

ICS 29.020
K 93
备案号: 40048-2013



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1218 — 2013

固定式直流融冰装置通用技术条件

General specification for fixed DC de-icer

2013-03-07 发布

2013-08-01 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 ····· 2

4 电气主接线型式及基本参数 ····· 3

5 固定式直流融冰装置的设计、使用条件 ····· 3

6 技术要求 ····· 4

7 试验方法与项目 ····· 8

8 标志、包装、运输、储存 ····· 17

附录 A（资料性附录） 固定式直流融冰装置主要电路型式 ····· 19

附录 B（资料性附录） 导线融冰电流的计算方法和参考值 ····· 21

附录 C（资料性附录） 固定式直流融冰装置的典型保护配置 ····· 27

前 言

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电能质量及柔性输电标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中国电力科学研究院、南方电网科学研究院、浙江省电力试验研究院、湖南省超高压公司、南京南瑞继保电气有限公司、湖北省电力试验研究院、中国西电电气西安高压电器研究院有限责任公司、株洲变流技术国家工程研究中心、辽宁荣信电力电子股份有限公司。

本标准主要起草人：荆平、傅闯、徐桂芝、雷晰、张建平、周飞、李文利、陈赤汉、邓万婷、孙伟、李世平、张凡勇。

本标准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）。

固定式直流融冰装置通用技术条件

1 范围

本标准规定了电力系统固定式直流融冰装置的使用条件、基本技术要求、试验要求及对标志、包装、运输、储存的要求，本标准作为产品设计、制造、试验和订货的依据。

本标准适用于 500kV 及以下交流输电线路的基于晶闸管的固定式直流融冰装置，其他电压等级和基于其他功率器件的直流融冰装置可参照本标准。

本标准包括固定式直流融冰装置各设备的例行试验、型式试验和成套设备的现场试验，不包括各设备现场交接验收试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准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 1094.1—1996 电力变压器 第 1 部分 总则

GB 1094.3 电力变压器 第 3 部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙

GB 1207 电磁式电压互感器

GB 1208 电流互感器

GB 1984—2003 高压交流断路器

GB 1985—2004 高压交流隔离开关和接地开关

GB 10230.1 分接开关 第 1 部分：性能要求和试验方法

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 1094.6—2011 电力变压器 第 6 部分：电抗器

GB/T 3859.1—1993 半导体变流器基本要求的规定

GB/T 7261—2008 继电保护和安全自动装置基本试验方法

GB/T 11022—2011 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

GB/T 11024.1—2010 标称电压 1000V 以上交流电力系统用并联电容器 第 1 部分：总则

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 15291 半导体器件 第 6 部分：晶闸管

GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡

GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 17623 绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法

GB/T 18494.2—2007 交流变压器 第 2 部分：高压直流输电用换流变压器

GB/T 20840.8 互感器 第 8 部分：电子式电流互感器

GB/T 20990.1—2007 高压直流输电晶闸管阀 第 1 部分：电气试验

GB/T 20993 高压直流输电系统用直流滤波电容器及中性母线冲击电容器

GB/T 20994 高压直流输电系统用并联电容器及交流滤波电容器

GB/T 22389 高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器导则

GB/T 25092 高压直流输电用干式空心平波电抗器

DL/Z 713 500kV 变电所保护和控制设备抗扰度要求

DL/T 596—1996 电力设备预防性试验规程

DL/T 846.1 高电压测试设备通用技术条件 第1部分：高电压分压器测量系统
DL/T 1010.5—2006 高压静止无功补偿装置 第5部分：密闭式水冷却装置

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

- 3.1
直流融冰 DC de-icing
对覆冰输电线路施加直流电流，利用电流加热效应消除线路覆冰。
- 3.2
直流融冰装置 DC de-icer
为覆冰输电线路提供稳定、可调直流电流，对线路加热以使覆冰融化的装置。
- 3.3
固定式直流融冰装置 fixed DC de-icer
固定安装在某一特定变电站内，用于该变电站进出线路融冰的直流融冰装置。
- 3.4
直流融冰系统 DC de-icing system
由直流融冰装置、直流融冰电源配电装置和融冰线路组成的系统。
- 3.5
直流融冰分系统 DC de-icing sub-system
直流融冰装置中包含的功能相对独立的多个设备组成部分，例如晶闸管阀、冷却、滤波、控制、保护等部分。
- 3.6
整流阀 rectifier
由整流元件在电和机械上组合而成，具有不可控或可控的单向导电特性，可将系统交流电转换为融冰需要的直流电。
- 3.7
整流元件 rectifier cell
整流阀的基本构成单元，例如二极管、晶闸管、绝缘栅双极晶体管等。
- 3.8
直流侧工频滤波器 fundamental frequency filter at DC bus
50Hz 单调谐滤波器，用于抑制直流融冰线路中的工频感应电流，阻止其进入整流器回路。
- 3.9
“一去一回”直流融冰接线方式 “two phase lines” DC de-icing mode
线路两相导线串联形成直流电流回路的直流融冰接线方式，简称“一去一回”。
- 3.10
“一去两回”直流融冰接线方式 “three phase lines” DC de-icing mode
线路两相导线并联后和第三相导线串联形成直流电流回路的直流融冰接线方式，简称“一去两回”。
- 3.11
直流融冰装置网侧额定电压 rated line side voltage of the DC de-icer
直流融冰装置接入电网侧的额定电压。
- 3.12
直流融冰装置额定输出电流 rated output current of the DC de-icer
在规定的使用条件下，直流融冰装置能够持续、稳定输出的最大直流电流。

3. 13

直流融冰装置额定输出电压 rated output voltage of the DC de-icer

在规定的使用条件下，直流融冰装置能够持续、稳定输出的最大直流电压。

3. 14

直流融冰装置额定输出功率 rated output power of the DC de-icer

在规定的使用条件下，直流融冰装置能够持续、稳定输出的最大直流功率。

3. 15

工频感应电流 induced current of power frequency

在融冰期间，邻近交流线路在直流融冰回路中感应的工频电流。

3. 16

均流系数 current distribution coefficient

采用双桥并联型式时并联运行各支路电流的平均值与最大支路电流值之比。

4 电气主接线型式及基本参数

4. 1 电气主接线型式

4. 1. 1 固定式直流融冰装置主要电路型式

- a) 无专用整流变压器供电的型式；
- b) 采用专用整流变压器供电的 6 脉动型式；
- c) 采用专用整流变压器供电的串联 12 脉动型式；
- d) 采用专用整流变压器供电的双桥并联 6 脉动型式；
- e) 采用专用整流变压器供电的双桥并联 12 脉动型式。

以上主要电路型式的典型电路图及测量点设置参见附录 A。

4. 1. 2 装置直流侧接地方式

- a) 采用串联 12 脉动整流电路型式的融冰装置，宜在两个串联整流桥的连接点处直接接地；
- b) 其他型式整流电路，直流侧不宜直接接地；
- c) 装置接地只起钳制中性点电位的作用，不提供直流通路。

4. 1. 3 融冰线路的接线型式

融冰线路的接线型式分为“一去一回”和“一去两回”，宜通过对装置融冰输出隔离开关的控制，先按“一去一回”接线方式对两相交流线路融冰，再按“一去两回”接线方式，对第三相交流线路融冰。

4. 2 基本参数

4. 2. 1 直流融冰装置网侧额定电压

宜采用的网侧额定电压：6kV、10kV、20kV、35kV、66kV、110kV、220kV。

4. 2. 2 直流融冰装置额定输出电流

宜选取环境温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 、风速 5m/s、覆冰厚度 10mm、融冰时间 60min 的最大导线融冰电流值，再取 1.1 倍安全系数，作为融冰装置的额定输出电流值。导线融冰电流的计算方法和原则参见附录 B。

- a) 过载能力：应为 1.2 倍额定直流电流，持续 30min；
- b) 调节能力：输出电流应连续可调。

4. 2. 3 直流融冰装置输出电压

调节能力：输出电压应连续可调。

5 固定式直流融冰装置的设计、使用条件

5. 1 下列条件的全部或部分在设计、使用固定式直流融冰装置时需要，可根据具体情况进行选择。

5.2 环境条件

- a) 海拔高度 (m);
- b) 年均降雨量 (mm);
- c) 最大月降雨量 (mm);
- d) 年平均环境温度 (℃);
- e) 最高环境温度 (℃);
- f) 最低环境温度 (℃);
- g) 年平均相对湿度 (%);
- h) 最大相对湿度 (%);
- i) 最大地面积雪厚度 (mm);
- j) 最大结霜厚度 (mm);
- k) 冻土层厚度 (m);
- l) 年平均风速 (m/s);
- m) 年最大风速 (m/s);
- n) 地震烈度 (度);
- o) 年平均雷电数 (日/年);
- p) 污秽等级及盐密 (ESDD) (级、mg/cm²);
- q) 日照强度 (W/cm²);
- r) 地电阻率 ($\Omega \cdot m$)。

5.3 所在变电站条件

- a) 系统正常运行电压 (kV);
- b) 系统最大持续电压 (kV);
- c) 电压正常变化范围 (kV);
- d) 系统短路电流 (kA);
- e) 系统背景谐波;
- f) 变电站主接线;
- g) 主变压器参数;
- h) 站用电系统;
- i) 无功补偿设备参数;
- j) 继电保护配置;
- k) 已建变电站配电装置布置型式。

5.4 直流融冰线路参数

- a) 电压等级 (kV);
- b) 线路型式;
- c) 线路长度 (km);
- d) 线路直流电阻 (Ω/km);
- e) 线路电抗 (Ω/km);
- f) 线路最大覆冰厚度 (mm);
- g) 线路阻波器、隔离开关、断路器、电流互感器等参数。

6 技术要求

6.1 总体技术要求

- a) 装置能在 GB/T 15945 允许的电网频率下持续运行;

- b) 装置能在接入点额定电压的 0.8 p.u.到 1.2 p.u.下持续运行；
- c) 装置能在 GB/T 15543 允许的电网三相电压不平衡度条件下持续运行；
- d) 装置正常运行条件下注入系统公共连接点（PCC）的谐波宜满足 GB/T 14549 要求；
- e) 装置接入系统不应引起并联谐振；
- f) 整流阀应能在接近 90° 触发角运行，应配置适当的平波电抗器，使输出电流连续；
- g) 融冰电流控制精度应达到额定电流的 5%；
- h) 采用整流桥并联型式的装置，均流系数不小于 90%。

6.2 控制功能要求

- a) 装置应具备直流输出电流连续调节功能；
- b) 装置应能按预定的程序完成直流融冰装置的启动和停止，应能实现直流侧隔离开关的自动操作以完成融冰接线方式的选择，事故时应能跳开或紧急停运设备；
- c) 装置采用整流桥并联型式时，应具有自动均流功能；
- d) 装置应能适应预定的各条线路融冰要求，宜采用分层分布式控制结构，实现微机监视和控制功能；
- e) 应具备友好的人机界面，便于操作及维护；
- f) 应具备事件记录及故障录波功能；
- g) 宜具备远方监控功能。

6.3 故障类型及保护功能要求

6.3.1 故障类型

固定式直流融冰装置的故障类型主要包括：交流过流故障、交流欠压故障、整流变压器阀侧相间故障、整流阀短路故障、整流阀区内接地故障、控制触发脉冲丢失故障、融冰装置两个 6 脉动整流桥间电流不对称故障、直流过流故障、直流欠压故障、直流过压故障、直流融冰线路断线故障、直流融冰线路接地故障等。

6.3.2 保护功能要求

- a) 固定式直流融冰装置中所有主设备应装设保护装置，各保护装置之间应相互配合，保护直流融冰设备本身不因故障损坏，不使事故范围扩大；
- b) 保护装置性能应符合固定式直流融冰装置安全可靠运行的要求，满足可靠性、选择性、灵敏性和快速性的要求，保护定值、时序的选择应与上级保护配合，防止越级动作；
- c) 控制保护系统宜采用双重配置；
- d) 直流融冰装置的交流进线断路器禁止设置自动重合闸功能。

6.3.3 保护分区及配置

- a) 固定式直流融冰装置保护一般分为交流保护区、整流变压器保护区、整流阀保护区和直流保护区；
- b) 典型保护配置参见附录 C。

6.4 设备技术要求

6.4.1 整流阀

- a) 整流元件的基本技术要求参照 GB/T 15291。
- b) 整流阀元件的设计在数量上应留有 10%的冗余度，且每相整流阀不少于一只整流阀元件。当整流阀出现元件故障时，固定式直流融冰装置应能发出告警信号，当故障阀元件数量超过冗余数时，直流融冰装置应能发出故障信号并自动退出运行。
- c) 整流阀设计时应考虑元件电压分布的不均匀性而留有适当裕量。
- d) 整流阀的连续运行额定值和过负荷能力应根据融冰需要和系统要求确定，应能在最高持续电压下稳定运行。

- e) 整流阀应能承受各种过电压，阀的耐压设计应有足够的安全裕度。
- f) 整流阀应具备相应的过压保护功能。
- g) 整流阀应确保在各种工况下正常工作而不致损坏，包括整流阀的触发系统误动，以及站内外各系统和设备故障等。
- h) 整流阀的浪涌电流耐受能力不应小于流经阀的最大短路电流。
- i) 整流阀宜为空气绝缘，户内安装。
- j) 整流阀结构的设计应做到便于对阀元件近距离巡视、日常维护以及故障处理或部件更换。进行维护工作时，应不影响其他的设备继续运行，应能在不断开冷却回路的情况下更换故障阀元件。
- k) 其他技术要求参照 GB/T 20990.1。

6.4.2 冷却设备

- a) 宜采用密闭式纯水冷却设备；
- b) 应具备完整的控制保护功能；
- c) 应采用双电源供电；
- d) 冷却设备的设计应有冗余，当其中的一个部件故障时，不影响冷却设备的正常运行；
- e) 冷却设备所必需的设备包括但不限于：循环泵、热交换器、补水装置、过滤器、去离子设备、监控仪器、电源自投装置、控制及保护系统等；
- f) 应设置两台循环泵，一用一备，单台工作泵应能满足系统最大设计流量，保证循环冷却水以恒定的流速通过发热器件；
- g) 采用水—风热交换器，至少应设置一台备用风机；
- h) 在寒冷地区，循环冷却水应采取防冻措施；
- i) 其他技术要求参照 DL/T 1010.5 执行。

6.4.3 整流变压器

- a) 整流变压器的基本要求按照 GB/T 18494.2 执行。
- b) 装置在容量较大时，为减少对供电系统的影响，可采用三绕组整流变压器或两台双绕组变压器。
- c) 直流融冰装置整流变压器结构形式宜采用三相变压器。
- d) 整流变压器应具有 1.2 倍额定输出电流连续运行 2h 的过载能力。
- e) 磁通密度的设计与常规变压器相比应留有更多裕度。
- f) 整流变压器绕组各分接位置的电阻值（换算到 75℃），高压相间允许偏差应不超过三相平均值的 2%。
- g) 整流变压器各分接位置的电压比误差值，额定分接不超过设计值的 0.5%、其他分接不超过设计值的 1%。
- h) 整流变压器短路阻抗允许偏差：
 - 1) 最大相间阻抗偏差：±2%；
 - 2) 对于两台整流变压器并列运行的情况，各台变压器在整个分接范围内的阻抗变化，均不应超过其平均实测值的±2%；
 - 3) 其他按照 GB 1094.1—1996 中 9 允许偏差执行。
- i) 当安装有载分接开关时，技术要求按照 GB 10230.1 执行。
 - 1) 有载分接开关的绝缘水平和额定电流应和变压器相配合，且额定电流应不小于变压器额定电流（除特别注明外）；有载开关调压范围应满足要求，开关具有就地及远方调压功能。
 - 2) 有载分接开关配置必要的控制装置，可通过控制二次电压远程控制有载调压器的档位切

换，可通过模式选择开关进行就地或远程操作方式的切换，可上传分接开关的位置、同步故障等信号。

6.4.4 平波电抗器

平波电抗器的技术要求按照 GB/T 1094.6、GB/T 25092 执行。

6.4.5 交、直流侧滤波器（如有）

- a) 根据系统分析的结果，确定交流滤波器的设置，交流侧滤波器主要用于滤除直流融冰装置交流侧的 5 次、7 次、11 次、13 次等特征谐波，同时用于补偿直流融冰装置消耗的无功功率。
- b) 在直流电流输出端宜设置直流侧滤波器，用于滤除并行交流线路工频耦合电流。
- c) 滤波电抗器、滤波电容器的技术要求分别按照 GB/T 10229—1988 第八篇、GB/T 20993 执行。滤波电容器组的技术要求按照 GB/T 20994、GB/T 20993 执行，滤波串联电抗器的技术要求按照 GB/T 1094.6 执行。

6.4.6 直流电压测量设备和直流电流测量设备

- a) 直流电压分压器宜采用阻容分压器；
- b) 直流电流测量设备，可选用光纤电子式互感器或霍尔传感器；
- c) 直流电压和电流测量设备应具有良好的暂态响应特性，并满足直流融冰装置测量、保护和控制在精度的要求。

6.4.7 直流侧隔离开关

- a) 直流侧隔离开关应满足直流融冰装置最大输出直流电流和电压的要求；
- b) 选用交流隔离开关代替直流隔离开关时，隔离开关标称额定电流有效值不小于额定直流电流，其标称额定电压的有效值不小于额定直流电压值；
- c) 直流侧隔离开关应具有开断小电流能力，其数值根据设计方案确定，开合的感应电流应不小于 3A（有效值），感应电压应不小于 6kV（有效值）。

6.4.8 直流侧避雷器

- a) 直流侧避雷器应符合 GB/T 22389 的规定；
- b) 直流侧避雷器应选用无间隙金属氧化物避雷器；
- c) 直流侧避雷器应考虑融冰装置输出直流电压的纹波波动和融冰线路感应电压的影响。

6.4.9 其他交流辅助设备

- a) 辅助设备包括交流断路器、隔离（接地）开关、电流互感器、电压互感器、避雷器、绝缘子、套管和电缆等常规设备；
- b) 交流断路器的技术要求按照 GB/T 11022、GB 1984 等执行，应选用 SF₆ 断路器或真空断路器；
- c) 隔离（接地）开关的技术要求按照 GB/T 11022、GB 1985 执行；
- d) 电流互感器的技术要求按照 GB 1208、GB/T 20840.8 执行，电压互感器的技术要求按照 GB 1207 执行；
- e) 避雷器、绝缘子和套管、电缆等辅助设备的技术要求按照各自标准执行。

6.5 噪声

固定式直流融冰装置的噪声水平应使变电站厂界噪声满足 GB 12348 的要求。

6.6 其他性能要求

6.6.1 注入系统谐波

注入系统公共连接点（PCC）的谐波宜满足 GB/T 14549 的要求。

6.6.2 控制保护装置的抗扰度性能

控制保护装置的抗扰度性能应满足 DL/Z 713 的要求。

6.6.3 户外设备的绝缘性能

确定融冰装置户外设备绝缘水平时，需特别考虑邻近交流线路单相接地故障对融冰系统绝缘性能

的影响。

7 试验方法与项目

7.1 总则

7.1.1 试验内容和分类

试验包括设备的型式试验、例行试验和成套装置的现场试验，现场试验包括分系统试验和系统试验。

7.1.2 例行试验

例行试验的目的在于检验制造中的缺陷和对某些电气元件进行参数整定。这一试验由制造厂对出厂的每台设备进行。

7.1.3 型式试验

- a) 型式试验的目的在于全面检验装置的设计、材料和制造等方面是否满足本标准规定的性能。型式试验的产品应是通过例行试验的合格产品，型式试验的全部项目应在同一装置上进行。
- b) 型式试验在新产品制出时进行。在生产中当装置的结构、材料或工艺有改变，且其改变有可能影响装置的性能时也应进行型式试验，此时可只进行与这些改变有关的试验项目。
- c) 在正常生产中，型式试验也应每五年进行一次。

7.1.4 成套装置现场试验

7.1.4.1 分系统试验

- a) 分系统试验的目的在于检验装置的分系统功能和性能；
- b) 在现场完成分系统装配连接后进行，包括晶闸管阀、冷却、滤波、控制、保护等分系统及相关设备的装配连接；
- c) 试验前应完成分系统内设备的安装检查、调整和试验。

7.1.4.2 系统试验

系统试验是装置在现场投运前的带电试验，目的在于检验系统供电后成套装置的参数和性能是否达到设计要求。

7.2 设备试验

7.2.1 整流变压器

整流变压器的试验项目见表 1。

表 1 整流变压器试验项目

试 验 名 称	型式试验	例行试验	试验方法及准则
连接组标号检定	√	√	按照 GB 1094.1
电压比测量	√	√	按照 GB 1094.1 进行
绕组电阻测量	√	√	按照 GB 1094.1 进行
空载损耗和空载电流测量	√	√	按照 GB 1094.1 进行
负载损耗和短路阻抗测量（几个主要的分接）	√	√	按照 GB/T 18494.2—2007 11.3 进行
绝缘油试验	√	√	按照 GB/T 17623 进行
雷电冲击全波试验	√	√	按照 GB/T 18494.2—2007 11.4.2 进行
外施直流电压耐受试验和局部放电测量	√	√	按照 GB/T 18494.2—2007 11.4.3 进行
外施交流电压耐受试验和局部放电测量	√	√	按 照 GB/T 18494.2 — 2007 11.4.5 及 GB

			1094.3 进行
--	--	--	-----------

表 1（续）

试 验 名 称	型式试验	例行试验	试验方法及准则
感应电压试验和局部放电测量	√	√	按照 GB/T 18494.2 — 2007 11.4.6 及 GB 1094.3 进行
绝缘电阻测量	√	√	按照 GB 1094.1 进行
铁芯绝缘及其相关绝缘的试验	√	√	按照 GB 1094.1 进行
雷电冲击截波试验	√		按照 GB/T 18494.2—2007 11.4.2 进行
温升试验	√		按照 GB/T 18494.2—2007 11.5 进行
声级测定	√		按照 GB/T 18494.2—2007 11.7 进行
冷却设备的声级测定	√		按照 GB/T 18494.2—2007 11.7 进行

7. 2. 2 整流阀

整流阀的试验项目见表 2。

表 2 整流阀试验项目

试 验 名 称	型式试验	例行试验	试验方法及准则
阀支架直流电压试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 6.3.1 进行
阀支架交流电压试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 6.3.2 进行
阀支架雷电冲击试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 6.3.4 进行
阀直流电压试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 8.3.1 进行
阀交流电压试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 8.3.2 进行
阀操作冲击试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 8.3.4 进行
阀非周期触发试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 8.4 进行
阀周期性触发和关断试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 9 进行
大触发角（  约为 90°）长期运行方式试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 9.3.2 条“最大暂态运行负载试验”进行，将时间改为“长期”
恢复期间暂态正向电压试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 10 进行
阀故障电流试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 11 进行
阀抗电磁干扰试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 12 进行
特殊性能试验	√		按照 GB/T 20990.1—2007 13 进行
噪声测量	√		按照 GB/T 3859.1—1993 6.4.16 进行
视觉检查	√	√	按照 GB/T 20990.1—2007 14.4.1 进行
接线检查	√	√	按照 GB/T 20990.1—2007 14.4.2 进行
均压电路检查	√	√	按照 GB/T 20990.1—2007 14.4.3 进行
耐受电压检查	√	√	按照 GB/T 20990.1—2007 14.4.4 进行
局部放电试验	√	√	按照 GB/T 20990.1—2007 14.4.5 进行

辅助设备检查	√	√	按照 GB/T 20990.1—2007 14.4.6 进行
触发检查	√	√	按照 GB/T 20990.1—2007 14.4.7 进行
压力检查	√	√	按照 GB/T 20990.1—2007 14.4.8 进行

7.2.3 平波电抗器

平波电抗器的试验项目见表 3。

表 3 平波电抗器试验项目

试 验 名 称	型式试验	例行试验	试验方法及准则
绕组电阻测量	√	√	按照 GB 1094.1—1996 8.2 进行
增量电感测量	√	√	按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.5 进行
外施交流耐压试验	√	√	按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.7 进行
液浸式电抗器的外施直流耐压试验	√	√	按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.8 进行
绕组直接液冷式电抗器液体冷却管路的密封试验	√	√	按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.16 进行
雷电冲击试验	√	√	按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.10 进行
液浸式电抗器的操作冲击试验	√		按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.11 进行
液浸式电抗器绕组对地的绝缘电阻和（或）电容及损耗角正切（tan δ）测量（作为参考，用于与以后的现场测量值进行比较，此处不给出限值）	√	√	按照 GB/T 6451 进行
温升试验	√		按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.13 进行
干式电抗器的操作冲击试验	√		按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.11 进行
绕组直接液冷式电抗器的压力差测量	√		按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.17 进行
干式电抗器的外施直流耐压湿试验	√		按照 GB/T 1094.6—2011 12.8.12 进行
风扇和油泵（如果有）消耗功率的测量	√		—

7.2.4 交、直流滤波器

滤波器支路中电容器和串联电抗器的试验项目分别见表 4 和表 5。

表 4 滤波器支路中电容器试验项目

试 验 名 称	型式试验	例行试验	试验方法及准则
电容测量	√	√	按照 GB/T 11024.1 7 进行
电容器损耗角正切（tan δ）测量	√	√	按照 GB/T 11024.1 8 进行
端子间电压试验	√	√	按照 GB/T 11024.1 9 进行
端子与外壳间交流电压试验	√	√	按照 GB/T 11024.1 10 进行
内部放电器件试验	√	√	按照 GB/T 11024.1 11 进行
密封性试验	√	√	按照 GB/T 11024.1 12 进行
热稳定性试验	√		按照 GB/T 11024.1 13 进行

高温下电容器损耗角正切（tan δ）测量	√		按照 GB/T 11024.1 14 进行
端子与外壳间交流电压试验	√		按照 GB/T 11024.1 15 进行
端子与外壳间雷电冲击电压试验	√		按照 GB/T 11024.1 16 进行
短路放电试验	√		按照 GB/T 11024.1 17 进行

表 5 滤波器支路中串联电抗器试验项目

试 验 名 称	型式试验	例行试验	试验方法及准则
绕组电阻测量	√	√	按照 GB 1094.1—1996 8.2 进行
电感测量	√	√	按照 GB/T 1094.6—2011 9.10.5 进行
损耗和品质因数测量	√	√	按照 GB/T 1094.6—2011 9.10.6 进行
绕组过电压试验	√		按照 GB/T 1094.6—2011 9.10.7 进行
温升试验	√		按照 GB/T 1094.6—2011 9.10.8 进行
雷电冲击试验	√		按照 GB/T 1094.6—2011 9.10.9 进行

7. 2. 5 交流断路器

交流断路器的试验项目见表 6。

表 6 交流断路器试验项目

试 验 名 称	型式试验	例行试验	试验方法及准则
绝缘试验	√		按照 GB 1984—2003 6.2 进行
无线电干扰电压试验	√		按照 GB 1984—2003 6.3 进行
主回路电阻测量	√	√	按照 GB 1984—2003 6.4 进行
温升试验	√		按照 GB 1984—2003 6.5 进行
短时耐受电流和峰值耐受电流试验	√		按照 GB 1984—2003 6.6 进行
密封试验	√		按照 GB 1984—2003 6.8 进行
电磁兼容性试验	√		按照 GB 1984—2003 6.9 进行
常温下的机械操作试验	√		按照 GB 1984—2003 6.101.2.1～6.101.2.3 进行
短路电流关合和开断试验	√		按照 GB 1984—2003 6.102～6.106 进行
近区故障试验	√		按照 GB 1984—2003 6.109 进行
容性电流开合试验	√		按照 GB 1984—2003 6.111.5.1～6.111.5.4 进行
例行检查		√	按照产品说明书进行
分、合闸线圈绝缘电阻和直流电阻		√	按照 DL/T 596—1996 8.1、8.6 进行
SF ₆ 气体密度监视器检验		√	按照产品说明书进行
SF ₆ 气体湿度检测		√	按照 DL/T 596—1996 13.3 进行
分、合闸电磁铁的动作电压		√	按照 DL/T 596—1996 8.1、8.6 进行

辅助和控制回路的试验		√	按照 GB/T 11022—2011 7.3 进行
真空灭弧室的真空度测量		√	按照 GB 1984—2003 6.8.3 进行
真空断路器耐压试验	√	√	按照 GB 1984—2003 6.2.6.1 进行

7.2.6 隔离（接地）开关

隔离（接地）开关的试验项目见表 7。

表 7 隔离（接地）开关试验项目

试 验 名 称	型式试验	例行试验	试验方法及准则
绝缘试验	√		按照 GB 1985—2004 6.2 进行
无线电干扰电压试验	√		按照 GB 1985—2004 6.3 进行
回路电阻测量	√	√	按照 GB 1985—2004 6.4 进行
温升试验	√		按照 GB 1985—2004 6.5 进行
短时耐受电流和峰值耐受电流试验	√		按照 GB 1985—2004 6.6 进行
密封试验	√		按照 GB 1985—2004 6.8 进行
电磁兼容性试验	√		按照 GB 1985—2004 6.9 进行
严重冰冻条件下的操作	√		按照 GB 1985—2004 6.103 进行
感应电流开合试验	√		按照 GB 1985—2004 6.107 进行
母线充电电流开合试验	√		按照 GB 1985—2004 6.108 进行
例行检查		√	按照产品说明书进行
二次回路的绝缘电阻		√	按照 DL/T 596—1996 8.9 进行

7. 2. 7 水冷却设备

水冷却设备试验项目见表 8。

表 8 水冷却设备试验项目

试 验 名 称	型式试验	例行试验	试验方法及准则
一般检查	√	√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.1 进行
绝缘试验	√	√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.2 进行
连接电阻测量	√	√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.3 进行
主水电阻率试验	√	√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.4 进行
压力试验	√	√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.5 进行
水力性能试验	√	√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.6 进行
单相阀水流量试验	√		按照 DL/T 1010.5—2006 5.7 进行
热工性能试验	√		按照 DL/T 1010.5—2006 5.8 进行
噪声测量	√		按照 DL/T 1010.5—2006 5.9 进行
控制及保护性能试验	√	√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.10 进行
电磁兼容试验	√		按照 DL/T 1010.5—2006 5.11 进行
连续运行试验	√	√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.12 进行
水质性能试验	√		按照 DL/T 1010.5—2006 5.13 进行
仪表校验试验		√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.14 进行
通信试验		√	按照 DL/T 1010.5—2006 5.15 进行

7.2.8 控制及保护系统

7.2.8.1 试验项目

控制及保护系统的试验项目见表 9。

表 9 控制及保护系统试验项目

试 验 名 称		型式试验	例行试验	试验方法及准则
结构及外观检查			√	按照 GB/T 7261—2008 5 进行
基本参数试验	触点基本参数试验	√		按照 GB/T 7261—2008 6.1 进行
	线圈基本参数测试	√		按照 GB/T 7261—2008 6.2 进行
	静态继电器各类变换器基本参数测试	√		按照 GB/T 7261—2008 6.3 进行
	有或无继电器功能试验	√		按照 GB/T 7261—2008 6.4 进行
	量度继电器及装置特性量的准确度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 6.5 进行
	时间特性试验	√		按照 GB/T 7261—2008 6.6 进行
	测控性能试验	√		按照 GB/T 7261—2008 6.7 进行
功率消耗试验		√		按照 GB/T 7261—2008 7 进行
温升试验		√		按照 GB/T 7261—2008 8 进行
环境试验	运行温度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 9.1 进行
	储存温度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 9.2 进行
	温度变化试验	√		按照 GB/T 7261—2008 9.3 进行
	交变湿热试验	√		按照 GB/T 7261—2008 9.4 进行
	恒定湿热试验	√		按照 GB/T 7261—2008 9.5 进行
	低气压试验	√		按照 GB/T 7261—2008 9.6 进行
电源影响试验	辅助激励量中断影响试验	√		按照 GB/T 7261—2008 10.1 进行
	交流电源波形畸变影响试验	√		按照 GB/T 7261—2008 10.2 进行
	交流电源频率影响试验	√		按照 GB/T 7261—2008 10.3 进行
	辅助激励量中断及直流中的纹波试验	√		按照 GB/T 7261—2008 10.4 进行
机械性能试验	振动试验	√		按照 GB/T 7261—2008 11.1 进行
	冲击与碰撞试验	√		按照 GB/T 7261—2008 11.2 进行
	地震试验	√		按照 GB/T 7261—2008 11.3 进行
绝缘性能试验	绝缘电阻测量		√	按照 GB/T 7261—2008 12.1 进行
	介质强度试验		√	按照 GB/T 7261—2008 12.2 进行
	冲击电压试验	√		按照 GB/T 7261—2008 12.3 进行
电磁兼容试验	1MHz 和 100kHz 脉冲群抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.1 进行
	静电放电抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.2 进行

	辐射电磁场抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.3 进行
--	------------	---	--	---------------------------

表 9（续）

试 验 名 称		型式试验	例行试验	试验方法及准则
电磁兼容试验	电快速瞬变 / 脉冲群抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.4 进行
	浪涌抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.5 进行
	射频场感应的传导骚扰的抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.6 进行
	工频抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.7 进行
	工频磁场抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.8 进行
	脉冲磁场抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.9 进行
	阻尼振荡磁场抗扰度试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.10 进行
	电磁发射试验	√		按照 GB/T 7261—2008 13.11 进行
过载试验	激励量短时耐热极限值试验	√		按照 GB/T 7261—2008 14.1 进行
	激励量动稳定极限值试验	√		按照 GB/T 7261—2008 14.2 进行
	多输入激励量的产品的过载的试验	√		按照 GB/T 7261—2008 14.3 进行
触点性能和机械寿命试验	触点性能试验	√		按照 GB/T 7261—2008 15.1 进行
	机械寿命试验	√		按照 GB/T 7261—2008 15.2 进行
安全试验	电气间隙试验	√		按照 GB/T 7261—2008 16.1 进行
	爬电距离试验	√		按照 GB/T 7261—2008 16.2 进行
	接触电流测量	√		按照 GB/T 7261—2008 16.3 进行
	外壳防护等级试验	√		按照 GB/T 7261—2008 16.4 进行
	保护联结的阻抗试验	√		按照 GB/T 7261—2008 16.5 进行
	着火危险试验	√		按照 GB/T 7261—2008 16.6 进行
通信规约测试			√	按照 GB/T 7261—2008 17 进行
装置功能试验			√	按照 GB/T 7261—2008 18 进行，还包括 7.2.8.2 列出的控制功能试验

7. 2. 8. 2 控制功能试验

- a) 装置功能试验还应包括但不限于以下控制功能试验项目：
 - 1) 手动控制试验；
 - 2) 输出直流电流调节范围试验；
 - 3) 输出直流电压调节范围试验；
 - 4) 输出直流功率调节范围试验；
 - 5) 自动控制顺序试验。
- b) 控制功能试验在低压物理或数字模型上进行。

7. 2. 9 其他交流辅助设备试验项目

- a) 电流及电压互感器（传感器）的试验项目应按照 GB 1208、GB/T 20840.8、GB 1207 进行；
- b) 电阻分压器的试验项目应按照 DL/T 846.1 进行；
- c) 避雷器、绝缘子和套管、电缆的试验项目应按照各自标准进行。

7.3 成套装置现场试验

7.3.1 分系统试验

7.3.1.1 试验项目

分系统试验项目见表 10。

表 10 分系统试验项目

试 验 项 目	试验方法及准则
传动试验	按照 7.3.1.2 进行
保护整组试验	按照 7.3.1.3 进行
低压功能试验	按照 7.3.1.4 进行
滤波器调谐试验（如果电抗器可调）	按照 7.3.1.5 进行

7.3.1.2 传动试验

在融冰装置一次回路不带电的情况下在工作站上对直流融冰装置的隔离开关、断路器、接地开关进行单步操作，检查直流融冰装置在手动下的单步顺序操作及联锁功能是否正确。

7.3.1.3 保护整组试验

在融冰装置一次回路不带电的情况下在二次系统模拟故障，检验控制保护系统的各保护是否正确动作。

7.3.1.4 低压功能试验

在进行升压、升流试验或接入系统试验前，先进行低压小电流试验，检验控制系统和整流阀的同步、移相、触发和控制功能，电流调节功能。

7.3.1.5 滤波器调谐试验（适用于含有电感可调电抗器的滤波器）

- a) 测量滤波器的电容、电感和电阻数值；
- b) 调整电抗器电感值，将滤波器调谐到设计的特征频率。

7.3.2 系统试验

7.3.2.1 试验项目

系统试验项目见表 11。

表 11 系统试验项目

试 验 项 目	试验方法及准则
不带电顺序操作试验	按照 7.3.2.2 进行
不带电跳闸试验	按照 7.3.2.3 进行
受电冲击试验	按照 7.3.2.4 进行
带电跳闸试验	按照 7.3.2.5 进行
分接头调节试验	按照 7.3.2.6 进行
空载升压试验	按照 7.3.2.7 进行
零功率试验	按照 7.3.2.8 进行
带线路额定/最大融冰电流试验（系统条件具备时选做）	按照 7.3.2.9 进行

零功率试验或带 线路额定/最大融 冰电流试验测试 项目	融冰效果检查及设备温升测试	按照 7.3.2.10 a) 进行
	噪声测试	按照 7.3.2.10 b) 进行
	谐波测试	按照 7.3.2.10 c) 进行
	运行参数测试	按照 7.3.2.10 d) 进行

7.3.2.2 不带电顺序操作试验

- a) 在融冰装置一次回路不带电的情况下，在工作站上对直流融冰装置直流侧的隔离开关、断路器、接地开关进行单步操作，检查直流融冰装置在手动下的单步顺序操作及联锁功能正确；
- b) 在融冰装置一次回路不带电的情况下，在工作站上对直流融冰装置进行自动顺序操作，检查直流融冰装置自动顺序操作功能正确。

7.3.2.3 不带电跳闸试验

在融冰装置一次回路不带电的情况下在二次系统模拟故障，跳开交流侧断路器。其目的是为了检验由直流保护系统启动的跳闸信号是否能够正确跳开交流侧断路器。

7.3.2.4 受电冲击试验

- 7.3.2.4.1 受电冲击试验考核交流滤波器、整流变压器、整流阀耐受冲击合闸能力。
- 7.3.2.4.2 融冰线路不接入融冰装置，通过开关对交流滤波器、整流变压器、整流阀充电。
- 7.3.2.4.3 试验步骤：
 - a) 对交流滤波器冲击 3 次，每次间隔时间宜不少于 5min，应无异常现象；
 - b) 拉开整流阀与整流变压器之间的隔离开关，对整流变压器冲击 3 次~5 次，每次间隔时间宜为 5min，应无异常现象；
 - c) 合上整流阀与整流变压器之间的隔离开关，对整流阀冲击 3 次，每次间隔时间宜不少于 5min，应无异常现象。

7.3.2.5 带电跳闸试验

在直流融冰装置充电情况下，在二次系统模拟故障，跳开交流侧断路器，检验由控制保护系统启动的跳闸信号正确跳开交流侧断路器。

7.3.2.6 分接头调节试验

在系统条件允许的情况下，对有载调压器的档位进行带电循环切换，确保有载调压能够正常工作，且各档位对应的电压变比正确。

7.3.2.7 空载升压试验

- 7.3.2.7.1 检查直流融冰装置阀的触发能力、直流电压耐受能力以及直流电压控制能力，检查融冰装置在额定直流电压下工作是否正常。
- 7.3.2.7.2 试验可在手动模式和自动模式两种控制模式下进行：
 - a) 手动模式，运行人员手动设定线路开路试验的直流电压参考值。直流电压的参考值在 0~1.05p.u.值之间可调。直流电压以预先设定的速度线性变化至直流电压参考值。试验结束后，运行人员手动降压，闭锁换流阀。
 - b) 自动模式，运行人员启动空载升压试验程序，程序执行以下操作：解锁对应的换流阀，把直流电压升至预定值（最大限制值为 1.05p.u.），然后保持一段时间，再把电压降下来，最后闭锁换流阀。直流电压预定值和最高电压保持时间可以由运行人员设定。
- 7.3.2.7.3 试验方法如下：
 - a) 直流融冰装置交流侧整流变压器接入试验电源，直流输出侧断开。
 - b) 测试直流融冰装置输出电压，逐步升高输出电压直到达到额定电压为止，并测试直流融冰控制系统输出电压的调节性能。
 - c) 直流融冰装置输出电压的调节范围应满足技术规范书要求，输出电压波形正确；直流融冰装

置调节、控制功能正确。

- d) 在升/降压的过程中，运行人员可以停止升/降压过程。在这种情况下电压保持在停止时刻的值，可以根据需要再次增加或减小电压。在电压没有变化到零的情况下可以随时闭锁换流阀。

7.3.2.8 零功率试验

- a) 零功率试验是在不接入直流线路的情况下，检查直流融冰装置直流电流控制功能、换流阀、直流侧隔离开关和融冰母线的电流耐受能力，保证直流融冰装置在需要融冰的时候能够可靠地投入运行。主要包括直流融冰装置起停试验、手动紧急停运试验、保护跳闸试验和大电流试验。
- b) 零功率试验中使用的平波电抗器电感值要求能够保证在最小电流下不出现电流断续，其通流能力为直流融冰装置额定直流电流。
- c) 零功率试验时闭锁直流阻抗保护和直流欠压保护。
- d) 直流融冰装置对应容量的滤波器投入，站内其他无功补偿支路根据无功缺额投入。
- e) 试验方法如下：

- 1) 直流融冰装置起停试验：检验直流融冰装置的解闭锁功能。将直流融冰装置与融冰母线断开，利用隔离开关或者临时接线将平波电抗器与直流融冰装置直流出口短接，合上给直流融冰装置供电的开关，设定最小电流参考值，发出直流融冰装置解锁命令，核实直流融冰装置按照给定参考值解锁，保持一定时间。记录直流电压、直流电流、网侧电压、网侧电流、融冰装置接地电流、无功和谐波。
- 2) 手动紧急停运试验：检查在融冰装置运行时能否紧急闭锁换流器及跳开交流侧开关，并检验闭锁时序是否正确以及交直流侧有无过电压或过电流。
- 3) 保护跳闸试验：在直流融冰装置运行时在融冰装置二次侧模拟故障，检验直流融冰装置在运行时保护能否正确动作，并检验保护跳闸时有无交直流侧过电压或过电流。
- 4) 额定/最大融冰电流试验：检验直流融冰装置的融冰能力。直流电流以逐步升至额定电流运行 0.5h~2h（或最大融冰电流短时运行），确认无异常发生，再逐步降至最小电流，停止试验，闭锁换流阀。

7.3.2.9 带线路额定/最大融冰电流试验（系统条件具备时选做）

- a) 选择合适的融冰线路和融冰接线方式，使融冰装置输出额定/最大电流；
- b) 升流时从最小电流到额定融冰电流（或短时最大融冰电流），可根据设备和现场情况分几个台阶逐步增加，在各个台阶处短时停留，监视设备和线路运行参数、状况、温升情况是否正常，如线路温升过快，也可将电流短时降低后再升至下一个台阶值。

7.3.2.10 零功率试验或带线路额定/最大融冰电流试验测试项目

- a) 融冰效果检查及设备温升测试：额定电流下运行 0.5h~2h（或最大融冰电流短时运行），用铂电阻法、绕组电阻法或红外测温等测温方法监视融冰线路、直流融冰装置各电气设备、连接线及接头、变压器油等各典型测温点的温度不超过允许值。
- b) 噪声测试：对直流融冰装置中整流变压器、整流阀、冷却设备、电抗器等设备分别测量，并在变电站厂界测点测量噪声。
- c) 谐波测试：在直流融冰装置投入和退出状态，分别测量装置接入点的谐波电流、谐波电压和各滤波器支路的谐波电流，检验滤波器吸收谐波的效果，验证滤波器设计是否在安全范围之内，接入点谐波是否达到技术规范书或供需双方协议要求。
- d) 运行参数测试：
 - 1) 装置输出直流电流、电压及容量曲线；
 - 2) 装置输入交流电流、电压波形；
 - 3) 整流阀控制角范围；

- 4) 输出直流电流升速;
- 5) 输出直流电流控制精度。

8 标志、包装、运输、储存

- 8.1 成套装置应有标明下列内容的铭牌：名称和型号、额定输出电流、额定输出电压、额定输出功率、出厂编号、制造年月、制造商名称或商标。
- 8.2 每台设备应按各自标准规定提供标志和铭牌。
- 8.3 应将所供设备严密包装，防止潮气、锈蚀、淋雨和振动。
- 8.4 包装应牢固可靠，应考虑到运输过程中，可能受到的最大加速度所产生的冲击，设备不松动、不损坏、不变形。
- 8.5 对贵重设备和仪器应考虑与一般设备分开，采用特殊包装，并在箱上注明“小心轻放”等标志。
- 8.6 在包装箱外应标明买方的订货号、发货号。
- 8.7 随产品提供的技术资料应完整无缺。
- 8.8 应提交的资料清单，包括技术协议、设计图纸、说明手册等。
- 8.9 运输和装卸按包装箱上的标记进行。运输后装置的结构及零件无机械损伤、无弯曲变形及紧固件松动等现象。
- 8.10 包装好的装置应储存在环境温度 $\nless 25^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于85%的场所，环境无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体、不受灰尘雨雪的侵蚀。

附录 A
(资料性附录)

固定式直流融冰装置主要电路型式

固定式直流融冰装置主要电路型式的原理图和直流侧建议测量点见图 A.1～图 A.5。
直流融冰装置直流侧建议测量点配置：交流侧三相电流 I_v 、 I_{vy} 、 I_{vd} 、 I_{v1} 、 I_{v2} ，直流侧正极电压 U_{dp} ，直流侧负极电压 U_{dn} ，直流侧正极电流 I_{dp} ，直流侧负极电流 I_{dn} ，串联 12 脉动中性点电流 I_{dgnd} 。

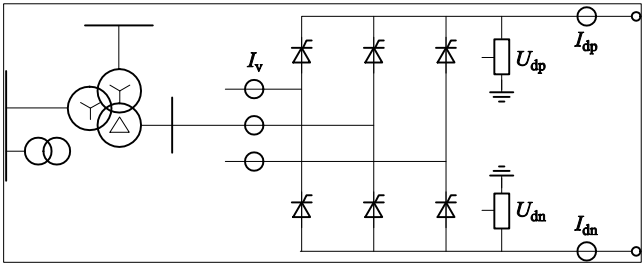


图 A. 1 无专用整流变压器供电的融冰装置原理图和建议测量点

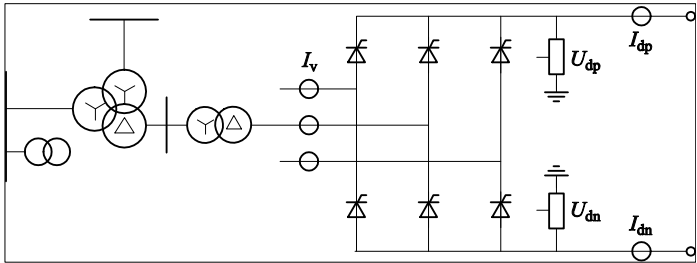


图 A. 2 采用专用整流变压器供电的 6 脉动融冰装置原理图和建议测量点

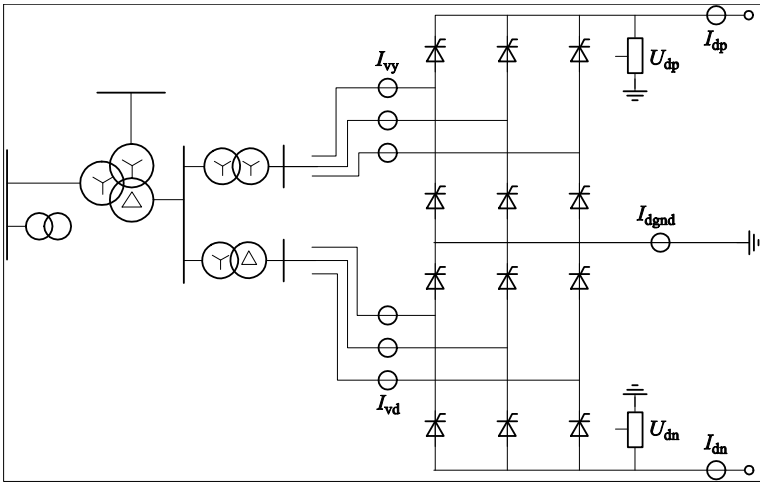
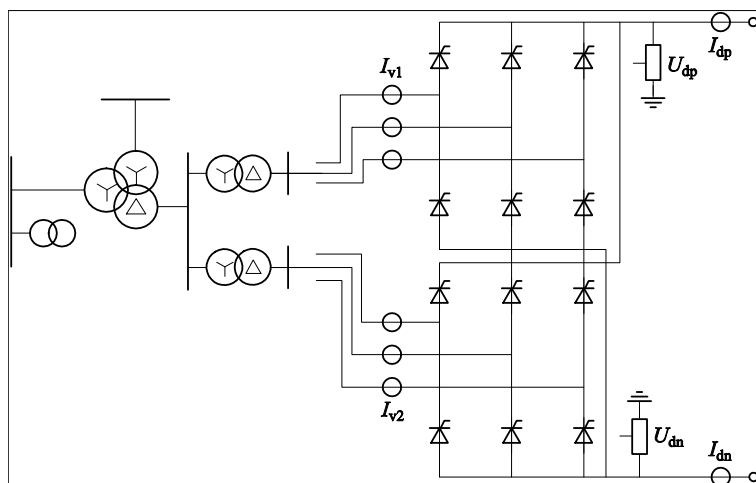
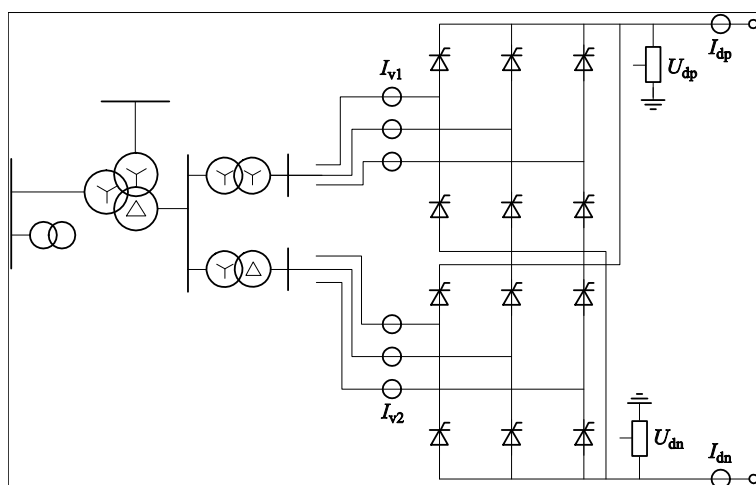


图 A. 3 采用专用整流变压器供电的串联 12 脉动融冰装置原理图和建议测量点



I_{v1} 、 I_{v2} —交流侧三相电流（分别对应两台变压器）； U_{dp} —直流侧正极电压； U_{dn} —直流侧负极电压； I_{dp} —直流侧正极电流； I_{dn} —直流侧负极电流

图 A. 4 采用专用整流变压器供电的双桥并联 6 脉动融冰装置原理图和建议测量点



I_{v1} 、 I_{v2} —交流侧三相电流（分别对应两台变压器）； U_{dp} —直流侧正极电压； U_{dn} —直流侧负极电压； I_{dp} —直流侧正极电流； I_{dn} —直流侧负极电流

图 A. 5 采用专用整流变压器供电的并联 12 脉动融冰装置原理图和建议测量点

附录 B
(资料性附录)
导线融冰电流的计算方法和参考值

B.1 架空线路覆冰类型

B.1.1 雨凇

由空气中的过冷却水滴冻结在导线形成，多出现在海拔较低的地区。它的比重为 0.6~0.9，结构最紧密，附着力强，对输电线危害最大。

B.1.2 雾凇

由雾中的水汽凝结在导线上形成，多出现在海拔较高的地区。它的比重为 0.1~0.3，结构疏松，易于脱落，对输电线危害最小。

B.1.3 混合凇

雨凇和雾凇的连续冻结物。在天气周期性变化时形成。它的比重通常为 0.2~0.6，对输电线的危害次于雨凇。

B.2 导线融冰电流计算方法

导线融冰电流经验计算公式如下：

$$I_r R_0 T_r \frac{t}{R_{T0} R_{T1}} T_r 10 g_0 db \frac{0.045 g_0 D^2}{R_{T0} R_{T1}} R_{T1} 0.22 \frac{R_{T0}}{\ln \frac{D}{d}} t \tag{B.1}$$

式中：

- I_r ——融冰电流，A；
- R_0 ——0℃时的导线电阻， μm ；
- T_r ——融冰时间，h；
- Δt ——导体温度与外界气温之差，℃；
- g_0 ——冰的比重（一般按雨凇取 0.9）；
- b ——冰层厚度，即覆冰每边冰厚，cm；
- D ——导体覆冰后的外径，cm；
- R_{T0} ——等效冰层传导热阻，℃·cm/W。
- R_{T1} ——对流及辐射等效热阻，℃·cm/W；

对雨凇： $R_{T1} = \frac{1}{0.09 D 0.22 0.73 V D^{2/3}}$ ；

对雾凇： $R_{T1} = \frac{1}{0.04 D 0.84 V D^{3/4}}$ ；

V ——风速，m/s。

$$R_{T0} = \frac{\ln \frac{D}{d}}{273} \tag{B.2}$$

式中：

d ——导线直径，cm；

λ——导热系数，W/cm·℃；
对雨淞：λ =2.27×10²；
对雾淞：λ =0.12×10²。

根据式（B.1）、式（B.2），在外界气象条件（风速、气温）以及覆冰厚度已知的情况下，可以得到融冰电流大小与融冰所需时间的关系曲线。在进行融冰操作时，可以利用式（B.1）、式（B.2），通过起始融冰电流推算基本融冰时间。

注：对于多分裂导线，导线上通过融冰电流值应该为总融冰电流值除以导线分裂数。

根据式（B.1）、式（B.2）详细计算了常用架空线路在多种外界条件下的融冰电流，计算结果见表 B.1～表 B.5。所计算出的融冰电流基本在线路的引线、接头、TA 的允许通流值范围之内，并与导线允许电流有一定差距。

表 B.1 GB 1179—1974 规格导线 10mm、15mm 冰厚下的最小融冰电流（1h 融冰）

导线型号 (GB 1179—1974)	融冰电流 A					
	⍰8℃ 8m/s 10mm 覆冰	⍰5℃ 5m/s 10mm 覆冰	⍰3℃ 3m/s 10mm 覆冰	⍰8℃ 8m/s 15mm 覆冰	⍰5℃ 5m/s 15mm 覆冰	⍰3℃ 3m/s 15mm 覆冰
LGJQ-700	1499.3	1266.0	1108.9	1612.6	1418.8	1288.2
LGJQ-600	1324.2	1116.1	975.6	1422.8	1249.6	1132.5
LGJQ-500	1157.6	973.6	848.9	1242.2	1088.7	984.7
LGJQ-400	1013.5	850.5	739.7	1086.2	949.8	857.1
LGJQ-300	831.5	695.3	602.1	889.2	774.8	696.5
LGJQ-240	745.0	621.7	537.1	795.7	691.9	620.6
LGJQ-185	582.2	483.5	415.1	620.0	536.4	478.4
LGJQ-150	505.9	418.9	358.4	537.8	463.8	412.3
LGJJ-400	1055.1	886.7	772.5	1131.7	991.2	895.7
LGJJ-300	884.0	740.7	642.9	946.5	826.4	744.5
LGJJ-240	732.7	611.9	528.9	782.9	681.2	611.4
LGJJ-185	610.0	507.6	436.9	650.4	563.8	504.1
LGJJ-150	523.2	434.0	372.1	556.8	481.1	428.6
LGJ-400	998.5	838.1	729.1	1070.2	936.1	844.9
LGJ-300	878.6	735.9	638.4	940.5	820.8	739.1
LGJ-240	699.6	583.4	503.5	746.9	649.0	581.6
LGJ-185	599.8	498.7	428.8	639.2	553.7	494.5
LGJ-150	504.0	417.6	357.4	535.9	462.5	411.4
LGJ-120	443.9	366.8	312.8	471.2	405.5	359.5
LGJ-95	385.6	317.7	269.9	408.6	350.4	309.5
LGJ-70	310.7	254.7	214.8	328.2	279.8	245.5

导线型号 (GB 1179—1974)	融冰电流 A					
	$\bar{\tau}$ 8℃ 8m/s 10mm 覆冰	$\bar{\tau}$ 5℃ 5m/s 10mm 覆冰	$\bar{\tau}$ 3℃ 3m/s 10mm 覆冰	$\bar{\tau}$ 8℃ 8m/s 15mm 覆冰	$\bar{\tau}$ 5℃ 5m/s 15mm 覆冰	$\bar{\tau}$ 3℃ 3m/s 15mm 覆冰
LGJ-50	248.4	202.6	169.7	261.5	221.7	193.2
LGJ-35	209.0	169.9	141.5	219.5	185.3	160.6

表 B.2 GB 1179—1983 规格导线 10mm、15mm 冰厚下的最小融冰电流（1h 融冰）

导线型号 (GB 1179—1983)	融冰电流 A					
	$\bar{\tau} 8^{\circ}\text{C}$ 8m/s 10mm 覆冰	$\bar{\tau} 5^{\circ}\text{C}$ 5m/s 10mm 覆冰	$\bar{\tau} 3^{\circ}\text{C}$ 3m/s 10mm 覆冰	$\bar{\tau} 8^{\circ}\text{C}$ 8m/s 15mm 覆冰	$\bar{\tau} 5^{\circ}\text{C}$ 5m/s 15mm 覆冰	$\bar{\tau} 3^{\circ}\text{C}$ 3m/s 15mm 覆冰
LGJ-800/100	1678.4	1419.2	1245.1	1806.7	1591.7	1447.1
LGJ-800/70	1686.5	1425.7	1250.6	1815.2	1598.9	1453.4
LGJ-800/55	1688.4	1427.2	1251.7	1817.1	1600.5	1454.7
LGJ-720/50	1555.7	1313.5	1150.5	1673.2	1472.1	1336.5
LGJ-630/80	1431.2	1207.5	1056.7	1538.7	1352.7	1227.2
LGJ-630/55	1427.9	1204.3	1053.6	1534.9	1348.9	1223.4
LGJ-630/45	1398.6	1179.1	1031.0	1503.0	1320.3	1197.0
LGJ-500/65	1212.6	1020.4	890.4	1301.7	1141.5	1033.0
LGJ-500/45	1182.8	994.7	867.2	1269.2	1112.3	1005.8
LGJ-500/35	1192.9	1003.1	874.6	1280.0	1121.7	1014.4
LGJ-400/65	1040.5	873.6	760.2	1115.4	975.9	881.1
LGJ-400/50	1035.1	868.8	755.8	1109.5	970.4	875.8
LGJ-300/70	873.5	731.6	634.7	935.0	816.0	734.8
LGJ-300/50	853.1	713.8	618.6	912.6	795.7	715.8
LGJ-240/55	742.5	620.0	535.9	793.3	690.2	619.5
LGJ-240/40	730.0	609.0	525.9	779.6	677.7	607.6
LGJ-240/30	738.0	615.7	531.6	788.1	685.1	614.2
LGJ-210/50	673.7	561.5	484.3	719.0	624.4	559.2
LGJ-210/35	672.3	560.0	482.6	717.3	622.5	557.2
LGJ-210/25	663.5	552.4	475.7	707.7	613.8	549.1
LGJ-210/10	644.5	535.9	460.7	686.8	594.9	531.3
LGJ-185/45	619.0	515.0	443.3	659.9	572.1	511.5
LGJ-185/30	605.4	503.3	432.6	645.1	558.7	498.9
LGJ-185/25	615.3	511.5	439.7	655.7	567.8	507.1
LGJ-185/10	599.1	497.4	426.8	637.8	551.6	491.8
LGJ-150/35	530.9	440.5	377.6	565.0	488.2	434.9
LGJ-150/25	529.8	439.3	376.3	563.6	486.7	433.2
LGJ-150/20	519.8	430.6	368.5	552.7	476.9	424.1
LGJ-150/8	511.4	423.2	361.6	543.4	468.3	415.9
LGJ-120/70	488.5	405.5	348.0	520.1	449.8	401.0
LGJ-120/25	468.3	387.4	330.8	497.5	428.5	380.4

导线型号 (GB 1179—1983)	融冰电流 A					
	−8℃ 8m/s 10mm 覆冰	−5℃ 5m/s 10mm 覆冰	−3℃ 3m/s 10mm 覆冰	−8℃ 8m/s 15mm 覆冰	−5℃ 5m/s 15mm 覆冰	−3℃ 3m/s 15mm 覆冰
LGJ-120/20	447.3	369.6	315.1	474.8	408.5	362.0
LGJ-120/7	448.3	370.0	315.0	475.5	408.6	361.6
LGJ-95/55	416.9	345.0	294.8	443.0	381.8	339.1

表 B.2（续）

导线型号 (GB 1179—1983)	融冰电流 A					
	−8℃ 8m/s 10mm 覆冰	−5℃ 5m/s 10mm 覆冰	−3℃ 3m/s 10mm 覆冰	−8℃ 8m/s 15mm 覆冰	−5℃ 5m/s 15mm 覆冰	−3℃ 3m/s 15mm 覆冰
LGJ-95/20	395.7	326.1	277.2	419.4	359.8	318.0
LGJ-95/15	390.7	321.9	273.4	414.0	355.0	313.5
LGJ-70/40	335.7	276.5	234.9	355.7	305.0	269.3
LGJ-70/10	314.5	257.8	217.4	332.1	283.2	248.4
LGJ-50/30	272.2	223.2	188.4	287.5	245.3	215.3
LGJ-50/8	251.4	205.1	171.8	264.7	224.4	195.5

表 B.3 GB 1200—1988 规格镀锌钢绞线 10mm、15mm 冰厚下的最小融冰电流（1h 融冰）

地线型号 (GB 1179—1988)	融冰电流 A					
	−8℃ 8m/s 10mm 覆冰	−5℃ 5m/s 10mm 覆冰	−3℃ 3m/s 10mm 覆冰	−8℃ 8m/s 15mm 覆冰	−5℃ 5m/s 15mm 覆冰	−3℃ 3m/s 15mm 覆冰
1×7 ¹ 7.8 ¹ 1270 ¹ B	81.8	66.4	55.1	85.8	72.3	62.4
1×7 ¹ 8.7 ¹ 1270 ¹ B	94.1	76.6	63.9	98.9	83.6	72.6
1×7 ¹ 9.0 ¹ 1270 ¹ B	98.3	80.1	66.9	103.4	87.5	76
1×7 ¹ 9.6 ¹ 1270 ¹ B	106.9	87.2	73	112.5	95.4	83.1
1×19 ¹ 10.0 ¹ 1270 ¹ A	111.4	91.0	76.3	117.4	99.7	87
1×7 ¹ 10.5 ¹ 1270 ¹ B	120.1	98.2	82.6	126.6	107.7	94.2
1×19 ¹ 11.0 ¹ 1270 ¹ A	126.1	103.3	87	133.1	113.4	99.3
1×7 ¹ 11.4 ¹ 1270 ¹ B	133.7	109.6	92.4	141.2	120.4	105.6
1×19 ¹ 11.5 ¹ 1270 ¹ A	133.7	109.6	92.5	141.2	120.4	105.7
1×19 ¹ 13.0 ¹ 1270 ¹ A	157.1	129.3	109.6	166.3	142.4	125.6
1×19 ¹ 14.5 ¹ 1270 ¹ B	181.6	149.9	127.6	192.6	165.5	146.5
1×19 ¹ 16.0 ¹ 1370 ¹ B	207.1	171.4	146.5	220	189.6	168.4

地线型号 (GB 1179—1988)	融冰电流 A					
	−8℃ 8m/s 10mm 覆冰	−5℃ 5m/s 10mm 覆冰	−3℃ 3m/s 10mm 覆冰	−8℃ 8m/s 15mm 覆冰	−5℃ 5m/s 15mm 覆冰	−3℃ 3m/s 15mm 覆冰
	1×19−17.5−1370-B	233.6	193.8	166.1	248.6	214.8

表 B.4 YB/T 124—1997 行规铝包钢绞线 10mm、15mm 冰厚下的最小融冰电流（1h 融冰）

地线型号 (YB/T 124—1997)	融冰电流 A					
	↖8℃ 8m/s 10mm 覆冰	↖5℃ 5m/s 10mm 覆冰	↖3℃ 3m/s 10mm 覆冰	↖8℃ 8m/s 15mm 覆冰	↖5℃ 5m/s 15mm 覆冰	↖3℃ 3m/s 15mm 覆冰
	JLB14-50-7	119.2	97.1	81.1	125.3	106.1
JLB14-80-7	162.1	132.9	112.1	171.2	146	128
JLB14-150-19	245.3	202.9	173.3	260.6	224.5	199.3

表 B.4（续）

地线型号 (YB/T 124—1997)	融冰电流 A					
	⚡8℃ 8m/s 10mm 覆冰	⚡5℃ 5m/s 10mm 覆冰	⚡3℃ 3m/s 10mm 覆冰	⚡8℃ 8m/s 15mm 覆冰	⚡5℃ 5m/s 15mm 覆冰	⚡3℃ 3m/s 15mm 覆冰
JLB14-185-19	282.6	234.5	201	300.8	259.9	231.5
JLB14-210-19	310.2	257.8	221.6	330.5	286.2	255.5
JLB20A-50-7	143.6	117	97.7	151	127.8	111
JLB20A-80-7	195.3	160.1	135	206.3	175.9	154.3
JLB20A-100-19	229	188.4	159.8	242.4	207.6	183
JLB20A-120-19	258.7	213.4	181.6	274.3	235.6	208.4
JLB20A-150-19	295.6	244.5	208.9	314	270.5	240.1
JLB27-50-7	165.5	134.8	112.6	174	147.3	128
JLB27-55-7	179.9	146.8	122.9	189.4	160.6	139.9
JLB27-150-19	340.7	281.8	240.7	361.9	311.7	276.7
JLB35-50-7	188.4	153.4	128.2	198.1	167.7	145.7
JLB35-100-19	300.5	247.2	209.6	318.1	272.4	240.2
JLB40-50-7	201.4	164	137	211.8	179.2	155.7
JLB40-80-7	273.9	224.5	189.4	289.3	246.7	216.4
JLB40-95-7	308.5	253.6	214.6	326.4	279.1	245.7
JLB40-100-19	321.2	264.3	224.1	340.1	291.2	256.7
JLB40-120-19	362.8	299.3	254.6	384.7	330.4	292.2

地线型号 (YB/T 124—1997)	融冰电流 A					
	↖8℃ 8m/s 10mm 覆冰	↖5℃ 5m/s 10mm 覆冰	↖3℃ 3m/s 10mm 覆冰	↖8℃ 8m/s 15mm 覆冰	↖5℃ 5m/s 15mm 覆冰	↖3℃ 3m/s 15mm 覆冰
JLB40-150-19	414.6	343	292.9	440.4	379.4	336.8
JLB40-185-19	477.7	396.3	339.7	508.3	439.3	391.3

表 B.5 OPGW 光缆 10mm、15mm 冰厚下的最小融冰电流（1h 融冰）

OPGW 光缆型号	20℃ 直流 电阻 Ω/km	融冰电流 A					
		↖8℃ 8m/s 10mm 覆冰	↖5℃ 5m/s 10mm 覆冰	↖3℃ 3m/s 10mm 覆冰	↖8℃ 8m/s 15mm 覆冰	↖5℃ 5m/s 15mm 覆冰	↖3℃ 3m/s 15mm 覆冰
OPGW-9-40-1	2.10	130.4	106.2	88.7	137.1	116	100.8
OPGW-10-50-1	1.82	142.7	116.4	97.5	150.3	127.4	111
OPGW-11-70-1	1.30	177.9	145.8	123	187.9	160.2	140.6
OPGW-11-70-2	0.70	242.4	198.7	167.6	256	218.3	191.5
OPGW-13-90-1	0.98	214.6	176.7	149.9	227.3	194.7	171.8
OPGW-13-90-2	0.52	294.7	242.5	205.8	312	267.3	235.8
OPGW-13-100-1	0.93	220.3	181.4	153.9	233.3	199.9	176.3
OPGW-13-100-2	0.49	303.5	249.9	212	321.4	275.4	242.9
OPGW-14-110-1	0.83	237.8	196	166.7	252	216.3	191.2
OPGW-14-110-2	0.80	243.9	201.2	171.2	258.6	222.1	196.5

表 B.5（续）

OPGW 光缆型号	20℃ 直流 电阻 (Ω/km)	融冰电流 A					
		↖8℃ 8m/s 10mm 覆冰	↖5℃ 5m/s 10mm 覆冰	↖3℃ 3m/s 10mm 覆冰	↖8℃ 8m/s 15mm 覆冰	↖5℃ 5m/s 15mm 覆冰	↖3℃ 3m/s 15mm 覆冰
OPGW-14-110-3	0.40	343.3	283.1	240.8	363.9	312.4	276.3
OPGW-14.6-120-1	0.77	250.3	206.6	176	265.5	228.2	202
OPGW-14.6-120-2	0.55	296.1	244.4	208.2	314.1	270	239
OPGW-14.6-120-3	0.42	338.9	279.7	238.2	359.5	309	273.5
OPGW-15-120-1	0.76	255.3	211	180	271.1	233.3	206.8
OPGW-15-120-2	0.53	305.8	252.7	215.5	324.6	279.3	247.6
OPGW-15-120-3	0.40	351.9	290.8	248.1	373.6	321.5	285
OPGW-15-130-1	0.72	262.3	216.8	184.9	278.5	239.6	212.5
OPGW-15-130-2	0.50	314.8	260.1	221.9	334.2	287.6	254.9

OPGW 光缆型号	20℃ 直流 电阻 (Ω /km)	融冰电流 A					
		$\bar{I}_{8^{\circ}\text{C}}$ 8m/s 10mm 覆冰	$\bar{I}_{5^{\circ}\text{C}}$ 5m/s 10mm 覆冰	$\bar{I}_{3^{\circ}\text{C}}$ 3m/s 10mm 覆冰	$\bar{I}_{8^{\circ}\text{C}}$ 8m/s 15mm 覆冰	$\bar{I}_{5^{\circ}\text{C}}$ 5m/s 15mm 覆冰	$\bar{I}_{3^{\circ}\text{C}}$ 3m/s 15mm 覆冰
OPGW-15-130-3	0.40	351.9	290.8	248.1	373.6	321.5	285
OPGW-16-140-1	0.65	281.5	233	199.2	299.2	257.9	229.1
OPGW-16-140-2	0.45	338.3	280	239.4	359.5	309.9	275.3
OPGW-16-140-3	0.31	407.6	337.4	288.4	433.2	373.4	331.7
OPGW-17-150-1	0.60	296.1	245.3	209.9	314.8	271.6	241.5
OPGW-17-150-2	0.42	353.9	293.2	250.9	376.3	324.6	288.7
OPGW-17-150-3	0.33	399.2	330.7	283	424.5	366.2	325.7
OPGW-17-150-4	0.64	286.7	237.5	203.2	304.8	263	233.9
OPGW-17-150-5	0.45	341.9	283.2	242.4	363.5	313.6	278.9
OPGW-18-170-1	0.54	318.5	264.3	226.6	339	293	261
OPGW-18-170-2	0.54	322.3	267.6	229.8	343.2	296.9	264.8
OPGW-18-180-1	0.72	279.1	231.8	199	297.2	257.1	229.3
OPGW-18-180-2	0.50	334.9	278.1	238.8	356.6	308.5	275.2
OPGW-18-180-3	0.35	400.3	332.4	285.4	426.2	368.7	328.9
OPGW-18-180-4	0.28	447.5	371.6	319.1	476.5	412.3	367.7

附 录 C
(资料性附录)
固定式直流融冰装置的典型保护配置

C. 1 交流过流保护

通过测量阀侧交流电流，检测整流设备的过流。保护动作的结果是根据过流的程度选择立即或延时闭锁整流阀，跳开交流进线断路器。

C. 2 交流欠压保护

检测交流欠压，在交流故障清除时间内闭锁直流系统保护，保证直流融冰设备继续运行，输出直流功率。保护动作的结果是产生交流低电压信号，发送至其他保护。

C. 3 阀短路保护

用于阀短路故障或整流变阀侧相间故障的保护。保护动作的结果是立即闭锁整流阀，跳开交流进线断路器。

C. 4 直流过流保护

通过测量直流电流，检测整流设备的过流。保护动作的结果是根据过流的程度选择立即或延时闭锁整流阀，跳开交流进线断路器。

C. 5 直流过压保护

检测换流阀阴极和（或）阳极母线上的直流过电压，保护直流设备免受直流过电压的损坏。保护动作的结果是立即闭锁换流阀，跳开交流进线断路器。

C. 6 直流欠压保护

检测整流阀阴极和（或）阳极母线上的直流欠压，在异常运行工况下保护直流设备，作为直流接地故障的后备保护。保护动作的结果是立即闭锁整流阀，跳开交流进线断路器。

C. 7 直流断线保护

通过检测延时触发角、直流电流以及直流电压的突变情况，对融冰线路的断线故障进行保护。保护动作的结果是立即闭锁整流阀，跳开交流进线断路器。

C. 8 直流谐波保护

检测交流系统故障或控制系统故障引起直流电流中的异常谐波。保护动作的结果是根据谐波的含量选择报警或延时闭锁整流阀，跳开交流进线断路器。

C. 9 桥电流不平衡保护

用于整流器区内接地故障的保护。保护动作的结果是立即闭锁整流阀，跳开交流进线断路器。

C. 10 直流电压差动保护

对于 12 脉动直流融冰装置应设置直流电压差动监视报警，检测整个直流融冰系统发生不对称运行

情况。保护动作的结果是报警。

C. 11 直流阻抗保护

检测所融冰的交流线路的实际测量直流电阻值与设定值之间是否存在较大差异，以确认交流线路是否发生故障。保护动作的结果是报警。

C. 12 接地过流保护

对于直流侧设置接地点和接地电流检测的直流融冰装置，检测换流阀和直流区域内的接地故障。保护动作的结果是根据过流的程度选择报警、立即或延时闭锁换流阀，跳开交流进线断路器。

C. 13 开路试验保护

直流融冰装置在进行开路试验时，检测阀厅、直流侧设备及融冰母线的接地故障。保护动作的结果是立即闭锁换流阀，跳开交流进线断路器。

C. 14 其他各设备元件保护

- a) 整流变压器保护。对于带整流变压器的直流融冰装置，配置整流变压器保护，测量整流变压器的电气量及非电气量，检测与整流变压器相关的故障和异常。保护动作的结果是根据故障和异常的情况，选择报警或立即闭锁整流阀，跳开交流进线断路器。
 - b) 滤波器和（或）电容器保护。对于配置固定滤波器和（或）电容器的直流融冰装置，要配置相应的滤波器和（或）电容器保护。
 - c) 水冷却设备的保护。配置水冷却设备的相关保护，应设置进、出水温度，冷却水流量，冷却水电导率低，主循环泵均故障，水冷控制系统故障等保护，保证换流阀的运行安全。
 - d) 应配置与晶闸管故障相应的保护。根据故障晶闸管的数量，选择报警或立即闭锁换流阀，跳开交流进线断路器。
-

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
固定式直流融冰装置通用技术条件
DL/T 1218 — 2013

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京九天众诚印刷有限公司印刷

*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 2 印张 57 千字
印数 0001—3000 册

*

统一书号 155123·1610 定价 17.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



155123.1610

上架建议：规程规范/电力工程