



中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z XXXXX—XXXX

往复式内燃机可靠性工作 指南

Guidelines for reliability work of reciprocating internal
combustion engines

（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

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

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 可靠性工作的基本原则 1

 4.1 需求牵引 1

 4.2 预防为主 1

 4.3 全生命周期管控 2

 4.4 系统协调 2

 4.5 资源保障 2

5 可靠性工作内容 2

6 确定可靠性工作的目标、要求 3

 6.1 确定可靠性工作的目标 3

 6.2 确定可靠性工作的要求 3

7 可靠性设计与分析 3

 7.1 制定可靠性设计准则 3

 7.2 可靠性模型、分配及预计 4

 7.3 故障模式、影响及危害性分析 4

 7.4 零部件和原材料的选择与控制 5

 7.5 有限元分析 5

 7.6 耐久性分析 5

 7.7 过程对可靠性的影响分析 5

8 可靠性试验与评价 6

 8.1 初期故障探测试验 6

 8.2 台架可靠性验证试验 6

9 使用阶段可靠性评估与改进 6

 9.1 使用阶段可靠性信息收集 6

 9.2 使用阶段可靠性评估 6

 9.3 使用阶段可靠性改进 7

10 可靠性工作管理 7

 10.1 可靠性计划管理 7

10.2 可靠性数据管理 7

10.3 可靠性工作质量管理 7

10.4 可靠性问题解决及验证 8

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国内燃机标准化技术委员会（SAC/TC177）归口。

本文件起草单位：潍柴动力股份有限公司、山东省标准化研究院、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、昆明理工大学、潍柴重机股份有限公司、重庆康明斯发动机有限公司、广西玉柴机器股份有限公司、浙江大学、中机科（北京）车辆检测工程研究院有限公司、北京交通大学、潍柴雷沃智慧农业科技股份有限公司、招商局检测车辆技术研究院有限公司、山东大学、一汽旗新动力（长春）科技有限公司、北京理工大学、极光湾（宁波）智能科技有限公司、胜利油田胜利动力机械集团有限公司、胜利油田胜利环海机械有限责任公司、山东省冶金科学研究院股份有限公司、上海新动力汽车科技股份有限公司、无锡威孚力达催化净化器有限责任公司。

本文件主要起草人：魏涛、于惠、刘春霞、刘建勇、邓伟、肖宇、黄永新、梁沛沛、刘震涛、陈翠翠、李志杰、李洪萌、冷峻、雷基林、白书战、肖莹、邓建林、孙波、庞斌、康见见、黄强炜、胡伟兴、谭建伟、郝佳胜、刘亚平、齐志军、赵会忠、孙良泉、李智、尹晓青、靳华田、曲函师、王伟、万富滨、杨小东。

往复式内燃机可靠性工作 指南

1 范围

本文件提供了往复式内燃机可靠性工作基本原则及工作内容、可靠性工作的目标及要求、可靠性设计与分析、可靠性试验与评价、使用阶段可靠性评估与改进、可靠性工作管理等方面的指南。

本文件适用于往复式内燃机的规划、研制、试验、生产及使用等各阶段的可靠性工作。

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/T 1883（所有部分）往复式内燃机 词汇

GB/T 6072.1 往复式内燃机 性能 第1部分：功率、燃料消耗和机油消耗的标定及试验方法 通用发动机的附加要求

GB/T 18297 汽车发动机性能试验方法

GB/T 19055 汽车发动机可靠性试验方法

3 术语和定义

GB/T 1883（所有部分）界定的术语和定义适用于本文件。

4 可靠性工作的基本原则

4.1 需求牵引

可靠性工作宜全面考虑相关的需求和约束条件，主要包括：

- a) 内燃机使用阶段可靠性的要求；
- b) 在不同应用领域的使用条件下可靠运行要求；
- c) 极限环境及运行工况的可靠性要求。

4.2 预防为主

可靠性工作宜以预防、发现和纠正产品缺陷，消除故障作为可靠性工作的目标，遵循预防为主方针，主要包括：

- a) 优先采用成熟的产品设计，对新技术需进行风险识别、谨慎使用；
- b) 形成发现问题、分析原因、提出建议、制定措施、跟踪落实的闭环工作流程；
- c) 系统分析和管控工艺设计及生产过程中各种因素对产品可靠性的影响。

注：保证产品可靠性的方法包含但不限于设计失效模式及影响分析（DFMEA）、故障树（FPA）、过程失效模式及影响分析（PFMEA）、电路容差分析（CTA）、鲁棒性设计（RD）、统计过程控制（SPC）和环境应力筛选（ESS）等。

4.3 全生命周期管控

可靠性工作宜在产品全生命周期各阶段有效进行，主要包括：

- a) 实现可靠性与产品功能一体化设计，相关要求及时落实到产品设计方案中；
- b) 对可靠性工作内容的适用性和有效性进行分析，并适时调整；
- c) 加强可靠性工作的监督与控制，将可靠性评审作为产品开发过程转阶段决策的条件；
- d) 开展全生命周期可靠性评估和可靠性改进工作，以达到可靠性的目标。

4.4 系统协调

可靠性工作宜与其他工作协调开展，主要包括：

- a) 与软件开发工作相协调，使软件产品或其他产品软件满足可靠性要求；
- b) 与维修性、测试性、安全性、环境适应性等开发过程协调开展，并与售后服务、质量管理等相协调，尽可能结合进行，减少重复；
- c) 内燃机可靠性要求与配机系统（外部供给系统、支撑系统、连接系统、控制系统等）相协调，确保可靠性要求合理、科学、可实现并可验证。

4.5 资源保障

可靠性工作宜配备必要的资源，主要包括：

- a) 规范化的工程标准或有效的工程经验；
- b) 信息化平台、与各相关方的信息交流机制；
- c) 充分的人力资源和物力资源。

5 可靠性工作内容

5.1 可靠性工作内容包括产品规划、研制、试验、生产和使用期间所开展的工作，分为以下 5 个方面：

- a) 确定可靠性工作的目标、要求；
- b) 可靠性设计与分析；
- c) 可靠性试验与评价；
- d) 使用阶段可靠性评估与改进；
- e) 可靠性工作管理。

5.2 开展可靠性工作宜考虑的因素包括但不限于：

- a) 内燃机可靠性目标；
- b) 内燃机复杂程度和关键性；
- c) 内燃机新技术含量；
- d) 内燃机类型和特点；
- e) 所处阶段以及费用、进度等。

6 确定可靠性工作的目标、要求

6.1 确定可靠性工作的目标

可靠性工作的目标是确保内燃机达到规定的可靠性目标，保持和提高可靠性水平，满足内燃机使用要求。

6.2 确定可靠性工作的要求

6.2.1 根据内燃机的使用需求，确定内燃机可靠性工作的要求，包括定性要求和定量要求：

- a) 可靠性工作定性要求是为获得满足可靠性要求的产品，对产品设计、工艺、软件及其他方面提出的非量化要求，如采用成熟技术、简化设计、冗余设计和模块化设计等要求；
- b) 可靠性工作定量要求可分为基本可靠性要求、使用阶段可靠性要求、耐久性和贮存可靠性要求，对应的可靠性参数分为以下4类：
 - 1) 基本可靠性参数，如首次故障时间、首次故障前平均工作时间、平均故障间隔时间等；
 - 2) 使用可靠性参数，如维护保养周期、故障率等；
 - 3) 耐久性参数，如B10寿命、大修寿命、中修寿命、小修寿命、报废寿命等；
 - 4) 贮存可靠性参数，如贮存寿命等。

6.2.2 在可靠性工作要求论证过程中，宜考虑以下因素：

- a) 在选择可靠性参数时，全面考虑产品的使用工况、类型特点、复杂程度及参数的可测量性；
- b) 在满足产品使用要求的前提下，选择的可靠性参数数量尽可能少且参数之间相互协调；
- c) 在确定可靠性要求的过程中，充分权衡基本可靠性和使用可靠性要求，以最终满足内燃机使用要求；
- d) 通过可靠性分配方法，由内燃机整机逐步分解确定关键系统和零部件的可靠性要求；
- e) 协调权衡可靠性与维修性、测试性、安全性、环境适应性以及服务保障系统及其资源等要求；
- f) 全面考虑使用要求、费用、进度、技术水平及相似产品的可靠性水平等因素；
- g) 如客户有特殊要求，予以协调考虑。

6.2.3 在产品规划阶段结束前，需论证和确定内燃机可靠性要求的目标值和门限值，纳入开发任务书、开发目标、合同或相关文件。

7 可靠性设计与分析

7.1 制定可靠性设计准则

宜根据可靠性工作要求，参照相关的标准和手册，制定专用的可靠性设计准则（包括硬件和软件），供设计人员在设计中实施。

可靠性设计准则的制定宜考虑以下方面：

- a) 采用成熟的技术和工艺；
- b) 简化设计、模块化设计；
- c) 合理选择、正确使用电器件、零部件和原材料；
- d) 容错、冗余、降额和防差错设计；
- e) 防瞬态过应力设计；
- f) 环境防护设计（包括工作与非工作状态）；

- g) 与人的因素有关的设计;
- h) 软件可靠性设计准则。

7.2 可靠性模型、分配及预计

7.2.1 建立可靠性模型

宜在产品可靠性设计初期建立以产品功能为基础的可靠性模型。可靠性模型包括可靠性框图和相应的数学模型。可靠性框图以产品功能框图、原理图、工程图为依据,表示产品功能及应用的各种串联、并联或复杂组合。

可靠性模型的建立宜考虑建模方法、约束条件、输入信息及资料管理要求等事项。

可靠性模型宜根据可靠性和其他相关试验获得的信息,以及产品结构、使用要求和使用约束条件等方面的更改而优化。

7.2.2 可靠性分配

宜在产品可靠性设计初期将内燃机整机可靠性定量要求分配到各系统、零部件(包括软件)及其失效模式,作为可靠性设计和提出外协、外购产品可靠性定量要求的依据。具体的可靠性分配值宜列入相应的技术规范。所有可靠性分配值宜与可靠性模型相一致。

可靠性分配过程宜考虑分配的产品层次、维保要求、可靠性水平及环境信息及资料管理要求等事项。

7.2.3 可靠性预计

宜对内燃机整机、系统和零部件进行可靠性预计,并在产品设计任务书中以及产品可靠性大纲中明确。必要时,分别考虑每一种工作模式。可靠性预计宜包括:

- a) 基本可靠性预计,以便为寿命周期费用分析和保障性分析提供依据;
- b) 使用可靠性预计,以便估计产品在实际过程中完成其规定功能的能力。

可靠性预计时对于零部件可靠性水平,可参考相似机型、相似设计结构的零部件市场表现 MTBF 或者故障率进行评估。可靠性预计工作宜考虑可靠性寿命要求及使用条件、预计方法、故障率数据来源、维保信息、客户要求、使用环境等事项。当有充分依据(例如通过 FMEA)确认某产品的故障不影响规定的使用可靠性时,可不进行该产品的使用可靠性预计,但需用户认可。

7.3 故障模式、影响及危害性分析

7.3.1 潜在故障模式分析

通过系统地分析,确定元器件、零部件、设备、软件在设计和制造过程中所有可能的故障模式,以及每一故障模式的原因及影响,以便找出潜在的薄弱环节,并提出改进措施。

在规定的产品层次上进行设计失效模式及后果分析(DFMEA)、故障树(Fault Tree)分析、过程失效模式及后果分析(PFMEA),考虑所有可能的故障模式,并确定其影响。

潜在故障模式分析宜与设计及制造工作协调进行,使设计和工艺能反映分析工作的结果和建议,例如关键件、重要件的确立需与分析结果相吻合。分析结果也可作为设计的综合权衡、保障性分析、安全性、维修性、测试性等有关工作提供信息。

7.3.2 故障树分析

宜在 FMEA 的基础上，以选定的故障事件作为顶事件，进行故障树分析。运用演绎法逐级分析，寻找导致某种故障事件的各种可能原因，直到最基本的原因，并通过逻辑关系的分析确定潜在的硬件、软件的设计缺陷，以便采取改进措施。

7.3.3 电路容差分析

使用电路容差分析 (Circuit Tolerance Analysis) 方法，对电路中各个元件参数（如电阻、电容、电感等）的允许偏差范围进行研究和评估，以确定这些参数偏差对电路整体性能（如输出电压、电流、频率响应、增益等）的影响程度。

7.4 零部件和原材料的选择与控制

宜根据研制产品的特点选择零部件和原材料供应商，制定零部件及原材料的选择和使用控制要求，主要包含以下工作：

- a) 对零部件的选择、采购、监制、验收、筛选、保管、使用、故障分析、及相关信息等进行全面管理。必要时，宜进行破坏性物理分析。
- b) 制定相应的零部件和原材料的选用指南。
- c) 对零部件淘汰问题，提出相应的对策和建议。

7.5 有限元分析

在设计过程中对内燃机产品的燃烧特性、热力学特性、流体特性、振动特性、机械强度和热特性等进行有限元分析和评价，尽早发现内燃机各系统匹配、承载结构和材料的薄弱环节及整机的高温过热部分，以便及时采取设计改进措施。有限元分析宜遵循以下要点：

- a) 在产品研制进展到设计和材料基本确定时宜进行有限元分析 (FEA)；
- b) 进行 FEA 的关键是要正确建立产品结构和材料对负载或环境响应的模型；
- c) 对安全和应用关键的机械结构件和产品宜尽量实施 FEA；

7.6 耐久性分析

在设计过程中宜尽早对关键零部件或已知的耐久性问题进行耐久性分析，以发现可能过早发生损耗故障的零部件，确定潜在故障的根本原因和可能采取的纠正措施。耐久性分析宜遵循以下要点：

- a) 通过评价产品寿命周期的载荷与应力、产品结构、材料特性和失效机理等进行耐久性分析；
- b) 随着产品设计过程的进展迭代进行。

7.7 过程对可靠性的影响分析

通过测试与分析确定内燃机功能验收及调试测试、贮存及运输、维修对产品可靠性的影响，主要包含以下工作：

- a) 制定并实施测试和分析过程，评价或估计功能验收及调试测试、贮存及运输、维修对产品可靠性的影响，并提出具体的修复方法；
- b) 利用上述工作的结果，可以确定允许功能验收及调试测试的次数，确定包装、贮存、装卸、运输要求和修复计划，还可用于预计产品的故障率 and 设计权衡等；
- c) 对长期贮存的需求，宜尽早确定贮存时间、环境条件变化对产品性能及可靠性的影响，以便采取有效措施，保证产品的贮存可靠性。

8 可靠性试验与评价

8.1 初期故障探测试验

8.1.1 初期故障探测试验旨在尽早暴露内燃机存在的设计和制造缺陷，为更改设计提供依据。可参考 GB/T 19055 规定的发动机要求、试验要求及方法、试验后检查及故障分析要求等，或根据研发需求及规范性文件自行制定试验方案。

8.1.2 试验后，需对发动机性能功能、关键零部件相关重大故障进行分析、改进及封闭。

8.2 台架可靠性验证试验

8.2.1 台架可靠性验证试验是通过整机长时耐久试验，验证内燃机可靠性指标是否满足设计要求，对试验过程中出现的故障进行设计改进并封闭，从而提高整机可靠性水平。

8.2.2 台架可靠性验证试验可参考 GB/T 19055 规定的发动机要求、试验要求及方法、试验后检查及故障分析要求等，或根据研发需求及规范性文件自行制定试验方案。

8.2.3 根据故障模式及危害性分析、耐久性分析、初期故障探测试验的问题纠正及验证要求，确定耐久试验时长。

8.2.4 可靠性验证试验后，根据磨损、老化、衰减类零部件及结构测量数据及趋势分析以及故障信息对内燃机整机可靠性寿命进行评估，对于不满足可靠性要求的进行分析、改进，根据必要性组织多轮可靠性验证试验。

8.2.5 具备道路可靠性试验、市场验证条件或要求的，可在可靠性试验、市场验证条件下进一步验证内燃机可靠性。

9 使用阶段可靠性评估与改进

9.1 使用阶段可靠性信息收集

9.1.1 使用阶段可靠性信息包括产品在客户运输、储藏、使用及维修等过程中产生的信息，主要有：

- a) 应用环境（如高温高湿、高原、高寒及粉尘等）；
- b) 使用介质（机油、燃油、燃气及冷却液等）；
- c) 平均首次故障时间、平均无故障间隔时间、故障率；
- d) 平均修复时间、维修活动的平均直接维修工时、重要部件更换时间；
- e) 故障检测率、故障信息（包含故障件名称件号、批次、故障时间、故障详细描述等）等。

9.1.2 使用阶段可靠性信息收集工作宜规范化，统一分类、编号，并建立通用的数据库。

9.1.3 宜定期对使用阶段可靠性信息的收集、分析、贮存、传递等工作进行评估，确保信息收集、分析、传递的有效性，根据可靠性工作的要求进行核定或评审。

9.1.4 相关可靠性信息可为产品的可靠性评估、改进，以及新产品的开发论证与研制等提供支持。

9.2 使用阶段可靠性评估

9.2.1 使用阶段可靠性评估的主要目的是对产品的使用阶段可靠性水平进行评价，验证产品是否达到了规定的可靠性要求，持续改进产品的可靠性，以及为产品的改进、改型和新设备的研制提供支持信息。

9.2.2 使用阶段可靠性评估宜在产品投入使用后进行，一般可分为初期使用阶段可靠性评估和后期使用阶段可靠性评估。

9.2.3 使用阶段可靠性评估宜以客户实际的使用条件下收集的各种数据为基础，必要时也可组织专门的试验，以获得所需的信息。

9.2.4 评估产品在实际使用条件下达到的可靠性水平，验证产品是否满足规定的可靠性要求，并编制可靠性评估报告。

9.3 使用阶段可靠性改进

根据产品在使用中暴露的问题和技术的发展，通过必要的权衡分析或试验，确定需要采取改进的项目，以进一步提高产品的可靠性。改进产品使用阶段可靠性的途径主要包括：

- a) 设计更改；
- b) 制造工艺的更改；
- c) 使用与维修方法的改进；
- d) 售后服务系统及服务资源的改进等。

10 可靠性工作管理

10.1 可靠性计划管理

10.1.1 按照可靠性工作的目标和工作内容制定可靠性计划，并纳入产品设计开发计划；并向采购、生产、质量、销售及服务等环节传递计划要求。

10.1.2 内燃机产品设计开发过程中，可以根据实际情况调节可靠性工作内容和时间进度、对可靠性计划进行修订。

10.2 可靠性数据管理

10.2.1 可靠性工作各环节所需的输入、输出资料和数据，以及全生命周期各阶段的可靠性信息可设置专门的数据存储系统进行存储。

10.2.2 内燃机产品设计开发过程中，宜创建和应用研发问题反馈程序，进行可靠性信息工作收集与处理。

10.2.3 可靠性数据管理工作宜考虑以下方面：

- a) 作为产品质量信息的重要内容，按行业规定实施统一管理；
- b) 内燃机产品全生命周期各阶段的可靠性信息宜及时纳入信息系统，并建立故障报告、分析和纠正措施，有效地收集、记录、分析、处理和反馈可靠性信息。

10.3 可靠性工作质量管理

10.3.1 制定可靠性工作质量指导文件，并按要求开展可靠性工作过程监督与控制工作。

10.3.2 内燃机产品设计开发过程中，宜创建评审控制程序，开展可靠性评审，并纳入产品设计开发计划执行。

10.3.3 按照质量要求开展产品可靠性试验，并进行试验中的监督工作。

10.3.4 质量监督结果宜作为各阶段评审的必要输入。

10.4 可靠性问题解决及验证

10.4.1 建立故障报告、分析和纠正措施系统，内燃机产品设计开发过程中按照制定的问题反馈控制程序提交故障报告、记录故障的分析、整改、验证和确认工作，有条件的可创建可靠性问题分析及解决管理系统。

10.4.2 实施可靠性增长管理，在设计开发过程中对未达到设计要求的零件进行改进设计及验证，同时对设计验证计划进行修订。
