

齿轮损伤形式及其防止措施

编 译

胡永安 刘海天 张其维

国营东安机械厂

1981年1月

1.18 7.18 1.18 7.18

前言

1.18 7.18 1.18 7.18

多年来，国内外工程技术人员都非常注重研究齿轮损伤。损伤不是材料的本性，而是工程系统的一种特性。它能降低工作效率、增加动力损失和构件的更换率等，已不是罕见灾祸。不论其载荷、速度或环境怎样变化，都会引起相接触表面之一方或双方的损伤发生显著变化。在齿轮损伤中，确定它们的标准、研究各种损伤形式及特点，进而探讨其防止损伤措施是非常必要和急待解决的问题。

本文主要摘译自日本机械学会1979年出版的《齿轮强度设计》一书，并参考美国齿轮故障和磨损标准、DIN（西德工业标准）、AGMA（美国齿轮制造商协会标准）草案编译出版。文中包括齿轮损伤术语及其解释；论述了齿轮的各种损伤形式；精辟的阐述了齿轮损伤产生的原因及其防止损伤措施；

本文对科研、设计单位、制造厂、大专院校及广大机械、交通运输部门的工程技术人员研究、及时发现和排除齿轮故障有一定的参考价值。

本文由胡永安、刘海天和张其维三同志编译，照片由张立志和陈文国二同志拍照。由于我们出版条件和水平的限制，难免有各种错误和欠妥之处，衷心希望广大读者提出宝贵意见。

1.18 7.18 1.18 7.18

1.18 7.18 1.18 7.18

1.18 7.18 1.18 7.18

国营东安机械厂技术情报室

一九八一年一月

齿轮损伤术语的解释

表 1

序 号	损伤术语	说 明	照片编号
I · 最 终 损 伤			
I · 1	断齿	一枚齿全部或部份的折断。	
I · 1 · 1	疲劳断齿	发生于齿根交变弯曲应力超过材料的疲劳极限时，一般情况下，在齿根过渡圆弧的端面上开始龟裂，然后裂纹沿着齿根，顺齿或倾斜向上发展而导致齿的折断。破断面较光滑处被认为是龟裂源，其周围往往呈现贝壳状。疲劳断齿虽多发生于设计不当、某种程度的过载、一端接触、齿根圆弧半径过小，但表面附近的缺陷等也能引起疲劳断齿。	1 2 30 32 33
I · 1 · 2	过载断齿	由于低循环次数下过载而引起，它不象疲劳断齿的龟裂那样缓慢地进行，其破断面类似静弯曲破断面的形态。它也在因一端接触而导致齿面上载荷集中的情况下发生，另外在由于轴承破损、轴弯曲等带来齿的啮合不正常以及大块异物进入啮合时也可发生。 应注意区别因速度急剧变化、瞬间大载荷所导致的断齿，后者被称之为冲击折断。	31
I · 1 · 3	剪断齿	由于过大的剪切负荷而造成齿折断，其破断面有很显著的塑性变形。有色金属齿轮、非金属齿轮、齿式联轴节等常有这种情况。	
I · 2	压伤	由于轴承损坏而导致齿轮的齿和齿互碰或大块的外来物进入啮合处齿面被压坏。伞齿轮轴向窜动时也会发生齿面压伤。	63 64
I · 3	粘着	因润滑不正常，齿面温度上升而导致材料熔合，以致丧失正确齿型的现象。	34
I · 4	热胶着	热胶着是由于齿面或滑动滚动面强烈胶结、或者因齿面温度上升而相互粘着产生后，摩擦急增，也有用表示胶合的最终状态的含义来表示的。	27 38
I · 5	磨损	由于磨耗，齿厚减薄，不能进行正常啮合，或者因此齿厚过小，在使用中有危险。	6 7 8 37 39

I · 进 行 性 损 伤		
I · 1	磨 耗	固体表面因摩擦而逐渐减少重量的现象称之为磨耗。一般表面层的一部份脱落变成磨耗粉，但是，根据条件的不同也有直接转移到相啮合的磨擦表面上的。此外，还有腐蚀磨耗和由悬浮粒子造成的磨耗。 磨耗起因于磨擦运动，鉴于滑动摩擦、滚动摩擦等运动形式不同，因而存在着不同的磨耗状态，所以其定义也是多样的。 另外，运转开始后，由于齿面上细微的凹凸不平，导致整个齿面在充分均匀地接触跑合后被磨光，从而比磨耗量变小，润滑条件变好，齿轮寿命几无限制，这种磨耗被称之为正常磨耗或磨光。它和给齿轮带来坏影响的其它磨耗有区别，给新加工齿轮齿面带来任何影响的磨损现象，从广义而论都应包括在磨耗中。
I · 1 · 1	磨粒磨耗	尘埃、砂粒、铸造屑片、油中不纯物以及齿面、轴承的磨耗粉等等外部微细粒子进入啮合而导致齿面磨耗，在齿面滑动方向上产生细小的滑动伤和刮伤。当粒子非常小时，则看不到明显的伤痕，齿面呈现发乌的外观。然而当用显微镜观察时，则可看到无数的刮伤。
I · 1 · 2	划痕	由于齿面上的毛刺、突起、外来异物以及嵌入齿面的大块异物等等而产生的损伤，在滑动方向上产生粗糙拉伤，它比磨料磨耗严重，伤痕也深。
I · 1 · 3	微振磨损	如齿式联轴节，两接触面在微小振幅下相对往复运动时所导致的表面损伤，往往还伴有锈蚀、氧化等化学腐蚀。
I · 2	塑性变形	因应力过大材料屈服而导致表面层塑性变形或者齿塌陷和压坏等，称之为塑性变形。
I · 2 · 1	塑性流动	因高应力材料屈服而导致表面层塑性变形。有时也用作齿表面层塑性变形的总称。这种情况包含有波纹、起皱、辗压伤、冷作硬化等损伤。作为塑性流动，通常多见于软金属材料齿轮，然而经淬火硬化的齿轮也有发生的。辗压伤、冷作硬化是在过负荷的滑动作用下或者交变冲击载荷作用下所产生的塑性流动，多见于齿尖或齿的端面，特征是齿尖变圆，节点附近有压痕和高棱等。

I · 2 · 2	波 纹	在高负荷和振动的场合下或者润滑不当时出现的粘着滑动等是产生的原因。在齿面同时接触线方向上, 呈现波纹状或鳞状纹, 多见于渗碳淬火的海波小齿轮。	61
I · 2 · 3	起 皱	在重载或润滑不当的场合下所发生的表面变形。于滑动方向上呈波纹状, 有时也可看到箭头状或鱼尾状。多发生于渗碳淬火的海波小齿轮以及青铜蜗轮。	
I · 2 · 4	齿 塌 陷	由于过大负荷作用, 齿根应力超过了弹性极限, 整个齿塌陷下去。	40
I · 3	齿 面 疲 劳	齿表面或表面下的材料在超过疲劳极限的交变应力作用下疲劳而引起的齿面损伤的总称。	
I · 3 · 1	点 蚀	当齿面附近的应力超过材料的疲劳极限时, 由于交变负荷, 在齿面上或齿面下发生微细的裂纹, 微小的金属片从裂纹处脱掉, 齿面生成凹坑。在齿根面, 特别是节线下侧出现较多。严重时, 齿顶面也发生。	
		点蚀, 有运转后不久就发生的, 但经跑合后即停止发展, 也有随着齿轮的使用, 凹坑数不断增加而继续发展或运转一定阶段后发生并继续发展的情况。前者称初期点蚀或非进行性点蚀。在工作中, 很难避免负荷集中在齿面的局部凸起处, 因此该处的应力超过疲劳极限而发生点蚀。但齿面经磨合后, 应力平均化, 并降到疲劳极限以下, 点蚀也就相应停止发展。这种类型的点蚀坑一般很小。	9
		如果经过一定阶段运转后, 尽管齿面已经跑合, 但齿面应力依然超过材料的疲劳极限时, 点蚀不停止发展。对这种情况, 称之为进行性点蚀或破坏性点蚀。随着齿轮的使用, 所产生的凹坑变大, 数量增加, 齿形变坏, 振动和噪音都增大。严重的场合下, 也有的从点蚀凹坑开始龟裂, 以致断齿。	10
		还有的尽管未发生点蚀, 但由于润滑油的作用而导致齿面产生微小的凹坑。	41
			42
			44
			45
			46
I · 3 · 2	剥 落	由于高负荷, 引起表面下材料疲劳, 大的金属片从齿面脱落或剥离而形成齿面损伤, 多见于表面硬化齿轮。有的凹坑是许多连接起来形成所谓的“剥落”。表面或表面下有损伤、材质缺陷或者存在过大的热处理残余应力等, 都是直接导致剥落的原因。	47
		对表面硬化齿轮, 沿齿面硬化层和心部的边界附近产生进行性龟裂, 从而导致齿面有相当范围的剥离, 被称之为剥层。其原因大多是硬化层厚度和心部硬度不适当、残余应力过大等。	11
			25
			43
			48
			49
			50
			51

II · 4	热损伤	系由齿面摩擦发热, 温度上升, 而导致齿面损伤的总称, 如胶合、烧伤、硬度降低等等。	
II · 4 · 1	胶合	油膜被破坏后, 金属和金属接触, 齿面间粘着并再次撕下金属, 从而形成损伤。 轻度胶合: 齿尖和齿根部份在滑动方向上出现无数刮伤, 由于粘着不太明显, 所以往往被误认为划痕。然而它和由异物造成的划痕不同, 当用显微镜观察时, 可看到很小的粘着痕迹的集聚现象。 严重胶合: 伤痕较大, 因严重的粘着, 齿面变粗造, 齿形变坏, 动力损失增加, 它与划伤相似。损伤齿面呈现无一定方向性的粘着外观, 称之为粘结损伤, 往往也相当于严重胶合。 此外, 也可考虑ISO标准 (ISO TC60/WG6 N202E) 中所使用的热咬接也相当于严重胶合这一术语。 除上述以外, 大家都知道还有称之为起霜的缺陷。在AGMA110. × × 1977专利中, 作为胶合的一种加以分类。在淬火磨削齿轮的齿面上, 生成白色暗膜或者梨皮面部份, 是逐渐扩大型的损伤, 用显微镜可观察到许多密集的微小凹坑或者最外部表面层的塑性流动。 用合成树脂 (特别是尼龙) 制成的齿轮, 也有产生粘着性损伤的, 称为胶合或划伤。	15 16 21
II · 4 · 2	烧伤	齿面由于外部加热、温度过高、负荷过大或润滑不良等原因, 使之在运转中产生高温变色。烧伤往往伴随有硬度降低, 引起齿面或齿根的疲劳强度下降。	
其 它 损 伤			
II · 5 · 1	龟裂	如果不充分注意的话则不易发现, 诸如从微裂纹到较大龟裂这一范围内的许多缺陷或损伤, 如锻造裂纹、淬裂、磨削裂纹、疲劳龟裂等等。 淬裂, 即淬火时, 由于淬火应力而导致的裂纹。有的在使用之前可以发现, 有的则在使用开始后才表现出来, 在齿尖和齿端棱角处最易发生。 磨削裂纹, 即由于磨齿工艺不当或者存在淬火应力所造成。有的磨削裂纹在齿轮开始使用时就能表现出来, 呈现出各种磨削方法所固有的损伤状态。 疲劳龟裂, 即在材料弯曲疲劳过程中所表现出来的损伤, 于齿根园弧表面或表面下发生龟裂。在一端接触场合, 裂纹发生在齿的端面, 几乎垂直于齿根园弧; 而在鼓形齿或锥形齿的场合, 在齿根园弧处并沿齿长方向发生龟裂。	26 28 62 22 56 57 58 59 60

I · 5 · 2	干涉伤	由于压力角不当、齿形修整量不足、齿根过渡圆弧形状不良、装配中心距过小等原因，使相啮合的齿之间不能正确啮合接触而发生的损伤。多发生于主动齿轮的齿根。一般情况下，在齿根部产生大凹坑以及较深的刮伤，而在齿尖则发生塑性流动或过渡的磨损。	
I · 5 · 3	异物咬伤	系坚硬的大块外来物在齿面之间进入啮合而损伤齿面。根据外来物的大小，以及齿轮的硬度不同，分别造成压痕、齿塌陷、龟裂、折断等等不同的损伤。	23
I · 5 · 4	腐蚀	系齿面材料和周围气氛的化学反应而引起的表面恶化。通常是由于酸、湿气、润滑剂中的污物等引起，生成小的坑穴和锈斑。有时腐蚀也波及到啮合齿面以外的部份。在使用高活性极压剂以及在高温下，腐蚀将加剧。	
I · 5 · 5	电蚀	由于齿面间放电而产生的损伤。	24
I · 5 · 6	膨胀	系固体吸收液体后，体积增大的现象，发生在由巨大线型分子组成的固体上。发生膨胀时，一般硬度和弹性都降低。用聚酰胺系合成树脂制造的齿轮具有吸湿性，所以，此类齿轮最易发生膨胀。	

齿轮装置损伤总表

(包含故障)

表 2

损 伤 名		Ⅲ、损 伤 的 原 因		及 缺 陷	
I、最终损伤	Ⅱ、进行性损伤	设 计	材 料	加 工	装 配
1.断齿	1.磨损	1.1对原动机功率、工作机负荷特性、内部循环估计错误	1.1材料不良	1.端面内的精度不良	1.损伤去除不充分
1.1疲劳断齿	1.1磨粒磨损	1.1负荷分配等特性不良	1.1成份不良	1.1齿形方向不良	1.1齿接触状态不清楚
1.2过载断齿	1.2划痕	1.2齿轮付及机械振动特性不良	1.2内部缺陷	1.1周节误差	2.伞齿轮轴向安装位置调整不良
1.3剪切断齿	1.3微振磨损	2.1齿轮啮合机构不良	2.热处理不良	1.2齿形误差	3.齿隙大小不清楚
2.压伤	2.塑性变形	2.2轴承安装方式或安置位置不当	2.1淬裂	1.3齿形修整不良	4.齿隙大小不清楚
3.粘着	2.1塑性流动	2.3齿轮轴的刚性不良	2.2回火裂纹	1.4偏心	5.齿形不良
4.热胶着	2.2波纹	2.4轴系的振动特性不良	2.3淬火变形	2.齿向精度不良	6.齿面精度不良
5.磨损	2.3起皱	2.5防振、防潮有问题	2.4热处理应力不当	2.1齿向误差	7.齿面硬度不良
	2.4齿塌陷	3.1齿轮的种类(正齿、斜齿、伞齿等)选择错误	2.5表面硬化不良	2.2波动的齿面不良	8.齿面硬度不良
	3.齿面疲劳	3.2齿轮装置的种类(减速、增速等)不当	2.6硬化层深度不当	3.1齿面加工不良	9.齿面硬度不良
	3.1点蚀	4.1模数过大或过小	2.7脱碳	3.2磨削裂纹	10.齿面硬度不良
	3.2剥落	4.2b/d过大	2.8硬度不佳	4.齿的形状不良	11.齿的形状不良
	4.热损伤	4.3间隙不当	2.9金属组织不良		
	4.1胶合	4.4齿根圆弧的形状不佳			
	4.2烧伤	4.5齿形修整过大或过小			
	5.其它	4.6齿向修整不良			
	5.1龟裂	4.7顶隙不佳			
	5.2干涉伤	4.8螺旋角方向不佳			
	5.3异物咬伤				
	5.4腐蚀				
	5.5电蚀				
	5.6膨胀				

T 齿 轮 的 齿

(表2续)

T 齿轮的齿		5.材料选择 不当 6.加工方法不当 7.热额定值给 定不当	5.1材质及材质的匹配不当 5.2材料的锻造不足 5.3热处理不当 6.1热处理不当 6.2精度不适当 6.3表面光洁度差 7.1润滑方法, 润滑油量不 当 7.2润滑剂选择错误	4.1齿厚不良 4.2齿根圆弧不良 4.3齿顶、端面角不好		
W 齿轮本体	1. 齿圈、辐板、加强筋损伤 1.1从齿圈孔龟裂 1.2从齿圈定位销处龟裂 1.3焊接部位破坏 2. 轮毅破坏	1. 静配合松动 2. 小齿轮脱出	1. 齿圈构造不当 2. 焊接质量不好 3. 齿轮本体形状不当 4. 轴配合部位设计错误 5. 未充分考虑温升和温度分布 6. 加工方法不当 7. 未充分考虑动平衡	1.1齿圈刚性不足 1.2安装、装配时产生过大应力 2.1本体刚性不足 2.2焊缝退火不充分 3.1b/d过大 3.2齿圈厚度不足 3.3键槽不当 3.4未充分考虑热处理变形 4.1轴配合选择不当 4.2轴配合处形状不当	1.材料不好 2.热处理不好 3.年久变形 1.动平衡不好 2.焊接不良 3.齿圈的配合不好 4.孔的平行度误差	1.往轴上组 装不良 2.紧固螺栓的锁紧不良 1.热变形 2.振动负荷大

(表2续)

S 轴、联轴节、键	1.轴折断 2.键破坏 3.联轴节破坏	1.轴的弯曲 (塑性变形) 2.轴的扭曲 (塑性变形)	1.轴设计不当 2.联轴节设计不当 3.键的种类选择错误	1.材料不良 2.热处理不良 3.年久变形	1.迴转精度不良 2.安装孔、键的配合不良	1.发生扭振 2.发生弯曲振动
B 轴承	1.轴承破坏 1.1表面剥落 1.2热胶着 1.3滚珠(柱) 脱落(保持器破坏)	1.轴承磨损	1.轴承形式选择不当 2.轴承的刚性不足或不均衡 3.轴承组装方法不当 4.轴承游隙不当	1.材料不良 2.热处理不良 3.年久变形	1.金属熔敷不良 2.迴转精度不良	1.未调整轴向间隙 2.蠕变 3.磨损 4.过热 5.寿命
L 润滑系统	1.润滑油劣化 2.高温下添加剂分解 3.由于高温润滑油能力不足 4.由于高温润滑油劣化 5.粘度过大而发热	1.润滑油粘度不当 1.1和轴承共用时的粘度不当 1.2低温时粘度过大 1.3粘度指数不当 2.润滑油的牌号不当 2.1基油不当 2.2极压性不足 2.3附着性不良(开式齿轮等等)	1.冲洗不充分 2.油量不当 3.润滑油牌号弄错 4.由于密封结构不好,漏油	1.空气混入(发泡) 2.空气混入供油管 3.水份混入 4.供油管堵塞 5.未供油运转 6.漏油 7.砂、尘埃、垃圾、油垢、磨损粉末等混入油内		

(表2续)

L 润滑系统	2.4 高温氧化稳定性、抗乳化性不良 3. 给油方法不当 3.1 油浴或强制润滑选择错误 3.2 油面过高或过低 3.3 油压不足, 油孔、给油孔有缺陷或不适当 3.4 油量过大或不足(给油量、总油量)				8. 忘记换油、加油
C 齿轮箱	1. 刚性不足 1.1 静刚度不足 1.2 动刚度不足 1.3 热刚度不足 2. 箱体形状选择错误 3. 箱体密封不良	1. 材料不良 2. 热处理不良 3. 年久变形	1. 孔加工不良 2. 箱体变形	1. 定心不良 2. 安装装配不良 3. 清理不充分 4. 供油泄漏 5. 混入异物	1. 热变形 2. 刚性不足 3. 装配不良 4. 漏油 5. 混入异物
E 其他	1. 基础的变形				

齿轮损伤检验单总表

表 3

〔损伤发现的原因〕	〔损伤部位〕	〔损伤、事故〕	〔具体的损伤〕
1. 检修时	1. 齿轮的齿	1. 断齿	1. 过载断齿 2. 疲劳断齿 3. 剪切断齿 4. 冲击断齿
		2. 磨耗	1. 磨粒磨损 2. 划痕 3. 腐蚀磨耗 4. 微振磨损 5. 齿烧伤 6. 金属变色 7. 正常磨耗 8. 磨损
		3. 塑性变形	1. 波纹 2. 辗压伤 3. 冷作硬化 4. 塑性流动 5. 齿塌陷
		4. 齿面疲劳	1. 点蚀 2. 剥落 3. 剥层
		5. 热损伤	1. 胶合 2. 热胶着 3. 粘着、熔合 4. 因高温而硬度降低
		0. 其他	1. 干涉伤 2. 异物啮合咬伤 3. 锈、腐蚀 4. 淬裂 5. 磨削烧伤 6. 磨削裂纹 7. 电蚀 8. 膨胀

齿轮损伤检验单总表

表 3

〔损伤发现的原因〕	〔损伤部位〕	〔损伤、事故〕	
2. 运转时	10. 异常声 20. 振动增大 30. 温度上升 (发热) 40. 泄漏滑油 50. 功率损失 增大 60. 其他 1. 不能转动	2. 齿轮本体	1. 齿圈、幅板、轮毂、加强筋等破坏
			2. 弹簧、螺栓折断
			3. 镶套
			4. 变形
			3. 轴、联轴节、键
		2. 破损	
		3. 迴转精度不良	
		4. 振动大	
		4. 轴承	
			2. 滚动体损伤
3. 配合面损伤			
4. 保持器损伤			
5. 齿轮箱	1. 变形		
	2. 刚性不足		
	3. 精度不良		
	4. 密封不良		
	1. 齿轮装置	1. 齿轮的齿 2. 齿轮本体 3. 轴、联轴节、键 4. 轴承 5. 齿轮箱	1. 断齿
2. 热胶着			
3. 齿塌陷			
4. 异物啃入			
1. 变形、破损			
1. 破损、折断			
1. 热胶着			
2. 裂纹、破碎			
3. 滚动体脱落			
4. 异物啃入			
2. 驱动源	1. 动力源 2. 其他	1. 变形	
		2. 异物侵入	
		1. 电源断开	
		2. 燃料切断	
		3. 电动机故障	
		4. 内燃机故障	
		1. 轴、联轴节损伤	
		2. 轴承损伤	

检验单明细表 (损伤类型编码见表3)

表4

损 伤	损伤的状况和原因	对 策 检 查 项 目
111 过 负 荷 断 齿	①○在过大负载下使用 (齿轮实际负载大于予定的负载) ○运转、使用上的错误 ②○对实际负载估价过低 ③○齿轮接触不良: 一端接触 精度不良 表面加工不良 ④○联轴节、缓冲橡胶、轴承等动力传递轴系统存在问题和缺陷 ⑤○由于磨损、点蚀等齿面损伤而引起动负荷增大	○查明过载原因, 以便考虑今后在相同条件下使用时, 重新研究负荷条件, 根据不同场合, 可研究改变设计。 ○予以充分地跑合运转。 ○充分掌握使用条件: 符合装置使用; 装置承载能力的提高。 ○重新检查负载, 负载的实测。 ○装置承载能力的提高。 ○加大齿的接触面积: 加大齿轮本体、轴、轴承、齿轮箱 等等的刚性, 重视组装、装配时的精度管理, 提高大小齿轮轴的平行度、垂直度等等; 在因结构限制而不能防止一端接触的情况下, 应进行齿向修正。 ○提高齿的强度: 改变齿轮参数, 增大齿的抗弯曲能力; 改变齿轮的材质和热处理方法。 ○特别是高速重载齿轮装置, 应提高齿轮的精度和表面光洁度。 ○充分掌握各种振动系统的共振现象, 然后: 改变齿轮参数、齿轮形状等等; 改变轴、联轴节等装置和机器的刚性以及弹簧特性系数。 ○可参考磨损、点蚀等齿面损伤的项目。
112	○齿轮的负荷估计错误 ○齿接触不良 ○精度不良 ○材料许用应力不足	○重新研究运转条件和使用条件。 ○重新检查负荷, 实测负荷。 ○参照过负荷断齿的项目。 ○重新检查精度。 ○重新检验材料的强度。 改变材质、热处理以及齿轮参数等。

1 1 2 疲 劳 断 齿	○齿根的齿厚不足 ○齿根圆弧形状不当 ○淬火不良 ✓ ○动负荷增大。 ✓ ○因齿面损伤而引起负荷增大	○在齿轮的各种参数中,改变与齿厚有关的模数、压力角、变位系数的值。 ○加大齿根圆弧曲率半径,提高圆弧部份的加工精度,防止圆弧部份的磨削烧伤。 ○改良淬火方法、淬火装置等以便能硬化到齿底。 ○检查齿底、圆弧部份等的硬度和残余应力。 ○在考虑机器形式、动力传递系统的各予定值基础上重新检查运转条件(负荷、转速、要求的寿命)等等。 ○参照有关齿面损伤的项目。 ○重新研究润滑油。
1 1 3 剪 切 断 齿	○同时折断数齿: 在过大的负荷下使用 动负荷增大 材料缺陷或选择不当	○参照过载断齿的项目。 ○改变齿轮的参数、装置的形状尺寸和形式等。 ○改变材料、热处理方法。
1 1 4 冲 击 断 齿	○因冲击负荷而造成运转条件、轴系的振动等 ○结构耐冲击负荷的能力弱	○改变轴、轴承、联轴节等,减缓冲击负荷。 ○改变齿轮参数、材料以增强抗冲击负荷的能力。 ○安装橡胶及其它缓冲装置。 ○对输出、输入轴设计成耐冲击负荷的缓冲装置。 ○改良装置的支承、安装方法和方式。
1 2 1 磨 粒 磨 损	○由齿轮、轴承等磨耗掉的金属粉末造成 ○因砂粒、锈垢造成	○用磁过滤器去除润滑油中的金属粉末,采用耐磨损能力强的园周结构型机器。 ○改变热处理方法和材料。 ○提高表面硬度。 ○提高表面加工精度。 ○考虑防尘: ○更换或改良过滤器; ○重新研究封油、密封装置。 ○装置的洗净和清理。 ○更新润滑油或改变润滑油种类。

1 2 2 划痕	○磨料磨耗后的大粒子划伤齿面	○为防止齿形、齿面急剧失掉原形，应过滤净润滑油。 ○一般情况下，可采取和磨粒磨损相同的措施。
1 2 3 腐蚀磨耗	○润滑油种类不当 ○酸、碱等的混入 ○齿轮表面氧化 ○水份的浸入	○改变润滑油种类。 ○净化润滑油。 ○提高齿轮箱密封度，改进滑油保管方法。 ○使润滑油具有高温和氧化稳定性。 ○减小齿轮箱温度升高。 ○加强防水、防潮对策。 ○注意油中的水份混浊。 ○建立和加强滑油保管方式。
1 2 4 微振磨损	○由于微小振动引起 ○气体介质的影响 ○由氧化物微粒引起 ○蠕变、其它	○降低振动。 ○在发生微振磨损的表面上涂抹润滑油。 ○在发生微振磨损处的附近进行热处理、喷丸等表面处理。 ○采用防氧化剂。 ○保持配合面清洁 ○采用不接触空气的结构。 ○改变材料。 ○改变轮毂的形状。 ○负荷的重新研究。 ○提高轴的加工精度。 ○细心考虑轴、齿轮的振动系统。 ○改变过盈量。 ○改进压配合、热压配合方案。
1 3 1 波纹	○由于大的滑动负荷造成 ○因温度升高而引起的材质、润滑油等劣化	○考虑齿轮的负载条件： 齿轮参数、使用条件的改变； 对装置的振动系统加以研究； 使齿面没有大的滑动负荷。 ○使润滑油具有极压性质。 ○改变材质和热处理方法。
1 3 2 辗压伤	○因重负荷或冲击负荷造成 ○材料的强度、硬度不足	○为提高齿轮的许用接触负荷： 可变更齿轮参数（模数、压力角、齿宽等）、材料和热处理方法。

0 1 3 3 冷 作 硬 化	○负荷估计错误 ○齿接触不良	○为防止重负荷, 对驱动系统应采用缓冲装置。 ○改为能降低负荷条件的装置。 ○进行充分的磨合运转。 ○提高轴的平行度、安装与装配精度以及表面加工精度。 ○改善磨削规范。
1 4 1 点 蚀 1 4 2 剥 落	○对齿轮承受的载荷估计不足。齿面强度及硬度不足 ○沿齿面深度方向硬度分布不良 ○使用条件的变化 ○动负荷增加, 负荷过大 ○驱动轴系的振动(负荷、扭矩的变动) ○齿接触不良 ○装配精度不良 ○齿面光洁度不良 ○齿顶干涉 ○轴、齿轮箱的误差、变形 ○润滑油不当	○改变齿轮参数, 尤其是改变与齿面强度有关的参数, 如: 加大齿宽、改变参数等。 ○改善材料: 热处理方法、材质的改进。 ○改变齿轮形式, 例如把直齿改成斜齿。 ○重新探讨齿轮付、齿轮装置等的振动系统。 ○重新检查运转条件和负荷。 ○改良激振源, 提高齿轮精度。 ○改变齿轮参数、热处理和材质。 ○充分掌握作为主体装置的振动特性。 ○于轴系中设置缓冲装置。 ○提高精度(参照过载折断项目)。 ○重新检查齿的接触状况。 ○进行充分的磨合运转。 ○重新研究磨削工序并仔细地进行磨削加工。 ○进行齿形、齿向的修整。 ○改变齿轮参数、材料。 ○提高轴平行度和装配精度。 ○提高齿轮、轴、箱体等的刚性。 ○变更轴承或改变轴承的种类。 ○重新研究热特性。 ○油量、供油量应适当。 ○考虑添加剂(EP极压剂、氧化稳定剂等)。 ○改变滑油种类。 ○供油压力适当化。 ○改变润滑油粘度和粘度指数。 ○改善供油方式。