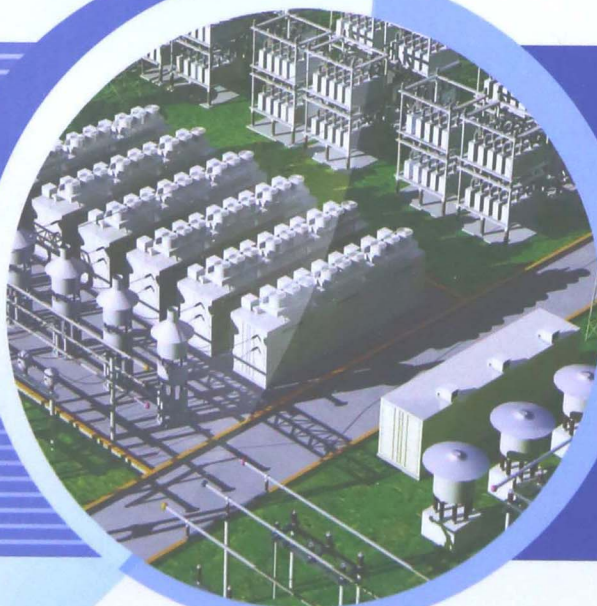


高压大容量静止无功补偿器应用技术 调试试验分册

广东电网公司东莞供电局 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高压大容量静止无功补偿器应用技术 调试试验分册

广东电网公司东莞供电局 编

内 容 提 要

本套技术丛书是基于“十一五”国家科技支撑计划设立的“中高压、百兆伏安级链式及多电平变流器与静止补偿器研制”重点项目的研究成果而编写的，丛书全面总结了高压大容量 STATCOM 装置产学研用的全过程理论与实践，为 STATCOM 装置的进一步推广应用提供了借鉴。

本套技术丛书共分技术开发与工程应用、原理、设计、安装与验收、调试试验、运行与维护 6 个分册。本书为调试试验分册，主要内容包括百兆级链式 STATCOM 试验调试方案，RTDS 数字仿真试验，并网系统调试与验收，STATCOM 装置的过负荷试验及短路试验。

本书适合电网企业及电力科研院所从事 STATCOM 调试与试验工作的管理人员和技术人员学习使用。对 STATCOM 装置生产企业和大专院校相关师生也具有很好的参考意义。

图书在版编目（CIP）数据

高压大容量静止无功补偿器应用技术. 调试试验分册/
广东电网公司东莞供电局编. —北京：中国电力出版社，
2014.6

ISBN 978-7-5123-4114-2

I. ①高… II. ①广… III. ①静止无功补偿器—调试
方法②静止无功补偿器—试验方法 IV. ①TM714.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 040131 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 6 月第一版 2014 年 6 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 14.5 印张 253 千字

定价 45.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

高压大容量静止无功补偿器应用技术

调试试验分册

主 编 李春华

副主编 何伟斌

参 编 高明振 万四维

前言

静止同步补偿器 (Static Synchronous Compensator, 简称 STATCOM, 又称 SVG) 代表目前无功补偿领域的最新技术, 属于灵活柔性交流输电系统 (FACTS) 的重要组成部分。随着可关断大功率电力电子器件和变流技术的不断发展, 近年来高压大容量 STATCOM 装置在国内外电网进行了一些试点应用, 也取得一定的安装验收和运行维护经验。2007 年底, “十一五” 国家科技支撑计划设立了 “中高压、百兆伏安级链式及多电平变流器与静止补偿器研制” 重点项目, 研制了 35kV/±200MVA STATCOM 装置, 并于 2011 年成功在南方电网公司 500kV 东莞变电站投入运行。从科研立项到装置安装调试、正式运行, 五年时间积累了理论研究、设计制造、安装调试和运行维护等一系列经验成果。本技术丛书旨在此应用项目的基础上, 全面总结高压大容量 STATCOM 装置产学研用的全过程理论与实践, 为 STATCOM 装置的进一步推广应用提供借鉴。本技术丛书共分技术开发与工程应用、原理、设计、安装与验收、调试试验、运行与维护 6 个分册。

《调试试验分册》共分 5 章, 由李春华担任主编, 何伟斌担任副主编。各章编写人员及编写分工如下: 第 1、2 章由李春华负责编写; 第 3 章由何伟斌负责编写; 第 4 章由高明振负责编写; 第 5 章由万四维负责编写。

本书在编写的过程中, 中国南方电网有限责任公司、广东电网公司、南方电网科学研究院有限责任公司、广东电网公司电力科学研究院、广东省电力设计研究院、广东省电力调度控制通信中心、广东电网公司东莞供电局、荣信电力电子有限公司、清华大学、辽宁科技大学等单位给予了大力支持, 编写时还参阅了有关参考文献、国家标准、技术说明书等。在此, 对以上单位及有关人员表示衷心的感谢。

由于时间仓促, 编者水平有限, 书中疏漏和不足之处在所难免。恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 5 月

目 录

前言

1	百兆级链式 STATCOM 试验调试方案	1
1.1	百兆级链式 STATCOM 试验调试的总体要求	2
1.2	试验内容与时间安排	3
1.3	试验大纲	5
1.4	风险分析与安全措施	10
2	RTDS 数字仿真试验	12
2.1	RTDS 试验的目标与要求	12
2.2	RTDS 试验的实现	13
2.3	RTDS 试验的内容	22
3	并网系统调试与验收	110
3.1	启停试验	110
3.2	运行试验	119
4	STATCOM 装置的过负荷试验	196
4.1	STATCOM 装置过负荷试验的目标与要求	196
4.2	STATCOM 装置过负荷试验的内容	196
4.3	200MVA STATCOM 装置的过负荷试验	198
4.4	试验结果分析	213
5	STATCOM 装置的短路试验	215
5.1	STATCOM 装置短路试验的目标与要求	215

5.2	STATCOM 装置短路试验选点	215
5.3	200MVA STATCOM 装置的短路试验	217
5.4	试验数据分析	219
参考文献		224

百兆级链式 STATCOM 试验调试方案

南方电网作为我国目前唯一的交直流并联运行的超高压、远距离、大容量互联电网，在无功和电压方面存在着诸如动态无功支撑不足、无功和电压控制手段不足等问题^[1, 2]。

珠三角地区是全国重要的三个城市群和工业密集地区之一，电力需求旺盛，电网供电压力大，拥有四个用电达到千万千瓦的城市，东莞便是其中之一。在本地区枢纽变电站安装同步补偿装置，对系统电压进行灵活、快速的调节^[3]，可以有效地解决东莞地区动态无功不足的问题，起到电网“稳压器”的作用，加快电网故障后的恢复，保障供电安全^[4]。

东莞变电站的静止同步补偿装置工程是国家“十一五”科技支撑重大示范项目，是电力行业电力电子技术的先进成果。根据南方电网的实际情况，高压大功率变流器及静止补偿器 STATCOM 直挂电压等级为 35kV，容量为 $\pm 200\text{Mvar}$ ，采用“ Δ 型”连接的链式阀组方案^[5]。

东莞变电站 STATCOM 采用集装箱方式安装，减小了占地面积。总体包括 6 个阀组集装箱和 1 个控制集装箱。

每个阀组集装箱由 1 个换流链，1 套水冷系统，1 个脉冲柜以及附属设备组成；控制集装箱由 UPS 电池柜，低压进线隔离柜，低压配电柜 1，低压配电柜 2，直流屏 1，直流屏 2，直流屏 3，故障录波柜，远程监控柜，系统监控柜、系统控制柜、装置控制柜 1、装置控制柜 2 等 13 面屏柜组成。

在南方电网公司的统一指挥、广东电网公司的精心部署下，根据 500kV 东莞变电站 $\pm 200\text{Mvar}$ STATCOM 系统调试验收启动委员会的安排，在装置启动成功并进行了必要的准备工作后，系统调试从 2011 年 7 月 26 日正式开始，至 2011 年 8 月 8 日顺利结束，历时 14 天。

南方电网科学研究院、广东电网电力科学研究院、东莞供电局以及 STATCOM 装置生产方荣信电力电子股份有限公司和清华大学等单位有关人员按照调试方案的要求共完成了 10 个大项共 28 个试验项目^[6]。试验结果正常，需要检验的功能总体达到要求。

本章从试验调试现场环境、操作人员及调试设备应具备的条件、试验内容和

时间安排、试验大纲，风险分析与安全措施 4 个主要层面介绍百兆级链式 STATCOM 试验调试的总体要求。

1.1 百兆级链式 STATCOM 试验调试的总体要求

在正式开展百兆级链式 STATCOM 试验调试工作前，现场环境、操作人员及调试设备需完全具备以下条件。

1.1.1 现场环境

STATCOM 的现场测试与试运行作为项目投入运行的前期准备，是规避可能的运行风险、保证项目实施的重要环节。

STATCOM 系统调试前，对现场环境的要求包括：

- (1) STATCOM 系统的一、二次电气设备均已安装完毕，照明、通风、空调、消防、水冷、通信系统均已完工。
- (2) STATCOM 系统集装箱内均已清扫完毕，无临时设备遗留。
- (3) STATCOM 系统已完成设备和子系统试验并通过验收。
- (4) STATCOM 系统相关设备均已按照调度命名进行标识。
- (5) STATCOM 系统相关二次设备定值已经正式下达，并整定核实完毕。
- (6) 所有测试仪器和仪表接线完成。
- (7) STATCOM 所有试验都要求 220kV 电压处于 225~235kV，500kV 电压处于 520~535kV。系统运行平稳，无异常电压波动。
- (8) 具体试验项目的特殊要求。

1.1.2 操作人员

- (1) 所有调试人员必须经过调试培训，熟悉调试方案和安全操作规范。
- (2) 调试期间，没有监护人员在场情况下不允许操作人员单独进行任何操作。重要操作，现场监护人员必须有 2 人以上。
- (3) 试验期间，设置操作现场监督人，对操作行为进行全程监督，确保操作行为规范。
- (4) 调试期间，现场设置专职人员进行巡视。重要部位要保证始终有监护人员在场。
- (5) 合理安排操作人员，避免操作人员因操作时间过长产生疲劳，引发误操作事故。

1.1.3 调试设备

- (1) 设备充电达到总容量的 80%。

- (2) 启动及试运行期间前，上位机与下位机通信正常无故障。
- (3) 交流电压回路上工作，二次电压互感器（TV）无损坏且 220、500kV 侧测量电压准确无故障。
- (4) 水冷系统检查无误，温度保护控制设置符合相关要求。
- (5) 在 STATCOM 设备试运行前，完成超温、过负荷和过电流试验。

1.1.4 试验目的

- (1) 检验 STATCOM 对稳态和暂态无功的控制功能，以及稳定电压的功能。
- (2) 检验 STATCOM 的主要性能指标是否满足技术规范书要求。
- (3) 检验 STATCOM 各子系统之间的协调配合。
- (4) 为 STATCOM 系统运行检修提供依据。

1.2 试验内容与时间安排

1.2.1 RTDS 试验

广东电网东莞变电站 STATCOM 工程 RTDS 仿真试验^[7, 8]，是国内首次采用实时数字仿真手段针对百兆伏安级链式 STATCOM 工程开展的入网检验工作。试验模型、试验方法以及试验项目设计不仅适用于东莞 STATCOM 工程检验，也可作为其他新型电力电子技术入网检验提供借鉴。

试验全面检验 STATCOM 控制功能、保护功能、防误功能、动态性能，通过 RTDS 仿真试验可发现并解决多项影响装置正确动作或不符合设计要求的问题，对检验并改进 STATCOM 控制保护功能具有积极的作用。

1.2.2 稳态试验

链式 STATCOM 稳态现场调试与试运行主要包括以下项目：

- (1) 以确认 STATCOM 启停逻辑、紧急停止控制逻辑、远方/就地启动功能正常与否为目的的启停逻辑试验。
- (2) 以确认 STATCOM 是否按照设定值输出无功为目的的恒无功试验。
- (3) 以验证 STATCOM 是否按 VI 特性曲线输出为目的的 220kV 和 500kV 电压—电流斜率特性电压控制模式试验。
- (4) 以确认 STATCOM 与站内固定补偿全投/全切协调控制逻辑为目的的设备配合控制试验。

1.2.3 动态试验

链式 STATCOM 动态性能现场调试与试运行在稳态运行试验基础上进行，主要包括以下内容：

(1) 以验证 STATCOM 电压控制模式和恒无功控制模式下动态响应特性为目的的动态性能试验。包括 220kV 电压控制、500kV 电压控制和恒无功控制 3 种模式下的 STATCOM 动态响应特性。

(2) 以确定双套 STATCOM 协调功能为目的的协调控制试验。包括 220kV 电压控制、500kV 电压控制和无功控制 3 种控制模式下的双套 STATCOM 协调功能。

(3) 以检验每套 STATCOM 输出额定容量 $\pm 100\text{Mvar}$ 内运行情况为目的的运行范围试验。

(4) 以检验换流链的冗余状况为目的的冗余试验。

(5) 以检验不同稳态运行情况下因过热使 STATCOM 元件和材料受影响情况的温升试验。

(6) 检查 STATCOM 远方控制功能是否正常以及能否按中调指令进行控制和正确输出的远方控制模式试验。

1.2.4 特殊试验

特殊试验包括过负荷试验和短路试验两个部分。

(1) 过负荷试验。检验 STATCOM 系统在特殊情况下，例如装置受电磁干扰出现指令错误，或者电力系统出现紧急情况需要装置短时间过负荷运行时，STATCOM 系统的过负荷能力。

(2) 短路试验。试验期间，通过在东莞 220kV 东元乙线进行单相瞬时人工接地，模拟在电网出现重大故障、失稳引起母线电压快速下降的情况下，STATCOM 装置由稳态响应进入暂态响应、满发 300MVA 无功（暂态响应可满发 1.5 倍额定无功容量）的过程。

1.2.5 试验时间

为了使试验进行得充分和完善，必须保证各项试验的持续时间。每步操作时间间隔应保证电压平稳后再进行下一步。

稳态试验中，启停试验，包括两套 STATCOM 的正常启动/停止、紧急停止和远方/就地启动试验持续时间 2h；两套 STATCOM 恒无功控制试验持续时间 3h；电压控制模式试验，包括两套 STATCOM 的 220kV 电压/电流斜率特性、500kV 电压/电流斜率特性试验各持续 2h；两套 STATCOM 与站内固定无功补偿设备全投/全切协调配合控制试验各持续时间 3h。

动态特性试验中，包括两套 STATCOM 的 220kV 动态特性、500kV 动态特性和恒无功模式动态特性试验持续时间分别为 2h；两套 STATCOM 等容量

和不等容量方式协调控制试验时间分别为 2h；STATCOM 运行范围试验持续 3.5h；STATCOM 冗余试验持续 2h；热运行试验持续 6h；远方控制模式试验持续 4h。

本节给出系统调试试验大纲。

1.3 试验大纲

系统调试试验项目分为 10 个大类，共计 25 个试验项目。各项试验项目试验目的、试验参数、试验记录数据、试验要求、系统条件如下所示。

1.3.1 启停试验

(1) 试验目的。确认 STATCOM 启停逻辑正确，冷却系统工作正常。

(2) 试验参数。

1) #1 STATCOM 恒无功控制模式，无功设定值 0Mvar。

2) #2 STATCOM 恒无功控制模式，无功设定值 0Mvar。

(3) 试验记录数据。故障录波器记录各 STATCOM 启动/停止电压电流波形，系统电压电流波形，STATCOM（含水冷系统）各运行画面拷屏、SER，STATCOM 的噪声和电能质量。

(4) 试验要求。无告警 SER，STATCOM 启停逻辑正确，系统运行平稳，无异常波动。

(5) 系统条件。220kV 电压处于 225~235kV 之间。

(6) 试验项目。

1) #1 STATCOM 正常启动/停止。

2) #1 STATCOM 紧急停止。

3) #2 STATCOM 正常启动/停止。

4) #2 STATCOM 紧急停止。

5) 远方/就地启动。

1.3.2 恒无功控制试验

(1) 试验目的。STATCOM 按照设定值输出无功。

(2) 试验参数。

1) #1 STATCOM 恒无功控制模式，无功输出限幅设定值-50~50Mvar，无功输出速率 10Mvar/s。

2) #2 STATCOM 恒无功控制模式，无功输出限幅设定值-50~50Mvar，无功输出速率 10Mvar/s。

(3) 试验记录数据。故障录波器记录各 STATCOM 电压电流波形，系统电压电流波形，STATCOM（含水冷系统）各运行画面拷屏、SER。

(4) 试验要求。无告警 SER，STATCOM 按照指定无功功率输出（误差在 $\pm 2.5\%$ 以内），无功功率升降斜率正确（误差在 $\pm 2.5\%$ 以内），系统运行平稳，无异常波动。

(5) 系统条件。控制 220kV 侧母线电压在 228~231kV 之间，如果电压超出 225~235kV，停止无功输出。

(6) 试验项目。

1) #1 STATCOM 恒无功控制。

2) #2 STATCOM 恒无功控制。

1.3.3 电压控制模式试验

(1) 试验目的。验证 STATCOM 电压控制模式下是否按照 VI 特性曲线输出无功。

(2) 试验参数。

1) #1 STATCOM 电压控制模式，220kV 控制目标 230kV，斜率 3%；500kV 控制目标 530kV，斜率 3%，无功输出限幅 $\pm 80\text{Mvar}$ 。

2) #2 STATCOM 电压控制模式，220kV 控制目标 230kV，斜率 3%；500kV 控制目标 530kV，斜率 3%，无功输出限幅 $\pm 80\text{Mvar}$ 。

(3) 试验记录数据。故障录波器记录各 STATCOM 电压电流波形，系统电压电流波形，STATCOM（含水冷系统）各运行画面拷屏、SER，站内无功补偿投切电压电流波形。

(4) 试验要求。无告警 SER，STATCOM 按照指定 VI 特性曲线输出无功（误差在 $\pm 2.5\%$ 以内），系统运行平稳，无异常波动。

(5) 系统条件。控制 220kV 侧母线电压在 225~235kV 之间，500kV 电压维持在 525~535kV。如果超出此范围停止投电容/电抗。

(6) 试验项目。

1) #1 STATCOM 220kV 电压/电流斜率特性试验。

2) #1 STATCOM 500kV 电压/电流斜率特性试验。

3) #2 STATCOM 220kV 电压/电流斜率特性试验。

4) #2 STATCOM 500kV 电压/电流斜率特性试验。

1.3.4 与站内固定无功补偿设备配合的控制试验

(1) 试验目的。验证 STATCOM 与站内固定无功补偿设备配合的控制逻辑是否正确。

(2) 试验参数。

1) #1 STATCOM 电压控制模式，无功容性上限 40Mvar，无功感性上限 40Mvar，220kV 控制目标 230kV，斜率 3%。

2) #2 STATCOM 电压控制模式，无功容性上限 40Mvar，无功感性上限 40Mvar，220kV 控制目标 230kV，斜率 3%。

(3) 试验记录数据。故障录波器记录各 STATCOM 电压电流波形，系统电压电流波形，STATCOM（含水冷系统）各运行画面拷屏、SER，站内无功补偿投切电压电流波形。

(4) 试验要求。无告警 SER，STATCOM 按照指定 VI 特性曲线输出无功（误差在 $\pm 2.5\%$ 以内），系统运行平稳，无异常波动。

(5) 系统条件。控制 220kV 侧母线电压在 225~235kV 之间，500kV 电压维持在 528~535kV。如果超出此范围停止投电容/电抗。

(6) 试验项目。

1) #1 STATCOM 与站内固定补偿全投/全切协调控制试验。

2) #2 STATCOM 与站内固定补偿全投/全切协调控制试验。

1.3.5 动态特性试验

(1) 试验目的。验证 STATCOM 电压控制模式下给定阶跃的动态响应特性符合技术规范要求。

(2) 试验参数。

1) #1 STATCOM 电压控制模式，220kV 控制目标 230kV，斜率 3%；500kV 控制目标 530kV，斜率 3%，无功输出限幅 $\pm 40\text{Mvar}$ 。

2) #2 STATCOM 电压控制模式，220kV 控制目标 232kV，斜率 3%；500kV 控制目标 532kV，斜率 3%，无功输出限幅 $\pm 40\text{Mvar}$ 。

(3) 试验记录数据。故障录波器记录各 STATCOM 电压电流波形，系统电压电流波形，STATCOM（含水冷系统）各运行画面拷屏、SER。

(4) 试验要求。无告警 SER，STATCOM 的阶跃响应时间（达到指定无功 90% 的时间 $<10\text{ms}$ ），系统运行平稳，无异常波动。

(5) 系统条件。控制 220kV 侧母线电压在 228~232kV 之间，500kV 电压维持在 528~532kV。

(6) 试验项目。

1) #1 STATCOM 220kV 动态特性试验。

2) #1 STATCOM 500kV 动态特性试验。

3) #1 STATCOM 恒无功模式动态特性试验。

4) #2 STATCOM 220kV 动态特性试验。

5) #2 STATCOM 500kV 动态特性试验。

6) #2 STATCOM 恒无功模式动态特性试验。

1.3.6 两套 STATCOM 协调控制试验

(1) 试验目的。检验 STATCOM 无功输出方式正常，在电压控制模式和恒无功控制模式下协调双套 STATCOM 装置的无功出力。

(2) 试验参数。

1) #1 STATCOM 电压控制模式，220kV 控制目标 230kV，斜率 3%；500kV 控制目标 530kV，斜率 3%，无功输出限幅 $\pm 40\text{M}$ 。

2) #2 STATCOM 电压控制模式 220kV 控制目标 230kV，斜率 3%；500kV 控制目标 530kV，斜率 3%，无功输出限幅 $\pm 40\text{M}$ 。

3) #1 STATCOM 恒无功控制模式，无功输出限幅设定值 40Mvar。

4) #2 STATCOM 恒无功控制模式，无功输出限幅设定值 40Mvar。

(3) 试验记录数据。故障录波器记录各 STATCOM 电压电流波形，系统电压电流波形，STATCOM（含水冷系统）各运行画面拷屏、SER。

(4) 试验要求。无告警 SER，系统运行平稳，无异常波动。

(5) 系统条件。控制 220kV 侧母线电压在 225~235kV 之间，500kV 电压维持在 525~535kV。如果超出此范围停止投电容/电抗。

(6) 试验项目。

1) 等容量方式两套 STATCOM 协调控制。

2) 不等容量方式两套 STATCOM 协调控制。

1.3.7 STATCOM 运行范围

(1) 试验目的。检验 STATCOM 的运行范围符合设计要求，容量为 $\pm 200\text{Mvar}$ 。

(2) 试验参数。

1) #1 STATCOM 恒无功控制模式，无功设定值 $-100\sim 100\text{Mvar}$ ，无功输出速率 10Mvar/s。

2) #2 STATCOM 恒无功控制模式，无功设定值 $-100\sim 100\text{Mvar}$ ，无功输出速率 10Mvar/s。

(3) 试验记录数据。主变压器各侧电压、#8 主变压器进线总电流、#1 和#2 STATCOM 输出无功和电流、各个水冷进出水温、各主设备温度，STATCOM 运行状态拷屏。

(4) 试验要求。无告警 SER，系统运行平稳，无异常波动，无功输出与理论值误差不超过 $\pm 2.5\%$ 。

(5) 系统条件。

220kV 侧母线电压在 229~232kV 之间，500kV 电压维持在 529~532kV。

1.3.8 STATCOM 冗余试验

(1) 试验目的。检验 STATCOM 换流链的冗余正常。

(2) 试验参数。

1) #1 STATCOM 恒无功控制模式，无功输出限幅值 $\pm 50\text{Mvar}$ ，无功输出速率 10Mvar/s。

2) #2 STATCOM 恒无功控制模式，无功输出限幅值 $\pm 50\text{Mvar}$ ，无功输出速率 10Mvar/s。

(3) 试验记录数据。主变压器各侧电压、#8 主变压器进线总电流、#1 和#2 STATCOM 输出无功和电流，STATCOM 运行状态拷贝。

(4) 试验要求。无告警 SER，系统运行平稳，无异常波动，无功输出与理论值误差不超过 $\pm 2.5\%$ 。

(5) 系统条件。220kV 侧母线电压在 225~235kV 之间，500kV 电压维持在 525~535kV。

1.3.9 热运行试验

(1) 试验目的。检验主要发热元件的温升在规定范围内；检验在不同的稳态运行情况下，没有元件和材料由于过热而使工作受到影响。

(2) 试验参数。

1) #1 STATCOM 恒无功控制模式，无功设定值 $-100\sim 100\text{Mvar}$ 。

2) #2 STATCOM 恒无功控制模式，无功设定值 $-100\sim 100\text{Mvar}$ 。

(3) 试验记录数据。主变压器各侧电压、电流，#1 和#2 STATCOM 输出无功、进出水温、各主设备温度；STATCOM 附近、专用变压器附近、电抗器附近的噪声，35kV 母线电压、220kV 母线电压；STATCOM 的损耗。

(4) 试验要求。无告警 SER，系统运行平稳，无异常波动，总谐波电压畸变率 $\leq 1.5\%$ 。

(5) 系统条件。220kV 侧母线电压在 229~232kV 之间，500kV 电压维持在 529~532kV。

1.3.10 远方控制模式试验

(1) 试验目的。检查 STATCOM 远方控制是否正常，能按中调指令进行控制

和输出。

(2) 试验参数。按中调定值单整定各项参数。

(3) 试验记录数据。主变压器各侧电压、电流，#1 和#2 STATCOM 输出无功。

(4) 试验要求。无告警 SER，系统运行平稳，无异常波动。

1.4 风险分析与安全措施

1.4.1 风险分析

(1) 人身风险。

1) 调试试运行期间，交流电流回路上工作，TA 二次开路，造成人员高电压伤害。

2) 调试试运行期间新设备损坏，造成现场人员伤害风险。

3) 调试试运行期间相邻电容器组等无功设备分合操作及运行中群爆造成人身伤害风险。

4) 热调试及试运行期间的操作过程中，人员误碰带电设备，造成触电伤害风险。

5) 阀组充电后，人员误入阀组室或误碰直流电容器，造成人员伤害风险。

6) 在 STATCOM 设备试运行期间进行周期停电检修调试时，可能存在电容器放电不彻底，造成人身触电风险。

7) 在集装箱里作业时，可能存在通风不良，人员缺氧风险。

(2) 设备风险。

1) 东莞变电站发生严重故障（双回线故障、母线故障等），STATCOM 反向调节吸收最大容量无功的风险分析。

2) 启动及试运行期间，与中调通信中断的风险分析。

3) 交流电压回路上工作，二次电压短路造成 TV 损坏或 220、500kV 侧测量电压失压风险。

4) 调试及试运行阶段检查、检修时发生误操作风险。

5) 热调试及试运行期间水系统检查误操作导致阀组误动。

6) 在 STATCOM 设备试运行期间，可能存在设备负荷电流过大引起导线线夹或刀闸动静触头等部件发热的风险。

7) 可能存在监控回路误报警或缺陷定位错误，错换设备。

8) 试运行期间，500kV 东莞变电站#1、#2 STATCOM 故障或异常将造成系统电压波动或电压剧变等严重后果。