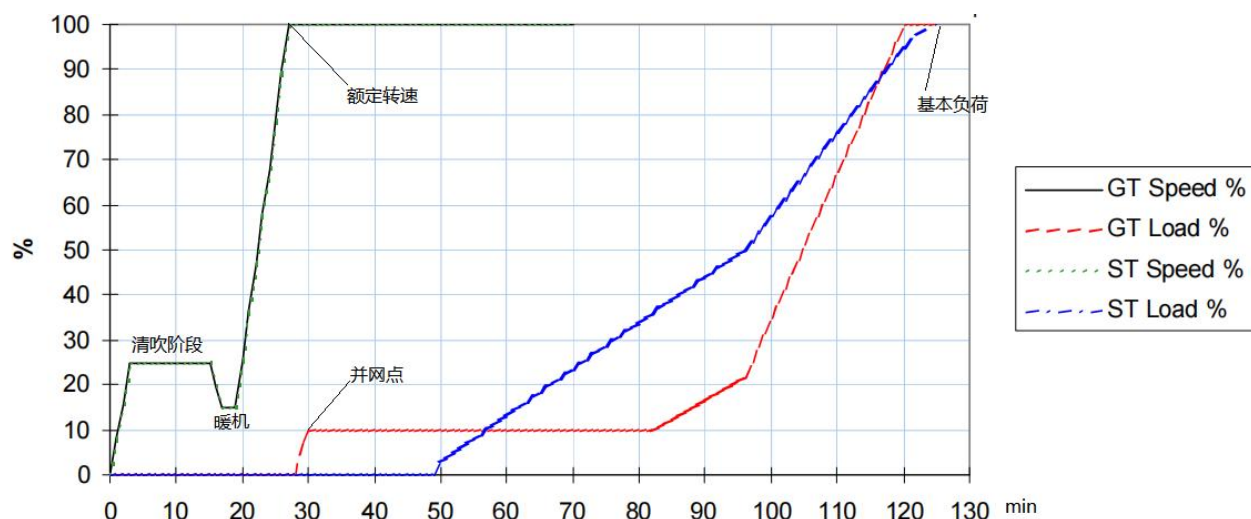
冷态启动指燃气轮机停运超过规定小时数（通常大于72 h）后的启动。典型冷态启动曲线如图A.1所示。



（此处插入冷态启动曲线图：横坐标为时间/min，纵坐标为转速/%和负荷/%；曲线包括升速段、清吹段、点火、暖机、升速至额定转速、并网、升负荷至基本负荷等阶段。关键节点标注：点火转速、清吹时间、暖机转速及持续时间、额定转速、并网点、基本负荷点。）

A.2.2 温态启动曲线

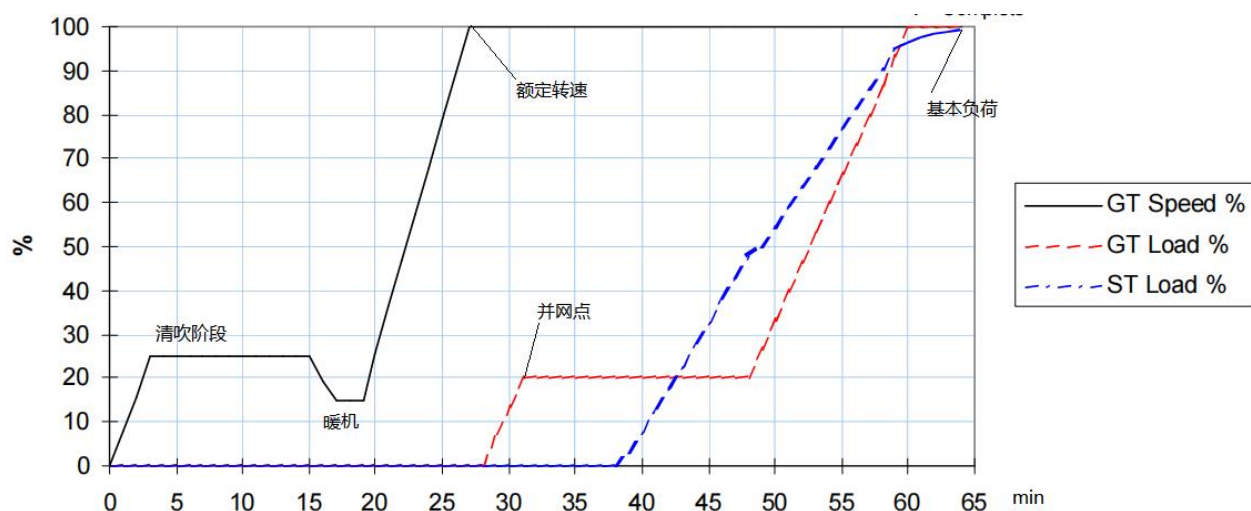
温态启动指燃气轮机停运在规定小时数范围内（通常为8 h~72 h）后的启动。典型温态启动曲线如图A.2所示。



(此处插入温态启动曲线图，与冷态启动主要差异在于暖机时间缩短、升负荷速率可适当加快。)

A.2.3 热态启动曲线

热态启动指燃气轮机停运在规定小时数以内(通常小于8 h)后的启动。典型热态启动曲线如图A.3所示。



(此处插入热态启动曲线图，与冷/温态启动主要差异在于暖机时间大幅缩短或取消部分暖机步骤，升负荷速率较快。)

A.3 典型启动时间参考

不同启动状态下的典型启动时间(从发启动令至基本负荷)参考范围见表A.1。

表 A.1 典型启动时间参考范围

启动状态	停运时间	至额定转速时间/min	至基本负荷时间/min
冷态	>72 h	25~35	50~70
温态	8 h~72 h	15~25	30~50
热态	<8 h	8~15	15~30

注：以上时间为F级典型机型的参考范围，具体数值因制造商、机组容量及现场条件有所差异。

A.4 使用说明

启动过程中应将实际启动曲线与典型曲线进行比对。若实际升速或升负荷明显偏离典型曲线（如升速率异常降低、暖机时间异常延长、燃料量异常升高等），应及时分析原因并采取相应措施。典型偏离原因包括但不限于：转子热弯曲、进气道结冰或堵塞、燃料供应异常、燃烧不稳定、辅助系统故障等。

附录 B
(资料性)
常见故障处理流程

B.1 概述

本附录给出了重型燃气轮机运行中常见故障的典型表现、可能原因及推荐处理流程，用于辅助现场运行和维护人员进行故障诊断与处置。本附录所列故障无法涵盖所有可能情况，实际处理时应结合机组实际参数、制造商技术文件及现场运行规程综合判断。

B.2 启动失败处理流程

启动失败指机组从发出启动令至并网前的任何阶段因异常而触发自动停机。推荐按以下步骤进行处理：

- a) 调阅 TCS 报警信息、SOE 事件顺序记录，确认首次报警信号及触发原因，定位异常发生的准确时刻和首发信号；
- b) 检查清吹持续时间是否达标，检查点火变压器、点火器、火焰检测器工作状态；点火失败时检查点火回路绝缘和点火器间隙，火焰检测器污染时清洁镜片；
- c) 检查燃料供给压力、温度、流量调节阀动作是否正常，确认燃料速断阀是否开启到位；压力不足时排查上游供应，阀门卡涩时切换旁路或安排检修；
- d) 检查盘车、润滑油、顶轴油、控制油、冷却水、通风等辅助系统是否正常投入，任一系统不满足条件时纠正后重新启动；
- e) 检查启动装置（启动电机/静态变频器 SFC）出力是否正常，转子能否顺利升速；SFC 过流时检查功率单元，升速中振动突增时降速暖机或停机盘车；
- f) 确认所有保护已复归，控制逻辑允许启动条件全部满足，查明原因并消除后，按制造商规定程序重新启动。

B.3 振动异常处理流程

振动异常指机组运行中轴承振动或轴振动超过报警/停机值，或振动突发显著变化。推荐按以下步骤进行处理：

- a) 分析振动频谱、轴心轨迹、相位变化，区分同步振动、次同步振动和高频振动；同步振动偏向不平衡或热弯曲，次同步振动偏向油膜失稳或喘振，高频振动偏向叶片通过频率异常；
- b) 对比振动变化前后的负荷、转速、燃烧模式、排烟温度等运行参数变化，若振动与负荷强相关，侧重热弯曲或动静碰摩；
- c) 检查润滑油温、压力、流量及轴承回油温度是否正常，油温异常时调节冷却水量，油压低时检查油泵与滤网；
- d) 结合转子偏心、缸胀、胀差等参数判断是否存在动静碰摩，存在碰摩时降低升负荷速率或降负荷运行观察，严重时停机检查；
- e) 检查燃烧动态压力与振动变化的时间同步性，若燃烧脉动升高引起振动，则转入燃烧调整；
- f) 振动达报警值时采取降负荷、改变燃烧模式等措施减少激振源，振动达遮断值时按保护逻辑停机，停机后安排振动原因排查及检修。

B.4 燃烧脉动异常处理流程

燃烧脉动异常指燃烧动态压力超过报警值，可能伴随NO_x/CO排放波动或火焰稳定性下降。推荐按以下步骤进行处理：

- a) 分析燃烧动态压力的峰值频率、幅值及所在频带，判断脉动类型为低频、中频或高频，不同类型脉动对应不同诱因；
- b) 确认当前负荷点、燃烧模式及切换状态，判断脉动升高是否与模式切换同步；若存在关联，避开脉动恶劣的负荷区间，优化模式切换逻辑阈值；

- c) 检查燃料成分（华白指数）、温度、压力及流量分配是否正常，燃料品质偏离时通知上游调整，流量分配异常时检查燃料调节阀及分流阀；
- d) 确认自动燃烧调整（ACC）功能是否投入、是否处于调节正常范围，ACC 未投入或调节裕度耗尽时手动干预，必要时进入备用燃烧模式；
- e) 对比 NO_x/CO 在线监测与烟气分析仪离线数据，若排放超标且脉动持续不降，考虑降负荷或切换至扩散模式过渡；
- f) 脉动达报警值时采取降负荷、切换燃烧模式、调整燃料分配等措施，脉动达遮断值时按保护逻辑停机，停机后安排燃烧室内窥镜检查及喷嘴检查。

B.5 排烟温度异常处理流程

排烟温度异常指排烟温度或透平排气各热电偶测点温差超过允许范围，可能伴随透平进口温度或叶片通道温度的异常指示。推荐按以下步骤进行处理：

- a) 核对各排烟热电偶读数是否正常，排除热电偶断线、漂移等测量故障；单一测点突变多为测量故障，多个测点同步上升需重点排查通流部分；
- b) 对比相同负荷及环境条件下历史排烟温度数据，负荷不变而排烟温度持续升高，提示气路通流能力下降或冷却空气量异常；
- c) 检查燃烧室各喷嘴出力是否均衡，火焰筒出口温度分布是否均匀，温度分布畸变时调整燃料喷嘴流量分配或安排燃烧室检查；
- d) 检查冷却空气管路阀门位置、滤网差压、孔板是否堵塞，冷却空气量不足导致热通道部件超温，密封空气异常影响气路性能；
- e) 检查压气机进出口压力及效率变化趋势，判断是否因积垢或叶片损伤导致性能下降，压气机效率下降时安排离线清洗或检修；
- f) 排烟温度达报警值时降负荷运行，排烟温差过大或温度达遮断值时按保护逻辑停机，停机后安排热通道部件检查及压气机检查。

B.6 通用处置原则

- a) 以人身及设备安全为首要前提，保护动作正确触发时不应强行干预；
- b) 故障原因未查明前不应盲目重新启动机组；
- c) 应完整记录故障发生前后的运行数据、报警信息及处置步骤，形成故障分析报告；
- d) 同类故障重复发生时，应升级分析，排查系统性或设计性原因，并修订运维规程；
- e) 制造商技术文件有明确规定时，根据其规定执行。

附录 C
(资料性)
巡检项目

C.1 概述

本附录给出了重型燃气轮机运行期间的巡检项目及记录格式，分为定期巡检（每值/每周）和专项巡检两类。巡检人员完成检查后应在对应栏目中填写检查结果，异常情况应在备注栏中简要描述并报告。

C.2 定期巡检记录表

表 C.1 每值巡检记录表

机组编号：_____ 日期：_____ 班次：_____ 巡检人：_____

序号	巡检部位	巡检项目	检查标准	检查结果	备注
1	机组整体	运行声音	无异常摩擦、撞击、啸叫等异响		
2	轴承	振动指示	与集控室显示一致，在报警值以内		
3	轴承	温度指示	与集控室显示一致，在报警值以内		
4	排气	排烟温度各测点	各测点读数均衡，无突变或漂移		
5	润滑油系统	油箱油位	在正常刻度范围内		
6	润滑油系统	油温	在规定范围内		
7	润滑油系统	油压	在规定范围内		
8	润滑油系统	油泵运行电流及出口压力	电流及压力稳定		
9	控制油系统	油箱油位	在正常刻度范围内		
10	控制油系统	油温	在规定范围内		
11	控制油系统	油压	在规定范围内		
12	液压油系统	系统压力	在规定范围内		
13	液压油系统	回油温度	在规定范围内		
14	燃料供应系统	管路、阀门及法兰	无泄漏		
15	燃料供应系统	燃料压力	在规定范围内		
16	燃料供应系统	燃料温度	在规定范围内		
17	进气系统	滤网差压	在规定范围内		
18	进气系统	反吹系统	工作正常		
19	压气机水洗系统	系统状态	处于正常备用状态，无异常漏水		
20	冷却水系统	供水压力	在规定范围内		
21	冷却水系统	回水温度	在规定范围内		
22	冷却水系统	系统管路	无外漏		
23	冷却与密封空气系统	压力	在规定范围内		
24	冷却与密封空气系统	温度	在规定范围内		

25	通风系统	燃机间微负压	正常		
26	通风系统	燃料模块间微负压	正常		
27	火灾保护系统	投入状态	正常投入		
28	火灾保护系统	气体灭火装置压力	在正常范围		
29	火灾保护系统	火灾探测器	无报警信号		
30	仪表及传感器	就地与远传指示	一致		
31	仪表及传感器	仪表管路及接头	无松动或泄漏		
32	机组保温	保温层外观	完好，无过热变色或脱落		
33	现场环境	照明	完好齐全		
34	现场环境	安全警示标识	完好齐全		
35	控制柜	TCS 运行状态	指示正常，无异常报警		
36	轴承隧道、排气 与负荷区域通风 冷却风机	运行电流	就地显示或测量值与控制画面显示一致，且运行电流 $\leq$ 铭牌额定值		
37	轴承隧道、排气 与负荷区域通风 冷却风机	异响听音	风机本体、联轴器、风道等无摩擦声、撞击声、周期性异响		
38	轴承隧道、排气 与负荷区域通风 冷却风机	滤网差压	压差 $\leq 500\text{pa}$ ，滤网脏堵及时清理更换		
39	轴承隧道、排气 与负荷区域通风 冷却风机	风门、重力挡板	风机启停挡板动作灵活正常，无卡涩、晃动，且备用风机挡板关闭严密		
40	轴承隧道、排气 与负荷区域通风 冷却风机	振动监测	振动速度 $\leq 6.3\text{mm/s}$ ，风道整体振动位移正常		
41	轴承隧道、排气 与负荷区域通风 冷却风机	泄漏检查	法兰、风道等无空气泄漏，法兰垫片完好		
42	轴承隧道、排气 与负荷区域通风 冷却风机	电机底座	底座温度在规定范围，无超温现象		

检查结果填写说明：正常打“√”，异常打“×”并在备注栏描述异常情况。

表 C.2 每周巡检记录表

机组编号：_____ 日期：_____ 巡检人：_____

序号	巡检部位	巡检项目	检查标准	检查结果	备注
----	------	------	------	------	----

1	润滑油系统	油样分析结果	含水量、酸值、颗粒污染度、黏度在正常范围内		
2	控制油/液压油	油样分析结果	颗粒污染度、酸值在正常范围内		
3	备用油泵	联锁试验	按规定周期完成，动作正常		
4	应急油泵	联锁试验	按规定周期完成，动作正常		
5	进气系统	滤网外观	无破损或严重污染		
6	进气系统	反吹脉冲阀及管路	无松动或破损		
7	压气机	进气导叶（IGV）动作	平滑，无异常行程偏差		
8	燃料调节阀	动作	平滑，无异常行程偏差		
9	机组变负荷	轴承振动、胀差、缸胀等	变化趋势平滑		
10	排烟通道	排烟颜色	无异常颜色		
11	排污疏水系统	阀门启闭状态	正确，管路畅通		
12	现场	盘车、应急操作按钮、就地仪表	功能正常		
13	报警记录	历史报警及事件记录	已复归信号无重复趋势		

检查结果填写说明：正常打“√”，异常打“×”并在备注栏描述异常情况。

C.3 专项巡检记录表

表 C.3 机组启动前专项检查记录表

机组编号：_____计划启动时间：_____检查人：_____检查时间：_____

序号	检查项目	检查标准	检查结果	备注
1	润滑油、控制油系统投运状态	温度、压力满足启动条件		
2	燃料供应系统	具备供气条件，速断阀及排放阀动作正常		
3	盘车装置	运行正常，转子转动无异音		
4	火灾探测器及消防系统	已投入正常状态		
5	进气系统反吹装置	已退出运行，滤网完好		
6	压气机进口及排气通道	无人员、异物及障碍物		
7	冷却水、密封空气系统	已正常建立		
8	检修工作票	已全部终结，安全措施已拆除		

检查结果填写说明：正常打“√”，异常打“×”并在备注栏描述异常情况。

表 C.4 机组停机后专项检查记录表

机组编号：_____停运时间：_____检查人：_____检查时间：_____

序号	检查项目	检查标准	检查结果	备注
1	盘车装置	自动投入，连续运行正常，电流无异常波动		
2	润滑油系统	继续运行，轴承回油温度逐步下降		
3	燃料速断阀及排放阀	关闭到位，燃料管路已排放		

4	压气机及透平内部	无异常摩擦声或异音		
5	进气系统及排气通道	无异常高温点或烟气外逸		
6	异常停机关联部位	相应测点和关联部件外观检查		

检查结果填写说明：正常打“√”，异常打“×”并在备注栏描述异常情况。

表 C.5 燃烧系统专项检查记录表

机组编号：_____ 检查日期：_____ 检查人：_____

序号	检查部位	检查项目	检查标准	检查结果	缺陷描述
1	燃烧室	火焰筒表面	无裂纹、烧蚀、涂层剥落		
2	燃烧室	导流套表面	无裂纹、烧蚀、涂层剥落		
3	燃料喷嘴	喷嘴头部	无积碳、烧蚀、裂纹		
4	燃料喷嘴	喷口	完好，无堵塞或变形		
5	联焰管	固定状态	固定可靠		
6	点火器	污染程度	视情清洁或更换		
7	火焰检测器	探头污染程度	视情清洁或更换		
8	火花塞	绝缘及引线	绝缘良好，引线无破损		
9	燃料调节阀	动作灵活性	行程测试正常		
10	燃料速断阀	动作灵活性	行程测试正常		

检查结果填写说明：正常打“√”，异常打“×”并在缺陷描述栏记录缺陷类型、位置及尺寸。

表 C.6 透平热通道部件专项检查记录表

机组编号：_____ 检查日期：_____ 检查人：_____

序号	检查部位	检查项目	检查标准	检查结果	缺陷描述
1	透平一级喷嘴	表面状态	无裂纹、烧蚀、涂层剥落、变形		
2	透平二级喷嘴	表面状态	无裂纹、烧蚀、涂层剥落、变形		
3	透平动叶片	叶身表面	无裂纹、剥落		
4	透平动叶片	进出气边	无裂纹		
5	透平动叶片	叶根区域	无裂纹		
6	护环	表面状态	无碰摩痕迹或开裂		
7	密封段	表面状态	无碰摩痕迹或开裂		
8	冷却空气孔及通道	通流状态	无堵塞或扩大翻边异常		

检查结果填写说明：正常打“√”，异常打“×”并在缺陷描述栏记录缺陷类型、位置、大小及形态。

表 C.7 润滑油系统专项检查记录表

机组编号：_____ 检查日期：_____ 检查人：_____

序号	检查部位	检查项目	检查标准	检查结果	备注
1	油箱	底部积水及杂质	无积水及杂质沉积		
2	油箱	油质分析	取样分析结果正常		
3	润滑油管路	焊缝、法兰、阀门	无渗漏		

4	油过滤器	滤芯差压及完整性	差压在允许范围内，按周期更换或清洗		
5	油冷却器	换热效果	正常，必要时清洗或内漏检测		
6	油雾分离器	功能	正常		
7	油箱呼吸器	功能	正常		

检查结果填写说明：正常打“√”，异常打“×”并在备注栏描述异常情况。

表 C.8 长期备用后启动前专项检查记录表

机组编号：_____ 停运时长：_____ 检查人：_____ 检查时间：_____

序号	检查项目	检查标准	检查结果	备注
1	盘车状态下转子偏心值及变化趋势	无异常热弯曲或弯曲		
2	油系统油质	取样分析结果正常，无变质或吸水		
3	进气系统	无积水、结冰或异物堆积		
4	电气及仪控系统	无受潮、凝露或腐蚀		
5	阀门执行机构及紧急切断阀门	动作正常		
6	额外步骤评估	根据停运时长和制造商要求，评估是否需增加试转、油运循环等步骤		

检查结果填写说明：正常打“√”，异常打“×”并在备注栏描述异常情况。

C.4 巡检记录管理要求

巡检记录应按以下要求进行管理：

- 巡检记录应如实填写，不得空项；正常打“√”，异常打“×”并在备注栏描述异常情况；
- 每份巡检记录应标明机组编号、日期、班次及巡检人员姓名；
- 巡检中发现异常应立即报告；
- 对影响机组安全运行的异常，应及时采取降负荷、切换备用系统或按保护逻辑停机等措施；
- 对暂不影响运行的轻微异常，应纳入缺陷管理台账，制定跟踪和消缺计划；
- 巡检记录应按档案管理规定定期归档保存，保存期限不少于 6 个月。

附录 D
(资料性)
等效运行小时 (EOH) 换算系数参考表

D.1 概述

等效运行小时 (EOH) 是将燃气轮机在不同运行工况下的实际运行小时数及启停次数按照一定的折算系数换算得到的当量运行小时数, 用于统一衡量热通道部件等关键部件的寿命消耗和维护需求。本附录给出了通用的 EOH 换算模型及系数参考值, 适用于 B 级、E 级及 F 级重型燃气轮机。制造商有明确规定时, 从其规定。

D.2 通用换算模型

EOH 按以下通用模型计算:

$$EOH = a_1 \times t_1 + a_2 \times t_2 + a_3 \times t_3 + b_1 \times n_1 + b_2 \times n_2 + b_3 \times n_3 + c \times t_f \cdots \cdots \cdots (D.1)$$

式中:

- a₁、a₂、a₃——基本负荷、尖峰负荷、部分负荷的运行小时折算系数;
- t₁、t₂、t₃——基本负荷、尖峰负荷、部分负荷的实际运行小时数, h;
- b₁、b₂、b₃——正常停机启动、紧急停机启动、跳机启动的每次启动折算系数;
- n₁、n₂、n₃——正常停机启动、紧急停机启动、跳机启动的次数;
- c——燃料类型修正系数, 天然气取 1.0;
- t_f——燃料修正后的运行小时数。

如使用制造商提供的换算模型, 公式及系数从其规定。

D.3 换算系数参考值

表 D.1 运行小时折算系数

运行模式	系数符号	参考取值范围	推荐值 (天然气)
基本负荷	a ₁	1.0	1.0
尖峰负荷	a ₂	2.0~6.0	4.0
部分负荷	a ₃	1.0~2.0	1.5
低负荷 (<50%负荷)	a ₄	1.5~4.0	2.0

注: 部分负荷折算系数因负荷水平不同差异较大, 表中为典型推荐值。实际负荷低于 50% 时, 寿命消耗增加较显著, 宜选取较大系数。

表 D.2 启动折算系数

启动类型	系数符号	参考取值范围	推荐值 (天然气)
正常停机启动	b ₁	10~20	15
紧急停机启动	b ₂	15~30	20
跳机启动	b ₃	20~40	30

注: 启动折算系数与停运时长、缸温水平等因素相关, 热态启动系数偏下限, 冷态启动系数偏上限。具体选取应在制造商建议基础上结合机组实际状态和经验数据确定。

表 D.3 燃料类型修正系数

燃料类型	系数符号	参考值
天然气	c	1.0
轻柴油/馏分油	c	1.0~1.5
重油	c	2.0~4.0
其他低热值气体	c	根据制造商数据确定

注：燃用重质燃料或以液体燃料为主时，热腐蚀和结垢对热通道部件寿命影响显著加剧。

D.4 计算示例

以一台F级天然气燃气轮机某运行周期为例：

运行数据：

基本负荷运行：3000 h， $a_1 = 1.0$

尖峰负荷运行：500h， $a_2 = 4.0$

部分负荷运行：1000 h， $a_3 = 1.5$

正常停机启动：30次， $b_1 = 15$

紧急停机启动：5次， $b_2 = 20$

跳机启动：2次， $b_3 = 30$

燃料类型：天然气， $c = 1.0$

计算过程：

运行小时折算： $1.0 \times 3000 + 4.0 \times 500 + 1.5 \times 1000 = 3000 + 2000 + 1500 = 6500$

启动折算： $15 \times 30 + 20 \times 5 + 30 \times 2 = 450 + 100 + 60 = 610$

燃料修正后： $c \times (\text{运行小时折算}) = 1.0 \times 6500 = 6500$

$EOH = 6500 + 610 = 7110$

该运行周期等效运行小时为7110h。

D.5 补充说明

本附录系数参考值基于行业典型经验数据，可根据自身机组特点和长期运行经验进行修正，但修正后的结果应经充分验证并纳入运维管理文件。