

保密等级
公开

Q/DX

青 岛 鼎 信 通 讯 股 份 有 限 公 司 企 业 标 准

低压柔性互济设备
企业标准 V1.0

2021-10-13 发布

2021-10-13 实施

青 岛 鼎 信 通 讯 股 份 有 限 公 司 发 布

目录

目录.....	1
前 言.....	3
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	5
3.1 低压柔性互济设备(Low-voltage Flexible Complementary Equipment,LFC).....	5
3.2 补偿电流需量 compensation current demand.....	5
3.3 不平衡度 unbalance factor	错误!未定义书签。
3.4 补偿响应时间 compensation response time.....	错误!未定义书签。
3.5 不平衡电流补偿率 unbalance current compensation rate	错误!未定义书签。
4 型号命名与产品分类.....	5
4.1 型号命名.....	5
4.2 产品分类.....	6
5 使用条件.....	6
5.1 环境条件.....	6
5.2 电网具备条件.....	6
6 技术要求.....	7
6.1 结构.....	7
6.2 元器件及辅件的选择与安装.....	7
6.3 安全与防护.....	8
6.4 电气间隙与爬电距离.....	8
6.5 装置的介电性能.....	9
6.6 保护及告警功能.....	10
6.7 运行模式要求.....	11
6.8 运行性能要求.....	11
6.9 电气性能试验（研发自测）.....	12
6.10 通信及通讯功能.....	12
6.11 电气参数测量功能.....	13
6.12 人机交互功能.....	13
6.13 控制功能.....	13
6.14 机械操作.....	13
6.15 电磁兼容性能.....	13
6.16 环境可靠性试验.....	15
7 试验方法.....	16
7.1 试验条件.....	16
7.2 试验项目.....	16
8 检验规则.....	21
8.1 试验分类.....	21

8.2 出厂试验.....	22
8.3 型式试验.....	23
9 标志、包装、运输、贮存.....	23
9.1 标志和随机文件.....	23
9.2 包装与运输.....	23
9.3 贮存.....	23
附录 A 电流不平衡度计算方法.....	错误!未定义书签。
附录 B 补偿需量计算.....	错误!未定义书签。
版本记录.....	24

前 言

本规范的目的是对低压柔性互济设备规定必要的技术要求和试验程序。

本标准依据GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分 标准的结构与编写》进行起草。

本标准由青岛鼎信通讯股份有限公司提出并起草。

本标准主要起草人：郑晓明、宗国强、马玉坤、张晓宇。

本标准自发布之日起有效期三年，到期复审。到期未复审视为无效。当有相应的国家标准、行业标准和地方标准发布实施后，应及时复审，并确定其继续有效、修订或废止。

低压柔性互济设备(LFC)

1 范围

配电网中，经常出现低压台区负荷过高或过低的情况，特别是部分农网台区，变压器负荷受季节性、周期性影响变化跨度极大，对供电公司维护供电可靠性造成了相当大的影响。

针对此类问题，现有的情况是在多数地区，供电公司会使用增减变压器或者切换负荷的手段来进行解决，但这类方法，滞后、非智能、解决效果不明显。亟需一种智能化实时调控的手段。低压柔性互济设备可以解决上述问题。

本规范适用于额定频率为50Hz，额定工作电压不超过690V的低压配电系统中柔性互济设备的技术参数、试验项目、方法及要求；两个台区分别加装柔性互济设备，通过直流输电连接，实现相邻低压配电台区的能量互济。

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 2894-2008	安全标志及其使用导则
GB/T 4205-2010	人机界面标志标识的基本和安全规则 操作规则
GB/T 4208-2008	外壳防护等级（IP代码）
GB 4824-2013	工业、科学和医疗(ISM)射频设备 骚扰特性 限值和测量方法
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 14715-1993	信息技术设备用不间断电源 通用技术条件
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 15543-2008	电能质量 三相电压允许不平衡度
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 17626.3-2016	电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
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 17626.5-2019	电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
GBT17626.12-2013	电磁兼容试验和测量技术振铃波抗扰度试验
GBT17626.6-2017	电磁兼容试验和测量技术射频场感应的传导骚扰抗扰度
GB/T 17626.18-2016	电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验
GB/T 2423.4-2008	电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验 Db：交变湿热试验方法（12h + 12h 循环）

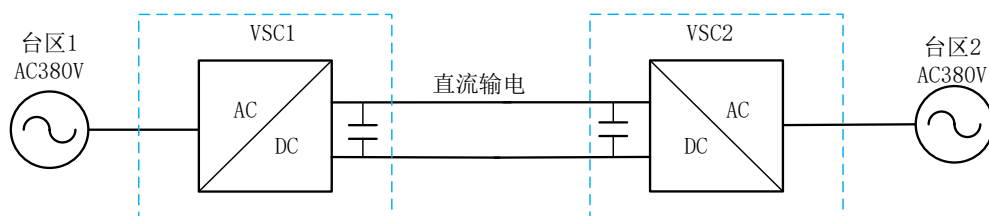
GB/T 2423.5-2019	环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Ea 和导则: 冲击。
GB/T 2423.10-2019	环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 Fc: 振动(正弦)。
JB/T 11067-2011	低压有源电力滤波装置
DL/T 842-2015	低压并联电容器装置使用技术条件
DL/T 1053-2007	电能质量技术监督规程
DL-T1216-2019	配电网静止同步补偿装置技术规范
T_CPSS-1003-2018	中国电源协会团体标准《低压静止无功发生器》
T_CPSS-1001-2018	中国电源协会团体标准《低压配电网有源不平衡补偿装置》

3 术语和定义

GB/T 15543-2008中确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 低压柔性互济设备 (Low-voltage Flexible Complementary Equipment, LFC)

低压柔性互济设备(LFC)，是一种利用IGBT技术、电力电子技术等多种技术融合，其原理为互济设备进行配电变压器的电流采集并上报主站，主站分析出相邻低压配电台区重过载情况并下达指令给互济设备（能源控制器转发），控制器运算出需要转移的电流，由控制器发出PWM信号给IGBT驱动，通过电流的双向整流、逆变，实现台区的能量双向传输。



3.1 低压柔性互济设备原理

- ★两个台区分别加装互济设备，通过直流输电连接，实现台区间能量交换。
- ★当台区1轻载，台区2重载，LFC1工作在整流模式，LFC2工作在逆变模式，能量从台区1流向台区2。
- ★当台区1重载，台区2轻载，LFC1工作在逆变模式，LFC2工作在整流模式，能量从台区2流向台区1。

3.2 电流需量 compensation current demand

针对特定的负载工况和上位机指令要求，装置需要输出的最大补偿电流大小，单位为安培（A）。

4 型号命名与产品分类

4.1 型号命名

LFC 产品型号命名：由制造商代号、装置代号、装置容量、电压等级、线制及安装场所等六部分组成。其具体组成形式如图 4.1 所示。

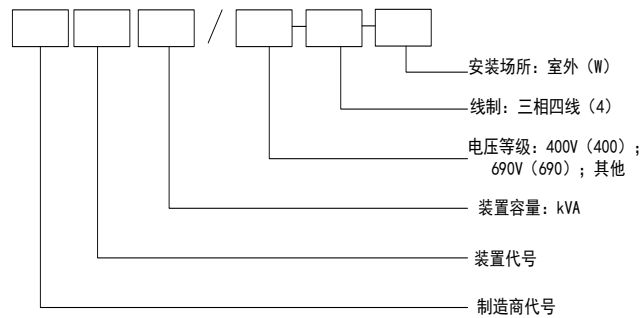


图 4.1 低压柔性互济设备的命名规范

4.2 产品分类

4.2.1 按装置的额定补偿容量分类

100kVA，其它容量值由用户与制造商商定。

4.2.2 按装置的额定电压等级分类

220V（240V）、380V（400V）、和660V（690V），其它电压等级由用户与制造商商定。

4.2.3 按装置的安装方式分类

柱上型、地面型

5 使用条件

5.1 环境条件

- a) 环境温度：-40℃～+45℃，日平均温度不超过 35℃。
- b) 相对湿度：日平均值不大于 95%，最湿月的月平均相对湿度不大于 90%，无凝露发生。
- c) 周围介质无爆炸及易燃、易爆危险，无腐蚀性气体。
- d) 海拔高度不超过 2000 m（安装地点海拔高度超过 2000 m 时，与之相关的温升限值、绝缘等应予以修正）。

e) 安装地点无剧烈振动及颠簸，安装倾斜度不大于 5°。

f) 污染等级（器件所处环境）：3 级。

备注：污染等级是指器具所处的环境，按照标准可分为四级。

污染等级 1：无污染或仅有干燥的非导电性污染，此污染对设备没有影响。

污染等级 2：一般情况下只有非导电性污染，但是也应预料到由于凝露偶尔造成的暂时的导电性。

污染等级 3：存在导电性污染，或者由于凝露使干燥的非导电性污染变成导电性的污染。

污染等级 4：造成持久性的导电及电气机车、机动车、无轨电车和车厢下的设备，机车内暴露在外的设备）。

g)地震裂度：不大于 8 度；

h)雷害等级：中雷区；

i)安装位置：户外（柱上或地面）安装。

5.2 电网具备条件

- a) 电压不平衡度：负序分量或零序分量不超过正序分量的 10%。

- b) 电压波动范围不超过额定工作电压的 $\pm 20\%$ 。
- c) 频率变化范围不超过额定频率的 $\pm 5\%$ 。

6 技术要求

6.1 结构

6.1.1 壳体及模块要求

- a) 装置由能承受一定的机械、电气和热应力的材料构成，应能承受元件安装或短路时可能产生的电动应力 and 热应力。同时不因装置的吊装、运输等情况影响装置的性能，在正常使用条件下应经得起可能会遇到的潮湿影响。
- b) 装置壳体的外表面，一般应喷涂无眩目反光的覆盖层，表面不应有气泡、裂纹或留痕等缺陷。
- c) 装置的所有金属紧固件均应有合适的镀层，镀层不应脱落变色及生锈。
- d) 装置的焊接件应焊接牢固，焊接应均匀美观，无焊穿裂纹、咬边、残渣、气孔等现象。

6.1.2 柱上式壳体额外要求

使用寿命保证在 10 年以上，可制作 3 种方案。

- a) 针对供电公司招标需求，壳体采用 304 不锈钢材质，壳体厚度应不小于 2.0mm。
- b) 针对供电公司非招标及终端客户高档次需求，壳体采用 304 不锈钢材质，壳体主体结构厚度不小于 1.5mm。
- c) 针对供电公司非招标及终端客户低档次需求，采用冷板或覆铝锌喷粉形式，但壳体寿命必须保证 10 年以上。
- d) 装置的门应能在不小于 90° 的角度内灵活启闭。
- e) 所有连接螺栓、固定件等具有防腐蚀措施，满足户外运行需要。

6.1.3 机柜式壳体额外要求

- a) 机架式壳体使用寿命保证在 10 年以上，采用冷板或覆铝锌喷粉形式。

6.1.4 模块额外要求

- a) 模块可采用覆铝锌或冷板、镀锌板喷粉形式，寿命保证 10 年以上。

6.2 元器件及辅件的选择与安装

6.2.1 装置元器件及辅件的选择与安装

- a) 电器元件的布置应整齐、端正，便于安装、接线、维修和更换，应设有与电路图一致的符号或代号；所有的紧固件都应采取防松措施，暂不接线的螺钉也应拧紧。
- b) 需要在装置内部操作，调整和复位的元件应易于操作。与外部连线的接线座应固定在装置安装基准面上方至少 0.2m 高度处。仪表的安装高度不宜高出装置安装基准面 2m。操作器件（如手柄、按钮等）的安装高度，其中心线不宜高于装置基准面 2m。紧急操作器件宜装在距装置安装基准面的 0.8m~1.6m 范围内。
- c) 装置中所选用的指示灯和按钮的颜色符合表 6.1 规定。
- d)

表 6.1 指示灯和按钮颜色含义

红色	黄色	绿色
危险/紧急/电源	警告/异常	正常/安全

- e) 装置中的连接导线，应具有与额定工作电压相适应的绝缘。
- f) 主电路母线的截面积按照该电路的额定工作电流 1.1 倍选择；辅助电路的导线截面积不小于 1.0mm^2 的铜芯多股绝缘导线；电流测量回路的导线截面积应不小于 2.5mm^2 。
- g) 装置的绝缘导线应选用多股绝缘导线，采用冷压接端头连接。冷压接端头及压接工具应符合如下要求。

冷压接端头：端头表面应有不易磨损的标记、商标及主要参数，不应有毛刺、变形、起皮、开裂、焊料外溢等缺陷；预绝缘套与裸端头应配合紧密、无松动，绝缘套壁厚均匀，颜色一致。端头表面的镀层采用镀锡或镀镍工艺。

压接工具：端头压接所使用的工具须经专业机构认证，压接时钳口、导线和端头必须相配。

- h) 通常，一个连接端子只连接一根导线，必要时允许连接两根导线。对于有三个及以上补偿支路的装置，应设置汇流母排或汇流端子，采用由主母线向补偿支路供电的方式连接。

6.3 安全与防护

6.3.1 外壳防护

根据 GB/T 4208-2008 的要求，室外装置外壳的防护等级应不低于 IP43。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。

外壳进出线口应具有防止小动物进入而造成设备电气损坏的措施。

6.3.2 安全标识

装置应根据 GB 2894-2008 及组成器件的要求明确相关警告标志和符号。

6.3.3 防护与接地

- a. PEN 导体最小截面积应为铜 4mm^2 。
- b. 对直接接触的防护可以依靠装置本身的结构措施，也可以依靠装置在安装时所采取的附加措施，供货方应在说明书中提供相关信息。
- c. 对间接接触的防护应在装置内部采用保护电路。保护电路可通过单独装设保护导体来实现。
- d. 装置的金属壳体，可能带电的金属件及要求接地的电器元件的金属底座（包括因绝缘破坏可能会带电的金属件），装有电器元件的门，板，支架与主接地间应保证具有可靠的电气连接，其与主接地点间的电阻值应不大于 0.05Ω 。
- e. 装置内保护电路的所有部件的设计应保证它们足以耐受装置在安装场所可能遇到的最大热应力和电动应力。
- f. 接地端子应有明显的标识。

6.4 电气间隙与爬电距离

- a) 装置的电气间隙和爬电距离应符合 GB/T 15576-2008 中 6.6 的要求。
- 装置内的元器件应符合各自标准规定，正常使用条件下，应保持其电气间隙和爬电距离。
- 装置不同相的裸露带电体之间以及它们与地之间的电气间隙及爬电距离满足表 6.2、6.3。

表 6.1 电气间隙

额定冲击耐受电压 U_{imp} V	最小的电气间隙 mm
≤2500	1.5
4000	3.0
6000	5.5
8000	8.0
12 000	14.0
注：表中数据根据非均匀电场环境和污染等级 3 决定。	

表 6.3 爬电距离

额定绝缘电压 U_i^a V	最小爬电距离 mm							
	污染等级							
	1	2			3			
	材料组别 ^b	材料组别 ^b			材料组别 ^b			
	所有材料组	I	II	IIIa 和 IIIb	I	II	IIIa	IIIb
32	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
40	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	1.8
50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	1.9
63	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	2.0	2.0
80	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	2.1	2.1
100	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2
125	1.5	1.5	1.5	1.5	1.9	2.1	2.4	2.4
160	1.5	1.5	1.5	1.6	2.0	2.2	2.5	2.5
200	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	2.8	3.2	3.2
250	1.5	1.5	1.8	2.5	3.2	3.6	4.0	4.0
320	1.5	1.6	2.2	3.2	4.0	4.5	5.0	5.0
400	1.5	2.0	2.8	4.0	5.0	5.6	6.3	6.3
500	1.5	2.5	3.6	5.0	6.3	7.1	8.0	8.0
630	1.8	3.2	4.5	6.3	8.0	9.0	10.0	10.0
800	2.4	4.0	5.6	8.0	10.0	11.0	12.5	
1 000	3.2	5.0	7.1	10.0	12.5	14.0	16.0	
1 250	4.2	6.3	9.0	12.5	16.0	18.0	20.0	
1 600	5.6	8.0	11.0	16.0	20.0	22.0	25.0	
注 1：相比电痕化指数（CTI）的值根据 GB/T 4207—2012 中所用绝缘材料方法 A 取得。								
注 2：值来自 GB/T 16935.1—2008，但保持最小值 1.5 mm。								
注 3：材料组别 IIIb 一般不推荐用于 630 V 以上的污染等级 3。								
^a 作为例外，对于额定绝缘电压 127 V、208 V、415 V/440 V、660 V/690 V 和 830 V，可采用分别对应于 125 V、200 V、400 V、630 V 和 800 V 的较低挡的爬电距离。								
^b 根据 CTI 的范围值，材料组别分组如下：								
——材料组别 I，600≤CTI；								
——材料组别 II，400≤CTI<600；								
——材料组别 IIIa，175≤CTI<400；								
——材料组别 IIIb，100≤CTI<175。								

6.5 装置的介电性能

6.5.1 绝缘电阻

带电体与裸露导体部件之间，带电体对地的绝缘电阻不小于 1000 Ω/V。

6.5.2 工频耐压

主电路工频电压(交流、直流二选一)耐受水平符合表 6.4 规定,漏电流 $<10\text{ mA}$,维持 1 min ,应无电击穿或闪络。

表 6.4 试验电压值

额定绝缘电压 U_i/V	试验电压(交流方均根值)/V
$U_i \leq 60$	交流 1000V 或直流 1414V
$60 < U_i \leq 300$	交流 2000V 或直流 2828V
$300 < U_i \leq 690$	交流 2500V 或直流 3535V

6.6 保护及告警功能

装置应至少具备上电自检功能、交流输入过电压、欠电压及相序异常保护与告警、交流过流保护与告警、频率保护与告警、缺相保护与告警、散热系统异常及过温保护与报警、短路及过流保护、瞬态过电压保护、直流母线过欠压保护。

6.6.1 上电自检功能

装置应具有上电自检功能,自检异常时闭锁全部动作,并发出告警信息。

6.6.2 升级中断

升级过程中断电,重新上电以后程序应恢复至升级前版本,不允许出现死机、黑屏、产品无法启动等问题。(烧写器升级除外。此项试验主要为了避免生产、市场升级(U 盘升级、远程升级、串口升级等)异常导致产品异常不能修复的情况。

6.6.3 交流输入过电压、欠电压及告警

交流输入电压高于过电压设定值或者低于欠电压设定值时,装置应立即停止输出,并给出告警指示。

6.6.4 交流过流保护与告警

装置输出电流超过保护电流设定值时,装置应立即停止输出,并给出告警指示。

6.6.5 频率保护与告警

装置输入频率低于欠频率设定值或高于过频率设定值时,装置应立即停止输出,并给出告警指示。

6.6.6 缺相保护与告警

装置检测到系统电压任何一相缺失时,装置应立即停止输出,并给出告警指示。

6.6.7 散热系统异常及过温保护与告警

装置检测到内部散热系统异常或温度超过设定值时,装置应立即停止输出,并给出告警指示。

6.6.8 短路及过流保护

装置保护采用断路器进行短路、过流进行保护,断路器额定电流应不低于 1.3 倍装置额定电流。

6.6.9 瞬态过电压保护

采用避雷器作为防雷和防操作过电压保护。

6.6.10 直流母线过欠压保护

直流母线电压高于过电压设定值或者低于欠电压设定值时，装置应立即停止输出，并给出告警指示。

6.7 运行模式要求

6.7.1 有功功率双向调度

LFC设备通过采集配电变压器的电流数据并上报主站，主站分析出相邻低压配电台区重过载情况并下达指令给互济设备（能源控制器转发），控制器运算出需要转移的电流，由控制器发出PWM信号给IGBT驱动，通过电流的双向整流、逆变，实现台区的能量双向传输调度。

6.7.2 节能模式

在相邻台区负载差别不大，不需要功率调度的情况下，设备应能进入节能模式。

6.7.3 本地变压器重载限幅

当变压器重载超过设定阈值 80%，持续时间超过 10s 且设备从变压器吸收能量时，对设备输出限幅。

6.7.4 依据直流母线电压限制输出

设备应根据直流母线的电压值对输出功率进行限制。

6.7.5 从机根据主机随动开关机

LFC 设备通常分为主机与从机两台设备，从机应根据主机状态随动开关机。

6.8 运行性能要求

6.8.1 温升

温升限值应符合 DL/T1216-2013 中 7.76 的要求。

表 6.5 低压柔性互济设备各部位的极限温升

部位名称			温升限值 (K)
干式 变压器	绕组	A 级绝缘	60
		B 级绝缘	80
		F 级绝缘	100
		H 级绝缘	125
	铁芯		在任何情况下不出现使铁芯本身、其他部件或与其相邻的材料受到损害的程度
油浸变压器（字母代号为 O）绕组			65
铜母线			35
铜母线 连接处	无保护层		45
	有锡和铜保护层		55
	有银保护层		70
铝母线			25
铝母线连接处			30
电阻 元件	距电阻表面 30mm 处的空气		25
	印刷电路板上电阻表面		30
塑料、橡皮、漆膜绝缘导线			20
功率半导体器件			按各自元件标准规定

6.8.2 额定损耗

单台装置额定损耗应不大于额定容量的 3%。

6.8.3 噪声

在额定负载和周围环境噪声不大于 40 dB 的条件下，距离噪声源水平位置 1 m 处，测得的装置噪声最大值不应大于 70 dB。

6.9 电气性能试验（研发自测）

6.9.1 时钟电池漏电流

系统时钟电池漏电流停电状态下应不超过20uA，通电状态下不应超过1uA，且不允许有充电电流。

6.9.2 电源性能

表 6.6 电源测试实验方法

试验项目	试验方法
电源缓升	将设备温度升至 50(-40)℃，16h 后，分别对测试样品进行电压缓升（20s 到 U_n ）、直接启动和掉电后 20s 以上再启动的验证，应能正常工作
电压跌落	产品三相供电，温度 50(-40)℃，电压 $1.2U_n$ ，全跌，持续 20s，上电 20s，试验 2000 次，试验后设备应正常工作
电压随机跌落	电压随机跌落：产品额定电压供电，使用“电压随机跌落工装”对试验样品测试，测试时间 12 小时，试验后设备应正常工作
电压逐渐变化	待机状态下，电压在 60s 内从 $1.1U_n$ 均匀地下降至 0V，再以相同的时间从 0V 均匀地上升到 $1.1U_n$ ，反复进行 10 次，试验后设备应正常工作
电源谐波影响试验	通过谐波发生器（电动车充电器）对产品施加干扰，测试元器件温升并观察是否存在异常现象，试验过程中及试验后功能性能正常。

6.9.3 天线带电影响试验

ANT口漏电：输入 $1.06U_n$ ，ANT口对PE漏电流小于0.5mA。

6.10 通信及通讯功能

6.10.1 通信功能

装置应能按设定时间间隔采集的三相电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数、零线电流等数据，并具有数据传输功能。

6.10.2 通讯功能

装置应按用户需求选装 GPRS、RS485、RS232、WiFi、2.4G 等标准化通讯接口，所支持的协议由生产制造厂家与用户自行协商。

6.11 电气参数测量功能

装置应具备三相电流、电压、有功功率、无功功率、功率因数指示。电压，电流精度满足 1% 要求。

6.12 人机交互功能

装置应具备三相功率因数、三相电压、三相电流等电参数的显示，设备运行相关参数设定、保护阈值设定等，并设有电源指示、故障指示等。

6.13 控制功能












装置控制系统应可根据系统无功、谐波、三相不平衡的变化情况，自动调节装置输出。

装置补偿功能可根据用户实际需求进行定制，定制功能的测试方法及性能指标应单独给出。

6.14 机械操作

装置的操作器件的运动方向应符合 GB/T4205 的规定，与其相连的机械联锁或其它附件应能承受不少于 1000 次操作次数且不受损伤的规定，如表 6.7 所示。

表 6.7 装置操作器件的运动方向分类

操作件的类别	操作类别	操作方向	
		组 1	组 2
手轮、手柄、旋钮等	旋转	顺时针 	逆时针 
基本上是线性运动的把手、拉杆、推-拉按钮等	垂直运动	向上 	向下 
	水平运动	右-左	向左 
		向前-向后	离开操作人员  面向操作人员 
操作件组的类别	操作类别	操作实施点	
		组 1	组 2
具有双向效应的一组手柄、按钮、推拉杆、拉线等	压、拉等	 操作上方器件	 操作下方器件
		 操作右方器件	 操作左方器件
操作件组的类别	操作类别	操作分类	
VDT	移动和操作	操作方向和作用点：不分类	
键盘	键入		
敏感区域	碰触		

6.15 电磁兼容性能

6.15.1 抗干扰能力

6.15.1.1 承受射频电磁场辐射干扰的能力

试验装置带载能力范围内，装置应能承受 GB/T 17626.3-2016 中规定的严酷等级为 3 级的射频电磁场辐射抗扰度试验。

1. 扫频参数：频率范围 80MHz~1GHz，1.4GHz~2GHz，80%AM 调制，调制频率 1kHz，扫频步长 1%，驻留时间 1s。

2. 极化方向：水平、垂直。

3. 测试距离：1m。

4. 试验过程：EUT 放置于 10V/m 均匀场中，观察设备工作状态。

5. 验收准则：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，

装置应能正常工作，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.15.1.2 承受电快速瞬变脉冲群干扰的能力

试验装置带载能力范围内，装置应能承受 GB/T 17626.4-2006 中规定的严酷等级为 3 级的电快速瞬变脉冲群干扰能力试验。

1. 试验过程：在 EUT 的交流电源输入端口施加峰值电压 2kV，重复频率 5kHz、100kHz 脉冲群波形。持续时间 1min。

2. 验收准则：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，装置应能正常工作，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.15.1.3 承受静电放电干扰的能力

试验装置带载能力范围内，装置应能承受 GB/T 17626.2-2018 中规定的严酷等级为 3 级的静电放电干扰能力试验。

1) 放电方式：接空气放电。

2) 严酷等级：±15kV 正负极各 10 次 放电间隔 1s。

3) 空气放电部位：可接触的壳体表面、触摸屏、按键、指示灯、面板、等缝隙。

4) 验收准则：功能或性能暂时丧失或降低，但在骚扰停止后能自行恢复，不需要操作者干预。

6.15.1.4 承受浪涌（冲击）干扰的能力

试验装置带载能力范围内，装置应能承受 GB/T 17626.5-2019 中规定的严酷等级为 4 级的浪涌（冲击）干扰能力试验。试验设备不接地进行测试。

1) 试验过程：在 EUT 的交流电源输入端口：线对地（共模），电压峰值 4kV；线对线（差模），电压峰值 2kV，开路电压波形 1.2/50us。 ，1min/1 次，正负极性各做 5 次。试验电压由低等级增加到规定的试验等级，较低等级均应满足要求。

2) 验收准则：功能或性能暂时丧失或降低，但在骚扰停止后能自行恢复，不需要操作者干预。

6.15.1.5 振铃波抗扰度

试验装置带载能力范围内，装置应能承受 GB/T 17626.12-2013 中规定的严酷等级为 3 级的振铃波干扰能力试验。

1) 试验过程：试验电压：线对地 4kV，线对线 2kV；干扰信号频率：100kHz；阻抗值：12Ω；

瞬态重复率：60s；相位角：0°、90°、180°、270°；试验次数：正负极性各 5 次。

2) 试验方法：LFC 设备处在零电流运行工作状态，按试验等级规定的试验值，通过耦合/去耦网络将干扰信号施加到电源端口上，观察 LFC 设备的工作状态。

3) 验收准则：功能或性能暂时丧失或降低，但在骚扰停止后能自行恢复，不需要操作者干预。

6.15.1.6 射频感应的传导骚扰抗扰度试验

试验装置带载能力范围内，装置应能承受 GB/T 17626.6-2017 中第 5 章规定的严酷等级为 3 级的射频感应的传导骚扰抗扰度试验。

1) 扫频参数：频率范围 150kHz~80MHz，80%AM 调制，调制频率 1kHz，扫频步长 1%，驻留时间 1s。

2) 测试端口：交流电源端口。

3) 验收准则：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，装置应能正常工作，且不允许性能降低或性能低于制造商指定的性能级别。

6.15.2 电磁骚扰特性

1.试验要求：试验装置 0A 电流运行，满足如下传导骚扰要求。

传导骚扰：

a)测试频段：150kHz--2MHz

b)测试端口：交流电源端口

c)测试限值：1 组对 A 类设备，电源端子骚扰电压限值如下：

d)

频段/MHz	准峰值/dB (uV)
0.15~2	80

3. 验收准则：试验装置 0A 电流运行，满足骚扰电压限值。

6.16 环境可靠性试验

6.16.1 环境温度性能试验

LFC设备应在5.1规定的环境温度条件下满功率运行测试，证明符合温度运行条件。设备需要在-40℃情况下和+45℃情况下满功率运行24h以上，运行过程中设备不能出现故障、停机、降额等情况。

6.16.2 模拟汽车颠簸试验

带包装测试，持续40分钟。参考ISTA-1A标准。

6.16.3 跌落试验

按Q/DX D121.009-2020跌落试验方法带包装进行自由跌落之后，不应发生损坏和零部件受振动脱落现象，且功能正常。

试验跌落高度随包装品的重量不同而变化，从表6.8中找出包装品的重量来决定跌落高度。

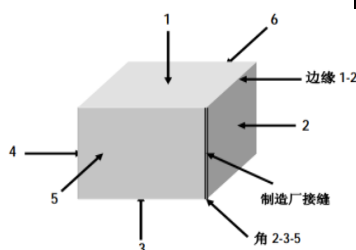


表 6.8

包装重量 m(kg)	跌落高度(mm)
$m < 10$	760
$10 \leq m < 19$	610
$19 \leq m < 28$	460
$28 \leq m < 45$	310
$45 \leq m < 68$	200
$m \geq 68$	200

试验应按照表6.9中的次序。

表 6.9

次序号	方位	特定的面、边或角
1	角	角 2-3-5

2	边	边 3-6
3	边	边 3-4
4	边	边 4-6
5	面	面 5
6	面	面 6
7	面	面 2
8	面	面 4
9	面	面 3
10	面	面 1

6.16.4 振动试验

对装置进行振动试验，参照标准GB/T 2423.10-2019 环境试验第2部分中的试验要求进行试验。

6.16.5 高温耐久试验

额定电压，正常带载运行，高温50℃，200小时，设备正常运行，期间允许可恢复性的功能丧失，试验结束设备性能功能应正常。

6.16.6 包装试验

设备包装实验应满足《Q/DX D121.009-2020 青岛鼎信通讯股份有限公司工程技术本部技术规范-包装运输试验标准 V1.0(20200131)》

7 试验方法

7.1 试验条件

7.1.1 一般要求

设备的一切试验和测量，除另有规定外，均应在本规范 7.1.2 和 7.1.3 规定条件下进行。

7.1.2 试验电源条件

试验和测量所使用的交流电压的频率为 $50\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ ，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%。

7.1.3 试验的标准大气条件

试验的标准大气条件包括：

- a) 海拔：2000 m 及以下；
- b) 环境温度： $+5^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 相对湿度：45%~75%；
- d) 大气压力：86 kPa~106 kPa。

7.2 试验项目

7.2.1 外观及结构检查

用目测和仪器测量的方法进行检查 LFC 的外观和结构，应满足本规范 6.1 和 6.2 的要求。

7.2.2 外壳防护等级验证

按 GB/T 4208-2008 规定的方法进行验证 LFC 的防护等级，应满足本规范 6.3.1 的要求。

7.2.3 安全防护测试

检查 LFC 的安全标识，应满足本规范 6.3.2 的要求。

采用接地电阻测试仪通 10A 电流，测量各接地点与主接地点间的电阻，其电阻值应满足本规范 6.3.3 的要求。

7.2.4 电气间隙与爬电距离检验

测量装置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，其测量值应满足本规范 6.4 的要求。

7.2.5 介电性能试验

7.2.5.1 绝缘电阻测试

用电压不低于 500V 的绝缘测量仪器进行绝缘电阻测量，测量部位为相导体与地之间，其测量值应满足本规范 6.5.1 的要求。

7.2.5.2 工频耐压试验

拆除防雷部分的接地螺丝，测试耐压，在试验过程中，满足本规范 6.5.2 要求，则此项试验通过。

7.2.6 保护及告警功能试验

LFC 的保护及告警功能试验按照本规范 6.6 进行各种保护功能试验，进行试验时，应在主电路上模拟被保护 LFC 的异常状态，或在二次回路上设定等价故障信号。保护 LFC 在整定范围内应能正常动作，并按照本规范 6.6 发出相应告警信息。每种保护功能的试验次数不少于 3 次。保护动作精度偏差满足 6.6 的要求。

7.2.7 试验平台及 LFC 运行模式验证

LFC 的试验平台示意图如图 7.1 所示，试验需配置控制上位机、电表、负载，能根据试验需求产生不同的有功电流。

根据本规范的 6.7 要求验证 LFC 的几种运行模式：双向有功调度、节能模式、本地变压器重载限幅、依据直流母线电压限制输出、从机根据主机随动开关机。

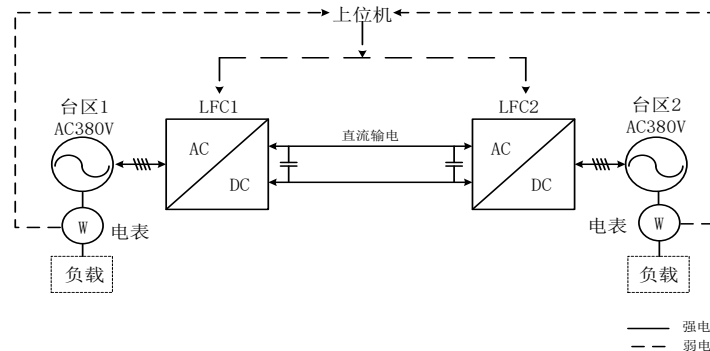


图 7.1 试验平台示意图

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）：

- a) 三相电压、电流有效值及波形；
- b) 三相有功功率、无功功率、视在功率、功率因数；
- c) 三相电压、电流的不平衡分量和不平衡度；

7.2.8 工作电压范围试验

LFC 开机后，调节试验电压至 LFC 下限正常工作电压和上限正常工作电压维持 1min 以上，LFC 应能稳定运行，期间 LFC 不应出现闭锁或退出运行。当调节试验电压超过工作电压范围时，LFC 应立即停止输出，试验结果应满足本规范 5.3 的要求。

7.2.9 功能试验

7.2.9.1 有功功率双向调度

如图 7.1 实验平台所示：

- 1) 两个台区分别加装LFC设备，通过直流输电连接，实现台区间能量交换。
- 2) 当台区1轻载，台区2重载时，LFC1工作在整流模式，LFC2工作在逆变模式，能量从台区1流向台区2。
- 3) 当台区1重载，台区2轻载时，LFC1工作在逆变模式，LFC2工作在整流模式，能量从台区2流向台区1。

7.2.9.2 节能模式

设备根据主站下发的指令输出功率，当整流或逆变设备接收到的集中器下发的功率小于 1kW 时，设备进入节能模式。

7.2.9.3 本地变压器重载限幅

当变压器重载超过设定阈值 80%，持续时间超过 10s 且设备从变压器吸收能量时，对设备输出限幅。

7.2.9.4 依据直流母线电压限制输出

★整流侧根据功率调节母线电压：

- 1) 逆变设备回馈能量时，从 50kW 增加到 60kW，降低母线电压；
- 2) 逆变设备输出能量时，从 50kW 增加到 60kW，提高母线电压；

★逆变侧根据母线电压限制逆变的输出功率

低于母线阈值 700V 时，限制输出电流，不限制回馈电流；高于母线阈值 740V 时，限制回馈电流，不限制输出电流；中间电压则不限幅。

7.2.9.5 从机根据主机随动开关机

启动时主机发送 25Hz 信号，从机根据 DFT 滤波得到 25Hz 电压幅值，幅值超过设定的阈值且超过 3s，认为主机设备已投入，则启动从机设备；主机关机后，从机检测 25Hz 电压幅值小于阈值且连续 100ms，则从机停机。

7.2.10 温升试验

LFC 在额定容性无功或额定感性无功运行条件下，监测 LFC 部件及连接点的温度以及周围空气温度，当温度变化连续 1h 不超过 1K/h 时，认为温度达到稳定，温升应满足标准 6.8.3 规定。

测量 LFC 的周围空气温度时，至少应用两个温度计或热电偶均匀布置在 LFC 的周围，在高度约等于 LFC 的 1/2，距 LFC 1m 远的位置进行测量，然后取它们读数的平均值即为 LFC 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。

7.2.11 损耗试验

损耗试验按以下步骤进行：

- a) 参考试验电路如图 7.1；
- b) 试验时，应保证负载处于工作状态，设置 LFC 正常运行；
- c) 调节负载，使其输出的功率为 LFC 额定满载功率，各稳定运行 1 h。
- d) 测定每种工况下的输入及输出有功功率，计算 LFC 有功功率损耗值，应满足 6.8.4 的要求。

7.2.12 噪声测试

在 LFC 输出额定容量的无功功率、散热系统正常运行工况下，按照 GB/T 10233-2005 中 4.13 规定的测试方法进行试验，测量频率范围为 2~20 kHz 频段，测试结果应符合本规范 6.8.5 的要求。

7.2.13 电气性能（研发自测）

LFC 应按照本规范 6.9 要求对装置电气性能进行测试并满足相应的要求。

7.2.14 通信及通讯功能

LFC 的通信及通讯功能试验依据本规范的 6.10 要求进行。LFC 应能按设定时间间隔采集三相电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数等数据，并具有数据传输功能。LFC 应按用户需求选装 4G，RS485(Modbus 规约)等标准化通讯接口，所支持的协议由生产制造厂家与用户自行协商。

7.2.15 电气参数测量功能

LFC 的电气参数测量功能试验依据本规范的 6.11 要求进行，LFC 正常工作过程中测量任意时刻三相电流、电压、有功功率、无功功率、功率因数，验证与 LFC 仪表上显示的参数一致。

7.2.16 人机交互功能

LFC 的人机交互功能试验依据本规范的 6.12 要求进行。LFC 应具备三相功率因数、三相电压、三相电流、取样电流互感器变比设定值、过压设定值显示，并设有电源指示、故障指示等。

7.2.17 机械操作

LFC 的操作器件的运动方向应符合 6.14 的规定，与其相连的机械联锁或其它附件应能承受不少于 50 次操作次数且不受损伤的规定。

出厂试验，操作次数不少于 5 次。

7.2.18 电磁兼容测试

7.2.18.1 射频电磁场辐射抗扰度试验

按照 GB/T 17626.3-2006 中第 5 章的规定,对 LFC 进行严酷等级为 3 级的射频电磁场辐射抗扰度试验,测试结果应符合本规范 6.15.1 的要求。

7.2.18.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按照 GB/T 17626.4-2008 中第 5 章的规定,对 LFC 进行严酷等级为 3 级的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验,测试结果应符合本规范 6.15.2 的要求。

7.2.18.3 静电放电抗扰度试验

按照 GB/T 17626.2-2006 中第 5 章规定,对 LFC 进行严酷等级为 3 级的静电放电抗扰度试验,测试结果应符合本规范 6.15.3 的要求。

7.2.18.4 浪涌(冲击)抗扰度试验

按照 GB/T 17626.5-2008 中第 5 章的规定,对 LFC 进行严酷等级为 4 级的浪涌(冲击)抗扰度试验,测试结果应符合本规范 6.15.4 的要求。

7.2.18.5 振铃波抗扰度试验

按照 GB/T 17626.12-2013 中第 5 章的规定,对装置进行严酷等级为 3 级的 100kHz 振铃波抗扰度试验的规定,对装置进行振铃波干扰试验。测试结果应符合本规范 6.15.5 的要求。

7.2.18.6 射频感应的传导骚扰抗扰度试验

按照 GB/T 17626.6-2017 中第 5 章的规定,对装置进行严酷等级为 3 级的射频感应的传导骚扰抗扰度试验,测试结果应符合本规范 6.15.6 的要求。

7.2.19 环境温度性能试验

将 LFC 按本规范 5.1 规定的上下限温度要求进行该项试验。LFC 的控制保护系统、隔离电源和功率模块的附属板卡在额定功率下,分别在低温和高温环境条件下,持续运行 24h,性能正常。其中低温下设备可以启动。

7.2.20 模拟汽车颠簸试验

对装置进行模拟汽车颠簸试验。测试结果应符合本规范 6.16.2 的要求。

7.2.21 跌落试验

对装置进行自由跌落试验。测试结果应符合本规范 6.16.3 的要求。

7.2.22 振动试验

对装置进行振动试验。测试结果应符合本规范 6.16.4 的要求。

7.2.23 高温耐久试验

对装置进行高温耐久试验。测试结果应符合本规范 6.16.5 的要求。

7.2.24 包装试验

对装置进行高温耐久试验。测试结果应符合本规范 6.16.6 的要求。

8 检验规则

8.1 试验分类

产品试验一般分型式试验、出厂试验，试验项目见表 8.1。

表 8.1 试验项目一览表

低压柔性互济设备(LFC)产品检测项目								
说明:								
1、生产功能测试+QA/IPQC 抽检=全项功能测试，功能项不应该有漏项								
2、试验项目各产品线根据自己实际需求可增加或者删减								
3、“√”表示全检验收的项目，a 表示功能检验时，只检数据通信、参数配置和控制功能；“√*”表示抽样验收的项目。								
序号	试验项目		研发 D 版本样机自测	研发设计变更自测	生产功能检测	新品质量全性能试验(3 台)	设计变更型式试验(3 台)	生产 QA/IPQC 抽检
	试验大类/执行部门		研发	研发	工艺	质量	质量	质量
1	一般检查	外观与结构检查	√	√	√ a	√		√*
2	绝缘性能	绝缘电阻	√	√		√	√	
		绝缘强度	√	√		√	√	
3	功能要求	升级中断	√	√				
4		保护及告警功能	√	√		√	√	
5		运行模式	√	√	√ a	√		
6		通讯功能	√	√	√ a	√		
7	性能要求	介电性能	√	√	√ a	√	√	
8		防护等级试验	√	√		√		√*
9		温升	√	√	√ a	√		
10		损耗	√	√		√		
11		噪声	√	√		√		
12		时钟电池漏电流	√	√				
13		电源性能	√	√				
14		天线带电影响	√	√				
15	电磁兼容	静电放电抗扰度试验	√	√		√	√	
16		射频电磁场辐射抗扰度试验	√	√		√	√	
17		浪涌（冲击）抗扰度试验	√	√		√	√	

18		电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	√	√		√	√	
19		振铃波抗扰度	√	√		√	√	
20		射频感应的传导骚扰抗扰度试验	√	√		√	√	
21		传导骚扰	√	√		√	√	
22	环境试验	交变湿热	√	√		√	√	
23		整机盐雾	√	√		√	√	
24		跌落	√	√		√	√	
25		模拟汽车颠簸	√	√		√	√	
26		高温运行	√	√		√	√	
27		低温启动	√	√		√	√	
28		高温耐久试验	√	√		√	√	
29		包装试验	√	√		√	√	
30	可靠性试验	模拟双 85 试验 (3 台设备)				√	√	
31	生产	版本读取试验			√ a			√ *
32		整机功能试验			√ a			√ *
33		生产工艺说明	系统审批					√ *
34		打标文件	系统审批					√ *
35		BOM	系统审批					√ *

注：版本读取试验、整机功能试验、生产工艺说明、打标文件、BOM 等操作说明，详见低压柔性互济设备(LFC)生产工艺说明。

8.2 出厂试验

装置的所有电器元件、仪器仪表等配套件，在组装前应检验其型号、规格等是否符合设计要求，并应具有出厂合格证明。

每台装置组装完成后均应进行出厂试验，出厂试验项目见表8.2。试验合格后，填写试验记录并签发出厂合格证明。

每台装置中有一项指标不符合要求，即为不合格，应进行返工。返工后应进行复试，直至全部指标符合要求，方可签发出厂合格证明。

8.3 型式试验

型式试验可在一台装置上或相同设计，但不同规格的装置上进行。型式试验产品应是经出厂试验合格的产品。

在下列任一情况下应进行型式试验：

- 连续生产的产品每 5 年进行一次型式试验；
- 设计、制造工艺或主要元器件改变，应对改变后首批投产的合格品进行型式试验；
- 新设计投产（包括转厂生产）的产品，应在生产鉴定前进行产品定型型式试验。

型式试验项目见表8.2。

进行型式试验时，达不到表8.2中型式试验项目任何一项要求时，判定该产品不合格。

型式试验不合格，则该产品应停产。直到查明并消除造成不合格的原因，且再次进行型式试验合格后，方能恢复生产。

进行定型型式试验时，允许对产品的可调部件进行调整，但应记录调整情况。设计人员应提出相应的分析说明报告，供鉴定时判定。

9 标志、包装、运输、贮存

9.1 标志和随机文件

9.1.1 铭牌

在产品铭牌上应标明：

- a) 产品名称；
- b) 产品型号；
- c) 产品额定值（应至少包括额定电压、额定频率、额定容量、质量、防护等级等项目）；
- d) 制造商名称；
- e) 制造日期（或其代码）；
- f) 产品编号。

9.1.2 随机文件

制造商应随机提供下列文件资料：

- a) 装箱清单；
- b) 安装与使用说明书；
- c) 产品合格证明。

9.2 包装与运输

产品包装与运输应符合 GB/T 13384 的规定。

产品运输、装卸过程中，不应有剧烈振动、冲击、不应倾倒倒置。

振动、冲击应符合 GB/T 14715 的规定。

9.3 贮存

产品不得曝晒或淋雨，应存放在空气流通、周围介质温度为 $-25^{\circ}\text{C}\sim+45^{\circ}\text{C}$ 、空气最大相对湿度不超过 90%（空气温度 $+20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时）、无腐蚀性气体的仓库中。

版本记录

版 本 编 号 / 修改状态	拟制人/修改人	修改日期	变动内容	备注
V1.0	郑晓明	2021-09-09		

编制：

审核：

标准化：

批准：