

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 30423—2013/IEC 61975:2010

---

## 高压直流设施的系统试验

**System tests for high-voltage direct current (HVDC) installations**

(IEC 61975:2010, High-voltage direct current (HVDC) installations—  
System tests, IDT)

2013-12-31 发布

2014-07-13 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会



## 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
3.1 试验分类 .....	1
3.2 运行状态 .....	2
4 概述 .....	2
4.1 目的 .....	2
4.2 HVDC 系统的结构 .....	3
4.3 控制和保护系统的结构 .....	4
4.4 系统试验的逻辑步骤 .....	4
4.5 系统试验的结构 .....	5
4.6 现场试验的准备 .....	5
5 换流站试验 .....	7
5.1 概述 .....	7
5.2 换流器单元试验 .....	8
5.3 无功单元充电 .....	9
5.4 直流接线方式转换 .....	10
5.5 电磁兼容 .....	11
5.6 跳闸试验 .....	12
5.7 开路试验 .....	13
5.8 背靠背试验 .....	14
5.9 短路(零功率)试验 .....	15
6 传输试验 .....	16
6.1 低功率传输试验 .....	16
6.2 运行人员控制模式转换 .....	22
6.3 直流接线方式转换 .....	27
6.4 主回路设备投切 .....	30
6.5 动态性能试验 .....	33
6.6 交流和直流系统分段故障 .....	41
6.7 通信、辅助或冗余设备丢失 .....	44
6.8 大功率输电试验 .....	47
6.9 验收试验 .....	51
7 试运行 .....	56
7.1 概述 .....	56
7.2 试验目的 .....	56

7.3	试验前条件 .....	56
7.4	试验程序 .....	57
7.5	试验接收判据 .....	57
8	系统试验计划和文件 .....	57
8.1	概述 .....	57
8.2	工厂文件和运行手册 .....	57
8.3	系统研究报告和技术规范 .....	57
8.4	检查和试验计划 .....	58
8.5	系统试验程序 .....	58
8.6	各项试验的试验程序 .....	58
8.7	系统试验结果文件 .....	59
8.8	偏差报告 .....	59

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 IEC 61975:2010《高压直流设施的系统试验》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

——GB/T 17626.3—2006 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验 (IEC 61000-4-3: 2002, IDT)

——GB/Z 20996.1—2007 高压直流输电系统性能 第 1 部分: 稳态 (IEC/TR 60919-1: 1988, IDT)

——GB/Z 20996.2—2007 高压直流输电系统性能 第 2 部分: 故障和操作 (IEC/TR 60919-2: 1991, IDT)

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国电力电子学标准化技术委员会(SAC/TC 60)归口。

本标准起草单位: 西安高压电器研究院有限责任公司、南方电网科学研究院有限责任公司、中国电力科学研究院、北京网联直流工程技术有限公司、许继柔性输电系统公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司、南京南瑞继保电气有限公司、西安西电电力系统有限公司、西安电力电子技术研究所、国网电力科学研究院、特变电工股份有限公司、昆明电器科学研究所。

本标准主要起草人: 苟锐锋、杨煜、马为民、张望、杨晓辉、陈禾、田恩文、曹继丰、陈欢、叶周、葛亮、蔚红旗、康文斌、王健、王海军、霍立海、周琼芳、赵永涛。



# 高压直流设施的系统试验

## 1 范围

本标准规定的试验基于分别与交流系统连接的送端和受端组成的双向和双极高压直流(HVDC)系统。

本标准适用于送端和受端分别与交流系统连接的高压直流(HVDC)设施的系统试验。对于背靠背系统,试验要求和接收准则应达成协议,而多端系统和电压源换流器不包含在本标准中。对于单极高压直流(HVDC)系统,除了双极试验外,本标准适用。

本标准未包括的特定工程提出的、用于验证特殊功能或特性的额外试验项目,可按技术规范要求增加。

本标准仅作为高压直流设施的系统试验指南,指导用户如何制定调试计划。本标准中的试验描述不一定适用于所有工程,但是宜考虑作为一个试验范围。

因此,建议工程建设方优先考虑按照本标准建立各试验计划,同时提前明确各参与单位(如:用户、供货方、制造方、运行人员和采购方等)之间的各项任务/试验的责任。

## 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 13498 高压直流输电术语(GB/T 13498—2007, IEC 60633:1998, IDT)

IEC/TR 60919-1 具有电网换相换流器的高压直流系统的性能 第1部分:稳态(Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line commutated converters—Part 1: Steady-state conditions)

IEC/TR 60919-2:2008 具有电网换相换流器的高压直流系统的性能 第2部分:故障和操作(Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line commutated converters—Part 2: Faults and switching)

IEC 61000-4-3 电磁兼容(EMC) 第4-3部分:试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验(Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-3: Testing and measurement techniques—Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test)

## 3 术语和定义

GB/T 13498 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 试验分类

#### 3.1.1

**站试验 station test**

换流器系统试验,包含验证在已带电状态的换流站各设备功能的试验。

#### 3.1.2

**系统试验 system test**

验证高压直流(HVDC)系统及与之连接的交流系统相互作用的功能和特性的试验。

### 3.1.3

#### **传输试验 transmission test**

当高压直流系统两端之间传输功率时,验证高压直流系统的功能和特性的试验。

注:也称为“端对端试验”。

### 3.1.4

#### **非现场试验 off-site test**

现场试验前完成的试验。

## 3.2 运行状态

在直流系统中,有五种运行状态:接地、停运/隔离、备用、闭锁和解锁。

### 3.2.1

#### **接地状态 earthed state**

极或换流器被隔离并在交流和直流侧接地的状态,同时极或换流器设备不带电。

注:接地状态为维护工作提供必要的安全,也只有在接地状态下才允许进行极或换流器维护。此时可进行该极或换流器中的换流变压器、交流高压母线设备中被隔离和接地部分、直流场和阀厅设备维护工作。

### 3.2.2

#### **停运/隔离状态 stopped/isolated state**

极或换流器与交流侧和直流侧隔离,但相关的所有接地开关处于分闸状态。

注:在这种状态下,当接地极线、极和直流线路连接后,就可进行功率传输。

### 3.2.3

#### **备用状态 standby state**

当直流系统没有带电但已准备进行功率传输的状态。

注:这种状态下,换流变压器已准备好,分接头已自动调节至起动位置以保证变压器在最低电压最小涌流下能带电。交流侧隔离开关处于合闸位置,换流变压器进线断路器处于分闸位置。在这种状态下,直流侧的接线方式仍能改变(接地极线、极和直流线路的连接方式)。

### 3.2.4

#### **闭锁状态 blocked state**

极随时准备进行传输功率的状态。

注:闭合相应断路器将换流变压器连接到带电的交流母线。如果冷却水的导电率、流量和温度都在规定限值内,阀冷却系统具备投运条件。此时指定的直流运行接线方式已建立,不能进行进一步的改动。换流变压器带电后执行晶闸管预检。如果检测到各冗余晶闸管均没有丢失,则认为通过预检。可选择停运状态、备用状态和解锁状态来改变闭锁状态。

### 3.2.5

#### **解锁状态 de-blocked state**

包括两种运行方式:功率传输和开路试验。

注:功率传输是正常运行方式。如果两端换流器均处于解锁状态下且存在电压差,极以正常运行方式传输功率。最小交流滤波器组可用。

## 4 概述

### 4.1 目的

进行系统试验的目的是完成 HVDC 系统的调试。



供货方可验证已安装的换流站设备的适用性及功能的完整性,此外可进行调整和优化。

系统试验向业主证明已经满足了合同中的条件和要求,并且与研究及前期的非现场试验结果吻合。

对于业主而言,系统试验的完成标志着高压直流系统商业运行的开始。

当高压直流系统与交流系统连接时,可能存在各种约束条件,这就需要交流系统的运营者在调度计划上相互配合。系统试验向公众证明没有超出与公众利益有关的允许值。

系统试验包括以下 5 个主要方面的内容:

- HVDC 换流站设备和直流线路/电缆/母线,包括接地极(若有);
- HVDC 控制和保护设备及其整定值;
- 环境因素;
- 交流/直流系统间的相互作用;
- 和交流系统联合运行时的系统性能。

图 1 给出了上述几方面间的内部联系。

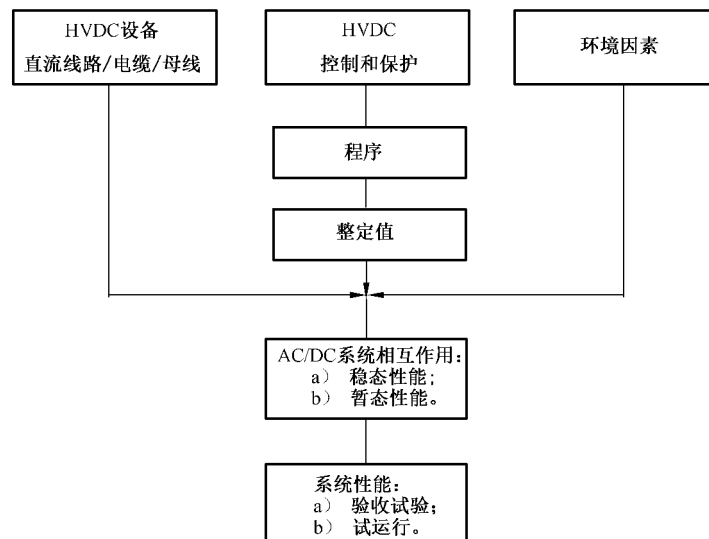


图 1 系统试验 5 个主要方面的联系

上述各部分全面和完整的系统试验可按照本标准中对试验的描述来完成。

验收试验应由供货方和业主预先确定,并且可在试验过程的某一适当时刻进行。

系统试验可能影响到实际合同方以外的其他单位,应及时给予通知。

由于系统试验的复杂性和涉及面的广泛性,需要深入计划和调度、各方的合作以及完整且有组织的文件。

注:根据供货方和业主之间的协议,可使用建议的“试验程序”和其他的试验程序。

## 4.2 HVDC 系统的结构

从功能上看,HVDC 系统包括一个送端系统和一个受端系统,两端分别与交流系统连接。两端的一个或多个换流器在直流侧串联,在交流侧并联。两端系统通过输电线路、电缆或一条短母线(背靠背站)连接。本标准不包括多端系统。

系统试验的结构见图 2。

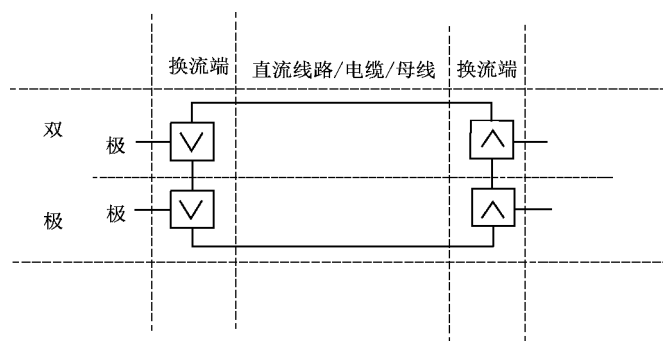


图 2 HVDC 系统的结构

### 4.3 控制和保护系统的结构

每个换流器单元可单独控制。为实现正确的功率传输功能,通过控制系统的上层对换流器单元进行协调控制。为实现 HVDC 系统正常功能有必要进行协调控制和保护。

HVDC 控制和保护结构见图 3。

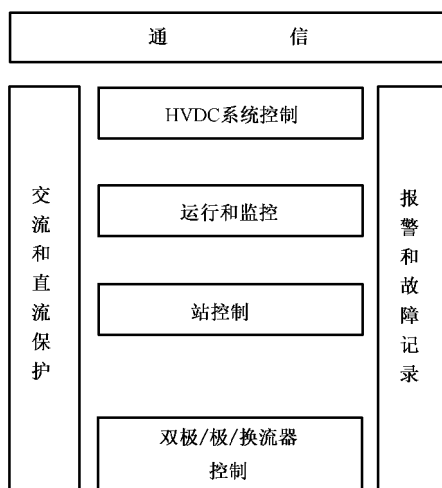


图 3 HVDC 控制和保护结构

### 4.4 系统试验的逻辑步骤

为了保证功能的正确性,现场试验前应在工厂进行型式试验和功能性试验以调试和试验控制系统。

为了提供电网数据和帮助完成系统试验计划,模拟试验前和试验中应进行离线数字仿真,特别是进行潮流、稳态和过电压的分析。

考虑到 HVDC 系统的复杂性,应在实时模拟器上采用与现场类似的方式完成所有极端工况的仿真。

HVDC 系统的调试可能影响到合同方之外的其他单位。系统试验过程中,对于过于复杂的内容需进行详细计划和日程安排,以及各方的合作和完整的文件结构等。在进行现场的系统试验前,应完成以下准备工作:相关分系统试验、运行人员培训和安全指导、系统试验计划和试验程序以及准备所有必需的试验设备。

包括:

- 应完成所有分系统的试验和调试,包括交流滤波器和换流变压器,应特别注意在充电的过程中换流变压器或交流滤波器可能出现的谐振;
- 应对运行人员进行充分的培训;
- 具备换流站的运行规程;
- 具备人员和场地安全指导;
- 具备系统试验计划和文件(第8章)且意见一致;
- 已确定进行各项试验所需要的交/直流功率;
- 已明确所有交/直流系统运行限制;
- 能进行运行人员语音通信;
- 所有必要的试验设备已校准且可用;
- 试验准备和试验结果评估的程序已达成共识。

现场系统试验应按照 HVDC 系统的结构,从最小最简单的运行单元(通常是十二脉波换流器)开始,直至整个系统运行结束。试验顺序应从就地且简单的试验开始,然后再进行传输系统的更复杂试验。

所有的准备工作完成后,进行换流站试验。试验从换流器单元试验开始,包括交流滤波器和直流场带电、电磁干扰、跳闸试验、直流系统接线方式转换、开路试验等。

功率传输(也叫端对端)试验应从单极开始,然后双极运行,最后满功率运行。

当整个系统正确运行时,可进行稳态性能验证。采用正常运行升降整定值和自动投切顺序时,可检查大量的干扰对系统直流侧和交流系统的影响,并且可验证系统暂态和故障恢复性能。

验收试验应由供货方和业主预先确定,并且可在试验过程的某一适当时刻进行。

在现场调试阶段,可完成全部或部分验收试验,以验证试验是否满足判据要求,为了避免不必要的重复试验,在验收试验进行前,应给予仔细考虑。

如果验收试验并没有完成或者由于进行了某些改动必须重复试验,可在功率传输试验过程中或试运行后进行(若适用)。

在试运行期间检查 HVDC 系统能长期正确运行。

系统试验的完整文件结构是工程资料的组成部分,它对供货方和业主都是有用的,其中包括的所有数据记录、工作记录等,在有必要的时候可作为评价依据和参考。

上述所有 HVDC 系统试验都已完成并且所有的功能都已得到验证后, HVDC 系统可交付给业主。

#### 4.5 系统试验的结构

系统试验的结构见图4。

#### 4.6 现场试验的准备

##### 4.6.1 工厂系统试验

本条阐述了现场试验和 HVDC 控制系统的工厂调试,包括实时模拟试验。

在完成 HVDC 系统控制和保护设备的例行试验之后、设备运抵现场之前,正常的程序应进行工厂系统试验(FST)检查 HVDC 控制保护设备的功能。

在工厂系统试验(FST)中可配置控制系统参数,证明所要求的设备性能。

各种故障模拟过程中,也可检查换流器保护功能的性能,这使设备不在现场时也可完成部分调试工作。同时有机会检测和校正控制和保护系统中硬件和软件错误或缺陷。

工厂系统试验可采用实时模拟器和/或软件模型进行。

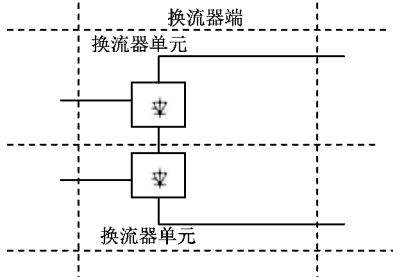
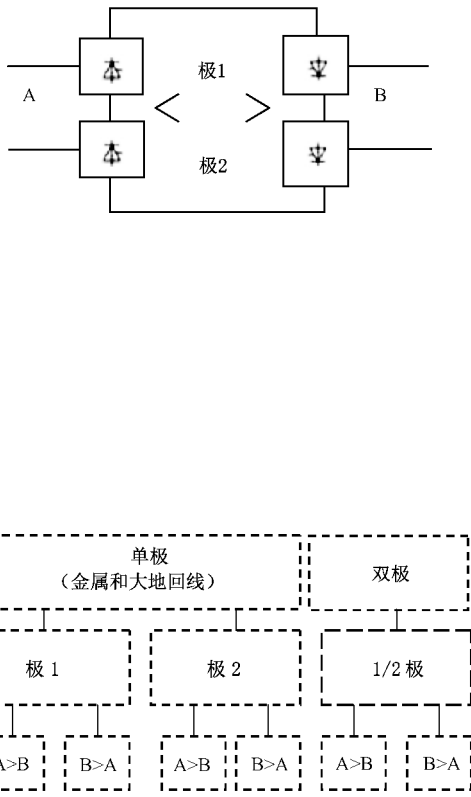
试 验	结 构
<p style="text-align: center;">换流站试验</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 换流器单元试验</li> <li>2) 无功元件的带电                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 交流滤波器</li> <li>● 电容器组</li> <li>● 电抗器</li> </ul> </li> <li>3) 直连接线方式的转换</li> <li>4) 电磁兼容</li> <li>5) 跳闸试验</li> <li>6) 开路试验</li> <li>7) 背靠背试验</li> <li>8) 短路试验</li> </ol> <p>注：标斜体的试验是特殊的负荷试验，见 5.1.2.5</p>	
<p style="text-align: center;">功率传输试验</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 基本运行                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 启动和停止顺序以及稳态运行</li> <li>● 保护闭锁和跳闸时序</li> <li>● 功率和电流升降</li> </ul> </li> <li>2) 运行人员控制模式转换                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 控制地点</li> <li>● 控制模式</li> <li>● 无功控制模式</li> <li>● 运行电压</li> <li>● 自动功率控制</li> </ul> </li> <li>3) 直连接线方式转换</li> <li>4) 一次设备的投切                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 换流变压器和分接开关</li> <li>● 交流滤波器和无功补偿装置</li> <li>● 直流滤波器</li> </ul> </li> <li>5) 动态性能试验</li> <li>6) 交流和直流系统分段故障</li> <li>7) 通信、辅助或冗余设备丢失</li> <li>8) 稳态性能                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 系统参数测量</li> <li>● 无功控制和性能</li> <li>● 过负荷/温升</li> <li>● 谐波性能和滤波器元件额定值</li> <li>● 可听噪声</li> <li>● 负荷试验</li> <li>● 电磁干扰试验</li> <li>● 接地极试验</li> </ul> </li> </ol>	
试运行	

图 4 系统试验的结构

在工厂系统试验中,必须对整个控制系统进行试验。如果故障记录仪和事件顺序记录器是“独立的设备”,可不包含在控制系统内。如果这些记录器不是工厂系统试验的一部分,在试验过程中应检查这些设备输出信号的正确性。

非现场试验的一项重要功能是查找并校正控制系统中硬件和软件错误,这些错误在非现场要比在现场试验和使用过程中更容易被发现和改正。修正这些错误可减少现场系统试验过程中干扰其他电力系统的可能性。

#### 4.6.2 现场系统试验前附加的模拟试验

如果试运行中的交流网情况和 HVDC 设计中的不一致,同时用户也提出要求时应进行附加的模拟试验。

离线仿真软件可用于分析短路容量、过电压和潮流,而实时模拟器可用于控制系统的完整功能性能试验。

附加的模拟试验可实现:

- a) 设置控制系统参数,获得设备相关特定要求性能的初步检查;
- b) 模拟各种故障过程中,换流器保护功能的性能检查;
- c) 查找并校正控制系统中硬件和软件错误。这些错误在非现场要比在现场试验和使用过程中更容易被发现和改正。改正这些错误可减少现场系统试验过程中对相关电力系统的干扰。

## 5 换流站试验

### 5.1 概述

#### 5.1.1 环境要求

本章描述了将换流站作为一个单元时的试验,以及在传输功率前对 HVDC 输电线路的检验。本组试验在端对端试验前进行。

试验的环境应与环境要求一致(若适用)。如第 6 章所述:应进行可听噪声、无线电和 PLC 干扰等级的初步监测,并监测主要设备的温升。但是,在端对端运行过程中必须实际测量上述各量。

#### 5.1.2 试验目的

##### 5.1.2.1 概述

换流站试验的目的是验证功率输送试验前单个换流站的正确运行和所有主设备的绝缘正常。

换流站试验分为低压充电、高压充电、开路试验和负载试验。

##### 5.1.2.2 低压充电/相序检验

为验证相序、换流器主回路连接和换流器触发控制,在高压充电前应进行低压充电。通过主回路和控制系统检验相序。

##### 5.1.2.3 高压充电

高压充电验证交流侧和直流侧主回路设备绝缘正常。

##### 5.1.2.4 开路试验

直流场和直流输电回路的开路试验验证正常绝缘电压耐受水平满足要求,换流器触发控制和阀基电子设备功能正确。

### 5.1.2.5 特殊负载试验

如果业主特别要求,为获得控制系统预检结果、阀冷却容量和主回路温升、可听噪声和无线电干扰水平,应进行负载试验(背靠背或短路试验)。在功率输送试验中进行最终验证。

### 5.1.3 试验前条件

换流器试验开始前,在不带电情况下对下述设备进行检验(且可用):

- 交流开关;
- 交流滤波器、电容器组和并联电抗器;
- 直流滤波器和开关;
- 换流变压器;
- 平波电抗器;
- 晶闸管阀和冷却系统;
- 站辅助设备;
- 消防系统;
- 交流和直流保护系统;
- 控制系统;
- 直流线路或电缆(用于开路试验);
- 事件顺序记录器;
- 报警系统;
- 暂态故障记录仪。

换流器试验前,应准备详细的试验程序和计划。由于试验可能包含一些干扰或增加连接的交流系统的风险,应与系统运行人员协商。

## 5.2 换流器单元试验

### 5.2.1 试验目的

试验的目的是验证换流器首次充电时绝缘电压耐受水平满足要求,并检查相序正确性。

### 5.2.2 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 检验所有和高压设备关联的控制和保护,并投入运行。高压充电前应进行快速跳闸试验(见 5.6);
- b) 连接监测设备并准备投入;
- c) 紧固所有联接头,擦拭干净绝缘体;
- d) HVDC 输电线隔离开关应处于分闸状态并锁定;
- e) 完成所有的安全程序;
- f) 进行高压设备的最终目视检查,并记录避雷器计数器的数值;
- g) 阀低压侧接地。

### 5.2.3 试验程序

#### 5.2.3.1 低压充电

试验状态如下:

- a) 试验过程中,监测控制系统中所有参考电压值和换流阀控制单元(VCU)的触发脉冲;
- b) 试验时在换流变压器一次侧或阀侧施加电压 0.5 kV~10 kV,每个阀中除了一个或多个晶闸管外其余所有晶闸管短路;
- c) 直流侧接入一个适当的电阻器或电抗器作为负荷;
- d) 每个单阀作为一个晶闸管级。低压充电试验过程中,阀解锁且换流器运行于正常或开路试验模式。

注:检验换流器主回路连接相序和换流变压器内部连接的另一个方法是对内部连接方案进行全面目视检查以及与相关文件比较。但是,这将包括控制系统发出触发脉冲到正确晶闸管的检验。

### 5.2.3.2 高压充电

试验状态如下:

- a) 阀闭锁时换流变压器充电,并通过控制系统检查相序;
- b) 保证换流变压器分接头初始在最高位置(最低阀侧电压),然后逐步升高到额定电压;
- c) 保持换流变压器带电至少 6 h;
- d) 试验过程中记录交流电压、稳态电流和涌流并检查设备有无异常声音和电晕放电。

### 5.2.3.3 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 带电设备中无异常声音和电晕放电产生;
- b) 保护没有误动;
- c) 参数应达到预设值,如电压。

## 5.3 无功单元充电

### 5.3.1 无功单元分别充电

无功单元如交流滤波器、电容器组和并联电抗器组首次分别充电。这些单元的组合投切见第 6 章所述。

### 5.3.2 试验目的

试验目的如下:

- a) 检验正常的电压绝缘满足要求;
- b) 检验交流滤波器、电容器组和并联电抗器三相之间平衡;
- c) 确定保护系统的空载电流和电压(若有)。

### 5.3.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 检验与高压设备关联的所有控制和保护(主保护和后备保护),并投入运行。高压充电前应进行快速跳闸试验;
- b) 完成交流滤波器调谐;
- c) 交流滤波器和并联电容器已平衡;
- d) 紧固所有联接头,擦拭干净绝缘体;
- e) 完成所有的安全程序;
- f) 进行高压设备的最终目视检查,并记录避雷器计数器的数值。

### 5.3.4 试验程序

试验程序如下：

- a) 交流滤波器、电容器组和并联电抗器逐个充电；
- b) 每个交流滤波器、电容器组和并联电抗器保持带电至少 2 h；
- c) 试验过程中记录交流电压、稳态电流和涌流，并检查设备有无异常声音和电晕放电。

### 5.3.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) 带电设备中无异常声音或电晕放电产生；
- b) 保护没有误动；
- c) 在设计误差允许范围内，交流滤波器和电容器组是平衡的。

## 5.4 直流接线方式转换

### 5.4.1 概述

在每极具有单个换流器的端对端或点对点系统中，改变直流系统接线方式相对简单。如果换流站极中并联或串联换流器，接线方式转换就变得较为复杂。此试验表明设备如断路器、隔离开关或接地开关运行在正确的顺序时可正常联锁。带负荷时改变直流系统接线方式见第 6 章所述。

不同直流系统接线方式之间的转换可通过本地控制或远方调度中心手动或自动启动。在手动或单步控制模式下，运行人员需要通过语音通讯协调这些操作。

### 5.4.2 试验目的

试验的目的是验证在首次功率输送前，直流系统接线方式能按要求安全地转换。

### 5.4.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 非现场试验中应已完成直流系统接线方式改变检验；
- b) 所有必要的交流和直流开关投入运行；
- c) 运行人员指令和试验程序就绪。

### 5.4.4 试验程序

验证规定的直流系统接线方式之间的转换。应在如下初始情形下完成接线方式的转换：

- 单极大地回线；
- 单极金属回线；
- 双极运行；
- 并联或串联换流器的组合。

首先在无通信的情况下完成试验，然后在有通信的情况下重复试验：

- a) 建立与另一端运行人员的语音联络；
- b) 关闭通信；
- c) 重置所有的报警；
- d) 选择和运行接线方式一致的初始直流系统接线方式。涉及的各端运行人员一起完成试验程序；



- e) 在运行人员控制界面上和事件顺序记录器中验证合理投切动作。模拟投切顺序中的故障；
- f) 对所有适用的直流系统接线方式重复试验；
- g) 恢复通信；
- h) 在自动和联合控制模式下重复试验。

#### 5.4.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- 在有通信或无通信的情况下，所有适用的直流系统接线方式之间的转换操作顺序是正确的；
- 所有转换顺序应能安全且正确地完成；
- 接地开关、隔离开关、交流断路器和直流场的联锁应符合技术规范要求；
- 应能从本地启动直流系统接线方式转换操作，也可远方控制(若适用)；
- 未完成的顺序应能安全地终止。

### 5.5 电磁兼容

#### 5.5.1 概述

如果业主要求，试验应在每站和每极单独进行。

#### 5.5.2 试验前条件

试验前条件如下：

- 试验的换流站中直流场和交流场的所有一次设备应不带电；
- 检验与高压设备关联的所有控制和保护(主保护和后备保护)，并投入运行；
- 检验所有的报警和监控系统(包括事件顺序记录器)，并投入运行；
- 所有的控制和保护系统柜和其中的设备都已上电；
- 所有安全程序已执行；
- 进行高压设备最终目视检查，并记录避雷器计数器的数值；
- 检查试验设备(如步话机和移动电话)并投入运行。但试验设备的发射功率应在 3 W ~ 5 W 内。

#### 5.5.3 试验程序

##### 5.5.3.1 概述

如下所列，电磁兼容试验可利用不同的干扰源。

##### 5.5.3.2 发射源的试验程序

试验程序如下：

- a) 保证试验的控制保护柜和设备上电；
- b) 确认直流控制柜门处于关闭状态；
- c) 发射源首先应放置在每个控制柜门前，然后放置在后面，在每个位置重复发射三次。发射源和控制柜门之间的距离按照 IEC 61000-4-3 计算。每次发射持续时间不小于 10 s；
- d) 试验过程中检查设备有无异常的声音和动作。

##### 5.5.3.3 投入和切除交流母线试验程序

试验程序如下：

- a) 保证试验的控制保护柜和设备上电；

- b) 投入离站控制室最近的交流母线；
- c) 切除上述母线；
- d) 试验过程中检查设备有无异常的声音和动作。

#### 5.5.4 试验接收判据

试验过程中无异常的控制动作。

### 5.6 跳闸试验

#### 5.6.1 概述

在交流滤波器和变压器充电前,对换流站和每极中各个跳闸线圈进行试验。

#### 5.6.2 试验目的

试验目的如下:

- 验证换流站设备保护跳闸回路的功能；
- 验证保护跳闸的顺序和性能。

#### 5.6.3 试验前条件

试验前条件如下:

- 被试换流站中直流场和交流场的所有设备应不带电；
- 检验与高压设备关联的所有控制和保护(主保护和后备保护)并投入运行；
- 检验所有的报警和监控系统(包括事件顺序记录器)并投入运行；
- 所有安全程序已执行；
- 进行高压设备最终目视检查,并记录避雷器计数器的数值。

#### 5.6.4 试验程序

##### 5.6.4.1 概述

从如下不同的位置激活跳闸信号。

##### 5.6.4.2 直流保护跳闸试验

从被试直流保护回路的端子激活跳闸信号,交流侧交流断路器应跳闸。

##### 5.6.4.3 交流滤波器和并联电容器的保护跳闸试验

从被试交流滤波器和并联电容器的保护跳闸端子激活跳闸信号,交流滤波器断路器应跳闸。

##### 5.6.4.4 紧急停运按钮跳闸试验

按下控制室的紧急停运按钮,交流侧交流断路器应跳闸。

#### 5.6.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- 由直流保护或人为操作紧急停运按钮启动跳闸信号,换流变压器交流侧断路器应正确跳闸；
- 由每台交流滤波器或并联电容器保护跳闸回路激活跳闸信号,其交流侧断路器应正确跳闸；
- 无异常的报警或事件发生。

## 5.7 开路试验

### 5.7.1 概述

#### 5.7.1.1 试验的必要性

如果其他试验项目涵盖了本试验的目的,则不需要进行开路试验。

#### 5.7.1.2 直流场开路试验

直流场开路试验可在 HVDC 系统两端同时进行。

#### 5.7.1.3 直流输电回路开路试验

直流输电回路开路试验每次可从 HVDC 任意一端进行,也可从首先可用的换流器进行,但优先从最高运行电压端进行。开路试验能很好地验证 HVDC 线路和电缆的状态。

### 5.7.2 试验前条件

#### 5.7.2.1 直流场开路试验

试验前条件如下:

- a) 换流变压器已充电;
- b) 检验与换流变压器、直流场包括直流电压分压器关联的所有控制和保护,并投入运行。高压充电前应进行快速跳闸试验,最好先完成低压充电;
- c) 连接监控设备并准备投入;
- d) 紧固所有联接头,擦拭干净绝缘体;
- e) HVDC 输电线路隔离开关应处于分闸状态并锁定;
- f) 完成所有的安全程序;
- g) 进行直流场最终目视检查,并记录避雷器计数器的数值;
- h) 完成直流滤波器调谐。

#### 5.7.2.2 直流输电回路开路试验

试验前条件如下:

- a) 直流场已成功带电;
- b) 检验所有控制和保护系统并投入运行;
- c) 直流输电回路可用;
- d) 检查并证实其他端子已隔离;
- e) 语音通信系统已投入运行;
- f) 所有安全程序已执行;
- g) 换流器的中性侧已连接到接地极,高压侧已连接到输电线路或电缆。

### 5.7.3 试验程序

#### 5.7.3.1 直流场(不带线路)开路试验

试验程序如下:

- a) 换流器中性侧接地或连接到接地极(如果适用);
- b) 在最低阀侧电压下换流变压器充电,逐步调节分接头直到额定电压;

- c) 在开路试验运行状态下解锁换流器,按一定斜率缓慢升高直流电压到额定值;
- d) 保持直流设备带电最多 30 min;
- e) 试验成功完成后,降低直流电压到零并闭锁换流器;
- f) 依次投入适当的直流滤波器重复进行直流场开路试验;
- g) 如果每极中有多个阀组,应开始单个充电然后一起充电;
- h) 试验过程中,应记录交直流电压和电流。试验中检查设备有无异常声音、电晕放电或局部放电电弧。

#### 5.7.3.2 直流输电回路(带线路)开路试验

试验程序如下:

- a) 换流变压器充电,逐步调节分接头直至达到额定电压;
- b) 在开路试验运行状态下解锁换流器,按一定斜率缓慢升高直流电压到预设值。确保直流电压不超过另一端的电压绝缘水平;
- c) 试验成功完成后,降低直流电压到零并闭锁换流器;
- d) 如果适用,每条线路或电缆、每极重复进行试验;
- e) 保持直流输电回路带电最多 30 min;
- f) 试验过程中,应记录交直流电压和电流。试验中检查设备有无异常声音、电晕放电或局部放电电弧。

#### 5.7.4 试验接收判据

##### 5.7.4.1 直流场开路试验

试验接收判据如下:

- a) 带电设备无异常声音或电晕放电产生;
- b) 保护没有误动;
- c) 达到设计的直流电压。

##### 5.7.4.2 直流输电回路开路试验

试验接收判据如下:

- a) 保护没有误动;
- b) 对端直流线路开路时能建立足够高的直流电压。

#### 5.8 背靠背试验

##### 5.8.1 概述

若用户要求,对于双极 HVDC 系统,如果两个极都已建好并且输电线路后期进行建设的情况下,应考虑背靠背试验,同时为了减少对连接的交流系统的干扰也应考虑背靠背试验。背靠背试验是将双极一端换流器作为整流器另一端作为逆变器运行而实现的。两个换流器之间的连接可只包括站内部分,也可包括一部分直流输电回路,或者所有直流输电回路。在后一情况下,试验前应进行输电回路的开路试验,如 5.7 所述。换流器带部分负荷运行时,背靠背试验可提供有效的一般性检查。由于临时调整和控制改变,也会产生额外的风险。

本试验不需要通信系统。有必要对控制系统进行调整。

## 5.8.2 试验目的

背靠背试验可得到控制系统预检结果、阀冷却容量和主回路容许温升。

试验应允许在各端查找故障,以得到更有效的端对端试验程序。在每极换流器分别作为整流器和逆变器运行时,均应进行电流控制、功率控制和无功控制检验。

## 5.8.3 试验前条件

试验前条件如下:

- 已成功进行交流滤波器、电容器组和并联电抗器的充电试验;
- 换流变压器、阀(和直流场滤波器,如果适用)和开关设备应带电;
- 换流器和部分直流输电回路之间需要暂时连接;
- 直流平波电抗器与换流器单元串联;
- 如果适用,为进行背靠背试验可暂时调整一些控制参数;
- 完成所有的安全程序。

试验过程中要考虑换流器可能的跳闸动作。如果发生跳闸,保护方案应通过限制电压水平和电压上升至可接受值的持续时间,或者设置最大允许直流电流限值以充分保护交流母线。对于短路比较小的交流系统,跳闸时应在换流器闭锁时切除所有的滤波器组。

## 5.8.4 试验程序

临时连接两个换流器,该连接应能承受最大试验电流。在正常运行时,无功功率应随直流电流设定值变化。利用交流滤波器和并联电抗器减少和交流网交换的无功功率变量。该试验用于验证:

- 换流器解锁和闭锁;
- 按一定斜率升高至最大试验电流,包括检查电流测量回路;
- 电流控制、有功功率控制、自动分接头控制和无功功率控制的功能正确;
- 交流滤波器保护和变压器保护的测量信号。如有必要可进行调整;
- 设备温度不超过允许值且无过热点出现;
- 阀冷却系统的稳态和暂态性能正确;
- 在初始阶段,较低直流电流水平下验证辅助供电系统的投切顺序正确;
- 冗余设备运行的正确性,可通过对其单元或功能的故障进行模拟。

背靠背运行过程中,即使整流器触发角接近额定值,角度也会随着不同的直流电流水平而变化,从而改变整流器和逆变器中谐波之间的相序。在某些运行点中,一些谐波彼此反相,导致滤波器电流变得很小。在投入交流滤波器组的过程中应对此进行记录。

## 5.8.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 换流器运行正常;
- b) 设备温度在要求的范围内,不存在热点;
- c) 初步评估晶闸管阀冷却能力、换流变压器、电抗器、建筑和阀厅未出现异常情况;
- d) 保护没有误动。

## 5.9 短路(零功率)试验

### 5.9.1 概述

如果业主要求,短路(零功率)试验可在单极直流系统上进行,或者由于试验计划或其他限制而不允许双极换流站的各换流器进行背靠背试验时也可进行短路试验。

### 5.9.2 试验目的

在输电试验前对控制系统进行最基本的检查。

### 5.9.3 试验前条件

短路(零功率)试验的试验前条件与背靠背试验相同,见 5.8 所述。形成短路时,直流平波电抗器应和换流器单元串联。

试验过程中直流回路应短路, $\alpha$  大约为  $90^\circ(U_d=0)$ 。延迟角较大时将导致阀阻尼回路和阀避雷器的损耗极大地超过正常运行时。作为预防措施,应限制试验持续时间,试验之间应有足够的冷却时间。

安全的方式是在试验过程中禁止控制和保护系统出现这种情况。

### 5.9.4 试验程序

试验应在换流变压器分接头处于最高位置(阀侧电压最低)时进行。试验检验以下情形:

- 解锁和闭锁;
- 电流控制稳定性。

### 5.9.5 试验接收判据

电流控制系统稳定。

## 6 传输试验

### 6.1 低功率传输试验

#### 6.1.1 概述

##### 6.1.1.1 试验特征

低功率传输试验是当换流器端子首次连接到 HVDC 输电回路时应进行的基本检验。

由于需要输送功率,试验计划应限制对 HVDC 系统设备和连接的交流系统的局部影响。

在所有适用的 HVDC 系统运行方式中应进行基本的运行试验。一般的试验程序见图 5 中的流程图。

在任何功率水平下,试验前应进行不带电的一些特殊检验,应包括在换流站试验(如第 5 章所述)中。特别在最小功率水平传输时,试验前应进行不同直流系统接线方式之间的转换以及保护跳闸顺序的检验。

##### 6.1.1.2 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 完成非现场试验;
- b) 完成各站换流器单元试验;
- c) 完成背靠背试验或短路试验,适用时;
- d) 完成 HVDC 输电回路开路试验,如果适用;
- e) 检查并清洁接地极和接地极线;
- f) 站间通信系统和电话系统投入运行;
- g) 建立所有的试验程序、安全规程、调度协调和试验责任;
- h) 检查火灾保护和探测系统并投入运行;
- i) 检查所有的控制保护、测量、事件和故障顺序记录系统并投入运行。

6.1.1.3 试验目的

验证较低功率水平下 HVDC 基本控制和保护功能的正确配合和站间联锁。试验应在不同的交流和直流系统结构和可能的故障状况下进行。改变直流系统接线方式(见 6.3 所述)或运行状态(见 6.2 所述)应首先在没有高压下(干态试验或去电压试验)试验。

试验完成所有的控制模式、控制级和控制位置试验,不需要进行不必要的重复试验。

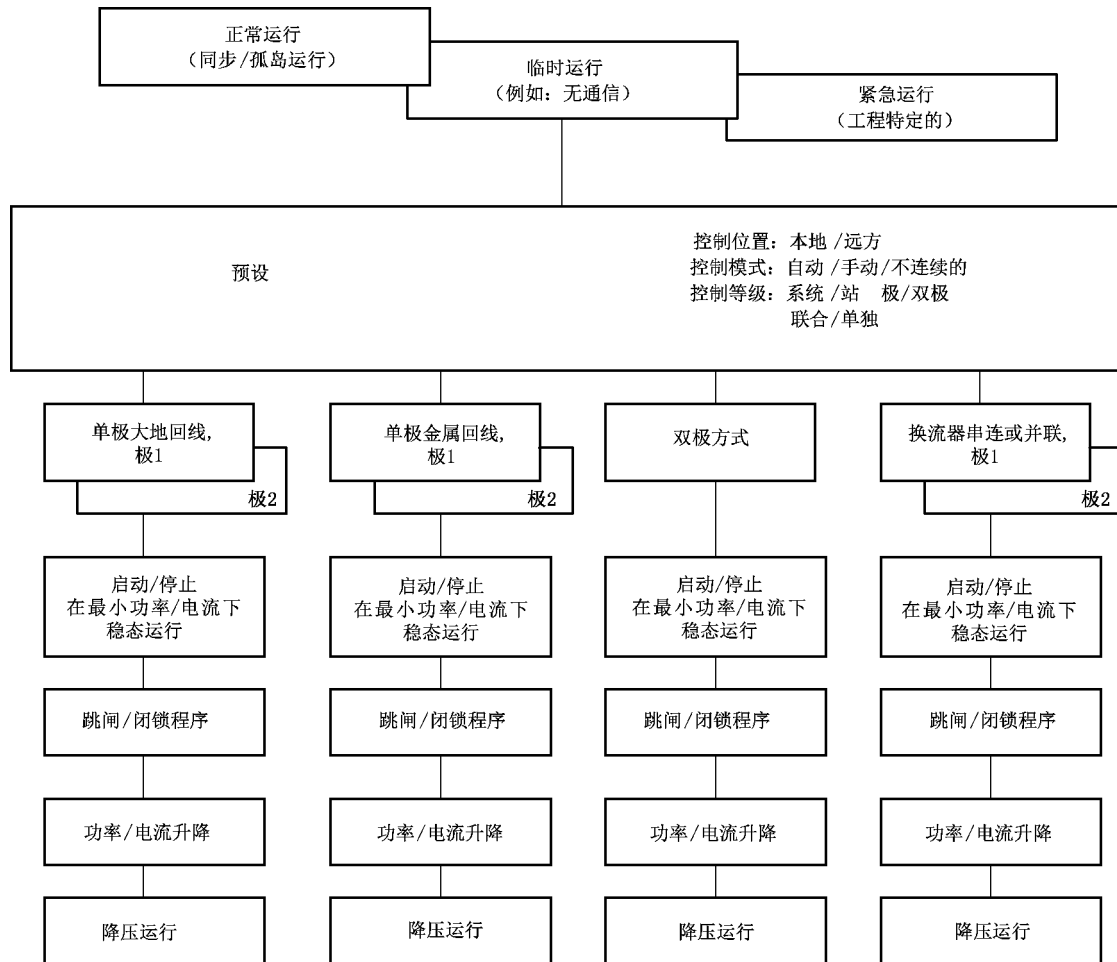


图 5 低功率传输试验程序

6.1.2 最小功率下启动和停止时序以及稳态运行

6.1.2.1 概述

当首次进行启动和停止时序时,整流端和逆变端的晶闸管阀解锁,HVDC 输电回路中出现电流。

HVDC 系统的换流器启动和停止时序可根据设计原理与系统要求不同而不同。换流器从停运状态到解锁的常用时序见第 3 章。

6.1.2.2 试验目的

试验目的如下:

- a) 如果适用,解锁 HVDC 输电系统各个换流器,在两种功率方向下首次输送最小功率;
- b) 检验状态改变时每极的控制动作,在正确的指令下执行启动和停止时序;

- c) 检验所有适用的 HVDC 系统结构中平滑且可靠地建立和停运最小功率；
- d) 检验最低功率下稳态运行时系统测量是否正确。

#### 6.1.2.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 不带电情况下进行直流系统接线方式试验；
- b) 完成启动和停止时序试验；
- c) 完成每站的换流器试验；
- d) 交流和直流滤波器就绪；
- e) 检验阀冷却设备并投入运行；
- f) 未出现报警情况；
- g) 晶闸管监控显示未超出晶闸管冗余；
- h) 不带电情况下进行保护闭锁和跳闸时序试验。重置所有的保护闭锁；
- i) 运行人员指令和试验程序就位；
- j) 连接的交流系统在不影响其稳定运行情况下应有输出和吸收功率的能力。

#### 6.1.2.4 试验程序

试验程序如下：

- a) 启动和停止试验前，在不带电情况下建立一个直流和交流系统接线方式；
- b) 当 HVDC 系统结构建立后，可从“停运”或“备用”运行状态开始试验，在不带电情况下改变运行状态。通过改变运行状态到“闭锁”，才可将电压施加到每端的换流器上；
- c) 每端运行人员之间建立语音通信，确保通信畅通；
- d) 最小功率下通过先解锁逆变器然后解锁整流器建立运行状态；
- e) 在最小功率下保持一段时间；
- f) 闭锁整流器和逆变器；
- g) 在自动联合模式下最小功率时建立运行状态；
- h) 最小功率至少保持 1 h，测量直流电流、电压等；
- i) 为了检验对 HVDC 输电或交流网没有影响，冗余控制和其他元器件应退出运行；
- j) 试验期间，检查并验证设备中没有增加热点，特别是换流阀、换流变压器、平波电抗器、穿墙套管和所有的主回路连接；
- k) 试验期间，检验阀冷却系统维持阀温度在指定的限值内；
- l) 对于所有适用的系统结构以及在同步和孤岛模式运行时，重复进行启动和停止试验；
- m) 如果适用，应进行功率反送试验。

#### 6.1.2.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) 在各个适用的 HVDC 系统结构中，最小功率下应能安全可靠地完成启动和停止；
- b) 所有的控制应在正确的指令下和规定的时间内动作，并且站间联锁功能正常；
- c) 没有误动发生；
- d) 没有超出设备额定值；
- e) 对交流和直流系统无干扰；
- f) 阀冷却系统保持阀温度在规定的限值内；
- g) 冗余元件之间的投切不影响 HVDC 输电；



- h) 交流和直流系统主要运行参数在设计限值内,包括直流侧功率、电压和电流以及交流侧各系统的无功功率和电压。

### 6.1.3 保护闭锁和跳闸时序

#### 6.1.3.1 概述

根据故障的类型,保护闭锁和跳闸时序将引起如下联合动作:

- a) 逆变器触发角的瞬时超前(通信故障);
- b) 切换到冗余控制(如果适用);
- c) 延迟整流器和/或逆变器的触发角;
- d) 换流阀闭锁(带或不带旁通对触发);
- e) 交流断路器跳闸[换流变压器和交流滤波器(可能)];
- f) 通过断开直流开关隔离极;
- g) 远端站闭锁;
- h) 保护控制程序,如甩负荷的结果。

#### 6.1.3.2 试验目的

试验目的如下:

- a) 当清除故障或维修设备时,检验闭锁和保护性跳闸时序能正常且有选择地动作;
- b) 检验直流保护动作能正常配合交流断路器动作和其他保护动作;
- c) 检验控制动作能重新建立预期的系统传输。

#### 6.1.3.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 非现场试验中,应验证保护系统和控制系统之间的配合;
- b) 在分系统和换流站试验中检查交流和直流保护系统;
- c) 所有控制和保护系统包括冗余投入运行;
- d) 所有监测和报警系统投入运行;
- e) 运行人员应获悉每个保护和预期保护动作;
- f) 通信系统投入运行;
- g) 连接的交流系统应有输送和吸收功率的能力,且不影响其稳定运行;
- h) 完成交流和直流设备所有充电试验。

#### 6.1.3.4 试验程序

为检验保护闭锁或跳闸时序功能的正确性,应进行故障模拟。

在不带电情况下开始保护时序试验。

不带电试验成功完成后,在所有系统结构中,最小输送功率下,通信系统投入或退出运行时模拟跳闸。

对每个模拟故障,试验人员应检查下述情况:

- 断路器跳闸是否正确;
- 相应的报警;
- 事件记录仪信号的顺序;
- 每端的停运安全(如果必要)。

对每个模拟故障,应记录下述信号:

- a) 每相交流电压和电流;
- b) 两极的直流电压;
- c) 每相阀绕组的交流电流;
- d) 每极和每个直流中性连接点的直流电流;
- e) 滤波器组中的交流电流;
- f) 主程序信号;
- g) 保护信号;
- h) 触发角和熄弧角指令和测量;
- i) 电流指令。

#### 6.1.3.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 对每个模拟的故障,相应的保护闭锁和跳闸时序按预期或设计动作;
- b) 故障后停运造成的后果应限制到最小并尽可能为零,并与健全的 HVDC 系统完全隔离;
- c) 发出的报警应正确,事件记录仪和暂态故障记录仪程序应正确显示发生的顺序;
- d) 有或无通信情况下,安全隔离极和/或换流器;
- e) 对 HVDC 系统和连接的交流系统的影响应在规定的性能判据内。

#### 6.1.4 功率和电流升降

##### 6.1.4.1 概述

在功率和电流控制中,试验应能证明 HVDC 系统功率可平滑地从最小功率上升到约 0.3p.u.,然后下降。试验时通信应投入运行。但是,如果适用,在通信退出情况下也应能验证升降性能。

##### 6.1.4.2 试验目的

试验目的如下:

- a) 检验各单极和双极运行时,不同速率下的平滑升降(如果适用);
- b) 检验通信系统投入或退出时,运行模式之间的平稳转换;
- c) 检验功率和电流控制之间的平稳转换。

##### 6.1.4.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 完成 HVDC 系统充电且在最小额定电流下运行;
- b) 完成保护闭锁和跳闸程序的检验;
- c) 连接的交流系统应有输出和吸收功率的能力,且不影响其稳定运行。

##### 6.1.4.4 试验程序

对于每极,升降试验应在单极金属回线和大地回线方式下完成,如果适用试验也应在双极运行模式时进行。

如果可能,升降试验应在通信退出下进行,如下所述:

- a) 建立语音通信,换流器由每端的运行人员分别解锁,在最小额定值下 HVDC 系统电流达到稳态值;

- b) 电流保持在最小额定值,持续一小段时间后,电流应上升到下一个预设水平,再次达到稳态值。重复此试验程序直到电流达到 0.3 p.u.;
- c) 试验中,检查阀冷却系统和所有电流支路,特别是阀厅内设备:换流变压器、平波电抗器和穿墙套管;
- d) 下降到最小电流,重新投入通信;
- e) 在自动控制和联合控制模式下重复上述试验;
- f) 转换到定功率控制,重复试验。

#### 6.1.4.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 对所有适用的直流系统接线方式,HVDC 系统电流和功率应能平滑升降;
- b) 整个试验过程中,交流和直流电流和电压应稳定并保持在规定的限值内。触发角和换流变压器分接头应运行正确且保持在规定的限值内;
- c) 交流和直流场或阀厅内设备没有产生热点;
- d) 阀冷却系统保持阀温度在规定的限值内;
- e) 电流和功率控制之间能平滑转换,反之亦然;
- f) 如果适用,应检验控制系统给出合理的指令投切必要的无功元件以保持交流电压和无功交换在规定的限值内。

#### 6.1.5 分接头控制试验

##### 6.1.5.1 概述

试验应能证明换流变压器分接头在手动和自动控制模式下可上下改变。

##### 6.1.5.2 试验目的

试验目的如下:

- a) 检验换流变压器分接头在手动和自动控制模式下能上下改变;
- b) 检验换流变压器分接头在不同相位和不同单元(如果适用)之间能同步改变。

##### 6.1.5.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 完成 HVDC 系统充电且在最小额定电流下运行;
- b) 已检验保护闭锁和跳闸程序;
- c) 连接的交流系统应有发送和接收输送功率的能力,且不影响其稳定运行。

##### 6.1.5.4 试验程序

对每极,分接头控制试验应在单极金属回线或大地回线接线方式下进行。程序如下:

- a) 建立语音通信,换流器由每端的运行人员分别解锁,在最小额定值下 HVDC 系统电流达到稳态值;
- b) 在最小额定值下保持一小段时间后,电流应上升到下一个预设水平,再次达到稳态值。重复此试验程序直到电流达到 0.3 p.u.;
- c) 试验中,检查阀冷却系统和所有电流支路,特别是阀厅内设备:换流变压器、平波电抗器和穿墙套管;

- d) 下降到最小电流；
- e) 在自动控制和联合控制模式下重复上述试验；
- f) 转换到功率控制,重复试验；
- g) 对所有适用的直流系统接线方式,HVDC 系统电流和功率应能平滑升降；
- h) 整个试验过程中,交流和直流电流和电压应稳定并保持在规定限值内。触发角和换流变压器分接头应运行正确且保持在规定限值内；
- i) 交流和直流场或阀厅内设备没有产生热点；
- j) 阀冷却系统保持阀温度在指定的限值内；
- k) 电流和功率控制之间能平滑转换,反之亦然。

#### 6.1.5.5 试验接收判据

分接头能按预期/设计工作。

### 6.2 运行人员控制模式转换

#### 6.2.1 概述

##### 6.2.1.1 一般特征

###### 6.2.1.1.1 试验安排

运行人员控制模式转换试验的安排,应结合不同直流接线方式及不同运行状态下的其他基本运行试验。

###### 6.2.1.1.2 HVDC 系统条件

HVDC 系统运行条件可为：

- a) 正常运行,包括同步和孤岛运行(如果适用)；
- b) 临时运行,出现于发生单一故障但 HVDC 系统能在规定的限值内继续运行,如通信丢失；
- c) 紧急运行(各工程指定),在调试中一般不需要在实际运行的系统中试验,但应在非现场试验中进行。

###### 6.2.1.1.3 控制地点

运行人员控制动作可从不同的地点启动。典型方式为：

- a) 本地控制:从任一端换流器的本地控制室启动控制功能；
- b) 远方控制:从远离换流器端的控制中心启动控制功能。

###### 6.2.1.1.4 控制模式

运行人员可通过下述任一控制模式改变运行状态：

###### a) 自动控制

在自动控制中,运行人员可改变运行状态、换流站结构或功率(电流)参考值。由相应的控制执行正确指令,并通过监测验证控制成功完成。

###### b) 手动控制

在手动控制中,可不连续地控制换流器端从一个运行状态转向另一个。与自动控制模式相比,运行人员在控制程序中可增加中间步骤和干预控制顺序。任何控制程序的完成应通过监测进行检验。

### 6.2.1.1.5 控制级

HVDC 可在四种不同层次控制级下控制：

- a) 系统控制级(联合控制适用)  
系统控制级中,完整的 HVDC 系统可联合远方或本地控制,因此通信应投入运行。
- b) 双极控制级(联合或单独控制适用)  
HVDC 双极控制级中,HVDC 双极是联合控制,功率在两极之间分布。当通信不可用时,功率可由各站控制。当通信可用时,换流站可从本地进行联合控制。
- c) 极控制级(联合或单独控制适用)  
极控制级中,当通信不可用时,每极可单独控制。当通信可用时,两站中的极可从本地进行联合控制。
- d) 换流器控制级  
换流器控制级中,每个换流器可单独控制。

### 6.2.1.2 试验前条件

在基本运行试验前,应完成下面的试验和操作：

- a) 完成非现场试验；
- b) 完成每个站的换流器试验；
- c) 如果可能,当适用时,应完成背靠背试验或短路(零功率)试验；
- d) 完成 HVDC 输电回路开路试验；
- e) 检查并清洁接地极和接地极线；
- f) 通信系统和电话系统应投入运行；
- g) 建立所有试验程序、安全规程、调度协调和试验责任；
- h) 检查火灾保护和探测系统并投入运行；
- i) 检查所有的控制保护、测量、事件顺序和故障记录系统并投入运行。

### 6.2.1.3 试验目的

运行人员控制模式转换检验不同功率水平下 HVDC 基本控制和保护功能的正确配合和站间联锁。试验应在不同的交流和直流系统接线方式下和适用的故障状态下进行。

试验完成所有的控制模式、控制级和控制地点试验,不需要进行不必要的重复试验。

## 6.2.2 控制地点切换

### 6.2.2.1 概述

直流系统正常的运行控制可通过远方或本地站控制中心完成,试验应验证控制地点是可切换的。同时,试验还应验证控制设备具有后备控制功能,以防运行人员控制故障导致 HVDC 输电系统控制丢失。

如果适用,两端换流站间控制地点的切换功能应在直流低功率输送时进行试验,并在高功率输送时进行再次检查。试验应与其他试验结合进行。

完成换流站所有控制功能试验后,进行远方控制中心的控制功能试验。

### 6.2.2.2 试验目的

试验目的如下：

- a) 检验在不同控制地点时的控制功能；
- b) 检验控制地点切换的性能。

### 6.2.2.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 在非现场完成控制地点切换试验；
- b) 完成基本的运行试验；
- c) 通信系统投入运行。

### 6.2.2.4 试验程序

试验程序如下：

- a) 换流站之间控制地点切换,并检验控制功能。试验应在较低功率水平下进行并能与其他试验项目结合；
- b) 控制设备的控制地点切换,并检验其功能；
- c) 远方控制中心的控制地点切换,并检验其功能。

### 6.2.2.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) 控制地点应能平滑且正确地切换；
- b) 不同地点的控制功能应正确；
- c) 不同地点之间的切换对直流系统和连接的交流系统不产生干扰。

## 6.2.3 控制功能转换

### 6.2.3.1 概述

当进行 HVDC 输电时,应根据不同的设备状况选择不同的直流功率控制模式,包括极电流控制、极功率控制和双极功率控制。另外,应安排试验检验站间通信故障对直流功率控制模式转换的影响。

应在低功率水平下进行直流功率控制模式的转换试验,包括极电流控制、极功率控制和双极功率控制,并在高功率水平下再次检查,如果适用。

### 6.2.3.2 试验目的

检验直流功率控制模式的功能和性能,包括极电流控制、极功率控制和双极功率控制。

### 6.2.3.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 在非现场完成功率控制模式转换；
- b) 完成了基本的运行试验；
- c) 通信系统投入运行。

### 6.2.3.4 试验程序

试验程序如下：

- a) 在 HVDC 输电处于停运状态并且站间通信投入运行情况下,在主站控制中心运行人员连续转换直流功率控制模式,从极电流控制到极功率控制,然后到双极功率控制,反之亦然；
- b) 站间通信退出运行时,各站单独重复项 a) 试验；
- c) 在最小电流下开始 HVDC 输电,重复试验 a) 和 b)；
- d) 在较高功率水平下,再次重复试验 a) 和 b),如果适用。

### 6.2.3.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) 直流功率控制模式应能平滑且正确地转换；
- b) 不同功率控制模式的功能应正确；
- c) 不同功率控制模式之间的转换对直流系统和连接的交流系统不产生干扰。

### 6.2.4 无功功率控制模式转换

#### 6.2.4.1 概述

存在两种无功功率控制模式：

##### a) 交流电压控制模式

在交流电压控制模式下，无功补偿元件投切过程中，换流器交流母线电压保持在规定的限值内。

##### b) 无功功率控制模式

在无功功率控制模式下，通过投切无功功率补偿元件，使换流站和交流系统之间无功功率交换保持在规定的限值内。

无功功率控制模式转换试验应从低功率水平开始，在不同功率水平下各个站单独完成。而且，试验过程中，试验过程不能受到绝对最小和最小交流滤波器控制功能限制。

#### 6.2.4.2 试验目的

检验无功功率控制模式的功能和它们之间转换的性能。

#### 6.2.4.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 在非现场进行无功功率控制模式转换；
- b) 完成了基本运行试验；
- c) 在非现场完成无功功率控制模式的整定和参数校验；
- d) 完成控制地点转换试验；
- e) 完成极电流控制、极功率控制和双极功率控制模式转换试验；
- f) 通信系统投入运行。

#### 6.2.4.4 试验程序

试验程序如下：

- a) 设置无功功率处于手动控制模式，直流功率为功率控制模式；
- b) 启动 HVDC 输电至最小功率下；
- c) 根据需要交换的无功功率和自动控制模式设置无功功率整定值；
- d) 提升运行功率，检验无功补偿元件随功率增加的投切情况，反之亦然；
- e) 在无功功率控制模式下，改变无功功率整定值，检验无功补偿元件随功率增加的投切情况，反之亦然；
- f) 根据换流器交流母线电压改变交流电压控制模式的电压整定值，然后转到交流电压控制模式；
- g) 在交流电压控制模式下改变交流电压整定值，检验无功补偿元件随整定值的改变的投切情况，反之亦然；

- h) 转换到无功功率手动控制模式,通过手动投切检验无功补偿元件;
- i) 在较高的输送功率水平下重复试验;
- j) 在直流功率的电流控制模式下重复试验。

#### 6.2.4.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 无功功率控制模式应能平滑且正确地转换;
- b) 不同无功功率控制模式下的功能应正确;
- c) 不同无功功率控制模式之间的转换对直流系统和连接的交流系统不产生干扰。

#### 6.2.5 额定至降压转换运行

##### 6.2.5.1 概述

在恶劣的天气或严重污染状况下,当功率传输水平降低或需要减小架空直流线路闪络的可能性时,需要手动或自动降低直流电压以减小电缆或线路的应力。

##### 6.2.5.2 试验目的

检验额定电压和降压运行模式下的功能和它们之间转换的性能。

##### 6.2.5.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 在非现场完成降压运行试验;
- b) 完成基本运行试验;
- c) 通信投入运行。

##### 6.2.5.4 试验程序

应在所有的交流和直流系统接线方式下进行降压运行试验。试验程序如下:

- a) 在额定电压、最小电流下开始 HVDC 输电;
- b) 转换到降压运行模式,保持稳态 1 h;
- c) 转回到额定电压运行;
- d) 通过手动和自动方式(例如直流线路故障后)转换到降压运行模式;
- e) 在大电流水平下重复试验;
- f) 在功率控制模式下重复试验。

##### 6.2.5.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 降压运行稳定;
- b) 从正常运行转换到降压运行和从降压运行转换到正常运行的转换过程应平稳且正确;
- c) 从正常运行转换到降压运行和从降压运行转换到正常运行的转换过程对连接的交流网络不产生干扰;
- d) 对于所有的电流等级,控制系统功能应正确;
- e) 对于所有电流等级,阀冷却系统的性能应满足要求。



## 6.2.6 直流功率自动控制

### 6.2.6.1 概述

直流功率负荷曲线控制应根据特定时期(日、周或月)设定直流功率供电计划。在直流功率自动控制模式下,直流功率随着预设负荷曲线控制改变,并进行监测。

应在双极的极功率控制模式以及不同交直流系统接线方式下对直流功率自动控制功能进行试验。

### 6.2.6.2 试验目的

检验直流功率自动控制功能和性能。

### 6.2.6.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 在非现场完成直流功率自动控制试验;
- b) 完成基本运行试验;
- c) 完成极电流控制、极功率控制和双极功率控制模式转换试验;
- d) 通信投入运行。

### 6.2.6.4 试验程序

试验程序如下:

- a) 设置各极处于双极功率控制和功率手动控制模式;
- b) 在最小功率下开始 HVDC 输电;
- c) 启动直流功率自动控制功能,根据预设的曲线(至少 3 个变化点)观测直流功率传输情况;
- d) 一极处于双极功率控制,其他极处于功率控制模式重复试验;
- e) 在其他的交流和直流接线方式下重复试验。

### 6.2.6.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 自动和手动直流功率控制模式应能平滑且正确地转换;
- b) 直流功率应根据预设自动曲线变化,并且运行稳定。

## 6.3 直流接线方式转换

### 6.3.1 概述

#### 6.3.1.1 一般特征

大多数长距离 HVDC 输电方案可在几种直流接线方式下运行,如单极大地回线、单极金属回线、双极正常运行和并联运行。每种接线方式中可包含一组或多组直流滤波器。

如果每极中换流器单元串联连接,应证明其投切功能正确。如果适用,应检验 HVDC 系统的极性反转功能。应在通信投入运行或退出情况下完成两端的运行试验。

背靠背站不需要改变直流接线方式。

6.3.1~6.3.3 试验目的、试验前条件和程序是类似的。

关于投切的种类和功能,参见 IEC/TR 60919-2:2008 中 4.5。

### 6.3.1.2 试验目的

检验换流器各端之间投切配合,以便重新配置直流母线,从而防止在能导致直流设备上产生严重应力的情况下进行投切。

### 6.3.1.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 在系统不带电时检查所有的程序;
- b) 完成所有的交流和直流设备充电试验;
- c) 完成基本运行试验。

### 6.3.1.4 试验程序

试验程序应根据工程主回路的接线方式进行,下面内容给出了一个标准方案的例子:

- a) 所有试验过程中,记录交流和直流电压和电流。进行异常声音和电弧的户外观察;
- b) 检验各种投切程序的时间程序。逐步完成所有投切程序,应自动进行,如果适用。如果两端都包含通信应投入运行;
- c) 适用时,应在低于正常功率和最低功率下进行附加的试验。

### 6.3.1.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 直流接线方式的任何改变不使 HVDC 输电的持久中断;
- b) 电流和电压应和相应模拟试验结果一致,且符合规定。

## 6.3.2 从单极金属回线运行模式转换试验

### 6.3.2.1 转换类型

从这种接线方式可进行如下转换:

- a) 转换到单极大地回线;
- b) 转换到双极接线方式;
- c) 并联另一极和解除并联。

### 6.3.2.2 转换程序

#### 6.3.2.2.1 单极大地回线

转换程序如下:

- a) 在额定功率下运行;
- b) 闭合金属回线转换开关(MRTB);
- c) 打开大地回线转换开关(ERTB)。

#### 6.3.2.2.2 双极运行

转换程序如下:

- a) 在额定功率下运行;
- b) 闭合 MRTB;
- c) 打开 ERTB;
- d) 检验两极的电流平衡。

### 6.3.2.2.3 并联和解除并联

转换程序如下：

- a) 一极在额定功率下运行；
- b) 闭合停运极的并联隔离开关；
- c) 解锁停运极；
- d) 检验两极的电流平衡。

### 6.3.3 从单极大地回线运行模式转换试验

#### 6.3.3.1 转换类型

对于一些工程,不推荐长时间运行于单极大地回线模式。

从这种接线方式可进行下述转换：

- a) 转换到单极金属回线；
- b) 转换到双极运行。

#### 6.3.3.2 转换程序

##### 6.3.3.2.1 转换到单极金属回线

转换程序如下：

- a) 在额定功率下运行；
- b) 闭合 ERTB；
- c) 打开 MRTB。

##### 6.3.3.2.2 转换到双极运行

转换程序如下：

- a) 在额定功率下运行；
- b) 闭合停运极的极线隔离开关；
- c) 解锁停运极；
- d) 检验两极的电流平衡。

### 6.3.4 从双极运行模式转换试验

#### 6.3.4.1 转换类型

从这种特殊的接线方式可进行如下转换：

- a) 转换到单极大地回线；
- b) 转换到单极金属回线。

#### 6.3.4.2 转换程序

##### 6.3.4.2.1 转换到单极大地回线

转换程序如下：

- a) 运行直到指定的最大单极功率；
- b) 一极降低电流到最小值,但保持双极功率常数；
- c) 在最小功率下闭锁极；
- d) 打开闭锁极的极线隔离开关。

#### 6.3.4.2.2 转换到单极金属回线

转换程序如下：

- a) 运行直到指定的最大单极功率；
- b) 一极降低电流到最小值,但保持双极功率常数；
- c) 在最小功率下闭锁极；
- d) 打开闭锁极的极线隔离开关；
- e) 闭合 ERTB；
- f) 打开 MRTB。

### 6.4 主回路设备投切

#### 6.4.1 概述

##### 6.4.1.1 概要

主回路设备投切试验检验投切过程中和投切后交流系统和 HVDC 系统的暂态特性。预备试验已检验直流设备功能的正确性,包括换流站试验和基本运行试验。本试验只适用于两端系统和背靠背 HVDC 系统。

关于开关的名称和功能,参见 IEC/TR 60919-2:2008。

一次设备投切试验包括检验受试 HVDC 系统和其他在线设备如静止无功补偿器、其他 HVDC 系统等之间的相互作用和协调的试验。

##### 6.4.1.2 试验前条件

试验前条件包括：

- a) 完成非现场试验包括交流/直流模拟试验；
- b) 完成单个端子试验包括换流器单元试验和换流站试验；
- c) 完成检验程序和站间协调的基本运行试验；
- d) 完成稳态运行试验,包括稳态性能检验和干扰影响；
- e) 准备详细的试验程序和计划。由于试验可能包括一些干扰或增加连接的交流系统的风险,应和相关系统的运行人员商议；
- f) 连接的交流系统应在其规定的限值内,并且能对 HVDC 系统发出特定试验需要的有功和无功。重要的参数包括：
  - 1) 交流电压和频率；
  - 2) 短路容量；
  - 3) 交流系统接线方式。

##### 6.4.1.3 试验目的

一次设备投切试验检验交流侧设备和直流滤波器投切的影响。

#### 6.4.2 换流变压器投切

##### 6.4.2.1 概述

另一极的换流变压器投切可对交流系统产生干扰。这些干扰是由电流、元件饱和以及谐振引起的。

#### 6.4.2.2 试验目的

试验目的如下：

- a) 检验投切不会对直流系统运行有任何不利影响；
- b) 检验交流系统电压畸变在规定的限值内；
- c) 检验换相失败正常恢复，如果适用；
- d) 检验投切过程中 HVDC 控制系统没有失稳；
- e) 检验 HVDC 控制系统阻尼这种扰动的性能。

#### 6.4.2.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 完成所有的控制性能试验；
- b) 换相失败保护可用；
- c) 用于极试验的所有交流和直流设备可用。

#### 6.4.2.4 试验程序

试验应随着 HVDC 系统结构而变，例如：

- 双极或单极系统；
- 换流器单元串联或每极一组换流器（长距离输电）；
- 背靠背系统。

不管是背靠背还是长距离，如果直流系统是双极且每极一组换流器，通过一极投入和切除换流变压器而另一极处于运行状态完成试验。除非现场或靠近直流端的地方有一组变压器在一定的时间段后可被投切，否则试验只能在单极运行方式下完成。

如果直流系统是双极且每极不止一个阀组串联（长距离输电），当系统处于双极运行时，通过投入和切除一个换流变压器完成试验，并提供每极中各组的工厂设计允许的不平衡数。

试验应在整流站和逆变站进行。

监测参数包括：

- 直流电流；
- 直流电压；
- 直流功率；
- 三相交流系统电压；
- 交流滤波器电流；
- 变压器一次电流；
- 熄弧角。

#### 6.4.2.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) 所有投切试验中，HVDC 系统应能恢复到稳定运行；
- b) 试验过程中可能发生换相失败，但应保持在规定的限值内；
- c) 可能产生交流系统过电压，但应保持在规定的限值内。

### 6.4.3 交流滤波器和无功补偿投切

#### 6.4.3.1 概述

无功补偿设备的投切能对交流系统产生干扰，这些干扰是由电流、元件饱和以及谐振引起的。

#### 6.4.3.2 试验目的

试验目的如下：

- a) 检验投切不会对直流系统的运行产生任何不利影响；
- b) 检验交流系统电压畸变在规定的限值内；
- c) 检验换相失败的正常恢复,如果适用；
- d) 检验投切过程中 HVDC 控制系统没有失稳；
- e) 检验 HVDC 控制系统阻尼这种扰动的性能。

#### 6.4.3.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 完成所有控制性能试验；
- b) 换相失败保护应已投入运行；
- c) 被试极的所有交流和直流设备应可用。

#### 6.4.3.4 试验程序

通常在单极运行时对每个交流滤波器组进行投切试验。一些冗余交流滤波器可用的系统中,可在双极运行模式下进行试验。

试验应在整流站和逆变站进行。

监测参数包括：

- 直流电流；
- 直流电压；
- 直流功率；
- 三相交流系统电压；
- 交流滤波器电流；
- 变压器一次绕组电流；
- 熄弧角。

#### 6.4.3.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) 所有投切试验中,HVDC 系统可恢复到稳定运行；
- b) 试验过程中可能发生换相失败,但应保持在规定限值内；
- c) 可能产生交流系统过电压,但应保持在规定限值内。

### 6.4.4 直流滤波器投切(如果适用)

#### 6.4.4.1 概述

不同的直流接线方式包含一个或多个直流滤波器,如:单极大地回线、单极金属回线、双极正常运行和并联运行。

#### 6.4.4.2 试验目的

试验目的如下：

- a) 检验直流滤波器投切功能；
- b) 检验直流滤波器投切性能。

#### 6.4.4.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 在系统不带电时检查所有直流滤波器投切程序；
- b) 完成交流和直流设备的所有充电试验；
- c) 完成基本运行试验。

#### 6.4.4.4 试验程序

试验程序如下：

- a) 所有试验过程中，记录交流和直流电压和电流。进行异常声音和弧光的户外观察。
- b) 检验各种投切程序的时序。逐步完成所有投切程序，如果适用应自动进行。
- c) 单极金属回线运行中直流滤波器的连接和切除（如果允许）按如下进行：
  - 1) 如果有可能且可能时，记录直流滤波器谐波电流；
  - 2) 在额定功率下运行，切除一组直流滤波器；
  - 3) 再次连接该组直流滤波器；
  - 4) 对所有的直流滤波器重复上述程序。
- d) 双极运行中直流滤波器的连接和切除（如果允许）按如下进行：
  - 1) 如果有可能且可能时，记录直流滤波器谐波电流；
  - 2) 在额定功率下运行，切除一组直流滤波器；
  - 3) 再次连接该组直流滤波器；
  - 4) 对所有的直流滤波器重复上述程序。

#### 6.4.4.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) 任何直流滤波器投切时不应长时间中断 HVDC 输电；
- b) 电压和电流应符合相应的模拟试验结果，且和规范要求一致；
- c) 其余滤波器不超过其额定值；
- d) 隔离开关上没有出现烧痕；
- e) 未出现有害的暂态影响。

### 6.5 动态性能试验

#### 6.5.1 概述

##### 6.5.1.1 试验特征

HVDC 系统中包含各种不同的控制模式。控制系统的动态性能研究应通过下述试验验证：

- a) 阶跃响应；
- b) 控制模式转换；
- c) 换相失败；
- d) 交流系统相互作用/控制。

动态性能试验应通过详细的模拟研究完成，现场试验仅对一些特殊的情况进行检测。业主须明确指出此试验是否需要在现场进行。

##### 6.5.1.2 试验目的

试验目的如下：

- a) 验证参考值改变后每个控制回路的响应；
- b) 验证由于扰动引起的相应控制回路的实际测量值(直流电流、直流电压等)变化时的控制性能；
- c) 验证控制器之间无互相干扰,或未对交流和/或直流系统产生干扰；
- d) 验证控制器对交流系统干扰的不灵敏性。

#### 6.5.1.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 完成控制系统的非现场试验；
- b) 完成换流器单元试验；
- c) 检查启动/停止程序；
- d) 检查保护程序；
- e) 通信投入运行；
- f) 极中功率输送用所有直流系统设备应可用；
- g) 交流系统有效短路比应尽可能为最小。

#### 6.5.1.4 一般试验程序

所有控制性能优化和验证试验应采用相近的记录和监测变量,下面列出了通常监测变量。非现场试验过程中完成的控制性能试验可用作现场试验的参考,如非现场试验中采用的同样的记录设备、监测信号和试验报告表。

监测变量包括：

- a) 电流指令(电流调节器输入)；
- b) 实际直流电流(电流调节器)；
- c) 电流调节器的输出；
- d) 直流电压；
- e) 熄弧角调节器中的熄弧角；
- f) 触发控制的最终控制电压( $\alpha$  指令)；
- g) 有功控制器的识别；
- h) 交流母线电压(三相)；
- i) 直流功率；
- j) 强制延时指令；
- k) 稳态(阻尼)控制信号(任一)。

#### 6.5.2 阶跃响应

##### 6.5.2.1 概述

试验取决于 HVDC 系统不同的控制模式。通常控制模式是：

- 定电流控制；
- 定最小熄弧角控制；
- 定直流电压控制；
- 电流误差控制；
- 定功率控制。

其中一些控制模式只对作为整流器或逆变器运行时有效。

基于 HVDC 系统控制变化较大,很难设计某项试验包含所有可能的控制情况。因此试验描述对大部分控制回路适用。

在整流器处于定电流控制且逆变器处于定最小熄弧角控制情况下,应优化的控制器是：



- a) 整流器电流调节器；
- b) 逆变器熄弧角调节器；
- c) 逆变器电流调节器(裕度电流控制)；
- d) 整流器熄弧角调节器；
- e) 定功率调节器；
- f) 电压取决电流指令限制器(VDCOL)。

### 6.5.2.2 试验目的

验证控制器的性能和响应。

### 6.5.2.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 完成非现场控制系统试验；
- b) 完成换流器单元试验；
- c) 完成启动/停止程序试验；
- d) 完成保护程序试验；
- e) 通信系统投入运行。

### 6.5.2.4 试验程序

#### 6.5.2.4.1 概述

从换流器级到换流站级和直流系统级所有的控制器应完成阶跃试验。

#### 6.5.2.4.2 整流器电流调节器

有几种方法可用于验证整流器电流调节器。典型的一种方式是施加电流阶跃变化指令(见图6)，如下所述：

- a) 施加的阶跃持续时间( $T$ )要足够长以允许系统随着电流指令变化达到稳定；
- b) 阶跃变化前选择的电流指令水平( $I_0$ )应保证电流指令中的阶跃上升值( $\Delta I$ )在施加过程中不受到限制；
- c) 输入的电流阶跃指令应尽可能靠近电流调节器的输入端；
- d) 试验过程中，整流器应始终处于直流电流控制，应防止干扰逆变侧的电流调节器。

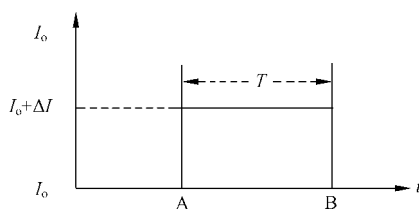


图6 整流器电流调节器阶跃响应试验

#### 6.5.2.4.3 逆变器熄弧角调节器

为优化逆变器控制器，整流器应处于正常控制模式，逆变器应处于定最小熄弧角控制。

对熄弧角调节器施加参考值阶跃变化指令(如图 7),如下所述:

- a) 第一个阶跃变化(A)应施加在升高参考电压的方向,以防止换相失败;
- b) 阶跃变化前的熄弧角大小( $\gamma_o$ )应保证熄弧角指令中的阶跃上升值( $\Delta\gamma$ )在执行过程中未达到限值;
- c) 优化调节器参数后,施加第二个阶跃变化(B)从  $\gamma_o + \Delta\gamma$  回到  $\gamma_o$ ;
- d) 如果调节器还有影响熄弧角的其他输入,也应对这些输入重复试验。例如由于直流电流突然增加或交流电压突然下降引起熄弧角增大。应根据优化熄弧角阶跃变化检查这些功能。

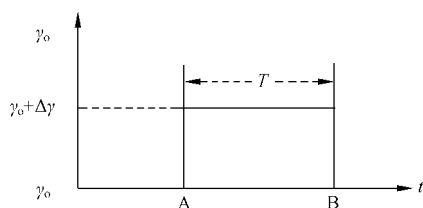


图 7 逆变器熄弧角调节器的阶跃响应试验

#### 6.5.2.4.4 逆变器电压调节器(如果适用)

为优化逆变器调节器,整流器应处于正常控制模式,逆变器应处于电压控制模式。

在控制器直流电压参考值上施加一个阶跃变化(见图 8),如下所述:

- a) 第一个阶跃变化(A)应施加在降低参考电压的方向,以防止换相失败;
- b) 阶跃变化前的直流电压大小( $V_{do}$ )应保证直流电压指令中的阶跃上升值( $\Delta V_d$ )在执行过程中未达到限值;
- c) 优化调节器参数后,施加第二个阶跃变化(B)从  $V_{do} + \Delta V_d$  回到  $V_{do}$ ;
- d) 如果调节器还有影响直流电压的其他输入,也应对这些输入重复试验。

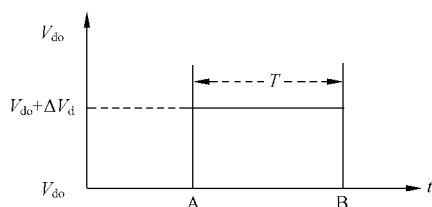


图 8 逆变器直流电压调节器的阶跃响应试验

#### 6.5.2.4.5 逆变器电流调节器(电流裕度控制器)

试验过程中,整流器处于定触发角控制( $\alpha_{min}$ ),逆变器处于定电流控制模式。逆变器电流调节器输入中施加电流阶跃变化指令(见图 9),阶跃持续时间( $T$ )应足够长以保证随着阶跃施加系统能达到稳定运行。如下所述:

- a) 第一个阶跃变化(A)应施加在降低参考电压的方向,以防止换相失败;
- b) 阶跃变化前的电流指令大小( $I_o$ )应保证电流指令中的阶跃上升值( $\Delta I$ )在执行过程中未达到限值;
- c) 优化调节器参数后,施加第二个阶跃变化(B)从  $I_o + \Delta I$  回到  $I_o$ ;
- d) 如果调节器还有影响直流电流的其他输入,也应对这些输入重复试验。

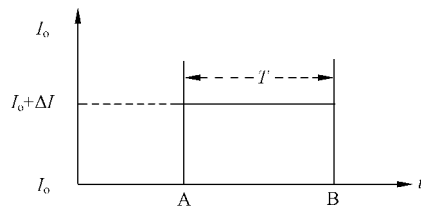


图9 逆变器电流调节器的阶跃响应试验

### 6.5.2.5 整流器熄弧角调节器

为了精确调节整流器熄弧角,应考虑两种情况:

- 如果直流系统输送功率方向不变,即一端为整流,一端为逆变不变,当强迫移相时,熄弧角调节器的功能将受到限制。那么,在强制移相的过程中应检查调节器的响应;
- 如果直流系统输送功率与 a) 方向相反,那么就应在另一端检查熄弧角调节器在强制移相时的响应。

### 6.5.2.6 整流器定功率调节器

为了优化此调节器,施加功率阶跃变化指令(见图 10),如下所述:

- 施加的阶跃持续时间( $T$ )应足够长以允许系统达到稳定运行;
- 阶跃变化前的功率指令水平( $P_o$ )应保证功率指令中阶跃上升值( $\Delta P$ )在执行过程中未达到限值;
- 选择的  $\Delta P$  阶跃量应保证电流指令的变化不超过电流裕度;
- 采用较小  $\Delta P$  进行附加试验,以检查不稳定性和与其他控制回路间的相互作用。

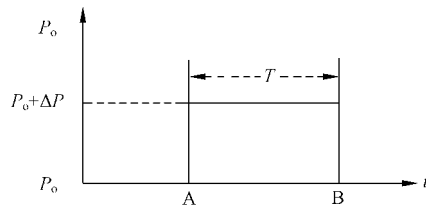


图10 整流器功率控制的阶跃响应试验

### 6.5.2.7 试验接收判据

试验接收判据如下:

- 调节器的性能稳定且满足要求;
- 所有的控制系统参数应近似于非现场试验中得到的参数。如果实际直流系统和非现场试验之间存在偏差,应给予解释;
- 优化的结果应保证直流系统阶跃变化后过冲量最小且恢复时间最短;
- 阶跃响应试验过程中不产生扰动。

## 6.5.3 控制模式转换

### 6.5.3.1 概述

基本的控制模式转换(见 6.2)可分为两种基本类型:

- a) 整流器从定功率控制模式转到定电流控制模式,随后返回到换流器;
- b) 逆变器从定熄弧角控制模式或定直流电压控制模式转换至定电流控制模式,随后返回到逆变器。

如果有特殊要求增加一些额外的控制模式,应对这些控制模式进行转换试验。不过,试验判据应与此处描述的相同。

通常 HVDC 系统运行在定功率控制模式。

某些情况下,控制模式应能从定功率控制模式转换到定电流控制。在极控制级下,典型运行方式是整流器运行在定电流控制,逆变器运行在定熄弧角控制。

通常,逆变器也配置有定电流控制器。在某些交流系统中,逆变器需要从定熄弧角控制模式转换到定电流控制模式。

#### 6.5.3.2 试验目的

检验不同控制模式的功能和它们之间转换的性能。

#### 6.5.3.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 完成非现场控制系统试验;
- b) 完成换流器单元试验;
- c) 完成启动/停止程序试验;
- d) 完成保护程序试验;
- e) 通信系统投入运行;
- f) 完成阶跃响应试验,优化各个控制器。

#### 6.5.3.4 试验程序

采用手动方式从定功率控制模式到定电流控制模式转换的试验程序是:

- a) 在定功率控制模式下启动直流系统,运行至稳定;
- b) 根据实际直流电流设定电流参考值,并转换到定电流控制模式。可采用手动或自动方式改变电流参考值。

某些情况下,交流母线电压降低时,为了避免功率/电压不稳定,可自动激活从定功率控制模式到定电流控制模式转换。通过模拟交流系统降压或交流系统故障检查控制模式转换。

强制整流器运行在最小触发角使逆变器转换到电流控制模式检查逆变器从定熄弧角控制到定电流控制的控制模式转换。可通过使用分接头操作进行试验。本试验应在定电流控制模式或定功率控制模式下进行。

#### 6.5.3.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 在从定功率控制到定电流控制转换(以及反方向转换)中和转换后,稳定运行时应能平滑地进行控制模式转换;
- b) 控制模式转换过程中功率上没有阶跃响应产生;
- c) 逆变器应能稳定地从定熄弧角控制转换到定电流控制。

## 6.5.4 换相失败

### 6.5.4.1 概述

以下任一情况将导致直流系统换相失败：

- a) 交流系统干扰；
- b) 换流器控制故障。

换相失败可能只发生一次(单个换相失败),或数个连续周期(多个换相失败),或持续发生(持续换相失败)。在本部分所述的试验中模拟换流器控制故障引起的换相失败。对于正常的系统扰动,试运行进一步对此进行验证(而不是采用模拟方式验证)。

### 6.5.4.2 试验目的

试验目的如下：

- a) 检验换相失败和阀误触发过程中及之后控制系统的稳定性,以及在预定的时间内能恢复；
- b) 在直流系统中直流回路在接近基波频率发生谐振情况下,换相失败将导致直流侧励磁振荡。试验应检验控制系统在励磁消失过程中时能阻尼这种振荡。另外,试验应检验控制系统动作不会加剧这些振荡；
- c) 检查换相失败保护和任一阀过负荷保护,如电压取决电流指令限制器(低压限流控制)；
- d) HVDC 系统采用架空线或电缆情况下,检验这些干扰过程中直流线路或电缆保护不动作。

### 6.5.4.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 完成控制系统的优化；
- b) 直流系统中每极功率输送时所有必需设备应可用；
- c) 长距离输电情况下,直流线路或电缆保护应是最终整定值；
- d) 长距离输电情况下通信应可用；
- e) 逆变侧交流系统有效短路比尽可能为最小。

### 6.5.4.4 试验程序

试验程序如下：

- a) 如果系统设计时具有功率反向功能,应在功率反送时重复试验。
- b) 在多个电流等级直至额定电流下进行试验。
- c) 长距离输电并且每极串联成组的情况下,应对所有的组进行试验,如果工厂设计允许,也可减少组的数量。
- d) 除了 6.5.1.4 列出的监测变量外,试验中还应监测以下信号：
  - 1) 测量的触发角；
  - 2) 阀触发脉冲。

但是,系统不同时监测点也不同。

- e) 可通过闭锁阀触发脉冲或整流侧阀触发故障造成逆变侧阀换相失败。根据阀的特殊设计,应仔细考虑闭锁脉冲位置,因为控制系统闭锁触发脉冲会引起控制和保护的某些动作,将产生异常的情况。
- f) 逐步增大换相失败或触发故障的持续时间：
  - 1) 持续时间应短于任一保护动作要求的时间；

- 2) 持续时间应足够长以触发任一阀过负荷保护,如 VDCOL;
- 3) 持续时间应足够长以启动暂时换相失败或触发故障保护(换流器跳闸)。

长距离输电时,试验应在有和没有通信下进行。

#### 6.5.4.5 试验接收判据

试验判据取决于换相失败的持续时间和各站选择的保护系统:

- a) 没有保护系统动作。控制系统能阻尼振荡使系统在规定时间内可靠恢复;
- b) 启动阀过负荷保护。通过控制动作降低直流电流,随着换相失败的结束系统应能恢复;
- c) 启动暂时换相失败保护。换流器跳闸的时序应正确。直流系统和交流系统组件不受影响。

#### 6.5.5 交流系统相互作用/控制

##### 6.5.5.1 概述

HVDC 系统的可控性是直流输电技术极为重要的优点。另外,直流控制可使直流系统运行于弱交流系统,并可改进大交流系统的动态特性。

为了实现上述优点,控制系统应适用于不同的干扰和系统运行情况,控制回路之间不应相互影响。为了获得足够的控制特性,要控制器高于正常值整流触发角和最小逆变器熄弧角的运行时要求的。通常,特定的交流系统相互作用/控制功能是:

- a) 频率控制;
- b) 无功功率调节;
- c) 交流电压控制;
- d) 暂时过电压控制;
- e) 阻尼频率或功率振荡;
- f) 功率变化决定的频率或功率(即回降);
- g) 分步响应控制(SSR);
- h) 故障中的特殊控制。

##### 6.5.5.2 试验目的

目的是验证模拟试验的结果。

##### 6.5.5.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 完成控制系统非现场试验;
- b) 完成换流器单元试验;
- c) 完成启动/停止程序检查;
- d) 完成保护程序检查;
- e) 通信系统投入运行;
- f) 完成阶跃响应试验,优化各个控制回路;
- g) 完成控制模式转换试验;
- h) 在相关特定交流系统相互作用/控制的情况下建立交流系统。

##### 6.5.5.4 试验程序

与交流系统相互影响的控制器试验程序不同于检验单一控制器使用和功能的试验。

调节器的整定值可从非现场模拟试验中得到,并在实际的 HVDC 系统调整。

干扰过程中控制动作试验应谨慎安排。试验时应包括能对试验产生严重影响的连接的交流系统。

为了检查交流系统对 HVDC 系统的影响,应通过以下方式产生交流系统干扰或 HVDC 运行模式改变:

- a) 功率调制;
- b) 甩负荷(模拟直流线路故障);
- c) 交流线路投切;
- d) 发电机跳闸;
- e) 直流功率升降;
- f) 功率反转;
- g) 变压器充电;
- h) 滤波器投切;
- i) 交流或直流线路故障;
- j) 发电机励磁系统调制。

上面提到的启动功能也涉及 6.4、6.5 和 6.6。

#### 6.5.5.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 验证了模拟结果;
- b) 所有的控制系统参数应近似于非现场试验中得到的参数。如果实际直流系统和非现场试验之间存在偏差,应给予解释;
- c) 试验过程中没有发生不稳定情况。

### 6.6 交流和直流系统分段故障

#### 6.6.1 概述

##### 6.6.1.1 交流网故障

应准确知道 HVDC 系统对连接的交流网的交流网故障响应以便进行适当的控制动作。现代的数字仿真和模拟工具或 HVDC 仿真器也能用来模拟分段故障试验。应进行一些项目检验包括控制和保护设备的功能和相互协调,交流和直流系统中各部件上的应力不能超过其允许限值。一般地为保持稳定,在未长期停运的情况下,当故障消除后重新建立换相电压,从而建立直流输送功率。由于涌流,电压将严重变形,这将使控制系统的任务复杂化,并且出现由于交流系统保护继电器中重复出现不规则电流波形而产生的不真实的保护动作风险。

分段故障试验,可检验实际工程中交流和直流系统保护,试验需要设置可使受影响的设备承受高应力和影响设备寿命的特定系统条件。

直流线路的暂时故障清除通常通过保护和换流器控制联合动作,暂时闭锁换流器熄灭电弧或强制停运整流器实现。

万一交流侧出现长时间故障,根据直流线路的设计,自动程序应能定位故障区域并隔离故障。如果可能重新建立潮流时,初始潮流的建立应尽可能地快。由直流系统故障对交流系统产生的影响通常比由于交流系统故障对交流系统产生的影响轻。

##### 6.6.1.2 试验目的

试验目的如下:

- a) 检验在故障中和故障立即清除后直流/交流系统的联合动作应符合规定要求；
- b) 检验换流器无换相失败时或出现能接受的换相失败次数(假设较远的交流系统故障)时的持续运行情况；
- c) 检验近区故障清除后直流潮流能在规定时间内重新恢复；
- d) 检验直流侧故障清除后额定直流功率在规定时间内重新恢复(如果可能,取决于 HVDC 设计)。

#### 6.6.1.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 所有的交流和直流设备完成充电；
- b) 完成基本的运行试验；
- c) 完成直流接线方式转换的检查(见 6.3)；
- d) 完成交流系统保护继电器的响应畸变波形检查；
- e) 完成控制和保护性能试验；
- f) 完成一次设备投切的检查(见 6.4)。

#### 6.6.1.4 试验程序

##### 6.6.1.4.1 故障前情况

对于任何类型的分段故障,应规定如下的故障前情况以及评估故障后情况：

- a) 通信投入或退出运行；
- b) 交流系统(假设是隔离系统)的频率；
- c) 故障前后交流系统电压；
- d) 故障(最近的分站运行线路、关闭发电单元、负荷等引起的)前后,实施分段试验的交流系统接线方式；
- e) 直流侧的短路水平；
- f) 初始直流潮流；
- g) HVDC 系统结构包括交流和直流滤波器；
- h) 故障持续时间的预期值；
- i) 故障位置。

##### 6.6.1.4.2 交流系统接线方式

直流分段故障试验一般不需要特定的交流系统接线方式,但是,在交流分段故障试验过程中,由于一些保护继电器或断路器的误动风险,为维持系统安全运行,在非常特殊的送电计划下采用特殊的交流系统接线方式。

##### 6.6.1.4.3 信号监测

由于成本、设备上应力和安全原因,这种类型的试验不能多次重复,所以应监测很多信号。对于分段故障试验,应使用备用记录仪。

##### 6.6.1.4.4 信号记录

应记录如下信号：

- a) 系统侧：



- 1) 每极的交流电压和电流；
  - 2) 两极的直流电压；
  - 3) 每极换流器馈线中的交流电流；
  - 4) 每极和每个直流中性点的直流电流；
  - 5) 滤波器组中的交流电流。
- b) 控制系统：
- 1) 主程序信号(启动/停止、闭锁-解锁、断路器开合指令)；
  - 2) 基本保护信号(比如过电压保护、换相失败保护)；
  - 3) 触发角指令；
  - 4) 每个 12 脉波换流器单元的触发相位；
  - 5)  $\alpha$  和  $\gamma$  角测量值；
  - 6) 电流指令。
- c) 一些额外的信号(如果需要)：
- 1) 每个换流器单元上的阀电压(可能需要提供特殊的分压器)；
  - 2) 换流站记录的和可能的临近发电站之间允许同步的时间信号。
- d) 对于交流故障：
- 远端的一些信号,如直流电压和电流、电流指令和触发角指令。

#### 6.6.1.4.5 HVDC 功率水平

试验时的 HVDC 输送功率水平取决于准备试验的交流系统接线方式及其相关的送电计划。

#### 6.6.1.4.6 安全

分段故障可能会比较严重,应采取特别的方式以保证故障设备安全和试验程序可行。

#### 6.6.1.4.7 故障形成

接地故障可通过多种方式形成,例如,杆塔上悬挂一根细铜线,在重力作用下摇摆下落接近带电导体,产生对地电弧。对于一些故障(特别是户内环境),应安装临时开关。

#### 6.6.1.5 试验类型

##### 6.6.1.5.1 较远的单相对地故障和远距离三相对地故障

试验评估换流器换相失败的灵敏度。

##### 6.6.1.5.2 较近的单相对地故障

试验评估控制直流电压的 100 Hz 或 120 Hz 频率波动在可接受范围内的能力和故障中如果发生自动保护闭锁时的快速恢复能力。

##### 6.6.1.5.3 较近的三相对地故障

试验评估潮流快速恢复能力。

##### 6.6.1.5.4 交流母线相对地故障

试验的目的如下：

- a) 和较近的单相对地故障的目的相同；

- b) 评估接地网中性点循环流过故障电流的可能后果；
- c) 检验控制对干扰的不灵敏性和保护的正确功能。

#### 6.6.1.5.5 直流线路故障

试验目的如下：

- a) 试验检查直流线路保护的正确响应和自动恢复程序；
- b) 对于较近的故障，检查直流场的绝缘配合；
- c) 对于较远的故障，检查线路保护能否区分线路故障和远端的站故障；
- d) 检查是否存在发出声响极的直流保护误动。

#### 6.6.1.6 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) 故障中和故障后 HVDC 能保持稳定；
- b) 直流系统或交流系统中不存在保护继电器的误动作；
- c) 交流和直流系统暂态电压应保持在绝缘配合研究确定的范围内；
- d) 功率恢复速度应在规定的时间内；
- e) 在确定的时间内不超过规定的最大换相失败次数；
- f) 记录应和现场分段试验前通过模拟得到的一致。不同之处应给予解释。

### 6.7 通信、辅助或冗余设备丢失

#### 6.7.1 两端之间通信丢失

##### 6.7.1.1 概述

##### 6.7.1.1.1 信号类型

如 IEC/TR 60919-1 所示，HVDC 分站之间传输不同的信息类型，每种类型需要特定的性能。

##### 6.7.1.1.2 控制信号

控制信号包括：

- 功率指令；
- 电流指令；
- 频率控制；
- 阻尼控制；
- 远方站强制停运。

##### 6.7.1.1.2.1 运行指令

运行指令包括：

- 运行控制模式转换；
- 转换操作；
- 闭锁/解锁。

##### 6.7.1.1.2.2 状态指示

状态指示包括：

- 转换位置；
- 运行的换流器数量；
- 测量值；
- 报警信号；
- 声音通信；
- 直流线路故障定位。

#### 6.7.1.1.3 通信丢失的后果

通信丢失的后果和上述每个传输信息类型相关,而且最重要的信息类型一般采用冗余通信系统传输,试验应在冗余丢失的情况下进行。

#### 6.7.1.1.4 通信的作用

大部分的 HVDC 系统设计中,通信丢失不会中断或显著改变已有的功率输送水平。两端之间的通信用于改善运行条件、暂态性能或用于提供一些特殊的控制功能如频率或阻尼控制。

#### 6.7.1.1.5 控制程序

通信丢失应启动预定的控制程序,这样可结束功率冻结并转到故障前的值。

#### 6.7.1.1.6 联合试验

通信丢失试验应和其他端对端试验联合进行。

### 6.7.1.2 试验目的

试验目的如下:

- a) 检查当功率输送过程中或启动程序中通信丢失时 HVDC 系统的运行及其对交流系统的影响符合规定;
- b) 检验外部影响下的信息可靠性,如噪声等。

### 6.7.1.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 现场分系统试验中完成通信正确运行的试验;
- b) 有和无通信情况下完成控制回路和保护回路的功能试验;
- c) 基本运行试验中完成无通信情况下系统安全停运的能力试验;
- d) 当通信丢失时,根据各个试验的不同目的决定连接的拓扑结构、功率输送总量和已有的运行程序;
- e) 稳定运行和发出功率/电流阻尼指令时,HVDC 系统应在有效水平下输送功率,在适当的控制模式下运行;
- f) 启动和停运过程中,应根据明确的控制策略建立详细的试验程序。

### 6.7.1.4 试验程序

试验应在不同运行模式下进行:

- a) 稳态运行中,检查对功率指令/电流指令、输送功率的影响;
- b) 电流或功率指令阻尼过程中;
- c) 启动和停运过程中。

试验应在预定的时间内隔离除运行人员语音通道外所有端对端通信通道。通过模拟外部噪声和/或其他干扰检验信息的可靠性。

#### 6.7.1.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) HVDC 系统保持稳定并且对交流系统的影响保持在规定的限值内；
- b) 保护系统没有出现计划外动作；
- c) 根据程序终止的状态指示,启动和停运程序应能安全终止。

#### 6.7.2 辅助供电的丢失

##### 6.7.2.1 概述

根据 HVDC 系统性能要求的可靠性等级,HVDC 分站的辅助供电可分为典型的三种类型：

- a) 一般的交流供电,不带备用；
- b) 能自动改变为备用交流电源的交流供电；
- c) 不间断供电包括备用的柴油发电机。

##### 6.7.2.2 试验目的

试验目的如下：

- a) 检验转换过程中辅助供电的短时中断不干扰 HVDC 输电；
- b) 检验如果发生除不间断供电外所有的辅助供电都丢失情况时 HVDC 换流站的安全和可控停运；
- c) 检验万一不间断供电发生故障(若有的话)时 HVDC 系统的安全停运。

##### 6.7.2.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 转换系统的功能正确,例如检查自动低电压转换；
- b) 完成不间断供电功能、容量和性能试验。

##### 6.7.2.4 试验程序和试验接收判据

用于冷却风扇、泵和其他大功率重要设备,带有自动转换的交流供电,应在无负荷和满负荷下进行试验。应在各种类型的辅助分系统上单独试验,如下所述：

- a) 整个交流辅助供电的丢失  
在同等程序下直流系统应能安全停运。如果有后备发电机组,应在规定的时间限制内启动并给适当的负荷供电。
- b) 带自动转换的辅助供电的丢失  
初始转换到二次交流电源。检查感应电动机的转换时间和重启条件。冗余设备冷却媒质流动中断不能超过规定的限制。
- c) 控制和保护以及通信设备的冗余供电的丢失  
控制和保护设备应按规定持续运行。
- d) 控制设备整个供电的丢失  
直流系统通常依靠保护功能安全停运。

### 6.7.3 冗余设备的丢失

#### 6.7.3.1 概述

HVDC 系统包含了各种冗余控制、保护和测量设备以加强系统的稳定性。

#### 6.7.3.2 试验目的

万一发生故障, HVDC 系统能转换至冗余设备并保持运行。

#### 6.7.3.3 试验前条件

控制和保护系统所有冗余元件的功能应正确并经过检查。

#### 6.7.3.4 试验程序和试验接收判据

试验很大程度上取决于系统设计所采用的冗余原理。试验应模拟最可能出现同时又会造成系统出现最复杂情况的故障模式下冗余设备的丢失。

系统应符合设计要求。

## 6.8 大功率输电试验

### 6.8.1 概述

#### 6.8.1.1 试验概述

HVDC 大功率输电试验检验 HVDC 系统的稳态性能参数。试运行试验前,包括换流器单元试验和低功率输电试验,应检验低功率下直流设备功能正确。

#### 6.8.1.2 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 完成所有换流器单元的试运行试验;
- b) 完成输电系统的试运行试验并按规定稳定运行;
- c) 环境条件在规范给定的限值内。

#### 6.8.1.3 试验目的

试验目的如下:

- a) 检验 HVDC 系统稳定运行在规范给定的限值内;
- b) 测量交流和直流谐波水平、可听噪声、电晕和干扰水平(如果/当用户规定时);
- c) 检验过负荷、温升和接地极性能在规定的范围内。

### 6.8.2 稳态运行试验

#### 6.8.2.1 概述

额定和不同的功率等级下,在不同的特定接线方式和控制模式下,测量系统参数,这是检验电气参数和可听噪声是否在规定限值内的必要条件。

#### 6.8.2.2 试验目的

试验检验在不同条件下 HVDC 输电能在规定限值内稳定运行。

### 6.8.2.3 试验前条件

完成无功功率控制系统的试运行试验。交流网情况应在规定条件内。

### 6.8.2.4 试验程序

HVDC 系统运行在不同状态时测量参数包括：

- a) 最小、额定和过负荷输送功率,不同输送功率下分别投切滤波器或无功元件；
- b) 各种 HVDC 和交流系统接线方式；
- c) HVDC 降压运行；
- d) 在规定滤波器结构下正常运行；
- e) 带滤波器组运行或无功元件组不可用时运行；
- f) 交流频率和电压的稳态范围内；
- g) 极端环境(尽可能的)；
- h) 双极和单极运行(大地回线或金属回线模式下)。

### 6.8.2.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) HVDC 输电运行稳定；
- b) HVDC 输电参数应正确且在规定限值内。

## 6.8.3 无功功率控制

### 6.8.3.1 概述

HVDC 输电的运行要消耗无功功率并产生谐波电流和电压。专门设计无功补偿元件(交流/直流滤波器、并联电抗器和直流平波电抗器)以避免 HVDC 输电影响连接的交流系统。试验也可检查一些控制功能,见 6.2.4 和 6.4.3。可采用已在其他试验项目中获得的数据。一些功能已在其他试验项目中检验,如绝对最小滤波器、最小滤波器和自动放电。

### 6.8.3.2 试验目的

随着 HVDC 功率改变,测量无功补偿设备和滤波器设备的性能及投切曲线并与设计值相比较,这可用于评估无功功率控制功能以及为运行提供重要的参考数据。

### 6.8.3.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 交流电网的条件应在规定限值内；
- b) 研究结果应适用于评估 HVDC 系统的谐波水平和频谱；
- c) 交流和直流滤波器设计研究结果应适用；
- d) 电感配合研究结果应适用；
- e) 测量应适用于建立已有的谐波背景水平和频谱；
- f) 预先的试运行试验数据可用于交流和直流滤波器参数；
- g) 试验仪器和数据采集系统应适用；
- h) 专门的谐波测量设备应适用。

#### 6.8.3.4 试验程序

在不同的特定接线方式和控制模式下进行测量,包括:

- a) 待机运行;
- b) 最小、额定和过负荷输送功率,不同输送功率下分别投切滤波器或无功元件;
- c) 各种 HVDC 和交流系统接线方式;
- d) HVDC 降压运行;
- e) 在规定滤波器结构下正常运行;
- f) 在滤波器组或无功元件组不可用时的运行;
- g) 交流频率和电压的稳态范围内;
- h) 极端环境(尽可能的);
- i) 双极和单极运行(在和不在大地回线或金属回线模式下)。

#### 6.8.3.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 无功补偿设备和滤波器组的性能和投切曲线与设计一致;
- b) HVDC 输电的性能和滤波器组的配合符合规定;
- c) 交流和直流滤波器组中不出现过负荷。

### 6.8.4 过负荷试验/温升测量

#### 6.8.4.1 概述

HVDC 系统可设计为允许在过负荷的情况下运行,其中 HVDC 功率输送水平大大超过额定值。由于如下原因过负荷运行可能导致 HVDC 系统性能降低:

- a) 由于热应力升高引起设备预期寿命缩短;
- b) 由于过负荷运行中使用冗余设备引起可靠性降低;
- c) 由于环境温度引起的运行范围受限;
- d) 苛刻运行参数下性能范围受限,如无功补偿和谐波性能;
- e) 控制和仪器性能限制。

交流和直流系统的运行条件和设计要求应能使设备安全地运行于过负荷情况。直接受过负荷运行影响的主要设备包括晶闸管阀、阀冷却系统、换流变压器、谐波滤波器、平波电抗器、电流和电压互感器、套管、母线和输电线路。

HVDC 系统所有的设备应设计为某个可允许的运行温度,这些设备采用自然冷却或强制冷却。对于主要的设备需要特殊的冷却系统如阀、变压器和平波电抗器。因为可用性原因,大部分的冷却系统具有冗余。负荷试验应包括冷却系统的完整性能试验。过负荷能力取决于主要设备的负载容量和环境温度。

如已知的负荷试验,热运行试验检验 HVDC 输电在额定或过负荷功率水平下规定时间内稳定运行。如果在规定了工厂中进行的附加的任何损耗试验,则应在负荷试验中完成。

#### 6.8.4.2 试验目的

试验目的如下:

- a) 检验 HVDC 系统过负荷能力;

- b) 验证单个设备的温升在可接受限值内；
- c) 检验冷却系统的冷却控制和冗余要求的正确功能；
- d) 检验 HVDC 系统主设备以及额定负荷下整个系统在规定温度下负荷能力,尽可能在过负荷情况下。

#### 6.8.4.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 主要设备的工厂热运行试验结果应适用；
- b) 交流网和 HVDC 输电系统过负荷试验准备就绪；
- c) 温度监测设备安装到位；
- d) 环境条件符合要求；
- e) HVDC 系统相关部分准备投入运行；
- f) 对于负荷试验,在要求的功率传输水平下交流系统应适用；
- g) 环境温度应接近理想的最大设计温度；
- h) 对最大负荷试验环境温度应尽可能低。

#### 6.8.4.4 试验程序

HVDC 系统应在过负荷试验开始前,在额定负荷下运行一段时间,必须使主要电气设备达到热平衡,如换流变压器、直流平波电抗器、晶闸管阀、交流和直流 波滤波、阀冷却系统。

满负荷下主要设备的温度达到热稳定后(典型值为 12 h~18 h),HVDC 系统可在过负荷条件下运行,该条件与现有的环境条件兼容,记录主要设备的温升。另外,应监测阀冷却系统的性能,使用温度监测设备检查母线、连接点、终端、中性点和开关触头。

HVDC 系统应在 HVDC 设备达到它们最大运行温度的模式下运行。大多数情况下是在最大电流水平、最高环境温度和冷却系统冗余未投入使用时实现的。

一些应用中,在不同于最大电流水平的运行模式下(例如触发角接近 90°)HVDC 设备有自己的最大负荷和运行温度。

负荷试验持续时间应足够长以保证所有设备达到稳定运行温度。如果最高环境温度不适用,试验应在现有的环境温度下进行,最高环境温度下设备的预期温度应根据设计负荷曲线进行计算。

通过温度指示器或红外扫描监测温度。记录环境温度、室内温度和冷却回路温度。所有的温度也可通过目视检查监测。

对于过负荷情况,冷却系统运行时所有冗余应可用。环境条件应对冷却容量有利。

负荷试验结束后,对主要充油设备进行油中气体分析。

#### 6.8.4.5 试验接收判据

设备最大运行温度和温升应在规定限值内。试验中环境温度较低时,设备最大运行温度应通过补偿校正到最高环境温度：

- a) 不管是在正常运行条件下还是在过负荷条件下,任何 HVDC 设备都不能超过设计温升；
- b) 母线和接头上不出现热点；
- c) 冷却控制应能控制冷却系统以消散所有热量损耗直到规定的环境条件；
- d) 功率容量应和规定的负荷曲线一致；
- e) 各种冷却控制回路和冗余要求的正确功能应通过检验。



## 6.9 验收试验

### 6.9.1 概述

HVDC 系统性能和干扰试验检验 HVDC 系统的性能参数以及 HVDC 系统引起的电气和可听噪声干扰在规定限值内。应预先协调受 HVDC 系统运行影响的所有各方,包括换流站附近的社区、直流输电线路、公共电话、铁路公司、管道公司等。

### 6.9.2 谐波性能和滤波器元件额定值

#### 6.9.2.1 概述

HVDC 系统中功率转换过程导致产生谐波电流和电压,对连接的交流系统、直流网和第三方电气系统产生影响。通过 HVDC 系统设计和谐波研究将从 HVDC 系统传播到交流和直流网的谐波水平减少到最小,其中考虑的因素包括:

- a) 交流系统阻抗;
- b) 涉及到的谐波频率(特征和非特征);
- c) 交流网的谐波放大率(谐振);
- d) 阀触发角;
- e) 换流变压器电抗和触发角不平衡;
- f) 交流系统不平衡阻抗和谐波滤波器;
- g) 变压器饱和和影响和杂散电容;
- h) 交流系统畸变和干扰限制;
- i) 相邻开路系统的灵敏度;
- j) HVDC 控制系统不稳定性以及和其他无功设备的相互作用;
- k) 交流网中已有的谐波;
- l) HVDC 结构和接地电阻率;
- m) 环境温度范围;
- n) 交流系统间的相角关系;
- o) 交流和直流滤波器设计。

连接到交流母线上的交流谐波滤波器用以降低连接的交流网出现的谐波电压和注入到交流网的谐波电流到规定水平。

对于采用架空线的 HVDC 系统,直流回路中安装平波电抗器和直流滤波器以降低谐波电流,防止干扰第三方电话或电气系统。

应检查交流和直流滤波器的负荷,以及检验滤波器元件的额定值。

#### 6.9.2.2 试验目的

试验目的如下:

- a) 验证 HVDC 系统产生的谐波电压和电流通过交流和直流滤波器限制到符合规定限值;
- b) 检验谐波不会导致第三方电话或电气系统受到不可接受的干扰;
- c) 验证运行在不同接线方式和偶然出现的模式下的谐波性能合格;
- d) 检验滤波器元件的负荷在各个元件额定值内。

### 6.9.2.3 试验前条件

试验前条件如下：

- a) 交流网条件在规定限值内；
- b) 研究成果应适用于建立 HVDC 系统谐波的水平 and 频谱；
- c) 交流和直流滤波器设计研究结果应适用；
- d) 感应协调研究结果应适用；
- e) 测量应适用于建立已有的谐波背景水平和频谱；
- f) 试运行试验前数据如交流和直流滤波器参数应适用；
- g) 试验仪器和数据采集系统应适用；
- h) 专门的谐波测量设备可用。

### 6.9.2.4 试验程序

在规定的 HVDC 系统结构和运行模式(如下)下进行谐波测量。建立确定这些结构和运行模式的试验计划和谐波测量的位置：

- a) 待机运行；
- b) 最小、额定和过负荷输送功率,不同输送功率下分别投切滤波器或无功元件；
- c) 各种 HVDC 和交流系统接线方式；
- d) 产生最大谐波任何特殊条件；
- e) HVDC 降压运行；
- f) 规定滤波器结构下正常运行；
- g) 大大超过正常触发角情况下的运行；
- h) 滤波器组或无功补偿组不可用时的运行；
- i) 交流频率和电压的稳态范围内；
- j) 极端环境(尽可能的)；
- k) 自动滤波器调谐；
- l) 考虑如下附加项目的直流谐波试验：
  - 1) 感应电压下设备安全；
  - 2) Sata 传输和铁路信号回路影响；
  - 3) 语音通信回路影响；
  - 4) HVDC 线路和接地极线路之间励磁响应条件；
  - 5) 换流变压器中性点直流电流；
  - 6) 最小电流运行时谐波影响；
  - 7) 双极和单极运行(大地或金属回路下)。

谐波测量试验中,由于谐波滤波器对环境温度状况或天气敏感,应注意并记录环境条件。

### 6.9.2.5 试验接收判据

试验接收判据如下：

- a) 性能测试的结果应检验交流和直流谐波电压和电流在规定限值内,对第三方电气系统干扰在可接受限值内；
- b) 试验应能验证 HVDC 系统和交流和直流滤波器结构的运行约束在规定限值内；
- c) 交流和直流滤波器元件无过负荷。

### 6.9.3 可听噪声

#### 6.9.3.1 概述

HVDC 发出的噪声在可听频谱内。HVDC 系统中可听噪声(AN)源是终端设备和 HVDC 输电线,可按如下分类:

a) 设备产生的可听噪声

相关的设备包括:换流变压器、直流平波电抗器、并联电抗器、交流和直流谐波滤波器电抗器和电容器、晶闸管阀、冷却系统和辅助设备。可听噪声随着负荷情况和触发角改变而变化。

b) 导体产生的可听噪声

相关的设备包括:出现电晕现象的 HVDC 输电线、分站母线和户外设备。当电场强度足够高导致周围空气击穿时,可听噪声源与附近导电表面的电离现象有关。同样地,由于导电表面不规则性和污秽,由电晕产生的可听噪声可随环境和周围情况而变。直流电晕产生的可听噪声通常高于周围情况下产生的噪声。

c) 冲击产生的可听噪声

相关的设备包括:运行时的断路器、隔离开关等。

可听噪声应限制在换流站内,包括建筑内部。规定 HVDC 换流站区域以满足相关规章制度的要求。特殊情况下,需要特殊的噪声消除措施降低 HVDC 系统中可听噪声水平和频谱。

#### 6.9.3.2 试验目的

可听噪声试验测量和检验 HVDC 系统引起的可听噪声在规定限值内。

#### 6.9.3.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 应确定需监测物体前后的位置;
- b) 测量应适用于确定被测量物体所处环境的可听噪声背景水平和频谱;
- c) 研究结果应适用,用以评估 HVDC 系统可听噪声的水平和频谱;
- d) 工厂中可听噪声试验结果应适用于相应的设备;
- e) 试验仪器和数据采集系统应适用。

#### 6.9.3.4 试验程序

可听噪声试验应在规定的 HVDC 系统结构和运行模式下预先确定的位置进行。应建立用于可听噪声测量而确定这些结构和物理位置的试验计划。适当考虑如下的 HVDC 系统运行情况:

- a) 待机运行;
- b) 最低、中间的、额定以及适用的过负荷 HVDC 功率转换水平;
- c) 产生最大可听噪声的任何特殊情况;
- d) 长期测量考虑(需要时)。

电晕会产生可听噪声。观测电晕可通过用双目镜目视检查或用超声探测设备进行定位。

可听噪声试验中,由于可听噪声测量对环境状况比较敏感,应注意并记录环境状况,如空气温度、大气压力、相对湿度、风速和风向以及背景噪声。

仪器和可听噪声测量程序应符合规定的要求或适用的标准。

#### 6.9.3.5 试验接收判据

HVDC 系统可听噪声水平试验判据是工程特有的,一定程度上取决于周围环境。HVDC 系统运行中测量的可听噪声水平应在设计规定限值内。

## 6.9.4 电磁干扰试验

### 6.9.4.1 概述

HVDC 系统在导体中产生电压和电流,从而由于传导和辐射能量引起干扰。导体电晕脉冲和局部放电也是 HVDC 系统电磁干扰源。

滤除设备、屏蔽和噪声抑制技术是使干扰最小化的工具。由于电磁干扰对第三方电气系统影响是局部的,试运行试验计划应包括和具有干扰敏感设备的运行人员的联合试验。HVDC 系统干扰水平的设计判据是工程特有的,取决于周围环境和法规。考虑如下典型限制的干扰:

- a) 无线电干扰(RI);
- b) 电视干扰(TVI);
- c) 电话载波干扰(TCI);
- d) 微波通信系统干扰(MCSI);
- e) 铁路信号干扰(RSI);
- f) 电力线路载波干扰(PLCI)。

### 6.9.4.2 试验目的

干扰试验用于测量和检验 HVDC 系统产生的干扰水平在规定限值内,并且不会使低电位的电气回路(例如:电话网络、电脑、无线电和电视系统、铁路信号设备和其他电器)降级。

### 6.9.4.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 研究结果适用于建立 HVDC 系统运行期望的干扰水平;
- b) 建立和具有干扰敏感设备的运行人员的联合;
- c) 所有的降低干扰设备应和 HVDC 系统一起投入运行;
- d) 检验 HVDC 换流站控制和保护不会受到干扰影响;
- e) 试验仪器和数据采集系统可用。

### 6.9.4.4 试验程序

HVDC 系统的干扰试验大致分为如下几组:

- a) HVDC 换流站试验  
应在靠近或设备的围栏边界内进行测量。
- b) 输电线路试验  
应沿着给 HVDC 系统供电的交流和 HVDC 输电线路走廊周围进行测量。

干扰试验应在预先确定的位置以及规定的 HVDC 系统结构和运行模式下进行。考虑如下的 HVDC 运行情况,建立确定这些结构和水平的试验计划连同干扰测量的物理位置:

- 待机运行;
- 最低、中间的、额定以及适用的过负荷 HVDC 功率转换水平;
- 产生最大干扰的任何特殊情况;
- 点数和测量数;
- 试验计划等同于带宽和测量技术、校正系数、准确度、天线类型、标准(适用的)、频率扫描和频谱、HVDC 系统运行结构和模式、周围天气状况、电压、导体结构、结构类型和材料、海拔。

#### 6.9.4.5 试验接收判据

HVDC 系统运行时测量的干扰水平应在规定的设计限值内,并且不降级低电平的电路。

#### 6.9.5 接地极试验

##### 6.9.5.1 概述

双极接线方式的 HVDC 输电系统的接地极为各换流站中性母线提供接地参考点。当双极中一极退出运行时,接地极通常设计为允许 HVDC 系统在单极大地回路模式下预定时间内运行。单极系统的接地极设计为允许连续运行。由于大地回路运行会干扰第三方通信回路而且会导致地下结构腐蚀,试运行试验计划应包括和第三方的联合进行试验。

##### 6.9.5.2 试验目的

接地极试验的目的是检验接地极的设计以及在不同运行模式下建立最大测量干扰水平。HVDC 接地极设计判据是工程特有的,取决于本地的土壤状况、预期运行模式和严酷条件下大地回路运行持续时间。设计判据典型地考虑如下参数:

- a) 电流额定值;
- b) 温升;
- c) 热时间常数;
- d) 子电极之间电流分布;
- e) 接地极表面电流密度;
- f) 接地电阻率设计值;
- g) 远端接地的接地极电阻;
- h) 接地极电阻;
- i) 过负荷电流能力;
- j) 跨步和接触电势。

##### 6.9.5.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 完成接地极试运行前试验包括土壤结构测量、电势、电流结构、土壤电势、土壤电阻率、远端接地极电势结构和背景干扰水平;
- b) 建立试验站的阴极保护和杂散电流测量;
- c) 建立和所有参与者的配合,例如:铁路运行人员、电话公司、市区、地下公共设施运行人员、接地极供货方和 HVDC 供货方;
- d) 建立试验联合中心和通信方法;
- e) 试验仪器和数据采集系统可用。

##### 6.9.5.4 试验程序

###### 6.9.5.4.1 试验

接地极试运行系统试验可大致分为以下几组:

- a) 小电流试验  
利用 10%~20% 额定直流电流确定接地极基本特征和电势干扰的区域。
- b) 额定电流试验

在上述小电流试验上逐步增加直流电流直到额定值。逐步增加的直流电流的周期和幅值应符合试验方案/计划。

#### 6.9.5.4.2 仪器

在小电流试验中确定的所有试验点和特别关注区域安装记录仪器。每个直流电流水平的试验持续时间对于所关注的热时间常数适用,并且允许进行下面的试验测量:

- a) 受影响结构中试验电流产生的杂散电流幅值;
- b) 受影响结构中试验电流产生的杂散电流变化;
- c) 土壤结构中试验电流产生的电势变化;
- d) 每个接地极井或接地极组件中的电流分布;
- e) 建立额定电流试验时针对试验时间的温升限制;
- f) 通信回路上的感应电压;
- g) 交流系统变压器中性点的杂散电流。

应根据所埋接地极地上结构测量土壤电势或地上结构的跨步电势,如铁路和塔架。

#### 6.9.5.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 接地极的性能参数应在规定的设计限值内,包括温升、电压分布、阻抗和不同接地极井或接地极组件中电流均匀分布;
- b) 应分析配合试验的结果,并且研究解决受影响各方之间任何异常的结果。应单独分析接地极站设计和接地极站的现场位置。

## 7 试运行

### 7.1 概述

试运行试验提供 HVDC 系统连同连接的交流系统在一段连续时间内一起运行的机会,试运行应尽可能接近实际运行状况。

试运行周期用于观测整个 HVDC 系统及其所有组件。

试运行时,可由用户运行 HVDC 系统,这样可在故障分析和系统性能方面进行额外的人员培训。

### 7.2 试验目的

在实际并且规定的条件下,试运行检验 HVDC 在规定的运行周期的性能和适用性。

### 7.3 试验前条件

试验前条件如下:

- a) 所有的设备应适用;
- b) 完成所有的功率输送试验;
- c) 为进行系统运行应对运行人员进行有效培训;
- d) 交流系统之间功率输送方案应一致;
- e) 交流系统接线方式在规定限值内;
- f) 交流系统接线方式数据应适用;
- g) 监测和记录用的站记录器足够用。可补充一些额外的记录设备用于收集数据和设计研究验证。

## 7.4 试验程序

试运行的 HVDC 系统应符合最初设计和业主要求。

在 1 周~4 周内进行典型的试运行试验。在此阶段,运行应由业主的人员进行并应限制制造厂的协助人员。

试运行试验中,准确观测整个 HVDC 系统及其所有组件。

应仔细分析影响系统有效性的任何异常或非预期响应或偶发事件以确定可能导致的情况。

如果 HVDC 系统是分步建设的,应对各个阶段进行试运行试验。

试运行试验中或试运行试验后(如果协议中提出要求),试验均应对 HVDC 系统的特性和安全没有影响。

## 7.5 试验接收判据

试验接收判据如下:

- a) 试运行试验中没有因为 HVDC 任何设备故障导致强制中断或干扰;
- b) 试运行试验中如果出现改变或调整,应发生动作。根据试运行试验的部分或整个重复/进一步改变或调整;
- c) 重复部分或整个试验的判据应和开始试运行试验的一致。

## 8 系统试验计划和文件

### 8.1 概述

文件包括为进行系统试验而要求的系统试验计划,包括:

- a) 工厂文件和运行手册;
- b) 系统研究报告和技术规范;
- c) 检查和试验计划;
- d) 系统试验程序;
- e) 每个试验的试验程序;
- f) 系统试验结果的文件;
- g) 偏差报告。

### 8.2 工厂文件和运行手册

应提供如下的文件和运行手册:

- a) 工厂文件提供足够的所有设备安装及其功能、位置和连接的数据信息;
- b) 提供控制和保护设备的显示设置,包括数据采集系统;
- c) 运行手册为运行人员提供足够的培训指导,以便在所有运行情况下执行所有转换和控制操作。

### 8.3 系统研究报告和技术规范

系统研究报告应提供在规定限制内 HVDC 系统连同连接的交流系统运行所需的信息,按此目的需要的特别的系统研究报告的例子是:

- a) 交流/直流系统相互作用;
- b) 无功功率控制;
- c) 保护配合;
- d) 控制配合,系统结构的改变和转换。

#### 8.4 检查和试验计划

检查、试验计划和系统试验程序组成系统试验计划。

本标准是按照逻辑顺序编写的,这样对实施任何特定工程可提供背景信息。

各检查和试验计划应包含适用的以及类似本标准的如下内容:

- a) 每项试验的特定目的;
- b) 试验程序(参考标准程序);
- c) 试验接收判据;
- d) 试验前条件;
- e) 规范中的系统研究参考;
- f) 非现场试验参考;
- g) 特殊情况。

所有完成的检查和试验应保证数据的唯一性,这个数值也用作所有标准试验程序和文件检查以及系统试验结果的交叉参考。

检查和试验计划也应包含所有要求的负荷水平和负荷变化即期望的有效短路水平(ESCR)。

最终确定试验程序表前,应和有关各方充分讨论每项试验的程序。

各方均应同意所有的检查和试验计划,并具有充分的时间进行试验安排。也应提前讨论万一发生的故障及由此临时增加的测量。

#### 8.5 系统试验程序

系统试验程序将系统试验进行了列表。它协调规定和调度方的要求:

- a) 试验前条件包括环境、交流系统接线方式和发电计划;
- b) 选择的试验前条件(控制位置、控制模式、控制水平和能量转换模式);
- c) 开始和最终的 HVDC 系统结构;
- d) 能量方向;
- e) 功率水平、持续时间和斜率。

对于每个单独试验、每个换流器端子、负荷调度中心、受影响的分站或发电站以及发生故障或短路的试验位置,系统试验程序应确定试验班组和试验主管。

试验计划应有合适的检查点以检查辅助设备和火灾保护的保护状态。

试验进行前应及时请求获得运行方的最终认可。

计划试验持续时间应具有适当的时间裕度,允许出现偶然情况。由于系统试验对 HVDC 和连接交流系统主要产生高电位干扰,所以应考虑不要在送电高峰时间进行试验。

交流系统配置应具有足够负荷裕度以支撑整个 HVDC 甩负荷。

假如安排分段故障试验,专业人员应提供足够的预防措施和支持,包括交流系统故障影响研究。

#### 8.6 各项试验的试验程序

各单项试验的试验程序以及指令由试验班组决定。

满足试验前条件,确定系统研究和规范或非现场试验参考。

试验目的、程序和接收判据表明了每个特定试验的实际性能。

试验程序也列出了要用的试验设备和要进行的测量以及正确的测量点。通过使用数字化系统对系统试验结果文件的交叉参考进行鉴定。同样的数字化系统也包括试验程序和检查、试验计划的应用。

试验程序是专门为工程编制,描述通用试验分类的报告,应包含全部的索引内容。



## 8.7 系统试验结果文件

系统试验结果文件应由以下部分组成:描述每个试验系列的结果的试运行报告、连同试验结果、站记录器的数据采集追踪和数据捕获、事件记录器打印输出程序、报警打印输出和其他特殊结果。

失败的试验应记录于失败报告中,报告中应有试验数量和失败原因的描述。制造方应在同一失败报告中简要阐述对出现问题的修正,并明确系统已准备好对失败的试验进行重复试验。在文件中所有适用部分根据适当的质量保证程序对所有的修改正式标注。

在偏差报告中应提供详细的修改描述。为了跟踪失败试验的状态应保存一个数据库,显示每个试验的状态(新的、修改过、重复试验、通过、再次试验)。

应保存与试运行相关的设备停电、故障和诊断试验结果记录。

在提交试运行报告前,试验班组应突出显示任一试验结果的任一特别的事件。

所有的系统试验结果应做好参考单项试验的索引。

## 8.8 偏差报告

偏差报告组成部分试运行报告,带有修改的详细描述,参考特定的试验和试验结果。

应包括完成的修改讨论以作进一步参考。

---





中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准

高压直流设施的系统试验

GB/T 30423—2013/IEC 61975:2010

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.gb168.cn](http://www.gb168.cn)

服务热线: 400-168-0010

010-68522006

2014年5月第一版

\*

书号: 155066 · 1-48885

版权专有 侵权必究



GB/T 30423-2013