

ICS 29.240.01  
CCS K 81

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1981.4—2021

---

## 统一潮流控制器 第 4 部分：换流器技术规范

Unified power flow controller  
— Part 4: Technical specification of converters

2021-12-22 发布

2022-06-22 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	2
4 换流器使用条件	3
5 换流器的组成	4
6 换流阀技术要求	6
7 阀基控制设备技术要求	9
8 阀内冷却系统技术要求	11
9 阀电抗器技术要求	11
10 换流器试验	12
11 铭牌	14
附录 A (资料性) 拓扑结构	15

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 DL/T 1981《统一潮流控制器》的第4部分。DL/T 1981已经发布了以下部分：

- 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。

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专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件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。

本文件起草单位：全球能源互联网研究院有限公司、中国南方电网超高压输电公司检修试验中心、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、国网上海市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、思源清能电气电子有限公司、国网河北省电力公司电力科学研究院、中电普瑞科技有限公司、中电普瑞电力工程有限公司、国家电网有限公司、国网山东省电力公司潍坊供电公司、国网冀北电力有限公司经济技术研究院。

本文件主要起草人：李卫国、乔光尧、池浦田、燕翠、鲍伟、史明明、朱铭炼、陈少兵、闻福岳、杨志兵、郭捷、唐金昆、沈卫东、高杨。

本文件为首次发布。

本文件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 4 部分：换流器技术规范

### 1 范围

本文件规定了统一潮流控制器用换流器的使用条件、组成、换流阀技术要求、阀基控制设备技术要求、阀内冷却系统技术要求、阀电抗器技术要求、换流器试验和铭牌等。

本文件适用于采用水冷却、空气绝缘、户内安装的模块化多电平统一潮流控制器的电压源换流器，其他拓扑结构的电压源换流器可参照执行。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.10 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.18 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验
- GB/T 20840.8 互感器 第 8 部分：电子式电流互感器
- GB/T 30425—2013 高压直流输电换流阀水冷却设备
- GB/T 34118—2017 高压直流系统用电压源换流器术语
- GB/T 34139—2017 柔性直流输电换流器技术规范
- GB/T 36956 柔性直流输电用电压源换流器阀基控制设备试验
- GB/T 37008 柔性直流输电用电抗器技术规范
- GB/T 37010—2018 柔性直流输电换流阀技术规范
- DL/T 1193—2012 柔性输电术语
- DL/T 1513 柔性直流输电用电压源型换流阀电气试验
- DL/T 1981.1—2019 统一潮流控制器 第 1 部分：功能规范
- IEC 62501 Voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission—Electrical testing
- IEC 62747 Terminology for voltage-sourced converters (VSC) for high-voltage direct current (HVDC) systems
- UL 94 Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances

### 3 术语和定义

GB/T 13498、GB/T 34118、DL/T 1193、DL/T 1981.1 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。

[来源：DL/T 1981.1—2019, 3.1]

#### 3.2

**换流器 converter**

能够实现完整换流功能的电气装置。

[来源：DL/T 1193—2012, 3.3.4]

#### 3.3

**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。

[来源：DL/T 1193—2012, 3.3.8]

#### 3.4

**电压源换流阀 VSC valve**

完整的可控电压源装置，通常连接于一个交流端子与一个直流端子之间。

[来源：GB/T 34118—2017, 7.9]

#### 3.5

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

每个电压源换流器由若干个模块化多电平换流器标准组件串联组成的多电平换流器。

[来源：GB/T 34118—2017, 6.4]

#### 3.6

**并联换流器 shunt converter**

交流端口通过并联变压器或直接接入交流系统的换流器。

#### 3.7

**串联换流器 series converter**

交流端口通过串联变压器接入交流线路的换流器。

#### 3.8

**阀基控制设备 valve base controller, VBC**

处于地电位的电子设备，用于在换流器控制系统和电压源换流器阀之间进行光电转换。

[来源：GB/T 34118—2017, 12.9]

#### 3.9

**阀内冷却系统 valve inner cooling system**

从阀的进水口到阀的出水口这部分的管路及散热器件。

#### 3.10

**子模块 sub-module, SM**

模块化多电平换流器的最小换流电路单元，由直流电容、若干个绝缘栅双极型晶体管（IGBT）-二极管对以及相应的控制板卡等组成。

#### 3.11

**阀段 valve section**

由若干个子模块和其他部件构成的用于测试目的的电气组合，按比例呈现完整阀的电气性能。

注：对于可控电压源型阀，阀段应包括电压源换流器阀级及其直流电容器。

### 3.12

#### 阀塔 valve tower

阀塔由若干个阀组件串联组成，采用独立的支撑/悬吊结构。

[来源：GB/T 34139—2017，6.3.4]

### 3.13

#### 阀支架 valve support

对阀安装起机械支撑和对地电位起电气绝缘作用的部件。

注：阀的一部分，在所有的阀设计中可以清楚地分辨出阀支架，并非所有的阀结构都含有阀支架。

[来源：GB/T 34118—2017，7.25]

### 3.14

#### 冗余度 redundancy

在单个桥臂中，串联连接的模块化多电平换流器子模块的冗余数与满足耐受规定试验电压要求的子模块最少串联数量之比。串联连接的模块化多电平换流器子模块的冗余度计算公式见公式（1）：

$$F_r = N_r / (N_t - N_r) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$F_r$ ——单个桥臂中，串联连接的模块化多电平换流器子模块的冗余度；

$N_r$ ——单个桥臂中，串联连接的模块化多电平换流器子模块的冗余数；

$N_t$ ——单个桥臂中，串联连接的模块化多电平换流器子模块总数。

## 4 换流器使用条件

### 4.1 正常使用条件

#### 4.1.1 换流阀使用条件

换流阀的设计和使用应考虑的环境条件包括以下几个方面：

- a) 海拔：≤1000 m；
- b) 环境温度：10℃～50℃（户内）；
- c) 相对湿度：≤60%；
- d) 污秽等级：I级；
- e) 地震烈度：7级；
- f) 阀厅气压保持微正压，带通风和空调；无导电或爆炸性尘埃，无腐蚀金属或破坏绝缘的气体或蒸汽。

#### 4.1.2 阀基控制设备使用条件

VBC的设计和使用应考虑的环境条件包括以下几个方面：

- a) 海拔：≤1000 m；
- b) 环境温度：5℃～45℃（户内）；
- c) 相对湿度：≤75%；
- d) 污秽等级：II级；
- e) 地震烈度：7级。

### 4.2 特殊使用条件

使用条件超出4.1的规定时，应在工程技术规范中提出，制造商在设计时充分考虑。

## 5 换流器的组成

### 5.1 换流器典型接线

换流器在 UPFC 中的典型接线见图 1。

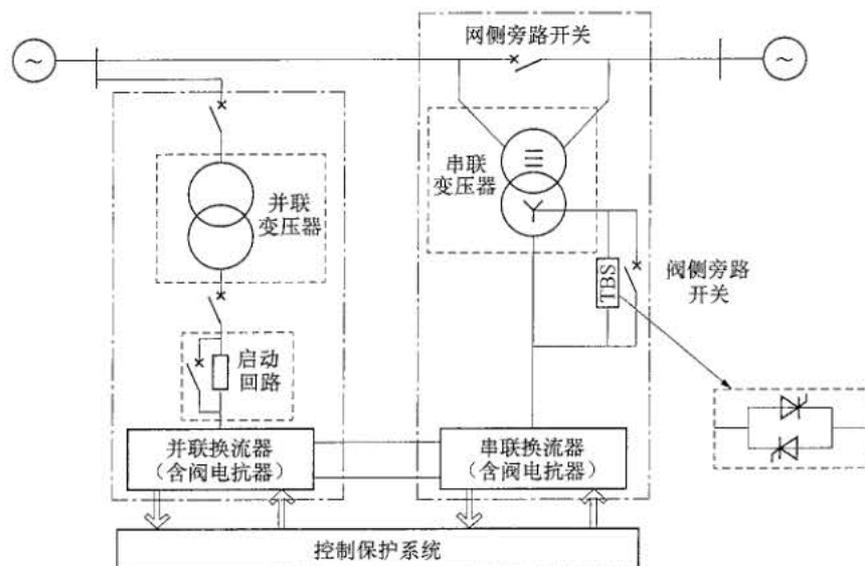


图 1 UPFC 中换流器典型接线图

UPFC 换流器由换流阀、阀内冷却系统、阀电抗器、阀基控制设备等组成，UPFC 换流器的典型结构见附录 A.1 所示。

### 5.2 换流阀

#### 5.2.1 并联侧换流阀

##### 5.2.1.1 概述

并联侧换流阀的交流侧通过阀电抗器接入站内母线或者并联变压器，直流侧与串联侧换流阀背靠背相连。

##### 5.2.1.2 子模块

子模块为最小换流电路单元，有半桥式、全桥式等拓扑结构形式，宜配置旁路开关，具备完整的交流-直流变换功能。半桥式模块化多电平换流器子模块的典型拓扑结构见图 A.2。

##### 5.2.1.3 阀段

阀段由若干个相同的子模块串联组成，每个阀段承受的电压为子模块的数量乘以每个子模块的工作电压。

##### 5.2.1.4 阀塔

阀塔由若干个阀段串联组成，采用独立的支撑/悬吊结构。

### 5.2.1.5 阀

阀由若干个阀塔串联组成。

### 5.2.1.6 桥臂

桥臂由阀与阀电抗器串联组成。桥臂的拓扑结构图见图 A.3。

### 5.2.1.7 相单元

与直流母线和同一个交流端子连接的两个桥臂构成一个相单元，相单元的拓扑结构见图 A.3。

## 5.2.2 串联侧换流阀

串联侧换流阀的交流侧通过阀电抗器接入串联变压器，直流侧与并联侧换流阀背靠背相连。串联侧换流阀的组成同并联侧换流阀。

## 5.3 阀基控制设备

### 5.3.1 阀基控制设备组成

VBC 连接控制保护设备与换流阀设备，主要包括桥臂电流控制单元、桥臂控制单元、阀状态监视单元、阀基监视上位机设备等几个部分。

### 5.3.2 阀基控制设备系统架构

VBC 应采取双冗余配置，双系统独立运行、互为热备用，且双系统独立供电。一套为主系统，另一套为从系统，根据控制保护系统的主从信号进行主从切换。VBC 架构示意图见图 2。

### 5.3.3 桥臂电流控制单元

桥臂电流控制单元完成环流控制算法，计算各桥臂参考电压值，实现阀的过流保护功能。

### 5.3.4 桥臂控制单元

桥臂控制单元完成各子模块电容电压平衡控制以及下发子模块的控制保护命令，接收子模块的回报信息。

### 5.3.5 阀状态监视单元

阀状态监视单元完成对子模块和阀基控制设备中各单元的信息反馈，包括换流阀的运行状态信息、实时事件、历史事件、录波信息等，并通过人机交互界面展现给操作人员。

## 5.4 阀内冷却系统

阀冷却系统是阀的重要组成部分，分为内冷却系统和外冷却系统。内冷却系统又称为一次循环水系统，主要用来吸收功率器件及其辅助元件产生的热量。外冷却系统的主要功能是对一次循环水系统进行冷却。

## 5.5 阀电抗器

阀电抗器位于换流器桥臂上，串接与换流阀与系统之间，主要起到抑制换流器输出谐波电流以及限制暂态过程和故障电流作用，阀电抗器主要分为干式空心电抗器。

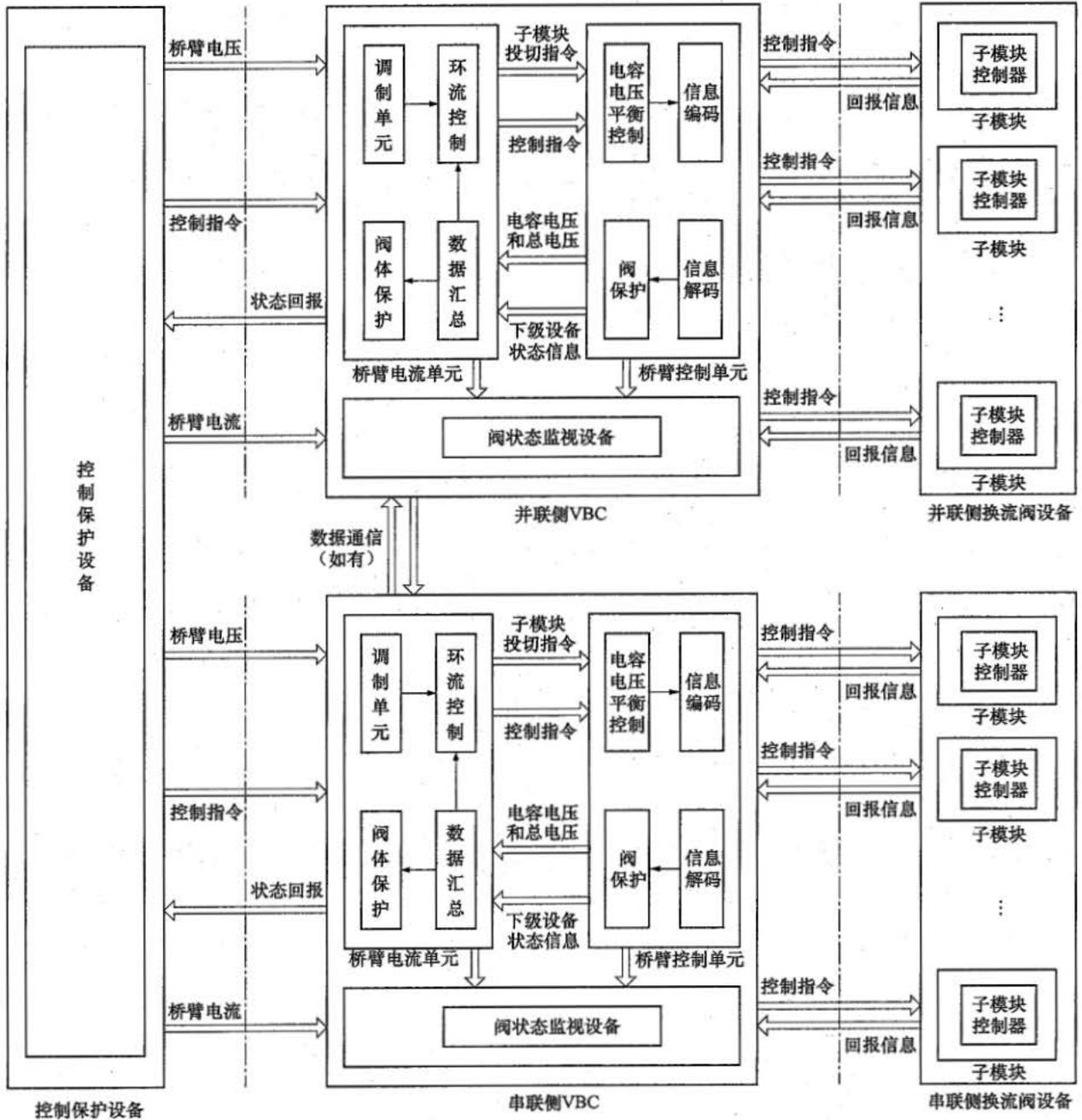


图2 VBC架构示意图

## 6 换流阀技术要求

### 6.1 基本要求

#### 6.1.1 概述

换流阀应满足统一潮流控制器功能规范的要求，应能承受由于误触发或站内故障（或系统故障）引起的电气应力。在规定的运行周期和冗余范围内，应保证换流阀在某些部件发生故障或损坏时，仍具有正常的运行能力。

### 6.1.2 条件和要素

换流阀设计时应考虑以下要素和条件（但不限于）：

- a) 换流阀组成元件的类型和数量，包括电力电子器件、储能元件等。
- b) 阀塔类型。
- c) 电压应力，包括正常运行电压以及各种可能出现的过电压。
- d) 电流应力，包括额定电流、过负荷电流（如有）及各种暂态冲击电流。
- e) 子模块采用的触发方式。
- f) 子模块应设计成可独立控制或隔离型。
- g) 换流阀的子模块冗余度不应小于 5%。
- h) 交流系统故障时，串联换流阀子模块旁路开关不宜动作。
- i) 系统启动时，串联换流阀的直流侧充电保持时间应满足 UPFC 系统启动要求。
- j) 串联换流阀应能稳定工作在系统要求的低调制比状态。
- k) 机械性能应满足静态载荷和抗震要求。

## 6.2 电气技术要求

### 6.2.1 电压耐受技术要求

换流阀电压耐受能力应满足下列要求：

- a) 换流阀的绝缘设计应考虑换流阀和阀支架耐受交流电压、直流电压、操作冲击电压、雷电冲击电压、陡波前冲击电压的能力，并满足标准 IEC 62501 的规定。
- b) 应结合工程实际情况，考虑适当的绝缘裕度系数，应在所有冗余模块都损坏的情况下，确定换流阀的绝缘裕度；换流阀内各点的绝缘应具有以下安全系数：
  - 1) 对于操作冲击电压，超过避雷器保护水平的 15%。
  - 2) 对于雷电冲击电压，超过避雷器保护水平的 15%。
  - 3) 对于陡波头冲击电压，超过避雷器保护水平的 20%。
- c) 换流阀过电压能力设计应考虑足够的安全系数范围，且承受各种过电压的要求。安全系数的确定需考虑串联的子模块的电压不均匀分布、过电压保护水平的分散性，以及换流阀内其他因素（如寄生参数）对换流阀电压耐受能力的影响。换流阀触发系统在冲击过电压的干扰下应能正确动作，并能使换流阀在较高的过电压情况下触发而不发生损坏。

### 6.2.2 电流耐受技术要求

换流阀电流耐受能力应满足下列要求：

- a) 换流阀的电流耐受能力应考虑换流阀的部件（可关断阀器件、电容器等）承受正常运行电流和暂态过电流的水平，包括幅值、持续时间、周期数、电流上升率等，同时还应考虑足够的安全裕度。
- b) 换流阀暂态过电流的确定，应考虑故障类型、交流系统短路容量、直流系统电压、子模块的数量和电容值、阀电抗值、串联变压器和并联变压器的短路阻抗等因素；故障类型应包括交流系统故障（三相短路、相间短路及接地故障）和直流系统故障（极间短路、桥臂短路及接地故障）等。
- c) 换流阀的设计应考虑暂态过电流超过换流阀部件（功率器件、电容器等）的过电流耐受能力的工况。例如：当桥臂不经过阀电抗器直接短路时，相当于电容器经故障回路放电，若未采取措施，将会产生幅值非常大的暂态过电流，并对换流阀造成破坏。

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/476241124122010033>