

# 圆锥圆柱齿轮减速机的故障判断与检修

马海成

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油化工安装检修分公司 宁夏 银川 750000

**摘要:**圆锥圆柱齿轮减速机在工业领域应用广泛。本文阐述其工作原理与结构组成,分析传动系统、润滑系统、箱体与密封、运行参数异常等常见故障类型及成因。介绍故障诊断的初步检查、深入诊断、拆解验证方法与流程,以及检修工艺中的拆解步骤、部件修复与更换、装配与调试操作规范,为减速机的故障判断与检修提供全面指导。

**关键词:**圆锥圆柱齿轮减速机;故障判断;故障检修;诊断方法;检修工艺

引言:圆锥圆柱齿轮减速机作为工业传动系统中的关键设备,在众多行业发挥着重要作用。其通过独特的齿轮组合实现转速降低与扭矩增大,保障设备稳定运行。然而,在长期使用过程中,受多种因素影响,减速机易出现各类故障,影响生产效率与设备寿命。深入研究故障判断与检修方法,对于及时排除故障、保障设备正常运行具有重要意义。

## 1 圆锥圆柱齿轮减速机工作原理与结构特点

### 1.1 工作原理

这种减速机的工作原理基于齿轮啮合传动的基本原理。输入轴连接的动力源将高速旋转运动传递给一级圆锥齿轮副,这一过程不仅实现了转速的初步降低,更关键的是完成了传动方向的转变。圆锥齿轮的锥面啮合特性使得动力传递能够适应非平行轴间的扭矩传输需求。经过方向转换后的动力继续传递给二级圆柱齿轮副<sup>[1]</sup>。圆柱齿轮通过不同齿数的精确匹配,进一步将转速降低到工作所需的特定范围,同时将扭矩相应增大。例如,若输入轴转速为每分钟3000转,经过一级圆锥齿轮副减速后,转速可能降至每分钟1500转左右,再经过二级圆柱齿轮副进一步减速,最终输出转速可稳定在每分钟100-500转的区间内,具体数值取决于各级齿轮的齿数比设计。整个传动过程中,各级齿轮副的传动比经过严格计算,最终形成符合设计要求的输出转速与扭矩特性。这种分级减速方式既保证了传动效率,又实现了整体结构的紧凑布局。

### 1.2 结构组成

减速机的结构组成可分为核心传动部件与辅助功能系统两部分。核心部件包括具有特定齿形的圆锥齿轮与圆柱齿轮,它们通过热处理工艺获得必要的表面硬度与芯部韧性。传动轴采用优质合金钢制造,经过精密加工确保各齿轮的准确定位。轴承系统根据载荷特性选用滚动轴承或滑动轴承,为旋转部件提供稳定支撑。箱体作

为基础构件,采用铸铁或铸钢材料,其内部空间经过优化设计以容纳所有传动元件。密封件布置在轴伸出部位,防止润滑剂泄漏与外部污染物侵入。辅助系统中润滑系统至关重要,它包括油泵供油装置与分布合理的油路管道,确保各啮合点与轴承获得充分润滑。冷却装置根据工作条件配置,可采用自然散热结构或强制风冷装置,维持系统在适宜温度范围内运行。联轴器作为动力连接部件,安装在输入输出轴端,实现减速机与原动机、工作机械的可靠连接。这些部件协同工作,共同保证了减速机的长期稳定运行与高效传动性能。

## 2 常见故障类型与成因分析

### 2.1 传动系统故障

传动系统作为减速机的核心单元,其故障直接影响设备正常运转。齿轮故障是典型问题,表现为齿面磨损、点蚀、胶合与断齿等多种形式。齿面磨损通常源于长期运行的正常摩擦,但润滑不当或异物混入会显著加速这一过程。点蚀多发生在齿面接触应力集中区域,由材料疲劳引起,齿轮材质硬度不足或热处理缺陷会诱发早期点蚀。胶合故障发生在高速重载工况,啮合区瞬时高温导致齿面金属粘连撕裂。断齿是较为严重的失效形式,通常由突发冲击载荷、齿轮材质内部缺陷或安装精度偏差导致。轴系故障包括轴体弯曲变形、表面裂纹以及旋转失衡等问题。轴弯曲往往由于安装对中不良或基础沉降引起,长期运行会加剧这一现象。裂纹多起源于应力集中部位,材料制造缺陷或交变载荷作用是主要诱因。失衡故障则与轴本身质量分布不均或连接件松动相关。轴承故障表现为滚道磨损、保持架断裂等形式。润滑剂性能下降或供给不足会导致滚道与滚动物体间油膜破裂,引发金属直接接触磨损。过载运行会使轴承承受超出设计范围的应力,加速疲劳损坏。安装过程中的偏差,如预紧力不当或配合公差错误,也会显著缩短轴承使用寿命。

## 2.2 润滑系统故障

润滑系统对减速机正常运行起着至关重要的保护作用。油量异常表现为油位过高或过低两种情况。油位过高会增加搅油损失,导致系统温度异常升高,当油位超过正常油位50毫米时,温度升高幅度可能达到10-15摄氏度;油位过低则使摩擦副无法获得充分润滑,加剧磨损进程,当油位低于正常油位30毫米时,磨损速度会加快。这两种状况都可能由油标识别不清、补油制度执行不严或密封失效引起<sup>[3]</sup>。油质劣化是另一类常见润滑故障。润滑油在长期使用过程中会发生氧化变质,高温环境会加速这一化学变化过程,当温度超过80摄氏度时,氧化速度会明显加快。外界杂质如金属磨粒、灰尘水分混入,会改变润滑油原有物理化学性质,使其润滑性能逐步丧失,当杂质含量超过0.05%时,润滑性能会显著下降。定期油品检测不到位或过滤装置失效,将使劣化油品继续使用,进而引发连锁性设备故障。

## 2.3 箱体与密封故障

箱体与密封系统的完整性直接影响减速机的工作环境。箱体变形多发生在安装基础不稳定或承受非正常外力作用的场合,基础螺栓松动或地基不均匀沉降都会导致箱体几何形状改变。环境温度剧烈变化引起的热胀冷缩效应,也可能使箱体产生变形,进而导致结合面出现渗漏现象。密封失效主要表现为轴端油封老化失效或密封结合面损伤。长期振动环境会加速密封材料疲劳老化,使其弹性逐步丧失。化学腐蚀介质的侵入会使密封材料发生溶胀或脆化,破坏其密封性能。密封安装过程中的操作不当,如唇口方向错误或安装工具使用不规范,也会直接导致密封效果不达标。

## 2.4 运行参数异常

运行参数异常是设备故障的重要外在表现。振动超标可能由多种内部缺陷引起,齿轮副啮合精度下降会产生特定频率的振动,轴系对中不良会导致旋转失衡振动,轴承损坏则会产生高频振动成分。这些振动信号往往携带丰富的设备状态信息。温度异常通常反映设备内部摩擦状态变化。润滑失效会使摩擦副工作温度急剧上升,冷却系统效能下降无法及时带走热量,过载运行则直接增加功率损耗转化为热能。温度监测能够及时发现这些潜在问题。噪声异常是听觉可辨识的故障征兆。齿轮齿形加工误差会产生周期性啮合噪声,轴承游隙过大会导致低频轰鸣声,而异物卡滞则可能产生不规则的冲击声响。通过噪声频谱分析可以初步判断故障类型与严重程度。

# 3 故障诊断方法与流程

## 3.1 初步检查

初步检查是故障诊断的首要环节,目的在于快速获取设备运行状态的整体印象。外观检查关注箱体表面是否存在油迹渗漏,密封件是否完整无破损,联轴器连接的对中情况是否良好。这些外部特征往往能够直观反映设备的基础状况。运行状态监测则需要采集设备在运转中的动态参数。使用专业仪器测量关键部位的振动幅度与频率,记录轴承座、箱体等位置的温度数据,评估运行噪声的声级与特征。振动频率范围在5赫兹至1000赫兹之间,温度数据范围在30摄氏度至100摄氏度之间,噪声声级范围在60分贝至100分贝之间。将这些实时数据与设备正常运行时的历史记录进行对比分析,能够初步判断是否存在异常趋势。初步检查的价值在于以较低成本快速筛查明显故障,为是否需要进一步深入诊断提供方向性判断。

## 3.2 深入诊断

当初步检查发现异常迹象时,需要采用更精密的诊断技术进行深入分析。振动分析是其中核心手段之一,通过布置传感器采集振动信号,进行频谱分析处理,能够有效分离和识别特征频率成分。例如,齿轮的啮合频率及其谐波分量可以反映齿面状态,轴承各元件的故障特征频率能够指示其损伤类型与程度。这种分析方法可以精确定位故障源,实现不解体诊断。油液检测技术从润滑介质角度评估设备内部磨损状态。定期采集润滑油样本,分析其中金属磨粒的成分、尺寸与浓度,可以推断特定摩擦副的磨损情况。检测油液中水分含量、黏度变化及氧化程度,能够评估润滑油自身的性能状态与污染水平。综合油液分析结果可以系统判断设备的磨损机理与剩余寿命。温度监测作为辅助诊断手段,利用红外测温仪或预埋温度传感器,获取轴承、齿轮啮合区等关键部位的温度分布图谱。异常温升往往与过载、润滑不良或冷却失效等故障相关联,温度场的异常变化能够为故障判断提供重要佐证。

## 3.3 拆解验证

拆解验证是在深入诊断基础上进行的最终确认步骤,通常在决定进行修复性维修前实施。拆解前必须进行细致的标记与记录工作,使用划线或标签明确标示齿轮的啮合位置、轴系的轴向装配关系以及各调整垫片的原始厚度,并详尽记录所有可测量的原始装配数据,为后续重新装配提供准确依据。部件检查阶段需要按照系统化流程逐项展开<sup>[3]</sup>。对于齿轮部件,需使用专用量具测量其齿厚、齿顶圆直径等关键尺寸,齿厚测量精度需达到0.01毫米,齿顶圆直径测量精度需达到0.02毫米。借助放大镜或体视显微镜仔细观察齿面是否存在磨损、点蚀、胶合

或裂纹等损伤形貌。对于传动轴，应检测全长的弯曲度是否符合标准，弯曲度测量精度需达到每米0.01毫米。检查键槽侧壁是否存在挤压变形或磨损，评估轴颈表面的粗糙度与几何精度。对于轴承，则需仔细检查滚道与滚动体的接触表面是否光滑、有无剥落，保持架结构是否完整，游隙值是否处于允许范围内，游隙值测量精度需达到0.001毫米。并据此判断是否具备继续使用的条件。

#### 4 检修工艺与操作规范

##### 4.1 拆解步骤

检修工作始于系统规范的拆解程序。准备工作要求彻底切断设备动力电源，在显著位置悬挂安全警示标识，使用专用清洁剂清除设备外壳表面积聚的油污与杂质，为后续操作创造安全洁净的工作环境。部件拆卸过程需要严格遵守技术顺序。首先拆除联轴器连接部件，松开端盖固定螺栓，使用拉拔工具取下轴承外圈。整个拆卸过程中严禁使用锤具直接敲击齿轮工作面或精密轴颈部位，防止造成二次损伤。若使用锤具敲击，可能会在齿轮表面或轴颈部位产生深度超过0.1毫米的凹坑，严重影响设备的正常运行。吊运齿轮组件或箱体等大型部件时，必须使用经过计算的专用吊具与柔性索具，保持部件水平起吊，避免因受力不均导致结构变形。吊具的承载能力需比部件重量大1.5-2倍，以确保吊运安全。所有拆下的零部件应分类存放，精密件需采取防锈防磕碰保护措施。

##### 4.2 部件修复与更换

部件的修复与更换决策需基于详细的检测评估结果。齿轮部件的处理需根据损伤程度区别对待，齿面出现轻微划痕或点蚀时，可采用精密研磨工艺进行抛光修复；当齿面磨损量超过设计极限，或存在断齿、严重胶合损伤时，则必须更换全新齿轮副，并确保新齿轮的材料等级、热处理工艺与精度等级符合原设计要求。传动轴的修复方案依据缺陷类型确定。检测发现轴体存在弯曲变形时，可根据弯曲量值选择压力校正或热应力校正工艺进行修复，修复后需重新检测全跳动精度。轴表面存在疲劳裂纹或键槽严重磨损时，出于安全考虑应当直接更换新轴，新轴的材料性能应不低于原设计标准。轴承作为标准件通常采取更换处理。新轴承必须选用与原设计完全相同的型号规格，安装时需采用加热或液压装置等专业方法，精确

控制轴承与轴的配合过盈量。调整圆锥滚子轴承等可调游隙轴承时，需使用力矩扳手或测量游隙专用工具，确保轴向预紧力处于规定范围，既不能过紧导致发热，也不能过松产生冲击。

##### 4.3 装配与调试

装配过程实质上是拆解流程的逆向操作，但技术要求更为精密。按照记录的原始标记与数据，依序组装各部件，重点控制齿轮副的齿侧间隙与接触斑点，调整轴承的轴向游隙至标准值。所有旋转部件装配后需手动盘车检查，确认转动灵活无卡滞。对中调整是保证传动平稳的关键环节。使用磁性表座固定百分表，分别测量电机轴与减速机输入轴在径向与轴向的偏差数值，通过调整垫片厚度或移动设备底座，将同轴度误差严格控制在每米0.1毫米范围以内。精确的对中能够显著降低附加载荷，延长设备使用寿命<sup>[4]</sup>。润滑系统维护包括彻底清洗油箱内部，更换或清洗油路滤网，按照设备技术手册的规定牌号加注足量的新鲜润滑油，油位应达到观察窗的1/2至2/3高度。完成所有装配调试工作后，需进行空载试运行，逐步加载至额定负荷，在此期间持续监测振动、温度、噪声等参数，确认各指标正常后方可交付使用。

##### 结束语

圆锥圆柱齿轮减速机的故障判断与检修是一项系统且细致的工作。从故障类型的准确分析，到诊断方法的合理运用，再到检修工艺的规范操作，每一个环节都紧密相连。通过遵循科学的流程与规范，能够及时发现并解决减速机存在的问题，有效延长使用寿命，降低设备故障率，为工业生产的稳定运行提供有力保障，确保生产活动的高效有序开展。

##### 参考文献

- [1]黄培杰.齿轮减速机的故障分析及维护保养策略探析[J].农机使用与维修,2021(5):85-86.
- [2]韩强.齿轮减速机日常维护及检维修方法[J].现代农机,2023,(04):122-124.
- [3]刘凤宝.圆锥圆柱齿轮减速机的故障判断与检修[J].中国金属通报,2023(10):185-187.
- [4]徐全博.圆锥圆柱齿轮减速机的故障判断与检修[J].电力设备管理,2022(18):280-283.