

团 体 标 准

T/CSEE 0277—2021

有源低压直流配电系统 保护与配合设计规范

Specification for protection and coordination design of
active low voltage DC distribution system



2021-09-17 发布

2021-12-01 实施

中国电机工程学会 发布

团 体 标 准
有源低压直流配电系统
保护与配合设计规范
T/CSEE 0277—2021

*

中国电力出版社出版、印刷、发行

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

*

2022年6月第一版 2022年6月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 28千字

*

统一书号 155198·4167 定价 19.00元

版权专有 侵权必究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.4167

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 有源低压直流配电系统	2
4.1 基本组成	2
4.2 接线方式与接地方式	3
5 设备输出的短路电流	3
5.1 变流器输出的短路电流	3
5.2 直流电源输出的短路电流	4
6 继电保护	4
6.1 一般规定	4
6.2 变流器的保护	5
6.3 母线的保护	5
6.4 电源分支线的保护	5
6.5 负荷分支线的保护	5
7 安全防护措施	6
7.1 一般安全防护要求	6
7.2 对地绝缘检测装置的配置	6
7.3 剩余电流检测或保护装置的配置及要求	6
7.4 电弧保护的配置及要求	6
8 冲击电流的校验	7
8.1 合闸冲击校验	7
8.2 短路冲击电流校验	7
附录 A (资料性) 有源低压直流配电系统典型拓扑结构	8
附录 B (资料性) 有源低压直流配电系统的接地方式与接线方式	10

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据 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。

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。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会直流输电与电力电子专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：深圳供电局有限公司、浙江大学、北京交通大学、西安交通大学、清华大学、深圳永联科技股份有限公司、江苏固德威电源科技有限公司。

本文件主要起草人：王静、赵宇明、刘国伟、徐习东、徐鑫森、童亦斌、吴学智、唐芬、李兴文、陈思磊、孟羽、赵彪、李建国、朱建国、张金磊、黄亚标、方刚、刘韬。

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机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

有源低压直流配电系统保护与配合设计规范

1 范围

本文件针对常规的有源低压直流配电系统给出了继电保护应考虑的设备输出短路电流种类、继电保护的配置与配合要求、安全防护的要求以及冲击电流的校验要求等方面内容。

本文件适用于±1000 V 及以下的直流供配电系统。

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 2900.33—2004 电工术语 电力电子技术

GB/T 13539.1—2015 低压熔断器 第1部分：基本要求

GB/T 13870.1—2008 电流对人和家畜的效应 第1部分：通用部分

GB/T 13870.5—2016 电流对人和家畜的效应 第5部分：生理效应的接触电压阈值

GB/T 19964—2012 光伏电站接入电力系统技术规定

GB/Z 34161—2017 智能微电网保护设备技术导则

DL/Z 1697—2017 柔性直流配电系统用电压源换流器技术导则

NB/T 42107—2017 高压直流断路器

3 术语和定义

GB/T 2900.33—2004、NB/T 42107—2017、GB/T 13539.1—2015、GB/Z 34161—2017、GB/T 19964—2012 和 DL/Z 1697—2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变流器 converter

换流器

由一个或多个阀器件连同变压器、滤波器（如有必要）和辅助装置（如有）所组成的运行单元。

[来源：GB/T 2900.33—2004，551-12-01]

3.2

低压变流器 low voltage converter

用于电压等级在 1000 V 及以下的变流器，可无连接变压器。

3.3

机械式直流断路器 mechanical DC circuit-breaker

主通流支路为机械开关装置，转移支路为电感和电容（有源或无源），能量吸收支路为避雷器。

[来源：NB/T 42107—2017，3.1.1]

3.4

低压机械式直流断路器 low voltage mechanical DC circuit-breaker

用于电压等级在 1000 V 及以下的机械式直流断路器，可无能量吸收支路。

3.5

电力电子式直流断路器 power electronic DC circuit-breaker

主通流支路和转移支路是由电力电子元件组成的同一支路，能量吸收支路为避雷器。

[来源：NB/T 42107—2017，3.1.2]

3.6

熔断器 fuse

当电流超过规定值足够长的时间，通过熔断一个或几个成比例的特殊设计的熔体分断此电流，由此断开其所接入的电路的装置。熔断器由形成完整装置的所有部件组成。

[来源：GB/T 13539.1—2015，2.1.1]

3.7

一二次融合的保护装置 protection device of primary and secondary fusion

集成有开断保护功能的保护装置，包括带故障检测功能的电力电子式直流断路器或隔离型变流器、带热脱扣器或磁脱扣器的机械式直流断路器、熔断器等。

3.8

独立的保护装置 independent protection device

通过输出信号或接点控制开断装置的保护装置。

3.9

孤岛 islanding

包含负荷和电源的部分电网，从主网脱离后继续孤立运行的状态。孤岛可分为非计划性孤岛和计划性孤岛。

[来源：GB/Z 34161—2017，3.13]

3.10

低电压穿越 low voltage ride through

当电力系统事故或扰动引起光伏电站并网点电压跌落时，在一定的电压跌落范围和时间间隔内，光伏电站能够保证不脱网连续运行。

[来源：GB/T 19964—2012，3.8]

3.11

直流低电压穿越 DC low voltage ride through

当直流系统短路时，连接直流系统的设备不断开与直流系统的电气连接，进入故障状态下的运行方式。

3.12

直流配电系统 DC distribution system

使用直流实现电能传输与分配的电力网络系统，主要包括电压源换流设备、直流电压变换设备、开关设备、直流线路和控制保护等设备（或子系统），以及其他必要设施。

[来源：DL/Z 1697—2017，3.33]

4 有源低压直流配电系统

4.1 基本组成

有源低压直流配电系统是带分布式电源，并通过变流器连接到交流电网的低压直流配电系统。有源低压直流配电系统宜包含储能装置。正常情况下由交流/直流变流器维持电压稳定，在交流电源消失时具备孤岛运行能力。一个典型的有源低压直流配电系统见附录 A 中的图 A.1（有源低压直流配电系统双极接线拓扑结构）、图 A.2（有源低压直流配电系统单极接线拓扑结构）。

分布式电源直接或经变流器通过电源分支线连到母线上，直流负荷直接或经变流器通过负荷分支线连到母线上，见附录 A。

4.2 接线方式与接地方式

低压直流配电系统宜采用 TN 或 IT 接地方式，见附录 B 中的图 B.1（有源低压直流配电系统单极接线拓扑结构）。

低压直流配电系统宜采用单极或双极接线方式，见附录 B 中的图 B.2（有源低压直流配电系统单极接线拓扑结构）。

4.2.1 IT 接地方式

对于采用 IT 接地方式的直流系统，宜将 M 极（双极接线方式）或 L-（单极接线方式）通过高阻接地。为避免增大电击危险，IT 接地系统的接地电阻不宜太小，可以参考公式（1）进行选择：

$$R \geq \frac{U_n}{25\text{mA}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R ——IT 接地系统接地电阻；

U_n ——系统对地电压。

25 mA 是根据 GB/T 13870.1—2008 和 GB/T 13870.5—2016 确定的长持续时间（10 s）直流电流强烈肌肉反应上限阈值，对于 95% 人群比例，人体接触电流在此限值以下，发生强烈肌肉反应的概率较低。在采用 IT 接地方式和双极接线方式的系统中，不论是单极设备还是双极设备，需依据正极和负极之间的电压差，校核开关和断路器等保护电器的电压开断能力，以电击防护为目的的绝缘耐压要求，也应该按照正极和负极之间的电压差确定。

4.2.2 多电压系统

低压直流配用电系统宜采用单极接线方式，为满足不同类型设备需求，可以采用多个电压等级。包含多个电压等级的单极性系统，各个电压等级应独立配置正极和负极线路，并将负极在电源侧连接在一起，使之处于相同的电位。

在对供电可靠性或电击防护性能要求较高，或是与交流系统（常采用 TN 接地方式）同场敷设的情况下，宜采用 IT 接地方式。

5 设备输出的短路电流

5.1 变流器输出的短路电流

有源低压直流配电系统中的变流器主要分为交流/直流变流器和直流变流器。根据在低电压工况下的工作方式不同，还可以分为带直流低电压穿越的变流器和不带直流低电压穿越的变流器。

当变流器外部发生短路时，不同种类的变流器输出的短路电流差异较大。继电保护主要考虑其输出的以下三种电流：

- a) 短路冲击电流：在短路初始阶段由电容放电产生的短路电流，该电流大小由电容的充电电压、电容值和电容内阻、短路电流流经的线路阻抗和短路过渡电阻决定，为便于计算金属性短路的短路冲击电流，在不确定电容内阻情况下，可采用 0.001Ω 的过渡电阻计算。
- b) 不可控的短路电流：当变流器一端接有电源，另一端短路时，通过变流器的全控型器件无法控制的短路电流，该电流大小由电源电势和内阻、变流器的纵向等效电阻、短路电流流经的线路阻抗和短路过渡电阻决定。

- c) 可控的直流低电压穿越电流：当变流器一端接有电源，另一端短路时，变流器切换为电流源模式，输出的电流大小可预先设定。

5.2 直流电源输出的短路电流

若直流电源不经变流器直接接入直流配电网，其短路电流由电源电势和内阻、短路电流流经的线路阻抗和短路过渡电阻决定。直流电源装置应明确端口短路情况下的等效内电阻。

6 继电保护

6.1 一般规定

6.1.1 保护配置原则

有源低压直流配电系统继电保护与安全防护措施应保证电力系统与电力设备的安全运行。

有源低压直流配电系统保护设备应符合可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求。当确定其配置和构成方式时，应综合考虑以下几个方面，并结合具体情况，处理好上述四性的关系：

- a) 有源低压直流配电系统联网运行和孤岛运行方式；
- b) 故障出现的概率和可能造成的后果；
- c) 经济上的合理性。

6.1.2 保护分类

有源低压直流配电系统中的电力设备和线路，应装设短路故障和异常运行的保护装置。电力设备和线路短路故障的保护应有主保护和后备保护。

主保护应能满足系统稳定和设备安全要求，能以最快速度有选择地切除被保护设备和线路故障的保护。

后备保护是主保护或断路器拒动时，用以切除故障的保护。有源低压直流配电系统中的后备保护宜采用远后备保护。

6.1.3 故障隔离装置

在低压直流配电系统中，故障隔离装置有电力电子式直流断路器、低压机械式直流断路器、熔断器、隔离型变流器。

6.1.4 保护装置

6.1.4.1 一二次融合的保护装置

若系统直流电压暂降会造成较大的损失，系统宜全部或部分选用电力电子式直流断路器或隔离型变流器作为故障隔离装置。采用电力电子式直流断路器或隔离型变流器作为故障隔离设备的，宜采用一二次融合的保护装置。由于短路电流清除时间取决于系统时间常数，采用这种保护措施的系统前后级保护的配合宜采用低电压开放保护的方式来实现。

6.1.4.2 独立的保护装置

当采用热脱扣或磁脱扣的机械式直流断路器，其反时限的保护特性不能满足上下级保护选择性要求时，宜采用独立的保护装置。独立的保护装置宜与带励磁脱扣的机械式直流断路器配合。

6.2 变流器的保护

6.2.1 大容量的变流器应自带主保护，其主保护应至少包括过电流保护、过电压保护和低压保护。当其内部出现故障或外部故障导致其出现不可控的短路电流时，主保护应快速动作。此外，当外部出现过电压时，主保护应快速动作。变流器主保护的配置和整定由设备厂家在出厂时设定。若其自带保护与直流配电网端口的电流、电压有关，应给出其保护的动作值和时限。

6.2.2 对接入母线的大容量变流器宜在母线侧配置后备保护。后备保护宜选用过电流保护。在变流器内部故障其主保护失效时，将变流器从系统中切除。

6.2.3 当变流器另一侧接有电源时，应在电源侧装设后备保护。后备保护宜选用过电流保护。在变流器内部故障其主保护失效时，将变流器从电源侧隔离。

6.2.4 对一侧有电源另一侧接入有源低压直流配电系统的变流器，若配电网侧不具备直流低电压穿越能力，则应在配电网侧装设欠电压保护；若配电网侧具备直流低电压穿越能力，则应装设带延时的过电流保护或低压过电流保护，作为整个系统短路故障后备保护的组成部分。

6.3 母线的保护

当母线容量超过 0.5 MW 时，应配置母线保护作为母线故障的主保护。

母线保护应在母线出现短路故障时，快速跳开连接在母线上所有支路的断路器。

母线保护可以通过所有分支线路上保护的级差配合实现。通过电压、电流定值和方向以及动作时限级差配合实现的母线保护，应在母线故障情况下其动作元件应有足够的灵敏度。在短路过渡电阻为 $1\ \Omega$ 时，其动作元件灵敏系数不小于 1.5；若灵敏系数不满足要求，则应采用母线差动保护。

母线故障的后备保护应通过装设在电源点的过电流保护或装设在连接电源点变流器上的过电流保护实现。

6.4 电源分支线的保护

6.4.1 电源侧的保护

电源侧的保护宜采用过电流保护，其灵敏系数不小于 1.2；当过电流保护灵敏度不足时，宜采用低压过电流保护。该保护同时作为母线的后备保护。

6.4.2 母线侧的保护

母线侧的保护由正方向保护和反方向保护构成。正方向保护为本线路的主保护；反方向保护宜作为母线保护或其他支线的后备保护。可通过定时限或反时限的过电流保护、定时限的低压过电流保护或低压方向过电流保护来实现正反方向的保护。当母线不采用差动保护时，该保护同时是母线保护的组成部分。

若母线侧故障流过该保护的电流远小于线路侧故障流过该保护的电流时，宜采用两段式或反时限的过电流保护。其中，速断保护或反时限的速断保护为正方向保护；二段定时限保护或反时限的带时限保护为反方向保护。电流保护的灵敏系数不小于 1.2；当电流保护灵敏度不足或一二段时间级差较小时，宜采用定时限的低压过电流保护。

若母线侧故障流过该保护的电流接近线路侧故障流过该保护的电流时，宜采用定时限方向过电流保护。其中，正方向过电流保护不带时限；反方向保护带延时。过电流保护的灵敏系数不小于 1.2；当电流保护灵敏度不足时，宜采用定时限的低压方向过电流保护。

6.5 负荷分支线的保护

负荷分支线的主保护应装设在母线侧，宜采用电流速断保护或限时电流速断保护。

若负荷分支线存在第二级母线，第二级母线不应接入分布式电源。第二级母线的进线不再装设保护；第二级母线的负荷分支线保护与上级负荷分支线保护宜通过反时限保护实现保护配合。

负荷分支线的后备保护由母线保护或其他电源分支线的保护完成。

7 安全防护措施

7.1 一般安全防护要求

7.1.1 IT 接地方式

采用 IT 接地方式的系统，应设置对地绝缘监测装置（IMD），在发生接地故障（包括对地绝缘性能劣化和人体接触）的情况下，绝缘监测装置应可靠报警。系统设计和各单位应提前针对接地故障的定位、排查和防护，采取相应的措施。

IT 接地系统对地绝缘性能的要求及报警阈值，需根据工作接地电阻和系统对地电压，以及用电场所环境和安全防护要求等因素共同确定。

采用 IT 接地方式的系统，可以同时配置剩余电流检测或保护装置，与绝缘监测装置一起，共同实现接地故障的定位和保护。这种用途的剩余电流检测或保护装置，动作特性应结合接地故障定位和保护两方面的要求确定。

7.1.2 TN 接地方式

采用 TN 接地方式的系统，若预期接触电压高于直流 120 V，则应配置专门用于电击防护的剩余电流保护装置。

7.1.3 直流电弧

直流故障电弧检测装置应对额定电压不超过 1000 V、额定电流不超过 63 A 的故障电弧进行有效检测。

直流故障电弧检测装置应在多种负载场景下有效检测故障电弧并及时防护。当发生由开关操作、系统启停机等引起的系统正常暂态过程时，故障电弧检测装置不应出现误动。

直流故障电弧检测装置分断时间不得超过 2.5 s，燃弧能量不得超过 750 J。

7.2 对地绝缘检测装置的配置

应在母线上装设对地绝缘检测装置。

对地绝缘检测装置应能检测正极、负极和中性线的对地电阻。当电阻小于系统安装的接地电阻时，应发出警报。

7.3 剩余电流检测或保护装置的配置及要求

采用 TN 接地方式的直流系统，应根据电击防护分区，配置电击防护用途的直流剩余电流保护装置。

7.4 电弧保护的配置及要求

对于系统内所有回路电流不高于 63 A 的线路，可加装故障电弧检测装置进行保护。故障电弧检测装置应能有效检测额定电压不超过 1000 V、额定电流不超过 63 A 的故障电弧。

系统故障电弧检测装置需具备在以下条件下的检测能力：

- a) 阻性负载条件下的直流故障电弧检测；
- b) 含直流负载的直流故障电弧检测；

- c) 含蓄电池的直流故障电弧检测;
- d) 含线路阻抗的直流故障电弧检测。

故障电弧检测装置不应在以下系统正常暂态过程中发生误动:

- a) 开关操作暂态;
- b) 逆变器工作状态的变化;
- c) 蓄电池充放电过程的变化;
- d) 蓄电池组的投切;
- e) 直流负载的投切;
- f) 直流负载工作状态的改变;
- g) 系统电源输出变化。

故障电弧检测装置性能技术指标如下:

- a) 电弧能量未超过 200 J 且燃弧时间不超过 2.5 s, 检测装置应当熄弧保护电路 (A 区域);
- b) 电弧能量介于 200 J~750 J 且燃弧时间不超过 2.5 s, 检测装置应当熄弧保护电路并发出警报提示;
- c) 电弧能量大于 750 J 且燃弧时间超过 2.5 s, 检测装置检测失效。

8 冲击电流的校验

8.1 合闸冲击校验

所有保护在任何线路空载合闸时不应误动。

保护装置宜给出在额定电压下其抵御空载电容合闸冲击的能力, 其值由电容值来表示。

在保护设计中, 应对所有保护进行合闸冲击校验, 所有保护抗合闸冲击的能力应大于最长线路的电容。

8.2 短路冲击电流校验

所有的保护在发生区外故障时, 主保护应躲过区外金属性短路的短路冲击电流。

附录 A

(资料性)

有源低压直流配电系统典型拓扑结构

有源低压直流配电系统是带分布式电源，并通过变流器连接到交流电网的低压直流配电系统。有源低压直流配电系统宜包含储能装置。分布式电源直接或经变流器通过电源分支线连到母线上，直流负荷直接或经变流器通过负荷分支线连到母线上，有源低压直流配电系统双极接线拓扑结构、有源低压直流配电系统单极接线拓扑结构分别见附录图 A.1、图 A.2。

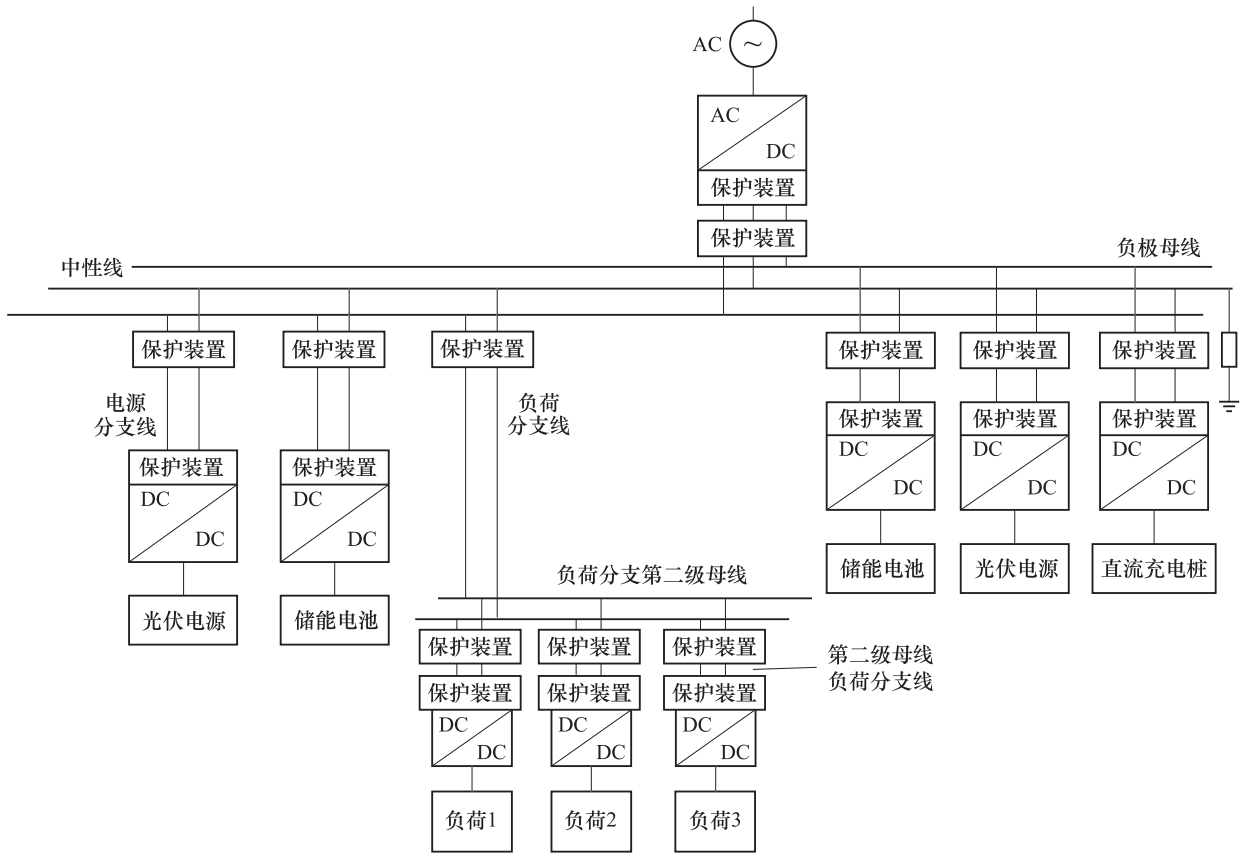


图 A.1 有源低压直流配电系统双极接线拓扑结构

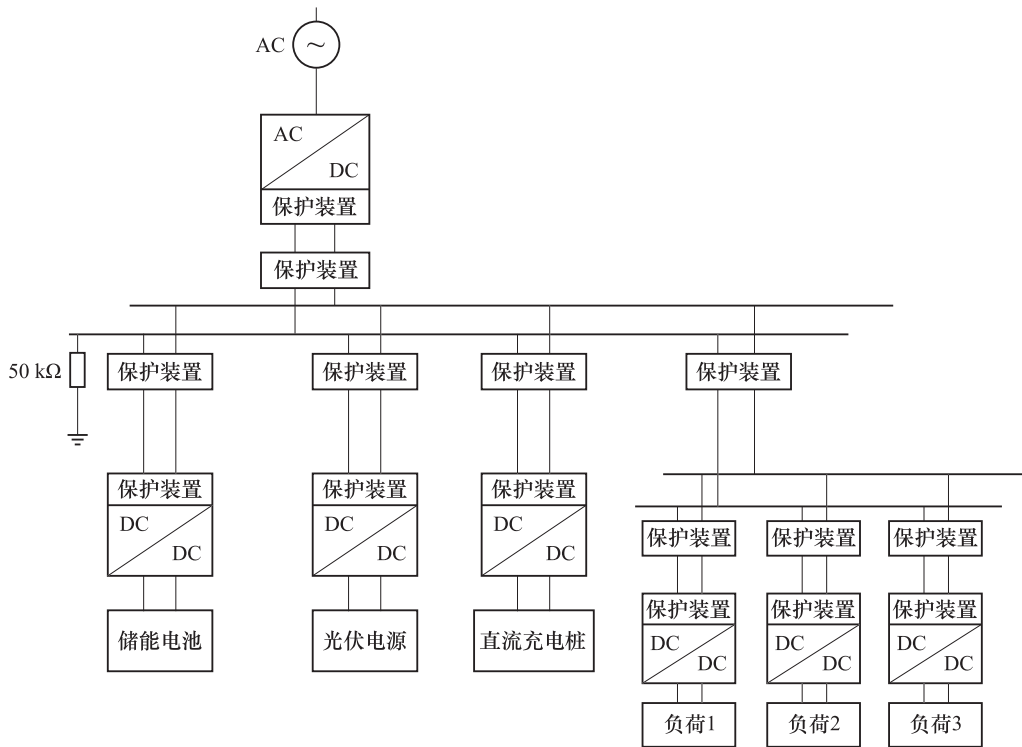


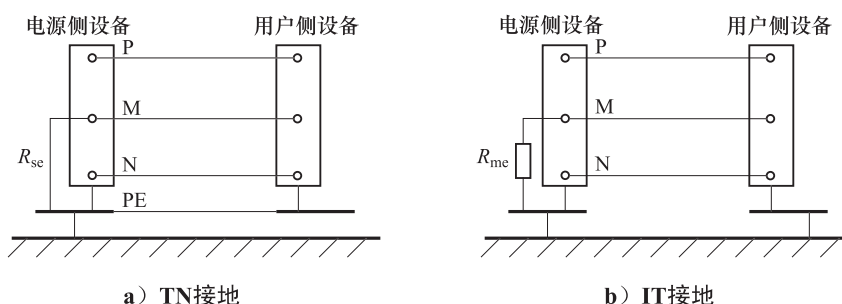
图 A.2 有源低压直流配电系统单极接线拓扑结构

附录 B

(资料性)

有源低压直流配电系统的接地方式与接线方式

接地方式主要包括 TN、IT 两种，电源侧接地称为工作接地；设备侧为保护接地。TN 接地方式是指电源侧直接接地并引出接地线，用电侧设备通过接地线接地，如图 B.1 a) 所示。IT 接地方式是指供电线路在电源侧不接地或经高阻接地，用电侧设备的外露可导电部分直接接地，如图 B.1 b) 所示。接地方式对触电危险和电击防护影响很大，甚至在电压等级和接线形式的选择过程中，也是非常重要的考虑因素。



说明：

P —— 正极线；

M —— 中性线；

N —— 负极线；

PE —— 保护接地线；

R_{se} —— 小电阻接地或直接接地；

R_{me} —— 大电阻接地或不接地。

图 B.1 有源低压直流配电系统单极接线拓扑结构

低压直流配电系统的接线方式包括单极性和双极性两种，分别如图 B.2 a)、b) 所示。单极性由一条带极性的供电线和金属回线构成，分别称为 L+ 和 L-；双极性由两条带极性的供电线和金属回线构成，分别称为 L+、L-、M，负载一般交错均衡分布在两极上。

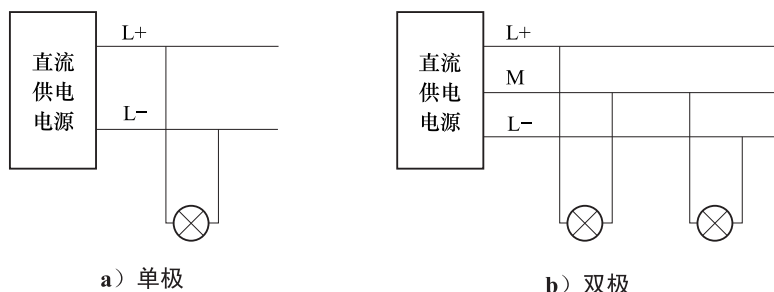


图 B.2 有源低压直流配电系统单极接线拓扑结构