



团 体 标 准

T/CAPEC 47—2024

电力工业 同步调相机制造监理技术要求

Electric power industry—Technical requirements of manufacturing supervision
service for synchronous compensators

2024-11-14 发布

2025-03-01 实施

中国设备监理协会 发布
中国标准出版社 出版

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 基本要求	1
4.1 通则	1
4.2 监理服务的策划	1
4.3 监理服务的实施	2
4.4 监理服务的控制	2
5 制造过程的监理要求	2
5.1 生产前检查	2
5.2 主要原材料及组部件检查	2
5.3 生产过程监理	3
5.4 试验过程监理	4
5.5 包装、发运监理	6
附录 A（资料性） 同步调相机制造监理控制点及控制方式	7
参考文献	23

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。

本文件由中国设备监理协会提出并归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力工程咨询有限公司、江苏兴力工程管理有限公司、国网江苏省电力有限公司建设分公司、国网江苏省电力有限公司物资分公司、内蒙古能源发电投资集团有限公司电力工程技术研究院、国网经济技术研究院有限公司、北京网联直流工程技术有限公司。

本文件主要起草人：鄢洪林、戚绪安、丁卫华、涂晓、胡正清、周旭海、李家鹏、刘寅莹、裴碧莹、汪天允、凌宇辰、李静怡、朱晨、郝春雨、杨勇、孔祥明、宋佳洁、李琦、韩晓璐、付豪、马海亚。

电力工业 同步调相机制造监理技术要求

1 范围

本文件规定了同步调相机制造监理的技术要求。

本文件适用于 100 Mvar 及以上的同步调相机设备的制造监理服务活动,100 Mvar 以下的同步调相机设备的制造监理参照执行。

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 1029 三相同步电机试验方法

GB/T 2900.25 电工术语 旋转电机

GB/T 26429 设备工程监理规范

3 术语和定义

GB/T 1029、GB/T 2900.25、GB/T 26429 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

同步调相机 synchronous compensator

与电网相联、不通过轴系进行机电能量转换、仅通过改变励磁电流的方式向电网输送或吸收无功功率的一种大型隐极同步电机。

[来源:GB/T 7064—2017,3.2]

4 基本要求

4.1 通则

同步调相机制造监理的监理单位、监理人员、监理设施,以及监理服务过程的策划、实施和控制应满足 GB/T 26429 的要求。

4.2 监理服务的策划

4.2.1 应策划同步调相机设备的制造监理服务所需的过程,对监理服务过程以及过程之间的关系予以识别,明确监理服务所用方法、手段、记录要求及所需的资源等。分析合同,识别相关的法律法规和标准,分析被监理单位的信息及设备监理单位的技术、管理、资源状况,编制监理计划,并针对具体的监理控制点编制监理细则等作业指导文件。

4.2.2 应依据采购合同、监理合同和相关协议约定,结合被监理单位的质量管理体系情况,确定见证、审查、检查等通用要求,确定检查设备工程的方法和手段;在监理服务实施前分析识别关键过程、工序、节点,确定与质量有关的监理控制点、方式及频次,见附录 A。

4.2.3 确定见证、审查、检查等监理控制的依据,识别确定设计、制造、安装、测试、检测依据的标准规范、技术要求,并形成文件。

4.2.4 适用时,与委托人、被监理单位或其他相关方一起确认设备监理服务项目的监理计划。

4.3 监理服务的实施

4.3.1 应按照 4.2 的要求对所涉及的监理服务的主要过程予以控制,应对监理服务的支持过程予以控制。具体监理项目的监理服务范围和内容 by 合同确定。

4.3.2 依据合同约定,审查或评估被监理单位的质量管理体系。审查被监理单位的相关资质、检查有关人员资格。

4.3.3 发现不符合项和质量隐患时,应要求被监理单位及时处置,必要时采取纠正措施,并对处置结果及纠正措施进行验证,发现严重不符合项应及时书面报告委托人;若被监理单位拒绝整改或延误时,应及时书面向委托人报告。

4.4 监理服务的控制

4.4.1 应依据监理单位的服务质量标准和程序,对监理服务进行监视和测量,应编制形成文件的程序,以规定职责、程序以及监视和测量的内容、频次、记录等。

4.4.2 应对不符合要求的监理服务进行识别和控制,以防止或弥补不合格服务给委托人造成损失。

5 制造过程的监理要求

5.1 生产前检查

设备整体、外协组部件开始制造生产之前,检查被监理单位生产准备情况,应包括以下内容:

- a) 审查或评估被监理单位的质量管理体系,重点审查不合格输出的控制、外部提供的过程产品和服务的控制及外部供方清单、更改控制等成文信息;
- b) 审查人员资格,包括定子线棒成型、特种作业(焊接、探伤、登高等)、试验等资格;
- c) 检查生产设备和检测、检验、试验设备、仪器、仪表的状况;
- d) 参与计算书、设计图样等设计文件的审查冻结会,审查制造工艺文件、标准规范的完备状况,审核制造进度计划的适宜性和满足性;
- e) 检查车间生产作业环境,包括厂房整体布置、物料分类存放、区域防护措施等;
- f) 检查产品物料采购及到货情况。

5.2 主要原材料及组部件检查

外购或外协加工的主要原材料及组部件的监理,应包括以下内容:

- a) 审查原材料及组部件质量证明文件,确认生产厂家;
- b) 审查原材料及组部件的入厂复检报告;
- c) 审查进口原材料及组部件的相关入关文件;
- d) 检查原材料及组部件的型号和规格、可追溯性标识、外观质量、外形尺寸及存放环境;
- e) 检查材料代用审批手续;
- f) 检查对不合格的原材料、组部件的处置。

注:外购或外协加工的主要原材料及组部件包括:转轴、转子槽楔、护环、中心环、集电环、风叶、转子绕组铜线、硅钢片、定子绕组铜线、定子引线铜排、定子端部铜屏蔽(如有)、定子端部压圈、导电螺钉、电流互感器、轴承座及轴瓦、空气冷却器、水内冷系统、润滑油系统等。

5.3 生产过程监理

5.3.1 检查加工现场环境,重点关注定子线圈制作、转子装配等过程的现场洁净度。

5.3.2 检查关键加工设备的铭牌与运行状态。

5.3.3 外机座加工过程的监理,应包括以下内容:

- a) 检查焊缝品质;
- b) 检查内外表面涂漆质量;
- c) 检查密封面光洁度及表面质量;
- d) 检查安装基础面的平面度;
- e) 检查机座内部清洁度;
- f) 见证内外部尺寸及形位偏差测量。

5.3.4 转轴、护环、中心环、集电环、转子线圈等部件机加工过程的监理,应包括以下内容:

- a) 检查转轴、护环、中心环、集电环等部件的清洁度;
- b) 见证转轴、护环、中心环、集电环的加工尺寸、表面粗糙度及形位偏差测量;
- c) 检查转子线圈的表面毛刺、清洁度、对接钎焊质量;
- d) 见证转子线圈的铣槽加工尺寸、表面粗糙度、形位公差测量。

5.3.5 定子铁心制作过程的监理,应包括以下内容:

- a) 检查硅钢片冲剪尺寸及毛刺、涂漆质量;
- b) 检查叠装平台位置度、叠片尺寸及压紧量、测温元件布置、叠片质量(冲片表面漆膜完好程度、接缝大小、齿部高度补偿等);
- c) 检查端部压圈及铜屏蔽装配、压装固化;
- d) 见证最终叠装尺寸及位置偏差、铁心磁化试验、电磁铁心故障检测仪(ELCID)试验。

5.3.6 定子线棒制作过程的监理,应包括以下内容:

- a) 检查导线排列、编花换位、热固成型;
- b) 见证股间短路测量;
- c) 检查端部成型、绝缘层浇注成型、内外层防晕处理;
- d) 见证绝缘尺寸检查及试验、水冷结构的水电接头气密性试验;
- e) 检查存放情况。

5.3.7 转子装配过程的监理,应包括以下内容:

- a) 检查装配区域洁净度;
- b) 检查转轴下线前清理涂漆、槽内绝缘件布置;
- c) 见证下线装配、焊接及绝缘处理、热压整型、槽楔装配、端部绝缘装配,检查护环热套;
- d) 见证过程绝缘试验、通风试验(空冷型)、冷却水路流通性和气密性试验(水内冷型)。

5.3.8 定子装配过程的监理,应包括以下内容:

- a) 检查定子内作业清洁度;
- b) 见证端部绝缘装配、下线装配、端部绑扎;
- c) 见证过程试验[绝缘电阻测量、工频耐压试验、槽电位测量、冷却水路流通性和气密性(水内冷型)];
- d) 检查测温元件布置、槽楔装配、引线装配[引线焊接、水电接头焊接(水内冷型)]及手包绝缘、加热固化。

5.3.9 总装配过程的监理,应包括以下内容:

- a) 见证内外机座装配、端盖装配;
- b) 见证出线装置装配、转子支承轴承装配;
- c) 见证转子穿装、励磁装置安装;
- d) 见证其他组部件装配。

5.3.10 拆解及防腐处理过程的监理,应包括以下内容:

- a) 见证定转子拆解;
- b) 检查定转子防腐防潮处理及存放情况。

5.4 试验过程监理

5.4.1 出厂试验

5.4.1.1 审查出厂试验方案,确认试验项目、程序、方法和接收准则。

注:参照 GB/T 1029、GB/T 7064、GB/T 11348.1、GB/T 11348.2、GB/T 20140、GB/T 20160、GB/T 20835、GB 50150、JB/T 6204、JB/T 6228、JB/T 6229、JB/T 8446、JB/T 10500.1、DL/T 735、DL/T 1612 和合同有关技术规范的要求。

5.4.1.2 检查所有试验设备和仪器,确认仪器校准有效期。

5.4.1.3 审查试验室相关资质和有关试验人员资格。

5.4.1.4 检查被试调相机外观质量,以及电气连接情况。

5.4.1.5 见证出厂试验过程,包括但不限于:

- 转子绕组直流电阻测定;
- 转子绕组绝缘电阻测定;
- 转子绕组交流耐压试验;
- 转子匝间短路测定[交流阻抗测定、重复脉冲法(RSO)、探测线圈波形法];
- 转子动平衡和超速试验;
- 转子通风试验(空冷型);
- 定子铁心磁化试验[含电磁铁心故障检测仪(ELCID)试验];
- 定子绕组绝缘电阻测定;
- 定子绕组直流电阻测量;
- 定子绕组槽电位测量;
- 定子绕组端部手包绝缘施加直流电压的测量;
- 定子绕组直流耐压试验和泄露电流测量;
- 定子绕组交流耐压试验(包括整机起晕试验);
- 定子绕组端部模态试验;
- 测温元件绝缘电阻测定;
- 测温元件直流电阻测定;
- 绕组内部水系统密封性检查(水内冷型);
- 绕组内部水系统流通性检查(水内冷型);
- 转子进水支座的绝缘电阻测定(水内冷型);

——定子总进、出水管绝缘电阻的测定(水内冷型)。

5.4.2 型式、特殊试验

5.4.2.1 审查型式、特殊试验方案,确认试验项目、程序、方法和接收准则。

注:参照 GB/T 1029、GB/T 7064、GB/T 10069.1、GB/T 11348.1、GB/T 11348.2、GB/T 20140、JB/T 6204、JB/T 6228、JB/T 6229、JB/T 8446、JB/T 10392、JB/T 10500.1、DL/T 735、DL/T 1525、DL/T 2024、IEC 60034-4 和合同有关技术规范的要求。

5.4.2.2 检查所有试验设备和仪器,确认仪器校准有效期。

5.4.2.3 审查试验室相关资质和有关试验人员资格。

5.4.2.4 检查被试调相机外观质量,以及电气连接情况。

5.4.2.5 见证型式、特殊试验过程,包括但不限于:

- 无励磁时一般机械检查;
- 轴承对地绝缘电阻测量;
- 空载特性测量;
- 相序检查;
- 额定电压总谐波畸变率(THD)和电压谐波因数(THF);
- 轴电压测定;
- 三相稳态短路特性;
- 短路比(SCR);
- 直轴同步电抗(X_d);
- 损耗测定;
- 温升试验(无励磁空转温升、1.05 倍额定电压空载温升、1.1 倍额定电流短路温升、1.0 倍额定励磁电流(I_{FN})转子绕组温升、退出一组冷却器温升、冷却器断水温升);
- 振动测量(转轴振动、轴承座振动、定子机座、铁心、绕组的振动测量);
- 膛内转子匝间波形的测量;
- 膛内转子不同转速下交流阻抗测量;
- 膛内转子绕组重复脉冲法(RSO)匝间短路诊断;
- 动态参数及时间常数测定(直轴瞬态电抗 X'_d 、直轴超瞬态电抗 X''_d 、直轴瞬态短路时间常数 τ'_{d0} 、直轴超瞬态短路时间常数 τ''_{d0} 、电枢短路时间常数 τ_a 、直轴瞬态开路时间常数 τ'_{d0});
- 负序电抗 X_2 ;
- 零序阻抗 X_0 ;
- 交轴同步电抗 X_q 测定;
- 保梯阻抗 X_p 及漏抗测量;
- 转动惯量测定;
- 1.3 倍短时升高电压试验;
- 定子绕组 3.5 倍额定电流 I_N 过电流试验;
- 转子绕组 2.5 倍额定励磁电流 I_{FN} 过电流试验;
- 定子转子断水试验(双水内冷型);
- 突然短路机械强度试验;
- 噪声测量。

5.4.2.6 合同对制造厂内进行型式、特殊试验无明确要求时,应按合同或 DL/T 2024—2019 之 4.1 的规定审查制造厂提供的型式、特殊试验报告。

5.5 包装、发运监理

5.5.1 包装

包装过程的监理,应包括以下内容:

- a) 检查装箱清单;
- b) 检查配件的规格、型号、数量、生产厂家等;
- c) 检查零部件工艺分类包装、名称和数量;
- d) 检查预装配过的附件标记情况;
- e) 检查附件、配件包装情况;
- f) 检查防雨、防潮、防位移措施及包装箱标识情况。

5.5.2 发运前

发运前的监理,应包括以下内容:

- a) 审查运输方案;
- b) 检查定子、转子本体以及主要附件包装箱的密封状态、完好情况等;
- c) 检查产品外表质量、产品质量证明文件及附带的文件资料;
- d) 检查三维冲撞记录仪状态及其安装情况。

附录 A

(资料性)

同步调相机制造监理控制点及控制方式

同步调相机制造监理控制点及控制方式见表 A.1~表 A.6,其中,R 表示文件见证点,W 表示现场见证点,H 表示停止见证点。

表 A.1 生产前准备情况监理控制点及控制方式

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
1	体系检查	质量及环境安全体系文件	R	5.1	1) 明确被监理单位质量保证管理工作的范围和边界。 2) 检查被监理单位质量管理体系、安全、环境、计量认证证书在有效期内。 3) 审查被监理单位质量手册、程序文件、作业指导书,文件齐全且有效。 4) 检查被监理单位质量管理体系运行的有效性,并针对存在的问题提出有关整改建议。 5) 审查人力资源、生产设备、工器具、检验设备、生产工艺、生产环境等。 6) 审查外购原材料和配件的质量文件以及供应商的资质认证; 7) 检查被监理单位对外协件供应商的资质评定要求
2	技术文件检查	技术参数	R	5.1	检查制造厂设计文件的技术参数表,满足技术协议要求
		技术资料	R	5.1	1) 查看相应计算报告,计算方法和结果满足相关标准和技术协议的要求。 2) 检查结构设计,满足相关标准和技术协议的要求。 3) 检查工艺文件,齐全且有效。如涉及使用新工艺,进行工艺评定。 4) 检查设计冻结其他技术资料
3	排产检查	排产计划	R	5.1	审查被监理单位提交的生产计划,明确该生产计划在厂内生产执行的可行性,并检查其能否满足项目交货期要求

表 A.2 主要原材料及组部件监理控制点及控制方式

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
1	原材料和主要组部件检验	转轴	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、材质、外观质量、外形尺寸、化学成分、机械性能、磁性能、金相组织、晶粒度及无损检测等项目满足技术协议或相关标准要求
2		转子槽楔	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、材质、外观质量、化学成分及机械性能等项目满足技术协议或相关标准要求
3		护环	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、材质、外观质量、化学成分、机械性能、残余应力及无损检测等项目满足技术协议或参照 JB/T 7030 要求
4		中心环	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、材质、外观质量、化学成分、机械性能、热处理及无损检测等项目满足技术协议或参照 JB/T 1269 要求

表 A.2 主要原材料及组部件监控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监控制点	控制方式	引用章节	监理要点
5	原材料和主要组部件检验	集电环	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、材质、外观质量、化学成分、机械性能及无损检测等项目满足技术协议或参照 JB/T 1269 要求
6		风叶	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、材质、外观质量、化学成分、机械性能及无损检测等项目满足技术协议或相关标准要求
7		转子绕组铜线	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、材质、外观质量、外形尺寸、化学成分、机械性能、导电性能及空心导线探伤检查(水冷型)等项目满足技术协议或相关标准要求,必要时进行抽检
8		硅钢片	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、外观质量及单位损耗等项目满足技术协议或参照 GB/T 2521.1 要求,必要时进行抽检
9		定子绕组铜线	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、材质、外观质量、外形尺寸及绝缘厚度、化学成分、机械性能及导电性能等项目满足技术协议或相关标准要求,必要时进行抽检
10		定子引线铜排	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、材质、外观质量、外形尺寸、化学成分、机械性能及导电性能等项目满足技术协议或相关标准要求
11		定子端部铜屏蔽(如有)	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、材质、外观质量、化学成分及机械性能等项目符合技术协议或相关标准要求
12		定子端部压圈	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、材质、外观质量、化学成分、机械性能、金相组织及无损检测等项目满足技术协议或相关标准要求
13		导电螺钉	R、W	5.2	审查原材料质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、材质、外观质量、外形尺寸、化学成分、机械性能及导电性能等项目满足技术协议或相关标准要求
14		电流互感器	R、W	5.2	审查质量证明书、进厂验收报告,确认生产厂家、型号规格、外观质量、电流比、准确级及二次容量等项目满足技术协议或参照 GB/T 20840.2 要求
15		轴承座及轴瓦	R、W	5.2	审查质量证明书、进厂验收报告,文件或制造现场确认生产厂家、轴瓦材质和结构、无损检测、各部位加工尺寸及表面粗糙度、轴瓦体与瓦套接触度、上下轴承座合缝面间隙、轴承座渗漏试验及清洁度等项目满足技术协议、制造厂图纸及工艺文件、GB 50170 的要求
16		空气冷却器	R、W	5.2	审查质量证明书、进厂验收报告,文件或制造现场确认生产厂家、外观、水压试验等项目满足技术协议、制造厂图纸及工艺文件的要求
17		内水冷却系统	R、W	5.2	审查质量证明书、进厂验收报告,文件或制造现场确认生产厂家、箱体材质及结构、外形尺寸及容积、焊缝外观及无损检测、焊缝渗漏试验、清洁度、表面处理,冷却水泵性能及配置、操作试验,预处理装置、自清洗过滤器、超滤装置、离子交换器、反渗透装置的性能及配置,指示标识、辅助控制回路检查试验等项目,满足技术协议、制造厂图纸及工艺文件、相关标准的要求

表 A.2 主要原材料及组部件监理控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
18	原材料和主要组部件检验	润滑油系统	R、W	5.2	审查质量证明书、进厂验收报告,文件或制造现场确认生产厂家、箱体材质及结构、外形尺寸及容积、焊缝外观及无损检测、焊缝渗漏试验、清洁度、表面处理,油泵性能及配置、操作试验,冷油器型号规格、清洁度、焊接质量及水压试验,指示标识、辅助控制回路检查试验等项目,满足技术协议、制造厂图纸及工艺文件、相关标准的要求

表 A.3 生产过程监理控制点及控制方式

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
1	生产过程监理	外机座加工检查	W	5.3	见证或检查内容包括焊缝品质、密封面光洁度、内外表面涂漆质量、内外部尺寸及形位偏差、密封面表面质量、安装基础面的平面度、机座内部清洁度
2		转轴、护环、中心环、集电环、转子线圈等部件机加工检查	W	5.3	1) 见证或检查内容包括转轴、护环、中心环、集电环等部件的加工尺寸、表面粗糙度、形位公差及清洁度等;空冷结构转子线圈的铣槽加工尺寸(特别是转子线槽过渡圆弧半径)、表面粗糙度、形位公差,以及空、水冷结构转子线圈的表面毛刺、清洁度、对接钎焊质量。 2) 对于转轴属于长径比 >12 的挠性轴,选择适宜的加工定位基准,宜与测量基准、设计基准重合;车加工过程充分游车使转轴处于稳定平衡状态再进行精加工;铣槽过程对切削力、重力的对称支撑合理到位,采取适宜的冷却方法;测量尺寸时使工件温度与环境、量具温度基本一致
3		定子铁心制作	W	5.3	1) 见证或检查内容包括硅钢片冲剪尺寸及毛刺、涂漆质量、叠装平台位置度、叠片尺寸、特殊工艺点、测温元件布置、叠片质量(冲片表面漆膜完好程度、接缝大小、齿部高度补偿等)、端部压圈及铜屏蔽装配、压装固化、最终叠装尺寸及位置偏差检查、铁心磁化试验、ELCID 试验。 2) 对铁心冲片、去毛、涂漆等批量化制作过程的首检、巡检记录进行检查,保证冲片毛刺和涂漆质量的抽检频次和结果符合要求。 3) 见证叠片过程,检查叠片张数和位置,整平过程禁用金属物直接敲击铁心,冲片接缝处不得出现通风槽板单肋筋压紧;压装次数不少于工艺规定,1/2 总高度处压装一次,每次压装测量铁心垂直、扭斜、分段长并及时调整,在规定段次采用压铅丝补偿法确定齿部和轭部加垫绝缘片的数量和位置,确保整面受压均匀。 4) 铁心磁化试验(包含 ELCID 检查试验)满足 GB/T 20835 的要求
4		定子线棒制作	W	5.3	1) 见证或检查内容包括导线排列、编花换位、热固成型、股间短路检查、端部成型、绝缘层 VPI、内外层防晕处理、绝缘尺寸检查及试验、水冷结构的水电接头气密性检查、存放。 2) 对导线的换位方式、换位间绝缘填充及热固成型过程参数(施加压力、加热温度、保温时间)进行检查,成型后股间短路检查的电压、内屏蔽层涂刷前导线窄边露铜的点数满足工艺要求。

表 A.3 生产过程监视控制点及控制方式 (续)

序号	监视项目	监视控制点	控制方式	引用章节	监视要点
4	生产过程监视	定子线棒制作	W	5.3	<p>3) 云母带的保存和使用期限满足工艺要求,绕包层数、方式、方向,绕包后的外形尺寸符合图纸要求,且无云母纸脱落、掉粉、折断、起层、严重皱褶现象。</p> <p>4) 绝缘层 VPI 参数:加热温度、真空度、浸渍压力、热固成型的压力、温度和时间等符合工艺要求;二次防晕处理时高阻与低阻搭接长度及位置满足设计要求。</p> <p>5) 线棒电气试验项目(交流耐压(起晕)、常态及热态介损、表面电阻率),抽样比例符合 JB/T 6204、JB/T 7608 的要求,耐压后检查 R 弯处表面无爬电现象,介损测量时屏蔽线的连接位置按标准要求连接至高阻层末端</p>
5		转子装配过程	W	5.3	<p>1) 见证或检查内容包括装配区域清洁度、转轴下线前清理涂漆、槽内绝缘件布置、下线装配、焊接及绝缘处理、热压整型、槽楔装配、端部绝缘装配及护环热套、过程绝缘试验、通风试验、水冷回路检查试验(水内冷型)。</p> <p>2) 装配区域净化管理,严禁使用电动或气动砂轮机打磨焊接头,清理异物或灰尘使用吸尘器,不得用气吹,所使用的零部件采用适宜的方法清理干净后使用,绝缘件不落地,非作业期间覆盖防护。</p> <p>3) 匝间绝缘垫条与线匝通风孔对齐一致;匝间及护环绝缘采用搭接,不采用对接,保持绝缘出边;槽楔下垫条的光滑面与线匝接触,护环绝缘内表面涂刷规定量的滑移剂,中心环与端部线匝间的间隙充分保证转子绕组的热胀自由;采取紧打槽楔工艺定量测量槽楔推力在工艺要求范围内。</p> <p>4) 在下线后、套护环前后均按步进行转子绕组耐压、匝间短路检查试验;通风试验执行 JB/T 6229 的规定,水冷回路检查试验执行 JB/T 6228 的规定</p>
6		定子装配过程	W	5.3	<p>1) 见证或检查内容包括定子内作业清洁度、端部绝缘装配、下线装配、端部绑扎、过程试验(绝缘电阻测量、工频耐压试验、槽电位测量、冷却水路流通性和气密性检查(水冷型)、测温元件布置、槽楔装配、引线装配(引线焊接、水电接头焊接(水冷型))及手包绝缘、加热固化。</p> <p>2) 槽内加垫半导体垫条时线棒处于水平位置且棒槽间隙在上,从最薄厚度开始试垫找出最佳厚度组合。</p> <p>3) 端部异相间绑扎时不断开,打结和绳头不留在异相线棒间;线棒与支撑件间均加垫浸渍毛毡,且毛毡压缩量达 50% 以上。</p> <p>4) 槽楔装配时定量检测楔下波纹垫条的压缩量,采取测量波纹片峰谷距离或替换与压缩后波纹片等厚平垫条的方法。</p> <p>5) 焊接前对线棒绝缘采取良好的隔火冷却保护措施,焊接处缝隙均匀且小于 0.2 mm,充分填充银片或银磷焊丝,焊后采取目测和支路直流电阻测量控制焊接质量。</p> <p>6) 手包绝缘采取涂抹环氧腻子使接头过渡圆整,一次同时使用云母箔层数不超过多,层间搭接以及与原线棒绝缘搭接长度符合工艺要求。</p> <p>7) 定子线圈工频耐压试验执行 JB/T 6204 的规定,槽电位测量执行 DL/T 596 的规定,冷却水路流通性和气密性检查执行 JB/T 6228 的规定</p>

表 A.3 生产过程监理控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
7	生产过程监理	总装配过程	W	5.3	1) 检查内容包括内外机座装配、端盖装配、出线装置装配、转子支承轴承装配、转子穿装、励磁装置安装以及其他组部件装配过程。 2) 外装式结构的内定子与外机座装配的找正基准,尤其是以机座安装面为基准找正内定子与端盖的同心度时,采用分段支撑严格找平整个安装面偏差 $<1\text{ mm}$ 。 3) 弹簧板与机座间的焊接采用分层分段焊,每层焊完使用风镐锤击释放内应力并冷却至 50°C 再焊下一层,确保在自然放松状态下弹簧板与安装座的平均间隙满足工艺要求。 4) 检查转子穿装过程的清洁度及防护措施,按工艺步骤粗调、精调转子气隙、轴向位置符合图纸及工艺要求。 5) 检查轴承绝缘电阻不小于 $1\text{ M}\Omega$ ($1\ 000\text{ V}$),轴承座内油循环时间满足JB/T 4058清洁度要求
8		拆卸、拆解、防腐、存放	W	5.3	1) 检查内容包括拆卸、拆解所有外部组部件过程、定转子防腐防潮处理、存放过程巡检。 2) 转子轴颈及其他精加工表面涂油防锈,存放期间防潮防尘,径向支撑点布置合理充足,并定期转动换位

表 A.4 出厂试验监理控制点及控制方式

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
1	试验过程监理	转子绕组直流电阻测定	W	5.4.1	依据 GB/T 7064、GB/T 1029 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录测量绕组温度和环境温度,绕组温度直接测量绕组表面,困难时测量转子表面温度代替,至少测量三点,取其平均值作为绕组温度。 3) 用电桥法或伏安法测量转子绕组在冷态下直流电阻。使用电桥测量时,每一电阻测量3次,每次在电桥平衡破坏后重新测量。测量时施加电流不超过线圈额定电流的 10% ,测量时间不大于 1 min 。将测量值折算到 75°C ,测量值满足设计值 $\pm 5\%$ 的要求
2		转子绕组绝缘电阻测定	W	5.4.1	依据 GB/T 7064、GB/T 20160、GB 50150 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度。 3) 试验在动态试验前、耐压试验前后分别进行,测量转子绕组对转轴本体间 60 s 的绝缘电阻值,施加电压值根据额定励磁电压从 GB/T 20160 中选择, 60 s 时绝缘电阻测量值(25°C) $\geq 1\text{ M}\Omega$ 。对于水内冷转子绕组,在绝缘引水管连接后, 60 s 时绝缘电阻测量值(25°C) $\geq 0.5\text{ M}\Omega$
3		转子绕组交流耐压试验	H	5.4.1	依据 GB/T 7064、GB/T 1029 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度,温度在 $5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内,湿度 $\leq 80\%$ 。 3) 试验在所有动、热态试验完成后,在转子绕组对转轴间施加交流电压值(峰值/ $\sqrt{2}$): 12.5 倍额定励磁电压 U_{IN} ,允许偏差 $\pm 1\%$,频率 $45\text{ Hz}\sim 55\text{ Hz}$,耐受时间 1 min 。试验过程无电压突降、电流突然增大,无异响、放电、击穿等现象,则试验合格

表 A.4 出厂试验监控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监控制点	控制方式	引用章节	监理要点
4	试验过程 监理	转子匝间短路测定 (交流阻抗测定、匝间波形法、重复脉冲法)	H	5.4.1	<p>依据 GB/T 7064、JB/T 8446 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度。 3) 不同转速下的交流阻抗测定: 试验在超速前、后, 热态动平衡后分别进行, 在旋转状态下转子绕组施加交流电压 220 V, 从 0 到额定转速(每间隔 300 r/min)升速测量, 额定转速到 0(每间隔 300 r/min)降速测量, 记录每点的施加电压、电流, 试验前后无明显变化, 阻抗曲线平缓, 无明显突变点(每隔 300 r/min 的阻抗差值小于最大值的 5%), 则判断匝间无短路现象。 4) 匝间波形法: 试验所有动态、热态试验完成后进行; 探测线圈径向布置, 距转子本体表面一般为气隙的 1/3, 在转子轴上做好线圈槽号标识; 一般在被试转子绕组上通入额定励磁电流的 4%, 测量并记录探测线圈两端的感应电压波形; 转子存在剩磁情况下, 在保证同等试验条件下, 进行正、反励磁两种工况的测量, 求取平均值作为消除了剩磁影响的电压值; 取一个磁极上的一个线圈电压与另一个磁极上的同号线圈电压之差与两者较大值之比, 该值大于 $\frac{1}{\text{被测槽匝数}} \times 45\%$, 则认为存在的短路现象。 5) 重复脉冲法(RSO 试验): 试验在其他所有试验完成后进行; 转子本体接地, 转子绕组两端分别串接方波发生器和示波器, 且整个回路在方波发生器和示波器之间一点接地; 记录方波信号的幅值和频率; 示波器为自动触发方式, 采样时长能显示记录波形的特征; 从转子绕组两端分别输入方波, 比较记录波形的幅值、衰减时间来判断绕组短路状况, 如两波形无明显差异则判断无短路现象
5		转子超速和动平衡试验	H	5.4.1	<p>依据 GB/T 7064、GB/T 11348.1、GB/T 11348.2 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度。 3) 转子驱动到 1.2 倍额定转速, 持续 2 min 后降速, 超速期间轴振相对位移值 ≤ 0.15 mm(相对位移峰值), 超速后转子无永久性异常变形和妨碍正常运行的其他缺陷。 4) 动平衡在冷热态下、超速前后分别进行。在额定转速下考核振动, 振动测点的布置: 轴振动; 盘车端、励端 $\pm 45^\circ$ 方向测量振动位移幅值和相位。轴振振动限值: 在 GB/T 7064—2017 中表 2 范围 A 区域 ≤ 0.05 mm(相对位移峰值), 过临界转速时 ≤ 0.26 mm
6		转子通风试验(空冷型)	W	5.4.1	<p>依据 JB/T 6229 见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验过程使进气压力保持 $1\ 000\ \text{Pa} \pm 50\ \text{Pa}$; 将风速计入口对准槽楔上的每个出风孔, 记录显示仪上的最大稳定读数; 根据标准规定的转子通风方式对应计算公式, 计算结果符合标准要求

表 A.4 出厂试验监理控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
7	试验过程 监理	定子铁心 磁化试验 (含 ELCID 检查试验)	W	5.4.1	<p>依据 GB/T 20835 见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验前铁心、绕组、测温元件可靠接地,确认环境温度与铁心温度之差 不大于 5 K。 3) 励磁线圈和测量线圈的布置,如励磁线圈在铁心上均匀排绕,测量线圈允 许随意布置;如对称布置,则测量线圈布置相邻励磁绕组中间等分处;如 单匝布置,则测量线圈布置在 90°位置。 4) 确认按测量电压计算铁心磁通密度达到 1.4 T,持续时间 45 min,每 15 min 记录一次电压频率、励磁线圈电流、测量线圈电压、功率。如磁通 密度达不到 1.4 T,则按标准公式换算延长试验时间。 5) 确认测量结果满足以下要求:铁心最大温升≤ 25 K,铁心最大温差≤ 15 K,单位比损耗≤ 1.3 Ps(1.5)。 6) ELCID 试验:在临时励磁线圈施加电压使铁心轭部磁通密度为 4% 额定 磁通密度(1.4T),电位计的两支撑脚跨度达到两齿的最外沿,进行每个槽 位非阶梯段及阶梯段的扫描,记录励磁电流(直流电流)在总安匝除以槽 数的结果合理范围内,最大积分电流测量值≤ 100 mA
8		定子绕组 绝缘电阻 测定	W	5.4.1	<p>依据 GB/T 7064、GB/T 20160、GB 50150 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度,温度在 5℃~40℃ 范围内,湿度不超 过 80%。 3) 试验在绝缘试验前后分别进行,铁心、非被试相及测温元件均接地;分相 施加 DC5000 V 电压,分别测量 15 s、1 min、10 min 的绝缘电阻值;1 min 绝缘电阻值≥ 100 MΩ,各相绝缘电阻的不平衡系数≤ 2,极化指数≥ 2,绝 缘试验前后绝缘电阻无明显下降。 4) 对于水内冷型式,对于汇水管死接地的电机在无水情况下进行,非死接地 的在通水情况下使用专用测量仪,在绝缘引水管干燥或吹干的情况下可 用普通兆欧表测量,汇水管接到仪器的屏蔽端
9		定子绕组 直流电阻 测量	W	5.4.1	<p>依据 GB/T 7064、GB/T 1029 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 测量并记录试验时绕组温度,绕组、铁心与环境温度的差值不大于 2K。 3) 采取直流电阻电桥法或电压电流法进行测量。使用电桥测量时,每一 电阻测量 3 次,每次在电桥平衡破坏后重新测量,每次读数与三次读数 平均值之差在平均值的$\pm 0.5\%$ 范围内。测量时施加电流不超过线圈额 定电流的 10%,测量时间不大于 1 min。测量值满足设计值要求,三相 的电阻不平衡率$\leq 1\%$
10		定子绕组 槽电位 测量	W	5.4.1	<p>依据 DL/T 596 见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 将所有线棒短接施加工频额定相电压,铁心及测温元件接地,抽检线棒表 面与铁心齿部的电位差≤ 10 V

表 A.4 出厂试验监控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监控制点	控制方式	引用章节	监理要点
11	试验过程监理	定子绕组端部手包绝缘施加直流电压的测量	W	5.4.1	<p>依据 DL/T 1612 见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验在定子绕组通水或不通水的状态下进行,为了更有效地发现发电机漏水或其他缺陷,宜在通水或充水条件下进行。在通水或充水条件下试验时,宜在水压试验后进行;在不通水条件下试验时,保证引水管内壁无残留水分。 3) 所有发电机内部测温元件、出线电流互感器二次绕组等短路接地。所测端部接头、引线接头及过渡引线并联块等部位包裹层厚度为 0.01 mm~0.02 mm 的导电金属箔纸或导电布,每个手包绝缘包裹的导电金属箔纸或导电布之间有足够的距离。 4) 试验采取正接法或反接法,正接法:电压施加在定子绕组端头,手包绝缘处通过 1 个 100 MΩ 电阻接地,反接法:在每个独立的手包绝缘处施加电压,定子绕组端头通过 1 个 100 MΩ 电阻接地;施加额定电压(U_N)的直流电压,测量手包绝缘的直流泄漏电流$\leq 10 \mu\text{A}$,直流电位$\leq 1 \text{ kV}$
12		定子绕组直流耐压试验和泄露电流测量	W	5.4.1	<p>依据 JB/T 6204 见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度,温度在 5 $^{\circ}\text{C}$ ~ 40 $^{\circ}\text{C}$ 范围内,湿度不超过 80%。 3) 在定子绕组分相施加直流电压,铁心、非被试相及测温元件接地;试验电压按 0.5 倍额定电压 U_N 分阶段升高,每阶段停留 1 min,记录泄漏电流及其变化值,最终耐受电压值为 3.5 倍额定电压 U_N,耐受时间 1 min。 4) 试验结果判定:每阶段泄漏电流无随时间异常增大现象;在 2.5 倍额定电压 U_N 下直流泄漏电流$\leq 20 \mu\text{A}$,或相间泄漏电流之差小于较小值的 50%;试验全过程无放电、击穿现象
13		定子绕组交流耐压试验(包括整机起晕试验)	H	5.4.1	<p>依据 GB/T 7064、GB/T 1029、JB/T 6204 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度,温度在 5 $^{\circ}\text{C}$ ~ 40 $^{\circ}\text{C}$ 范围内,湿度不超过 80%。 3) 在定子绕组分相施加工频交流电压,频率 45 Hz~55 Hz,铁心、非被试相及测温元件接地;施加交流电压值(峰值/$\sqrt{2}$):2 倍额定电压 $U_N + 1 \text{ kV}$,允许偏差$\pm 1\%$,耐受时间 1 min,试验电压从足够低的数值开始升压,达到 75%以上按 2%试验电压/s 的速率升压,整个试验过程无放电、击穿现象,则试验通过。 4) 整机起晕试验:在暗光条件下分相进行试验,可在工频耐压试验过程中进行,施加额定电压 U_N,绕组端部无明显的晕带和连续的金黄色亮点
14		定子绕组端部模态试验	W	5.4.1	<p>依据 GB/T 20140、DL/T 735 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 激励和响应点的布置,端部模态测量不少于 16 点(2 极电机),引线测量轴向、切向、径向的固有频率。 3) 冷态下端部绕组模态试验的椭圆型固有振动频率的合格范围为 $f_z \leq 95 \text{ Hz}$、$f_z \geq 110 \text{ Hz}$;端部绕组中的鼻端、引线、过渡引线固有振动频率的合格范围为 $f_z \leq 95 \text{ Hz}$、$f_z \geq 108 \text{ Hz}$。如出现 95 Hz~108 Hz 范围的固有频率,则响应比小于 0.44(m/s²)/N

表 A.4 出厂试验监理控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
15	试验过程 监理	测温元件 绝缘电阻 测定	W	5.4.1	依据 GB/T 7064、JB/T 10500.1 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 将所有测温元件短接,在其与外壳间施加 DC250V,检查测温元件的绝缘电阻 $\geq 1\text{ M}\Omega$
16		测温元件 直流电阻 测定	W	5.4.1	依据 JB/T 10500.1 见证以下内容。 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 逐个检查测温元件编号所对应的直流电阻和引线直流电阻。元件电阻值满足分度号及 JB/T 10500.1 的要求,元件的编号符合图纸规定
17		绕组内部 水系统 密封性检查 (水冷型)	W	5.4.1	依据 GB/T 7064、JB/T 6228 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 采用水压或气压法进行检查。在水压试验过程中,通过几次排放空气来达到规定的压力并保持稳定,避免影响对水压检漏的判断。 3) 按 JB/T 6228 的规定施加压力并保持要求的时长,试验过程中压力无明显压降,并且手摸焊缝接头及法兰连接处无渗漏现象。若由于环境温差影响引起表压波动而不能准确判断时,则延长试验时间至表压稳定
18		绕组内部 水系统 流通性检查 (水冷型)	W	5.4.1	依据 GB/T 7064、JB/T 6228 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 根据实际情况采用测水流量法、测气流量法、标准块法、定子绕组发热试验法、热水流试验法进行检查,相关要求执行 JB/T 6228 的规定,不出现堵塞现象,流量偏差值符合标准或协议规定
19		转子进水 支座的绝缘 电阻测定 (双水内 冷型)	W	5.4.1	依据 GB 50150、GB/T 20160 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 使用 DC1 000 V 兆欧表测量进水支座与转轴间的绝缘电阻值,60 s 时绝缘电阻测量值(25 °C) $\geq 0.5\text{ M}\Omega$
20		定子总进、 出水管绝缘 电阻的测定 (双水内 冷型)	W	5.4.1	依据 GB/T 7064、GB/T 20160 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器、仪表的校准周期在有效期内。 2) 对于总进、出水管非死接地结构的,施加 DC500 V 电压,在不通水状态下测量水管与机座间的绝缘电阻值,1 min 绝缘电阻值 $\geq 1\text{ M}\Omega$

表 A.5 型式、特殊试验监控控制点及控制方式

序号	监理项目	监控控制点	控制方式	引用章节	监控要点
1	试验过程 监理	无励磁时 一般机械 检查	W	5.4.2	依据 GB/T 7064、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 无励磁时一般机械检查:在升速过程中调相机各部位无机械摩擦声,临界转速时调相机各部位振动不超过标准要求。测量轴瓦及轴承温度、润滑油温度、油量等,轴瓦温度 $\leq 90\text{ }^{\circ}\text{C}$,轴承回油温度 $\leq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$
2		轴承对地 绝缘电阻 测量	W	5.4.2	依据:GB/T 7064、GB/T 20160 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录温度和湿度。 3) 用 1 000 V 兆欧表测量轴承对地绝缘电阻,读取 1 min 时的稳定值,测量值 $\geq 1\text{ M}\Omega$
3		相序检查	W	5.4.2	依据:GB/T 7064、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 调相机空载剩磁电压工况下,即在测取空载特性后,将励磁电流降到零,用相序表测量发电机定子出线端的相序满足技术协议要求
4		额定电压 总谐波畸 变量 THD 和 电话谐波 因数 THF 测定	W	5.4.2	依据 GB/T 7064、GB/T 1029、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 发电机在额定转速、空载额定电压状态下,频率在 $50(1\pm 1\%)\text{ Hz}$ 以内;用功率分析仪测量发电机各次谐波电压和线电压波形畸变率;电压波形畸变率 $\text{THD}\leq 5\%$,电话谐波因数 $\text{THF}\leq 0.5\%$
5		轴电压测定	W	5.4.2	依据 GB/T 7064、GB/T 1029、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 测点表面与电压表引线接触良好,测试前检查轴瓦套中间层与轴承座之间的绝缘电阻。 3) 在空载额定电压下,用高内阻交流电压表测量轴两端的电压 U_1 ,然后将转轴没有绝缘的一端(盘车端)与其轴承座短接,测另一端对轴承座的电压 U_2 ,再测轴承座对地电压 U_3 。轴电压 $U_1\leq 10\text{ V}$, $U_1\approx U_2+U_3$
6		空载特性	H	5.4.2	依据 GB/T 1029、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内 2) 发电机法:定子绕组开路,转子额定转速运转,待轴系的机械损耗稳定之后开始测取;逐步提高电压,直到达到最大定子电压,在测量空载特性曲线试验时,励磁电流的变化从最高开始至 0 单向调节,电压调节过程中使用功率分析仪测量并监视定子电压、转子电流和拖动电机定子电压、电流、功率 3) 记录并确定定子电压与励磁电流的函数关系:额定转速下 $1.1 U_N$ 到剩磁电压($I_f=0$),确认三相额定电压平衡率

表 A.5 型式、特殊试验监控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监控制点	控制方式	引用章节	监理要点
7	试验过程 监理	三相稳态 短路特性	H	5.4.2	<p>依据:GB/T 1029、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 发电机法:定子绕组三相处于稳态短路状态;将转子拖动到额定转速运行,调节励磁电流,使定子电流达到 $0.25 I_N$、$0.5 I_N$、$0.7 I_N$、$0.85 I_N$、$0.95 I_N$、$1.0 I_N$、$1.05 I_N$, 电流调节过程中使用功率分析仪测量并监视被试调相机定子电流、转子电流和拖动电机定子电压、电流、功率。 3) 测量数据处理后,得出定子电流与励磁电流相对应的关系曲线,确认额定点的三相电流平衡率
8		短路比 (SCR)	R	5.4.2	<p>依据 GB/T 1029、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 空载饱和特性和短路特性测取之后,从空载饱和特性和短路特性得到空载额定电压时的励磁电流 I_{f0} 和定子额定短路电流时的励磁电流 I_{fk},按下列公式计算:短路比 $= I_{f0}/I_{fk}$,满足技术协议要求
9		直轴同步 电抗 X_d	R	5.4.2	<p>依据 GB/T 1029、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 空载特性和短路特性测取之后,取短路特性上额定短路电流对应的励磁电流 I_{fk} 与空载特性气隙线上额定电压对应的励磁电流 I_{f0} 之比,即按下列公式计算: $X_d = \frac{I_{fk}}{I_{f0}}$
10		损耗测定	H	5.4.2	<p>依据:GB/T 1029、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 机械损耗:在额定转速、转子无励磁情况下测量,机械耗=拖动电机输入功率-拖动系统损耗。 3) 铁耗:空载特性试验时,在每一点电压上测定拖动电机的输入功率。铁耗=拖动电机的输入功率-其拖动系统损耗-机械损耗,再绘成铁耗曲线。 4) 短路损耗:在额定转速下,三相稳态特性试验时,在每一点电流上测定拖动电机的输入功率。短路损耗=拖动电机的输入功率-其拖动系统损耗-机械损耗,再绘成短路损耗曲线。 5) 转子绕组损耗 $P_{CUF} = (\text{额定励磁电流 } I_{fN})^2 \times \text{转子绕组直流电阻 } R_f$。 6) 励磁系统损耗(包含电刷损耗)。 7) 总损耗 $\Sigma P = \text{机械耗} + \text{铁耗} + \text{短路损耗(换算到 } 115 \text{ } ^\circ\text{C)} + \text{转子绕组损耗} + \text{励磁系统损耗}$

表 A.5 型式、特殊试验监理控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
11	试验过程 监理	温升试验 (无励磁空转温升、1.05 倍额定电压空载温升、1.1 倍额定电流短路温升、1.0 倍 I_f 转子绕组温升、退出一组冷却器温升、冷却器断水温升)	W	5.4.2	<p>依据 GB/T 1029、GB/T 7064、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 分别进行无励磁空转温升、1.05 倍额定电压空载温升、1.1 倍额定电流短路温升、1.0 倍额定励磁电流转子绕组温升、退出一组冷却器温升试验、冷却器断水温升试验,试验期间电参数使用功率分析仪测量,温度、流量、压力等热工参数使用数据采集器测量,数据记录是从初始点开始,每 15 min 记录一次,直至调相机各部位温度稳定;当各部分温度变化在试验的最后一小时内不超过 2 K 时为热稳定。 3) 测量调相机的定子电流或电压、视在功率、有功功率,励磁电流和电压,各部位测温元件温度、各个轴承温度、油温、压力和流量;冷却器进出水温 and 流量测量;在热运行试验期间,测量轴振动。 4) 温升限值:定子绕组、定子铁心、转子绕组的温升满足技术协议或 GB/T 7064 的要求
12		振动测量 (转轴振动、轴承座振动、定子机座、铁心、绕组的振动测量)	H	5.4.2	<p>依据:GB/T 1029、GB/T 7064、GB/T 11348.1、GB/T 11348.2、GB/T 20140、JB/T 10392、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 测量在所有运行方式下额定转速下进行连续监控。 3) 轴振测量:在盘车端、励端±45°方向测量振动位移幅值和相位,相对位移值满足技术协议或 GB/T 7064 的要求。 4) 轴承座振动测量:每个轴承座振动由接触式传感器测量,测量三个方向振动位移和振动速度幅值和相位:V/垂直、H/水平、A/轴向,振动值满足技术协议或 GB/T 7064 的要求。 5) 定子端部绕组及引线的振动测量:在两端绕组鼻端及引线的适当位置上布置 2 点~3 点,每点测量径向、切向两个方向的振动位移幅值和相位,绝对位移值≤0.1 mm(峰峰值)。 6) 定子机座的振动测量:在机座两端及中心位置的垂直、水平两个方向上测量振动位移幅值和相位,绝对位移值≤0.015 mm(峰峰值)。 7) 定子铁心的振动测量:在铁心中心位置的垂直、水平两个方向上测量振动位移幅值和相位,绝对位移值≤0.05 mm(峰峰值)
13		膛内转子匝间波形的测量	H	5.4.2	<p>依据 GB/T 7064、JB/T 8446、DL/T 1525、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度。 3) 试验在短路温升试验过程中进行,使用录波器拍摄调相机自带探测线圈的感应电压波形;取一个磁极上的一个线圈电压与另一个磁极上的同号线圈电压之差与两者较大值之比,如该值大于 $\frac{1}{\text{被测槽匝数}} \times 45\%$,则认为存在短路现象

表 A.5 型式、特殊试验监理控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
14		膛内转子不同转速下交流阻抗测量	H	5.4.2	<p>依据 GB/T 7064、JB/T 8446、DL/T 1525、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度。 3) 试验在温升试验后立即进行,在旋转状态下转子绕组施加交流电压 220 V,从 0 到额定转速(每间隔 300 r/min)升速测量,额定转速到 0(每间隔 300 r/min)降速测量。 4) 记录每点的施加电压、电流,试验前后无明显变化,阻抗曲线平缓,无明显突变点(每隔 300 r/min 的阻抗差值小于最大值的 5%),则判断匝间无短路现象
15		膛内转子绕组重复脉冲法(RSO)匝间短路诊断	H	5.4.2	<p>依据 GB/T 7064、JB/T 8446、DL/T 1525、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 记录试验时环境温度、湿度。 3) 试验在其他所有试验完成后进行;转子本体接地,转子绕组两端分别串接方波发生器和示波器,且整个回路在方波发生器和示波器之间一点接地。 4) 示波器为自动触发方式,采样时长能显示记录波形的特征;从转子绕组两端分别输入方波,记录方波信号的幅值和频率,比较记录波形的幅值、衰减时间来判断绕组短路状况,如两波形无明显差异则判断无短路现象
16	试验过程 监理	动态参数及时间常数测定 (X'_d 、 X''_d 、 τ'_d 、 τ''_d 、 τ_a 、 τ'_{d0} 测定)	W	5.4.2	<p>依据 GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 0.5 U_N 电压下三相突然短路试验(X'_d、X''_d、τ'_d、τ''_d、τ_a 测定):调相机在额定转速下运转,调节励磁电流使定子电压分别为额定电压的 20%、30%、40%、50%时,测量并记录短路前定子电压、励磁电流和励磁电压,然后用断路器将定子三个出线端突然短路;使用示波器记录定子电流及励磁电流的变化波形直到定子电流稳定,同时使用功率分析仪测量并记录短路前后定子电压、定子电流、励磁电流和励磁电压的稳定值。根据波形图确定电抗和时间常数,满足技术协议或设计要求,容差不超过要求值的±15%。 3) 定子绕组开路时励磁电流衰减试验(τ'_{d0}测定):调相机通过调节励磁电流以得到定子电压的额定值,待稳定后记录定子电压、励磁电压和电流;断开励磁开关瞬间,开始用示波器拍摄定子电压、励磁电压和电流的波形;采样时间小于 0.1 ms, $3 \times (\tau'_{d0})$ 之后停止记录;稳定后测定以下数据:定子电压、励磁电压和电流;根据波形图确定定子电压初始额定值衰减到 0.368 倍初始值时所需时间 τ'_{d0},满足技术协议或设计要求。 4) 电枢绕组短路时励磁电流衰减试验(τ'_d测定):调相机通过调节励磁电流以得到定子电流的额定值,待稳定后记录定子电流、励磁电压和电流;断开励磁开关瞬间,开始用示波器拍摄定子电流、励磁电压和电流的波形;采样时间小于 0.1 ms, $3 \times (\tau'_d)$ 之后停止记录;稳定后测定以下数据:定子电流、励磁电压和电流;根据波形图确定励磁电流初始值衰减到 0.368 倍初始值时所需时间 τ'_d 满足技术协议或设计要求

表 A.5 型式、特殊试验监控控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监控控制点	控制方式	引用章节	监控要点
17	试验过程监控	负序电抗 X_2	W	5.4.2	<p>依据 GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验前将定子出线端任意两相可靠短接；试验时使调相机在额定转速下运转，调节励磁电流使定子电流达到 $0I_N \sim 0.3I_N$ 范围内几个短路电流值，试验过程迅速，并监视调相机各振动测昼值变化情况，每次读表完毕，将励磁电流降至零，再进行下一次测试。 3) 用功率分析仪测量下列值：定子短路电流、非短路相对中性点电压、有功功率、无功功率；计算负序电抗值 X_2 满足技术协议或设计要求
18		零序阻抗 X_0	W	5.4.2	<p>依据 GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验前将定子出线端任意两相与中性点可靠短接；试验时使调相机在额定转速下运转，调节励磁电流使短路电流达到 $0I_N \sim 0.3I_N$ 范围内几个中性线电流值，试验过程迅速，并监视调相机各振动测昼值变化情况，每次读表完毕，将励磁电流降至零，再进行下一次测试。 3) 用功率分析仪测量下列值：短路相与中性点间的电流、开路端子对中性点电压、有功功率、无功功率；计算负序电抗值 X_0 (饱和值) 满足技术协议或设计要求
19		交轴同步电抗 X_q 测定	W	5.4.2	<p>依据 GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验前先确认试验电源相序正确。采取低转差率法，在调相机定子出线端外施三相对称同相序低电压 ($0.01U_N \sim 0.2U_N$)，使电机不致被牵入同步；励磁绕组开路，转子由原动机拖动，转差率 < 0.01；用录波仪记录定子电流、电压、集电环电压和转差率。若试验前测得的剩磁电压超过试验电压的 0.3 倍，则对转子去磁。 3) 计算交轴同步电抗值 X_q (不饱和值) 满足技术协议或设计要求
20		保梯阻抗 X_p 及漏抗测量	W	5.4.2	<p>依据 GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验转子插入定子前或转子抽出定子后进行。 3) 将定子线端接至额定频率的三相对称电源，施加电流接近 I_N，用功率分析仪测量定子电压、电流、功率。 4) 计算保梯电抗值 X_p、漏抗值 X。满足技术协议或设计要求
21		转动惯量测定	W	5.4.2	<p>依据 GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 采用空载自减速法进行测定，首先调相机空转运行，当轴系的机械损耗稳定之后，测量拖动电机输入功率和损耗。 3) 提高调相机的转速到额定转速的 105% 时，随后使调相机惰转，保持励磁电流不变 (或为 0)，记录速度与时间的关系曲线到额定转速的 95% 以下。 4) 计算转动惯量 J 及飞轮转矩 GD^2 满足技术协议或设计要求

表 A.5 型式、特殊试验监理控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
22	试验过程 监理	1.3 倍短时 升高电压 试验	W	5.4.2	依据 GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 调相机定子绕组开路,定子电压升高至 $1.3U_N$,持续 1s,升压过程中使用功率分析仪测量并监视定子电压、转子电流。 3) 调相机不产生冒烟、异味和有害变形等异常情况
23		定子绕组 3.5 倍 I_N 过电流试验	W	5.4.2	依据:GB/T 7064、GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验在定子绕组三相稳态短路下, $1.0I_N$ 三相稳态短路温升稳定后进行。 3) 迅速调节励磁电流,使调相机定子电流达到 3.5 倍 I_N ,并保持 15 s,或试验时(过电流倍数 ² -1) $t \geq 168.75$ s;整个试验过程记录调相机各测温元件温度,不超过允许温度
24		转子绕组 2.5 I_f 过电流 试验	W	5.4.2	依据 GB/T 7064、GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验在定子三相绕组开路下,转子绕组采取反接法消磁,施加 $1.0I_f$ 电流温升稳定后进行。 3) 若水冷转子在静止状态下进行此项试验时,分别于转子大齿顶部、中部、底部选取组内内侧小线圈,两极共 6 组线圈进行试验,当被试线圈的冷却介质流量达设计要求时,在被试线圈中通入额定励磁电流,待线圈温度、出水温度稳定后进行。 4) 使调相机转子电流达到 $2.5I_f$,并保持 15 s,或试验时(过电流倍数 ² -1) $t \geq 78.75$ s;整个试验过程记录调相机各测温元件温度,不得超过允许温度,试验后转子绕组绝缘电阻满足要求
25		定子转子 断水试验 (双内水冷型)	W	5.4.2	依据 GB/T 7064、GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 试验在定子绕组三相稳态短路下, $1.0I_N$ 三相稳态短路温升稳定后进行。 3) 停定子、转子水系统水泵、空气冷却器水泵达到规定持续时间后,降低励磁电流,迅速恢复水泵正常运行。 4) 试验过程中,记录定子绕组、转子绕组、铁芯及端部结构件温度变化,直至试验结束,各部分温度开始下降。各部件温升及试验后定子、转子绕组绝缘电阻满足要求
26		突然短路 机械强度 试验	W	5.4.2	依据 GB/T 7064、GB/T 1029、IEC 60034-4、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 在惰转状态下进行突然短路试验。将调相机转速升至额定转速,调节励磁电流,使调相机定子电压达到技术协议要求(建议值 $0.3U_N \sim 0.5U_N$)。 3) 保持励磁电流不变,将调相机转速升至高于额定转速,分断拖机电源开关,待转子转速降至额定转速时,立即合上短路开关,记录突然短路时的定子三相电流波形,同时记录调相机各部分振动。 4) 试验后不产生有害变形且能承受出厂耐压试验要求

表 A.5 型式、特殊试验监理控制点及控制方式 (续)

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
27	试验过程监理	噪声测量	W	5.4.2	依据 GB/T 7064、GB/T 1029、GB/T 10069.1、DL/T 2024 等标准见证以下内容。 1) 检查仪器仪表的校准周期在有效期内。 2) 调相机在额定电压和额定电流工况下,用声级计在离机壳 1 m 处,测量发电机和拖动机的 A 计权声压级噪声满足技术协议或标准要求

表 A.6 包装、发运监理控制点及控制方式

序号	监理项目	监理控制点	控制方式	引用章节	监理要点
1	试验过程监理	包装	W	5.5	<ol style="list-style-type: none"> 1) 定子、转子包装前检查转子表面、定子膛内完好,清洁无异物。根据其结构特点和要求采取适宜的包装防护、良好支撑和固定措施,进行妥善的油漆或其他有效的防腐处理,漆色符合技术协议的规定,以适应远途水上、陆上运输条件和大量的吊装过程、卸货以及长期存放的需要,防止雨雪、受潮、生锈、腐蚀、受震、受冲击、运输和装卸中的滑移或碰坏、加速度以及机械和化学引起的损坏。 2) 对于其余辅机、附件等物资,核查预装配过的附件已做明显配装标记,遵照国家标准和有关包装的技术条件进行适宜的包装,或按最好的商业惯例,使用坚固的箱子,采用密封包装或有防潮措施并良好固定,防止受潮、生锈、腐蚀、受震、受冲击、运输和装卸中的滑移或碰坏以及机械和化学引起的损坏。 3) 核查配件的规格、型号、数量、生产厂家等满足合同要求。 4) 包装箱内随附装箱清单,且与内装物资名称、型号规格、数量一致。包装物外观有明显清晰的包装、吊运标志,如产品名称和型号、毛重和净重、制造厂名、地址、收货单位和到站,注意事项和其他标记等,并符合 GB/T 6388 的规定。 5) 按照设备各特性和不同的运输及装卸要求,在包装的明显位置标识“小心”“向上”“防潮”“勿倒”“怕热”“远离放射源及热源”“由此起吊”“重心点”“堆码重量极限”“堆码层数极限”“温度极限”等通用标志,并符合 GB/T 191 和 GB/T 6388 的规定
2		发运前	W	5.5	<ol style="list-style-type: none"> 1) 制造厂按技术协议中运输方案和 DL/T 1071 的要求配置运输方式和运输工具,确保运输单位和工具符合国家有关规定且运行状况良好。 2) 设备有合适的起吊或顶升装置;采用适宜的方法装车,装车后均衡、稳定、合理地分布在装载平台上,两者重心吻合,不集重、偏重;采取合理的方式绑扎固定,以避免侧翻和滑移,并防止绑索损伤设备。 3) 车后检查产品铭牌、附带的文件资料、合格证等数量准确,检查产品外表无损伤,并采取措施有效封堵可能造成设备进水的孔洞。 4) 在定子、转子等大件设备合适的位置安装校准有效的三维冲撞仪,固定可靠,电源与运输同步开启

参 考 文 献

- [1] GB/T 191 包装储运图示标志
- [2] GB/T 1029 三相同步电机试验方法
- [3] GB/T 2521.1 全工艺冷轧电工钢 第1部分:晶粒无取向钢带(片)
- [4] GB/T 6388 运输包装收发货标志
- [5] GB/T 7064—2017 隐极同步发电机技术要求
- [6] GB/T 10069.1 旋转电机噪声测定方法及限值 第1部分:旋转电机噪声测定方法
- [7] GB/T 11348.1 旋转机械转轴径向振动的测量和评定 第1部分:总则
- [8] GB/T 11348.2 机械振动 在旋转轴上测量评价机器的振动 第2部分:功率大于50 MW, 额定工作转速1 500 r/min、1 800 r/min、3 000 r/min、3 600 r/min 陆地安装的汽轮机和发电机
- [9] GB/T 20140 隐极同步发电机定子绕组端部动态特性和振动测量方法及评定
- [10] GB/T 20160 旋转电机绝缘电阻测试
- [11] GB/T 20835 发电机定子铁心磁化试验导则
- [12] GB/T 20840.2 互感器 第2部分:电流互感器的补充技术要求
- [13] GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
- [14] GB 50170 电气装置安装工程 旋转电机施工及验收标准
- [15] JB/T 1269 汽轮发电机磁性环锻件 技术条件
- [16] JB/T 4058 汽轮机清洁度
- [17] JB/T 6204 高压交流电机定子线圈及绕组绝缘耐电压试验规范
- [18] JB/T 6228 汽轮发电机绕组内部水系统检验方法及评定
- [19] JB/T 6229 隐极同步发电机转子气体内冷通风道检验方法及限值
- [20] JB/T 7030 汽轮发电机 Mn18Cr18N 无磁性护环锻件 技术条件
- [21] JB/T 7608 测量高压交流电机线圈介质损耗角正切试验方法及限值
- [22] JB/T 8446 隐极式同步发电机转子匝间短路测定方法
- [23] JB/T 10392 透平型发电机定子机座、铁心动态特性和振动试验方法及评定
- [24] JB/T 10500.1 电机用埋置式热电阻 第1部分:一般规定、测量方法和检验规则
- [25] DL/T 596 电力设备预防性试验规程
- [26] DL/T 735 大型汽轮发电机定子绕组端部动态特性的测量及评定
- [27] DL/T 1071 电力大件运输规范
- [28] DL/T 1525 隐极同步发电机转子匝间短路故障诊断导则
- [29] DL/T 1612 发电机定子绕组手包绝缘施加直流电压测量方法及评定导则
- [30] DL/T 2024 大型调相机型式试验导则
- [31] IEC 60034-4 旋转电机 第4部分:同步电机参数试验方法