



电力科技专著出版资金资助项目

大功率电站汽轮机 寿命预测与可靠性设计

史进渊 杨 宇 邓志成 著
危 奇 孙 庆 汪 勇



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



大功率电站汽轮机 寿命预测与可靠性设计

史进渊 杨 宇 邓志成 著
危 奇 孙 庆 汪 勇

电力科技专著出版资金资助项目



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

汽轮机强度与寿命设计判据

本章介绍了电站汽轮机零部件的强度与寿命的常用术语与设计判据,包括汽轮机运行方式的 24 个常用术语、汽轮机零部件强度的 73 个常用术语、汽轮机零部件寿命的 59 个常用术语、汽轮机零部件强度的设计判据、汽轮机零部件蠕变的设计判据及汽轮机零部件寿命的设计判据。



第一节 汽轮机强度与寿命的术语定义

本节主要介绍电站汽轮机强度分析与寿命预测常用的术语定义,内容包括汽轮机运行方式常用术语、强度常用术语和寿命常用术语。依据 IEC 60045-1《汽轮机规范》、GB/T 5578《固定式发电用汽轮机规范》和 DL/T 892《电站汽轮机技术条件》给出了汽轮机运行方式常用术语,依据 JB 4732《钢制压力容器分析设计标准》、DL/T 882《火力发电厂金属专业名词术语》和本章参考文献 [1, 2] 给出了汽轮机强度常用术语,依据 IEC 60045-1 和本章参考文献 [3~5] 给出了汽轮机寿命常用术语。

一、汽轮机运行方式常用术语

1. 额定功率或铭牌功率 (TRL) Turbine Rated Power or Nameplate Load

在额定的主蒸汽及再热蒸汽参数、背压 11.8kPa 绝对压力,补给水率为 3% 及回热系统正常投入的条件下,扣除非同轴励磁、润滑及密封油泵等的功耗后,供方能保证在寿命期内任何时

间都能安全连续地在额定功率因数、额定氢压（氢冷发电机）下发电机端输出的功率。

2. 最大连续功率 (TMCR) Turbine Maximum Continuous Rating

在额定的主蒸汽及再热蒸汽参数下，主蒸汽流量与额定功率的进汽量相同，考虑年平均水温等因素规定的背压，补给水率为 0 及回热系统正常投入，扣除非同轴励磁、润滑及密封油泵等的功耗后，在额定功率因数、额定氢压（氢冷发电机）下发电机端输出的功率。该功率为供方的保证功率，并能在保证的寿命期内安全连续地运行。

3. 热耗率验收功率 (THA) Turbine Heat-Rate Acceptance Power

在额定主蒸汽及再热蒸汽参数下，主蒸汽流量与额定功率的进汽量不同，考虑年平均水温等因素规定的背压，补给水率为 0 及回热系统正常投入，扣除非同轴励磁、润滑及密封油泵等的功耗后，在额定功率因数、额定氢压（氢冷发电机）下发电机端输出的功率，其值与额定功率相同，并且供方能保证在寿命期内安全连续地运行。

4. 最大功率 (VWO 功率) Maximum Capacity (VWO Capacity)

在调节阀全开（VWO）时的进汽量以及在最大连续功率（TMCR）定义的条件下发电机端输出的功率，也称阀门全开功率（VWO 功率）。在此定义下的进汽量为额定功率（TRL）下进汽量的 1.05 倍。该进汽量一般作为锅炉最大连续蒸发量（BMCR）。

5. 稳态工况 Steady-State Conditions

转速和负荷的平均值在有限的随机偏差内保持恒定的工况。

6. 稳定运行 Stable Operation

如果某个系统经过转速或负荷的扰动后达到了稳态工况，则

称该系统是稳定的，此时系统的运行称为稳定运行。

7. 额定工况 Rated Conditions

在规定条件下，汽轮发电机组发额定功率时的运行工况。

8. 稳态额定工况 Steady Rated Load

汽轮机在额定工况下稳定运行。

9. 变工况 Variable Load (Off-Design Conditions)

不同于设计工况的其他工况。在启动、停机、负荷变动与超速试验过程中，汽轮机在非稳态工况下运行所处的工况称为变工况。

10. 基本负荷运行 Base Load Operation

以额定功率或接近额定功率长期运行的方式。

11. 两班制运行 Two-Shift Operation

每天 24h 约有 16h 或不到 16h 以额定功率或接近额定功率运行，其余时间停用的运行方式。

12. 一班制运行 One-Shift Operation

每天 24h 约有 8h 以额定功率或接近额定功率运行，其余时间停用的运行方式。

13. 周期性负荷运行 Load Cycling

机组按一定规律以高、低负荷交替运行的方式。

14. 尖峰负荷运行 Peak-Load Operation

根据尖峰电力的要求，短时间（一般为 1~3h）以高负荷运行，其余时间停用的运行方式。

15. 负荷变动（循环负荷） Load Change (Load Cycling)

机组按一定规律以高、低负荷交替运行。负荷变动又可分为小负荷变动（10%~25% TMCR 的负荷变动）、中负荷变动（25%~50% TMCR 的负荷变动）和大负荷变动（50%~75% TMCR 的负荷变动）。负荷变动也称循环负荷。

16. 启动 Start

汽轮机从静止状态升速到额定转速，发电机并网，并将负荷逐渐增加到额定负荷的过程，称为汽轮机启动。

17. 冷态启动 Cold Start

停机超过 72h，金属温度已下降至其满负荷温度的 40% 以下的启动。

18. 温态启动 Warm Start

停机 10~72h（周末停机），金属温度为其满负荷温度的 40%~80% 的启动。

19. 热态启动 Hot Start

停机不到 10h（夜间停机），金属温度为其满负荷温度的 80% 以上的启动。

20. 极热态启动 Very Hot Start (Restart)

机组跳闸或打闸停机后 1h 以内（再次启动），金属温度仍维持或接近其满负荷温度条件下的再次启动。

21. 停机 Shutdown

汽轮机从带负荷状态卸去全部负荷，发电机解列，切断进汽，到汽轮机转子完全静止的过程，称为汽轮机停机。

22. 滑参数停机 Sliding Pressure Shutting-down (Shutdown at Sliding Parameters)

在汽轮机的停机降负荷过程中，主蒸汽与再热蒸汽的压力、温度和汽轮机的负荷逐渐降低，称为滑参数停机。停机后需要进行汽轮机的大修、中修或小修时，为了缩短汽轮机的冷却时间和检修停机时间，通常采用滑参数停机。

23. 正常停机 Normal Shutdown

正常停机是根据电网调度要求而安排的计划停机，如机组备用、电网低负荷时按需要进行的短时停机，或其他设备维护需要的停机。正常停机后汽轮机本体无检修项目时，不需要对汽轮机进行冷却。若停机后计划在短时间内启动，则须保持汽轮机的真空状态和轴封系统的正常运行。

24. 事故停机 Emergency Shutdown

事故停机是指机组监视参数超限或机组出现严重故障,保护装置动作或手动打闸,汽轮机从运行带负荷状态瞬间降至零负荷,发电机解列,汽轮机转子进入惰走阶段的停机过程。

二、汽轮机强度常用术语

1. 重要零部件 Important Part/Component

发生损坏后引起汽轮机非计划停运或危及人身安全,以及检修或更换费用高或检修时间长的零部件。

2. 耐用件 Durable Part/Component

尺寸大、使用寿命长、更换费用昂贵的零部件。

3. 高温零部件 High Temperature Part/Component

在工作温度下运行将会引起零部件材料性能的劣化和发生蠕变的零部件。

4. 非高温零部件 Non-high Temperature Part/Component

在工作温度下不会发生蠕变的零部件。

5. 强度 Strength

材料或结构承受力载荷或热载荷而不发生破坏的能力。

6. 强度设计 Strength Design

计算零部件的应力或变形,使其不超过零部件的实际承载能力或允许的范围。

7. 常规设计 Design by Rule

按汽轮机强度方面的专著或教材,以及《发电设备技术手册》与《中国电气工程大典》^[6~11],对汽轮机零部件进行应力计算,采用安全系数法对汽轮机零部件强度设计的安全性进行校核。

8. 分析设计 Design by Analysis

按照美国 ASME 核电规范与标准^[12]和 JB 4732,采用简化模型或有限元模型对汽轮机零部件进行应力计算,采用应力分类

法对汽轮机零部件强度设计的安全性进行校核。

9. 工作压力 Operating Pressure

在正常工作情况下，汽轮机零部件承受的最高压力。

10. 总体结构不连续 Cross Structural Discontinuity

几何形状或材料的不连续，使结构在较大范围内应力或应变发生变化，对结构总的应力分布与变形产生显著影响。总体结构不连续的实例有：封头、法兰、接管等与壳体的连接处，以及不等直径或不等壁厚的壳体的连接处。

11. 局部结构不连续 Local Structural Discontinuity

几何形状或材料的不连续，仅使结构在很小范围内应力或应变发生变化，对结构总的应力分布和变形无显著影响。局部结构不连续的实例有：小的过渡圆角处、壳体与小附件的连接处，以及未全熔透的焊缝处。

12. 应力 Stress

物体受外力载荷、温度等因素影响而导致物体内部之间产生的相互作用力称为内力，在所考察截面某一点单位面积上的内力称为应力。

13. 名义应力 Nominal Stress

不考虑缺口或其他应力集中处几何不连续性（如孔、沟、圆角等）所产生的影响，按材料力学方法计算的净截面上的正应力 σ 或剪应力 τ 称为名义应力，也称标称应力。

14. 法向应力 Normal Stress

垂直于所参考截面的应力分量，也称正应力。正应力有拉应力和压应力两种，规定拉应力为正，压应力为负。

15. 拉应力 Tensile Stress

应力的方向背离其作用平面的正应力。

16. 压应力 Compressive Stress

应力的方向指向其作用平面的正应力。

17. 剪应力 Shear Stress

与所考虑的截面相切的应力分量。

18. 扭应力 Torsional Stress

由扭转作用而引起的横截面内的剪应力。

19. 应变 Strain

由外力所引起的物体原始尺寸或形状的相对变化，通常以百分数表示。

20. 正应变 Normal Strain

物体内某一点微元体在某一方向上因变形而产生的长度增量与原长度的比值，又称线应变 (Linear Strain)。正应变以相对伸长为正，相对缩短为负。

21. 剪应变 Shear Strain

物体内某一点微元体在两个相互垂直的方向上因变形后所夹角度的改变量，用弧度表示。剪应变以角度减小为正，角度增大为负。

22. 主应变 Principle Strain

变形体内任意一点总可以找到 3 个相互垂直的平面，在这些平面上没有剪应变，这些平面的法线方向称为主方向，对应于主方向的正应变称为主应变。3 个主应变用 ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 来表示，习惯上它们按代数值的大小顺序排列，即 $\epsilon_1 \geq \epsilon_2 \geq \epsilon_3$ ， ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 分别称为最大主应变、中间主应变与最小主应变。

23. 主应力 Principal Stresses

变形体内任意一点总可以找到 3 个互相垂直的平面，在这些平面上只有正应力而没有剪应力，这些平面称为主平面，作用在主平面上的正应力就是主应力。3 个主应力用 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 来表示，习惯上它们按代数值的大小顺序排列，即 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 。 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 分别称为最大主应力、中间主应力与最小主应力。

24. 薄膜应力 Membrane Stress

均匀分布的法向应力分量，其值等于沿所考虑截面厚度方向应力的平均值。

25. 弯曲应力 Bending Stress

法向应力的变化分量,沿厚度方向的变化可以是线性的,也可以不是线性的。弯曲应力的最大值发生在零部件的表面处,设计时取最大值。

26. 一次应力 Primary Stress

所施加载荷产生的任何法向应力或剪应力,它是为了满足外力或内力以及力矩的平衡所必需的。一次应力的基本特征是非自限的,当一次应力大大超过屈服极限时,它会引起失效或至少会引起总体变形。热应力不属于一次应力。

27. 总体一次薄膜应力 σ_{pm} General Primary Membrane Stress

一种不会因结构发生屈服而使载荷重新分配的薄膜应力。总体一次薄膜应力是影响范围遍及整个结构的一次薄膜应力。

28. 局部一次薄膜应力 σ_{pl} Primary Local Membrane Stress

由压力和其他机械载荷引起的薄膜应力,以及由于总体结构不连续或边缘效应产生的局部薄膜应力。局部一次薄膜应力水平大于总体一次薄膜应力,但影响范围仅限于局部区域。它和总体一次薄膜应力的相同之处是沿壁厚方向均匀分布,不同之处是具有局部性质。尽管局部一次薄膜应力具有二次应力的特征,但为保守起见,仍然要求将这种应力归为局部一次薄膜应力。

29. 一次弯曲应力 σ_{pb} Primary Bending Stress

平衡压力或其他机械载荷所需的沿截面厚度线性分布的弯曲应力。

30. 二次应力 σ_Q Secondary Stress

为满足外部的约束条件或结构自身变形连续要求所产生的法向应力或剪应力。二次应力的基本特征是具有自限性,即局部屈服和小量变形就可以使约束条件或变形连续要求得到满足,从而变形不再继续增大。只要不反复加载,二次应力就不会导致结构

破坏。热应力属于二次应力，总体结构不连续处的弯曲应力属于二次应力。

31. 载荷应力 Load Stress

由于压力、离心力或其他机械载荷所引起的应力。

32. 热应力 Thermal Stress

由于结构内部温度分布不均匀或材料热膨胀系数不同所引起的自平衡应力，或当温度发生变化、结构的自由热变形被外部约束限制时所引起的应力。热应力属于二次应力。

33. 总体热应力 General Thermal Stress

伴随总体热应力出现结构变形。如果不计热应力集中的总体热应力超过材料屈服极限的 2 倍，弹性分析就有可能失效，而连续的热循环（又称热疲劳或低周疲劳）可能引起塑性疲劳或递增塑性变形。总体热应力属于二次应力。

34. 局部热应力 Local Thermal Stress

局部热应力与不同热膨胀几乎完全被限制有关，因而不产生明显的变形。仅从热疲劳（低周疲劳）的观点来看才应考虑局部热应力，因此局部热应力属于峰值应力。

35. 峰值应力 σ_F Peak Stress

由于包括应力集中效应在内的局部结构不连续或局部热应力影响而引起的附加于一次应力与二次应力之和上的应力增量。应力集中部位或局部结构不连续处的总应力扣除一次应力和二次应力之后的剩余部分，沿壁厚呈非线性分布的应力为峰值应力。峰值应力的特征是具有自限性和局部性，分布区域很小，不会引起明显的变形。峰值应力的危害性在于可能导致疲劳裂纹或脆性断裂。

36. 总应力 Total Stress

总应力是一次应力、二次应力与峰值应力的总和。识别单独作用的每一种应力，对确定适当的应力限制而言是十分重要的。

37. 变形 Deformation

零部件的变形是指其形状或尺寸的改变。

38. 非弹性 Inelasticity

非弹性是材料行为的普遍特性，即卸除全部作用载荷后，材料不恢复到它原来的（未变形）形状与尺寸。塑性和蠕变是非弹性的特殊情况。

39. 塑性 Plasticity

材料中应力超过屈服极限后发生的与时间无关的不可恢复的变形。塑性状态有两个主要特点：①应力与应变之间的关系是非线性的；②应力与应变之间的关系非单值对应，与加载历史有关。

40. 硬化曲线 Curve of Hardening

塑性变形时，应力数值与变形量的关系曲线称为硬化曲线。

41. 理想弹塑性模型 Elastic-Perfectly Plastic Model

为分析材料弹塑性变形而提出的一种简化假设模型。这种模型假定，材料在屈服点前弹性阶段的应力与应变的关系（材料硬化曲线）是线性的；屈服点后进入塑性流动状态，且应力不随应变变化，应力与应变的关系（材料硬化曲线）为水平线，随着应变的增大，应力一直为屈服极限。

42. 塑性分析 Plastic Analysis

塑性分析是计算给定载荷下结构行为的方法，它考虑了材料的塑性特性，包括应变硬化和结构中发生应力重新分配。

43. 极限分析 Limit Analysis

极限分析是塑性分析的一种特殊情况，即假设材料是符合理想弹塑性模型的材料，且结构处于小变形状态时，研究塑性极限状态下结构的极限载荷。

44. 极限载荷 Collapse Load

假定理想弹塑性材料制成的结构，应用极限分析方法求得的结构能承受的最大载荷。在此载荷下，结构的变形将无限制地增大，从而失去承载能力。这种状态称为结构的塑性极限状态，对

应于此状态的载荷称为极限载荷。

45. 棘轮效应 Ratcheting

构件受机械应力、热应力，或者两者全有的循环作用而产生逐次递增的非弹性变形的现象。

46. 安定性 Shakedown

结构除在初始阶段少数几个载荷循环中产生一定塑性变形外，在继续施加的循环外载荷作用下不再发生新的塑性变形，不再出现棘轮现象，此时称结构处于安定状态。安定状态下，结构的应力与应变呈弹性关系，不出现递增的非弹性变形。对理想弹塑性材料，当弹性名义应力不大于 $2\sigma'_{0.2}$ ($\sigma'_{0.2}$ 为工作温度下材料的屈服极限) 时，结构加载与卸载处于弹性安定状态，应力与应变的关系是弹性的；当弹性名义应力大于 $2\sigma'_{0.2}$ 时，结构加载与卸载将产生拉伸屈服变形和压缩屈服变形，构成低周疲劳，导致材料低周疲劳破坏，在这种情况下，结构处于不安定状态。

47. 弹性名义应力 Elasticity Nominal Stress

认为应力与应变的关系始终服从胡克定律，其计算应力值可能会超过屈服点，但它并非结构中的真实应力，而是弹性名义应力。弹性名义应力不是结构的真实应力，又称虚拟应力 (Fictitious Stress)。对于单向拉伸或压缩的结构，假设应力 σ 与应变 ϵ 的关系符合弹性规律，根据胡克定律，按照弹性关系计算得出虚拟应力为 $\sigma = E\epsilon$ 。

48. 最大剪应力 Maximum Shear Stress

过一点不同方位平面上的剪应力是变化的，其中存在一个最大值，称为最大剪应力，其数值为

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (1-1)$$

式中 σ_1 ——最大主应力；

σ_3 ——最小主应力。

最大剪应力所作用的平面法线方向与中间主应力 σ_2 垂直，

与 σ_1 和 σ_3 成 45° 。

49. 最大主应力准则 Maximum Principal Stress Criterion

最大主应力准则认为，只要结构中一点的最大拉伸主应力 σ_1 达到单向拉伸断裂时的抗拉强度 σ_b ，就会引起断裂破坏，其表达式为

$$\sigma_1 = \sigma_b \quad (1-2)$$

最大主应力准则也称第一强度理论 (First Strength Theory) 或最大主应力理论 (Maximum Principal Stress Theory)。此强度理论一般适用于脆性材料，也适用于塑性材料。美国和日本锅炉的强度设计采用第一强度理论。

50. 最大应变准则 Maximum Strain Criterion

最大应变准则认为，只要结构中一点的最大主应变 ϵ_1 达到单向拉伸断裂时的伸长应变 σ_b/E ，就会引起断裂破坏，其表达式为

$$\epsilon_1 = \frac{\sigma_b}{E} = \frac{\sigma_1}{E} - \mu \left(\frac{\sigma_2}{E} + \frac{\sigma_3}{E} \right) \quad (1-3)$$

$$\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) = \sigma_b \quad (1-4)$$

最大应变准则也称第二强度理论 (Second Strength Theory) 或最大应变理论 (Maximum Strain Theory)。此强度理论主要适用于脆性材料。

51. 最大剪应力屈服准则 Maximum Shear Stress Criterion

最大剪应力屈服准则认为，只要结构中一点的最大剪应力达到屈服极限的 $1/2$ 时，该点即进入塑性状态，其表达式为

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{1}{2} \sigma'_{0.2} \quad (1-5)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma'_{0.2} \quad (1-6)$$

最大剪应力屈服准则由屈雷斯加 (Tresca) 首先提出，又称屈雷斯加准则 (Tresca Yield Criterion)。该准则也称第三强度理论 (Third Strength Theory) 或最大剪应力理论 (Maximum

Shear Stress Theory)。

52. 应力强度 Stress Intensity

基于第三强度理论的当量应力，规定为给定点处最大剪应力的2倍，即给定点处最大主应力与最小主应力的代数值（拉应力为正值，压应力为负值）之差。该应力强度的定义与断裂力学中应力强度因子（Stress Intensity Factor）无关，应力强度 S 的表达式为

$$S = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (1-7)$$

53. 形变能屈服准则 Deformation Energy Criterion

形变能屈服准则认为，当结构中一点的形变能（Deformation Energy）达到某个临界值时，该点即进入屈服状态，其表达式为

$$\frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} = \sigma'_{0.2} \quad (1-8)$$

式中 σ_1 ——最大主应力；

σ_2 ——中间主应力；

σ_3 ——最小主应力。

形变能屈服准则由米塞斯（Mises）首先提出，又称米塞斯准则（Mises Yield Criterion）。该准则也称第四强度理论（Fourth Strength Theory）或最大形变能理论（Maximum Deformation Energy Theory）。

54. 等效应力 Equivalent Stress

基于第四强度理论的当量应力，代表复杂应力状态折合成单向应力（拉伸或压缩）状态的当量应力。等效应力 σ_{eq} 的表达式为

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} \quad (1-9)$$

55. 等效应变 Equivalent Strain

代表复杂应变状态折合成单向拉伸（或压缩）状态的当量应

变。等效应变 ε_{eq} 的表达式为

$$\varepsilon_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{3} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2]^{1/2} \quad (1-10)$$

式中 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 ——主应变。

56. 静水应力 Hydrostatic Stress

应力状态中的平均应力，等于 3 个主应力 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 之和的 1/3。静水应力 σ_m 的表达式为

$$\sigma_m = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (1-11)$$

57. 碳素钢 Carbon Steel

含碳量为 0.02%~2.11% 的铁碳合金，又称碳钢。

58. 合金钢 Alloy Steel

为改善钢的使用性能和工艺性能，在碳素钢的基础上加入合金元素的铁碳合金。

59. 耐热钢 Heat Resistant Steel

在高温下既有足够的强度、良好的抗氧化性和抗腐蚀性，又有长期组织稳定性的钢的总称。主要是加入了铬、硅、铝、钼、钨、铌、钛、硼及稀土等合金元素的合金钢。

60. 蠕变 Creep

金属材料在一定温度和应力的作用下，随时间发生缓慢塑性变形的现象。

61. 应力松弛 Stress Relaxation

在规定温度及初始变形或位移恒定的条件下，零部件材料中应力随时间减小的现象。

62. 蠕变速率 Creep Rate

拉伸蠕变试验中试样单位时间内的变形，即给定时间内蠕变曲线的斜率，或称蠕变速度。

63. 蠕变曲线 Creep Curve

以蠕变变形量作为时间函数的曲线。

64. 蠕变第一阶段 The First Stage of Creep

蠕变速率随时间逐渐降低的时期。

65. 蠕变第二阶段 The Second Stage of Creep

蠕变速率恒定的时期，也称恒速蠕变阶段，或称稳定蠕变阶段。

66. 蠕变第三阶段 The Third Stage of Creep

蠕变速率随时间逐渐增加的时期，也称加速蠕变阶段。

67. 广义蠕变 Generalized Creep

广义蠕变按温度可分为3种： $0 \sim 0.15T_m$ （ T_m 为金属材料的熔点）内发生的蠕变称为对数蠕变或非高温蠕变； $(0.15 \sim 1.0)T_m$ 内发生的蠕变称为回复蠕变或高温蠕变； $(0.8 \sim 1.0)T_m$ 内发生的高温蠕变也称扩散蠕变。

68. 蠕变极限 Creep Limit

在规定温度下，使试样在规定时间内产生的蠕变总伸长率或稳定蠕变速率不超过规定值的最大应力。它表征金属材料抵抗蠕变变形的能力，符号为 σ'_v ，单位为MPa。上标 t 表示试验温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ，下标 v 表示规定的蠕变速率，单位为 $\%/h$ 。例如： $\sigma_{10^{-5}}^{600} = 4.9\text{MPa}$ ，表示在蠕变试验第二阶段，温度为 600°C ，蠕变速率为 $10^{-5}\%/h$ 时的蠕变极限为 4.9MPa 。

69. 持久强度极限 Stress Rupture Limit

试样在规定的温度下达到规定的试验时间而不致断裂的最大应力。它表征金属材料抗高温蠕变断裂的能力，符号为 σ'_t ，单位为MPa。上标 t 表示试验温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ，下标 τ 表示持续时间，单位为h。例如： $\sigma_{10^5}^{580} = 8.8\text{MPa}$ ，表示 580°C 时， 10^5h 的持久强度极限为 8.8MPa 。

70. 韧性 Toughness

金属在断裂前吸收变形能量的能力称为韧性。金属的韧性通常随加载速度的提高、温度的降低、应力集中程度的加剧而减小。