

### 柔性低频输电换频站检修规范

Maintenance code for flexible low-frequency transmission frequency  
converter stations

(征求意见稿)



# 目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
柔性低频输电换频站检修规范.....	1
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总则 .....	2
5 检修分类与检修策略.....	3
6 检修前的准备工作要求.....	4
7 检修项目及要求.....	5

## 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。

本文件由浙江省电力学会标准工作委员会提出并归口。

本文件起草单位：国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司、国网浙江省电力有限公司杭州供电公司、浙江省送变电工程有限公司、国网浙江省电力有限公司台州供电公司。

本文件主要起草人：金涌涛、何坚、刘黎、马钰、刘东昌、张恬波、杨勇、林浩凡、徐华、詹江杨、汪全虎、董雪松、王少华、赵琳、于兵、杨智、王绍安、李晨、罗克龙、许挺、蒋旭、吴邦、何飞、张静、郑文哲、季宇豪、梁苏宁。

本文件为首次发布。

## 引 言

为规范柔性低频输电换频站设备检修策略、检修周期、检修项目、检修合格标准等内容，提高检修质量，保障柔性低频交流输电换频站安全稳定运行，特制定本文件。



# 柔性低频输电换频站检修规范

## 1 范围

本文件规定了10kV-500kV柔性低频输电换频站一次低频主设备的检修策略、检修及试验项目，推荐了设备的检修周期。

本文件适用于额定频率为10Hz-30Hz范围内的某一固定值，电压等级为10kV-500kV柔性低频交流输电系统低频主设备，包括低频变压器、低频组合电器、低频电流互感器、低频电压互感器、低频电抗器等设备。

## 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 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分
- GB/T 1094.1 电力变压器 第1部分：总则
- GB/T 7674 额定电压72.5kV及以上气体绝缘金属封闭开关设备
- GB/T 11022 高压交流开关设备和控制设备标准的共用技术要求
- GB/T 22071.1 互感器试验导则 第1部分：电流互感器
- GB/T 22071.2 互感器试验导则 第2部分：电磁式电压互感器
- GB/T 20840.5 互感器 第5部分：电容式电压互感器的补充技术要求
- GB/T 25092 高压直流输电用干式空心平波电抗器
- GB/T 36955 柔性直流输电用启动电阻技术规范
- GB/T 20990.1 高压直流输电晶闸管阀 第1部分：电气试验
- GB/T 30547 高压直流输电系统滤波器用电阻器
- GB/T 37014 海上柔性直流换流站检修规范
- DL/T 393 输变电设备状态检修试验规程
- DL/T 1831 柔性直流输电换流站检修规程
- DL/T 596 电力设备预防性试验规程
- DL/T 573 电力变压器检修导则
- DL/T 1419 变压器油再生与使用导则
- DL/T 593 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求
- DL/T 506 六氟化硫电气设备中绝缘气体湿度测量方法
- DL/T 727 互感器运行检修导则
- DL/T 1691 电流互感器状态检修导则

## 3 术语和定义

DL/T 1831及DL/T 393界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 低频 low-frequency

一种电力系统或电气设备以低于常规工频50Hz运行的额定频率范围，本文件内规定为10~30Hz。

### 3.2

#### 柔性低频输电换频站 flexible low-frequency transmission frequency converter

能将交流电从工频转换为低频或从低频转换为工频的变电站。

### 3.3

#### A类检修 maintenance of class A

设备本体整体性检查、维修、更换及相关试验。

### 3.4

#### B类检修 maintenance of class B

设备局部性的检修，部件的解体检查、维修、更换及相关试验。

### 3.5

#### C类检修 maintenance of class C

根据设备的磨损、老化规律，结合设备的消缺需求有重点地开展设备检修。

### 3.6

#### D类检修 maintenance of class D

设备在不停电状态下进行的带电测试、外观检查和维修。

## 4 总则

4.1 换频站检修应遵循安全第一、标准先行、过程管控、持续完善的原则，做到应修必修，修必修好。

4.2 换频站检修应采用计划、实施、检查、总结循环的方法。检修前做好各项准备工作、制订各项计划和具体措施；检修中落实各项检修、验收工作内容，检修后做好总结和评估工作。

4.3 换频站应根据容量规模、冗余配置等因素，结合实际设备情况，选择通达方式，确定维护检修模式。

4.4 检修分为A、B、C、D四个等级。A级检修有针对性地实施有关例行试验、诊断性试验、交接试验项目。B级检修实施部分A级检修项目或定期滚动检修项目。C级检修对设备进行常规性检查、清扫、维护、评估、修理、零部件更换、预防性试验或有特定需求的功能和性能试验。C级检修一般实施部分B级检修项目或定期滚动检修项目。D级检修可实施部分C级检修项目，A级、B级、C级检修为停电检修，D级检修为不停电检修。C级检修每年进行一次，D级检修每季度进行一次。

4.5 本文件列出了不同检修等级下的检修项目，在C级检修下推荐了基准周期。在状态检修中，对于现行的设备，应根据状态评价的结果来选取检修等级及其检修项目。

4.6 本文件主要针对换频站内低频主设备，列出了试验项目及需求。换频站内工频设备可参考工频设备的相关检修标准。

4.7 对于设备技术文件有要求但本文件未涵盖的检查和试验项目，按设备技术文件要求进行。若设备技术文件要求与本文件要求不一致，应按要求高的执行。

4.8 在进行检修工作时，除应遵守 GB 26860 的规定外，还应按照制造方的产品使用维护说明书中的安全指南开展工作。

## 5 检修分类与检修策略

### 5.1 检修分类

5.1.1 本文件将换频站检修分为状态检修、定期检修和临时检修三类。

5.1.2 定期检修和状态检修的部分检修工作均可按年度安排检修计划；未能列于年度检修计划的工作内容按临时检修安排。

5.1.3 临时检修适用于未列于全年检修计划的检修。临时检修前，检修单位应根据各种不同需求确定具体一次设备临时检修的检修等级及检修项目。对应具体临时检修所确定的检修项目，其检修要求、试验项目及要求应按照本文件执行。

### 5.2 检修策略

5.2.1 换频站设备的检修分为定期检修策略和状态检修策略两种基本策略。定期检修策略为定期检修附加临时检修，状态检修策略为状态检修附加临时检修。

5.2.2 无论采用定期检修策略还是状态检修策略，在各自的检修策略下，对于确定的检修项目，本文件中的检修工艺标准和检修质量标准同样适用。

5.2.3 在具有设备状态监测手段条件下，应采用状态检修。不开展状态检修的单位，在进行检修工作时，可按定期检修周期开展检修工作。

### 5.3 定期检修策略

- a) 新投运换频站一年内安排一次检修，设备检修等级按实际需求确定；
- b) 设备正常运行条件下，定期进行检修；
- c) 设备出现异常或发生故障后安排临时检修；
- d) 当设备有技术改造需求时，结合定期检修进行或单独安排临时检修；
- e) 对于数量较多的的同厂同型设备，若检修周期为2年及以上，可在周期内逐年分批进行轮修和轮试。

### 5.4 状态检修策略

- a) 以状态评价结果为依据编制状态检修实施计划；
- b) 新投运换频站一年内，以及停运6个月以上准备重新投运的设备，应进行例行试验，同时还应对设备及其附件（包括电气回路及机械部分）进行全面检查，并收集各种状态量进行状态评估，根据评估结果或按实际需求确定检修等级进行检修。对核心部件或主体进行解体性检修后重新投运的设备，可参照新设备要求执行；
- c) 解体性检修在A级、B级检修中发生。不需对设备核心部件或主体进行解体性的检修对应于C级、D级检修。不适宜解体性检修的受损设备应予以更换。当设备存在下列情形之一时，需对设备核心部件或主体进行解体性检修：
  - 1) 例行或诊断性试验表明设备存在重大缺陷；
  - 2) 设备受重大家族缺陷警示；
  - 3) 依据设备技术文件或运行要求。
- d) 在设备运检单位具备状态检修条件时，宜采用状态检修；

- e) 实行状态检修时，试验分为例行试验和诊断性试验两种类型。例行试验通常按周期进行，诊断性试验只在诊断设备状态时根据情况有选择地进行。

## 6 检修前的准备工作要求

### 6.1 资料准备

- a) 设备技术文件（含设备图纸）；
- b) 工程竣工图纸；
- c) 运行记录；
- d) 缺陷记录；
- e) 检修记录；
- f) 试验报告；
- g) 技改、反措、家族性缺陷信息；
- h) 当实施状态检修时还应收集有关设备状态分析及评价资料；
- i) 检修相关规程。

### 6.2 检修方案要求

检修前应编制检修方案（作业指导书），明确检修工作依据、工作内容、工作地点、计划工作时间，制定检修工作的组织措施、安全措施及技术措施等，用于指导检修工作的开展。

### 6.3 检修工器具、备件及材料准备

应根据检修方案及标准化作业指导书，准备必要的检修工器具、试验仪器、备件及材料等。

### 6.4 对检修人员的要求

- a) 身体状况、精神状态良好；
- b) 具备必要的电气知识和业务技能，并经培训考试合格上岗；
- c) 按工作性质熟悉安规，并经考试合格；
- d) 从事特殊工种的检修人员必须持证上岗。

## 7 检修项目及要求

### 7.1 设备巡检

#### 7.1.1 增加巡检的情况

实施状态检修时，检修人员应按周期对设备进行巡检，发生下列情况时应增加巡检频次：

- a) 过负荷或负荷剧增、超温、设备异常发热、系统冲击、跳闸、有接地故障情况时；
- b) 设备新投入运行时，设备变动、改造、检修或长期停运重新投入运行后；
- c) 迎峰度夏、度冬及特殊保电期间，以及有明显震感（烈度4度及以上）的地震之后；
- d) 设备存在缺陷和隐患时。

#### 7.1.2 巡检内容及要求

- a) 检查户内设备间的温度、通风、相对湿度满足要求；
- b) 检查监控设备是否工作正常，有无缺陷报告；

- c) 检查各绝缘子表面有无明显污秽;
- d) 检查设备各部位有无漏渗油、漏气、漏水现象;
- e) 熄灯检查设备各部位有无放电现象;
- f) 检查设备各部位有无烟雾、异味、异响、无过热症候和异常振动,必要时用红外热像仪对设备可视部分进行检测。

## 7.2 低频变压器

### 7.2.1 巡检项目

低频变压器巡检基准周期为330kV及以上: 2周; 220kV: 1个月; 110kV/66kV: 3个月。  
项目如下:

- a) 本体检查;
- b) 高压套管检查;
- c) 储油柜及呼吸器检查;
- d) 气体继电器检查;
- e) 压力释放装置检查;
- f) 测温装置检查;
- g) 冷却系统检查;
- h) 有载分接开关检查;
- i) 智能控制柜/汇控柜检查;
- j) 中性点设备检查;
- k) 消防装置检查;
- l) 红外热像一般检测。

### 7.2.2 D级检修例行试验项目

#### 7.2.2.1 红外热像检测

定量检测设备或部件表面热场及热点温度时适用。

- a) 采用红外热像仪进行检测,户外精确检测宜在阴天或日落之后进行,风速宜小于1.5m/s,检测时应避开其他热辐射源干扰。
- b) 储油柜及套管油位无异常。
- c) 油箱及各附件温度无异常。

#### 7.2.2.2 铁心及夹件接地电流测量

- a) 采用钳型电流表进行测量(优先选用抗干扰型)。
- b) 接地电流 $\leq 100\text{mA}$ ,或初值差 $\leq 50\%$ (注意值),如超过注意值,应结合油中溶解气体等关联状态量作进一步分析。

#### 7.2.2.3 水质检测(水冷适用)

- a) 目视水样无油膜及固体杂质。
- b)  $7.0 \leq \text{pH} \leq 8.5$ (注意值),总硬度 $\leq 300 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ (注意值),或符合设备技术要求。
- c) 如水质检测结果不符合要求,应更换符合要求的水或对现有水进行处理,并查明异常原因。

#### 7.2.2.4 油中溶解气体分析

除定期检测外，下列情形应进行检测：

- a) 新投运或解体维修后重新投运，在投运后的第1、4、10、30天各进行一次。
- b) 气体继电器有信号，或内部疑似有异响时进行一次。
- c) 经历了出口及近区短路、严重过励磁、直流偏磁等不良工况后进行一次。

#### 7.2.2.5 油中水分检测

- a) 采用库伦法或气相色谱法进行测定。
- b) 如水分不符合要求，应查明原因，同时按DL/T 1419要求进行油再生处理或更换为新油。

#### 7.2.2.6 绝缘油检测

应进行外观及颜色、击穿电压、介损及酸值检测等项目。

- a) 外观及颜色检测按照相关标准执行，如油透明度变差，颜色呈深黄色，或色度不符合要求，应按照DL/T 1419要求进行油再生处理或更换为新油。
- b) 击穿电压检测采用专用试样杯，如击穿电压不符合要求，应查明原因，同时按DL/T 1419要求进行油再生处理或更换为新油。
- c) 介损检测采用专用试验池，测试温度一般为90℃，如介损不符合要求，表明绝缘油受到污染或老化，应按DL/T 1419要求进行油再生处理或更换为新油。
- d) 如酸值不符合要求，应按DL/T 1419要求进行油再生处理或更换为新油。

### 7.2.3 C级检修例行试验项目

#### 7.2.3.1 例行检查

- a) 气体继电器整定值符合运行规程要求，且动作正确。
- b) 压力释放装置开启压力|初值差|≤10%或符合设备技术要求。
- c) 测温装置测温数据应在合理范围内或符合设备技术要求。
- d) 冷却系统控制策略的全部选项均正确响应。
- e) 储油柜及胶囊检查胶囊是否破裂，油位计是否发生故障。
- f) 智能控制柜（汇控柜）工作电源、线缆、温控等设备无异常，各IED工作状态无异常。
- g) 二次回路外观完好，绝缘电阻不小于2MΩ。
- h) 潜油泵、风机外观完好，绝缘电阻同比及互比无明显偏低。

#### 7.2.3.2 有载分接开关例行检测

- a) 就地电动和远方各操作一个循环，应顺畅无卡滞。
- b) 紧急停止功能及限位装置应符合设备技术要求。
- c) 轴状态良好，齿轮盒稳固，内部轴承无锈蚀，密封良好，操作分接开关过程中无异响。
- d) 检查动作特性并测量切换时间，切换时间与初值比无明显差异。
- e) 绝缘介质检测无异常。

#### 7.2.3.3 中性点设备检测

- a) 电阻器（如有）外观无异常，阻值符合设计要求。
- b) 放电间隙（如有）外观无异常，间隙距离符合设计要求。

- c) 隔离开关、电流互感器、电抗器、电容器、避雷器等设备（如有）符合各设备例行试验要求。
- d) 控制器（如有）外观无异常，测控功能符合设计要求。

#### 7.2.3.4 绕组绝缘电阻测量

- a) 采用5000V、短路电流不低于3mA、量程不小于100GΩ的绝缘电阻表进行测量。
- b) 绝缘电阻 $\geq 10000\text{M}\Omega$ （注意值），或220kV及以上：绝缘电阻 $\geq 3000\text{M}\Omega$ （注意值）且极化指数 $\geq 1.5$ （注意值）；110kV及以下：绝缘电阻 $\geq 3000\text{M}\Omega$ （注意值）且吸收比 $\geq 1.3$ （注意值）。

#### 7.2.3.5 铁心及夹件绝缘电阻测量

- a) 夹件独立引出接地的，应分别测量铁芯对夹件及地和夹件对地绝缘电阻。其中铁芯对夹件采用1000V绝缘电阻表，铁芯对地、夹件对地采用2500V绝缘电阻表进行测量。
- b) 测量值 $\geq 100\text{M}\Omega$ （新投运 $\geq 1000\text{M}\Omega$ ）（注意值）。

#### 7.2.3.6 绕组电阻测量

- a) 采用直流电阻测试仪进行测量。
- b) 相电阻|初值差| $\leq 2\%$ ，或线电阻|初值差| $\leq 1\%$ 。

#### 7.2.3.7 绕组连同套管的介质损耗和电容测量

- a) 宜采用介质损耗测试仪在低频下开展，优先采用正接法，不适宜正接法时采用反接法，测量各个绕组对地及各绕组间的介质损耗因数及电容量。
- b) 各个绕组对地及各绕组间的介损（20℃）（注意值）：500kV $\leq 0.5\%$ ；330kV/220kV $\leq 0.6\%$ ；110kV及以下 $\leq 0.8\%$ 。
- c) 电容量|初值差| $\leq 3\%$ （警示值）。

#### 7.2.3.8 高压套管例行试验

应进行绝缘电阻测量、电容量和介损测量（电容型）、气体试验等项目。

- a) 主绝缘采用5000V绝缘电阻表进行测量，测量值 $\geq 10000\text{M}\Omega$ （注意值）；末屏对地绝缘电阻（如可测）采用1000V绝缘电阻表进行测量，测量值 $\geq 1000\text{M}\Omega$ （注意值）。
- b) 电容量和介损测量采用介质损耗测试仪在低频下开展，各个绕组对地及各绕组间的介损（20℃）（注意值）：500kV $\leq 0.6\%$ ；330kV/220kV $\leq 0.7\%$ ；110kV及以下 $\leq 0.8\%$ ；电容量（警示值）：220kV及以上|初值差| $\leq 3\%$ ；110kV及以下|初值差| $\leq 5\%$ 。

### 7.2.4 D级检修诊断性试验项目

#### 7.2.4.1 中性点接地线直流电流测量

无直流隔离装置，出现持续异响或振动，或邻近变压器出现直流偏磁时适用。

- a) 采用钳型直流电流表进行测量，不超过制造厂允许值70%（注意值）。
- b) 如直流电流分量超过注意值，或声响及振动明显增大，应尽快在中性点安装直流隔离装置。长时间异响和振动后，应进行油中溶解气体分析，如有异常，宜尽快安排停电检修。

#### 7.2.4.2 声级及振动检测

疑似声响或振动异常，需要定量分析声级及振动时适用。

- a) 分别采用便携式声级计及振动计进行测量，声级及振动应符合设备技术要求；同比及互比应无明显偏大。
- b) 如声级或振动超过设备技术要求，应结合关联状态量尽快查明并排除诱因。

#### 7.2.4.3 有载分接开关机械特性检测

排查有载分接开关机械特性缺陷时适用。

- a) 驱动电机电流波形与原始指纹无明显差异；调节过程声响无异常。
- b) 如发现异常，宜尽早安排停电试验查明原因并修复。

#### 7.2.5 C级检修诊断性试验项目

##### 7.2.5.1 绕组低电压短路阻抗测试

排查磁屏蔽不良或绕组缺陷时适用。

在低频下开展，短路阻抗值与前一次测量值相比不大于 $\pm 5\%$ 。

##### 7.2.5.2 电压比测量和联结组别标号检定

解体维修后，或经历不良工况后，或无励磁开关改变位置后，排查绕组缺陷时适用。

- a) 试验在低频下开展。
- b) 各相应分接头的电压比与铭牌值相比，不应有显著差别，且符合规律。
- c) 额定分接头位置电压比|初值差| $\leq \pm 0.5\%$ ，其他分接头位置电压比应在变压器阻抗电压值(%)的1/10之内，但不得超过 $\pm 1\%$ 。
- d) 校核变压器极性必须与变压器铭牌和顶盖上的端子标识相一致。

##### 7.2.5.3 空载损耗及空载电流测量

长时间过励磁、高负载率运行，或受家族缺陷警示，排查铁芯及绕组缺陷时适用。

- a) 试验在低频下开展，宜在低压绕组加压，其他绕组开路，应在10%-110%额定电压下进行空载损耗和空载电流测量，条件允许时，可选在10%-115%额定电压下进行空载损耗和空载电流测量，并绘制出励磁曲线。
- b) 额定电压下的空载损耗和空载电流应与上一次测量结果无明显差别。

##### 7.2.5.4 绕组频率响应检测

更换绕组后，或运输及安装过程中受到冲击，或经历了出口短路、严重过励磁、直流偏磁等不良工况，排查绕组变形缺陷时适用。

- a) 采用变压器绕组频率响应测试仪对各绕组逐一检测，检测频率范围覆盖1kHz-1MHz。
- b) 频率响应曲线同比无明显变化，如同比有明显差异，应检查接线重测一次，仍有明显差异时应结合关联状态量查明原因。

##### 7.2.5.5 扫频短路阻抗检测

更换绕组后，或运输及安装过程中受到冲击，或经历了出口短路、严重过励磁、直流偏磁等不良工况，排查绕组变形缺陷时适用。

- a) 采用扫频阻抗测试仪器，或扫频信号发生器和宽频功率放大器联合检测，频率应覆盖10Hz-1kHz，相邻测点的频率间隔不宜大于10Hz。
- b) 各频点短路阻抗|初值差| $\leq 2\%$ (注意值)，否则应结合关联状态量查明原因。

##### 7.2.5.6 绕组频域介电谱检测

需要评估主绝缘受潮或老化状态时适用。

- a) 采用频域介电谱进行检测。双绕组变压器高压侧施加输出电压，低压侧测量响应电流，三绕组变压器中压侧施加输出电压，高压侧和低压侧连接在一起测量响应电流。
- b) 测试结果与原始指纹相比无明显向上偏移，介损最小值无明显增大，含水量符合设备技术要求。

#### 7.2.5.7 外施交流耐压试验

直接检验主绝缘强度时适用。

- a) 对分级绝缘变压器，应仅对中性点和低压绕组进行；对于全绝缘变压器，应对各绕组分别进行。
- b) 施加电压为出厂耐压值的80%，过程应无异常。

#### 7.2.5.8 长时感应耐压及局部放电试验

直接检验绕组绝缘强度并定量检测局部放电水平时适用。

- a) 试验频率应在90Hz以下。
- b) 施加电压为出厂耐压值的80%，耐压过程应无异常， $1.58U_r/\sqrt{3}$ 下放电量 $\leq 250\text{pC}$ 。

#### 7.2.5.9 绝缘纸聚合度检测

运行超过30年或长期高负载率运行，或糠醛判断存在严重老化，且有取样机会时适用。聚合度 $\geq 250$ （注意值），如检测结果不满足要求，宜退役。

#### 7.2.5.10 整体密封性能检测

解体检修或密封重新处理后时适用。

采用气泵在储油柜顶部施加0.035MPa气压，持续时间24h，应无渗漏油。

#### 7.2.5.11 振荡型操作波试验

检验纵绝缘及主绝缘强度时适用。

试验电压为出厂操作冲击耐压值的80%，过程无异常。

### 7.3 低频电抗器

#### 7.3.1 巡检项目

低频电抗器的巡检项目巡检基准周期为3个月。项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 红外热像一般检测；
- c) 紫外成像或超声检测。

#### 7.3.2 D级检修例行试验项目

##### 7.3.2.1 红外热像检测

定量检测设备或部件表面热场及热点温度时适用。

- a) 采用红外热像仪进行检测，户外精确检测宜在阴天或日落之后进行，风速宜小于1.5m/s，检测时应避开其他热辐射源干扰。

- b) 对于电流致热或综合致热型热点，宜在负荷水平较高时进行，分析时应考虑检测前一段时间内负荷电流的影响；对电压致热型热点，分析时应考虑电压波形的影响。
- c) 设备正常且工况相近时，设备表面的温度分布特征应无改变，各部件及电气连接处的热点温度同比及互比应无明显偏大，且最热点温度低于安全限值。

### 7.3.2.2 紫外成像检测

检测表面异常放电时适用（有条件时）。

- a) 采用紫外成像仪进行检测，要求紫外成像仪支持紫外光和可见光的自然叠加，能清晰观测异常放电的形态和具体位置。
- b) 检测时风速宜低于3级，并应避开其他光源的干扰。
- c) 设备正常时，应无异常放电，宜通过同比及互比进行分析。

### 7.3.3 C级检修例行试验项目

#### 7.3.3.1 例行检查

- a) 测温装置测温数据应在合理范围内或符合设备技术要求。
- b) 风冷系统控制策略的全部选项均正确响应。
- c) 智能控制柜（汇控柜）工作电源、线缆、温控等设备无异常，各IED工作状态无异常。
- d) 二次回路外观完好，绝缘电阻不小于 $2M\Omega$ 。

#### 7.3.3.2 绕组绝缘电阻测量

测试方法见7.2.3.4，绝缘电阻 $\geq 5000M\Omega$ 。

#### 7.3.3.3 绕组电阻测量

测试方法及要求见7.2.3.6。

### 7.3.4 D级检修诊断性试验项目

#### 7.3.4.1 声级检测

测试方法及要求见7.2.4.2，应符合设备技术要求。

### 7.3.5 C级检修诊断性试验项目

#### 7.3.5.1 电抗器电感值测量

- a) 采用数字电桥或其他适宜方式进行，测量电压为额定低频频率，对试品分别施加20Hz、30Hz、40Hz、50Hz、60Hz、80Hz、90Hz、120Hz频率下的交流电流，按照电压电流法进行测量计算各频率下的电感值。
- b)  $|\text{初值差}| \leq 2\%$ 。

#### 7.3.5.2 匝间绝缘试验

表面明显破损、脱落或龟裂，或整体/局部出现异常温度升高，或出现异常声响/振动时适用。宜采用高频脉冲振荡法。高低电压下响应波形无明显异常，试验过程中无异常声响及振动。

## 7.4 低频电压互感器

#### 7.4.1 巡检项目

低频电压互感器巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 红外热像一般检测；
- c) 油位检查（油浸式）；
- d) 气体密度表检查（充气）；
- e) 独立式合并单元检查（如有）；
- f) 二次电压检查；
- g) 电子设备检查（仅适用于电子式电压互感器）。

#### 7.4.2 D级检修例行试验项目

##### 7.4.2.1 红外热像检测

测试方法及要求见7.3.2.1。

#### 7.4.3 C级检修例行试验项目

##### 7.4.3.1 绕组绝缘电阻测量

- a) 一次绕组采用2500V绝缘电阻表进行测量（如可测），二次绕组采用1000V绝缘电阻表进行测量。测量时，被测绕组短路，非被测绕组开路接地。
- b) 一次绕组绝缘电阻 $\geq 3000M\Omega$ （注意值），二次绕组绝缘电阻 $\geq 100M\Omega$ （注意值），且同比及互比无明显偏低。

##### 7.4.3.2 介损测量

分析绝缘介质受损或受潮时适用。

- a) 宜采用介质损耗测试仪在**低频**下开展，优先采用正接法，不适宜正接法时采用反接法。
- b) 串级式主绝缘介损（20℃） $\leq 2\%$ （注意值），非串级式主绝缘介损（20℃） $\leq 0.5\%$ （注意值），支架绝缘介损（20℃） $\leq 5\%$ （注意值）。

##### 7.4.3.3 独立式合并单元检测

- a) 基本状态检查无异常，启动正常，指示灯/屏（如有）显示正常。
- b) 通信光纤检测无异常。
- c) 告警信息检查无异常，如有告警信息应逐一查明并消除原因。
- d) 电压比校核无异常，见7.4.4.2。

##### 7.4.3.4 绝缘油试验

进行外观和颜色检测、油中溶解气体分析、击穿电压检测、水分检测和介损检测等项目。

- a) 外观透明、无沉淀物或悬浮物，呈淡黄色或黄色。
- b) 油中溶解气体乙炔含量330kV及以上： $\leq 2\mu L/L$ （注意值），220kV及以下： $\leq 3\mu L/L$ （注意值）；氢气 $\leq 150\mu L/L$ （注意值）；总烃 $\leq 100\mu L/L$ （注意值）。
- c) 击穿电压500kV： $\geq 55kV$ （警示值），330kV： $\geq 50kV$ （警示值），220kV~66kV： $\geq 40kV$ （警示值），35kV： $\geq 35kV$ （警示值）。

- d) 水分检测330kV及以上： $\leq 15\text{mg/L}$ （注意值），220kV： $\leq 25\text{mg/L}$ （注意值），110kV及以下： $\leq 35\text{mg/L}$ （注意值）。
- e) 介损检测330kV及以上： $\leq 0.02$ （注意值），220kV及以下： $\leq 2\mu\text{L/L}$ （注意值）。

#### 7.4.3.5 气体试验

按需进行气体湿度检测、气体分解物检测、气体漏点侦寻、气体密度及成分分析、气体密度表校验、密封性检测和气体成分比例检测等。

#### 7.4.3.6 $\delta$ 端子对地绝缘电阻测量

- a) 采用1000V绝缘电阻表进行测量。
- b) 绝缘电阻 $\geq 1000\text{M}\Omega$ （注意值）。

#### 7.4.3.7 二次绕组绝缘电阻测量

- a) 采用1000V绝缘电阻表进行测量，二次绕组绝缘电阻包括二次绕组间及二次绕组对地的绝缘电阻。
- b) 绝缘电阻 $\geq 100\text{M}\Omega$ （注意值）。且同比及互比无明显偏低。

#### 7.4.3.8 分压电容器试验

- a) 采用5000V绝缘电阻表测量分压电容器极间绝缘电阻，采用介质损耗测试仪测量分压电容器的电容量和介损。多节串联时应分节独立测量。
- b) 极间绝缘 $\geq 5000\text{M}\Omega$ （注意值），电容量|初值差| $\leq 2\%$ （警示值），介损（油纸绝缘） $\leq 0.5\%$ （注意值），介损（膜纸复合） $\leq 0.25\%$ （注意值）。

#### 7.4.3.9 电子设备检测

- a) 基本状态检查无异常，启动正常，指示灯/屏（如有）显示正常。
- b) 通信光纤检测无异常。
- c) 激光供能模块检测无异常。
- d) 告警信息检查无异常，如有告警信息应逐一查明并消除原因。

### 7.4.4 C级检修诊断性试验项目

#### 7.4.4.1 绕组电阻测量

测试方法及要求见7.2.3.6。

#### 7.4.4.2 电压比较核

- a) 二次电压检查发现异常，或对绕组进行了维修或更换，或进行了交流耐压或局放试验，或对独立式合并单元进行了维修或更换时适用。
- b) 在低频下开展，在50%~100%额定电压范围内选择任一幅值的标准电压，从一次侧注入，测量各二次侧输出，如有合并单元，应以合并单元输出作为最终的二次侧输出。应符合设备技术要求。

#### 7.4.4.3 交流耐压及局放试验

- a) 电磁式电压互感器交流耐压试验一次侧加压幅值为出厂耐压值的80%，过程应无异常，二次侧施加电压2kV，过程应无异常； $1.2U_m/\sqrt{3}$ 下放电量 $\leq 20\text{pC}$ （注意值）。

- b) 电容式及电子式电压互感器交流耐压试验一次侧加压幅值为出厂耐压值的80%，过程应无异常； $1.2U_m/\sqrt{3}$ 下放电量 $\leq 10\text{pC}$ （注意值）。

#### 7.4.4.4 空载电流和励磁特性检测

解体维修、交流耐压及局放试验后，或继电保护等有要求时适用。

- a) 试验电压应为低频正弦波，可施加于一次绕组或二次绕组，测量点至少应包括额定电压的0.2倍、0.5倍、0.8倍、1.0倍、1.2倍、1.5倍下的电压值，测量出对应的励磁电流。
- b) 励磁特性应符合设备技术要求，各测点的空载电流和初值相比应无明显变化（在10%以内）。

#### 7.4.4.5 电磁单元感应耐压试验

需直接确认电磁单元绝缘强度时适用。

- a) 试验前先将电磁单元与电容分压器拆开，如不具备拆开条件，可不进行本项试验。
- b) 试验电压为出厂试验值的80%，耐压时间60s，过程应无异常。

#### 7.4.4.6 阻尼装置检查

二次电压异常，或受家族缺陷警示，或电磁单元进行解体维修后适用。

- a) 检查阻尼装置各元件（电感、电容和电阻）的参数值，同比及互比应无明显变化。
- b) 必要时，测量阻尼回路电流，应符合设备技术要求。

### 7.5 低频电流互感器

#### 7.5.1 巡检项目

低频电流互感器巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 红外热像一般检测；
- c) 油纸检查（油）；
- d) 气体密度表检查（充气）；
- e) 独立式合并单元检查（如有）；
- f) 二次电压检查；
- g) 电子设备检查（仅适用于电子式电流互感器）。

#### 7.5.2 D级检修例行试验项目

##### 7.5.2.1 红外热像检测

测试方法及要求见7.3.2.1。

#### 7.5.3 C级检修例行试验项目

##### 7.5.3.1 绝缘电阻测量

- a) 采用5000V绝缘电阻表测量一次绕组对地绝缘电阻，如有两个一次绕组，采用1000V绝缘电阻表测量两个一次绕组间绝缘电阻；采用1000V绝缘电阻表测量二次绕组间

及对地绝缘电阻，测量时，被测绕组短路，其他绕组接地；采用1000V绝缘电阻表测量末屏对地绝缘电阻（如有且可测）。

- b) 一次绕组对地： $\geq 3000\text{M}\Omega$ （注意值），一次绕组间： $\geq 100\text{M}\Omega$ （如有，注意值）；末屏对地： $\geq 1000\text{M}\Omega$ （如可测，注意值）；二次绕组间及对地： $\geq 100\text{M}\Omega$ （注意值）。

### 7.5.3.2 介损和电容量测量

低频下开展，测试方法见7.2.3.7。

- a) 各个绕组对地及各绕组间的介损（20℃）（注意值）500kV： $\leq 0.6\%$ ；330kV/220kV： $\leq 0.7\%$ ；110kV及以下： $\leq 0.8\%$ 。
- b) 电容量|初值差|220kV及以上 $\leq 3\%$ （警示值），110kV/66kV $\leq 5\%$ （警示值）。

### 7.5.3.3 独立式合并单元检测

测试方法及要求见7.4.3.3。

### 7.5.3.4 绝缘油试验

测试方法见7.4.3.4。其中油中溶解气体乙炔含量330kV及以上： $\leq 1\mu\text{L/L}$ （注意值），220kV及以下： $\leq 2\mu\text{L/L}$ （注意值）；氢气含量330kV及以上： $\leq 150\mu\text{L/L}$ （注意值），220kV及以下： $\leq 300\mu\text{L/L}$ （注意值）；总烃 $\leq 100\mu\text{L/L}$ （注意值）。其余要求同7.4.3.4。

### 7.5.3.5 气体试验

测试方法及要求见7.4.3.5。

### 7.5.3.6 一次绕组绝缘电阻测量

测试方法及要求见7.5.3.1。

### 7.5.3.7 光纤绝缘子直流泄露电流测量

排查光纤绝缘子绝缘缺陷时适用。

- a) 采用可调压直流电源测量，平稳升压至40kV（低电压等级可降低电压），持续5min，记录泄露电流。
- b) 初值差 $\leq 20\%$ 或符合设备技术要求。

### 7.5.3.8 电子设备检测

测试方法及要求见7.4.3.9。

## 7.5.4 C级检修诊断性试验项目

### 7.5.4.1 末屏介损测量

末屏绝缘电阻不满足要求时适用。

- a) 采用介质损耗仪进行测量，测试电压2kV。
- b) 末屏介损 $\leq 1.5\%$ （注意值）。

### 7.5.4.2 频域介电谱测量

排查油纸或干式绝缘受潮或老化时适用。

- a) 采用频域介电谱检测仪测量。仪器输出电压施加一次绕组，二次绕组短接接入电流测量端。
- b) 测试结果与原始指纹相比无明显向上偏移，介损最小值无明显增大，含水量符合设备技术要求。

#### 7.5.4.3 高电压介损测量

排查主绝缘缺陷时适用。

- a) 采用电桥法或其他适宜方法测量。测试电压应尽可能接近正弦波，频率为低频，幅值从10kV逐渐升至额定电压，期间测量主绝缘介损，获得介损随电压变化曲线。
- b) 介损随电压变化不超过 $\pm 0.15\%$ （注意值）。

#### 7.5.4.4 绕组电阻测量

测试方法及要求见7.4.4.1。

#### 7.5.4.5 电流比较核

二次电流检查发现异常，或对绕组进行了维修或更换，或进行了交流耐压或局放试验，或对独立式合并单元进行了维修或更换时适用。

在低频下开展，在50%-100%额定电流范围内选择任一幅值的标准电压，从一次侧注入，测量各二次侧输出，如有合并单元，应以合并单元输出作为最终的二次侧输出。应符合设备技术要求。

#### 7.5.4.6 交流耐压及局放试验

测试方法及要求见7.4.4.3。

#### 7.5.4.7 二次绕组绝缘电阻测量

排查二次绕组缺陷时适用。

- a) 采用250V绝缘电阻表测量二次绕组间及二次绕组对屏蔽壳的绝缘电阻，测量时被测绕组短路，非测量绕组与屏蔽壳连接。
- b) 绝缘电阻 $\geq 100M\Omega$ （注意值），或同比及互比无明显差异。

### 7.6 低频 SF<sub>6</sub> 断路器

#### 7.6.1 巡检项目

低频SF<sub>6</sub>断路器的巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 本体外观检查；
- b) 气体密度表检查；
- c) 智能控制柜/汇控柜检查；
- d) 操动机构检查；
- e) 红外热像一般检测；
- f) 运行监控信息调阅。

#### 7.6.2 D级检修例行试验项目

##### 7.6.2.1 红外热像检测

测试方法及要求见7.3.2.1。

### 7.6.2.2 局部放电带电检测

排查罐式断路器放电性缺陷时适用。

采用高频法、超声波法或其他适宜方法，不应检测到放电性缺陷。

### 7.6.3 C级检修例行试验项目

#### 7.6.3.1 例行检查和测试

##### 7.6.3.1.1 例行检查项目及要 求：

- a) 金属件无锈迹，如有应进行防腐处理。
- b) 操动机构无渗漏等异常，如有应修复；按力矩要求检查并紧固各螺栓。
- c) 轴、销、锁扣及机械传动部件无变形、松脱等异常，如有应修复。
- d) 操动机构内外无积污，积污严重时宜进行清洁，轴承等活动部件按设备技术要求进行润滑。
- e) 检查缓冲器、防跳跃装置，应符合设备技术要求。
- f) 检查联锁和闭锁装置，应符合安全联锁和闭锁要求。

##### 7.6.3.1.2 例行测试项目及要 求：

- a) 采用500V绝缘电阻表测量分、合闸线圈对地绝缘电阻，应大于10M $\Omega$ 。
- b) 采用数字电桥或其他适用方法测量分、合闸线圈电阻，初值差不应超过 $\pm 2\%$ 。
- c) 检查储能电机，应能在85%~110%的额定电压下正常工作。
- d) 辅助回路和控制回路线缆完好，电缆绝缘电阻不小于2M $\Omega$ 。
- e) 85%~110%的额定电压下合闸脱扣器可靠动作；65%~110%的额定电压（直流）或85%~110%的额定电压（交流）下分闸脱扣器可靠动作；低于30%额定电压时，脱扣器不应脱扣。

##### 7.6.3.1.3 液（气）压操动机构还应进行下列检查或试验：

- a) 检查机构操作压力（气压、液压）的整定值，并对机械安全阀进行校验。
- b) 检查分、合闸及重合闸操作时的压力下降值，应符合设备技术要求。
- c) 在分、合闸位置分别进行操动机构的泄漏试验，应符合设备技术要求。
- d) 进行防失压慢分试验和非全相合闸试验，应符合设备技术要求。

#### 7.6.3.2 时间特性检测

- a) 采用开关特性测试仪在额定电源电压下测试。
- b) 合、分闸时间，合、分闸不同期，合-分及分-合-分时间均满足警示值要求或符合设备技术要求，且同比无明显改变。

#### 7.6.3.3 主回路绝缘电阻测量

- a) 分别测量分闸状态下断口间及合闸状态下主回路对地的绝缘电阻。如有多个断口，应逐一测量各断口间的绝缘电阻。
- b) 主回路绝缘电阻 $\geq 5000\text{M}\Omega$ （注意值）。

#### 7.6.3.4 主回路电阻测量

- a) 在合闸状态下测量进、出线之间的回路电阻。如长期未操作，可操作几次后再进行测量。
- b) 主回路电阻初值差 $\leq 20\%$ （注意值）或符合制造厂要求；同比及互比无明显增大。

#### 7.6.3.5 断口并联电容器检测

- a) 宜采用介质损耗测试仪在低频下开展，优先采用正接法，不适宜正接法时采用反接法。
- b) 对于瓷柱式断路器，与断口一起检测；对于罐式断路器，宜单独检测，如不具备条件可在分闸状态下与断口一起检测。
- c) 电容量|初值差| $\leq 3\%$ （警示值），介损（油浸纸） $\leq 0.5\%$ （注意值），介损（膜纸复合） $\leq 0.25\%$ （注意值），陶瓷电容介损同比及互比无明显偏大。

#### 7.6.3.6 合闸电阻及预接入时间测量

- a) 采用数字电桥或其他适宜方法对合闸电阻阻值测量；预接入时间按制造厂提供的方法测量。
- b) 电阻值|初值差| $\leq 5\%$ （注意值），预接入时间符合设备技术要求。

#### 7.6.3.7 智能终端功能检测

- a) 逐一检查全部开入、开出，应无异常。
- b) 就地与远方各进行一次分、合操作，要求操作正确、状态指示正确，通信正常。
- c) 通信光纤检测无异常。
- d) 通过线上巡检方式调阅告警信息，如有，应查明并消除告警原因。
- e) 重新投运前，所有异常应予以排除。

#### 7.6.3.8 气体试验

测试方法及要求见7.4.3.5。

### 7.6.4 C级检修诊断性试验项目

#### 7.6.4.1 机械行程特性及动态回路电阻测试

受家族缺陷警示，或开断过短路电流后适用。

- a) 采用电压、电流、位移等传感器及波形记录仪搭建测试系统，或采用专用测试系统，记录整个分、合闸过程中触头行程及主回路电阻。测试电流宜大于100A，采用速率不小于10kSa/s。
- b) 机械行程特性与原始指纹相比无明显改变；动态回路电阻与原始指纹比变化在允许范围内。

#### 7.6.4.2 交流耐压试验

解体检修后，或受家族缺陷警示，需直接确认主绝缘强度时适用。

- a) 耐压试验包括相对地（合闸状态）和断口间（罐式、瓷柱式定开距断路器，分闸状态）两种。
- b) 施加电压为出厂耐压值的80%，过程应无异常。

### 7.7 低频真空断路器

#### 7.7.1 巡检项目

低频真空断路器的巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 本体外观检查；
- b) 智能控制柜/汇控柜检查；
- c) 操动机构检查；
- d) 红外热像一般检测；
- e) 运行监控信息调阅。

#### 7.7.2 D级检修例行试验项目

##### 7.7.2.1 红外热像检测

测试方法及要求见7.3.2.1。

#### 7.7.3 C级检修例行试验项目

##### 7.7.3.1 例行检查和测试

测试方法及要求见7.6.3.1。

##### 7.7.3.2 时间特性检测

测试方法及要求见7.6.3.2。

##### 7.7.3.3 主回路绝缘电阻测量

测试方法及要求见7.6.3.3。

##### 7.7.3.4 主回路电阻测量

测试方法及要求见7.6.3.4。

##### 7.7.3.5 断口并联电容器检测

测试方法及要求见7.6.3.5。

##### 7.7.3.6 智能终端功能检测

测试方法及要求见7.6.3.7。

#### 7.7.4 C级检修诊断性试验项目

##### 7.7.4.1 机械行程特性曲线测试

测试方法及要求见7.6.4.1。

##### 7.7.4.2 交流耐压试验

解体检修后，或受家族缺陷警示，需直接确认主绝缘强度时适用。

- a) 耐压试验包括相对地（合闸状态）、断口间（分闸状态）和相邻相间（三相一体式）三种方式。
- b) 施加电压为出厂耐压值的100%，过程应无异常。如出现异常，缺陷排除前不应投运。

#### 7.8 低频隔离开关及接地开关

##### 7.8.1 巡检项目

低频隔离开关及接地开关的巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 机构箱检查；
- c) 红外热像一般检测；
- d) 在线监测信息调阅（如有）。

## 7.8.2 D级检修例行试验项目

### 7.8.2.1 红外热像检测

测试方法及要求见7.3.2.1。

## 7.8.3 C级检修例行试验项目

### 7.8.3.1 例行检查

- a) 接地连接良好。
- b) 操动机构内外无积污，积污严重时宜进行清洁，轴承等活动部件按设备技术要求进行润滑。
- c) 动、静触头无严重损伤、烧蚀，否则应予以更换；如脏污严重应清洁。
- d) 弹簧触指压紧力应符合设备技术要求。
- e) 二次回路外观完好，绝缘电阻不小于 $2M\Omega$ 。
- f) 闭锁装置功能正常。
- g) 就地 and 远方操作2次，传动部件应灵活无卡滞。

### 7.8.3.2 主回路绝缘电阻测量

测试方法及要求见7.6.3.3。

### 7.8.3.3 主回路电阻测量

测试方法及要求见7.6.3.4。

## 7.8.4 C级检修诊断性试验项目

### 7.8.4.1 触头镀银层厚度检测

有停电机会，且自上次检测以来累计操作100次以上，或回路电阻超标时适用。

- a) 采用X射线荧光镀层测厚仪或具备镀银层测厚功能的便携式光谱仪等检测。
- b) 新投运设备镀银层厚度应不小于 $20\mu m$ ，运行中设备镀银层厚度应不小于 $5\mu m$ 。

### 7.8.4.2 超B类（B类）接地开关辅助灭弧装置回路电阻测量

有停电机会，且自上次检测以来累计操作100次以上时适用。

- a) 在合闸状态下测量进、出线之间的回路电阻。如长期未操作，可操作几次后再进行测量。
- b) 回路电阻初值差 $\leq 20\%$ （注意值）或符合制造厂要求；同比及互比无明显增大。

### 7.8.4.3 传动机构轴销材质分析

从未检测且有停电机会，或更换相关部件后适用。

- a) 可采用X射线荧光光谱分析仪进行不锈钢材质检测。

- b) 材质应为不锈钢或铝青铜，或其他符合设备技术要求的材质。如不符合要求，应更换合格部件。

## 7.9 低频高压开关柜

### 7.9.1 巡检项目

低频高压开关柜的巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 电子设备检查（如有）；
- c) 红外热像一般检测（如可测）；
- d) 在线监测信息调阅（如有）。

### 7.9.2 D级检修例行试验项目

#### 7.9.2.1 暂态地电压测量

- a) 采用暂态地电压检测仪进行测量。应在设备投入运行后30min后进行，如有雷电活动应停止。
- b) 相对值 $\leq 20$ dBmV（注意值），如异常，可通过同比或互比并结合其他局放检测方法综合分析。

#### 7.9.2.2 超声波检测

- a) 采用非接触式空气耦合超声波局部放电检测仪检测，应在可能存在放电缺陷的邻近位置进行。
- b) 不应检测到放电性缺陷。如异常，可通过同比或互比并结合其他局放检测方法综合分析。

#### 7.9.2.3 特高频检测

- a) 采用特高频局部放电检测仪测量。应在设备投入运行后30min后进行，并在雷电活动时禁止。
- b) 不应检测到放电性缺陷。如异常，可通过同比或互比并结合其他局放检测方法综合分析。

### 7.9.3 C级检修例行试验项目

#### 7.9.3.1 常规检查

- a) 各元件固定、连接牢固，外观无异常，无发热变色。
- b) 活门、手车轨道无异常。
- c) 压力释放装置无异常，释放出口无障碍物。
- d) 触头盒、支柱绝缘子、穿板套管等外观完好、清洁。
- e) 带电显示装置外观完好，显示清晰，显示状态正确；传感单元、显示单元、联锁信号输出单元及附件无异常，功能及性能符合设备技术要求。

#### 7.9.3.2 主回路绝缘电阻测量

- a) 使整段母线的开关柜断路器均处于合闸状态，采用2500V绝缘电阻表测量主回路对地绝缘电阻。

- b) 主回路绝缘电阻 $\geq 1000\text{M}\Omega$ （注意值）或符合设计要求。否则，应逐段测试，确定异常部位。

#### 7.9.3.3 主回路电阻测量

- a) 使整段母线的开关柜断路器均处于合闸状态，采用回路电阻测试仪测量进、出线之间的回路电阻。如长期未操作，可操作几次后再进行测量。
- b) 主回路电阻初值差 $\leq 20\%$ （注意值）或符合制造厂要求；同比及互比无明显增大。

#### 7.9.3.4 主回路交流耐压试验

- a) 使整段母线的开关柜断路器均处于合闸状态，试验电压逐次施加于各相对地及相间，试验前，应将避雷器及带电显示装置与主回路断开。
- b) 施加电压为出厂耐压值的80%，过程应无异常。如出现击穿，应找到并修复或更换击穿部件。

#### 7.9.3.5 断路器操动机构动作电压检测

- a) 85%~110%的额定电压下合闸脱扣器可靠动作；65%~110%的额定电压（直流）或85%~110%的额定电压（交流）下分闸脱扣器可靠动作；低于30%额定电压时，脱扣器不应脱扣。
- b) 若为电磁机构，合闸电磁铁线圈通流时的端电压达到操作电源额定电压的80%（关合峰值电流大于等于50kA时为85%）时应可靠动作。

#### 7.9.3.6 断路器时间特性检测

测试方法及要求见7.6.3.2。

#### 7.9.3.7 断路器主回路绝缘电阻测量

测试方法及要求见7.6.3.3。

#### 7.9.3.8 断路器主回路电阻测量

测试方法及要求见7.6.3.4。

#### 7.9.3.9 断路器交流耐压试验

测试方法及要求见7.6.4.2。

#### 7.9.3.10 二次回路对地绝缘电阻测量

- a) 采用250V绝缘电阻表测量二次回路对地的绝缘电阻。
- b) 绝缘电阻 $\geq 2\text{M}\Omega$ （注意值），或同比及互比无明显差异。

#### 7.9.3.11 “五防”性能检查

- a) 防止误分、误合断路器。
  - b) 防止带负荷拉、合隔离开关。
  - c) 防止带电（挂）合接线（线）开关。
  - d) 防止带接地线（开关）合断路器。
  - e) 防止误入带电间隔。
- 以上仅进行实施部分，要求各项功能正确，否则应修复。

### 7.9.3.12 气体湿度检测

- a) 采用电解法或露点法或光腔衰荡光谱法进行测量。
- b) 新充气设备： $\leq 150 \mu\text{L/L}$ （注意值），运行中： $\leq 300 \mu\text{L/L}$ （注意值）。

### 7.9.3.13 气体密度表检验

示值异常的表或达到抽检周期的表适用。

可带电检验的，每站每3年进行一次抽检；不可带电检验的，有停电机机会且超过3年未检验也进行一次抽检。抽检比例为10%，但不少于5只。

## 7.9.4 C级检修诊断性试验项目

### 7.9.4.1 二次回路交流耐压试验

全部或部分更换辅助回路及控制回路后适用。

可采用2500V绝缘电阻表测量1次二次回路对地绝缘电阻代替。

### 7.9.4.2 断路器机械行程特性及动态回路电阻测试

测试方法及要求见7.6.4.1。

### 7.9.4.3 整体局部放电试验

有条件时，排查空气绝缘开关柜内放电性缺陷时适用。

- a) 采用脉冲电流法进行测量，试验回路宜选择测量阻抗与耦合电容器串联的直接法。。
- b) 现场局放试验过程中无放电性缺陷。

## 7.10 低频组合电器

### 7.10.1 整体巡检项目

低频组合电器可整合设备有SF<sub>6</sub>断路器、隔离开关及接地开关、电流互感器、电压互感器、金属氧化物避雷器等，根据设备类型划分为各个气室。低频组合电器的巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 红外热像一般检测；
- c) 气体密度表检查；
- d) 智能控制柜/汇控柜检查；
- e) 断路器操动机构检查；
- f) 电流互感器二次电流检查；
- g) 电压互感器二次电压检查；
- h) 运行监控信息调阅。

### 7.10.2 D级检修例行试验项目

#### 7.10.2.1 红外热像检测

测试方法及要求见7.3.2.1。

#### 7.10.2.2 局部放电带电检测

可采用高频法、超声波法或其他适宜方法，不应检测到放电性缺陷。

### 7.10.3 C级检修例行试验项目

#### 7.10.3.1 主回路对地绝缘电阻测量

测试方法及要求见7.6.3.3。

#### 7.10.3.2 主回路电阻测量

测试方法及要求见7.6.3.4。

#### 7.10.3.3 气体试验

测试方法及要求见7.4.3.5。

### 7.10.4 D级检修诊断性试验项目

#### 7.10.4.1 GIS外壳振动检测

壳体存在异常振动时适用。采用振动测量仪进行测量，测点振幅及频谱等同比及互比无明显差异。

#### 7.10.4.2 GIS外壳超声探伤

排查外壳及焊接缺陷时适用。采用超声探伤仪进行探测，焊缝和焊道无明显瑕疵。

#### 7.10.4.3 X射线照相检查

需确认外壳焊接状态及内部部件形态时适用。

- a) 采用X射线成像系统进行检查，试验按照使用说明做好辐射防护。
- b) 隔离开关和接地开关分、合闸完全到位；外壳焊缝和焊道无明显瑕疵；无紧固件松动等结构性异常。

### 7.10.5 C级检修诊断性试验项目

#### 7.10.5.1 主回路交流耐压及局放试验

需直接确认绝缘强度，排查放电性缺陷时适用。

- a) 试验电压为出厂试验值80%，时间为60s，试验前应将金属氧化物避雷器与主回路断开，电压互感器是否需断开咨询制造厂意见。试验结束后恢复试验前连接，并施加运行电压5min老练试验。
- b) 试验过程应无异常。如发生击穿，应打开发生击穿的隔室检查，确认放电部位。有绝缘损伤或闪络痕迹的绝缘部件应予以更换。

#### 7.10.5.2 主回路雷电冲击耐压试验

有条件且需直接确认绝缘强度时适用。

- a) 优先采用非振荡波形，条件不足时可采用振荡波形。正负极性的雷电冲击耐压试验应分别考核。
- b) 试验过程应无异常。如发生击穿，应定位故障隔室，确认故障原因，修复后重新进行各项试验。

### 7.11 低频穿墙套管

#### 7.11.1 巡检项目

低频穿墙套管的巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 红外热像一般检测；
- c) 油位检查（油纸）；
- d) 气体密度表检查（充气）；
- e) 在线监测信息调阅（如有）。

#### 7.11.2 D级检修例行试验项目

##### 7.11.2.1 红外热像检测

测试方法及要求见7.3.2.1。

##### 7.11.2.2 相对介损检测

- a) 宜选择同母线下同相的电容型设备为参考设备，优先选择同型设备。
- b)  $|\text{相对介损}| \leq 0.3\%$ （注意值）， $|\text{电容初值差}| \leq 3\%$ （注意值）。

#### 7.11.3 C级检修例行试验项目

##### 7.11.3.1 绝缘电阻测量

测试方法见7.2.3.4。主绝缘： $\geq 10000\text{M}\Omega$ （注意值）；末屏对地： $\geq 1000\text{M}\Omega$ （注意值）。

##### 7.11.3.2 电容量和介损测量

测试方法见7.2.3.7。介损（20℃）（注意值）：500kV $\leq 0.6\%$ ；330kV/220kV $\leq 0.7\%$ ；110kV及以下 $\leq 0.8\%$ ；电容量（警示值）：220kV及以上 $|\text{初值差}| \leq 3\%$ ；110kV及以下 $|\text{初值差}| \leq 5\%$ 。

##### 7.11.3.3 气体试验

测试方法及要求见7.4.3.5。

#### 7.11.4 D级检修诊断性试验项目

##### 7.11.4.1 局部放电带电检测

测试方法及要求见7.10.2.2。

#### 7.11.5 C级检修诊断性试验项目

##### 7.11.5.1 绝缘油试验

测试方法见7.4.3.4。其中油中溶解气体乙炔含量330kV及以上： $\leq 1\mu\text{L/L}$ （注意值），220kV及以下： $\leq 2\mu\text{L/L}$ （注意值）；氢气含量 $\leq 500\mu\text{L/L}$ （注意值）；总烃 $\leq 150\mu\text{L/L}$ （注意值）。其余要求同7.4.3.4。

##### 7.11.5.2 末屏介损测量

测试方法及要求见7.5.4.1。

##### 7.11.5.3 频域介电谱测量

测试方法及要求见7.5.4.2。

#### 7.11.5.4 高电压介损测量

测试方法及要求见7.5.4.3。

#### 7.11.5.5 交流耐压及局放试验

直接确认绝缘强度、排查放电性缺陷时适用。变压器或电抗器套管需拆下并安装在专门的油箱中进行。耐压施加电压为出厂试验值的80%，时间60s， $1.05U_m/\sqrt{3}$ 下放电量小于等于10pC（注意值）。

### 7.12 低频避雷器

#### 7.12.1 巡检项目

低频避雷器的巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 红外热像一般检测；
- c) 持续电流表检查（如有）；
- d) 放电计数器检查；
- e) 在线监测信息调阅（如有）。

#### 7.12.2 D级检修例行试验项目

##### 7.12.2.1 红外热像检测

测试方法及要求见7.3.2.1。

##### 7.12.2.2 阻性电流测量

- a) 采用避雷器阻性电流测试仪进行测量，宜选择同母线、同相别电压互感器提供参考相位。
- b) 要求测量值同比、互比无明显偏大，否则应跟踪分析。

#### 7.12.3 C级检修例行试验项目

##### 7.12.3.1 底座绝缘电阻测量

采用2500V绝缘电阻表进行测量，绝缘电阻 $\geq 100M\Omega$ （注意值）。

##### 7.12.3.2 放电计数器功能检测

采用放电计数器检测仪进行检测。要求计数功能正常，远传正常（如有）。

##### 7.12.3.3 直流参考电压及0.75倍直流参考电压下泄露电流测量

如开展了阻性电流带电检测，则220kV及以下可不进行本项测量。

- a) 对于单相多节串联结构，应逐节进行。采用可调压直流电源，施加于单节避雷器的两端，平稳升压，直到漏电流达到直流参考电流，此时避雷器两端电压即为直流参考电压。然后将电压将至0.75倍直流参考电压，测量流过避雷器的漏电流。
- b) 直流参考电压|初值差| $\leq 5\%$ （注意值）；多支并联时|互差| $\leq 2\%$ （注意值）。

- c) 0.75倍直流参考电压下漏电流 $\leq 50 \mu\text{A}$ 或初值差 $\leq 30\%$ （注意值），同比及互比无明显偏大。

#### 7.12.4 C级检修诊断性试验项目

##### 7.12.4.1 均压电容器容量测量

排查均压电容器缺陷时适用。

- a) 单相多节串联结构，应逐节进行。
- b) 容量|初值差| $\leq 3\%$ （注意值），符合设备技术要求。

#### 7.13 低频启动电阻器

##### 7.13.1 巡检项目

低频启动电阻器的巡检基准周期为330kV及以上：2周；220kV：1个月；110kV/66kV：3个月。项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 红外热像一般检测。

##### 7.13.2 D级检修例行试验项目

###### 7.13.2.1 外观及一般检查

- a) 电阻器外观不应有明显变形。
- b) 套管、绝缘子表面应无损伤，应符合各自产品标准要求。
- c) 按图纸检查总体安装应正确，接线应可靠。
- d) 电阻器内部应无杂物。

##### 7.13.3 C级检修例行试验项目

###### 7.13.3.1 额定电阻值测量

应在额定频率下对电阻值进行测量，结果考虑温度校正后应在规定的误差范围内，需现场进行绝缘电阻试验。

##### 7.13.4 C级检修诊断性试验项目

###### 7.13.4.1 工频耐压试验

交流侧启动电阻端子对外壳、端子及外壳对地、多模块串联的启动电阻模块间应进行工频耐压试验，试验电压升至规定的耐受电压，持续1min。期间应无击穿，无闪络，泄露电流无明显增大。

#### 7.14 低频换频阀

##### 7.14.1 巡检项目

低频换频阀的巡检基准周期为 $\pm 320\text{kV}$ 及以上：1周； $\pm 320\text{kV} \sim \pm 100\text{kV}$ ：2周； $\pm 100\text{kV}$ 以下：1个月。项目如下：

- a) 阀厅巡检；
- b) 运行监控信息调阅；
- c) 红外热像一般检测。

## 7.14.2 D级检修例行试验项目

### 7.14.2.1 红外热像检测

测试方法及要求见7.3.2.1。

### 7.14.2.2 紫外成像检测

测试方法及要求见7.3.2.2。

## 7.14.3 C级检修例行试验项目

### 7.14.3.1 阀本体漏水检测装置功能测试

采用人工注水的方式模拟漏水故障，检验阀控设备上有无告警信号。当注水量达到告警上限前应正确告警，正确告警后再重复测试一次。测试结束后，手动复归告警。

### 7.14.3.2 阀本体及附属设备检查及处理

- a) 所有电气件连接形态完好，无松动；各支撑绝缘件清洁、干燥，无破损及电蚀痕迹。
- b) 阀电抗器表面无过热变色，无碳化点；阀避雷器及其电子单元无异常。
- c) 连接水管、阀门及接头无渗漏水，螺栓紧固标记线清晰无错位。
- d) 光纤槽外观完好，无光纤脱出；光纤排列整齐，未见断纤；光缆接头锁扣到位。
- e) 晶闸管控制单元及反向恢复器保护单元（如有）外观无异常，插紧到位。
- f) 组件电容和均压电容外壳无鼓起，连接牢固，金属部分无锈蚀。

### 7.14.3.3 通流回路及元器件连接状态检测

- a) 通流回路及元器件连接良好，接头无氧化、变色。
- b) 螺栓紧固标记线清晰无错位。
- c) 每个阀塔抽检不少于3个主回路接头，测量回路电阻，其值与初值比无明显增大。

### 7.14.3.4 均压电极抽检及处理

- a) 每个阀塔每次抽检上下部各1只均压电极，磨除水垢后（如有）采用专用抹布蘸清水均匀擦拭。
- b) 电极水中部分体积减少 $\leq 20\%$ （注意值），O型密封圈弹性良好无裂纹。

### 7.14.3.5 通信光纤检查

- a) 符合设备技术要求。
- b) 衰减 $\leq 3\text{dB}$ （注意值）。

### 7.14.3.6 阀电抗器绕组电阻测量

测试方法见7.2.3.6，绕组电阻|初值差| $\leq 2\%$ （警示值）。

### 7.14.3.7 晶闸管元件级检测

宜采用制造厂提供的专用测试设备，一次至少抽检一个单阀，应进行短路检测、阻抗检测、触发检测、保护性触发检测，应符合制造厂要求，且同比与互比应无明显差异。

### 7.14.3.8 组件电容电容量测量

一次至少抽检一个单阀的所有组件电容，采用数字电桥或其他适宜方法测量，应符合制造厂要求。

#### 7.14.3.9 冷却水管路密封性检测

在停泵状态下，对冷却水管路施加1.2倍（运行10年及以上宜为1.05~1.1倍）的额定运行压力，持续30min；如制造厂另有要求，按制造厂要求进行。冷却水管路应无渗漏。

#### 7.14.3.10 阀避雷器检测

测试方法及要求见7.12.2~7.12.4。

### 7.15 交流耗能装置

#### 7.15.1 巡检项目

交流耗能装置由晶闸管阀和耗能电阻组成，晶闸管阀的巡检项目参考7.14.1执行，耗能电阻的巡检项目参考设备制造厂家的相关规定执行。

#### 7.15.2 试验项目

交流耗能装置晶闸管阀的试验项目同7.14.2~7.14.3，耗能电阻的试验项目如下。

##### 7.15.2.1 外观及一般检查

测试方法及要求见7.13.2.1。

##### 7.15.2.2 冷态电阻值测量

应根据电阻值大小，选择合适的测试仪器进行测量，通常用准确度0.5级的仪器测量电阻值 $R_s$ ，用温度计记录试品所处地点的环境温度。

将测试数据折算为环境温度25℃的电阻值，其值应符合规定要求。

##### 7.15.2.3 工频耐压试验

试验在电阻器单元上进行，将电阻元件与外罩连接线断开，试验电压加至高压出线端，外罩接地。试验电压升至规定的耐受电压，持续1min。期间应无击穿，无闪络。