

团 体 标 准

T/CSEE XXXX—YYYY

隐极同步发电机延寿技术导则

Technical guide for life extension of cylindrical rotor synchronous machines

(征求意见稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中国电机工程学会 发布

目 次

前言	3
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 延寿原则	4
5 基本条件	5
6 延寿准备	6
7 改造内容	8
8 延寿试验项目	10
附录 A （资料性） 零部件更换周期.....	12

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准化管理办法》、《中国电机工程学会标准化管理办法实施细则》的要求，依据 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。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会电机标准专业委员会技术归口和解释。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

隐极同步发电机延寿技术导则

1 范围

本文件规定了隐极同步发电机延寿技术要求。

本文件适用于 300MW 及以上容量的隐极同步发电机，其它容量发电机参照执行。

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 7064 隐极同步发电机技术要求

GB/T 7409.3 同步电机励磁系统 大、中型同步发电机励磁系统技术要求

GB/T 10086 圆柱蜗杆、蜗轮代号

DL/T 438 火力发电厂金属技术监督规程

DL/T 492 发电机环氧云母定子绕组绝缘老化鉴定导则

DL/T 654 火电机组寿命评估技术导则

DL/T 843 大型汽轮发电机励磁系统技术条件

DL/T 970 大型汽轮电机非正常和特殊运行及维护导则

DL/T 1766.1 水氢氢冷汽轮发电机检修导则第 1 部分：总则

DL/T 1768 旋转电机预防性试验规程

TSG-21 固定式压力容器安全技术监察规程

NB/T 42004 高压交流电机定子线圈对地绝缘电老化试验方法

JB/T 2379 金属管状电热元件

JB/T 7784 透平同步发电机用交流励磁机技术条件

防止电力生产事故的二十五项重点要求（国家能源局 2023 版）

3 术语和定义

3.1

设计寿命 life time

发电机在设计时，预计在符合运行规程前提下安全稳定运行时间。

3.2

延寿 life time extension

发电机发电机达到设计寿命，采取必要的措施使发电机发电机能够继续安全稳定服役。

3.3

等效运行时间 equivalent operating hours

根据发电机运行小时数、盘车小时数、停备小时数、调峰次数、起动次数及特殊工况等因素加权折算后的计算发电机运行时间。

4 延寿原则

4.1 准备工作

在发电机发电临近设计寿命结束时，应对发电机进行延寿准备工作，明确发电机延寿可行性。延寿准备宜提早 5 年或等效 4 运行万小时进行，应计算发电机等效运行时间，评估经历的故障工况及影响，方法见第 5 章。

收集发电机原始资料、运行数据、检修数据和对发电机进行状态评估，方法见第 6 章。综合评估结果和本文件规定的工作范围进行发电机延寿工作。

4.2 延寿 10 年以内

发电机到达设计寿命后目标继续运行不超过 10 年，延寿原则为：

- a) 发电机具备延寿条件；
- b) 发电机核心部件进行评估，不更换或局部修复，包含定子线圈，转子线圈，定子铁心，转轴等；
- c) 发电机及其附属系统中的寿命件、密封件更换。

4.3 延寿 10 年以上

发电机到达设计寿命后目标继续运行 10 年以上，延寿原则为：

- a) 发电机具备延寿条件；
- b) 发电机定子铁心老化评估，定子更换线圈，转子更换绝缘，核心金属部件视情况与制造厂确定处理方案；
- c) 发电机及其附属系统中的寿命件、密封件更换。
- d) 延寿 10 年后，应结合发电机实际运行工况，定期进行发电机状态评估。

5 基本条件

5.1 等效运行时间

等效运行时间是根据发电机的运行小时数、盘车小时数、停备小时数及起动次数等因素综合加权计算得出，方法如下：

$$T_{\text{equiv}} = k_1 t_1 + k_2 t_2 + k_3 t_3 + k_4 t_4 + n_1 t_5 + n_2 t_6 \quad (1)$$

式中：

T_{equiv} ——等效运行小时数；

t_1 ——30%Pe 以上运行小时数，h；

K_1 ——30%Pe 以上运行应力影响加权系数；

t_2 ——30%Pe 以下运行小时数，h；

K_2 ——30%Pe 以下运行应力影响加权系数；

t_3 ——盘车小时数，h；

K_3 ——盘车应力影响加权系数；

t_4 ——停备小时数，h；

K_4 ——停备影响加权系数；

n_1 ——起停次数；

t_5 ——每次起停的加权等效时间，h；

n_2 ——30%Pe 以下运行调整次数；

t_6 ——每次 30%Pe 以下运行调整的加权等效时间，h。

其中，参数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 的系数选取方法， t_5 、 t_6 的等效时间取值方法见表 1。

表 1 不同容量发电机的加权系数

额定值	K_1	K_2	K_3	K_4	t_5	t_6
容量 $S_N \geq 600\text{MVA}$	1	0.95	1.5	0.3	20	14
容量 $S_N < 600\text{MVA}$		0.9	1.3	0.2	10	7

5.2 故障工况

统计故障或扰动发生频次，参考表 2 评估发电机寿命缩减水平。

表 2 故障或扰动对发电机的寿命影响（按上限）

故障或扰动类型	寿期损耗
发电机出线处两相/三相短路	1%/次
误同期 ($90^\circ \leq \delta \leq 150^\circ$)	20%/次
系统三相故障（残余电压 $V_r = 0.0$ ）	1.5%/次
系统两相故障，三相重合闸不成功	1.5%/次
系统三相故障，三相重合闸成功	1.5%/次
系统三相故障，三相重合闸不成功	损耗严重，与制造厂一起评估
次同步谐振	损耗严重，与制造厂一起评估

其它非正常和特殊运行工况参考标准 DL/T970 要求，当超过所允许的边界时应提前延寿准备工作。

5.3 延寿条件评判

设计寿命为 30 年的发电机，结合 5.1 章节和 5.2 章节内容，折算发电机等效运行时间 T_{equiv} ，如发电机等效运行时间大于 20 万小时或运行年限达到 30 年，则需进行必要的延寿工作。延寿条件的评判宜在发电机运行 25 年左右开始进行。

核电发电机或其它设计寿命有差异的发电机，按实际设计寿命或与制造厂协商评判延寿条件。

6 延寿准备

6.1 原始设计资料

发电机生产厂家提供的技术资料。包括电磁参数，机械参数，材料性能，温升限值，振动限值，关键部件外形尺寸等。

发电机生产厂家提供的出厂前装配及试验数据，或发电机新机建设时的安装及交接试验数据。

6.2 运行数据

对比发电机在相同功率、相同边界下运行时温升、振动、噪声及其它监测数据的变化趋势，如运行状况恶化明显，则延寿时应重点关注。发电机主要参数变化参考阈值见表 3。

表 3 发电机主要参数变化参考阈值

类型	测点	阈值
温度	定子线圈层间、出水温度（水冷） 转子线圈平均温度（水冷）	$\geq 10\%$

	定子线圈层间、出水温度（氢冷、空冷） 转子线圈平均温度（氢冷、空冷） 定子铁心、磁屏蔽温度 轴瓦温度、回油温度 冷、热氢温	≥7%
振动	轴振	≥20%
	座振	≥50%
	定子端部振动（在线监测值）	≥50%
局放	定子出线端（在线监测值）	≥200%
轴电流 轴电压	转轴对地	≥200%
励磁电流	转子励磁电流	≥10%

6.3 检修数据

收集发电机检修过程中各项数据，包含以下内容：

- a) 收集发电机历次检修试验数据，对比出厂和交接试验数据；
- b) 对发电机以往检修多发问题，在延寿时需做好应对措施；
- c) 梳理发电机修复或更换的零部件，延寿时适当予以保留；
- d) 梳理发电机缺陷检修和故障检修记录，延寿时应关注。

6.4 状态评估

考虑到实际运行中电、热、机械和环境的影响，对于以下这些核心部件，建议与发电机制造厂家进行沟通，通过离线和在线的试验数据对比出厂数据来制订发电机的延寿方案。

6.4.1 金属类结构件

金属类结构件分为旋转部件和静止部件，评估总体要求如下：

- a) 旋转部件：包括转轴、护环、联轴器及螺栓、风扇叶片、槽楔、阻尼结构、导电螺钉、导电杆和集电环集电环等。

转轴疲劳寿命评估参见 DL/T 654。

对转轴、护环、联轴器及螺栓、叶片的检测参见 DL/T 438。护环和风扇叶片应拆除检测，对于风扇叶片，还应检查表面气流夹带颗粒撞击产生的凹坑以及铝叶片阳极氧化层的损坏情况。

对于槽楔、阻尼结构、导电螺钉和集电环等应注意负序电流、涡流、油污或线圈热胀受阻引起的局部温度升高，需检查有无变形、裂纹、腐蚀坑、发黑过热等现象；

对于水冷转子应注意引水拐脚疲劳寿命。

- b) 静止部件：包括隔音罩、定子机座、导风圈、端盖、密封支座、轴承、冷却器等。

静止金属类结构件如无应力损伤或明显的形变，原则上利旧。

对密封瓦、轴瓦等易磨损和腐蚀部位应做修复和更换，更换周期参见 GB/T 7064-2017。

进相运行频繁的发电机，需注意定子端部压圈和穿心螺杆等结构件是否有过热、松动问题。

6.4.2 线圈

含定子线圈、转子线圈、励磁机电枢及励磁绕组线圈等，决定其寿命的关键是绝缘材料。

- a) 定子线圈：定子线圈绝缘从 1980s 开始采用聚酯或环氧体系，主绝缘中云母成份耐电晕性优良，定子线圈绝缘按预定寿命设计场强，运行工况良好的发电机可定期进行绝缘诊断，以评估绝缘状态；绝缘材料寿命评估参见 DL/T 492；
- b) 转子线圈：转子绝缘大都用电气性能优异的复合材料，但由于其结构的不连续性，材料中有机成份更容易受热老化和环境污染的影响而加速劣化，对转子线圈及绝缘的评估参见防止电力生产事故的二十五项重点要求（国家能源局 2023 版）；
- c) 铜线：其硬度和强度随温度升高而下降，因此需注意热应力和热变形。对于转子引线应注意线圈热胀位移和离心力载荷引起的疲劳开裂。

6.4.3 铁心

铁心冲片绝缘采用有机或半无机涂层，应注意漆膜长期运行后收缩造成的铁心松动现象。应注意发电机长期运行后由振动造成的铁心松动、放电损伤和异响等现象。

6.4.4 密封件

密封件包括密封衬垫、密封条、盘根等。

发电机内密封材料以橡胶类、聚四氟乙烯类、芳纶纤维类材料为主。延寿应更换机内所有密封件，氢气冷却的发电机需重点关注密封件的更换。

6.4.5 电气二次设备

励磁系统、保护系统、监测装置等设备评估参见 DL/T 843 和 GB/T 7409.3。

6.4.6 其它系统设备

- a) 泵类：螺杆泵评估参见 GB/T 10086；
- b) 电加热器：加热元件的评估参见 JB/T 2379；
- c) 容器类设备：压力容器类设备的评估参见 TSG-21；
- d) 仪器仪表：仪器仪表的设计寿命通常为 10~15 年，寿命到期宜更换；
- e) 阀门：对于特种阀门；
- f) 对于发电机内氢气纯度长期偏低的发电机，宜加装氢气净化提纯设备；
- g) 低压电机的设计寿命一般为 20~30 年，需更换寿命到期的低压电机；
- h) 封闭母线绝缘件评估参照。

7 改造内容

发电机延寿具体工作参照表 4 执行。

表 4 发电机延寿改造内容

类别	部件	延寿 10 年以内	延寿 10 年以上
主机	隔音罩 定子机座 端盖等结构件	1) 目视检查对表面的腐蚀、磕碰伤做评估，尺寸校核； 2) 对应力集中部位重点检查，如焊缝是否有开裂等； 3) 如基础有沉降或定子有振动问题等，需调整机座底脚垫片予以改善。	
	密封支座 轴承	1) 密封瓦、轴瓦尺寸校核，瓦面处理；	密封瓦、轴瓦、挡油齿、轴瓦垫块均更换并配加工。

		2) 挡油齿、轴瓦垫块需更换并配加工。	
	转轴	1) 目视检查对表面的腐蚀、磕碰伤做评估； 2) 全轴探伤，包括联轴器、风扇档、本体等所有变径区域，轴承档、密封瓦档表面进行着色检测； 3) 金相试验、硬度测试。	
	护环	1) 表面着色检测和内部超声检测； 2) 金相试验、硬度测试； 3) 宜采用 18Mn-18Cr 型材质。	
	风扇叶片	目视检查对叶型和根部表面的腐蚀、磕碰伤做评估，需要复用的进一步做探伤确认。	
	水冷转子的引线、引水拐脚、转子绝缘引水管、进水轴头	更换	
	转子引线	1) 目视检查对表面的腐蚀、磕碰伤做评估； 2) 对应力集中部位重点检查，如焊缝是否有开裂等。	
	定子线圈 端部连接线、支撑件	1) 参照 DL/T 492 对定子线圈绝缘进行老化评估试验，作为延寿时评判依据； 2) 应确保定子端部结构牢固可靠，对连接线、上层线圈进行绑扎加固； 3) 重点检查水电接头连接可靠性。	1) 定子线圈、端部结构及连接线需整体更换； 2) 定子线圈水电接头宜采用硬钎焊或机械连接结构。
	定子槽楔	更换松动的定子槽楔、楔下垫条及波纹板	更换全部定子槽楔、楔下垫条及波纹板
	铁心	1) 检查有无过热点； 2) 检查是否因漆膜收缩导致铁心松动，通过端部补偿，紧固穿心螺杆等方式加固铁心； 3) 检查铁心背部、支撑筋、定位筋、夹紧环等结构是否有松动、放电等现象。	
	转子线圈 槽楔、绝缘件等	1) 拆除护环、端部垫块、槽楔、楔下垫条； 2) 对转子线圈端部、直线部分顶匝线圈及拆除的部件彻底清理； 3) 更换转子滑移结构，弹性结构。	1) 进行转子重绝缘工作； 2) 对所有线圈逐根进行清理，更换转子所有绝缘件； 3) 更换转子滑移结构，弹性结构。
	出线套管	宜更换密封件	宜更换
	电流互感器	检查和评估	更换
	冷却器	检查和评估	更换
	密封件类	更换全部密封件，包括所有密封铜齿、密封条、衬垫、密封圈等。	
励磁设备	集电环装置	1) 集电环应注意表面状态和总的磨损量； 2) 更换刷握恒压弹簧； 3) 确保冷却风路通畅。	1) 更换集电环及绝缘件； 2) 更换恒压弹簧，刷握重新镀银； 3) 确保冷却风路通畅。

	励磁机	1) 转轴全轴探伤; 2) 整流盘: 二极管、熔断器、阻容元件等进行相关检测, 与制造厂协商评估性能。更换整流盘绝缘件; 3) 磁钢探伤检查并充磁; 4) 更换老化的电气接线; 5) 定转子绕组、铁心检查评估, 参见 JB/T 7784。	1) 转轴全轴探伤; 2) 更换整流盘电气元件及绝缘件; 3) 转子电枢线圈、定子磁极线圈、永磁机定子线圈更换; 4) 磁钢探伤检查并充磁; 5) 更换测温元件及电气接线; 6) 更换冷却器。
系统设备	电气二次设备	参见 6.4.5 节及相关标准	
	其它系统设备	参见 6.4.6 节及相关标准	

表格中未标注的检修内容参见 DL/T 1766。

8 延寿试验项目

发电机延寿相关试验项目参照表 5 执行。

表 5 发电机延寿试验项目

类别	试验项目	延寿 10 年以内	延寿 10 年以上
主机	定子绝缘电阻、吸收比或极化指数	√	√
	定子绕组直流电阻	√	√
	定子绕组泄漏电流和直流耐压	√	√
	定子绕组工频交流耐压	√	√
	定子绕组端部电晕	√	√
	定子铁芯磁化试验	√	√
	定子绕组端部动态特性和振动测量	√	√
	定子绕组端部手包绝缘施加直流电压测量	√	√
	定子绕组内部水系统流通性	√	√
	定子绕组水路密封性试验	√	√
	定子测温元件绝缘电阻、直流电阻	√	√
	发电机组和励磁机轴承绝缘电阻	√	√
	测量整相绕组(或分支)及单根线棒的局部放电量	√	√
	整相绕组(或分支)及单根线棒的介电强度试验	√	√
	定子绕组温升试验	/	√
	整机气密试验	√	√
	转子绕组绝缘电阻	√	√
	转子绕组直流电阻	√	√
	转子重复脉冲(RSO)法/极间电压法/频域阻抗分析(FIA)试验	√	√
	转子气密性试验	√	√
转子气体内冷通风道试验	√	√	
转子绕组交流耐压	/	√	
转子绕组的交流阻抗和功率损耗	√	√	

	转子绕组水路流通性试验（水冷转子）	√	√
	转子绕组水路密封性试验（水冷转子）	√	√
励磁回路	旋转电枢励磁机熔断器直流电阻	√	√
	旋转电枢励磁机二极管反向泄露电流	√	√
	交流励磁机温升试验	/	√
	灭磁电阻器(或自同期电阻器)直流电阻	√	√
	灭磁开关并联电阻	√	√
	发电机和励磁机的励磁回路所连接设备（不包括发电机转子和励磁机电枢)的绝缘电阻	√	√
	发电机和励磁机的励磁回路所连接设备（不包括发电机转子和励磁机电枢)的交流耐压	√	√
	发电机定子开路时灭磁时间常数	/	√
动态试验	转子动态交流阻抗	√	√
	轴电压	√	√
	空载特性曲线	√	√
	三相稳定短路特性曲线	/	√
	测量发电机定子残压	√	√
	检查相序	/	√
	发电机振动测量	√	√
	动态 rso 试验	√	√
	效率试验	/	√
	交流励磁机特性	/	√
涉网试验	/	根据电网要求执行	

标注按制造厂要求需按新机标准试验，其余参见 DL/T 1768 及其引用标准。

附录 A
(资料性)
零部件更换周期

发电机在寿命期内，参照表 A.1 并结合设备运行状态对零部件进行周期性更换。

表 A.1 零部件更换周期

名称	更换周期
定子线圈（包含绝缘）	30 年或等效 20 万小时
绝缘引水管	15 年或等效 10 万小时
轴瓦	20 年或等效 13.3 万小时
密封瓦	20 年或等效 13.3 万小时
氢气冷却器	20 年或等效 13.3 万小时
电流互感器	20 年或等效 13.3 万小时
出线套管	20 年或等效 13.3 万小时
动叶片	20 年或等效 13.3 万小时
转子绝缘件	15 年或等效 10 万小时
刷握压簧	5 年或等效 3.3 万小时
整流组件	10 年或等效 6.6 万小时
熔断器	10 年或等效 6.6 万小时
RC 阻容保护	10 年或等效 6.6 万小时
整流盘绝缘件	15 年或等效 10 万小时