ICS 19.020

CCS K85

团体标准

发 布

中国电机工程学会

20XX—XX—XX实施

20XX—XX—XX发布

12kV C4F7N/CO2混合气体绝缘

交流金属封闭开关设备和控制设备技术规范

Technical specification for 12kV C4F7N/CO2 gas mixture insulated

alternating-current metal-enclosed switchgear and controlgear

（征求意见稿）

T/CSEE XXXX—YYYY

目 次

[目 次 1](#_Toc558)

[前 言 2](#_Toc1303)

[1 范围 1](#_Toc15774)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc30585)

[3 术语和定义 2](#_Toc27144)

[4 使用条件 2](#_Toc4775)

[5 设备型号和定义 3](#_Toc13774)

[6 额定值 3](#_Toc23422)

[7 设计和结构 5](#_Toc19057)

[8 型式试验 10](#_Toc30019)

[9 出厂试验 14](#_Toc1728)

[10 交接试验 16](#_Toc29085)

[11 选用导则 17](#_Toc4984)

[12 查询、投标和订货时提供的材料 19](#_Toc1350)

[13 运输、贮存、安装、运行和维护规则 19](#_Toc28076)

[14 安全 22](#_Toc28475)

[附录A （资料性附录）：C4混合气体液化温度曲线 23](#_Toc7607)

# 前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》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高电压技术标准专业委员会技术归口和解释。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司，国家电网有限公司，湖南长高成套电器有限公司，国网安徽省电力有限公司电力科学研究院，山东泰开电力开关有限公司等。

本文件主要起草人：高克利，李志兵，葛栋，黄印，颜湘莲，兰剑，文伟，罗满勤，罗建，赵跃，刘伟，张志国等。

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）。

**12kV C4F7N/CO2混合气体绝缘交流金属封闭**

**开关设备和控制设备技术规范**

1. 范围

本文件规定了C4F7N/CO2混合气体绝缘交流金属封闭开关设备和控制设备（简称C4F7N/CO2混合气体绝缘环网柜）的术语和定义、使用条件、额定值、设计和结构、型式试验、特殊校核及试验、出厂试验、交接试验、选用导则、查询、投标和订货时提供的材料、[运输、贮存、安装、运行、维护规则和](#_Toc18131)安全性等各项技术要求。

本文件适用于额定电压12 kV、频率50 Hz、充气隔室内装有固定式元件，充有绝缘用C4F7N/CO2混合气体的户内、户外（间接）安装的环网柜，包括真空断路器柜、电缆连接柜、PT柜等方案。

1. 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 311.1 绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则

GB/T 1984—2014 高压交流断路器

GB/T 1985—2014 高压交流隔离开关和接地开关

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验办法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验第2部分：试验办法 试验B：高温

GB/T 2900.20 电工术语 高压开关设备和控制设备

GB/T 3906—2020 3.6kV~40.5kV交流金属封闭开关设备和控制设备

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 20840.2 互感器 第2部分：电流互感器的补充技术要求

GB/T 20840.3 互感器 第3部分：电磁式电压互感器的补充技术要求

GB/T 23938 高纯二氧化碳

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

DL/T 402—2016 高压交流断路器

DL/T 403 高压交流真空断路器

DL/T 404—2018 3.6 kV~40.5 kV交流金属封闭开关设备和控制设备

DL/T 486 高压交流隔离开关和接地开关

DL/T 538 高压带电显示装置

DL/T 593—2016 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

JB/T 8754 高压开关设备和控制设备型号编制办法

Q/GDW 10370—2016 配电网技术导则

Q/GDW 11250—2018 12 kV环网柜（箱）选型技术原则和检测技术规范

T/CSEE 0308—2022 电气设备用全氟异丁腈气体

1. 术语和定义

GB/T 2900.20和DL/T 402中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

**C4F7N/CO2混合气体 C4F7N/CO2 gas mixture**

全氟异丁腈气体（**C4F7N**）与CO2气体按一定体积占比构成的气体混合物，以下简称C4。

3.2

**混合比 mixing ratio**

C4混合气体中C4占混合气体总体积的百分数。

3.3

**C4混合气体绝缘环网柜 C4 gas mixture insulated ring main unit**

采用C4混合气体作为主绝缘介质充入全密封结构的交流金属封闭开关设备，简称C4环网柜。在密封气室中装入真空断路器、三工位隔离/接地开关、导体、套管等主导电元件的单一或组合具有一定功能的模块。

1. 使用条件

4.1 正常使用条件

户内、户外（间接）设备应符合DL/T 593—2016中第2.2条的规定，并作如下补充：

a）在户内配电房使用时，设备安装室内应具有良好的通风系统，通风量应保证在15 min内换气一次。抽风口应设在室内下部，且不应朝向居民住宅、办公室或行人。

b）设备安装室底部推荐安装C4专用检漏仪和氧量仪，当C4气体浓度超过650 μL/L，含氧量低于18 %时，仪器应报警。

4.2 特殊使用条件

户内、户外（间接）设备分别符合DL/T 593—2016中第2.3条的规定，并作如下补充：

a）周围环境空气温度低于−25 oC时，应提出防冻害措施。

b）应用于海拔>1000m以上地区的设备，其外绝缘应按DL/T 593—2016中第2.3.2条的要求进行修正。

4.3 系统条件

本标准所规定的C4环网柜，应适用于以下条件的电力系统：

a）系统额定频率：50 Hz。

b）系统标称电压：10 kV。

c）系统最高运行电压：12 kV。

d）系统中性点接地方式：中性点非有效接地，例如经消弧线圈接地或经小电阻接地。

1. 设备型号和定义

设备型号和定义应符合JB/T 8754中的规定。

1. 额定值

6.1 概述

C4环网柜的额定值从下列各项值选取：

a）额定电压（*U*r）；

b）额定绝缘水平；

c）额定频率（*f*r）；

d）额定电流（*I*r）和温升；

e）额定短时耐受电流（*I*k）（主回路的*I*k和接地回路的*I*ke）；

f）额定峰值耐受电流（*I*p）（主回路的*I*p和接地回路的*I*pe）；

g）额定短路持续时间（*t*k）（主回路的*t*k和接地回路的*t*ke）；

h）合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源电压（*U*a）；

i）合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源频率；

j）额定和最低功能压力（C4混合气体）；

k）额定混合比（C4混合气体）；

l）内部电弧级（IAC）的额定值；

m）额定短路开断电流（*I*cs）；

n）额定断路关合电流。

6.2 额定电压（*U*r）

额定电压标准值为12 kV。

6.3 额定绝缘水平

按GB/T 311.1和DL/T 593中的规定，C4环网柜额定绝缘水平应符合表1的要求。

表1 C4环网柜额定绝缘水平

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 额定电压 | kV | 12 |
| 额定1min工频耐受电压 | 相间及相对地 | kV | 42 |
| 断口 | kV | 48 |
| 额定雷电冲击耐受电压（峰值） | 相间及相对地 | kV | 75 |
| 断口 | kV | 85 |
| 辅助回路和控制回路的工频耐受电压 | kV | 2 |

6.4 额定频率（*f*r）

按DL/T 593—2016中第4.4条的规定。

6.5 额定电流（*I*r）和温升

6.5.1 额定电流（*I*r）

按DL/T 593—2016中第4.5.1条的规定，并作如下补充：

C4环网柜的某些主回路（如母线、馈电线路等）可以有不同的额定电流值。

6.5.2 温升

6.5.2.1 主回路元件

按DL/T 593—2016中第4.5.2条和第4.5.3条的规定，并作如下补充：

C4环网柜中的母线连接器、绝缘母线等的温升应按主回路元件考核，不得超过各自标准规定的限值。

6.6 额定短时耐受电流（*I*K）

额定短时耐受电流按DL/T 593—2016中第4.6条的规定。

6.7 额定峰值耐受电流（*I*P）

按DL/T 593—2016中第4.7条的规定。

6.8 额定短路持续时间（*t*k）

按DL/T 593—2016中第4.8条的规定。

6.9 合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源电压（*U*a）

按DL/T 593—2016中第4.9条的规定。

6.10 合、分闸装置和辅助、控制回路的额定电源频率

按DL/T 593—2016中第4.10条的规定。

6.11 额定和最低功能压力（C4混合气体）

按DL/T 593—2016中第4.12条的规定，并作如下补充：

推荐C4混合气体的额定压力应不高于0.04 MPa（相对压力），最低功能压力应不低于0.02 MPa（相对压力）。

6.12 额定混合比（C4混合气体）

推荐C4混合气体的额定混合比为10 %，绝对偏差不超过±0.5 %。

6.13 内部电弧级（IAC）的额定值

按GB/T 3906—2020中第5.101条的规定。

6.14 额定短路开断电流（*I*cs）

按DL/T 402—2016中第4.101条的规定。

6.15 额定短路关合电流

按DL/T 402—2016中第4.103条的规定。

1. 设计和结构

7.1 一般要求

C4环网柜的设计应符合如下要求：

a）应保证设备运维、检修试验、带电状态的确定、连接电缆的故障定位等操作能安全进行。

b）应能在允许的基础误差和热胀冷缩的热效应下不影响设备所保证的性能，并满足与其他设备连接的要求，与结构相同的所有可移开部件和元件在机械和电气上应有互换性。

7.2 气体的要求

按DL/T 593—2016中第4.12条的规定，并作如下补充：

C4混合气体的气体质量、检测、管理应符合制造厂产品技术条件的规定，液化温度参见附录A。

7.2.1 C4气体

C4气体的质量指标应符合T/CSEE 0308—2022《电气设备用全氟异丁腈气体》的要求，具体见表2。

表2 C4环网柜用C4气体质量指标

|  |  |
| --- | --- |
| 指标名称 | 质量指标 |
| 纯度（体积分数），10-2 | ≥99.5 |
| 氧气（O2）含量（体积分数），10-2 | ≤0.02 |
| 氮气（N2）含量（体积分数），10-2 | ≤0.08 |
| 六氟丙烯（C3F6）含量（体积分数），10-2 | ≤0.05 |
| 七氟丙烷（C3HF7）含量（体积分数），10-2 | ≤0.10 |
| 其他氟碳类化合物（C3F5N，n-C4F7N）含量（体积分数），10-2 | ≤0.50 |
| 湿度（H2O）（1个大气压时）体积分数，10-6 | ≤250 |
| 酸度（以HF计）（体积分数），10-6 | ≤5 |
| 半数致死浓度LC50值（体积分数），10-6 | ≥10000 |

7.2.2 CO2气体

CO2气体的质量指标应符合GB/T 23938的要求，具体见表3。

表3 C4环网柜用CO2气体质量指标

|  |  |
| --- | --- |
| 指标名称 | 质量指标 |
| 纯度（体积分数），10-2 | ≥99.99 |
| 氧气（O2）含量（体积分数），10-6 | ≤10 |
| 氮气（N2）含量（体积分数），10-6 | ≤50 |
| 湿度（H2O）（1个大气压时）体积分数，10-6 | ≤15 |

7.2.3 C4混合气体

C4环网柜充气隔室中的C4混合气体的混合比、成分和湿度，应符合以下要求：

a）按本文件第6.12条推荐混合比时，混合比绝对偏差不超过±0.5 %。

b）混合气体的成分控制应符合本文件第7.2.1和第7.2.2条的规定。

c）充气隔室内气体湿度应符合制造厂产品技术条件的规定。额定压力下气体湿度值，断路器柜、PT柜和电缆连接柜分别不得大于250、500、500 μL/L（24小时静置后测量）。

d）充气隔室内应放置吸附剂，推荐使用4A或5A分子筛。

7.3 接地

7.3.1 概述

按DL/T 593—2016中第5.3条的规定，并作如下补充。

7.3.2 主回路的接地

为确保维护人员维护时的安全，主回路中凡规定或需要触及的所有部件都应能预先接地，接地母线应分别设有不少于两处与接地系统相连的端子，并应有明显的接地标志。

主回路中均应设置可靠的适用于规定故障条件的接地端子，该端子应有一紧固螺钉或螺栓用连接接地导体，紧固螺钉或螺栓的直径应不小于12 mm。

人可触及的预制式电缆终端和顶扩连接主母线表面应涂覆半导电或导电屏蔽层，半导电或导电屏蔽层连接后应与接地母线可靠连接。

7.3.3 外壳的接地

C4环网柜外壳接地应符合DL/T 404—2018中第5.3.102条的规定，并作如下补充：

a）各个功能单元的外壳均应连接到接地导体上，除主回路和辅助回路之外的所有要接地的金属部件应直接或通过金属构件与接地导体相连接。

b）金属部件和外壳到接地端子之间通过30 A直流电流时压降不大于3 V。功能单元内部的相互连接应保证电气连续性。

c）门和框架的接地端子间应用截面积不小于2.5 mm²的软铜线连接。

d）仪表室应设有专用独立的接地导体。

e）当通过的电流引起热和机械应力时，应保障接地系统的连续性。

f）考虑到接地故障电流的最大值与运行系统中性点接地的形式有关，应加以说明。

7.3.4 接地装置的接地

如果接地连接必须承载全部三相短路电流（如短路连接用于接地装置时），这些接地连接应选用相应的尺寸。

可移开部件应接地的金属部件在插入过程中，在静触头和可移开部件接触之前应接地。

7.3.5 接地回路

C4环网柜从每个功能单元到与设施的接地系统连接的端子间的接地回路，应能承载接地回路额定短时和峰值耐受电流。

接地回路通常设计成只能耐受一次额定短时耐受值的短路故障，经过短路故障后可能需要维护，见DL/T 404—2018中第8.106条的规定。

C4环网柜如果采用了专门的接地导体作为接地回路，其截面积不应小于240 mm2。

注1：一般地，如果延伸到C4环网柜的整个长度的接地导体具有足够的截面积，则认为完全可以符合上述要求。作为导则，如果接地导体是铜质的，则在规定的接地故障条件下，当额定短路持续时间为3 s时，其中的电流密度不超过110 A/mm2。接地导体的末端应用铜质端子与设备的接地系统相连接，端子的电气接触面积应与接地导体的截面相适应，但最小电气接触面积不应小于160 mm2。

注2：导体横截面积的计算方法见DL/T 404—2018的附录D。

7.4 辅助设备和控制设备

按DL/T 593—2016中第5.4条的规定。

7.5 动力操作

按DL/T 593—2016中第5.5条的规定。

7.6 储能操作

按DL/T 593—2016中第5.6条的规定。

7.7 不依赖人力的操作

按DL/T 593—2016中第5.7条的规定。

7.8 脱扣器的操作

按DL/T 593—2016中第5.8条的规定，并作以下补充：

a）合闸脱扣器要求：合闸脱扣器在合闸装置的额定电源电压的85 %~110 %范围内，交流时在合闸装置的额定频率下，应可靠动作。当电源电压不大于额定电源电压的30 %时，合闸脱扣器不应脱扣（用电容器储能的永磁操动机构除外）。

b）分闸脱扣器要求：分闸脱扣器在分闸装置的额定电源电压的65 %~110 %（直流）或85 %~110 %（交流）范围内，交流时在分闸装置的额定电源频率下，应可靠动作。

7.9 低压力和高压力闭锁和监视装置

按DL/T 593—2016中第5.9条的规定，进行低压力闭锁和监视。

7.10 铭牌

按DL/T 593—2016中第5.10条的相关规定，并作以下补充：

a）铭牌应清晰而耐久，并易于识别。

b）铭牌中至少应包含以下内容：

1）额定电压；

2）额定频率；

3）主母线和回路额定电流；

4）额定工频耐受电压；

5）额定雷电冲击耐受电压；

6）额定短时耐受电流；

7）额定峰值耐受电流；

8）额定短路持续时间；

9）内部电弧等级；

10）制造厂名称；

11）制造年月；

12）产品型号；

13）出厂编号；

14）额定压力和最低功能压力（C4混合气体）；

15）额定混合比（C4混合气体）；

16）额定短路开断电流。

7.11 联锁装置

按DL/T 593—2016中第5.11条的规定，并作如下补充：

a）环网柜应具有可靠的“五防”功能：防止误分、误合断路器；防止带负荷分、合隔离开关（插头）；防止带电合接地开关；防止带接地开关送电；防止误入带电间隔。

b）进、出线柜应装有能反映进出线侧有无电压，并具有联锁信号输出功能的带电显示装置。当线路侧带电时，应有闭锁操作接地开关及电缆室门的装置。

c）电缆室门与接地开关应具备机械闭锁。

d）机械联锁为强制要求：应装设联锁装置以防止在规定条件以外进行隔离开关的操作。只有相关的断路器处于分闸位置时才能进行隔离开关的操作；只有隔离开关处于分闸位置时且进线无电的情况下，其接地开关才能合闸，隔室的门才能打开。反之，只有隔室的门关闭后，处于合闸位置的接地开关才能分闸；接地开关与相关的隔离开关之间应装设联锁；应装设可防止就地误分或误合断路器的防误操作装置，如加装锁具等，也可以是提示性的；对于因操作不正确而可能引起损坏，或在检修时用于建立隔离断口的主回路元件，应装设锁定装置（如加装挂锁）。

e）断路器应具有电气防跳装置。

7.12 位置指示

按DL/T 593—2016中第5.12条的规定。

7.13 外壳的防护等级

按DL/T 593—2016中第5.13条的规定，并作如下补充：

柜体外壳的防护等级应不低于IP4X，隔室间的防护等级应不低于IP2X，充气隔室的防护等级应不低于IP67。

7.14 气体和真空的密封

按GB/T 593—2016中第5.15条的规定，并补充如下：

真空灭弧室允许存储期不小于20年，出厂时内部压力不大于1.33×10-3 Pa，在允许储存期内真空度应满足运行要求。

充气隔室的相对泄露率的标准值为每年的0.05 %。

7.15 火灾危险（易燃性）

按DL/T 593—2016中第5.17条的规定。

7.16 电磁兼容性（EMC）

按DL/T 593—2016中第5.18条的规定。

7.17 X射线的辐射

按DL/T 593—2016中第5.19条的规定。

7.18 腐蚀

按DL/T 593—2016中第5.20条的规定，并作如下补充：

为防止因凝露而影响电器元件绝缘性能和金属部件发生腐蚀，C4环网柜内应装设合适的加热驱潮装置，其通风通道的设置应能有效地将潮湿空气排出。

操作机构金属零部件应采用防腐处理工艺，耐受96 h及以上中性盐雾试验后应无明显锈蚀。

应具有防污秽、防凝露功能，二次仪表小室内可安装温湿度控制器、加热装置及其他除湿措施。

7.19 内部故障

按GB/T 3906—2020中第5.101条的规定，并作以下补充：

C4环网柜的设计和制造应防止内部电弧故障的出现。但是，如果规定了内部电弧类别，设计的C4环网柜在正常运行条件下出现内部电弧时，应对人员提供规定的防护水平。并且应按照GB/T 3906—2020中第6.106条的要求，对所有高压隔室进行型式试验验证。

任何一个高压隔室当产生内部故障电弧时，泄压装置应自动打开，并且应有专用的泄压通道释放内部压力。12kV及以下设备应采用电缆夹层扩容泄压方式。

7.20 外壳

7.20.1 总则

按DL/T 404—2018中第5.102.1条的规定，并作如下补充：

C4环网柜的柜型尺寸及接口与Q/GDW 11250中规定的SF6气体绝缘环网柜保持一致。

7.20.2 盖板和门

按DL/T 404—2018中第5.102.2条的规定。

7.20.3 通风通道和通风口

按DL/T 404—2018中第5.102.5条的规定。

7.20.4 隔室

C4环网柜的各功能隔室要求如下：

a）应具有高压室和电缆室、仪表室等金属封闭的独立隔室。

b）各隔室结构设计上应满足正常使用条件和限制隔室内部电弧影响的要求，并能防止因本身缺陷、异常使用条件或误操作导致的电弧伤及工作人员，能限制电弧的燃烧范围，环网柜应有防止人为造成内部故障的措施。

c）仪表室宜设置照明设备。

d）电缆室的空间和安装位置应便于安装、试验和维修，柜内进出线处应设置电缆固定支架和抱箍。

e）预留独立的配电自动化单元安装空间。

f）泄压通道应设置明显的警示标志。

g）充气隔室应采用不小于2 mm的304不锈钢或更高性能的材料经激光切割、自动焊接机器人或激光焊接机焊接工艺及氦气检漏工艺加工制造，并将主开关装置及元件密封在充气隔室内，密封气箱应装配有扩展母线套管、电缆出线套管以及气体压力监控装置接口、防爆膜、干燥剂等辅助配件。必要时，经制造厂和用户协商，提供C4环网柜的C4气体专用监测设备（密度继电器），并应提供设备运行时对设备进行安全补气的手段。充气隔室为不可触及隔室，应有不可打开的明显警示。

7.21 其它

安装在户外（间接）的C4环网柜，箱门内侧应标出主回路接线图，同时应注明操作程序和注意事项。信号灯及仪表的装设位置应易于观察和安全更换，其位置应便于巡视。

1. 型式试验

8.1 总则

型式试验项目及要求，按DL/T 593—2016中第6章的规定执行，并作如下补充：

a）装用在C4环网柜中内的元件，如果其技术要求不包含在DL/T 593中，则应符合各自的技术要求，并应按其技术要求进行试验。

b）考虑C4环网柜中元件的类型、额定参数和组合的多样性，不需要对所有功能单元进行型式试验。

c）型式试验只需要在典型的功能单元（断路器柜方案）上进行，其它功能单元的性能可以引用试验数据。

8.2 型式试验项目

型式试验项目见下表4。

| 序号 | 型式试验项目 | 断路器柜 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 绝缘试验 | △ |
| 2 | 温升试验 | △ |
| 3 | 主回路电阻测量 | △ |
| 4 | 额定峰值和短时耐受电流试验 | △ |
| 5 | 额定短路关合能力试验 | △ |
| 6 | 额定短路开断能力试验 | △ |
| 7 | 防护等级试验 | △ |
| 8 | 内部燃弧试验 | △ |
| 9 | 机械特性和机械寿命试验 | △ |
| 10 | 异相接地故障试验 | △ |
| 11 | 额定容性电流开合试验（电缆充电电流） | △ |
| 12 | 接地开关短路关合试验 | △ |
| 13 | 电寿命试验 | △ |
| 14 | 高低温试验 | △ |
| 15 | 凝露试验 | △ |
| 16 | 电磁兼容试验 | △ |
| 17 | 密封试验 | △ |
| 18 | 充气隔室的压力耐受试验 | △ |
| 19 | 充气隔室的气体状态检测 | △ |

表4 型式试验项目

注：1、“△”为必试项目；

 2、环网柜中电流互感器、电压互感器及避雷器等元件按应相关标准进行型式试验。

8.3 提供的试品应符合的条件

a）试品应与产品图样、技术文件相符。

b）试品应是新的并装有符合要求的断路器，应按设计要求装配完整（如配备规定型号的操动机构或辅助设备等）。

8.4 应进行型式试验的条件

出现以下任何一种情况时，应进行型式试验：

a）新试制的产品应进行全部型式试验。

b）转厂试制的产品应进行全部型式试验。

c）断路器、操作机构或辅助设备的型号或规范改动时，应进行相应项目的型式试验。

d）在规划、工艺或使用的材料等做重大改动时，应进行相应项目的型式试验。

e）批量生产的产品每隔8年或不经常生产的产品（停产三年以上）再次生产时，应按DL/T 593规定进行补充试验。

f）所有型式试验结果应出具在正式的型式试验报告中。型式试验报告应包括足够证明试品符合本标准及有关规范的资料，也应包含试品应符合的技术文件及图纸资料。型式试验报告还应包括有关试品的主要元件，操作机构或辅助设备的技术性能，结构情况及安装方式的有关资料。

8.5 绝缘试验

按DL/T 593—2016中第6.2条的规定，并作如下补充：

a）应在最低功能压力的绝缘气体下进行。

b）C4环网柜局放值应小于20 pC。局放试验时，应分别在主开关处于合闸和分闸位置下测量局放值。试验时，先将外施电压升至1.3 *U*r持续时间10 s，然后降至1.1 *U*r下测量。

8.6 温升试验

按DL/T 593—2016中第6.5条的规定，并作如下补充：

a）温升试验的试品应按正常使用条件设备，包含一切外壳、隔板、活门等，并且在试验时应将盖板和门关闭。

b）对试品通入1.1倍的额定电流进行温升试验。C4环网柜应包含母线连接器或绝缘母线的安装在内进行温升试验。

c）对某一单元的C4环网柜进行温升试验时，主母线及两头相邻的C4环网柜应通以电流，该电流所发生的功率损耗应与额定情况下相同。假如无法做到与实际工作条件一致，则允许以加热或隔热的办法来模拟其等价条件。

d）温升试验后主回路的电阻改变不得大于温升试验前的20 %。

8.7 主回路电阻测量

按DL/T 593—2016的第6.4条的规定。并作如下补充：

当单个C4环网柜的充气隔室的主回路一端无法接近时，例如多回路C4环网柜，可通过将两个相同设计的C4环网柜的主回路串联的方法测量主回路电阻值，供出厂试验时参考。

8.8 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

按DL/T 593—2016中第6.6条的规定，并作如下补充：

8.8.1 主回路试验

应在规定的安装和使用条件下，对C4环网柜的主回路承受额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流的能力进行试验验证，试验时应将所有可能影响主回路性能或限制短路电流的相关元件装在C4环网柜上。

短时耐受电流试验应使用额定相数，电流互感器和脱扣装置应按正常使用条件安装，但脱扣器不得动作。

8.8.2 接地回路试验

C4环网柜的接地导体、接地连接和接地装置，应进行验证其耐受额定短时耐受电流和峰值耐受电流能力的试验，试验时应将所有可能影响接地回路性能或限制短路电流的相关元件装在C4环网柜上。

接地装置的短路电流试验应使用额定相数，为了验证接地装置和接地点之间的连接回路的性能，需进一步进行单相试验。

试验后，允许接地导体、接地连接或接地装置有某些变形或损坏，但必须保持接地回路的连通，接地装置应能分开。外观检查足以判定是否仍然保持回路的连续性。

如果对某个接地连接的连续性有怀疑，应从该接地连接到规定的接地点间通以直流30A 电流来验证，电压降不应超过3 V。

8.9 关合、开断与电寿命试验

8.9.1 断路器短路关合和开断试验

断路器的短路关合和开断试验，按DL/T 402—2016中第6.102-6.106条的规定，其异相接地故障按DL/T 402—2016中第6.102-6.108条的规定，容性电流开合试验按DL/T 402—2016中的第6.111.5.1-6.111.5.3条的规定，电寿命试验按GB/T 1984的规定。

C4环网柜进行开断试验后，应进行开断真空断口间的工频和雷电冲击耐压试验，试验电压按照本文件表1的100 %额定值进行。

8.9.2 接地开关短路关合试验

接地开关短路关合性能试验（仅适用于具有短路关合能力的接地开关）按GB/T 1985—2014中第6.101条的规定，接地开关的关合能力须为E2级（关合5次），并作以下补充：

a）试验后按DL/T 593—2016第6.2.12条的规定进行相间、相对地的100%工频和雷电冲击试验。

b）试验后对充气隔室的气体状态进行检查，应符合本文件第8.18条的规定。

c）试验后考核三工位隔离开关的通流能力。

8.10 防护等级试验

按GB/T 3906—2020中第6.15条的规定。

8.11 内部燃弧试验

按GB/T 3906—2020中第6.101条的规定。

8.12 机械试验

8.12.1 一般试验条件

除另有规定，试验应在试验现场周围空气温度下进行。

8.12.2 操作电压要求

柜内主回路所装的断路器、隔离开关、接地开关的机械性能试验，在规定的操作电压范围内进行，应符合各自技术规范的要求。

8.12.3 机械操作试验要求

机械操作试验，按以下要求进行：

a）断路器、隔离开关、接地开关应分合操作50次，可插拔部件应插入、抽出各25次，以查验其操作是否良好。

b）联锁设备的机械操作试验，按DL/T 593—2016中第5.11条的规定。

8.13 凝露试验

按DL/T 593—2016中第6.2.8条的规定。

8.14 电磁兼容性试验（EMC）

按DL/T 593—2016中第6.9条的规定。

8.15 高低温试验

8.15.1 低温试验

按GB/T 1984—2014中第6.101条的规定。

8.15.2 高温试验

按GB/T 1984—2014中第6.101条的规定。

8.16 密封试验

按DL/T 593—2016中第6.8条的规定。

8.17 充气隔室的压力耐受试验

按DL/T 404—2018中第6.103.1条的规定。

8.18 充气隔室的气体状态检测

充气隔室的气体状态检测，包括气体额定压力、混合比和气体湿度检测，应分别符合本文件第6.11条、第6.12条和第7.2条的规定。

1. 出厂试验

9.1 一般要求

a）出厂试验不应给产品的性能和可靠性带来损害。

b）每台产品必须经出厂试验，合格后方能出厂。

c）出厂产品均应附有产品合格证、有关出厂试验报告等相应的技术文件。如有协议要求，任一项出厂试验项目可作为对产品的验收内容。

d）出厂试验应符合GB/T 3906、DL/T 404及DL/T 593中的规定。还应符合相应产品标准及本标准的规定。

9.2 出厂试验

出厂试验项目见下表5。

表5 出厂试验项目

| 序号 | 出厂试验项目 | 断路器柜 | PT柜 | 电缆连接柜 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 结构检查 | △ | △ | △ |
| 2 | 主回路工频耐压试验 | △ | △ | △ |
| 3 | 辅助回路和控制回路的工频耐压试验 | △ | △ | △ |
| 4 | 局部放电测量 | △ | △ | △ |
| 5 | 主回路电阻测量 | △ | △ | △ |
| 6 | 机械操作和机械特性试验 | △ | △ | × |
| 7 | 功能试验 | △ | △ | × |
| 8 | 联锁试验 | △ | △ | × |
| 9 | 外壳密封试验 | △ | △ | △ |
| 10 | 气体状态检查 | △ | △ | △ |

注：1、“△”为需要进行试验项目，“×”为不需进行试验项目；

 2、C4环网柜中电流互感器、电压互感器、变压器及避雷器等元件按应相关标准进行的其它试验。

9.3 结构检查

产品应符合其正式图样和技术文件。

9.4 主回路工频耐压试验

主回路工频耐压应符合本文件表1中的规定。

9.5 辅助回路和控制回路的工频耐压试验

辅助回路和控制回路的工频耐压应符合本文件表1中的规定。

9.6 局部放电试验

按DL/T 404—2018中第7.101条的规定。在施加1.1 *U*r下最大允许的局部放电量，断路器柜和电缆连接柜局放值≤20 pC，PT柜局放值≤80 pC。

9.7 主回路电阻测量

主回路电阻测量方法按DL/T 593中的规定，并应符合本文件第8.7条的规定。

9.8 机械操作和机械特性试验

机械操作和机械特性试验按DL/T 593中的规定。

9.8.1 一般要求

a）在其操动装置已经储能或在规定的操作电压下，可以正确地合闸或分闸。

b）规定的操作不能引起环网柜的任何损伤。

9.8.2 断路器、三工位隔离/接地开关

所安装的断路器、三工位隔离／接地开关的机械性能试验按本文件第8.12的规定。

9.8.3 高压电器组件及附件

所安装的高压电器组件及附件，按本文件第8.12条的规定进行机械操作查验，试验次数均为5次。

9.9 功能试验

产品如有电流速断保护、单相接地保护、双电源进线备自投、通讯功用等功能，应按产品的检验规范进行相应的功能检测。

9.10 联锁试验

机械联锁和电气闭锁应符合“五防”规定，并符合本文件第8.12.3条的规定。

9.11 外壳密封试验

按DL/T 593—2016中第7.5条的规定。

9.12 气体状态检查

应按照本文件第8.18条的规定进行气体状态检查。

1. 交接试验

10.1 一般要求

a）现场交接试验应按GB 50150和DL/T 404的规定。

b）每台产品必须经交接试验，合格后方能投运。

10.2 交接试验项目

交接试验项目见下表6。

表6 交接试验项目

| 序号 | 交接试验项目 | 断路器柜 | PT柜 | 电缆连接柜 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 结构检查 | △ | △ | △ |
| 2 | 绝缘电阻测量 | △ | △ | △ |
| 3 | 主回路工频耐压试验 | △ | △ | △ |
| 4 | 辅助回路和控制回路绝缘试验 | △ | △ | △ |
| 5 | 主回路电阻测量 | △ | △ | △ |
| 6 | 机械操作试验 | △ | △ | × |
| 7 | 功能试验 | △ | △ | × |
| 8 | 联锁试验 | △ | △ | × |
| 9 | 主部件试验 | △ | △ | × |
| 10 | 气体状态检查 | △ | △ | △ |

注：“△”为需要进行试验项目，“×”为不需进行试验项目。

10.3 结构检查

按本文件第9.3条的规定。

10.4 绝缘电阻测量

按DL/T 593中的规定。

10.5 主回路工频耐压

按本文件第9.4条的规定。

10.6 辅助回路和控制回路的工频耐压试验

按本文件第9.5条的规定。

10.7 主回路电阻测量

按本文件第9.8条的规定。

10.8 机械操作试验和功能试验

机械操作试验按本文件第9.9条的规定，功能试验按本文件第9.10条的规定。

10.9 联锁试验

机械联锁和电气闭锁应符合“五防”规定，并符合本文件第7.11条的规定。

10.10 主要部件试验

断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器及避雷器等元件均应按各自的标准应进行现场试验。

10.11 气体状态检查

应按照本文件第8.18条的规定进行气体状态检查。

1. 选用导则

11.1 选用时应考虑的运行条件

产品使用条件应符合本文件第4章的规定，如有特别使用要求时，由用户和制造厂协商解决。同时还有综合以下因素进行选用：

a）正常载流和过流情况（电力负荷改变）。

b）设备使用寿命期内体系短路电流水平。

c）当地气象条件和污秽情况。

d）安装位置的海拔。

注：选用时应尽可能考虑到可预见的将来的需求。

11.2 在正常使用条件下选定的额定值和额定参数

按本文件第6章的规定。

11.3 互感器

11.3.1 电流互感器

电流互感器应符合GB/T 20840.2中的规定，其伏安特性、准确度级及额定负载，均应能满足继电保护及仪表测量设备的要求。

11.3.2 电压互感器

电压互感器应为全绝缘、全密封结构，有防铁磁谐振的措施，符合GB/T 20840.3中的规定，并应在高压侧装设避免内部故障的高压熔断器，其开断短路电流的能力应与主回路开关设备的参数相匹配（包含采纳限流措施后）。选用电动操作的联络线路环网柜宜设置两台电压互感器，满足操作电源要求。

与母线相连的电压互感器，其高压侧应配置独立且带接地功能的隔离开关。

11.4 测量仪表、继电保护装置、控制及辅助回路

11.4.1 防护等级

测量仪表及继电保护装置与辅助回路设备在相对独立的小室（箱）内，为避免人体触及带电部分和运行件，此小室（箱）的防护等级IP2X、IP3X、IP4X分类，其具体要求按DL/T 593—2016中表12的规定。

11.4.2 防振动措施

测量仪表及继电保护装置应有可靠的防振动措施，不因C4环网柜中断路器、隔离开关在正常操作及故障动作时发生的振动而影响它的正常工作及性能。

11.4.3 操作转换开关

C4环网柜应装设自动化设备的远方和就地操作转换开关。

11.4.4 辅助元件

二次回路中的低压熔断器、端子和其他辅助元件，应有可靠的防护措施，使运行维护人员不会触及导电部分。

1. 查询、投标和订货时提供的材料

12.1 查询和订货时应提供的材料

查询和订货时应提供的材料，按DL/T 404—2018中第9.101条的规定，并作如下补充：

a）合格证书。

b）出厂检验报告。

c）产品说明书和结构图。

d）产品设备安装基础图。

e）备品备件（如有）。

12.2 投标时应提供的材料

投标时应提供的材料，按DL/T 404—2018中第9.102条的规定，并作如下补充：

a）投标人或制造商投标产品的用户的使用情况证明。

b）投标人或制造商应提供履行合同所需的技术和主要设备等生产能力的文件材料。

c）投标人应提供有能力履行合同设备维护保养、修理及其他服务义务的文件。

d）投标人或制造商应提供招标产品全部有效的型式试验报告，需要时应提供省级及以上产品鉴定证书。

e）投标人或制造商应提供一份具体的投标产品中重要外购或配套部件供应商清单及检验报告。

1. 运输、贮存、安装、运行和维护规则

运输、贮存、安装、运行和维护规则，按DL/T 593—2016中第10章的规定。

13.1 运输、贮存和安装时的条件

运输、贮存和安装的条件，按DL/T 593—2016中第10.2条的规定。

13.2 安装

13.2.1 一般要求

按DL/T 404—2018中第10.3条的规定，并作如下补充：

a）正面的检修维护通道的宽度不小于1500 mm。

b）C4环网柜的底部结构应放置在基础槽钢上，可用地脚螺丝将其与基础槽钢相连或用电焊与基础槽钢焊牢。

c）进出线柜下方可设置电缆夹层或电缆沟，电缆夹层或电缆沟的深度应符合电缆转弯半径的要求。

d）二次控制仪表室、电缆室应有照明装置，柜内应具备驱潮及加热设施。

e）二次控制仪表室应设有专用接地铜线，截面不小于100 mm2，其两端应装设足够的螺栓接至接地网上。

f）应提供辅助触点满足用户配电自动化的使用。

13.2.2 设备竣工检验

在安装完毕和完成所有的连接后应当进行检查和试验并提供检查和试验的说明，至少应包含以下内容：

a）现场试验的项目清单。

b）可能需要进行调整的程序。

c）为帮助做出将来维修的决定，建议进行并记录的有关测量项目。

d）最终检查和投入使用的说明。

13.2.3 C4混合气体充配气

C4混合气体充配气要求如下：

a）采用专用的混合气体充配气装置（出口安装过滤器），混合比按本文件第6.12条的规定，充入的C4混合气体质量指标应按本文件第7.2条的规定。

b）安装C4气体专用密度继电器，额定压力按本文件第6.11条的规定。

c）气体静置24 h后，采用专用的C4混合气体检测仪器检测气体混合比和湿度，应符合本文件第7.2条的规定。

d）采用便携式C4气体检漏仪检测取气口和接头的密封性，确保无泄漏。

13.3 运行

按DL/T 593—2016中第10.3条的规定，并作如下补充：

a）制造厂给出的说明书。

b）设备的一般说明，要特别注意它的特性和运行的技术说明，使用户充分了解所涉及的主要原理。

c）设备安全性能以及联锁和挂锁操作的说明。

d）和运行有关的，为了对设备进行操作、隔离、接地、维修和试验所采取的行动的说明。

13.4 维护

13.4.1 基本要求

按DL/T 404—2018中第10.5条的规定。

13.4.2 操作作业内容要求

制造厂应给出保护作业内容的说明、操作次数、运行时间或其它合适的判据。在到达规定的操作次数或运行时间后，设备的某些零件应检修或更换。

13.4.3 操动机构维护要求

操动机构应给出以下内容：

a）维护、检修周期及需临时检修的判据。

b）维护、检修的程序及应注意事项。

c）主要部件的调整值及误差范围。

13.4.4 二次回路及辅助设备维护要求

仪表、继电保护等二次回路及辅助设备应给出以下内容：

a）单个组件特性的出厂试验记录。

b）提示需求定期检查的部分。

13.4.5 电气连接维护要求

电气连接应给出以下内容：

a）电气连接处应采取防电化学腐蚀措施。

b）应进行定时检查的部位。

c）检修的工艺流程。

13.4.6 环境适应性要求

对环境的适应性应给出以下内容：

a）必须具备的环境条件。

b）关于保持清洁和防止腐蚀方法的有关说明。

13.4.7 零、配件要求

零、配件应给出以下内容：

a）随带的易损易耗零部件品种及数量的清单。

b）维护检修中常用零部件的图表，其内容包含零部件名称、应储数量、制造厂图号（或备件编号）及安装使用的部位。

13.4.8 专用工器具要求

专用工具应给出以下内容：

a）应注明几台同类设备需备有一套专用工具。

b）随设备所带专用工具的品种、数量清单，清单中包含工具名称、制造厂图号（或编号）以及各工具的使用方法。

13.4.9 气体处理要求

C4环网柜检修、解体、退役时，必须对设备中的气体进行回收，应符合以下要求：

a）若设备发生故障需要对气体进行回收，应检测气体中分解产物组分，制订安全防护措施。

b）使用专用的C4混合气体回收装置进行回收。

c）回收的C4混合气体应储存在专用气瓶或压力容器中，待回收气体积累至一定量后集中送往回收处理中心或生产厂家进行净化处理。

13.5 防护要求

13.5.1 充装时的防护

C4环网柜在气体充装时，应符合以下防护要求：

a）C4新气应具有制造厂名称、气体净重、灌装日期、批号及质量检验单，且质量指标应符合本文件7.2.1的要求，否则不准使用。

b）从钢瓶中引出C4气体时，必须使用减压阀降压。使用过的C4气体钢瓶应关紧阀门，防止剩余气体泄漏。

c）户外充装C4气体时，工作人员应在上风方向操作；室内充装C4气体时，要开启通风系统，并避免和减少C4气体泄漏到工作区。应采用C4气体专用检漏仪做现场泄漏检测，工作区空气中C4气体含量不超过650 μL/L。

13.5.2 运行中的防护

C4环网柜在运行时，应符合以下防护要求：

a）工作人员进入C4环网柜安装室前，应先通风20 min，并检测工作区含氧量，发现含氧量低于18 %时，不准进入工作区。

b）工作人员进行气体采样或处理泄漏时，应佩戴防护口罩、手套和防护眼镜等防护用品，并在通风条件下，采取有效的防护措施。

13.5.3 解体时的防护

C4环网柜在解体时，应符合以下防护要求：

a）解体时，工作人员应佩戴防护口罩、手套和防护眼镜等防护用品。

b）解体车间应保证有良好的引风排气措施，换气量应保证15 min换气一次，排出口设在车间底部。

1. 安全

按DL/T 404—2018中第11章的规定，并作如下补充：

a）仅当按有关的规程安装，并按制造厂的说明书使用和维修时，设备才可以安全地工作。

b）在设备安装使用前请先仔细阅读产品说明书，使用场所应符合电气设备规定的使用条件的要求；

c）有关设备的一切操作，应遵守说明书中的相关规定。

d）不应超出设备正常工作条件下的技术参数中规定的数值。

e）用户应根据说明书内容制定相关的操作规程和安全规程。

f）用户的专职人员应对所有影响工作安全的事项负责，并正确管理和使用设备。

附录A

（资料性附录）

C4混合气体液化温度曲线

C4气体应用于金属封闭开关设备和控制设备时，应与CO2等常规环保气体（缓冲气体）混合使用发挥绝缘协同效应。CO2液化温度很低，C4混合气体的液化温度主要取决于C4。C4混合气体压力为0.1~0.2 MPa（绝对压力），混合比5~20 %时，液化温度曲线如图A.1所示，曲线对应数据见表A.1。对于C4环网柜，按本文件第6.12条推荐的混合比10 %，额定压力0.14 MPa和最低功能压力0.12 MPa时的液化温度分别为−48 oC 和−50 oC，在本文件第4.2条特殊使用条件的环境温度要求下不会发生液化。

 

**图A.1 不同压力C4混合气体液化温度-混合比曲线**

**表A.1 C4混合气体液化温度**

|  |  |
| --- | --- |
| 气压(MPa，绝对压力) | 不同混合比下的液化温度(oC) |
| 5% | 8% | 10% | 12% | 15% | 18% | 20% |
| 0.12 | -60 | -53 | −50 | -47 | -43 | -41 | -39 |
| 0.14 | -59 | -52 | -48 | -45 | -41 | -38 | -36 |
| 0.16 | -57 | -50 | -46 | -43 | -39 | -35 | -33 |
| 0.20 | -54 | -46 | -42 | -39 | -34 | -31 | -29 |

━━━━━━━━━