

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA —2026

轻量化凸轮轴结构设计规范

Specification for structural design of lightweight camshaft

2026- - 发布

2026- - 实施

中国西部开发促进会 发 布

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 总体设计要求 2

 4.1 设计原则 2

 4.2 轻量化指标要求 2

 4.3 工况适配要求 2

 4.4 通用化与模块化要求 2

5 结构设计参数 2

 5.1 整体结构尺寸参数 2

 5.2 凸轮结构精度参数 2

 5.3 轴颈结构精度参数 3

6 轻量化结构设计要求 3

 6.1 材料选型 3

 6.2 整体式空心凸轮轴结构设计 4

 6.3 装配式凸轮轴结构设计 4

 6.4 轻量化结构优化 4

 6.5 结构刚度与强度适配设计 4

7 设计验证要求 5

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XXXX提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

轻量化凸轮轴结构设计规范

1 范围

本文件规定了轻量化凸轮轴结构设计的总体设计要求、结构设计参数、轻量化结构设计要求及设计验证要求。

本文件适用于往复式内燃机、通用动力机械、小型工程机械配套的空心装配式、薄壁整体式轻量化凸轮轴的结构设计，其他轻量化异形凸轮轴可参照执行。

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 1184 形状和位置公差 未注公差值
- GB/T 1348 球墨铸铁件
- GB/T 1800.2 产品几何技术规范（GPS） 线性尺寸公差ISO代号体系 第2部分：标准公差带代号和孔、轴的极限偏差表
- GB/T 2689.4 寿命试验和加速寿命试验的最好线性无偏估计法（用于威布尔分布）
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 9439 灰铸铁件
- JB/T 6728.1 内燃机 凸轮轴 第1部分：技术条件
- QC/T 544 汽车发动机凸轮轴

3 术语和定义

QC/T 544界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

轻量化凸轮轴 lightweight camshaft

采用空心结构、薄壁成型、轻量化合金材料或装配式组合结构，在满足力学性能、运动精度和使用寿命要求的前提下，相较于传统实心铸铁、钢制凸轮轴，减重率不低于20%的凸轮轴总成。

3.2

空心整体式凸轮轴 integrated hollow camshaft

通过精密锻造、深孔加工工艺成型，轴体为一体化空心结构，凸轮与轴体为整体结构的轻量化凸轮轴。

3.3

装配式轻量化凸轮轴 assembled lightweight camshaft

采用空心薄壁轴管，通过过盈装配、焊接固定凸轮片、轴颈、端头配件组成的模块化轻量化凸轮轴。

3.4

凸轮基圆 cam base circle

凸轮型线的基准圆，即凸轮轮廓曲线中半径最小的圆，其圆心与凸轮轴回转轴线重合，是衡量凸轮轴回转精度、凸轮型线精度的核心基准要素。

4 总体设计要求

4.1 设计原则

轻量化凸轮轴结构设计应遵循轻量化优先、性能匹配、精度可控、工艺可行、耐久可靠的原则，在实现减重目标的同时，不应降低凸轮轴的运动精度、结构强度、疲劳寿命及适配性。

4.2 轻量化指标要求

相较于同规格传统实心凸轮轴，轻量化凸轮轴整体减重率应满足以下要求：

- a) 整体式空心凸轮轴减重率 $\geq 20\%$ ；
- b) 装配式凸轮轴减重率 $\geq 30\%$ ；
- c) 高强度合金轻量化凸轮轴减重率 $\geq 25\%$ 。

4.3 工况适配要求

轻量化凸轮轴整体结构应适配内燃机额定转速 $3000\text{r/min}\sim 8000\text{r/min}$ 、工作温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$ 、持续交变载荷工况，结构无应力集中、无共振隐患，可长期稳定承受配气机构交变冲击载荷。

4.4 通用化与模块化要求

凸轮轴整体应采用模块化标准化设计，轴颈尺寸、凸轮安装间距、端头连接结构优先选用标准规格，适配同系列多机型装配需求，零部件通用率不低于 85% ，有效降低加工、装配及后期运维成本。

5 结构设计参数

5.1 整体结构尺寸参数

轻量化凸轮轴分为空心整体式与装配式两类，核心整体尺寸参数应符合表 1 的规定。

表 1 轻量化凸轮轴整体结构核心尺寸参数

结构类型	轴体外径 (mm)	轴体内径（空心） (mm)	轴壁最小厚度 (mm)	有效长度范围 (mm)	单轴减重率 (%)
小型内燃机整体式	20~30	12~18	≥ 4.0	200~450	20~28
中型内燃机整体式	30~45	18~28	≥ 5.0	450~700	22~30
小型装配式	20~30	14~20	≥ 3.0	200~450	30~38
中型装配式	30~45	20~32	≥ 4.0	450~700	32~40

5.2 凸轮结构精度参数

凸轮应符合 JB/T 6728.1 的规定，核心参数见表 2。

表 2 凸轮核心结构精度参数

项目	设计标准值	允许偏差
凸轮基圆直径	依据机型匹配设计	$\pm 0.02\text{mm}$
凸轮最大升程	机型匹配定值	$\pm 0.03\text{mm}$
凸轮型线轮廓偏差	理论型线贴合	$\pm 0.03\text{mm}$
相邻凸轮角度偏差	标准配气相位	$\leq \pm 0.5^{\circ}$ （单双缸）； $\leq \pm 0.6^{\circ}$ （多缸）
同缸凸轮角位差	$0'$	$< 10'$

凸轮对称度	中心对称	$\leq 0.03\text{mm}$
-------	------	----------------------

5.3 轴颈结构精度参数

支承轴颈为核心承载摩擦部件，其核心参数应符合表 3 的规定。

表 3 支承轴颈结构精度参数

轴颈规格（mm）	直径公差等级	表面粗糙度 Ra（ μm ）	径向圆跳动（mm）
≤ 25	h6	≤ 0.8	≤ 0.020
25~40	h6	≤ 0.8	≤ 0.025
> 40	h7	≤ 1.6	≤ 0.030

5.4 形位公差参数

轻量化凸轮轴形位公差按照GB/T 1184制定，具体参数应符合表4的规定。

表 4 轻量化凸轮轴形位公差要求

项目	精度等级	允许误差值（mm）	检测位置
轴颈径向圆跳动	8级	≤ 0.025	各支承轴颈工作面
凸轮基圆径向圆跳动	8级	≤ 0.030	所有凸轮基圆工作面
轴体直线度	9级	≤ 0.04 （全长）	凸轮轴整体轴线
凸轮端面垂直度	9级	≤ 0.02	凸轮端面与轴线

5.5 尺寸公差参数

按照GB/T 1800.2的规定，固化全品类尺寸公差取值标准：核心配合面采用h6/h7精密公差等级，轴颈与轴瓦标准配合间隙0.015mm~0.040mm，非功能自由尺寸未注公差统一执行IT12级。

6 轻量化结构设计要求

6.1 材料选型

6.1.1 选型原则

轻量化凸轮轴材料选型应优先选用高强度薄壁合金钢材、高性能球墨铸铁、耐磨合金铸铁等轻量化专用材料，所选材料应符合GB/T 1348、GB/T 3077、GB/T 9439的相关要求。

6.1.2 结构材料匹配

结合轻量化凸轮轴的结构形式、载荷等级及运行工况，不同结构凸轮轴的适配材料、核心力学性能及适用场景应符合表5的规定，设计时应根据机型参数精准选材。

表 5 轻量化凸轮轴适配材料及力学性能参数

结构类型	适配材料	抗拉强度（MPa）	硬度（HRC/HB）	疲劳极限（MPa）	适用工况
整体式空心凸轮轴	45Mn2合金结构钢	≥ 835	28~32HRC	≥ 380	中高速、中等载荷内燃机
整体式空心凸轮轴	QT600-3球墨铸铁	≥ 600	220~260HB	≥ 280	低速、轻载通用机械
装配式凸轮轴轴管	20CrMo薄壁钢管	≥ 885	30~35HRC	≥ 420	高速、重载内燃机
装配式凸轮片	高铬耐磨合金铸铁	≥ 750	45~50HRC	≥ 350	全工况配气机构

6.2 整体式空心凸轮轴结构设计

设计要求如下：

- a) 整体式空心凸轮轴应采用一体化空心轴体结构，严格控制腔体加工精度与结构均匀性；
- b) 轴体空心孔应采用同心深孔加工工艺，孔壁光滑无台阶、无毛刺、无加工缺陷，轴壁厚度均匀性误差不大于 0.3mm，有效规避局部薄壁区域产生应力集中问题；
- c) 空心轴体两端应配套设计密封封堵结构，封堵结构与轴体端部贴合匹配、装配稳固，形成封闭腔体结构，有效阻隔水汽、润滑油、加工碎屑进入腔体内部，防止腔体锈蚀、积垢引发的结构性失效。

6.3 装配式凸轮轴结构设计

设计要求如下：

- a) 装配式凸轮轴应采用空心薄壁轴管与独立凸轮片组合结构，凸轮片与轴管采用过盈配合+激光焊接复合固定工艺；
- b) 装配过盈量应统一控制在 0.08mm~0.15mm，装配完成后，总成轴向拉拔力应不低于 8000N，静态抗扭扭矩不低于 150N·m，各项装配强度指标应满足 JB/T 6728.1 的要求。

6.4 轻量化结构优化

具体要求如下：

- a) 轻量化减重优化应遵循“非受力区域减材、核心受力区域保强”的总体设计原则，在保证结构强度与使用可靠性的前提下开展轻量化优化；
- b) 可对凸轮轴非承载、非配合区域采用局部减薄、开槽等结构形式进行轻量化优化设计，降低整体自重；
- c) 轴颈、凸轮根部等核心受力承载区域禁止减重削薄处理，凸轮轴整体承载刚度与结构强度应满足工况要求；
- d) 所有轻量化优化结构的过渡位置应设置圆弧过渡结构，过渡圆角 R 不小于 2.0mm，消除结构应力集中隐患，提升凸轮轴整体疲劳耐久性能。

6.5 结构刚度与强度适配设计

6.5.1 强度适配设计

具体要求如下：

- a) 额定工况下弯曲、扭转应力不应超出材料许用应力范围；
- b) 整体结构安全系数不低于 1.8；
- c) 重点强化空心薄壁区域、结构过渡区域的结构强度设计。

6.5.2 刚度适配设计

轻量化结构设计应兼顾减重与刚度平衡，规避变形失效：

- a) 额定转速工况下轴体整体挠度应控制在合理范围；
- b) 极限工况下结构应无异常变形、无配气相位偏移；
- c) 空心结构刚度衰减量应不超过同规格实心凸轮轴的 10%。

6.5.3 疲劳耐久结构设计

- a) 结构设计应适配长期交变载荷工况，保证疲劳耐久性能；
- b) 装配式连接结构设计应规避交变载荷下的松脱、开裂风险；
- c) 整体式空心凸轮轴设计使用寿命应不低于 8000h；
- d) 结构设计应保证全寿命周期无疲劳失效、无明显精度衰减。

6.6 附属功能结构设计

6.6.1 润滑结构设计

凸轮轴结构应集成适配的润滑结构，保障摩擦副长期可靠运行：

- a) 合理布置润滑油道与油孔，正对轴颈摩擦区域，供油均匀全覆盖；
- b) 油孔尺寸统一、过渡圆滑，无锐边应力集中；

- c) 空心轴体采用贯通式润滑结构，集成轻量化与润滑功能。

6.6.2 结构减振降噪设计

针对空心薄壁结构易振动特性，结构设计应做减振优化：

- a) 轴体壁厚应均匀，规避局部薄壁共振区域；
- b) 优化凸轮型线过渡结构，降低配气机构冲击载荷；
- c) 通过结构构型优化提升整体结构阻尼，抑制运转振动与噪声。

7 设计验证要求

7.1 尺寸精度验证

设计样机应采用三坐标测量仪、凸轮轴综合检测仪完成全尺寸检测，核对结构参数、形位公差、凸轮型线精度，所有指标应符合本文件要求。

7.2 性能试验验证

7.2.1 力学性能试验

按照GB/T 3077的规定开展抗拉、抗弯、抗扭试验。

7.2.2 疲劳耐久试验

按照GB/T 2689.4的规定执行。

7.2.3 工况适配试验

模拟4.3条规定的-40℃~180℃工作温度、3000r/min~8000r/min额定转速全工况，持续运行200h，每20h检测一次精度衰减量、磨损量及结构变形情况。

7.3 减重效果验证

样机称重对比同规格传统实心凸轮轴，核算实际减重率，应满足4.2条轻量化指标要求，未达标应优化空心结构、材料配比重重新设计。

T/CWDPA XXX—2026

中 华 人 民 共 和 国
团 体 标 准
轻量化凸轮轴结构设计规范

T/CWDPA XXX—2026

*

中国西部开发促进会
网址 www.cwdpa.org.cn

*

开本 880×1230 1/6 印张 1.5 字数 3.4 千字
2026 年 X 月第一版 2026 年 X 月第一次印刷

*

如有印装差错 由中国西部开发促进会调换
版权专有 侵权必究

举报电话：010—65919503



T/CWDPA XXX—2026