

ICS 29.240.99
K 40
备案号: 61516-2018

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 42141 — 2017

矿热炉供电系统用无功补偿装置 设计与应用导则

The design and application guide of reactive power compensation
installation for submerged arc furnace power supply system

2017-11-15发布

2018-03-01实施

国家能源局 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 设计原则	3
4.1 可靠性要求	3
4.2 安全性要求	3
4.3 功能要求	4
4.4 谐波要求	4
4.5 其他特殊要求	4
5 设计依据	4
5.1 概述	4
5.2 环境条件	4
5.3 矿热炉变压器参数条件	5
5.4 矿热炉冶炼电气特征参数条件	6
5.5 矿热炉短网参数条件	6
5.6 供电电网参数条件	6
6 通用设计要求	6
6.1 补偿绕组要求	6
6.2 功率因数控制要求	6
6.3 分组限制	6
6.4 补偿量测量要求	6
6.5 安全运行要求	6
6.6 环保要求	7
6.7 检修要求	7
7 设计方法	7
7.1 装置类型的确定	7
7.2 额定无功输出的确定	8
7.3 电容器组参数的确定	9
7.4 装置器件参数的确定	9
7.5 装置的保护	10
7.6 装置的控制	11
8 布置和安装	11
8.1 安装场所条件	11
8.2 布置和安装设计	11
8.3 电气间隙和爬电距离	12
8.4 接地	12
8.5 防火	12

8.6 通风	12
附录 A (资料性附录) 装置安装位置示意图	13
附录 B (资料性附录) 装置设计示例	14
B.1 概述	14
B.2 设计依据	14
B.3 装置设计要求	15
B.4 设计方法	15
附录 C (资料性附录) 矿热炉供电系统用无功补偿装置现场试验	17
C.1 单一无功补偿装置试验	17
C.2 组合补偿装置联调试验	17
C.3 验收试验	18
参考文献	19
图 A.1 装置安装位置示意图	13
表 1 装置运行地点的环境空气温度变化范围	5
表 2 装置宜具有的保护类型	10

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由国家能源局提出。

本标准由能源行业无功补偿和谐波治理装置标准化技术委员会（NEA/TC 9）归口。

本标准起草单位：深圳市恒力电源设备有限公司、西安高压电器研究院有限责任公司、上海南自科技股份有限公司、青岛菲特电器科技有限公司、桂林电力电容器有限责任公司、北京科技大学、合肥华威自动化有限公司、西安 ABB 电力电容器有限公司、深圳市三和电力科技有限公司、无锡北科自动化科技有限公司、国网浙江省电力公司绍兴供电公司、上海思源电力电容器有限公司、中国天辰工程有限公司、国网安徽省电力公司电力科学研究院、南京南瑞继保电气有限公司、合容电气股份有限公司、西安西电电力电容器有限责任公司、辽宁电能发展股份有限公司、杭州银湖电力设备有限公司、上海鄂尔多斯工业技术有限公司、申达电气集团有限公司、新东北电气集团电力电容器有限公司、上海永锦电气集团有限公司、河北旭辉电气股份有限公司、丹东欣泰电气股份有限公司、国网江西省电力科学研究院。

本标准主要起草人：于洋、张剑呼、张宗有、元复兴、张晋波、储少军、梁晨、李怀玉、江钧祥、吕韬、陶祥生、李忠思、陈晓宇、刘菁、范莺、张全为、郭曼波、葛锦萍、张宝成、胡治龙、赵军、赵福庆、陶梅、全凤岐、吴小丹、白洋、芦锋、盖斌、李顺利、苏开云、李瑞桂、蔡重凯、樊晓军、俞立天、彭杨涵、杨圣利、王洪蛟、刘见。

矿热炉供电系统用无功补偿装置设计与应用导则

1 范围

本标准规定了矿热炉供电系统用无功补偿装置的设计原则、设计依据、通用设计要求、设计方法、布置和安装等要求。

本标准适用于工频为 50Hz、额定电压为 110kV 及以下矿热炉供电系统用无功补偿装置（以下简称装置）。装置的设计与应用，除应符合本标准的规定外，且应符合国家现行的有关标准、规范的规定。

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 8349 金属封闭母线
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 22582 电力电容器 低压功率因数补偿装置
- GB/T 30841 高压并联电容器装置的通用技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

注 1：除非另有说明，在交流情况下“电压”和“电流”均指方均根值。

注 2：前面加“额定”两字的电气术语和电气量，除非另有说明，系指电热设备本身而言。

注 3：术语“额定电压”“额定电流”或“额定容量”是指由制造方规定并标明在设备上的电压（在三相系统中为线电压）、电流或容量。

3.1

矿热炉 **submerged arc furnace**

由矿热炉变压器、大电流导体（矿热炉短网）和炉体组成，通过炉体内碳素电极端部的电弧热和炉料或炉渣的电阻热来冶炼铁合金、电石、黄磷、工业硅等产品的一种电炉。

3.2

矿热炉变压器 **transformer of submerged arc furnace**

按矿热炉运行的特殊要求制造的变压器，用于从高压电网向矿热炉供电，并提供适合于矿热炉运行的电压。

3.3

矿热炉短网 **bus tube of submerged arc furnace**

矿热炉变压器低压侧出线端子与矿热炉电极之间的大电流载体。

3.4

矿热炉电极 **electrode of submerged arc furnace**

用于插入炉料产生电弧融化炉料的供电电极。

3.5

冶炼电耗 **power consumption of smelting**

对每一吨产成品，矿热炉变压器、矿热炉短网、矿热炉炉体所消耗的电能。

注：冶炼电耗的单位为千瓦时每吨（kWh/t）。

3.6

中压补偿绕组 medium-voltage compensation winding

矿热炉变压器内专门用于连接补偿装置的独立绕组，绕组电压一般为 6kV~35kV。

3.7

高压无功补偿装置 high-voltage reactive power compensation installation

装设在矿热炉变压器一次侧母线上的无功补偿装置。

3.8

中压无功补偿装置 medium-voltage reactive power compensation installation

装设在矿热炉变压器中压补偿绕组上的无功补偿装置。

3.9

低压无功补偿装置 low-voltage reactive power compensation installation

装设在矿热炉变压器低压侧的补偿装置，包括通过联接变压器接入矿热炉变压器低压侧的无功补偿装置。

3.10

公共连接点 point of common coupling; PCC

用户接入公用电网的连接处。

3.11

入炉有功功率 furnace input active power

由矿热炉供电侧输入矿热炉炉体内的有功功率。

3.12

电容器组的额定容量 rated output of a capacitor bank

Q_{Nb}

设计无功补偿装置时所规定的无功功率，通常也称为电容器装置的额定容量。

3.13

装置的额定无功输出 rated reactive power of an installation

Q_N

在额定频率和装置额定电压下的装置总的无功功率，由包括电抗器（如有的话）在内的装置中的所有阻抗计算得出。

[GB/T 30841—2014，定义 3.19]

3.14

电容器组的额定电压 rated voltage of a capacitor bank

U_{Nb}

设计电容器组时所规定的交流电压方均根值。

注：当电容器组含有一个或多个独立的电路时（例如拟用于多相连接的单相电容器组）， U_{Nb} 系指每一电路的额定电压，通常其值等于电容器单元额定电压乘以单元串联数。对于相间已有电气连接且中性点不能触及的三相电容器（例如三相电容器单元、三相集合式或箱式电容器）， U_{Nb} 系指线电压。

[GB/T 30841—2014，定义 3.16]

3.15

装置的额定电压 rated voltage of an installation

U_N

无功补偿装置拟接入电网的系统标称电压。

3.16

强迫停运 forced outages

由于装置内部设备故障而导致该设备退出运行。此时，将引起装置部分功能或所有基本功能的丧失。

3.17

计划停运 schedule outages

出于维护、检修等目的，为了保证装置长期可靠运行而必须进行的停运。此时，将引起装置部分功能或所有基本功能的暂时丧失。

3.18

停运持续时间 outages duration

从装置退出运行时刻起，到装置准备投入运行时刻止的持续时间间隔。下述情况均包括在停运持续时间中：

a) **故障判断时间 down time**

判断故障原因或决定哪一台设备需要维修、替换所需要的停机时间。

b) **准备及完工清理时间 preparing time and ending time**

运行操作人员断开设备连线、连接设备接地线以准备工作的必要准备时间，以及维修完成后卸除设备接地线、连接设备连线的完工清理时间。

c) **降容运行等效停运时间 equivalent outage time of partial outage**

由于某种原因导致装置降容运行，则降容运行等效停运时间为：

$$\text{降容运行等效停运时间} = \text{装置降容运行的持续时间} \times \left(1 - \frac{\text{降容运行期间的容量}}{\text{额定容量}} \right)$$

3.19

年可用率 annual availability

指装置在矿热炉系统正常工作时间范围内全年可正常运行的可用时间比率。计算公式如下：

$$\text{年可用率} = \left(1 - \frac{\Sigma \text{等效停运时间}}{\text{矿热炉全年运行时间}} \right) \times 100\%$$

其中等效停运时间为在矿热炉系统正常工作时间范围内全年累计停运持续时间，以小时计；矿热炉全年运行时间为矿热炉系统全年累计运行时间，以小时计。

4 设计原则

4.1 可靠性要求

装置设计生产时应明确下述可靠性指标：

- a) 因强迫停运造成的年可用率的最低水平（%）；
- b) 因强迫停运造成的年强迫停运次数的最大值（次）；
- c) 供应商需对年计划停运持续时间及其累计停运次数进行明确承诺；
- d) 供应商需明确承诺上述可靠性指标的保证期（年），并给出该装置建议的维护周期。

4.2 安全性要求

装置的设计应能保证其在正常运行、矿热炉系统故障、外部电网事故及异常时本身的安全性，同时装置本身的投入、切除、正常运行及异常时不应危及系统安全。

装置的设计应有可靠的技术措施，如采用自动控制、保护单元、设备可靠接地、闭锁装置、防护围栏和警告标志等，以保证装置安全运行。

4.3 功能要求

4.3.1 无功补偿功能

在矿热炉负荷功率变化范围内，装置的额定无功输出应能满足矿热炉供电系统 PCC 点对功率因数或电压的要求。

4.3.2 自动控制功能

装置应根据供电系统无功功率及接入点电压的变化自动控制无功功率的输出，以达到适应矿热炉供电系统对功率因数和电压偏差的要求。

4.3.3 运行方式

矿热炉供电系统用无功补偿装置一般有高压无功补偿装置、中压无功补偿装置和低压无功补偿装置三种方式，矿热炉供电系统用无功补偿装置宜采取多种无功补偿装置组合运行的方式设计。

组合运行方式包括：高、低压装置组合方式；高、中压装置组合方式；中、低压装置组合方式等。

4.3.4 控制方式

装置应根据实际情况，选择手动和自动控制。

自动控制又可分为电压无功综合控制和无功控制等。自动控制时装置除应根据供电系统运行情况自动调节无功输出外，还应能自动或手动选择单一补偿方式或组合补偿方式。在组合补偿方式中，各装置宜进行协调控制，以完成总的关于 PCC 点的综合电能指标或技术协议规定的相关指标，低压无功补偿装置宜优先投入。

手动控制时，装置除能手动选择装置的投入与切除外，还应能选择单一补偿方式或组合补偿方式。

4.4 谐波要求

装置投入运行后，矿热炉供电系统 PCC 点谐波水平应满足 GB/T 14549 的要求。

4.5 其他特殊要求

特殊的运行环境和特殊的技术性能指标（治理闪变等），由购买方提出并与制造方协商解决。

5 设计依据

5.1 概述

装置在设计及使用中的技术条件主要由环境条件、矿热炉变压器参数、炉体参数、矿热炉短网参数及供电系统参数条件等因素决定。

5.2 环境条件

5.2.1 海拔

装置安装地点的海拔。

为便于产品的标准化，推荐高压产品海拔应不超过 1000m，低压产品海拔应不超过 2000m。

用于海拔高于 1000m 地区的高压产品及高于 2000m 的低压产品，其要求应由购买方与制造方协商确定。

5.2.2 温度和湿度范围

装置运行地点的环境空气温度变化范围见表 1。

表 1 装置运行地点的环境空气温度变化范围

类别	环境温度 ℃	
	最高	最低
安装于冶炼区域外的补偿装置	符合国家相关标准要求	
安装于冶炼区域内的补偿装置	当无资料时，可取最热月平均最高温度加 15℃	当无资料时可取最冷月平均最低温度
注：最热（冷）月平均最高（低）温度为最热（冷）月每日最高（低）温度的月平均值，取多年平均值。		

装置运行地点的相对湿度，应采用当地湿度最高月份的平均相对湿度。对湿度较高的场所，应采用该处实际相对湿度。当无资料时，相对湿度可比当地湿度最高月份的平均相对湿度高 5%（一般地区推荐的产品环境相对湿度：月平均相对湿度不大于 90%，日平均相对湿度不大于 95%）。

5.2.3 风速

安装于户外的装置，可取距离运行地点地面 10m 高、30 年一遇的 10min 平均最大风速作为参考最大风速。最大风速超过 35m/s 的地区，宜在装置的布置中采取应对措施。阵风对装置的影响，应由设备供应商在设计中考虑。

5.2.4 覆冰厚度

对于户外运行的装置，在积雪、覆冰严重地区，应采取防止冰雪引起事故的措施。隔离开关的破冰厚度，应大于安装地点的最大覆冰厚度。

5.2.5 抗污秽能力

安装于冶炼区域外的装置的抗污秽等级应满足国家相关标准的要求。

安装于冶炼区域现场内的装置的抗污秽等级，应在满足已有污秽等级的前提下，考虑高粉尘环境对设备的损害，在设计时增加防粉尘措施。

5.2.6 抗震要求

装置设计时应满足当地地震基本烈度要求。

5.2.7 其他

非正常使用条件由制造方和购买方协商确定。

5.3 矿热炉变压器参数条件

设计矿热炉供电系统用无功补偿装置需要以下矿热炉变压器参数：

- a) 矿热炉变压器的一次电压；
- b) 矿热炉变压器的二次工作挡位；
- c) 二次电压范围；
- d) 矿热炉变压器的容量；

- e) 矿热炉变压器的过负荷倍数;
- f) 矿热炉变压器的阻抗电压百分比;
- g) 补偿绕组(如果有)的工作电压。

5.4 矿热炉冶炼电气特征参数条件

设计矿热炉供电系统用无功补偿装置需要以下参数:

- a) 入炉有功功率及有功波动范围;
- b) 自然功率因数;
- c) 特征谐波及谐波水平。

5.5 矿热炉短网参数条件

设计矿热炉供电系统用无功补偿装置需要的矿热炉短网参数为: 矿热炉短网阻抗。

5.6 供电电网参数条件

设计矿热炉供电系统用无功补偿装置需要以下供电电网参数:

- a) 供电电网电压及波动水平;
- b) 供电系统最大、最小短路容量;
- c) 背景谐波水平。

6 通用设计要求

6.1 补偿绕组要求

中压无功补偿装置在设计时应考虑容性负荷对变压器补偿绕组的影响。适当考虑投切过程对变压器补偿绕组的冲击。必要时考虑增大装置电抗器的电抗率、减少一次投切次数。对于容量较大的矿热炉系统使用中压无功补偿装置进行无功补偿时, 需注意补偿绕组的安全隐患。

6.2 功率因数控制要求

矿热炉系统安装无功补偿装置后, PCC 点功率因数应满足系统对功率因数的要求, 一般情况下, 要求功率因数不低于 0.9。

对 PCC 点功率因数有特殊要求的购买方, 其功率因数控制要求由设计方、制造方与购买方协商确定。

6.3 分组限制

对多支路装置, 分组时应考虑开断设备的开断容性电流能力, 且投切任何一条支路在考核点所引起的电压变动值不宜超过 $\pm 2.5\%$ 。

单组电容器组的并联单元总能量不宜超过单台电容器单元的耐爆能力。

6.4 补偿量测量要求

装置应具有补偿容量或补偿电流测量功能, 可判断装置实际投入补偿容量或电流的大小。

6.5 安全运行要求

6.5.1 校核要求

装置设计时应计算短路阻抗, 校核系统功率情况, 保证在最大和最小系统运行方式所涵盖的区域内,

装置投入后 PCC 点的谐波含量满足 GB/T 14549 要求。

中压无功补偿装置除需校核变压器的损耗外，还需校核三绕组变压器等值回路阻抗变化对补偿效果的影响。

采用三相矿热炉变压器供电的中、小容量矿热炉系统，矿热炉短网侧对称性较差，需校核注入供电系统的正序、负序、零序谐波含量。

6.5.2 保护要求

补偿装置应具备完善的保护功能，在装置及负荷异常时，能根据设置有效监测预警或动作切除装置。

6.5.3 放电要求

装置内部的电容器组需安装放电器件时，放电特性应满足 GB/T 30841 及 GB/T 22582 的相关规定要求。

6.5.4 接地

装置电器设备的外壳、安装支架及绝缘台架的电位均应固定，并符合 GB/T 30841 及 GB/T 22582 的有关规定。

6.5.5 闭锁

装置应有完善的闭锁装置，避免误操作。

6.5.6 控制顺序

采用组合补偿方式时，应根据所安装的矿热炉系统特点设定装置的投切顺序。建议优先投入低压无功补偿装置。装置应避免在空载情况下长时间运行。

有特殊要求的情况，另行约定。

6.5.7 爆炸能量要求

装置设计时应充分考虑装置爆炸能量。装置爆炸能量不应大于装置内器件的耐爆能力，且爆炸能量的校核应满足相关产品标准要求。

6.6 环保要求

装置所选用的所有主设备和辅助设备，如果含有会污染环境或有其他危险的物质，应按照国家的相关法律执行，采取相应的技术措施，并在设备的标牌上或其他地方有明显标志。

高压无功补偿装置及中压无功补偿装置运行中产生的噪音应符合 GB/T 30841 的要求。低压无功补偿装置应符合 GB/T 22582 的要求。

6.7 检修要求

高压无功补偿装置及中压无功补偿装置应安装隔离开关，当装置故障检修时，不影响矿热炉正常生产。

低压无功补偿装置宜加装隔离装置，当装置故障检修时，不影响矿热炉正常生产。

7 设计方法

7.1 装置类型的确定

高压无功补偿装置不能帮助降低矿热炉冶炼电耗，具有直接提高 PCC 点功率因数、装置可靠性高、

绝缘要求严格等特点。

中压无功补偿装置一般用于中小型矿热炉供电系统中，安装在矿热炉变压器补偿绕组上。其具有不能降低冶炼电耗、设计制造难度小、设计阻抗复杂（补偿绕组同时负担调压作用时，电磁暂态过程需单独考虑）、对变压器的性能要求较高等特点。

低压无功补偿装置一般安装于矿热炉系统短网侧，其具有能降低矿热炉的冶炼电耗、装置设计组成复杂、运行环境恶劣等特点。

矿热炉变压器容量足够大，可完全提供矿热炉所需要的入炉视在功率且不考虑降低冶炼电耗时，宜选用高压无功补偿装置；矿热炉变压器不能完全提供矿热炉所需要的视在功率时，宜选用中压无功补偿装置；矿热炉变压器不能完全提供矿热炉所需要的视在功率且需要降低冶炼电耗时，宜选用低压无功补偿装置。

当使用低压无功补偿时，考虑经济性要求，低压无功补偿的容量计算应以矿热炉变压器不超载为前提，若计算无功不足以使 PCC 点功率因数达标，剩余部分无功功率可使用高压无功补偿装置或中压无功补偿装置进行补偿。

7.2 额定无功输出的确定

7.2.1 单独采用高压无功补偿装置

单独采用高压无功补偿装置时，按下式计算高压无功补偿装置的额定无功输出：

$$Q_N = P_R (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_N)$$

式中：

Q_N —— 高压无功补偿装置的额定无功输出，单位为千乏（kvar）；

P_R —— 矿热炉入炉有功功率，单位为千瓦（kW）；

φ_1 —— 矿热炉自然功率因数角；

φ_N —— PCC 点要求达到的功率因数角。

7.2.2 单独使用低压无功补偿装置或中压无功补偿装置

额定无功输出的确定应以矿热炉变压器安全运行（矿热炉变压器的容量满足安全运行要求）为原则，首先计算低压或中压补偿后需达到的最低功率因数：

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_R}{K \times S_N}$$

式中：

$\cos \varphi_2$ —— 低压或中压补偿后需达到的功率因数；

P_R —— 矿热炉入炉有功功率，单位为千瓦（kW）；

S_N —— 矿热炉变压器额定容量，单位为千伏安（kVA）；

K —— 矿热炉变压器过负荷系数。

再计算低压或中压无功补偿装置的额定无功输出：

$$Q_N = P_R (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

式中：

Q_N —— 低压或中压无功补偿装置的额定无功输出，单位为千乏（kvar）；

P_R —— 矿热炉入炉有功功率，单位为千瓦（kW）；

φ_1 —— 矿热炉自然功率因数角；

φ_2 —— 补偿后需达到的功率因数角。

7.2.3 组合补偿

7.2.3.1 高压无功补偿装置（或中压无功补偿装置）与低压无功补偿装置组合补偿

按照 7.2.2 计算低压无功补偿装置所需的额定无功输出，为达到 PCC 点功率因数要求，高压无功补偿装置（或中压无功补偿装置）的额定无功输出为：

$$Q_N = P_R (\tan \varphi_2 - \tan \varphi_N)$$

式中：

Q_N —— 高压无功补偿装置（或中压无功补偿装置）的额定无功输出，单位为千乏（kvar）；

P_R —— 矿热炉入炉有功功率，单位为千瓦（kW）；

φ_2 —— 低压无功补偿后需达到的功率因数角；

φ_N —— PCC 点要求达到的功率因数角。

7.2.3.2 高压无功补偿装置与中压无功补偿装置组合补偿

按照 7.2.2 计算中压无功补偿装置的额定无功输出，为达到 PCC 点功率因数要求，高压无功补偿装置额定无功输出为：

$$Q_N = P_R (\tan \varphi_2 - \tan \varphi_N)$$

式中：

Q_N —— 高压无功补偿装置的额定无功输出，单位为千乏（kvar）；

P_R —— 矿热炉入炉有功功率，单位为千瓦（kW）；

φ_2 —— 中压补偿绕组无功补偿后需达到的功率因数角；

φ_N —— PCC 点要求达到的功率因数角。

7.3 电容器组参数的确定

7.3.1 电容器组的额定电压

高压无功补偿装置及中压无功补偿装置中电容器组的额定电压的选取符合 GB/T 30841 的规定。
低压无功补偿装置电容器组的额定电压应不低于矿热炉变压器低压挡位的最高值。

7.3.2 电容器组的额定容量

装置中电容器组的额定容量的选取符合 GB/T 30841 的规定。

7.4 装置器件参数的确定

高压无功补偿装置及中压无功补偿装置中安装的电抗器的电抗率应考虑矿热炉谐波等因素后综合选择，对于谐波发生量不满足 GB/T 14549 要求的矿热炉负荷应安装滤波装置。其余器件参数应满足 GB/T 30841 的要求。

低压无功补偿装置使用的电容器组投切器件宜选用真空接触器或可控硅复合开关，其余器件参数除应满足 GB/T 22582 的要求外还应满足以下条件：

- a) 矿热炉变压器最高工作电压挡位时装置内电容器单元应不出现过压情况；
- b) 矿热炉变压器最低工作电压挡位时装置的额定无功输出应不低于设计要求；
- c) 低压无功补偿装置安装的电抗器的电抗率应考虑矿热炉谐波因素及矿热炉短网阻抗等因素综合选择；

- d) 投切器件的额定电流应不小于补偿支路的额定运行电流的 1.65 倍；
- e) 装设金属封闭式导线的装置，金属封闭式导线应满足 GB/T 8349 的要求。

7.5 装置的保护

7.5.1 保护功能

当装置出现异常现象，但不危及系统和设备安全时，保护系统发出报警信号，允许装置维持运行；当出现严重威胁系统和设备安全的问题时，保护系统应发出跳闸信号，使装置跳闸，避免出现安全事故。

7.5.2 保护类型

7.5.2.1 概述

装置应具有相应的保护装置，具体保护类型见表 2。

表 2 装置应具有的保护类型

保护类型	装置类型		
	高压无功补偿装置	中压无功补偿装置	低压无功补偿装置
工频过电压保护	✓	✓	✓
操作过电压保护	✓	✓	
失电压保护	✓	✓	✓
过电流保护	✓	✓	✓
速断保护	✓	✓	
电容器内部故障保护	✓	✓	
切合和过载保护			✓
过温保护			✓

7.5.2.2 工频过电压保护

高压无功补偿装置、中压无功补偿装置、低压无功补偿装置均应具有该保护功能。高压无功补偿装置和中压无功补偿装置应满足 GB/T 30841 的相关要求；低压无功补偿装置应满足 GB/T 22582 的相关要求。

7.5.2.3 操作过电压

高压无功补偿装置和中压无功补偿装置应具有该保护功能，并应满足 GB/T 30841 的相关要求。

7.5.2.4 失电压保护

高压无功补偿装置、中压无功补偿装置和低压无功补偿装置均应具有该保护功能。高压无功补偿装置和中压无功补偿装置应满足 GB/T 30841 的相关要求；低压无功补偿装置应满足 GB/T 22582 的相关要求。

7.5.2.5 过流保护

高压无功补偿装置、中压无功补偿装置和低压无功补偿装置均应具有该保护功能。高压无功补偿装

置和中压无功补偿装置应满足 GB/T 30841 的相关要求；低压无功补偿装置应满足 GB/T 22582 的相关要求。

7.5.2.6 速断保护

高压无功补偿装置、中压无功补偿装置应具有该保护功能，并应满足 GB/T 30841 的相关要求。

7.5.2.7 电容器内部故障保护

高压无功补偿装置、中压无功补偿装置应具有该保护功能，并应满足 GB/T 30841 的相关要求。

7.5.2.8 切合和过载保护

低压无功补偿装置应具有该保护功能，并应满足 GB/T 22582 的相关要求。

7.5.2.9 过温保护

低压无功补偿装置应具有该保护功能，并应满足 GB/T 22582 的相关要求。

7.6 装置的控制

装置的控制要兼顾无功功率补偿、电压变动的要求。

低压无功补偿装置应能兼顾矿热炉工作情况进行综合控制以达到降低冶炼电耗的目的。

采用组合补偿方式进行补偿时，宜具备不同装置之间的协调控制能力。

采用低压无功补偿装置或中压无功补偿装置方式时，投入电容器后会使矿热炉变压器一次电流降低，致使使用检测一次电流进行矿热炉电极控制的控制系统产生较大测控偏差，因此采用中、低压无功补偿方式的矿热炉供电系统应加装实际入炉电流检测功能。

在满足控制原则要求的前提下，装置控制逻辑越简单，控制频度越低越好。

8 布置和安装

8.1 安装场所条件

高压无功补偿装置和中压无功补偿装置除应满足 GB/T 30841 的要求外，低压无功补偿装置除应满足 GB/T 22582 的要求外，还应满足以下条件：

- a) 安装于冶炼工区内一层平面及多层平面上的装置应考虑由于冶炼设备运动造成的机械振动，必要时考虑加固补偿装置；
- b) 安装于冶炼工区内的补偿装置应考虑高粉尘造成的运行及设备散热影响；
- c) 安装倾斜度不大于 5° ；
- d) 安装时，应考虑支架对地震力的放大作用。辅助设备应具有与主设备相同的抗震能力。

8.2 布置和安装设计

8.2.1 一般规定

装置的布置和安装设计，应利于通风散热、运行巡视、便于维护检修和更换设备。

装置的布置形式，应根据安装地点的环境条件、设备性能和当地条件，选择户外布置或户内布置。

户外布置的装置，应考虑防止污闪事故的措施。户内装置和配电开关柜，不宜同室布置。

条件允许时宜将装置远离矿热炉炉体。必须安装于矿热炉附近时，宜单独设计补偿装置室。

8.2.2 装置布置

安装于室外的高压及中压无功补偿装置应满足 GB/T 30841 的要求。

安装于矿热炉附近（包含安装于矿热炉附近补偿室内）的中压无功补偿装置及低压无功补偿装置宜使用柜式结构安装布置，除满足 GB/T 30841 及 GB/T 22582 的要求外，还应满足以下条件：

- a) 应充分考虑散热及通风要求，补偿装置不应开柜门运行；
- b) 低压无功补偿装置的内部布置应充分考虑装置的维护和检修；
- c) 低压无功补偿装置在安装水冷母线系统时应确保水冷母线焊接正常，水冷母线系统在与矿热炉短网连接时应考虑矿热炉短网部分移动部件对设备的影响。

8.2.3 装置用电抗器

安装于室外的高压及中压无功补偿装置应满足 GB/T 30841 的要求。

安装于矿热炉附近（包含安装于矿热炉附近补偿室内）的中压无功补偿装置及低压无功补偿装置除应满足 GB/T 30841 及 GB/T 22582 的要求外，宜满足以下条件：

- a) 中压无功补偿装置宜选用干式环氧树脂浇注的空心电抗器，必须选用干式铁心电抗器时宜考虑污秽及谐波对产品造成的影响；装置内使用电抗器的绝缘耐热等级不宜低于 F 级；
- b) 低压无功补偿装置用电抗器不宜使用扼流线圈代替；
- c) 低压无功补偿装置用电抗器宜安装于电容器上方。

8.3 电气间隙和爬电距离

高压及中压无功补偿装置应满足 GB/T 30841 的要求；低压无功补偿装置应满足 GB/T 22582 的要求。

8.4 接地

高压及中压无功补偿装置应满足 GB/T 30841 的要求；低压无功补偿装置应满足 GB/T 22582 的要求。

8.5 防火

高压及中压无功补偿装置应满足 GB/T 30841 的要求；低压无功补偿装置应满足 GB/T 22582 的要求。

8.6 通风

装置室的通风量，应按排出室内余热计算，余热量包括设备散热量和通过围护结构传入的太阳辐射热。

装置室的排风温度，应满足 5.2.2 的要求。

装置室应采用自然通风。当自然通风不能满足要求时，可采用自然进风和机械排风。

装置室的进排风口，应采取防止鸟类、鼠、蛇类等小动物进入和防雨雪飘进的措施。

建设于矿热炉附近的装置室应采取防尘及隔热措施。

附录 A
(资料性附录)
装置安装位置示意图

装置安装位置示意图如图 A.1 所示。

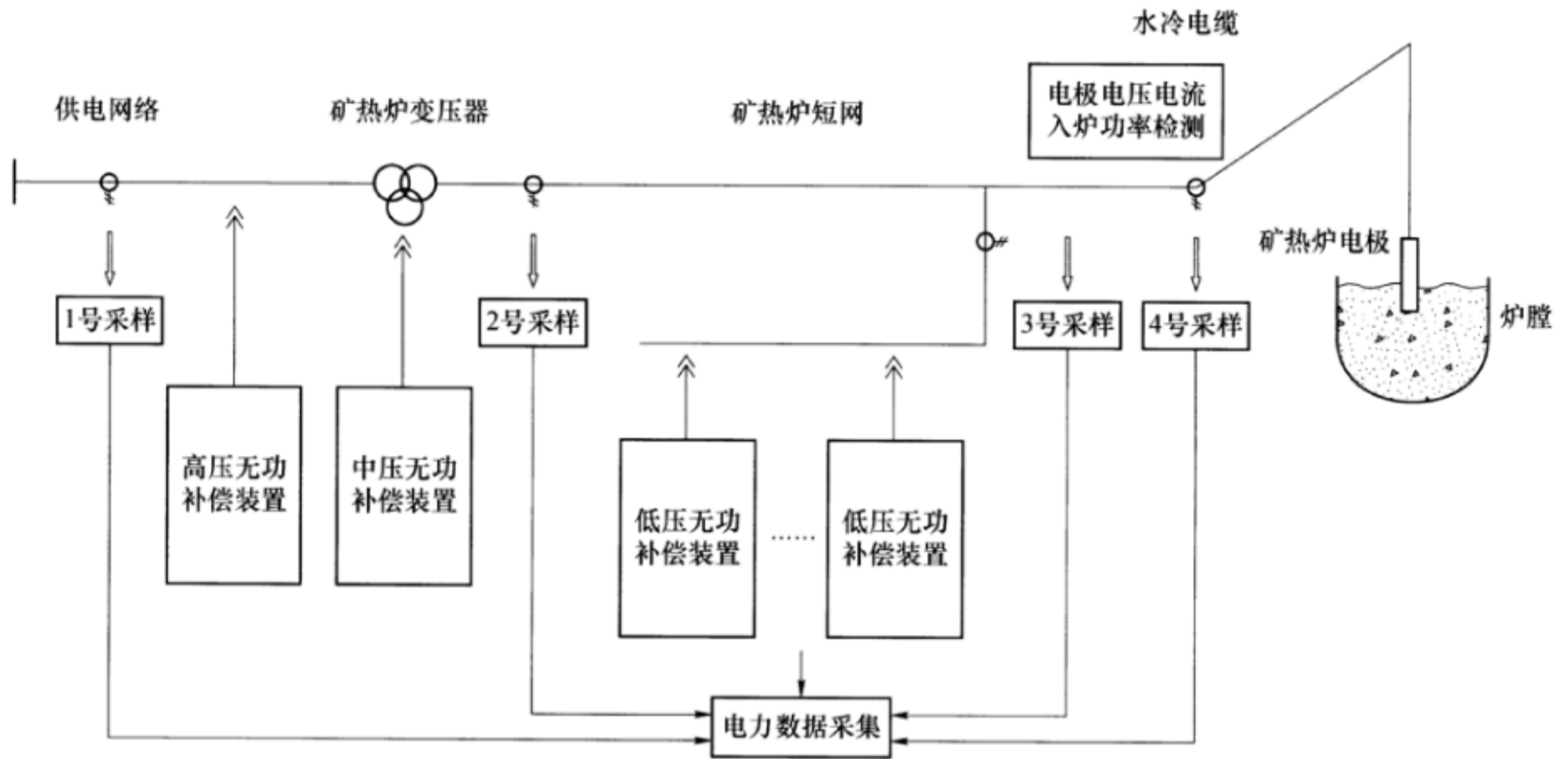


图 A.1 装置安装位置示意图

附录 B
(资料性附录)
装置设计示例

B.1 概述

本附录以某矿热炉系统为例，按照正文中给出的设计方法，进行了矿热炉供电系统用无功补偿装置的设计计算（部分计算）。旨在使读者更好的理解正文内容，供参考。

B.2 设计依据

B.2.1 环境条件

安装地点自然条件为：

- a) 海拔： $\leq 1500\text{m}$ ；
- b) 年平均气温：最高气温 38°C ，最低气温 -35°C ；
- c) 湿度： $\leq 80\%$ ；
- d) 风速： $\leq 25\text{m/s}$ ；
- e) 污秽程度：e 级或以上；
- f) 地震烈度： ≤ 8 级。

B.2.2 矿热炉变压器参数条件

矿热炉变压器参数为：

- a) 矿热炉变压器的一次电压： 110kV ；
- b) 矿热炉变压器的二次工作挡位： 220V 为常用电压；
- c) 二次电压范围： 145V 起，47 级可调，级差 3V ；
- d) 矿热炉变压器的容量：单相容量 $12\ 000\text{kVA}$ ，三台；
- e) 矿热炉变压器的过负荷倍数：1.1；
- f) 矿热炉变压器的阻抗电压百分比： 8% ；
- g) 补偿绕组（如果有）的工作电压： 10.5kV 。

B.2.3 矿热炉冶炼电气特征条件

矿热炉冶炼电气特征条件为：

- a) 入炉有功功率： $30\ 813\text{kW}$ ；
- b) 自然功率因数： 0.58 ；
- c) 特征谐波及谐波水平：实测。

B.2.4 供电电网参数条件

供电电网参数包括以下内容：

- a) 供电电网电压及波动水平： 110kV ， 2% ；
- b) 背景谐波水平：实测。

B.3 装置设计要求

B.3.1 功率因数

用户要求在补偿装置投运后，PCC 点月平均功率因数达到 0.92~0.95。

B.3.2 其他要求

装置设计时应按照本标准第 6 章的内容进行设计校核，限于篇幅，本附录省略该部分计算。

B.4 设计方法

B.4.1 装置类型的确定

本标准已经对各类型无功补偿装置的特点进行说明，本附录中只对各种类型的无功补偿装置的计算设计方法（部分）进行说明。实际设计中，不论选择哪种补偿方式均应考虑矿热炉变压器的负载情况，对于矿热炉变压器已经出现过载或满载情况的矿热炉系统，不建议单独使用高压无功补偿装置。

B.4.2 额定无功输出的确定

B.4.2.1 单独采用高压无功补偿装置

单独采用高压无功补偿装置，其额定无功输出应按 7.2.1 计算。

$$Q_N = P_R (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_N)$$

式中：

Q_N ——高压无功补偿装置的额定无功输出，单位为千乏（kvar）；

P_R ——矿热炉入炉有功功率，单位为千瓦（kW），本例为 30 813kW；

φ_1 ——矿热炉自然功率因数角，根据 $\cos \varphi_1 = 0.58$ 计算 φ_1 ；

φ_N ——PCC 点要求达到的功率因数角，根据 $\cos \varphi_N = 0.95$ 计算 φ_N 。

代入各项参数进行计算，得出：

$$Q_N = 30\,813 \times [\tan(\arccos 0.58) - \tan(\arccos 0.95)] = 33\,149 \text{ kvar}$$

B.4.2.2 单独使用低压无功补偿装置或中压无功补偿装置

单独采用低压无功补偿装置或中压无功补偿装置，其额定无功输出应按本标准 7.2.2 计算。首先计算低压或中压补偿后需达到的最低功率因数：

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_R}{K \times S_N}$$

式中：

$\cos \varphi_2$ ——低压或中压补偿后需达到的功率因数；

P_R ——矿热炉入炉有功功率，单位为千瓦（kW）；

S_N ——矿热炉变压器额定容量，单位为千伏安（kVA）；

K ——矿热炉变压器过负荷系数，取 1.1 计算。

代入各项参数进行计算，得出：

$$\cos \varphi_2 = \frac{30\,183}{36\,000 \times 1.1} = 0.778$$

再计算低压或中压无功补偿装置的额定无功输出：

$$Q_N = P_R (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

式中：

Q_N —— 低压或中压无功补偿装置的额定无功输出，单位为千乏（kvar）；

P_R —— 矿热炉入炉有功功率，单位为千瓦（kW）；

φ_1 —— 矿热炉自然功率因数角，根据根据 $\cos \varphi_1 = 0.58$ 计算 φ_1 ；

φ_2 —— 低压或中压补偿后需达到的功率因数角，根据 $\cos \varphi_2 = 0.778$ 计算 φ_2 。

代入各项参数进行计算，得出：

$$Q_N = 30\,813 \times [\tan(\arccos 0.58) - \tan(\arccos 0.778)] = 18\,395 \text{ (kvar)}$$

B.4.2.3 高压无功补偿装置（或中压无功补偿装置）与低压无功补偿装置组合补偿

采用高压无功补偿装置（或中压无功补偿装置）与低压无功补偿装置组合补偿时，其额定无功输出应按本标准 7.2.3.1 计算。

先计算低压补偿装置的额定无功输出为 18 395kvar（B.4.2.2 计算结果）。

为达到 PCC 点功率因数要求，高压无功补偿装置（或中压无功补偿装置）的额定无功输出为：

$$Q_N = P_R (\tan \varphi_2 - \tan \varphi_N)$$

式中：

Q_N —— 高压无功补偿装置（或中压无功补偿装置）的额定无功输出，单位为千乏（kvar）；

P_R —— 矿热炉入炉有功功率，单位为千瓦（kW）；

φ_2 —— 低压无功补偿后需达到的功率因数角，根据 $\cos \varphi_2 = 0.778$ 计算 φ_2 ；

φ_N —— PCC 点要求达到的功率因数角，根据 $\cos \varphi_N = 0.95$ 计算 φ_N 。

代入各项参数进行计算，得出：

$$Q_N = 30\,813 \times [\tan(\arccos 0.778) - \tan(\arccos 0.95)] = 14\,755 \text{ (kvar)}$$

B.4.2.4 高压无功补偿装置与中压无功补偿装置组合补偿

高压无功补偿装置和中压无功补偿装置组合时，宜优先利用中压补偿绕组的补偿容量，不足部分由高压无功补偿装置补足，具体计算方法与 B.4.2.3 相同，这里不再重复。

附录 C

(资料性附录)

矿热炉供电系统用无功补偿装置现场试验

C.1 单一无功补偿装置试验

按照技术协议书或国家相关标准对下列设备进行现场试验：

- a) 高压无功补偿装置及中压无功补偿装置按照 GB/T 30841；
- b) 低压无功补偿装置按照 GB/T 22582。

C.2 组合补偿装置联调试验

C.2.1 试验条件

组合补偿装置的联调试验应在满足以下条件的前提下进行：

- a) 所有补偿装置均已按照各自相关标准单独完成设备试验；
- b) 所有补偿装置的保护装置均已按照供电系统或设计要求完成保护动作试验，并完成保护动作定值的设定；
- c) 矿热炉系统已经工作并可以提供足够的无功功率（补偿装置手动投入时矿热炉供电系统不会出现严重的过补偿情况）。

C.2.2 手动联调试验

试验程序如下：

- a) 按控制装置规定的投入顺序投入高压（或中压）无功补偿装置的第一个补偿支路，投入时间应不小于 10min；
- b) 按控制装置规定的顺序手动投入低压无功补偿装置，按最小分组容量，每次投入一组电容器组，测试时间不小于 5min；
- c) 低压无功补偿装置全部投运完成后，按控制装置规定的投切顺序投入高压（或中压）无功补偿装置剩余支路（如有），每支路投入时间应不小于 10min，直到高压（或中压）无功补偿装置全部投运为止；
- d) 全部装置运行 2h，无异常情况后可进行后续试验。

C.2.3 控制系统的虚拟控制试验

组合补偿装置控制系统虚拟控制试验，旨在确认控制系统在得到控制输入信号时的可靠动作情况。组合补偿装置控制系统在得到虚拟采样信号时，应能根据预先设定的逻辑可靠动作。

试验时，应确保各装置的一次回路不因为该试验而接入矿热炉供电系统。

C.2.4 自动控制试验

组合补偿装置在完成上述试验后可进行自动控制试验。试验时，装置在全自动状态下应安全、可靠运行，并满足已约定的控制逻辑或控制指标。

C.3 验收试验

C.3.1 无功补偿装置验收试验

按照国家相关标准或技术协议书对下列装置进行现场试验。

- a) 高压无功补偿装置及中压无功补偿装置，按照 GB/T 30841 或技术协议书；
- b) 低压无功补偿装置按照 GB/T 22582 或技术协议书。

C.3.2 特殊功能试验

技术协议书上所规定的特殊控制功能，应在实际的运行状态下进行验证。

C.3.3 PCC 点电能质量及功率因数试验

C.3.3.1 谐波测试

测试在装置投入后进行，保证注入 PCC 点的谐波限值在装置各种组合运行条件下满足 GB/T 14549 的要求。

C.3.3.2 闪变及电压波动测试（选项）

闪变及电压波动测试应按照 GB/T 12326 的要求进行。

C.3.3.3 三相不平衡度测试（选项）

三相不平衡度试验应按照 GB/T 15543 的要求进行。

C.3.3.4 功率因数测试

现场测量（和计量）的功率因数应满足功率因数目标值（与用户约定的目标值或不低于 0.9）。

参 考 文 献

- [1] GB/T 1985—2014 高压交流隔离开关和接地开关
- [2] GB/T 3906—2006 3.6kV~40.5kV 交流金属封闭开关设备和控制设备
- [3] GB 5959.1—2005 电热装置的安全 第1部分：通用要求
- [4] GB/T 10066.1—2004 电热设备的试验方法 第1部分：通用部分
- [5] GB/T 10067.2—2005 电热装置基本技术条件 第2部分：电弧加热装置
- [6] GB/T 11022—2011 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求
- [7] GB/T 11024（所有部分）标称电压 1000V 以上交流电力系统用并联电容器
- [8] GB/T 11032—2010 交流无间隙金属氧化物避雷器
- [9] GB/T 12326—2008 电能质量电压波动和闪变
- [10] GB/T 15166.5—2008 高压交流熔断器 第5部分：用于电动机回路的高压熔断器的熔断件选用
 导则
- [11] GB/T 15543—2008 电能质量三相电压不平衡
- [12] GB/T 15945—2008 电能质量电力系统频率偏差
- [13] GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求
- [14] GB/T 16927.2—2013 高电压试验技术 第2部分：测量系统
- [15] GB/T 20298—2006 静止无功补偿装置（SVC）功能特性
- [16] GB/T 26218（所有部分）污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定
- [17] GB/T 26868—2011 高压滤波装置设计与应用导则
- [18] IEEE Std C 37.48 guide for the application, operation, and maintenance of high-voltage fuses,
 distribution enclosed single-pole air switches, fuse disconnecting switches, and accessories
- [19] IEEE Std C 37.99 guide for the protection of shunt capacitor banks
- [20] IEEE Std 1036 guide for application of shunt power capacitors