



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

报告编号：HXT2020-108

巴基斯坦默蒂亚里-拉合±660 高压高压输电工程 系统调试方案

（6）双极大功率系统调试方案

Matlari-Lahore ±660kV HVDC 输电项目调试测试

（6）双极大功率系统测试程序

中国电力科学研究院

2021.06

版本	日期	修改
...
4.0	29 2021 年 1 月	根据 OE 建议更新关于 低压电抗器
5.0	10 二月 2021 年	根据 OE 更新注释 上 A3-A6
6.0	9 君. 2021 年	根据更新实际的 最大功率
7.0	14 七月. 2021 年	根据 OE 更新注释 在 A6

工作单位： 中国电力科学研究院有限公司

项目负责人： 班连庚, 谢国平

报告编写人： 林少伯, 周亦夫, 谢国平, 刘世成, 庞广恒, 雷霄

中国电力科学研究院有限公司

报告审核

学术技术分委会： 朱艺颖 2020-08-11 11:40:54

部 门： 何凤军 2020-08-24 14:31:48

咨询业务部（格式审核）： 孙颖 2020-09-10 15:00:23

学术技术委员会： 卜广全 2020-08-29 14:56:27

报告批准

副院长/总工程师/院长助理/副总工程师： 孙华东 2020-09-18
08:25:13

内容摘要

巴基斯坦默蒂亚里-拉合尔高压输电电力工程双极功率系统调试内容包括：
双极功率降低、热运行、特殊试验测量试验。标准等。

关键词：默拉热情；双极大功率系统调试方案；系统调试

目录

1	先决条件	4
2	双极大功率运行，正常功率方向.....	6
2.1	测试目标.....	6
2.2	预科 n 版本.....	6
2.3	测试内容和程序.....	7
2.3.1	双极功率斜坡（使用交流和直流谐波测量）	7
2.3.2	最大可用功率下的热运行测试（无冗余冷却）	8
2.3.3	无线电干扰测量	9
2.3.4	可听噪音检查	10
2.3.5	双极站服务功率损耗	10
2.3.6	使用红外相机设备进行温度测量	11
3	限频器控制及倒车功能测试	11
3.1	测试目的.....	11
3.2	前提条件.....	11
3.3	测试内容和程序.....	12
3.3.1	频率限制器控制测试	12
3.3.2	拉合尔换流站返程功能试验	14
4	双极大功率操作，反向功率方向（可选）	15
4.1	测试目标.....	15
4.2	先决条件.....	15
4.3	测试内容和程序.....	16
4.3.1	双极功率斜坡	16

5	站内试验的安全措施及注意事项.....	18
5.1	用于高压直流系统.....	18
5.2	交流系统用.....	19
6	附件.....	20

1 先决条件

重要的： 试验时的极功率应达到 2000 MW，对应 3030 A。两个都 包括 Matiari 和 LAHORE 在内的换流站应 505-525 所有测试之前和期间的 kV。频率在所有两个都 换流站应为 49.5-50.5Hz。

在开始高功率双极传输测试之前，必须完成以下活动：

- 低功率单极测试
- 验证换流变压器、平波电抗器和晶闸管阀的冷却设备是否正常运行，风扇和泵的开关是否正确。此外，必须检查冗余泵、风扇和热交换器是否可用。
- 晶闸管阀冷却泵运行时间超过 24 小时，并检查所有放气阀。
- Matiari 有四个低压电抗器可用，拉合尔换流站有两个低压电抗器可用。所有这些都可用于手动开关电压控制。

此外，以下先决条件适用于本程序中定义的所有测试。如果特定测试需要任何特定的先决条件，则会在测试描述中添加。

- 必须任命 CEPRI 和所有者的测试负责人。
- 必须完成本次测试所涉及设备的所有设备测试和子系统测试。
- 低功率双极测试完成
- 交流开关站和相关保护和序列，包括断路器故障保护，已测试
- 验证剩余活动列表并确保测试可以继续。
- 验证临时连接列表并确保测试可以继续。
- 验证事件序列记录器（SER）并确保不存在相关警报并且所有系统都在运行。
- 在每次测试之前，选择将被记录、存储和用作测试记录的相关 TFR 点。
- 现场提供所有必需的测试设备
- 业主准备的切换序列已准备就绪，站点（或所有参与测试的设备）移交运行。

2 双极大功率运行，正常功率方向

2.1 测试目标

测试目的是进行大功率测试时的热运行测试和特殊测量。

2.2 先决条件

(1) 已完成所有低功耗测试。

(2) 交流系统前提条件：

1) 两个交流系统的 500kV 母线电压约为 505~525kV。

2) 交流系统的两端都可以为测试提供电源。

(3) 直流系统前提：

马蒂亚里：

[X] 大师

[X] SC A 活动 [] SC B 主动

[X] PCP A 有效 [] PCP B 有效

[X] 普通战力。Dir. [] 反向战俘。目录

[X] 有 TCOM [] 没有 TCOM

[X] 功率控制 [] 电流控制

[X] 联合控制 [] 单独控制

[X] RPC 自动 [] RPC 手册

[X] Q 控制 [] U 控制

[X] 标准电压。 [] 降低电压。

[X] 接地回路 [] 金属回路

拉合尔:

- ☐ 掌握
- ☒ SC A 活动 ☐ SC B 主动
- ☒ PCP A 有效 ☐ PCP B 有效
- ☒ 普通战力。Dir. ☐ 反向战俘。目录
- ☒ 有 TCOM ☐ 没有 TCOM
- ☒ 功率控制 ☐ 电流控制
- ☒ 联合控制 ☐ 单独控制
- ☒ RPC 自动 ☐ RPC 手册
- ☒ Q 控制 ☐ U 控制
- ☒ 标准电压。 ☐ 降低电压。
- ☒ 接地回路 ☐ 金属回路

2.3 测试内容和程序

2.3.1 双极功率斜坡（使用交流和直流谐波测量）

- (1) 验证双极稳定运行在 **NPCC 的预定功率**。
- (2) 将功率提升至 **最大可用功率** 以 100MW/min 的速度步进 **400MW**，以 2 分钟的间隔，在每个稳定运行之间 **400MW** 增加：
- (3) 核实：
 - 1) 在每个功率电平的两个站都斜坡后满足参考。
 - 2) 各功率级稳定运行。
 - 3) 两站 RPC 在爬坡过程中按照技术规范连接适当数量的滤波器和分流器组。
 - 4) 记录各处的交流谐波性能和 I_{eq} （直流线路）谐波性能 **400MW**step 和滤波器组连接在每个测量点
- (4) 将功率降低到 **NPCC 的预定功率** 以 50MW/min 的速度以 400MW 为步长，每增加 400MW 之间间隔 2 分钟稳定运行：

- (5) 启动从 SC/PCPA 到 SC/PCPB 以及从 SC/PCPB 到 SC/PCPA 的手动切换，同时在两个站点的两极进行斜坡操作。
- (6) 核实：
 - 1) 斜坡过程平稳且连续，传输的功率没有瞬态变化。
 - 2) 斜坡完成后，两个站中的参考都得到满足。
- (7) 记录和保存测试数据

2.3.2 热运行测试在 最大可用功率（无冗余冷却）

- (1) 按照调度程序中的说明，停止使用阀门和变压器冗余冷却设备。
- (2) 保持杆在运行至少 2 小时 最大可用功率或直到达到稳定的绕组温升。在此期间应进行以下验证：
- (3) 执行以下测试或测量：
 - 1) 在斜坡完成后，验证两个站的功率参考是否满足。进阶 400MW 步并测量每一步的交流和直流谐波性能。记录每一站使用中的过滤器。
 - 2) 验证直流侧和交流侧测量的电流和电压是否正确。
 - 3) 连续读取阀门冷却水入口和出口温度（本地和远程指示）室外环境温度和相对湿度，直到达到合理的稳定温度。
 - 4) 在 1.5 小时内每 15 分钟读取一次换流变压器的环境温度顶部油和绕组温度，此后每 30 分钟读取一次（本地和远程指示），直到达到合理的稳定温度。通过在每个时间步使用 IR 温度设备读数读取靠近油箱顶部或回油管的读数，获得对顶部油温的独立确认。
 - 5) 阅读 Matiari 和 LAHORE 中的交流侧单独谐波、Dn、总谐波失真、Deff、电话谐波形状因数、THFF。
 - 6) 读取 Matiari 和 LAHORE 直流线路上的直流侧谐波和 I_{eq} 。
- (4) 执行以下测试或测量：
 - 1) 验证主电路参数：触发角、消光角、交直流电流和电压。
 - 2) 读取阀门冷却水、变压器和电抗器的温度，验证运行是否稳定。
 - 3) 按照以下第 2.3.3-2.3.4 节中描述的调度程序进行特殊测量。
- (5) 记录并保存所有数据。

2.3.3 无线电干扰测量

检查高压直流电站产生的无线电和电视干扰在指定位置是否在规定范围内。

- (1) 在换流站内、换流站外约 450m 处选择 1 或 2 个测试点，进行干扰频谱的测量。
- (2) 测量出线下无线电干扰的频谱特性 ± 660 kV 阀厅，距换流站内出线 20 m。
- (3) 记录并保存所有数据。

2.3.4 可听噪音检查

检查由 HVDC 工厂产生的可听噪声水平是否在指定位置的指定限制内。

- (1) 换流站换流变压器附近可听噪声的测量。
- (2) 沿换流站外边界线的可听噪声测量。
- (3) 如果有房屋，则测量换流站附近房屋前的可听噪声。
- (4) 记录并保存所有数据。

2.3.5 双极 车站服务功率损耗

该测试的目的是确定负载和空载条件下辅助电源的损耗。根据研究报告，只包括所提供设备的关键和基本负载。

- (1) 在 Ready for Operation 状态下，400V 功率级别的负载在一个预定的时间段内进行测量（例如在一小时内测量 2 次）。对测量结果进行平均以获得与空载或固定损耗等效的值。
- (2) 当双极在 MAP 运行时，400V 功率电平上的负载在一个预定时间段内测量（例如在一小时内测量 2 次）。对测量结果进行平均以获得数值。
- (3) 记录并保存所有数据。

2.3.6 使用红外相机设备进行温度测量

- (1) 使用红外摄像机验证母线、夹子导体、设备等的温度在直流场、交流场和阀厅是可以接受的。

- (2) 记录并保存所有数据。

3 限频器控制及倒车功能测试

3.1 测试目的

该测试是检查直流系统的频率限制器控制和倒车的基本功能。

3.2 前提条件

- (1) 已完成所有单极低功率测试。
- (2) 交流系统前提条件：
- 1) 两个交流系统的 500kV 母线电压约为 505~525kV 或更低。
 - 2) 交流系统的两端都可以为测试提供电源。
- (3) 直流系统前提：

马蒂亚里：

- [X] 大师
- [X] SC A 活动 [] SC B 主动
- [X] PCP A 活跃 [] PCP B 有源
- [X] 普通战力。目录 [] 反转战俘。目录
- [X] 与 TCOM [] 没有 TCOM
- [X] 电源控制 [] 电流控制
- [X] 联合控制 [] 单独控制
- [X] RPC 自动 [] RPC 手册
- [X] Q 控制 [] 控制
- [X] 正常电压。[] 降低电压。
- [X] 接地返回 [] 金属回归

拉合尔：

☐ 掌握

☒ SC A 活动 ☐ SC B 主动

☒ PCP A 活跃 ☐ PCP B 有源

☒ 普通战力。目录 ☐ 反转战俘。目录

☒ 与 TCOM ☐ 没有 TCOM

☒ 电源控制 ☐ 电流控制

☒ 联合控制 ☐ 单独控制

☒ RPC 自动 ☐ RPC 手册

☒ Q 控制 ☐ 控制

☒ 正常电压。 ☐ 降低电压。

☒ 接地返回 ☐ 金属回归

3.3 测试内容和程序

3.3.1 频率限制器控制测试

(1) 核实：

- Matiari 换流站是“MASTER”站
- 分别在双极功率控制模式下的极 1 和极 2。
- 双极功率为 1000MW

(2) 核实：

- 频率变化 1Hz 对应的直流功率为 4000MW。
- 变频调速上下限分别为 400MW 和-250MW。

(3) 模拟 Matiari 站连接的交流电网频率为 50.3Hz，模拟拉合尔站连接的交流电网频率为 49.8Hz，持续时间为 4000ms

(4) 核实：

- 直流功率上升约 400MW。频偏消失后，直流发射功率会自动恢复到测试前的数值。

(5) 重置频率限制器控制。

(6) 模拟 Matiari 站连接的交流电网频率为 50.3Hz，模拟拉合尔站连接的交流电网频率为 49.6Hz，持续时间为 4000ms

- (7) 核实:
- 直流功率上升约 400MW。频偏消失后, 直流发射功率会自动恢复到测试前的数值。
- (8) 重置频率限制器控制。
- (9) 模拟 Matiari 站连接的交流电网频率为 49.6Hz, 模拟拉合尔站连接的交流电网频率为 50.3Hz, 持续时间为 4000ms
- (10) 核实:
- 直流功率下降约 250MW。频偏消失后, 直流发射功率会自动恢复到测试前的数值。
- (11) 重置频率限制器控制。
- (12) 模拟 Matiari 站连接的交流电网频率为 49.3Hz, 模拟拉合尔站连接的交流电网频率为 50.3Hz, 持续时间为 4000ms
- (13) 核实:
- 直流功率下降约 250MW。频偏消失后, 直流发射功率会自动恢复到测试前的数值。
- (14) 记录并保存所有测试数据

3.3.2 拉合尔换流站返程功能试验

- (1) 核实 :
- 拉合尔换流站是“MASTER”站
 - 分别在双极功率控制模式下的极 1 和极 2。
 - 双极功率为 1400MW
 - Runback 输出上限为 400MW。
- (2) 模拟拉合尔 Sheikhupura cct 之旅。1 和拉合尔 Sheikhupura cct。
2 ACSC 故障
- (3) 核实:
- 直流功率下降约 400MW。
- (4) 记录并保存所有测试数据

1 双极大功率操作，反向功率方向（可选）

1.1 测试目标

测试目的是检查在反向功率方向下的大功率测试期间交流系统的响应。

1.2 先决条件

(1) 已完成所有低功耗测试。

(2) 交流系统前提条件：

1) 两个交流系统的 500kV 母线电压约为 505~525kV。

2) 交流系统的两端都可以为测试提供电源。

(3) 直流系统前提：

马蒂亚里：

☐ 掌握

☒ SC A 活动 ☐ SC B 主动

☒ PCP A 有效 ☐ PCP B 有效

☐ 正常战俘。Dir. ☒ 反向战俘。目录

☒ 有 TCOM ☐ 没有 TCOM

☒ 功率控制 ☐ 电流控制

☒ 联合控制 ☐ 单独控制

☒ RPC 自动 ☐ RPC 手册

☒ Q 控制 ☐ U 控制

☒ 标准电压。 ☐ 降低电压。

☒ 接地回路 ☐ 金属回路

拉合尔:

☒ 大师

☒ SC A 活动 ☐ SC B 主动

☒ PCP A 有效 ☐ PCP B 有效

☐ 正常战俘。Dir. ☒ 反向战俘。目录

☒ 有 TCOM ☐ 没有 TCOM

☒ 功率控制 ☐ 电流控制

☒ 联合控制 ☐ 单独控制

☒ RPC 自动 ☐ RPC 手册

☒ Q 控制 ☐ U 控制

☒ 标准电压。 ☐ 降低电压。

☒ 接地回路 ☐ 金属回路

1.3 测试内容和程序

1.3.1 双极功率斜坡

- (1) 根据业主操作说明执行断路器和开关，使变流器进入“准备运行”状态。
- (2) 验证两个站都处于“准备运行”状态。
- (3) 以最小双极功率在拉合尔反向启动双极，400MW (303A)，斜率 100MW/min。
- (4) 验证稳定的性能指标和最小功率下的稳定运行。

- (5) 以 50MW/min 的速率以 400MW 的步长将功率提升至 2000MW，每增加 400MW 之间间隔 2 分钟，稳定运行：
- (6) 核实：
 - 1) 在每个功率电平的两个站都斜坡后满足参考。
 - 2) 各功率级稳定运行。
 - 3) 两站 RPC 在爬坡过程中按照技术规范连接适当数量的滤波器和分流器组。
- (7) 以 50MW/min 的速率以 400MW 的步长将功率下降到 400MW，每增加 400MW 之间间隔 2 分钟，稳定运行：
- (8) 在斜坡进行时，在两个站点的两个杆上启动从 SC/PCPA 到 SC/PCPB 以及从 SC/PCPB 到 SC/PCPA 的手动切换。
- (9) 核实：
 - 1) 斜坡过程平稳且连续，传输的功率没有瞬态变化。
 - 2) 斜坡完成后，两个站中的参考都得到满足。
- (10) 停止杆
- (11) 记录和保存测试数据

2 站内试验的安全措施及注意事项

2.1 用于高压直流系统

- (1) 所有参加测试的人员都必须严格遵守电气工程的所有安全规定。
- (2) 站内应由业主任命一名合格的工程师作为试验组长，与 CEPRI 调试工程师协调。
- (3) 在站内进行试验时，必须指定业主、装配公司或制造公司的合格技术人员携带手机分别在交流场、直流场和阀厅内观看设备。发现设备异常或故障应立即报告测试组长。
- (4) 未经许可，任何人不得进入试验区。
- (5) 所有高压区域都应使用封闭的围栏和带有“高压危险！”的告示牌进行隔离。应该放在上面。
- (6) 在站内，配备手机的应急维修队随时准备进行维修或检查工作。
- (7) 仅允许具有测试身份的人员进入测试区域。
- (8) 合格的操作人员才可以进行操作。
- (9) 所有的操作都必须严格按照操作说明进行。
- (10) 现场主电路设备和控制保护柜的临时试接线和维护工作，由有资质的人员在有资质的专业人员的监督下进行，并采取相应的安全措施。
- (11) 控制或保护柜的测试接线应由合格的专家演示和监督。

2.2 交流系统用

必须严格遵守交流系统运行的所有规定和安全措施。

3 附件

高压直流输电--高压直流

直流电--直流电

交流电--交流电

经济研究所--中国电力科学研究院

TFR --瞬态故障记录仪

五氯苯酚--极控与保护

单片机--SCADA 和监控

标准委员会 --站控

RPC--无功功率控制

DGA-- 溶解气体分析

红外摄像机 —— 红外线的 相机

DN --个别谐波

总谐波失真--总谐波失真

四氢大麻酚--电话谐波外形

智商-- 等效干扰电流

MAP - 最大可用功率

MAP++ - 与 MAP 相同或略高于 MAP 的电力传输，可由 NPCC 酌情授权。