

ICS 号 01.040.29
中国标准文献分类号 K46

团 体 标 准

T/CPSS 1001—2019

低压混合式动态无功补偿装置

Low voltage hybrid dynamic reactive power
compensation assemblies

2019-07-31 发布

2019-08-01 实施

中国电源学会 发布

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 装置的分类	4
4.1 按电气接线方式分类	4
4.2 按补偿方式分类	4
5 功能要求	4
5.1 控制方式	4
5.2 补偿方式	4
5.3 控制功能	5
5.4 保护	5
5.5 人机界面	6
6 技术要求	6
6.1 额定值	6
6.2 环境条件	7
6.3 结构设计要求	7
6.4 母线和绝缘导线	7
6.5 防护等级	7
6.6 噪声	8
6.7 温升	8
6.8 性能要求	8
6.9 电气间隙和爬电距离	9
6.10 介电性能	9
6.11 涌流	10
6.12 短路耐受强度	10
6.13 电磁兼容性 (EMC)	10
7 试验方法	11
7.1 试验条件	11
7.2 外观及结构检查	11
7.3 外壳防护等级检验	11
7.4 电气间隙和爬电距离检验	11
7.5 介电性能试验	12
7.6 机械操作试验	12

7.7	通电操作试验	12
7.8	功能试验	13
7.9	性能试验	14
7.10	温升试验	16
7.11	保护电路有效性验证	16
7.12	放电试验	16
7.13	限涌流试验	16
7.14	过载能力试验	16
7.15	短路耐受强度试验	17
7.16	噪声测试	17
7.17	电磁兼容性试验 (EMC)	17
7.18	环境温度性能试验 (仅适用于户外型装置)	18
8	检验规则	18
8.1	出厂试验	18
8.2	型式试验	18
8.3	现场试验	18
8.4	检验项目	18
9	标志、铭牌、文件资料、包装与运输	19
9.1	标志、铭牌、文件资料	19
9.2	包装与运输	20
	附录 A (资料性附录) 配置与应用原则	21
	图 1 动态响应时间示意图	3
	图 2 试验平台示意图	13
	图 A.1 组合方式	21
	图 A.2 装置与三相三线制系统的接线示意图	22
	图 A.3 装置与三相四线制系统的接线示意图	22
	表 1 温升限值	8
	表 2 性能要求	8
	表 3 电气间隙与爬电距离	9
	表 4 海拔修正系数表	9
	表 5 主电路的工频耐受电压值	10
	表 6 试验电压值	10
	表 7 出厂试验、型式试验和现场试验检验项目	19

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国电源学会提出并解释。

本标准起草单位：上海电气电力电子有限公司、上海电器设备检测所有限公司、安徽大学、西安交通大学、西安爱科赛博电气股份有限公司、上能电气股份有限公司、南旭福（北京）信息工程技术有限公司、中国汽车工业工程有限公司、安徽一天电能质量技术有限公司、湖北追日电气股份有限公司、上海英同电气有限公司、山东山大华天科技集团股份有限公司、上海以华电气技术有限公司、新乡市中宝电气有限公司、中山大学、北京星航机电装备有限公司、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、中国石油大学（华东）、天津市津开电气有限公司、武汉武新电气科技股份有限公司、威凡智能电气高科技有限公司、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、亚洲电能质量产业联盟、广西电网有限责任公司电力科学研究院、国网河北省电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院、广州供电局有限公司电力试验研究院、国网北京市电力公司电力科学研究院、安科瑞电气股份有限公司、常州天曼智能科技有限公司、西安科湃电气有限公司。

本标准主要起草人：王江涛、刘朋、朱明星、陈国栋、卓放、王森、黎忠琼、范福在、涂晓凯、张四海、郑永利、仲隽伟、王海涛、邓剑琪、张新红、付青、王冬梅、李胜辉、仇志华、崔永棚、孙林波、虞增成、黄扬琪、唐酿、王语洁、楚红波、胡文平、王博文、雷达、周凯、张再驰、季晓春、曼苏乐、赵哈。

本标准为首次发布。

低压混合式动态无功补偿装置

1 范围

本标准规定了低压混合式动态无功补偿装置（以下简称“装置”）的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输等内容。

本标准适用于50Hz，额定工作电压不超过1 000（1 140）V的低压配电系统，含有投切开关、电容器、串联电抗器（可选）和电压型变流器可连续动态补偿无功功率的低压装置。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 3859.1—2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-1部分：基本要求规范

GB/T 4025—2010 人机界面标志标识的基本和安全规则 指示器和操作器件的编码规则

GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 7251.1—2013 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则

GB/T 10233—2005 低压成套开关设备和电控设备基本试验方法

GB/T 13384—2008 机电产品包装通用技术条件

GB/T 14549—93 电能质量 公用电网谐波

GB/T 15576—2008 低压成套无功功率补偿装置

GB/T 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分：原理、要求和试验

GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.4—2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5—2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 17626.12—2013 电磁兼容 试验和测量技术 振铃波抗扰度试验

GB/T 17799.4—2012 电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射

GB/T 29312—2012 低压无功功率补偿投切装置

JB/T 9663—2013 低压无功功率自动补偿控制器

T/CPSS 1001—2018 低压配电网有源不平衡补偿装置

T/CPSS 1002—2018 低压有源电力滤波装置

T/CPSS 1003—2018 低压静止无功发生器

3 术语和定义

为了便于使用，重复列出JB/T 9663—2013、T/CPSS 1003—2018中的一些术语和定义。

3.1

无源组件 **passive subassembly**

一种由投切开关（机电开关、半导体电子开关或复合开关）、电容器装置、串联电抗器（根据实际情况选配）等构成，并联接入系统的无功补偿组件。

3.2

有源组件 active subassembly

一种可以连续动态补偿无功的电压型电力电子变流装置，可兼具自动投切控制功能。

3.3

低压混合式动态无功补偿装置 low voltage hybrid dynamic reactive power compensation assemblies

一种主要由无源组件、有源组件及控制器（或集成于有源组件中）构成的可以连续动态补偿无功功率的低压装置。

注：无源组件、有源组件及控制器（或集成于有源组件中）的组合方式参照附录A。

3.4

无功功率补偿控制 reactive power compensation control

使目标点无功功率维持在不超过设定水平的控制模式。

[T/CPSS 1003—2018]

3.5

功率因数补偿控制 power factor compensation control

使目标点功率因数维持在设定水平的控制模式。

[T/CPSS 1003—2018]

3.6

电压控制 voltage control

使目标点电压维持在允许偏差范围内的控制模式。

[T/CPSS 1003—2018]

3.7

稳态控制精度 stable control accuracy

装置在不同运行模式下，稳态时，装置的控制结果与控制目标的比值，用百分数表示：

——无功功率补偿控制模式下计算方法，见公式（1）：

$$k_{q1} = \left| 1 - \frac{Q_{s1}}{Q_{g1}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

k_{q1} ——稳态控制精度；

Q_{s1} ——补偿后网侧的无功功率，单位为千乏（kvar）；

Q_{g1} ——设定的网侧无功功率补偿目标，单位为千乏（kvar）。

——功率因数控制模式下计算方法，见公式（2）：

$$k_{q2} = \left| 1 - \frac{\cos\varphi_2}{\cos\varphi_1} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

k_{q2} ——稳态控制精度；

$\cos\varphi_2$ ——实际补偿后的基波功率因数；

$\cos\varphi_1$ ——设定的基波功率因数控制目标。

——电压控制模式下计算方法，见公式（3）：

$$k_U = \left| 1 - \frac{U_s}{U_g} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

k_U ——稳态控制精度；

U_s ——实际控制后的电压，单位为伏[特]（V）；

U_g ——设定的电压控制目标，单位为伏[特]（V）。

3.8

动态响应时间 **dynamic response time**

从补偿对象开始突变到装置输出无功达到目标值的90%所需要的时间，见图1所示。

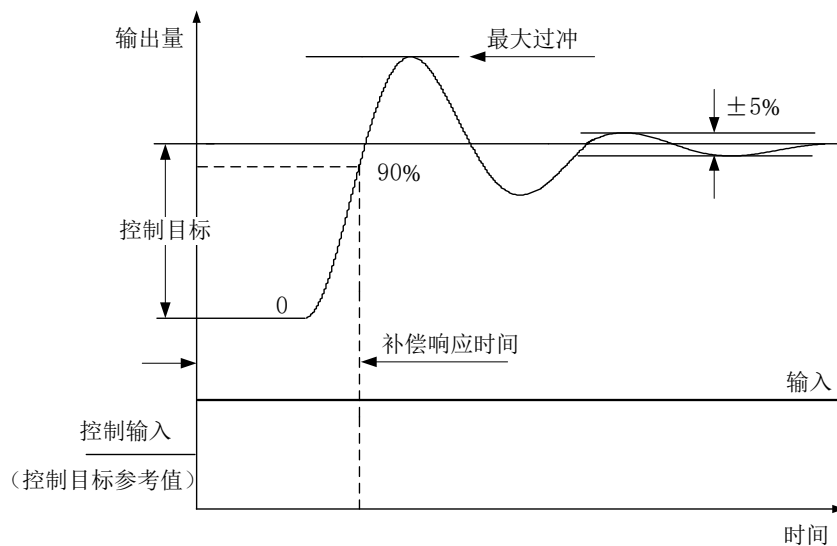


图1 动态响应时间示意图

3.9

循环工作方式 **circulation operating mode**

控制器输出电路随控制物理量的变化按先接通的依次先分断，先分断的依次先接通的动作方式称为循环工作方式。

[JB/T 9663—2013]

3.10

编码工作方式 **coding operating mode**

控制器输出电路随控制物理量的变化按编码方式接通和分断的动作方式称为编码工作方式。

[JB/T 9663—2013]

3.11

投切组合级数 **combination grade of switching capacitor banks**

无源组件中通过投切开关的不同组合控制所能够投入到电网中不同电容容量的总数。

3.12

共补型 simultaneous compensation type
对三相无功负荷同步进行补偿的装置类型。

3.13

分补型 separate compensation type
对各相无功负荷分别进行补偿的装置类型。

3.14

共分补型 simultaneous and separate compensation type
共补与分补并存的装置类型。

4 装置的分类

4.1 按电气接线方式分类

可分为三相三线和三相四线型。

4.2 按补偿方式分类

可分为共补型、分补型和共分补型。

5 功能要求

5.1 控制方式

5.1.1 手动控制

在此控制方式下，装置可采用手动控制对电容组进行投切，人工设定有源组件无功功率输出，且装置能长期稳定输出。

5.1.2 自动控制

在此控制方式下，装置可根据运行模式，自动控制电容组的投切（按照循环工作方式或编码工作方式）及有源组件的无功功率输出，实现动态无功补偿。

5.2 补偿方式

5.2.1 共补补偿

可采用共补补偿方式对平衡的三相无功负荷同时进行补偿。

5.2.2 分补补偿

可采用分补补偿方式对三相不平衡无功负荷分别进行补偿。

5.2.3 共分补补偿

采用共分补补偿的装置应具有共补补偿和分补补偿并存的补偿功能。

5.3 控制功能

5.3.1 无功功率补偿控制

在此运行模式下，装置应能在控制范围内，根据可设置的目标无功功率限值，实时监测跟踪目标点电网无功功率变化而输出相应无功电流。

5.3.2 功率因数补偿控制

在此运行模式下，装置应能在控制范围内，根据可设置的目标功率因数限值，实时监测跟踪目标点功率因数变化而输出相应的无功电流。

5.3.3 电压控制（可选）

在此运行模式下，装置应能在控制范围内，根据可设置的目标电压限值，实时监测跟踪目标点电压而输出相应无功电流。

5.3.4 谐波滤除（可选）

在此运行模式下，装置应能在滤除能力范围内，实时监测跟踪电网目标点谐波变化而输出相应谐波补偿电流。

具体要求由制造商与用户参照T/CPSS 1002—2018协商确定。

5.3.5 三相不平衡补偿（可选）

在此运行模式下，装置应能在补偿能力范围内，实时监测跟踪并主动补偿电网目标点三相电流的基波负序或零序分量，以改善电网中的三相电流不平衡度。

具体要求由制造商与用户参照T/CPSS 1001—2018协商确定。

5.4 保护

5.4.1 交流输入欠压保护（可选）

交流输入电压低于输入电压设定值（不应小于标称电压85%）时，装置应立即保护，并给出告警指示。当电压恢复正常时，装置恢复正常运行。

5.4.2 交流输入过压保护

交流输入电压高于输入电压设定值（不应大于标称电压115%）时，装置应立即保护，并给出告警指示。当电压恢复正常时，装置恢复正常运行。

5.4.3 输出过电流保护

当装置输出电流超过保护电流设定值时，装置应立即保护，并给出告警指示。

5.4.4 谐波超限保护

装置的电流、电压谐波含量超过设定值时，应发出指令切除无源组件，并发出故障信息。

具有抗谐波功能的装置（指无源组件），设定值根据用户的实际情况进行抗谐波设计，以含谐波的电容器总电流不超过1.3倍额定电流为原则选择设定值。

5.4.5 缺相保护

当系统缺相供电时，装置应立即保护，并给出告警指示。

5.4.6 自恢复（可选）

停电后再送电时，装置可自启动，恢复正常运行。

5.4.7 温度保护

装置超温（一般指有源组件中开关模块过温）时，装置应立即保护，并给出告警指示。

5.5 人机界面

5.5.1 显示

装置应具备显示装置，准确显示以下（但不限于）信息：

- 电网电压、电网电流、功率因数；
- 装置输出电流；
- 装置运行状态；
- 电容组投切状态；
- 电容组投切次数。

5.5.2 指示灯和按钮

装置中的指示灯和按钮的颜色应符合GB/T 4025—2010的规定。

5.5.3 参数设置

常用的参数设置包括：工作模式、电流互感器变比、各电容器组容量、电容组投切时间间隔、有源组件容量和保护整定值等。

5.5.4 信息存储（可选）

可存储一段时间内的系统电压、系统电流、三相有功功率、三相无功功率、补偿前后的功率因数、各电容组的投切次数、故障告警信息、操作记录等数据，也可根据用户要求保存相关信息。

5.5.5 通信功能（可选）

装置配置网口或者RS-485总线式通信接口，可以实现就地抄录，与其它设备进行信息交换。装置的投退信息、自诊断故障信息、运行告警等信号能够通过远程通信方式发送到上位机。

6 技术要求

6.1 额定值

装置的额定值如下：

- 接线方式：三相三线、三相四线；
- 额定工作频率：50Hz；
- 接入电网标称电压 U_N ：380V（400V）、660V（690V）、1000V（1140V）。其它电压由用户与制造商商定；
- 补偿容量（有源组件容量+无源组件容量）：30kvar+210kvar、30kvar+270kvar、30kvar+330kvar、50kvar+210kvar、50kvar+270kvar、50kvar+330kvar、100kvar+330kvar等，其它容量由用户与制造商商定。

6.2 环境条件

6.2.1 周围空气温度

6.2.1.1 户内装置的周围空气温度

-5℃~40℃，日平均温度不应超过35℃。

6.2.1.2 户外装置的周围空气温度

-25℃~+50℃，日平均温度不应超过35℃。

6.2.2 相对湿度

相对湿度：15%~90%（20℃时），在不同温度和湿度条件下，应注意防止设备运行时凝露。

6.2.3 污染等级

不应低于GB/T 16935.1—2008中3级。

6.2.4 海拔

海拔高度不应超过1000m（安装地点海拔高度超过1000m时，与之相关的温升限值、绝缘等应予以修正）。

6.2.5 抗震水平

安装地点无剧烈振动及颠簸，安装倾斜度不大于5°。

6.2.6 电气条件

适用于装置的电网条件：

——电压变化范围：85% U_N ~115% U_N ；

——频率变化范围：49Hz~51Hz。

6.2.7 特殊使用条件

如在不符合本标准6.2的特殊条件下使用时，制造方与购货方之间应协商确定。

6.3 结构设计要求

装置的结构应符合GB/T 15576—2008中6.1的规定。

6.4 母线和绝缘导线

装置中的母线和绝缘导线应符合GB/T 15576—2008中6.2.5的规定。

6.5 防护等级

户内使用的装置防护等级不应低于IP20，装置的操作面板防护等级不低于IP40。

户外使用的装置防护等级不应低于IP44。

当装置采用通风孔散热时，通风孔的设置不应降低装置的防护等级。

6.6 噪声

户内型装置在正常工作时（输出额定容量）产生的噪声，在离装置1m处不应大于声压级65dB（A声级）。

户外型装置在正常工作时（输出额定容量）产生的噪声，应根据实际的应用场合，由制造商与用户协商确定。

6.7 温升

温升限值按照GB/T 15576—2008中6.5的规定，装置的温升限值不应超过表1的规定。

表1 温升限值

部位		温升 K
内装元件		根据不同元件的要求，或（如有的话）根据制造厂的说明书，考虑装置内的温度
用于连接外部绝缘导线的端子内装元件与母线连接处		70
母线固定连接处	裸铜-裸铜	60
	铜搪锡-铜搪锡	65
	铜镀银-铜镀银	70
操作手柄	金属的	15
	绝缘材料的	25
可接近的外壳和覆板	金属表面	30
	绝缘表面	40

6.8 性能要求

装置的性能要求见表2。

表2 性能要求

序号	项目	技术要求	备注
1	稳态控制精度	<2.5%	在输出50%、70%、100%额定容量时测试
2	损耗	<3%	在额定容量（有源组件额定容量+无源组件额定容量）运行条件下测试
3	响应时间	有源组件：≤20ms 装置：≤40ms（无源组件采用半导体电子开关或复合开关） 装置：≤1s（无源组件采用机电开关）	有特殊要求时，制造商与用户协商确定
4	测量精度	电压和电流测量满量程相对误差：≤0.5% 无功功率和功率因数满量程测量误差：≤1%	针对基波测量
5	谐波滤除率（可选）	参照标准T/CPSS 1002—2018	有特殊要求时，制造商与用户协商确定
6	不平衡电流补偿率（可选）	参照标准T/CPSS 1001—2018	有特殊要求时，制造商与用户协商确定
7	过载能力	有源组件：在1.1倍额定容性电流或1.1倍额定感性电流下长期运行；在1.2倍额定容性电流或1.2倍感性电流下运行时间不低于60s。 无源组件：在1.1倍额定电压下长期运行；在1.2倍额定电压下运行时间不低于5min。	有特殊要求时，制造商与用户协商确定

6.9 电气间隙和爬电距离

装置内各元器件的电气间隙和爬电距离应符合各自标准规定。

正常使用条件下,装置内不同极性或不同相的裸露带电体之间以及它们与外壳及地之间的电气间隙和爬电距离不应小于表3的规定。

表3 电气间隙与爬电距离

额定绝缘电压 U_i/V	最小电气间隙 mm	最小爬电距离 mm
$U_i \leq 60$	5	5
$60 < U_i \leq 300$	6	10
$300 < U_i \leq 690$	10	14
$690 < U_i \leq 800$	16	20
$800 < U_i \leq 1140$	18	24

对于高海拔地区,根据GB/T 16935.1—2008中表A.2的海拔修正系数表,对所在海拔的装置电气间隙进行修正,见表4。

表4 海拔修正系数表

海拔 m	电气间隙的倍增系数
2000	1.00
3000	1.14
4000	1.29
5000	1.48
6000	1.70
7000	1.95
8000	2.25

6.10 介电性能

6.10.1 绝缘电阻验证

在环境温度 $-5^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于90%时,对于电压 $U_M/\sqrt{2}$ 不超过1000V的,绝缘电阻不应小于100M Ω 。

注: U_M 表示正弦波电压波形的最大值。

6.10.2 工频耐压试验电压

主电路和与主电路直接连接的辅助电路应能承受表5规定的工频耐压试验电压。

表5 主电路的工频耐受电压值

额定绝缘电压 V	介电试验电压（交流有效值） V	介电试验电压（直流） V
$U_i \leq 60U_i$	1000	1415
$60 < U_i \leq 300$	1500	2120
$300 < U_i \leq 690$	1890	2670
$690 < U_i \leq 800$	2000	2830
$800 < U_i \leq 1000$	2200	3110
$1000 < U_i \leq 1500$	-	3820

不与主电路直接连接的辅助电路应能耐受表6规定的工频耐压试验电压。

表6 试验电压值

额定绝缘电压 V	试验电压（交流方均根值） V
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500

6.10.3 变换器内部绝缘

有源组件中变换器内部绝缘应足以使变换器耐受规定的电压，在交流情况下，局部放电的起始和熄灭电压应大于在变换器端间可能出现的最高稳态运行电压。

6.11 涌流

根据标准GB/T 29312—2012中6.5.3的规定：

- 机电投切装置控制电容器投入瞬间，电容器支路中产生的涌流峰值应小于50倍电容器的额定电流。
- 半导体电子开关投切装置和复合开关投切装置控制电容器投入瞬间，电容器支路中产生的涌流峰值应小于3倍电容器的额定电流。

6.12 短路耐受强度

装置的短路耐受强度应符合GB 7251.1—2013中9.3的规定。装置应能够承受短路电流所产生的热应力和电动应力，对于无功补偿容量不应小于150kvar的装置，其主电路的额定短时耐受电流不应小于15kA，应符合GB/T 15576—2008中6.8的要求。

6.13 电磁兼容性（EMC）

6.13.1 抗扰性能

6.13.1.1 静电放电抗扰度

装置应承受GB/T 17626.2—2018中规定的试验等级3的静电放电抗扰度试验。

试验中，装置允许出现性能丧失，但不允许改变操作状态或存储的数据。试验后，装置应能正常运行，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.13.1.2 振荡波抗扰度

装置应承受GB/T 17626.12—2013中规定的试验等级3的1 MHz和100 kHz振荡波抗扰度试验。

试验中，装置允许出现性能丧失，但不允许改变操作状态或存储的数据。试验后，装置应能正常运行，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.13.1.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度

装置应承受GB/T 17626.4—2018中规定的试验等级3的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验。

试验中，装置允许出现性能丧失，但不允许改变操作状态或存储的数据。试验后，装置应能正常运行，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.13.1.4 浪涌（冲击）抗扰度

装置应承受GB/T 17626.5—2008中规定的试验等级3的浪涌（冲击）抗扰度试验。

试验中，装置允许出现性能丧失，但不允许改变操作状态或存储的数据。试验后，装置应正常运行，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.13.2 电磁发射

装置的电磁发射不应超过GB 17799.4—2012规定的限值。

7 试验方法

7.1 试验条件

7.1.1 试验电源条件

试验和测量所使用的交流电压的频率为 (50 ± 1) Hz，电压的总谐波畸变率不超过5%，电压偏差不超过 $\pm 3\%$ ，三相电压不平衡度不超过0.5%。

7.1.2 试验的标准大气条件

试验的标准大气条件如下：

- 海拔：1000 m 及以下；
- 环境温度：5℃～35℃；
- 相对湿度：45%～75%；
- 大气压强：86 kPa～106 kPa。

7.2 外观及结构检查

用目测和仪器测量的方法检查装置的外观和结构，应满足本标准6.3和6.4的要求。

7.3 外壳防护等级检验

按GB/T 4208—2017规定的方法进行验证，装置的防护等级不低于本标准6.5的规定。当装置采用通风孔散热时，通风孔的设置不应降低装置的防护等级。

7.4 电气间隙和爬电距离检验

用量具测量装置内不同极性或不同相的裸露带电体之间以及它们与地之间的电气间隙和爬电距离，其测量值应符合本标准6.9的要求。

7.5 介电性能试验

试验前应将消耗电流的器件（如线圈、测量仪器）、半导体器件和不能承受试验电压的元件（如电容器等）断开或旁路。

7.5.1 绝缘电阻验证

试验前短接A、B、C三相，试验方法按GB/T 3859.1—2013中的方法。测量结果应符合本标准6.10.1的规定。

7.5.2 工频耐压试验

按6.10.2规定施加试验电压，试验电压应施加于：

- 装置的所有带电部件与裸露导电部件之间。
- 每个极与为此试验连接到装置相互连接的裸露导电部件上的所有其它极之间。
- 带电部件与绝缘材料制造或覆盖的手柄之间。介电试验是在带电部件和用金属箔裹缠整个表面的手柄之间施加6.10.2规定的1.5倍试验电压值。进行该试验时，框架不应当接地。也不能同其它电路相连接。
- 用绝缘材料制造的外壳，还应进行一次补充的介电试验。在外壳的外面包覆一层能覆盖所有的开孔和接缝的金属箔，试验电压则施加于这层金属箔和外壳内靠近开孔和接缝的相互连接的带电部件以及裸露导电部件之间。对于这种补充试验，其试验电压应等于6.10.2中规定数的1.5倍。

开始施加时的试验电压不应超过试验电压的50%，然后在几秒钟之内将试验电压平稳增加至试验电压值并保持5s。出厂试验耐压时间为1s。

交流电源应具有足够的功率以维持试验电压，可以不考虑漏电流。此试验电压应为正弦波，频率在45Hz~62Hz之间。

在试验过程中，没有发生击穿或放电现象，则此项试验通过。

7.6 机械操作试验

装置手动操作的部件，型式试验的操作次数不应少于50次，出厂试验不应少于5次。同时，应检查与这些动作相关的机械连锁机构的操作。如果器件、连锁机构等的工作条件未受影响，而且所要求的操作力与以前一样，则此项试验通过。

7.7 通电操作试验

7.7.1 通电试验

分别在施加 $0.9U_N$ 、 $1.00U_N$ 、 $1.1U_N$ 电压的情况下，检查各电器元件的动作和显示情况，不应出现误动作、动作不正常或显示错误等现象。

7.7.2 手动操作试验

在正常工作电压下，装置设置手动方式，分别手动操作投切各组电容器，人工设定有源组件无功输出值并运行，观察电流表和电容投切状态是否与实际操作相吻合。

7.8 功能试验

7.8.1 试验平台

装置的试验平台示意图如图2所示，试验需配置负载扰动源，应根据试验需求产生无功电流、不平衡电流或谐波电流。

参照图2搭建试验平台，试验负载为有功负载+无功负载。

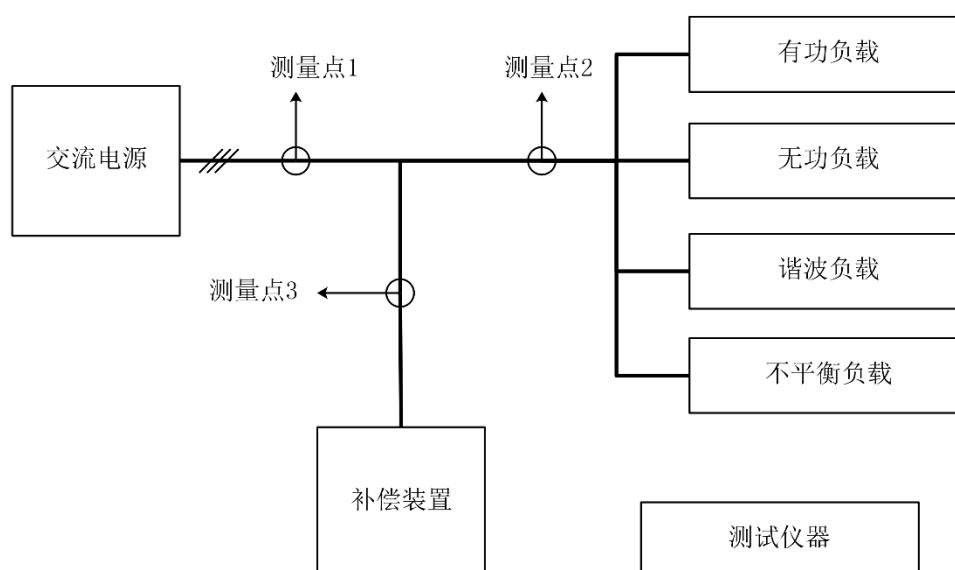


图2 试验平台示意图

试验所需的负载应具备以下功能（根据试验内容）：

- 有功负载容量不小于被测试装置额定容量的10%；
- 无功负载容量不小于被测试装置额定容量；
- 谐波负载能够输出2~50次中任意次谐波及多次谐波的组合，所能输出的谐波容量不小于被测试装置的谐波补偿容量。
- 不平衡负载容量不小于被测试装置额定容量，且能够分别在单相、两相与三相供电情况下工作。

试验所需的测试仪器应具备以下一项或多项测量功能（根据试验内容）：

- 三相电压、电流有效值及波形；
- 三相有功功率、无功功率、视在功率、功率因数；
- 三相电压、电流的不平衡分量和不平衡度；
- 2~50次电压、电流谐波幅值及含有率。

7.8.2 保护功能试验

7.8.2.1 欠电压保护

按图2连接试验电路，使补偿装置处于正常运行状态（有源组件与无源组件同时工作），调节交流电源输出电压，使装置交流输入电压低于欠电压设定值，装置运行应符合5.4.1的规定。

7.8.2.2 过电压保护

按图2连接试验电路，使补偿装置处于正常运行状态（有源组件与无源组件同时工作），调节交流电源输出电压，使装置交流输入电压高于过电压设定值，装置运行应符合5.4.2的规定。

7.8.2.3 缺相保护

按图2连接试验电路，断开装置的A、B、C三相中任一相电压，装置动作应符合5.4.5的规定。

7.8.2.4 自恢复（可选）

按图2连接试验电路，在装置正常运行时，断开装置与输入电源的连接，1 min后，重新将装置与输入电源连接，装置应能恢复正常运行。

7.8.2.5 过温保护

装置处于待机状态。通过对器件温度传感器加热的方法使其超温，装置的功率器件超温保护功能应符合5.4.7的规定。

7.8.2.6 有源组件主电路器件损坏切除保护

模拟短路等会造成有源模块主电路器件损坏的故障，有源模块应能与电网断开，同时保证无源组件可以正常投切工作。

7.8.3 人机界面功能

装置的显示、参数设置、信息存储等功能，以及指示灯和按钮的颜色应符合5.5的规定。

7.8.4 无源组件独立运行功能

试验时，补偿装置处于补偿状态（有源组件与无源组件均有输出），人为制造有源组件故障，此时无源组件应仍能正常工作，调节无功负载，无源组件应根据无功负载变化而进行正确地投切操作。

7.9 性能试验

7.9.1 控制功能试验

7.9.1.1 无功功率补偿控制试验

将控制器设定为无功功率补偿模式，逐步调高负载感性无功值，直至装置容性电流输出达到额定值。逐步调高负载容性无功值，直至装置感性电流输出达到额定值，装置应能符合本标准5.3.1的规定。此项试验可结合本标准7.9.2进行。

7.9.1.2 功率因数补偿控制试验

将控制器设定为功率因数控制模式，在功率因数范围内逐步调整目标点目标功率因数，直至装置容性/感性电流输出达到额定值，装置应符合本标准5.3.2的规定。此项试验可结合7.9.2进行。

7.9.1.3 电压控制试验（可选）

将控制器设定为电压控制模式，逐步调高目标点目标电压值，直至装置容性电流输出达到额定值。再逐步调低目标电压值，直至装置感性电流输出达到额定值，装置应能符合5.3.3的规定。此项试验可结合本标准7.9.2进行。

7.9.2 稳态控制精度试验

按图2连接试验电路，主电路通电，装置运行，设定装置的运行模式和相关控制目标，在测量仪器上读取并记录相关数据。根据公式（1）～公式（3）计算稳态控制精度。计算结果应符合表2中第1项的规定，取计算结果的最大值作为最终稳态控制精度。

7.9.3 动态响应时间试验

7.9.3.1 有源组件动态响应时间试验

步骤如下：

- 试验前，断开装置内无源组件；
- 试验时，应保证负载处于工作状态，设置装置为无功功率补偿模式；
- 调节无功负载（从 0 到有源组件额定容量的 90%），从补偿对象开始突变到装置输出达到目标值的 90%；用测试仪器分别测量测点 2 和测点 3 的电压、电流波形数据；
- 按照 3.8 的定义，根据记录的数据分析无功发生器的响应时间，应满足 6.8 的要求。

7.9.3.2 装置动态响应时间试验

步骤如下：

- 试验时，应保证负载处于工作状态，设置装置为无功功率补偿模式；
- 调节无功负载（从 0 到装置额定容量的 90%），从补偿对象开始突变到装置输出达到目标值的 90%；用测试仪器分别测量测点 2 和测点 3 的电压、电流波形数据；
- 按照 3.8 的定义，根据记录的数据分析无功发生器的响应时间，应满足 6.8 的要求。

7.9.4 测量精度试验

给装置测量回路输入标准工频电压值、电流值，根据装置电压、电流、无功功率、功率因数显示值判断其相对误差和测量误差应符合6.8的要求。

7.9.5 谐波滤除率试验（可选）

此项试验仅针对具备谐波滤除功能的补偿装置。试验时，调节谐波负载（在装置谐波滤除范围内），根据测量点1、2的谐波数据，验证谐波滤除指标是否满足6.8的要求。

7.9.6 三相不平衡补偿试验（可选）

此项试验仅针对具备三相不平衡补偿功能的补偿装置。试验时，调节不平衡负载（在装置补偿范围内），根据测量点1、2的三相电流数据，验证三相电流不平衡补偿度是否满足6.8的要求。

7.9.7 损耗测试

按照如下步骤进行试验：

- 补偿装置设定为无功补偿模式。
- 通电试验，有功负载功率为固定值（建议该值不低于补偿装置额定容量 5%），调节无功负载，使补偿装置输出额定容性无功，通过测量点 3 无功功率数据进行验证，稳定运行 1h 以上。
- 根据测量点 1 和测量点 2 的有功功率数据（两者差值），计算装置的有功损耗平均值（建议样本数据不少于 10 组，数据采集间隔不少于 1min）。

所测得的有功损耗值与装置的额定容量比值不应超过6.8的规定。

7.10 温升试验

温升试验时，周围空气温度在 $+10^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ 范围内，应对装置施加工频交流电压，在整个试验过程中，电压值应使无源组件支路电流不小于其额定电流。有源组件发出额定容性或感性无功电流。试验时装置的防护等级应满足规定的要求。

试验时应有足够的时间使温度上升到稳定值，一般当温度变化不超过 1K/h 时，即认为温度稳定，然后测取各部分温升。测量可用温度计或热电偶。

测取温升时，需测量装置的周围空气温度，此测量应在试验周期的最后四分之一期间内进行。至少应该用两个温度计或热电偶均匀布置在装置的周围，在高度约等于装置的二分之一，距装置 1m 远的地方安装，然后取它们读数的平均值，即为装置的周围空气温度。测量时应防止空气流动和热辐射对测量仪器的影响。

温升试验结果若不超过表1的规定，则温升试验通过。

7.11 保护电路有效性验证

按GB/T 15576—2008中7.6条规定的方法进行验证：

——装置的裸露导电部件和保护电路之间的有效连接验证：

- 检查保护接地措施是否完整，各连接处的连接情况是否良好。
- 应验证装置的不同裸露导电部件是否有效地连接在保护电路上，进线保护导体和相关的裸露导电部件之间的电阻不应超过 0.1Ω ；
- 应使用电阻测量仪器进行验证，此仪器可以使至少 10A 交流或直流电流通过电阻测量点之间 0.1Ω 的阻抗，试验时间限制为 5s 。

——通过试验验证保护电路的短路强度：

- 一个单相试验电源，一极连接在一相的进线端子上，另一极连接到进线保护导体的端子上。如成套装置带有单独的保护导体，应使用最近的相导体。对于每个有代表性的出线单元应进行单独试验，即用螺栓在单元的对应相的出线端子和相关的出线保护导体之间进行短路连接。
- 试验中的每个出线单元应配有保护装置，该保护装置可使单元通过最大峰值电流和 I^2t 值。此试验允许用装置外部的保护器件来进行。
- 对于此试验，装置的框架应与地绝缘。试验电压应等于额定工作电压的单相值。所用预期短路电流值应是装置三相短路耐受试验的预期短路电流值的 60% 。

7.12 放电试验

放电试验在不同容量的电容器上进行，用直流法将电容器充电至额定电压峰值，然后接通放电设备，符合GB/T 15576—2008中6.9.8的要求（装置的放电设施应保证电容器断电后，从额定电压峰值放电至 50V 的时间不应大于 3min 。电容器未放电前，接触会造成危险，应装有警告标志），则此项试验通过。

7.13 限涌流试验

试验时，首先手动投入除容量最大一组外的全部电容器组，再连续手动投入容量最大一组电容器，并检测该组电容器的涌流值。随机投入试验不应少于 20 次（或在峰值时投入，试验 3 次），如果最大涌流值不大于6.11的规定值，则此项试验通过。

7.14 过载能力试验

有源组件过载能力试验按照如下步骤进行试验：

- 在正常工作电压下，补偿装置设定为手动方式。
 - 有源组件设定为 1.2 倍额定电流，连续运行 60s 后有源组件设定为 1.1 倍额定电流，连续运行 1h，在运行期间，各部件应不出现故障。
- 无源组件过载能力试验按照如下步骤进行试验：
- 补偿装置设定为手动方式。
 - 调节系统电压为 1.1 倍额定电压，手动投切各组电容，连续运行 1h，在运行期间，各部件应不出现故障。
 - 调节系统电压为 1.2 倍额定电压，手动投切各组电容，连续运行 5min，在运行期间，各部件应不出现故障。

7.15 短路耐受强度试验

做本项试验时，应将电容器拆除。

装置的短路耐受强度试验方法及要求按GB 7251.1—2013中10.11的规定进行，应满足6.12的规定。

试验后，导线不应有任何过大的变形，只要电气间隙和爬电距离仍符合6.9的规定，母排的微小变化是允许的。同时，导线的绝缘和绝缘支撑部件不应有任何明显的损伤痕迹，即绝缘物的主要性能仍能保证装置的机械性能和电气性能满足本标准的要求。

检测器件不应指示出有故障电流发生。

导线的连接部件不应松动，而且导线不应从输出端子上脱落。

在不影响防护等级，电气间隙不减小到小于规定数值的条件下，外壳的变形是允许的。

母排电路或装置框架的任何变形影响了抽出式或可移式部件的正常插入的情况，应视为故障。

在有疑问的情况下，应检查装置的内装元件的状况是否符合有关规定。

另外，在试验之后，被试装置应能承受按6.10.2规定的介电试验电压值，试验耐压时间为5s。试验在如下部位进行：

- 在所有带电部件与装置的框架之间；
 - 在每一极和与装置的框架连接的所有其它极之间。
- 在试验过程中，不应有击穿放电现象。

7.16 噪声测试

试验方法按GB/T 10233—2005中4.13的规定，噪声不应超过6.6的规定。

7.17 电磁兼容性试验（EMC）

7.17.1 静电放电抗扰度试验

按GB/T 17626.2—2018的规定试验，结果应符合6.13.1.1的规定。

7.17.2 振荡波抗扰度试验

按GB/T 17626.12—2013的规定试验，结果应符合6.13.1.2的规定。

7.17.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按GB/T 17626.4—2018的规定试验，结果应符合6.13.1.3的规定。

7.17.4 浪涌（冲击）抗扰度试验

按GB/T 17626.5—2008的规定试验，结果应符合6.13.1.4的规定。

7.17.5 电磁发射试验

按GB/T 17799.4—2012的规定试验，结果应符合6.13.2的规定。

7.18 环境温度性能试验（仅适用于户外型装置）

7.18.1 高、低温试验

将装置按室外型的上下限温度要求进行该项试验。装置的控制保护系统、隔离电源和功率模块的附属板卡在全载运行工况下，分别在最低周围温度-25℃和高温环境空气温度50℃的条件下，持续运行24h，性能应正常。

7.18.2 耐湿热试验

试验箱的容积及其空气循环应使装置放入后，在5min内温度保持在允差之内。

试验时装置不包装、不通电。

将装置置于温度为 (40 ± 2) ℃、湿度为 $(93\pm 3)\%$ 的试验箱中，连续存放2天，然后取出置于环境温度下恢复。

检查是否有紧固件松动、绝缘损坏的现象；

待恢复1h~2h后，按照6.10的要求进行绝缘电阻试验和工频耐压试验，其结果应符合6.10的要求。

8 检验规则

8.1 出厂试验

这一试验由制造方对出厂的每一套装置进行。如受试验条件限制，经与购货方协商，部分出厂试验可减容量进行或在现场试验时考核。

8.2 型式试验

型式试验在新产品定型时进行。在生产中，当材料、工艺或产品结构等有改变，且其改变有可能影响装置的性能时，也应进行型式试验，此时允许只进行与这些改变有关的试验项目。在正常生产中，型式试验应至少每五年进行一次。

用来进行型式试验的装置应为经出厂试验合格的装置。全部型式试验项目应在同一装置上进行，或在同一装置的多个部件上分别进行。

型式试验应委托具有资质的第三方机构进行。型式试验报告在购货方有要求时应予以提供。

8.3 现场试验

现场试验主要是购货方在装置安装后进行的试验，试验的目的是为了检验装置在运输和安装后是否受到损伤，确保装置是良好的，检验其能否正确动作以及是否满足技术要求。

8.4 检验项目

检验项目见表7。

表7 出厂试验、型式试验和现场试验检验项目

序号	试验项目	依据标准条款 章条号	检验分类		
			出厂试验	型式试验	现场试验
1	外观与结构检查	7.2	√	√	√
2	防护等级检验	7.3		√	
3	电气间隙和爬电距离检验	7.4	√	√	
4	绝缘电阻验证	7.5.1	√	√	
5	工频耐压试验	7.5.2	√	√	
6	机械操作试验	7.6		√	
7	通电试验	7.7.1		√	
8	手动操作试验	7.7.2	√	√	√
9	欠电压保护试验	7.8.2.1		√	
10	过电压保护试验	7.8.2.2		√	
11	缺相保护试验	7.8.2.3		√	
12	自恢复功能试验（可选）	7.8.2.4		√	
13	过温保护	7.8.2.5		√	
14	有源组件主电路器件损坏切除保护	7.8.2.6		√	
15	人机界面功能检验	7.8.3	√	√	
16	无源组件独立运行功能试验	7.8.4	√	√	
17	控制功能试验	7.9.1	√	√	√
18	稳态控制精度试验	7.9.2	√	√	
19	动态响应时间检验	7.9.3		√	
20	测量精度检验	7.9.4		√	
21	谐波滤除功能试验（可选）	7.9.5		√	
22	三相不平衡补偿功能试验（可选）	7.9.6		√	
23	损耗测试	7.9.7		√	
24	温升试验	7.10		√	
25	保护电路有效性验证	7.11		√	
26	放电试验	7.12		√	
27	限涌流试验	7.13		√	
28	过载能力试验	7.14		√	
29	短路耐受强度试验	7.15		√	
30	噪声测试	7.16		√	
31	电磁兼容性（EMC）试验	7.17		√	
32	环境温度性能试验（户外装置）	7.18		√	

9 标志、铭牌、文件资料、包装与运输

9.1 标志、铭牌、文件资料

9.1.1 标志

在装置内部，应能辨别出单独的电路及电器元件。电器元件所用的标记应与随同装置一起提供的电路图上的标记一致。

9.1.2 铭牌

每台装置应配备一至数个铭牌，铭牌字迹应清晰，安装应坚固、耐久，其位置应该是在装置安装好后，易于看见的地方。内容包括：

- a) 制造商（生产厂）或商标；
- b) 型号或其它标记，据此可以从制造商得到有关的资料；
- c) 执行标准；

- d) 额定电压;
- e) 制造日期;
- f) 出厂编号;
- g) 额定容量 (或标称容量), 标示方法: 有源容量+无源容量;
- h) 额定频率;
- i) 防护等级;
- j) 使用场合 (户内或户外);
- k) 外形尺寸, 其顺序为高度、宽度、深度;
- l) 短路耐受强度;
- m) 重量。

a)~g)项的资料应在铭牌上标出。

h)~m)项的数据, 如果适用的话, 可以在铭牌上给出, 也可以在制造商的技术文件中给出。

9.1.3 文件资料

制造厂应按每批产品的类型, 随附下列文件资料:

- 装箱文件资料清单;
- 安装与使用说明书;
- 接线图;
- 产品合格证明书。

在技术文件中规定装置电气元件的安装、操作和维修条件。

如果有必要, 装置的运输、安装和使用说明书上应指出某些方法, 这些方法对合理地、正确地安装、交付使用与操作装置是极为重要的。

如果电器元件的安装排列使电路的识别不很明显, 则应提供有关资料, 诸如接线图或接线表。

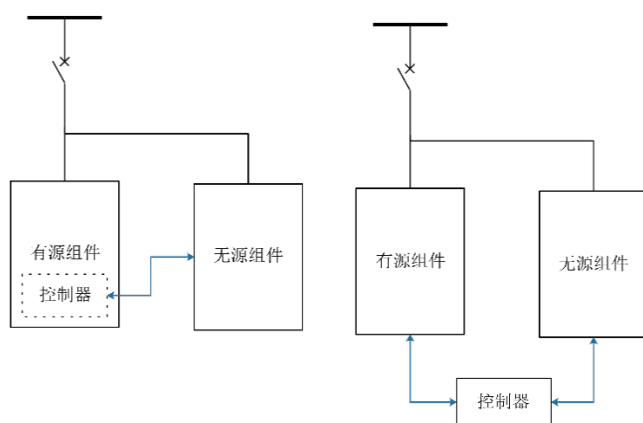
9.2 包装与运输

装置的包装与运输应符合GB/T 13384—2008机电产品包装通用技术条件。

附录 A (资料性附录) 配置与应用原则

A.1 组合方式

本装置为有源组件与无源组件的有机结合，通过协调控制可实现大范围、大容量、高精度和实时性高的动态无功功率补偿。有源组件与无源组件的典型组合方式如图A.1所示，控制器既可独立于两组件之外，亦可将其集成于有源组件内。



a) 控制器集成于有源组件内

b) 控制器独立于两组件外

图A.1 组合方式

A.2 无源组件的投切组合级数

投切组合级数的选定，一般应考虑以下几条因素：

- 电容器规格数量：一般情况下，相同的无源组件容量，级数越多，电容器的规格数量也会增多，相应会增加采购、生产管理成本。
- 无源组件的寿命：在相同条件下，级数越多，投切次数也会相应增加，投切装置及电容器的寿命会缩短。
- 所需补偿负荷类型：若现场负荷无功功率波动较小，可相应减少投切组合级数，反之，应增加投切组合级数。

A.3 容量配置

有源组件与无源组件的容量配比关系，一般由以下几条因素决定：

- 配置的有源组件容量下限值应确保装置能够连续输出额定容量范围内的任意无功功率值，一般为最小一组电容器额定容量（若为共分补型，取共分补最小组与分补最小组额定容量较大值）的二分之一。

- 若有额外的功能需求（谐波滤除或三相不平衡补偿），有源组件需根据实际需求配置容量。
- 客户要求。

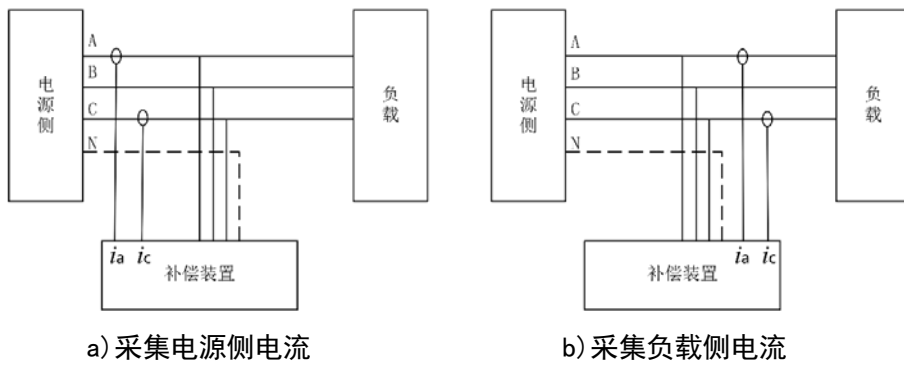
A.4 协调补偿

装置中有源组件与无源组件的协调控制一般应遵循如下原则：

- 稳态运行时，无源组件投入最接近于实际所需无功补偿量的相应级数，有源组件补偿无源组件补偿容量与实际所需无功补偿容量的差额，实现动态连续补偿。
- 暂态运行时，有源组件优先补偿实际所需无功功率波动量，以提高装置的动态响应性能。
- 在有源组件出现故障情况下（控制器正常），无源组件应仍能正常工作。

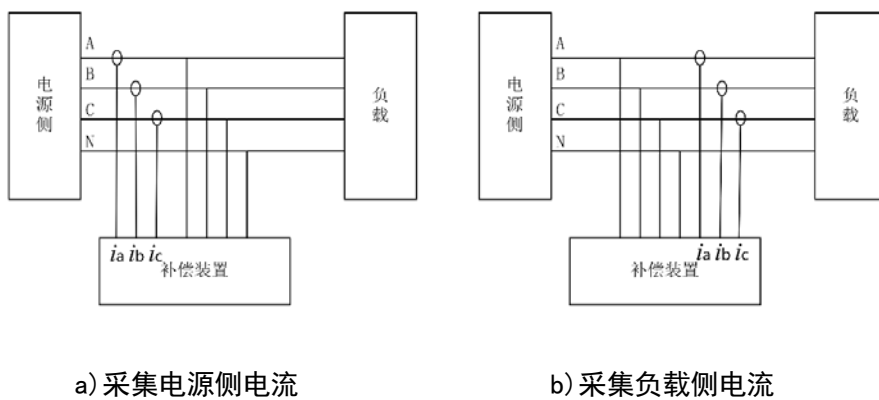
A.5 装置与系统的接线

装置与三相三线制系统和三相四线制系统的接线示意图分别如图A.2和图A.3所示。



注：图A.2中，若电源侧有N线，根据实际情况确定是否连接N线（例如，补偿装置的辅电需单相供电的情况）；若电源侧无N线，需选配适合此种工况的补偿装置。

图A.2 装置与三相三线制系统的接线示意图



图A.3 装置与三相四线制系统的接线示意图