

## 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1981.1 — 2019

---

### 统一潮流控制器 第 1 部分：功能规范

Unified power flow controller  
— Part 1: function specifications

2019-06-04 发布

2019-10-01 实施

---

国家能源局 发布

## 目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 UPFC 构成	5
5 功能要求	7
6 成套系统性能要求	10
7 部件及子系统配合要求	14
8 试验验证要求	18
附录 A (资料性附录) UPFC 运行方式	21

## 前 言

随着电网负荷水平不断增长，为解决潮流灵活控制的难题，统一潮流控制器（UPFC）将在电网中得到不断应用。DL/T 1981—2019《统一潮流控制器》分为12个部分：

- 第1部分：功能规范
- 第2部分：系统设计导则
- 第3部分：控制保护系统技术规范
- 第4部分：换流器技术规范
- 第5部分：串联变压器技术规范
- 第6部分：旁路装置技术规范
- 第7部分：测量装置技术规范
- 第8部分：电气装置安装工程施工及验收规范
- 第9部分：交接试验规程
- 第10部分：系统试验规程
- 第11部分：调度运行规程
- 第12部分：设备检修试验规程

随着UPFC相关技术的不断发展，DL/T 1981—2019《统一潮流控制器》所包含的部分有可能进行相应的补充或扩展。

本部分是DL/T 1981—2019《统一潮流控制器》的第1部分。

DL/T 1981—2019的本部分按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准的附录A为资料性附录。

本部分由中国电力企业联合会提出。

本部分由电力行业电能质量及柔性输电标准化技术委员会（DL/TC 40）归口。

本部分起草单位：国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、南京南瑞继保电气有限公司、全球能源互联网研究院有限公司、中国电力科学研究院有限公司、国网江苏省电力有限公司经济技术研究院、中电普瑞科技有限公司、国网江苏省电力有限公司南京供电分公司、国网上海市电力公司电力科学研究院、国网山东省电力有限公司电力科学研究院、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、国网甘肃省电力有限公司电力科学研究院、杭州佰盟智能开关有限公司、北京四方继保自动化股份有限公司。

本部分主要起草人：李群、刘建坤、李鹏、潘磊、申旭辉、乔光尧、谢珍建、陆振纲、鲍伟、韩亚楠、孙树敏、王轩、杨光、蔡德福、胡群荣、智勇、刘树。

本部分在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 统一潮流控制器

## 第 1 部分：功能规范

### 1 范围

本部分规定了统一潮流控制器（UPFC）的系统构成、功能、成套系统性能、部件及子系统配合、试验验证等要求。

本部分适用于 220kV 及以上电压等级电网中使用的 UPFC，其他电压等级的 UPFC 可参照执行。

### 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 311.1 绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则
- GB/T 1094.1—2013 电力变压器 第 1 部分：总则
- GB/T 1094.5 电力变压器 第 5 部分：承受短路的能力
- GB/T 3222.2 声学 环境噪声的描述、测量与评价 第 2 部分：环境噪声级测定
- GB/T 4824 工业、科学和医疗（ISM）射频设备 骚扰特性 限值和测量方法
- GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差
- GB/T 12326 电能质量 电压波动与闪变
- GB/T 13498 高压直流输电术语
- GB/T 14549 电能质量 公共电网谐波
- GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
- GB/T 20989 高压直流换流站损耗的确定
- GB/T 22390.1 高压直流输电系统控制与保护设备 第 1 部分：运行人员控制系统
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 26216.1 高压直流输电系统直流电流测量装置 第 1 部分：电子式直流电流测量装置
- GB/T 26217 高压直流输电系统直流电压测量装置
- GB/T 30425 高压直流输电换流阀水冷却设备
- GB/T 30553—2014 基于电压源换流器的高压直流输电
- GB/T 35702.1 高压直流系统用电压源换流器阀损耗 第 1 部分：一般要求
- GB/T 35702.2 高压直流系统用电压源换流器阀损耗 第 2 部分：模块化多电平换流器
- DL/T 272 220kV~750kV 油浸式电力变压器使用技术条件
- DL/T 837 输变电设施可靠性评价规程
- DL/T 995 继电保护和电网安全自动装置检验规程
- DL/T 1129 直流换流站二次电气设备交接试验规程
- DL/T 1193—2012 柔性输电术语

### 3 术语和定义

GB/T 13498、GB/T 30553—2014 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**统一潮流控制器 unified power flow controller; UPFC**

将两个（或多个）共用直流母线的电压源换流器分别以并联和串联的方式接入输电系统中，通过调节线路等效阻抗、电压幅值和相角，实现潮流控制的装置。

3.2

**静止同步补偿器 static synchronous compensator; STATCOM**

一种由并联接入系统的电压源换流器构成，其输出的容性或感性无功电流连续可调且在可运行系统电压范围内与系统电压无关的无功功率补偿装置。

注：改写 DL/T 1193—2012，定义 4.1.2。

3.3

**静止同步串联补偿器 static synchronous series compensator; SSSC**

将电压源换流器串接于输电线路中，以连续快速控制线路等效阻抗的装置。

[DL/T 1193—2012，定义 4.1.5]

3.4

**换流器 converter**

能实现完整换流功能的电气装置。

[DL/T 1193—2012，定义 3.3.4]

3.5

**电压源换流器 voltage source converter; VSC**

由可关断器件实现换流功能，直流侧储能元件为电容器的换流器。

[DL/T 1193—2012，定义 3.3.8]

3.6

**模块化多电平换流器 modular multilevel converter; MMC**

每个 VSC 阀由一定数量的独立单相电压源换流器串联组成的多电平换流器。

[GB/T 30553—2014，定义 3.4.7]

3.7

**桥臂 converter arm**

换流电路的一个部分，连接在交、直流端子之间，具有单向或双向导电能力。

[DL/T 1193—2012，定义 3.3.5]

3.8

**功率单元 power unit**

由功率电力电子器件及相应二极管、辅助设备、控制电路等按一定功能组合封装的基本功能单元。

3.9

**模块化多电平换流器型统一潮流控制器 MMC based UPFC; MMC-UPFC**

采用模块化多电平换流器的统一潮流控制器。

3.10

**联结变压器 connection transformer**

**接口变压器 interface transformer**

连接于电压源换流器和交流电网之间，在电压源换流器与交流电网间传输电能的变压器。在 UPFC 中，包括并联变压器和串联变压器。

3.11

**并联变压器 shunt transformer**

具有两个或两个以上绕组，并联接入交流电网运行的变压器。

## 3.12

**串联变压器 series transformer**

具有一个与线路串联以改变线路电压值和（或）相位的串联绕组及一个励磁绕组的变压器。

注 1：改写 GB/T 1094.1—2013，定义 3.1.3。

注 2：在 UPFC 中应用时，串联变压器网侧绕组为串联绕组，阀侧绕组为励磁绕组。

## 3.13

**阀侧绕组 valve side winding**

与换流器直接相连的绕组。

## 3.14

**网侧绕组 grid side winding**

与电网直接相连的绕组。

[DL/T 1193—2012，定义 4.5.8]

## 3.15

**平衡绕组 balancing winding****稳定绕组 stabilizing winding**

在星形-星形联结、星形-曲折形联结的变压器中，用来减小零序阻抗的三角形联结的辅助绕组。

注 1：改写 GB/T 1094.1—2013，定义 3.3.8。

注 2：在 UPFC 中应用时，串联变压器阀侧绕组采用星形联结，需配置平衡绕组。

## 3.16

**启动回路 start circuit**

串联在交流系统与电压源换流器之间，用于抑制换流器充电过程中暂态电流的回路。一般由电阻及其旁路装置组成，在换流器充电过程结束后将电阻旁路。

## 3.17

**晶闸管旁路开关 thyristor bypass switch; TBS**

由正反向并联晶闸管、限流电抗器及其附属设备构成的电力电子开关。它与被保护设备并联，用来旁路被保护设备，具有快速触发导通、短时承受被保护设备故障电流的能力。

## 3.18

**机械旁路开关 mechanical bypass switch****旁路断路器 bypass breaker**

一种专用的开关，要求其具有快速合闸能力，用来旁路串联型补偿设备，是线路串联型补偿设备投入和退出运行的主要操作设备。

## 3.19

**快速旁路系统 fast bypass system**

由 TBS 和机械旁路开关配合组成的旁路系统，旁路（触发）命令发出后，TBS 快速触发导通旁路被保护设备，由 TBS 短时承受原流经被保护设备的电流，随后机械旁路开关合闸持续承受被保护设备的电流，TBS 停止触发且电流过零关断。

## 3.20

**阀电抗器 converter valve reactor**

与换流阀连接，用于抑制换流阀输出谐波电流、限制暂态和故障电流等的电抗器。

## 3.21

**多端 UPFC multi-terminal UPFC**

由三组及以上电压源换流器直流侧背靠背连接，用于调节双回或多回线路功率的 UPFC。

## 3.22

**单回线路 UPFC single-circuit UPFC**

安装在单回线路上的 UPFC。

## 3.23

**多回线路 UPFC multi-circuit UPFC**

安装在双回或多回线路上的 UPFC，可由多端 UPFC 或多个单回线路 UPFC 构成。

## 3.24

**UPFC 运行方式 UPFC operation mode**

UPFC 串联侧、并联侧均接入系统运行，且并联换流器与串联换流器直流侧连接的运行方式，可同时控制并联侧接入点无功功率或电压及串联侧线路功率，参见附录 A 图 A.1。

## 3.25

**STATCOM 运行方式 STATCOM operation mode**

UPFC 并联侧单独接入系统运行，串联侧旁路，且并联换流器与串联换流器直流侧隔离的运行方式，可用于控制并联侧无功功率或电压，参见附录 A 图 A.2。

## 3.26

**SSSC 运行方式 SSSC operation mode**

UPFC 串联侧单独接入系统运行，且串联换流器与并联换流器直流侧隔离的运行方式，可用于控制线路有功功率，参见附录 A 图 A.3。

## 3.27

**潮流跟随控制 power flow following control**

串联换流器控制产生固定的阀侧电压或者注入线路电压，线路功率会随电网运行状态变化而波动，此时 UPFC 的串联侧处于线路潮流跟随状态。

## 3.28

**故障穿越 fault ride-through**

电网发生故障情况下不脱离电网而继续维持运行，支撑电网直至故障恢复。

## 3.29

**动态响应指标 dynamic response index**

系统动态响应指标包括：响应时间、稳定时间、超调量，如图 1 所示。

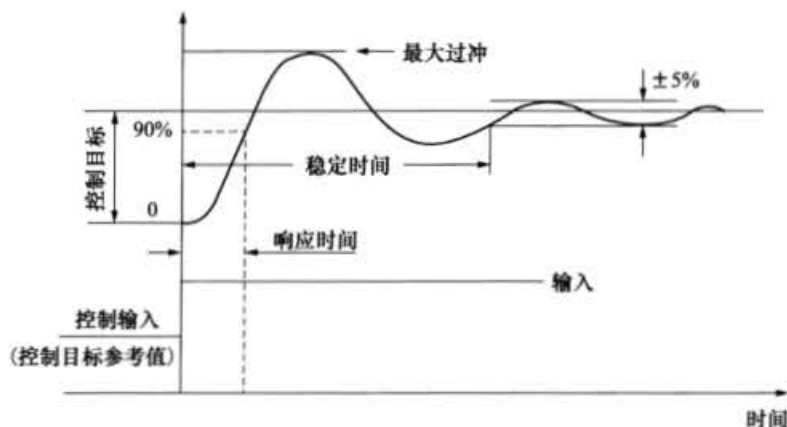


图 1 动态响应指标示意图

## 3.29.1

**响应时间 response time**

当输入阶跃控制信号后，输出电气量从 0 目标值达到 90% 目标值所用的时间，且期间未产生过冲。

注：改写 DL/T 1193—2012，定义 3.5.14。

### 3.29.2

#### 稳定时间 settling time

当输入阶跃控制信号后，输出电气量达到目标值的 $\pm 5\%$ 范围内所用的时间。

注：改写 DL/T 1193—2012，定义 3.5.15。

### 3.29.3

#### 超调量 overshoot

当输入阶跃控制信号后，输出电气量超出稳态值的最大过冲（最大偏移量）与阶跃量之比。

### 3.30

#### UPFC 损耗 UPFC losses

UPFC 在运行状态下的损耗，主要包括：换流器损耗、联结变压器损耗以及水泵、风机、加热等辅助系统损耗。

### 3.31

#### 换流器损耗 converter losses

换流器损耗由换流阀损耗和阀电抗器损耗组成，其中，换流阀损耗主要包括：功率单元通态损耗和开关损耗，功率单元直流电容器、分压器和阻尼电路、门极驱动单元等设备的损耗。

## 4 UPFC 构成

### 4.1 UPFC 典型结构及主要设备

#### 4.1.1 UPFC 典型结构

UPFC 典型结构如图 2 所示，主要由串联侧、并联侧及控制保护系统组成，其中：

a) 串联侧主要包括：串联换流器（含阀电抗器）、串联变压器及快速旁路系统；

b) 并联侧主要包括：并联换流器（含阀电抗器）、并联变压器及启动回路。

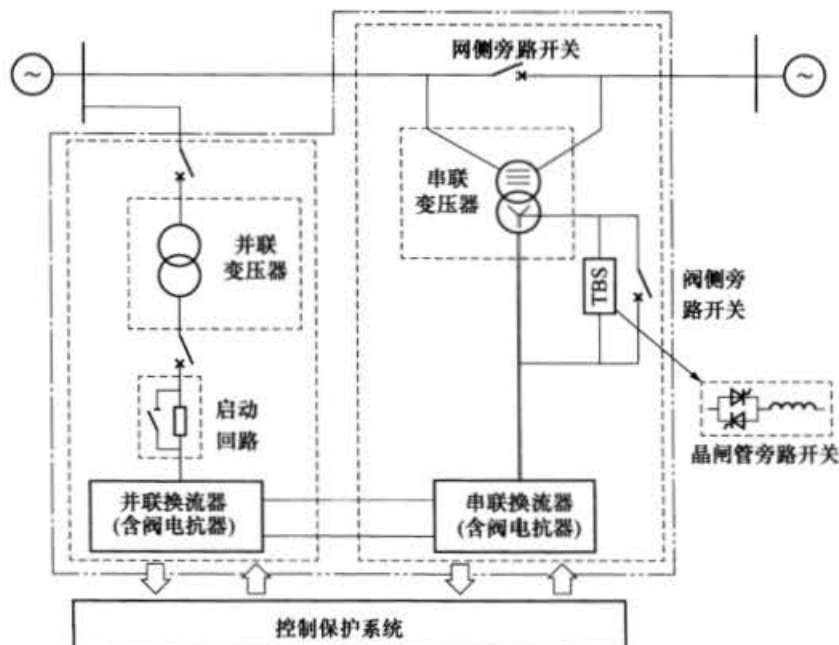


图 2 UPFC 典型结构图

#### 4.1.2 UPFC 主要设备

UPFC 应包括以下主要设备：



- a) 换流器及冷却系统;
- b) 串联变压器;
- c) 并联变压器;
- d) 快速旁路系统: 晶闸管旁路开关 (TBS)、机械旁路开关 (包括网侧旁路开关和阀侧旁路开关);
- e) 启动回路;
- f) 控制保护系统。

## 4.2 UPFC 典型接线

### 4.2.1 单回线路 UPFC 典型接线

单回线路 UPFC 典型接线如图 3 所示。

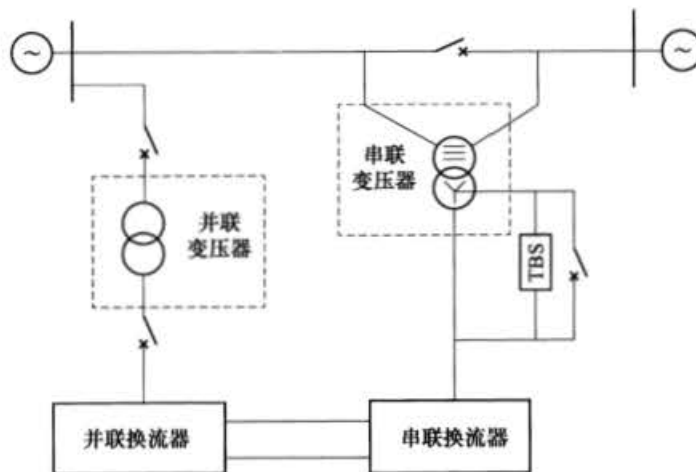


图 3 单回线路 UPFC 典型接线图

### 4.2.2 多回线路 UPFC 典型接线

以双回线路 UPFC 为例, 采用多端 UPFC 结构的双回线路 UPFC 典型接线如图 4 所示。

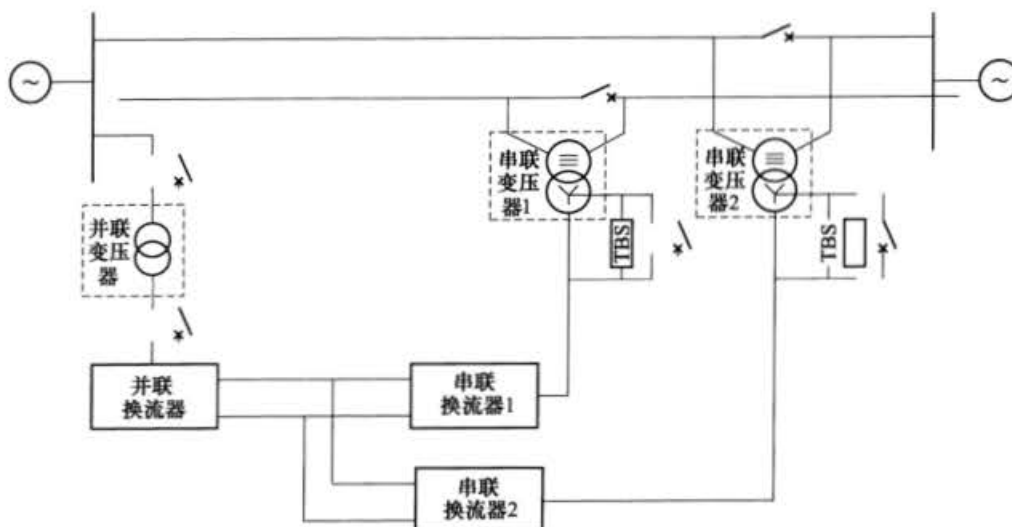


图 4 双回线路 UPFC 典型接线 (三端 UPFC) 图

采用两个单回线路 UPFC 结构的双回线路 UPFC 典型接线如图 5 所示。

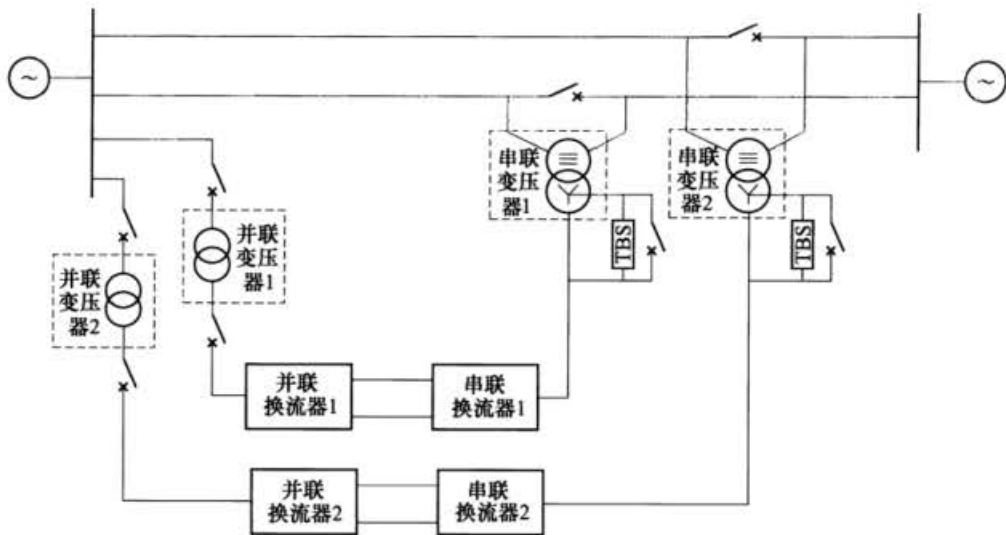


图 5 双回线路 UPFC 典型接线（两个单回线路 UPFC）图

## 5 功能要求

### 5.1 运行方式

#### 5.1.1 UPFC 运行方式

UPFC 运行方式接线示意图参见附录 A 中图 A.1，该运行方式应满足以下要求：

- 设定线路有功功率、无功功率参考值及升降速率，通过自动控制串联换流器的输出电压，使线路功率运行在参考值；
- 设定 UPFC 并联侧接入系统电压或注入系统无功功率参考值及升降速率，通过自动控制并联换流器的注入电流，使 UPFC 并联侧接入点电压满足电压控制要求，或注入无功功率满足无功控制要求；
- 串联侧功率控制与并联侧电压或无功功率控制之间应协调考虑，满足电网和 UPFC 设备的安全可靠运行要求；
- 多回线路 UPFC 运行时，应协调控制多回线路有功功率、无功功率，避免线路潮流分布不均衡。

#### 5.1.2 STATCOM 运行方式

UPFC 宜具备单独的 STATCOM 运行方式，STATCOM 运行方式接线示意图参见附录 A 中图 A.2，该运行方式下应满足以下要求：

- 设定 UPFC 并联侧接入系统电压或注入系统无功功率参考值及升降速率，通过自动控制并联换流器的注入电流，使 UPFC 并联侧接入点电压满足电压控制要求，或注入无功功率满足无功控制要求；
- 多个换流器运行在 STATCOM 运行方式时，应具备换流器之间的协调控制功能。

#### 5.1.3 SSSC 运行方式

UPFC 可具备单独的 SSSC 运行方式，SSSC 运行方式接线示意图参见附录 A 中图 A.3，该运行方式下应满足以下要求：

- a) 设定线路有功功率参考值及升降速率，通过自动控制串联换流器的输出电压，使线路有功功率运行在参考值；
- b) 多个换流器运行在 SSSC 运行方式时，应具备换流器之间的协调控制功能，避免多回线路潮流分布不均衡。

## 5.2 基本控制功能

### 5.2.1 线路潮流控制

#### 5.2.1.1 线路有功功率控制

UPFC 或 SSSC 运行方式下，控制线路有功功率达到设定的参考值。

#### 5.2.1.2 线路无功功率控制

UPFC 运行方式下，控制线路无功功率达到设定的参考值。

#### 5.2.1.3 线路功率因数控制

UPFC 运行方式下，控制线路有功功率和功率因数达到设定的参考值。

#### 5.2.1.4 串联侧潮流跟随控制

UPFC 宜配置串联侧潮流跟随控制功能；当串联侧处于潮流跟随控制模式时，若系统需要紧急功率控制，UPFC 串联侧应执行紧急功率控制逻辑，在系统恢复正常后，串联侧恢复为潮流跟随控制状态。

### 5.2.2 并联侧无功电压控制

#### 5.2.2.1 交流电压控制

UPFC 或 STATCOM 运行方式下，控制 UPFC 并联侧接入点电压达到设定的参考值。

#### 5.2.2.2 无功功率控制

UPFC 或 STATCOM 运行方式下，控制 UPFC 并联侧注入系统无功功率达到设定的参考值。

### 5.2.3 UPFC 启停控制

UPFC 启停控制功能要求如下：

- a) UPFC 的启动和停运过程应对交流系统无扰动，对 UPFC 设备无冲击；
- b) UPFC 启动时宜将并联侧和串联侧的启动分开进行，先启动并联侧，再启动串联侧；
- c) UPFC 停运时宜将并联侧和串联侧的停运分开进行，先停运串联侧，再停运并联侧。

## 5.3 系统控制功能

### 5.3.1 一般要求

UPFC 系统级控制功能包括：输电断面功率控制、多回线路协调控制、潮流优化控制、电网无功电压自动控制、电网功率紧急控制、电网电压紧急控制等。在实际工程应用中，宜根据电网潮流调控需求配置系统控制功能。

### 5.3.2 输电断面功率控制

5.3.2.1 UPFC 输电断面功率控制实现电网相关输电断面的潮流控制，可根据需求配置断面功率稳态控制、断面功率限制及断面功率紧急控制等功能。

5.3.2.2 输电断面功率控制模式与线路功率控制模式之间应能进行切换，且切换时对电网无扰动。

5.3.2.3 断面功率稳态控制通过控制串联换流器自动调节，使断面功率运行在参考值。

5.3.2.4 输电断面中个别线路故障退出运行时，断面功率控制应能充分利用剩余线路的功率传输能力，同时防止剩余运行线路发生过载。

5.3.2.5 输电断面中个别线路故障退出引起剩余运行线路功率越限时，断面功率紧急控制应在剩余线路过负荷运行时间限制或电网调度部门要求的时间内将断面线路功率降至限额之内。

### 5.3.3 多回线路协调控制

多回线路 UPFC 协调控制功能要求如下：

- a) 多回线路应用 UPFC 时，应具备多回线路功率协调控制功能，包括线路有功功率和无功功率指令分配功能；
- b) 多回线路应用 UPFC 时，在部分线路发生故障退出后，应具备其他正常运行线路 UPFC 对故障线路功率转带的功能；
- c) 功率转带应能在工程技术要求的时间内完成，功率转带过程不能对电网造成冲击。

### 5.3.4 潮流优化控制

电网正常运行时，UPFC 接收电网调度控制指令，通过调节被控线路的功率改变电网潮流分布，实现电网潮流优化控制。

### 5.3.5 电网无功电压自动控制

通过接收电网自动电压控制主站控制指令（无功功率或电压参考值），实现并联侧接入点电压或无功功率的自动优化控制。

### 5.3.6 电网功率紧急控制

电网故障时，UPFC 功率紧急控制功能应按照既定策略实现被控线路功率紧急调节，防止设备或线路发生电流或功率越限，同时尽可能减少功率传输损失。

### 5.3.7 电网电压紧急控制

电网故障时，UPFC 可通过无功电压紧急控制对电网提供动态无功电压支撑与调节。

## 5.4 故障穿越控制

### 5.4.1 串联侧故障穿越控制

UPFC 串联侧故障穿越控制功能要求如下：

- a) 交流系统故障时，应优先通过 UPFC 控制保证串联换流器持续运行；
- b) 交流系统故障时，若串联换流器的电流超过其承受能力，串联换流器应暂时退出运行，并在电网故障清除后自动重新投入运行，投入过程对系统无冲击，且从退出到再投入的时间应小于被控线路短时过负荷或越限运行时间，并留有一定的裕度。

### 5.4.2 并联侧故障穿越控制

交流系统故障时，UPFC 应通过控制尽量维持并联换流器运行。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/416241052122010033>